

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



TRABAJO DE DIPLOMA

Título: EVALUACIÓN DEL ADITIVO DISTIN 204 DE
PRODUCCIÓN NACIONAL EN LA PLANTA DE
BALDOSAS DEL MUNICIPIO LIMONAR EN MATANZAS

Autor: Leonardo Hernández Sotolongo.

Tutor(es): Ing. Medardo Domínguez Limia.

Ing. Diana Rosa Rodríguez Vega.

Matanzas, Cuba

Junio, 2016

Declaración de autoridad

Declaro que soy el único autor de este Trabajo de Diploma y autorizo a la Universidad de Matanzas Sede “Camilo Cienfuegos” a hacer uso del mismo con fines académicos. Podrán realizar consultas toda institución o persona, siempre y cuando sea citado el trabajo y respetando el derecho de autor. Prohíbo la reproducción y comercialización parcial o total de este documento sin la autorización de la Universidad de Matanzas Sede: “Camilo Cienfuegos”.

Leonardo Hernández Sotolongo.

Pensamiento

“Entre las dificultades se esconde la oportunidad”

Albert Einstein.

Agradecimientos

Agradezco en estas líneas a todas las personas que hicieron posible la realización de esta tesis especialmente a:

Mi familia, por el apoyo total y comprensión,

Los trabajadores de la fábrica de baldosas: “Juan Gualberto Gómez” en Limonar, A Castillo en el Laboratorio de la ENIA,

Especial agradecimiento a mis tutores Medardo Domínguez y Diana Rosa Rodríguez,

Aprovecho para agradecer a mis amigas Yaremis Vega Pujol, Arianna Álvarez, Rachel Bayate, que siempre me apoyaron y ayudaron para terminar esta carrera, agradecido también a mi amigo Gustavo Morales por estudiar para las pruebas conmigo y ayudarme con los arrastres.

Dedicatoria

El siguiente trabajo es el cierre del ciclo del estudio universitario, lo cual representa una fase de mi vida terminada por lo tanto va dedicado:

A mi madre Isabel Sotolongo Barrueto que estaría muy orgullosa de mí;

A mi padre Bernardo Jesús Hernández Avalos, con su apoyo incansable y con mucha paciencia

A mi abuela María Isabel Barrueto García, que estaría muy contenta y orgullosa de mí

A mi tía Mabel Sotolongo Barrueto que me quiso como a un hijo,

A mi abuelo Gilberto Sotolongo Morales, que fue un ejemplo de abuelo y me quería muchísimo, este trabajo va dedicado a él;

A mi tío Gilberto Sotolongo Barrueto por su preocupación en todo momento y apoyo;

A mi segunda madre Vilma Sacerio Díaz que siempre confió en mí;

A mis hermanos Paulo y Erick;

A mi familia en general a los Sotolongo y a los Sacerio

A mi novia Dayni Robaina Pérez por apoyarme y ayudarme en la realización de este trabajo.

A mis amigas Yaremis Vega Pujol, Arianna Álvarez, Rachel Bayate, que siempre me apoyaron y ayudaron incondicionalmente en mi carrera.

Resumen

Este trabajo tiene como propósito: evaluar el efecto del aditivo DISTIN 204 en la producción de baldosas, creado por el laboratorio del Centro de Estudios de Anticorrosivos y Tensoactivos (CEAT) de la Universidad de Matanzas. Este trabajo tiene como objetivo lograr un ahorro de cemento en la producción de baldosas, sin afectar las resistencias normadas. El aditivo se obtiene a escala de laboratorio, y se le realizan ensayos físico-químicos, para conocer parámetros clave como son: densidad, % de sólidos y pH. La investigación tiene lugar en la fábrica de baldosas: "Juan Gualberto Gómez" situado en el municipio de Limonar, Matanzas. La evaluación se realiza comparando muestras de baldosas patrón (sin adición de aditivo) con respecto a muestras de baldosas con una dosis de aditivo entre 0,3 y 1% para parámetros constantes de agua y cemento. Se realizaron ensayos con reducción de cemento entre un 5% y un 30%, de la capa vista, con el objetivo de conocer el comportamiento de estos en cuanto a: resistencia a flexión a diferentes edades y absorción de agua. Los resultados obtenidos comprueban que el aditivo logra reducir hasta un 15 % del cemento utilizado en la cara vista y un 10 % del total de cemento utilizado en la baldosa. El aditivo logra ahorrar un total de 72,8 toneladas por cada 44 000m² de baldosas producidas. También se realiza un análisis de los costos del uso del mismo a nivel industrial, dando como resultado que: la inclusión de aditivo DISTIN 204 incrementa la ganancia anual de la empresa en 1% y haciendo cumplir los parámetros de calidad, según la norma: NC 237, 2009.

Summary

This work has the purpose to evaluate the effect of the additive DISTIN 204 in tiles production, created for the Studies Center of Corrosion and Tensioactives of the Matanzas University. This work has the target to treat a cement reduction in tiles production, without to affect the normed mechanic resistances. The additive is obtained on laboratory scale and it's realized some physic -chemist tests, for to know key parameters like: density, % solids and pH. The research was made in the factory of tiles: "Juan Gualberto Gomez" situated in the Limonar town on Matanzas province. The evaluation is made it comparing tiles samples with patron samples (without additive) and samples containing additive with 0,3 %, 0,6 % y 1 % for constants parameters of water and cement. After, was made some samples with cement reduction between 5 and 30 %, of the layer face, with the objective of to know the samples concerning behavior to flexion resistance and adsorption to different ages.. The obtained result probe that the additive can reduce until 15 % of cement of the layer view and 10 % of the total of the tile. The additive can save 72,8ton of cement for to produce 44 000m² of tiles per year. Also was made a cost analysis about it use at industrial level resulting that with the inclusion of the additive DISTIN 204 the utilities increase 1% of the factory total utilities.

Tabla de Contenido

| | |
|--|-----------|
| Introducción | 1 |
| Capítulo 1: Estado del conocimiento y análisis crítico de la bibliografía | 3 |
| 1.1 Generalidades. | 3 |
| 1.1.1 Antecedentes de las baldosas hidráulicas. | 3 |
| 1.1.2 Antecedentes de los aditivos. | 3 |
| 1.2 Definición de los aditivos químicos para la construcción. | 4 |
| 1.3 Clasificación de los aditivos. | 5 |
| 1.4 Razones para el empleo de los aditivos en baldosas hidráulicas. | 6 |
| 1.4.1 Economía del diseño. | 6 |
| 1.4.2 Cumplimiento de especificaciones | 6 |
| 1.4.3 Efecto del clima cálido en la utilización de aditivos plastificantes | 7 |
| 1.5 Principales efectos de los aditivos sobre mezclas de hormigón | 7 |
| 1.6 Influencia de la relación agua/cemento en mezclas de hormigón. | 9 |
| 1.7 Ensayos de evaluación de las características de los aditivos. | 11 |
| 1.8 Aditivo DISTIN 204 plastificante y acelerador de la resistencia | 13 |
| 1.8.1 Proceso de producción del aditivo DISTIN 204 a escala de laboratorio | 13 |
| 1.8.2 Características del aditivo DISTIN 204 plastificante y acelerador de la resistencia producido por el CEAT | 15 |
| 1.9 Situación de los áridos y el hormigón en Cuba | 15 |
| 1.9.1 Causas de la inestabilidad en las producciones de áridos en cuba | 16 |
| 1.9.2 Estado del consumo de energía para la producción de cemento en Cuba | 17 |
| 1.10 Especificaciones de los áridos y utilización de los aditivos para baldosas hidráulicas según la norma (NC-237,2009) | 17 |
| 1.11 Métodos de ensayo para la evaluación de la calidad de las baldosas hidráulicas, según la Norma Cubana (NC-237,2009) | 18 |
| 1.11 Conclusiones parciales del capítulo: | 19 |
| Capítulo 2: Materiales y Métodos | 21 |
| 2.1 Obtención del aditivo DISTIN 204 a escala de laboratorio. | 21 |
| 2.3.2 Características del polvo de piedra. | 24 |
| 2.4 Descripción del proceso tecnológico para la elaboración de baldosas hidráulicas. | 24 |
| 2.5 Dosificación de las mezclas de hormigón para la elaboración de baldosas bicapas. | 25 |
| | 25 |

| | |
|--|-----------|
| 2.5.1 Dosificación de las mezclas de hormigón para la mezcla patrón..... | 26 |
| 2.5.2 Dosificación de las mezclas de hormigón con las dosis de aditivo de 0.3%, 0.6% y 1% | 26 |
| 2.5.3 Dosificación de las mezclas de hormigón con reducción de cemento para una dosis de aditivo de 0,6% | 28 |
| 2.5.4 Dosificación de las mezclas de hormigón con reducción de cemento para una dosis de aditivo de 1% | 29 |
| 2.5.5 Dosificación de las mezclas de hormigón con reducción de cemento para las dosis de aditivo de 0.6% y 1% | 30 |
| 2.6 Diseño de experimento para la evaluación de las baldosas bicapas | 31 |
| 2.7 Descripción de la metodología empleada para determinar la calidad para baldosas hidráulicas, según la norma NC 237, 2009 | 32 |
| 2.7.1 Principales equipos utilizados en el laboratorio | 33 |
| 2.7.2 Resistencia mecánica | 33 |
| 2.7.3 Determinación de la absorción total de agua..... | 34 |
| 2.8 Conclusiones parciales del capítulo:..... | 35 |
| Capítulo 3: Análisis de los resultados | 36 |
| 3.1 Resultado de la caracterización del aditivo DISTIN 204 | 36 |
| 3.2 Análisis de los ensayos a la resistencia a flexión | 36 |
| 3.2.1 Resultados de la resistencia media a flexión a diferentes dosificaciones de aditivo | 36 |
| 3.2.2 Resultados de la resistencia media a flexión con reducción de cemento | 37 |
| 3.3 Resultados de absorción de agua | 42 |
| 3.4 Análisis económico | 43 |
| Conclusiones parciales del capítulo:..... | 46 |
| Conclusiones | 47 |
| Recomendaciones | 48 |
| Bibliografía | 49 |
| Anexos | 51 |

Introducción

El mosaico hidráulico es un tipo de baldosa elaborada básicamente a partir de diversas capas de mortero de cemento Portland, posteriormente en moldado y prensado, y que presenta en su cara del modelo o cara vista un acabado de textura muy fina, por lo general decorado con motivos de diversa índole.

Su forma es predominantemente cuadrada, pero también se pueden encontrar, más raramente, baldosas con las esquinas truncadas o con formatos rectangulares, hexagonales u octogonales. En cuanto a sus dimensiones, éstas son principalmente de 20 x 20 cm, aunque también se fabricaron, de manera muy localizada, en formato de 15 x 15 cm. (Pineda, 2014).

La baldosa hidráulica es un material que se produce y utiliza tradicionalmente desde finales del siglo XIX, en zonas urbanas del mediterráneo: Francia, Península Ibérica, Italia y antiguas colonias europeas del norte de África y Latinoamérica. Se fabrica manualmente pieza por pieza, con la técnica artesana introducida originalmente por los árabes hace más de 10 siglos, y esta técnica se perfecciona en el siglo XIX.

Como en los últimos tiempos el uso de los aditivos ha tenido un gran impacto positivo en hormigones para diferentes usos: como de acelerante de fraguado, así como incremento de la resistencia a edades tempranas, ahorro de cemento muy importante que es una materia prima muy costosa, por estas ventajas se justificaría el empleo de los aditivos en la producción de baldosas hidráulicas.

En Cuba los aditivos para la construcción se obtienen 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 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 aditivos importados, mostrando resultados positivos en evaluaciones en bloques de hormigón, con reducciones de un 10% de cemento, por estos resultados obtenidos se propone el siguiente problema de investigación:

Problema Científico: la fábrica de baldosas hidráulicas: “Juan Gualberto Gómez” ubicado en el municipio: Limonar, Matanzas, necesita bajar la dosificación de cemento en su producción, sin afectar la economía de la empresa ni el cumplimiento de las normas establecidas del producto.

Con respecto al anterior problema científico se plantea la siguiente **hipótesis:** ¿con el empleo del aditivo Distin 204 en la producción de baldosas de la fábrica “Juan Gualberto Gómez”, ubicada en Limonar se puede reducir la dosificación de cemento utilizada en el proceso de producción, sin afectar la economía de la empresa, ni el cumplimiento de las normas establecidas?

Objetivo General: Evaluar el aditivo Distin 204 en la fábrica de baldosas ubicado municipio: Limonar: “Juan Gualberto Gómez”, reduciendo la dosificación de cemento.

Objetivos específicos:

- Obtención a escala de laboratorio el aditivo: DISTIN 204.
- Evaluar a escala industrial el aditivo: DISTIN 204.
- Realizar ensayos de calidad a las baldosas de la producción de la fábrica: “Juan Gualberto Gómez” ubicada en Limonar, Matanzas.
- Realizar un análisis de los costos de producción con aditivo y sin el aditivo.

Capítulo 1: Estado del conocimiento y análisis crítico de la bibliografía

Este capítulo tiene como objetivo realizar un análisis bibliográfico sobre el estado del arte del tema y analizar la bibliografía consultada.

1.1 Generalidades.

La presente investigación está centrada en los efectos que producen los aditivos para la construcción en baldosas hidráulicas; para ello primeramente se realiza un análisis sobre los antecedentes de las baldosas y los aditivos para la construcción.

1.1.1 Antecedentes de las baldosas hidráulicas.

El antecedente remoto de la baldosa hidráulica nos sitúa en la Italia de los siglos XVII y XVIII, donde se imitaban las losetas de mármol mediante la compactación sobre un banco de hierro de cemento humedecido, a la que seguía la aplicación con espátula de otra capa fina de cemento coloreado que, tras el secado, se realizaba una operación de acabado de la superficie.

El producto industrial, la baldosa hidráulica, es consecuencia de la rápida comercialización del cemento artificial llamado "Portland". El cemento Portland, debido a su bajo precio y facilidad de manipulación, así como sus propiedades en fresco tras endurecerse, desplaza rápidamente a las composiciones tradicionales de morteros y hormigones en base a la cal.

1.1.2 Antecedentes de los aditivos.

Hace ya 2.000 años los romanos agregaban sangre, tocino y leche a sus hormigones puzolánicos, posiblemente con la finalidad de mejorar sus condiciones de colocación y es muy probable que la durabilidad que han demostrado algunas de sus obras ante la acción de los agentes naturales, se deba a la influencia favorable que esos materiales hayan tenido sobre el comportamiento del hormigón endurecido.

En la década del '30 se produjo un descubrimiento que habría de tener particular importancia en el desarrollo posterior de la utilización de aditivos para hormigones. En fábricas de cemento de EE.UU. se utilizaron como dispersantes a fin de mejorar el rendimiento de la molienda del clinker, sustancias orgánicas de naturaleza aceitosa,

grasa o resinosa que además modificaban la superficie del cemento obtenido. En la actualidad la aplicación de los aditivos es un método que se utiliza en la producción de hormigones y baldosas hidráulicas. Dentro de los aditivos más comunes se encuentran: retardante de fraguado, reductores de agua, simples o de alta actividad. Los aditivos producen efectos sobre las etapas de inducción y aceleración del proceso de hidratación del hormigón, dichos efectos dependen del tipo de aditivo y de la composición química correspondiente. De forma tal que inciden en aumentar o disminuir dichas etapas en un tiempo considerado. (Carrasco, 2012)

En las masas de hormigón están siempre presentes los aditivos, fundamentalmente para la durabilidad y colocación del hormigón, por lo tanto constituyen componentes indispensables en las mezclas de hormigón. Sin embargo, deben conocerse las ventajas y las limitaciones de cada familia de aditivos para su óptimo funcionamiento y rendimiento. (Olcina, 2014)

Los aditivos aceleradores y los productos anticongelantes aceleran el inicio del fraguado y liberan más rápidamente el calor de hidratación. La mayor parte de estos aditivos aceleran también el endurecimiento del hormigón. Estos permiten además desencofrar, someter a cargas o también exponer el hormigón al hielo dentro de un intervalo de tiempo bastante más corto. El efecto de aceleración depende en gran medida de su constitución química y del cemento utilizado. Prácticamente, estos causan siempre una pérdida más o menos importante de la resistencia final del hormigón. (Cánoves, 2012)

1.2 Definición de los aditivos químicos para la construcción.

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

Según Carrasco (2012), el aditivo es una sustancia que se agrega a los demás componentes del hormigón en el momento de la mezcla, generalmente en el estado de polvo o de líquido y que modifica sustancialmente una o varias propiedades de las mezclas frescas o endurecidas. En base a esta definición, no son aditivos los que se agregan al clinker durante su proceso de elaboración (yeso o puzolanas) ni tampoco los productos empleados en procedimientos que se aplican sobre la mezcla ya

colocada, tales como películas de curado o impermeabilizantes, cuya acción es superficial y a los cuales se los denomina: tratamientos.

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

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

1.3 Clasificación de los aditivos.

Existen muchas clasificaciones de estos productos e incluso se podría decir que cada norma local presenta su propia clasificación. Como varía mucho su composición química y en ocasiones desempeñan más de una función específica resulta difícil clasificarlos por una u otra opción. A continuación se muestran algunas de las diferentes clasificaciones para aditivos:

La norma cubana (NC 228-1:2005) tiene la siguiente clasificación:

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

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)

Como el aditivo a evaluar en este estudio es un aditivo acelerador de fraguado y de las resistencias mecánicas, a continuación se brinda la caracterización general de ellos:

Aditivo que disminuye el tiempo de transición de la mezcla para pasar del estado plástico al estado rígido. Sus principales características son: usados en tiempo frío, para cementos lentos, y otros. La reducción del tiempo de fraguado es función de varias condiciones (Temperatura, dosis y materias primas) Posee un costo medio y debe utilizarse una dosis limitada porque una sobredosis podría causar poco efecto como: reducir las resistencias a largo plazo. (Olcina, 2014).

1.4 Razones para el empleo de los aditivos en baldosas hidráulicas

Como la base de la producción de baldosas hidráulicas es la compactación o prensado de mezclas de hormigón, se justifica el uso de aditivos en las baldosas hidráulicas, para un posible mejoramiento de las propiedades físicas de las baldosas, además de la economía de diseño y el cumplimiento de las especificaciones según: (Olcina, 2014)

1.4.1 Economía del diseño.

- ✓ Cantidad mínima de cemento.
- ✓ Rápido desencofrado.
- ✓ Reutilización de moldes.
- ✓ Facilidad en la colocación y compactación.
- ✓ Rápida avance de la obra.
- ✓ Rápida puesta en servicio.

1.4.2 Cumplimiento de especificaciones

- ✓ Relación agua-cemento fija.
- ✓ Resistencia a temprana edad.
- ✓ Resistencias finales.
- ✓ Módulo de rotura.
- ✓ Resistencia a la abrasión.

- ✓ Estanqueidad del material.

1.4.3 Efecto del clima cálido en la utilización de aditivos plastificantes

En condiciones de clima cálido, el efecto acelerador que la temperatura tiene sobre la pérdida de trabajabilidad del hormigón puede ser superado utilizando una mayor cantidad de agua que en condiciones estándar. No obstante, este aumento en la cantidad de agua no es del todo deseable y puede ocasionar efectos secundarios en el hormigón como la segregación y el sangrado. En este sentido, una opción viable y muy utilizada es la utilización de aditivos reductores de agua.

La utilización, por otro lado, de aditivos superplastificantes se ha hecho común en los últimos años. Este tipo de aditivos tiene un efecto mucho más importante sobre la consistencia del hormigón que los tradicionales reductores de agua, sin tener ningún efecto colateral sobre las propiedades del hormigón, como por ejemplo segregación o sangrado. De igual forma, como la relación agua/cemento no es modificada, se pueden tener resistencias más altas. Sin embargo, debe considerarse que el efecto de los superplastificantes en la consistencia del hormigón tiene poca duración, durando en promedio entre 30 y 60 minutos después de adicionarse a la mezcla, aún en condiciones térmicas moderadas; este tiempo obviamente será menor a mayores temperaturas. Por lo visto, ahora existen nuevos tipos de superplastificantes que tienen un efecto más duradero y por lo tanto, presentan un comportamiento más adecuado en climas cálidos. (*Ortiz, 2005*)

1.5 Principales efectos de los aditivos sobre mezclas de hormigón

A continuación dos autores concuerdan en los diferentes efectos: positivos y negativos con respecto a algunas variables.

Tabla 1.1 Efectos principales de los aditivos sobre el hormigón según (*Cánoves, 2012*) y (*Whiting, Dziejczic, 1992*).

| Efectos sobre | Fluidificante | Acelerantes de fraguado | Retardantes de fraguado | Inclusores de aire |
|--|---------------|-------------------------|-------------------------|--------------------|
| Trabajabilidad | ++ | - | + | + |
| Segregación | + | | - | + |
| Fraguado | - | ++ | | |
| Retardo | | | ++ | |
| Comportamiento frente a bombeo | + | | | |
| Resistencia inicial | + | ++ | - | - |
| Resistencia final | + | - | + | - |
| Permeabilidad | + | - | | + |
| Resistencia a heladas y sales | + | - | - | ++ |
| Hormigonado a bajas temperaturas | + | + | - | |
| Hormigonado a temperaturas elevadas | | - | + | |
| ++ efecto deseado + efecto positivo - riesgos de efectos no deseados | | | | |

La tabla anterior muestra los principales efectos de cuatro tipos de aditivos sobre el hormigón, donde los aditivos acelerantes de fraguado solamente pueden ser usados para dicha acción específica, y para aumentar positivamente la resistencia inicial del hormigón.

Según: Cánoves (2012), los aditivos principalmente actúan sobre el cemento retrasando el fraguado (retardadores) y reduciendo la cantidad del agua (plastificantes), asimismo evitan una elevada reacción exotérmica de hidratación durante el fraguado. Los aditivos plastificantes disminuyen la tensión en la interfase de contacto entre grano de cemento y agua, lo cual provocará el mojado de los granos. La recomendación habitual es aumentar la cantidad de aditivo polifuncional en un 1% en el verano (respecto a la dosificación estándar usada durante las estaciones de primavera y otoño)

En mezclas de hormigón los aditivos retardador y acelerador de fraguado Olcina, (2014) plantea que se comportan de forma diferente ya que cada tipo de aditivo se emplea con un objetivo específico debido a que el retardador se usa para lograr resistencia a la compresión a edades tardías y los aceleradores se utilizan para alcanzar resistencias a edades tempranas. A continuación se observa un gráfico donde se ilustra el comportamiento de ambos aditivos en mezclas de hormigón y se compara con una mezcla patrón (mezcla de hormigón sin aditivo):

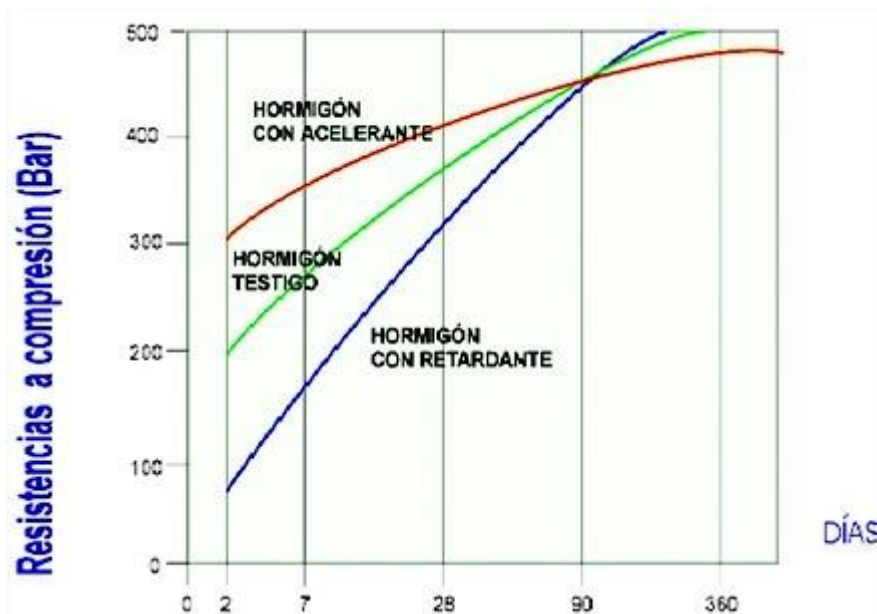


Gráfico 1.3 Comparación de la resistencia a la compresión a diferentes edades para mezclas de hormigón a partir del uso de dos aditivos: retardador y aceleradores de fraguado y una mezcla patrón.

En este gráfico se puede observar claramente que el hormigón con un aditivo acelerante posee mayor resistencia en un período menor a 92 días aproximadamente, comparándolo con un hormigón patrón y con uno con aditivo retardante, porque a partir de este tiempo ya se igualan las resistencias respectivamente. También es apreciable en el gráfico que después de los 90 días el hormigón con acelerante la resistencia a la compresión tiende a bajar.

El autor antes mencionado y Rixom, Mailvaganam, (1986), también concuerdan que los aditivos aceleradores de resistencia como son útiles para:

- Desencofrado rápido: permite mayor capacidad de utilización de los moldes.
- Aceleración del proceso en consistencias “¹in situ” cuando el hormigón o la mezcla se realizan a bajas temperaturas, o para cementos lentos: debido a que poseen un costo medio y se utiliza una dosis limitada, porque una sobredosis podría causar poco efecto como que reducir las resistencias a largo plazo.

1.6 Influencia de la relación agua/cemento en mezclas de hormigón.

¹ es una expresión latina que significa «en el sitio» o «en el lugar».

La relación agua/cemento según plantea Cánoves, (2012) afecta la ²reología de suspensión, la evolución de la hidratación y las propiedades del material hidratado. Para relaciones de agua/cemento entre 0,3 y 0,6, la suspensión tiene cierta consistencia y es llamada “pasta de cemento fresco”. La evolución de la hidratación de la pasta de cemento en función de la relación agua/cemento se muestra en siguiente gráfico:

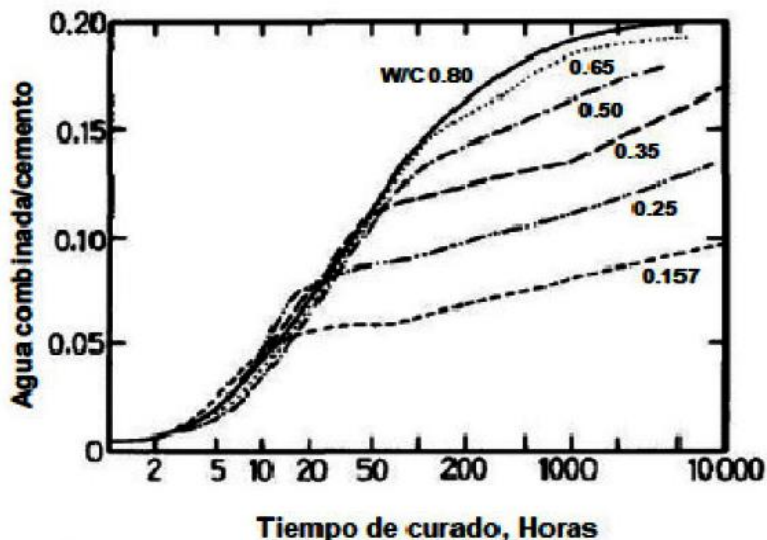


Gráfico 1.1. Relación agua/cemento-tiempo de curado

El grado de hidratación en la figura se describe como la relación entre el peso del agua combinada y el peso de cemento anhidro, asumiendo que la composición de la pasta de cemento no se modifica durante la hidratación. Esto probablemente no es correcto a edades tempranas cuando la hidratación es selectiva, pero se puede asumir a edades más avanzadas.

En el gráfico 1.1 se aprecia que la relación agua/cemento no afecta significativamente a la velocidad de hidratación durante las primeras 24 horas, sin embargo para edades más avanzadas, la velocidad de hidratación disminuye, y el decrecimiento tiene lugar antes cuanto menor es la relación agua/cemento. Por lo tanto, relaciones agua/cemento inferiores a 0,35 dan lugar a bajos grados de hidratación. Sin embargo,

² Reología: es la parte de la física que estudia la relación entre el esfuerzo y la deformación en los materiales que son capaces de fluir.

el aumento de la relación agua cemento incrementa la porosidad del hormigón, lo que produce una disminución de la resistencia del mismo.

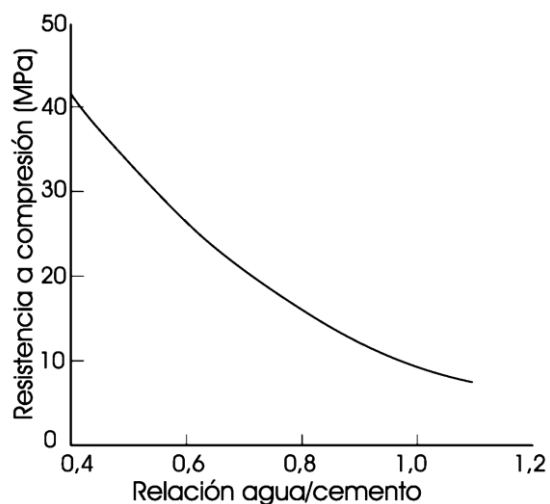


Gráfico 1.2 Resistencia a la compresión vs relación agua-cemento.

Como se puede observar claramente en el gráfico cuando la relación agua-cemento se encuentra entre 0,4 y 0,6 dan lugar a altas resistencias mecánicas; como en este caso a la resistencia a compresión.

1.7 Ensayos de evaluación de las características de los aditivos.

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

✚ Contenido de sólidos totales.

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

Determinación de la densidad.

El ensayo de densidad en aditivos nos permite determinar con bastante exactitud la proporción de sólidos disueltos en el solvente adecuado (Téllez y Salgado, 1989). La determinación de la densidad se realiza en un picnómetro a partir de la diferencia de las masas del instrumento vacío y el instrumento con el aditivo entre el volumen (NC 271-2: 2003).

Contenido de cloruros.

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

Determinación del pH.

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

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

Contenido de cenizas.

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

✚ Determinación de sustancias insolubles.

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

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

✚ Determinación de la alcalinidad.

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

Los iones hidroxilos, presentes en los aditivos alcalinos reaccionan con los hidrogeniones provenientes de una disolución de ácido fuerte de concentración conocida, de acuerdo con la siguiente reacción: $(OH)^{-1} + 1 (H_3O) \rightarrow 2H_2O$.

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

1.8 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 baldosas hidráulicas, producidos por el Centro de Estudio Anticorrosivo y Tensoactivo (CEAT) de la Universidad de Matanzas. Actualmente en nuestro país no existen producciones de aditivos plastificantes aceleradores de la resistencia; esto conlleva a importar los productos; por lo tanto, el CEAT tiene como objetivo disminuir importaciones obteniendo aditivos de calidad similares a los de importación. A continuación se expone una panorámica de las materias primas utilizadas para su obtención, así como la descripción del proceso productivo del aditivo a escala de planta piloto, y se describe sus principales ventajas tras su aplicación. (Rodríguez, 2014)

1.8.1 Proceso de producción del aditivo DISTIN 204 a escala de laboratorio

Las materias primas utilizadas para su síntesis son:

- Urea [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$]: Cristales o polvo blanco, casi incoloro, sabor salino fresco, soluble en agua, alcohol y benceno, y ligeramente soluble en éter.
- Sulfito de sodio [Na_2SO_3]: Cristales o polvo blanco, sabor sulfuroso salino, soluble en agua, muy poco soluble en alcohol. Puede presentarse anhidro, Na_2SO_3 o hidratado, $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.
- Formaldehído [CH_2O]: 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 las resina de urea menos costosa debido a que se obtiene por un procedimiento mucho más simple que la melamina, se emplea una resina de urea de carácter soluble similar a la resina de melamina.

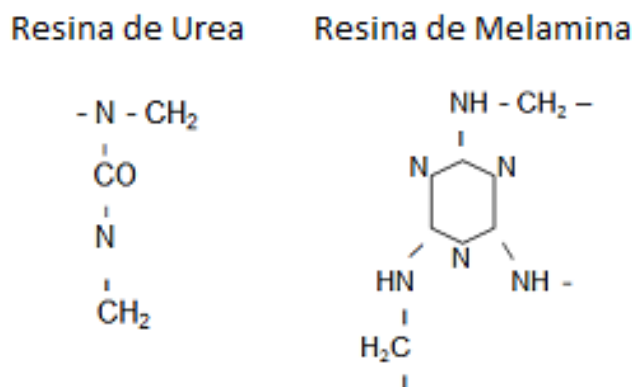


Figura 1.4 Materias primas empleadas en la producción de aditivos.

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

Descripción del proceso para la obtención del aditivo DISTIN 204 a escala de planta piloto el cual se divide en las siguientes etapas: preparación de las materias primas, condensación y envasado. El producto se prepara en un reactor de acero aleado de

0,8 m³ 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. (Rodríguez, 2014)

1.8.2 Características del aditivo DISTIN 204 plastificante y acelerador de la resistencia producido por el CEAT

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

El producto DISTIN 204 es un aditivo con base de un condensado aminoplástico-sulfonado y se clasifica como reductor de agua, acelerador de la resistencia y plastificante. Para ser empleado fundamentalmente en bloques de hormigón, este proporciona notables mejoras en la laborabilidad, las resistencias mecánicas, resistencia ante los agentes agresivos así como en la durabilidad de las obras, puede además lograrse una importante economía del cemento de las pastas de hormigón. Con el empleo de este aditivo se logran importantes reducciones agua/cemento, además se puede poner rápidamente en servicio una estructura u obra. (Rodríguez, 2014)

1.9 Situación de los áridos y el hormigón en Cuba

Actualmente se encuentran destinadas a la producción de áridos en Cuba 60 canteras a cielo abierto, consignados a la producción de morteros y hormigones, de las cuales 5 se encuentran en Ciudad de la Habana, provincia que consume 35% de la producción anual de todo el país.

En su mayoría los áridos cubanos son de origen calizo, obteniéndose directamente de yacimientos y canteras, los cuales presentan diferentes formas de extracción, como se define a continuación:

- Yacimientos: Explotación a cielo abierto de yacimientos de arena y gravas, las cuales se depositan generalmente en terrazas fluviales, desde donde posteriormente son extraídas mediante simples sistemas de lavado y clasificación, empleándose tal como se encuentra en la naturaleza.
- Canteras: Son resultado de la explotación a cielo abierto de formaciones rocosas mediante técnicas de perforación y voladura, obteniéndose diferentes granulometrías mediante procesos de preparación que contemplan etapas de trituración sucesiva, moliendas, clasificación y almacenamiento.

Estos procesos se agrupan en 13 actividades fundamentales, las cuales, en función de la magnitud de la instalación tecnológica y del estado en que se encuentre la materia prima, sufren variaciones que provocan un desarrollo en la obtención de áridos en su forma natural.

1.9.1 Causas de la inestabilidad en las producciones de áridos en cuba

Luego de recorrer y realizar estudios a más del 50 por ciento de las canteras de Cuba en el 2002, un grupo de expertos del Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales, llegan a plantear que la causa de la inestabilidad de las producciones de los áridos son producto a:

- Las tecnologías instaladas presentaban deterioro.
- Alto grado de deterioro del equipamiento no tecnológico
- Falta de identificación de los puntos o actividades que demandan control en el proceso.
- Bajo grado de conocimiento de las reservas
- Bajo nivel profesional
- Deficiente sistematicidad en la aplicación de verificaciones y/o controles durante el proceso.

Todo esto se debía principalmente a:

- La carencia de financiamiento para los trabajos encaminados a reparaciones y/o modificaciones tecnológicas, para la adquisición de equipo y para la recalificación del personal, de modo que se encuentre acorde con las necesidades que demandan los procesos.

- Poca exigencia por el desarrollo correcto del proceso, evitando violaciones de operaciones fundamentales, lo que trae como consecuencia que se evidencie un resquebrajamiento de la disciplina de estos procesos en su conjunto. (Vásquez, 2009)

1.9.2 Estado del consumo de energía para la producción de cemento en Cuba

Según reportes actuales, la producción de cemento con petróleo crudo cubano arroja índices de consumo de 149.2 kg de crudo por tonelada de clínquer producido. El consumo eléctrico está en el orden de 124.8 kW por tonelada de cemento o clínquer producido (MINBAS, 2009).

En ambos casos los valores están ligeramente por encima de los promedios mundiales de consumo, lo que aparentemente se debe al envejecimiento de la tecnología, que es básicamente de los años 1970, aunque muchas plantas han sido parcialmente renovadas, en especial adaptadas para consumir crudo cubano y uso de intensificadores de molienda. (Martirena, 2004).

1.10 Especificaciones de los áridos y utilización de los aditivos para baldosas hidráulicas según la norma (NC-237,2009)

Los áridos no contendrán piritas o cualquier otro tipo de sulfato, estarán limpios y desprovistos de polvo de trituración o de otra procedencia que puedan afectar el fraguado, endurecimiento o la colación.

La granulometría de los áridos que se utilicen deberá estar determinada por el fabricante, de manera que el producto terminado cumpla las características indicadas en esta norma.

Marmolina:

Es la fracción de fino que se obtiene a partir de trituración del mármol, o de la roca caliza cuyas partículas pasan por el tamiz 1,19 mm y no pasan por el tamiz 200.

Agua:

Serán utilizadas, tanto para el amasado (en las proporciones adecuadas), así como para el curado, todo tipo de agua que cumpla con lo establecido en la NC 353.

Aditivos:

Se podrán usar aditivos siempre que las sustancias agregadas en las proporciones que produzcan el efecto deseado sin perturbar las demás características del hormigón o mortero.

1.11 Métodos de ensayo para la evaluación de la calidad de las baldosas hidráulicas, según la Norma Cubana (NC-237,2009)

Los ensayos de calidad son muy importantes porque determinan si las baldosas cumplen con los requisitos normados, los ensayos realizados en esta investigación fueron los siguientes:

Resistencia a flexión.

La resistencia a la flexión nos da una medida de la capacidad de oponerse a esa fuerza

Las baldosas cumplirán siguientes requisitos.

| Uso recomendado | Resistencia a flexión MPa | Mínimo de la resistencia a flexión MPa |
|-----------------|------------------------------|---|
| Normal | 3.5 | 2.8 |
| Intensivo | 4.0 | 3.2 |
| Industrial | 5.0 | 4.0 |

Para el uso normal, industrial e intensivo, las baldosas al final del proceso de producción pueden presentar tres acabados diferentes, desbastado, pulido y brillado. Una vez colocadas y en función de su uso, pueden quedar tal cual o pueden ser sometidas a un pulido y brillado (uso normal e intensivo).

En cuanto a las baldosas para uso industrial, no se someten a ningún proceso de pulido ni brillado una vez colocadas y pueden presentar textura con relieve, pulidas con relieve, lavadas al ácido, entre otros.

Este ensayo es de vital importancia porque nos brinda una información valiosa acerca de la calidad de las baldosas, y dependiendo de los resultados de esas resistencias, se decidirá el uso adecuado para su utilización.

Absorción de agua

Para este ensayo la absorción total de las muestras no será mayor que el 8% en masa. Procedimiento operatorio:

Después de preparadas las probetas a temperatura ambiente, estas se saturan hasta alcanzar la masa constante. La pérdida de la masa se expresa como porcentaje de la masa de la probeta seca.

Este ensayo nos permite saber la absorción de líquidos en este caso de agua de las baldosas que no debe exceder el 8 % en masa.

Dimensiones:

En esta norma se determinan las siguientes dimensiones:

- Rectitud de los bordes de la cara vista.
- Espesor de la cara huella (segunda capa).
- Planicidad de la cara vista (primera capa).

El cumplimiento de esta especificación es importante, porque forma parte importante en la calidad del producto, las correctas dimensiones forman parte de la belleza de la baldosa en general.

1.11 Conclusiones parciales del capítulo:

Teniendo en cuenta lo expuesto en este capítulo se arriban a las siguientes conclusiones:

1. Los aditivos aceleradores del fraguado y la resistencia son efectivamente usados en las mezclas de hormigón, porque aumentan las resistencias a edades tempranas proporcionando el desmolde rápidamente y a su vez aumenta el ciclo de producción de la planta.
2. La resistencia de los hormigones en general dependen mucho de la relación agua cemento y los aditivos reductores de agua y aceleradores de resistencia, logran disminuir considerablemente la adición de agua en las mezclas de hormigones.
3. Nuestro país tiene un índice de consumo de 150kg de crudo para producir 1ton de cemento, según este consumo es elevado por lo que sería conveniente disminuir los consumos de cemento.

4. Al aplicar el aditivo DISTIN 204 en la producción de baldosas, las muestras de ellas se ensayan y deben cumplir con los parámetros de calidad como son: diferentes resistencias mecánicas y dimensiones establecidas.

Capítulo 2: Materiales y Métodos

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

Se obtiene a escala de laboratorio el aditivo DISTIN 204 plastificante y acelerador de la resistencia, describiendo de forma general el proceso de obtención, así como los aparatos y utensilios empleados. Se describe el proceso de producción de baldosas de la empresa y se caracterizan los equipos empleados y los métodos de ensayos físico-mecánicos del producto final. Se muestra el diseño de experimentos para la investigación y se los métodos de ensayos para determinar la calidad de las baldosas bicapas.

2.1 Obtención del aditivo DISTIN 204 a escala de laboratorio

Se realiza una descripción del proceso de obtención del aditivo DISTIN 204 plastificante y acelerador de la resistencia a escala de laboratorio así como los aparatos y utensilios empleados. El aditivo fue sintetizado en los laboratorios de la carrera de ingeniería química de la Universidad de Matanzas.

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

- Beaker con una capacidad de 5000ml.
- Balanza técnica de 0,001g de precisión.
- Agitador de vidrio.
- Campana de extracción.
- Termostato de aceite.
- Agitador de paletas.
- Termómetro de bulbo hasta 200°C con una precisión de 0,5°C.
- Probeta de vidrio de capacidad de 1000ml y probeta plástica de capacidad de 100ml.

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

Se añade agua a un beaker, se adiciona el sulfito de sodio (Na_2SO_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 a 130) °C hasta que la temperatura de la mezcla alcance (102-104) °C momento en el cual ocurre la reacción mostrando un cambio de coloración durante el cual mediante un procedimiento de laboratorio se refuerzan las propiedades tensoactivas manteniendo un tiempo de agitación continua de una hora aproximadamente. Finalmente se enfría el producto líquido a temperatura ambiente y es enviado a los recipientes de envase. (Rodríguez, 2014)

2.2. Ensayos de caracterización del aditivo DISTIN 204

Se determina las características del aditivo DISTIN 204 de acuerdo a las normas cubanas consultadas (NC 271-1: 2003, NC 271-2: 2003, NC 271-3: 2003, para determinar los sólidos totales, la densidad, el pH, el contenido de cloruros y la solubilidad en agua. Estos ensayos fueron realizados en los laboratorios de ingeniería química de la Universidad de Matanzas.

➤ Determinación de sólidos totales

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

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

Dónde:

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

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

➤ **Determinación de la densidad**

Se pesa limpio y seco el picnómetro Gay Lussac de 50 cm³ para determinar su masa pesándolo en balanza analítica de (0-200) g de capacidad con una precisión de 0,0001g, posteriormente se llena completamente el picnómetro de Gay Lussac con la muestra de aditivo y se coloca la tapa, teniendo especial cuidado de que la muestra suba hasta el extremo superior de ésta. Se deja en reposo el picnómetro con la muestra en el local donde se realizan las pesadas a una temperatura estable de los 25° C, seguidamente se pesa el picnómetro con la muestra en la balanza analítica. Este procedimiento es replicado tres veces para comprobar la veracidad de la medición. Para obtener la densidad del aditivo se emplea la siguiente expresión:

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

Dónde:

d: densidad (g/cm³).

m1: Masa del picnómetro seco (g).

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

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

➤ **Determinación de pH**

Se emplea un medidor de pH con electrodo de vidrio y de calomel saturado y se calibra el mismo con una solución buffer de pH 9 para aditivos con pH mayor de 7. Se toman tres muestras de (30 a 40) cm³ de aditivo en un vaso de precipitado de 50 cm³. Se introducen los electrodos del medidor de pH, se agita la solución para homogeneizarla convenientemente y se lee en la escala de pH, después de verificar una lectura estable. Los resultados medidos con la precisión del pH-metro se expresará con una cifra decimal, a 20 ±1°C. Los resultados son la media aritmética de las tres medidas

realizadas, si ninguno de los tres valores se diferencia en más de 0,2 unidades de la media; en caso contrario, se repetirá la medición.

2.3 Características de las materias primas para la fabricación de baldosas hidráulicas

2.3.1 Características del cemento

Para la fabricación de las baldosas hidráulicas se utilizó el cemento Portland P-350 procedente de la fábrica de Cienfuegos el cual cumple con las características que se requieren para su utilización según las normas cubanas de control de la calidad NC 100: 2001 Cemento de alta resistencia inicial y las especificaciones de la NC 95: 2001 Cemento Portland. El cual cumple requisitos establecidos según la norma. Ver (Anexo 1).

2.3.2 Características del polvo de piedra

El árido grueso que se emplea, es el granito procedente de la planta: “Antonio Maceo”, el cual cumple con las características según la norma de control de la calidad:

-NC 251: 2013. Áridos para hormigones hidráulicos. ([Anexo 2](#)).

2.3.3 Características del granito

El granito que se utiliza es procedente de la planta “Planta Libertad”, el cual cumple con las características según la norma de control de la calidad:

-NC 251: 2013. Áridos para hormigones hidráulicos. ([Anexo 2](#)).

Los ensayos determinan que esta materia prima posee un estado de conformidad, con respecto a los análisis realizados. ([Anexo 2](#))

2.4 Descripción del proceso tecnológico para la elaboración de baldosas hidráulicas:

La planta de baldosas: “Juan Gualberto Gómez” está ubicada: en el municipio de Limonar, provincia Matanzas, perteneciente a la Empresa Materiales de la Construcción.

El proceso para la elaboración de baldosas hidráulicas tipo bicapas es discontinuo, tanto las materias primas almacenadas como el proceso productivo están bajo techo, el cemento específicamente esta en silos. La primera etapa ocurre en la mezcladora, donde se mezclan las materias primas correspondientes al agua, cemento, polvo piedra y el granito, todas estas materias primas corresponden a la primera capa de la

baldosa, también esta capa es denominada capa vista; después de obtener una mezcla homogénea, el o los obreros dependiendo del caso llevan manualmente a través de una carretilla, la mezcla hacia las 3 prensas hidráulicas. Los operarios de las prensas añaden la mezcla húmeda en el molde de 30x30 cm² y después la capa seca que contiene cemento y el mismo polvo de piedra, pero con una granulometría mayor, después el operario ejecuta el prensado. Seguidamente de la etapa de prensado, las baldosas deben fraguar por 3 días para el posterior pulido, luego se deben almacenar un mínimo de 4 días para la comercialización del producto. El diagrama del proceso tecnológico para la elaboración de baldosas hidráulicas tipo bicapas se puede observar en el [Anexo 3](#).

2.5 Dosificación de las mezclas de hormigón para la elaboración de baldosas bicapas.

La realización de los ensayos de calidad en baldosas bicapas se efectúan a escala industrial por lo tanto las dosificaciones empleadas en el diseño de las muestras son las que se utilizan actualmente en la planta; primero se obtuvo la mezcla patrón (sin adición de aditivo) y después las mezclas que contienen la dosis de aditivo con parámetros constantes de agua y cemento, y con reducción de cemento. Inicialmente en la investigación se realizaron 3 ensayos de mezclas de hormigón con aditivo variando la dosis del mismo en 0,3%, 0,6% y 1% respectivamente para determinar cuál es la dosis óptima manteniendo constante la relación agua/cemento y los áridos.

Estos ensayos preliminares tienen una gran importancia en la investigación ya que se sabe si el aditivo mejora las propiedades físico-mecánicas de las baldosas, con un resultado positivo de estos entonces se procede al ensayo con reducción de cemento.

La incorporación de los aditivos en la mezcla es la siguiente: debe disolverse en parte del agua de la amasada antes de ser añadida a esta. Después se le añade a los áridos y el cemento parte del agua sin el aditivo, posteriormente se le añade el agua contenedora del aditivo y finalmente si la mezcla no queda totalmente homogénea se le puede añadir más agua, hasta lograr la homogeneidad. (Téllez y Salgado, 1988).

2.5.1 Dosificación de las mezclas de hormigón para la mezcla patrón

Es importante realizar una muestra patrón para cada día de fundición en esta investigación fueron 3 días, ya que la humedad de los áridos pueden cambiar de un día a otro, al igual que la dureza del granito, diferentes contaminaciones, todas estas variables podrían variar en mayor o en menor magnitud los resultados obtenidos, por lo tanto cada muestra se comparara con la muestra patrón de ese día de fundición.

Tabla 2.1 Dosificación de materiales para la mezclas patrones

| Material | Cantidad | | |
|-----------------------------------|----------|----------|----------|
| | Patrón 1 | Patrón 2 | Patrón 3 |
| Cemento (kg) | 50 | 50 | 50 |
| Polvo de piedra (m ³) | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| Granito (m ³) | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| Agua (l) | 21,8 | 18 | 25 |
| Relación agua/cemento | 0,44 | 0,36 | 0,5 |

2.5.2 Dosificación de las mezclas de hormigón con las dosis de aditivo de 0.3%, 0.6% y 1%

Ahora de acuerdo con (Télez y Salgado, 1988), la dosificación en litros de aditivo o la cantidad de aditivo a añadir en la mezcla de hormigón se calcula por la siguiente ecuación:

$$\text{Cantidad de aditivo} = \frac{\text{kg de cemento} \cdot \% \text{ aditivo}}{\rho \text{ aditivo} \cdot \% \text{ sólidos}} \quad \text{ec-2.1}$$

Dónde:

% aditivo: dosis de aditivo empleada (%)= 0.3%; 0.6% y 1%.

kg de cemento: cantidad de cemento empleada en cada amasada (kg)= 50.

Concentración de sólidos: porcentaje de sólidos totales del aditivo (%)= 32,5.

Densidad: consistencia del aditivo (kg/l)= 1,1694.

Cuando se le adiciona el aditivo a una mezcla de hormigón hay que tener en cuenta que este incorpora agua a la mezcla porque es uno de sus componentes; por lo tanto para lograr el producto con la calidad requerida o establecida se mantiene constante la relación agua/cemento para lograr una comparación con iguales condiciones que la mezcla patrón. Para mantener constante la relación agua/cemento es necesario

calcular la cantidad de agua que contiene el aditivo y determinar la cantidad de agua que se le añade a la amasada a partir de la diferencia del agua total de la amasada y la cantidad de agua que incorpora el aditivo. A continuación se exponen las ecuaciones que se emplearon con sus resultados:

$$Cant.sólidos = cant.aditivo \cdot \%sólidos \quad ec-2.2$$

$$Cant.agua.en.aditivo = cant.aditivo - cant.sólidos \quad ec-2.3$$

$$Cant.agua.añadir = Cant.agua.de.amasada - Cant.agua.en.aditivo \quad ec-2.4$$

Dónde:

% sólidos: por ciento de sólidos totales del aditivo empleado (%)= 32.5%.

Empleando las ecuaciones anteriores se determina la cantidad de agua que tiene el aditivo el cual incorpora a la mezcla y la cantidad de agua utilizada en la mezcla de hormigón donde sumando las dos dará un total de agua de amasado de 21,8 litros para mantener constante la relación agua/cemento. A continuación se muestra en la tabla 2.2 se muestran los resultados para cada una de las dosis.

Tabla 2.2 Dosificación de agua para la mezcla con 0,3%, 0,6% y 1% de aditivo.

| Parámetros | Dosis | | |
|---------------------------------|-------|-------|-------|
| | 0.3% | 0.6% | 1% |
| Cantidad agua en aditivo (l) | 0,27 | 0,54 | 0,90 |
| Cantidad agua a añadir (l) | 21,50 | 21,20 | 20,90 |
| Cantidad agua total amasada (l) | 21,80 | 21,80 | 21,80 |
| Relación agua/cemento | 0,44 | 0,44 | 0,44 |

A continuación se muestra en la siguiente tabla las dosificaciones para las diferentes dosis de aditivo.

Tabla 2.3 Dosificación de materiales para la mezcla con 0,3%, 0,6% y 1% de aditivo, con cemento constante (Variante 1)

| Material | Dosis | | |
|-----------------------------------|-------|------|------|
| | 0,3% | 0,6% | 1% |
| Cemento (kg) | 50 | 50 | 50 |
| Polvo de piedra (m ³) | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| Granito (m ³) | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| Agua total (l) | 21,8 | 21,8 | 21,8 |
| Aditivo (l) | 0,40 | 0,80 | 1,33 |
| Relación a/c | 0,44 | 0,44 | 0,44 |

2.5.3 Dosificación de las mezclas de hormigón con reducción de cemento para una dosis de aditivo de 0,6%

Con la dosis de aditivo de 0.6% se realizan las dosificaciones de la mezcla de hormigón para varios porcentos de reducción de cemento (5%, 10% y 15%) manteniendo constante la relación agua/cemento comparándola con el patrón 2, con el objetivo de determinar hasta que porciento se logra una reducción de cemento sin afectar la calidad del producto cumpliendo con las normativas y con los resultado de la muestra patrón. A continuación se muestra en la tabla las diferentes dosificaciones para los porcentos de reducción de cemento.

Tabla 2.4 Dosificación de materiales para la mezcla con 0.6% de aditivo variando el porcentaje del cemento. (Variante 2)

| Material | % de reducción de cemento para cada ensayo | | |
|-----------------------------------|--|-------|-------|
| | 5% | 10% | 15% |
| Cemento (kg) | 47.5 | 45 | 42.5 |
| Polvo de piedra (m ³) | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| Granito (m ³) | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| Agua total (l) | 17,10 | 16,20 | 15,30 |
| Aditivo (l) | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| Relación a/c | 0,36 | 0,36 | 0,36 |

Se emplean las ecuaciones 2.2, 2.3 y 2.4 para determinar la cantidad de agua a añadir teniendo en cuenta cada una de las reducciones de cemento para mantener constante la relación a/c y los resultados se muestran a continuación:

Tabla 2.5 Dosificación de agua para la mezcla con 0,6% de aditivo variando el porcentaje del cemento

| Parámetros | % de reducción de cemento | | |
|---------------------------------|---------------------------|-------|-------|
| | 5% | 10% | 15% |
| Cemento (kg) | 47,50 | 45,00 | 42,50 |
| Relación agua/cemento | 0,36 | 0,36 | 0,36 |
| Cantidad agua total amasada (l) | 17,10 | 16,20 | 15,30 |
| Cantidad agua en aditivo (l) | 0,51 | 0,48 | 0,45 |
| Cantidad agua a añadir (l) | 16,58 | 15,71 | 14,84 |

2.5.4 Dosificación de las mezclas de hormigón con reducción de cemento para una dosis de aditivo de 1%

Con la dosis de aditivo de 1% se realizan las dosificaciones de la mezcla de hormigón para varios porcentos de reducción de cemento (5%, 10% y 15%) manteniendo constante la relación agua/cemento con el objetivo de determinar hasta que porcentaje se logra una reducción de cemento sin afectar la calidad del producto cumpliendo con las normativas y con los resultado de la muestra patrón. A continuación se muestra en la tabla las diferentes dosificaciones para los porcentos de reducción de cemento.

Tabla 2.6 Dosificación de materiales para la mezcla con 1% de aditivo variando el porcentaje del cemento

| Material | % de reducción de cemento | | |
|-----------------------------------|---------------------------|-------|-------|
| | 5% | 10% | 15% |
| Cemento (kg) | 47.5 | 45 | 42.5 |
| Polvo de piedra (m ³) | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| Granito (m ³) | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| Agua total (l) | 17,10 | 16,20 | 15,30 |
| Aditivo (l) | 1,26 | 1,20 | 1,13 |
| Relación a/c | 0,36 | 0,36 | 0,36 |

Se emplean las ecuaciones 2.2, 2.3 y 2.4 para determinar la cantidad de agua a añadir teniendo en cuenta cada una de las reducciones de cemento para mantener constante la relación a/c y los resultados se muestran a continuación:

Tabla 2.7 Dosificación de agua para la mezcla con 1% de aditivo variando el porcentaje del cemento (Variante 2)

| Parámetros | % de reducción de cemento | | |
|---------------------------------|---------------------------|-------|-------|
| | 5% | 10% | 15% |
| Cemento (kg) | 47.5 | 45 | 42.5 |
| Relación agua/cemento | 0.36 | 0,36 | 0,36 |
| Cantidad agua total amasada (l) | 17,10 | 16,20 | 15,30 |
| Cantidad agua en aditivo (l) | 0,85 | 0,81 | 0,76 |

2.5.5 Dosificación de las mezclas de hormigón con reducción de cemento para las dosis de aditivo de 0.6% y 1%

Con las dosis de aditivo de 0.6% y 1% se realizan las dosificaciones de la mezcla de hormigón para varios porcentos de reducción de cemento (20% y 30%) la cual se compara con el patrón 3 variando ligeramente la relación agua/cemento. A continuación se muestra en la tabla las diferentes dosificaciones para los porcentos de reducción de cemento.

Tabla 2.8 .Dosificación de materiales para la mezcla con 0.6% y 1% de aditivo variando el porcentaje del cemento

| Material | Dosis 0.6% | | Dosis 1% | |
|-----------------------------------|------------------------|------|------------------------|------|
| | % reducción de cemento | | % reducción de cemento | |
| | 20% | 30% | 20% | 30% |
| Cemento (kg) | 40 | 35 | 40 | 35 |
| Polvo de piedra (m ³) | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| Granito (m ³) | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| Agua total (l) | 23.7 | 23,4 | 23,3 | 23 |
| Aditivo (l) | 0,63 | 0,55 | 1,05 | 0,92 |
| Relación a/c | 0,60 | 0,66 | 0,58 | 0,65 |

Se emplean las ecuaciones 2.2, 2.3 y 2.4 para determinar la cantidad de agua a añadir teniendo en cuenta cada una de las reducciones de cemento para mantener constante la relación a/c y los resultados se muestran a continuación:

Tabla 2.9. Dosificación de agua para la mezcla con 0.6 y 1% de aditivo variando el porcentaje del cemento (Variante 2)

| Parámetros | Dosis 0.6% | | Dosis 1% | |
|---------------------------------|---------------------|------|---------------------|------|
| | % reducción de cem. | | % reducción de cem. | |
| | 20% | 30% | 20% | 30% |
| Cemento (kg) | 40 | 35 | 40 | 35 |
| Relación agua/cemento | 0,6 | 0,66 | 0,58 | 0,65 |
| Cantidad agua total amasada (l) | 23,7 | 23,4 | 23,3 | 23 |
| Aditivo (l) | 0,63 | 0,55 | 1,05 | 0,92 |
| Cantidad agua en aditivo (l) | 0,425 | 0,37 | 0,71 | 0,62 |

2.6 Diseño de experimento para la evaluación de las baldosas bicapas

La siguiente tabla muestra el diseño de experimentos, que guían los experimentos en esta investigación con el objetivo de determinar la variante más conveniente, y si es efectivo o no la inclusión del aditivo en el proceso.

Tabla 2.10. Diseño de experimentos

| No. de Experimento | Variante | Dosis de Aditivo (%) | Cantidad de Cemento (kg) | Relación agua-cemento |
|--------------------|----------|----------------------|--------------------------|-----------------------|
| 1 | Patrón 1 | - | 50 | 0,44 |
| 2 | V-1 | 0,3 | 50 | 0,44 |
| 3 | V-1 | 0,6 | 50 | 0,44 |
| 4 | V-1 | 1 | 50 | 0,44 |
| 5 | Patrón 2 | - | 50 | 0,36 |
| 6 | V-2 | 0,6 | 47,5 | 0,36 |
| 7 | V-2 | 0,6 | 45 | 0,36 |
| 8 | V-2 | 0,6 | 42,5 | 0,36 |
| 9 | V-2 | 1 | 47,5 | 0,36 |
| 10 | V-2 | 1 | 45 | 0,36 |
| 11 | V-2 | 1 | 42,5 | 0,36 |
| 12 | Patrón 3 | - | 50 | 0,5 |
| 13 | V-2 | 0,6 | 40 | 0,60 |
| 14 | V-2 | 0,6 | 35 | 0,66 |
| 15 | V-2 | 1 | 40 | 0,58 |
| 16 | V-2 | 1 | 35 | 0,65 |

Se tomaron para cada experimento 21 losas, 4 para absorción, 4 para flexión y 4 para dimensiones, según la NC 237,2009. Para la toma de muestras y las otras 9 restantes es para en caso de rotura al pasar por la pulidora, transportación, manipulación entre otros, sumando un total de 336 baldosas.

2.7 Descripción de la metodología empleada para determinar la calidad para baldosas hidráulicas, según la norma NC 237, 2009

A continuación se brindan los principales equipos y ensayos para determinar la calidad de las muestras tomadas de la producción de baldosas en Limonar.

2.7.1 Principales equipos utilizados en el laboratorio

Estos ensayos fueron realizados en el laboratorio de la ENIA (Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas) en el municipio de Matanzas, debido a que la planta de baldosas de Limonar no cuenta con un laboratorio para la realización de los ensayos de calidad.

Tabla 2.11. Principales equipos y características en el laboratorio.

| Equipo | Marca | Rango de Medición | Clase de exactitud | País |
|---------------------------------------|----------|-------------------|--------------------|--------|
| Balanza | - | 5-2610g | 0.1g | USA |
| Pie de Rey | MITUTOYO | 0-200mm | 0.05mm | Japón |
| Cinta de Medición | WYNN´S | 0-3m | - | - |
| Cortadora (Anexo 4) | - | - | - | España |
| Estufa | SACURA | - | - | Japón |
| Prensa Hidráulica | CONTROLS | 100-2500kN | 1kN | Italia |

2.7.2 Resistencia mecánica

Procedimiento

De cada losa que constituye la muestra de ensayo se cortarán dos probetas, las cuales serán de 100 mm de ancho por la longitud de la baldosa de acuerdo con su formato. La distancia entre los soportes será de 2/3 de la longitud de la baldosa, pero en el caso de que la separación entre apoyos inferiores (I) sea inferior a tres veces el espesor de la baldosa, se reducirá la distancia entre los soportes y el borde de la baldosa a la mitad del espesor de esta. La distancia entre apoyos inferiores (I) estará dentro del 0,5% de la distancia especificada, redondeando al número entero más cercano, en mm. Se coloca cada una de las 4 baldosas que componen la muestra, con su cara vista (hacia la barra de carga), simétricamente respecto a los soportes inferiores de la máquina de ensayo y de forma que su lado más corto este paralelo a estos soportes. La carga se aplicará sin golpes y se incrementará uniformemente hasta la rotura, con una velocidad tal que la rotura se produzca en (45 ± 15) s. De no ser así la probeta se sustituirá por otra.

El módulo de flexión T en MPa de cada baldosa se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$T = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot h \cdot l^2}$$

ec. 2.3

Donde:

T: es el módulo de flexión de la baldosa, en MPa (N/mm²).

P: es la carga de rotura de la baldosa, en N.

L: es la distancia entre apoyos inferiores, en mm.

h: es la anchura de la baldosa en el plano de rotura en mm.

l: es el espesor de la baldosa en el plano de rotura, en mm.

Se registrará la resistencia T en MPa y la carga de rotura P en kN de cada ensayo individual.

2.7.3 Determinación de la absorción total de agua

Materiales:

- Agua potable a temperatura ambiente

Procedimiento:

Se sumergen las probetas en agua potable a la temperatura ambiente utilizando el recipiente hasta que se alcance la masa constante M1. Se separan las probetas una de las otras al menos 15mm y se asegura que existe un mínimo de 20mm de agua sobre ellas. El período de inmersión debe ser de 72 horas mínimo y la masa constante se dará por alcanzada cuando dos pesadas en un intervalo de 24 horas muestren una diferencia en la masa de la probeta inferior al 0,1%, antes de cada pesada, se limpia la probeta con un trapo que previamente habrá sido humedecido y escurrido para eliminar cualquier exceso de agua. El secado es correcto cuando la superficie del hormigón esté mate.

Se coloca cada probeta en la estufa, de tal forma que la distancia entre cada probeta sea de al menos 15mm. Se seca la probeta a una temperatura de $(105 \pm 5) ^\circ \text{C}$, utilizando el recipiente hasta que alcance la masa constante M2. El período mínimo de inmersión debe ser de 72 horas y la masa constante se dará por alcanzada cuando dos pesadas realizadas en un intervalo de 24 horas muestren una diferencia en la masa de la probeta inferior al 0,1%. Se deja que las probetas se enfríen a temperatura ambiente antes de ser pesadas.

Cálculo de los resultados:

Se calcula la absorción de agua W_a , de cada probeta como un porcentaje de su masa empleando la siguiente ecuación:

$$W_a = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100$$

ec. 2.4

m1- masa inicial de la probeta expresada en gramos.

m2- masa final de la probeta expresada en gramos.

Se calcula la absorción de agua de la muestra como el valor promedio de los valores de absorción de agua de las probetas.

2.8 Conclusiones parciales del capítulo:

1. Se describe el proceso de obtención del aditivo DISTIN-204, así como los utensilios, cristalería utilizada y algunos métodos de ensayos que se le aplican a estos productos químicos.
2. Se caracterizan las materias primas utilizadas para la producción de las baldosas hidráulicas.
3. Se propone el diseño de experimentos a realizar en la investigación, como algunos métodos de ensayos que se le realizan a las baldosas hidráulicas.
4. Se explica la metodología empleada para la realización de los ensayos de calidad en baldosas hidráulicas, según la norma NC 237, 2009.

3.1 Resultado de la caracterización del aditivo **DISTIN 204**

La caracterización de este aditivo se realiza en los laboratorios de Ingeniería Química de la Universidad de Matanzas y no se compara con ningún otro aditivo debido a que la planta donde se realiza la investigación no emplea ningún aditivo.

*Tabla 3.1. Caracterización del aditivo **DISTIN 204***

| | |
|------------------------|------------|
| pH | 9,89 |
| Densidad (kg/l) | 1,1694 |
| % sólidos | 32,48 |
| Olor | Penetrante |
| Color | Ámbar |

Capítulo 3: Análisis de los resultados

En este capítulo se describen y analizan los resultados obtenidos a partir de los ensayos descritos en capítulo anterior, como por ejemplo los ensayos de resistencia a la flexión a diferentes dosis de aditivo, así como se evaluaron las muestras con reducción de cemento. A partir de estos resultados se realiza un análisis económico, para determinar la influencia del aditivo propuesto desde el punto de vista económico, para determinar si es económicamente factible su inserción en la producción de baldosas de la planta objeto de estudio.

3.2 Análisis de los ensayos a la resistencia a flexión

A continuación se presentan los gráficos de los resultados obtenidos en toda la investigación realizada y un análisis de estos.

3.2.1 Resultados de la resistencia media a flexión a diferentes dosificaciones de aditivo

En el siguiente gráfico se muestran los resultados obtenidos a partir de los ensayos descritos en el capítulo anterior, donde en esta primera variante se ensayaron las muestras manteniendo todos los parámetros constantes como son: la cantidad de cemento, áridos y una relación de agua-cemento constante, variando la dosis de aditivo a las edades de 15 y 28 días.

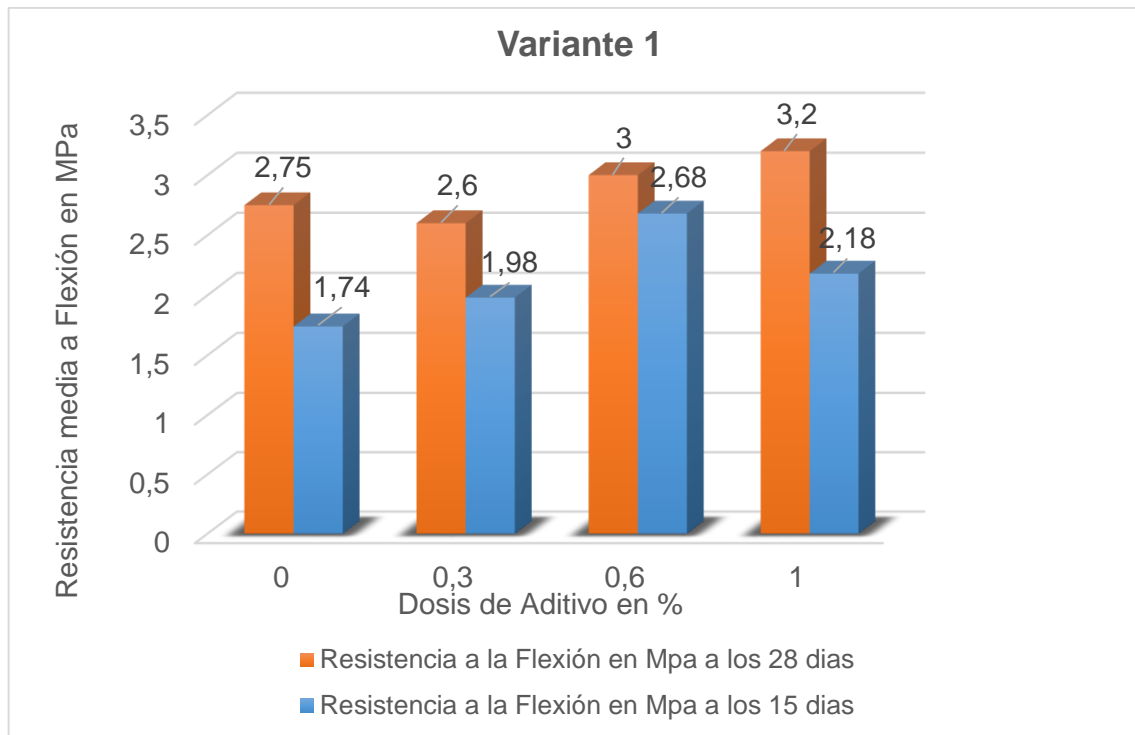


Gráfico 3.1 Resistencia media a flexión variando la dosis de aditivo a diferentes edades.

Según los resultados obtenidos se puede observar que al añadir las dosificaciones de aditivo, reflejan mayor resistencia a la edad de 15 días, lo que demuestra la efectividad positiva en cuanto a resistencia mecánica a edades tempranas. También se realiza una comparación de las muestras a las edades de 15 y 28 días, donde se comprueba que las muestras a medida que aumente la edad logran un incremento de la resistencia, destacando que la muestra patrón no cumple con la norma NC: 237-2009, la cual establece que para un uso normal la resistencia a flexión a los 28 días debe estar entre de 2,8 y 3.5 MPa; a diferencia de las muestras con dosificación de 0,6 y 1 % si cumplen con los valores establecidos según la norma.

3.2.2 Resultados de la resistencia media a flexión con reducción de cemento

En estos ensayos se determina la resistencia a la flexión con las reducciones de cemento de 5 %, 10%,15%,20% y 30 % de reducción de cemento, con las dosis de 0,6 y 1% que fueron las mejores dosis que se ensayaron previamente en la variante 1.

Para una reducción del 5 % se determina en el siguiente gráfico la resistencia media a la flexión a las edades de 15 y 28 días.

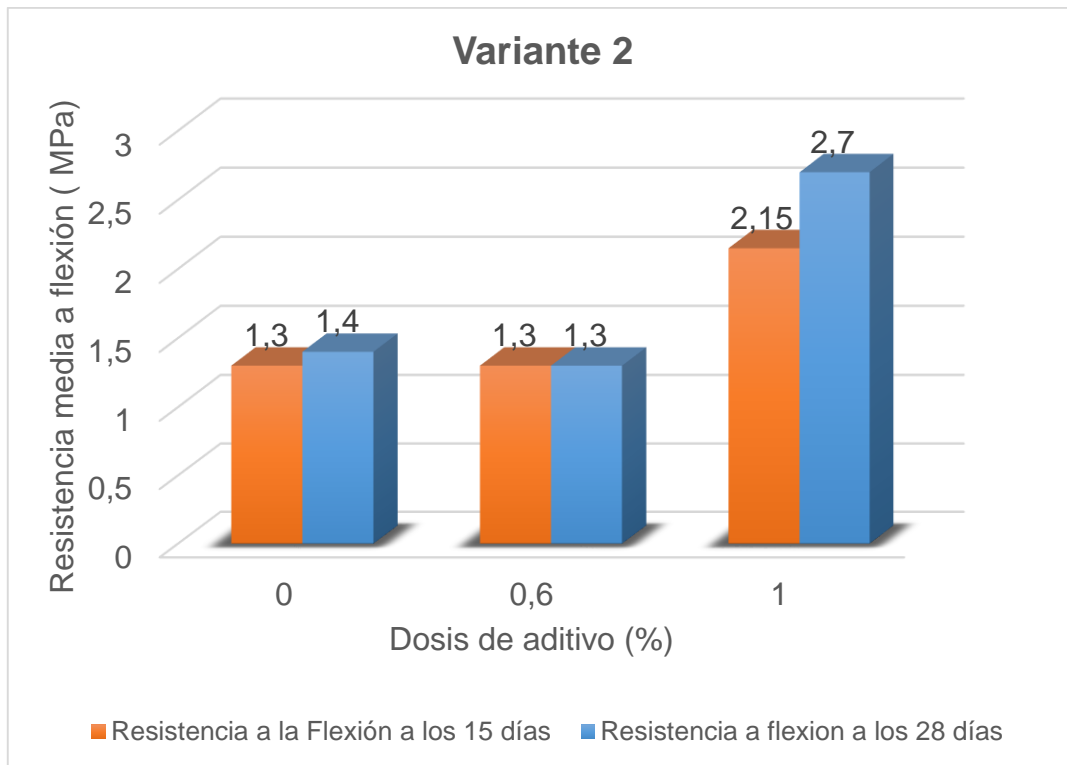


Gráfico 3.2 Resistencia media a flexión vs dosis de aditivo y reducción de un 5 % de cemento.

En estos resultados se puede observar: el no cumplimiento de las muestras con los parámetros de calidad en la norma NC 237 para baldosas, en este caso ocurre con los 3 ensayos, pero destacando que con la dosis de 1 % de aditivo, casi cumple con los parámetros normados. Una de las causas posibles a este fenómeno pudiera ser la mala calidad de los áridos por contaminación por lo que el con el empleo del aditivo la resistencia media a flexión se duplica, como es en este caso con la dosis de 1% de aditivo.

Para una reducción del 10 % se determina en el siguiente gráfico la resistencia media a flexión a las edades de 15 y 28 días:

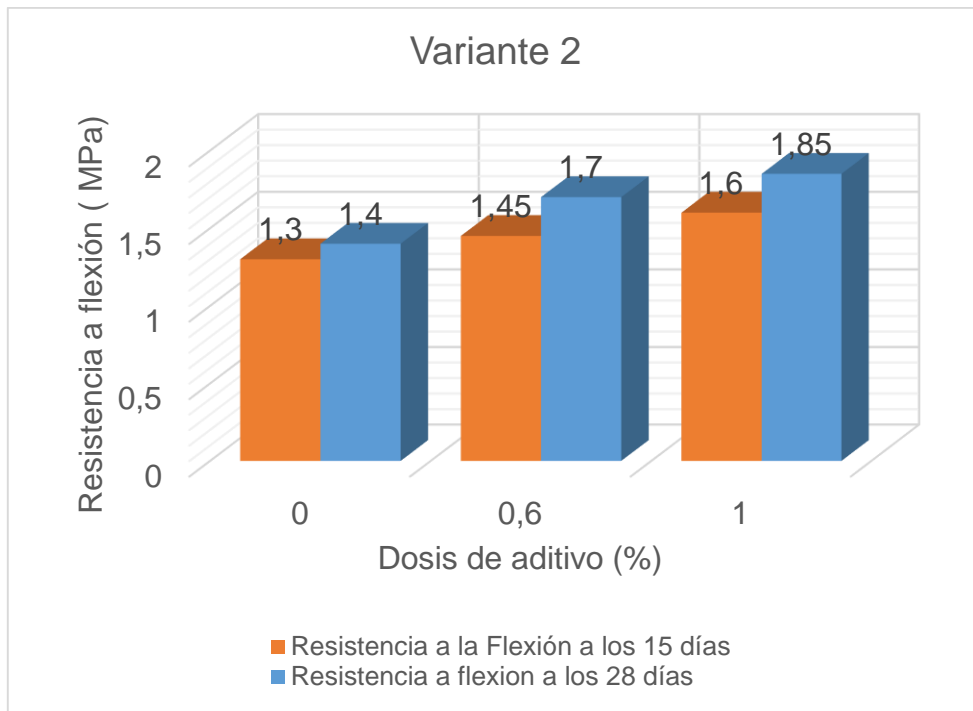


Gráfico 3.3 Resistencia media a flexión vs dosis de aditivo y reducción de un 10 % de cemento.

En estos ensayos ninguna de las variantes ensayadas está cumpliendo con los parámetros de calidad, pero con las dos dosis de aditivo la resistencia a la flexión es mayor en ambas edades. Lo que se reitera la explicación en los ensayos anteriores, de que el aditivo mejora las propiedades con respecto al patrón, incrementándose en la dosis con 1% de aditivo.

Para una reducción del 15 % se determina en el siguiente gráfico la resistencia media a flexión a las edades de 15 y 28 días.

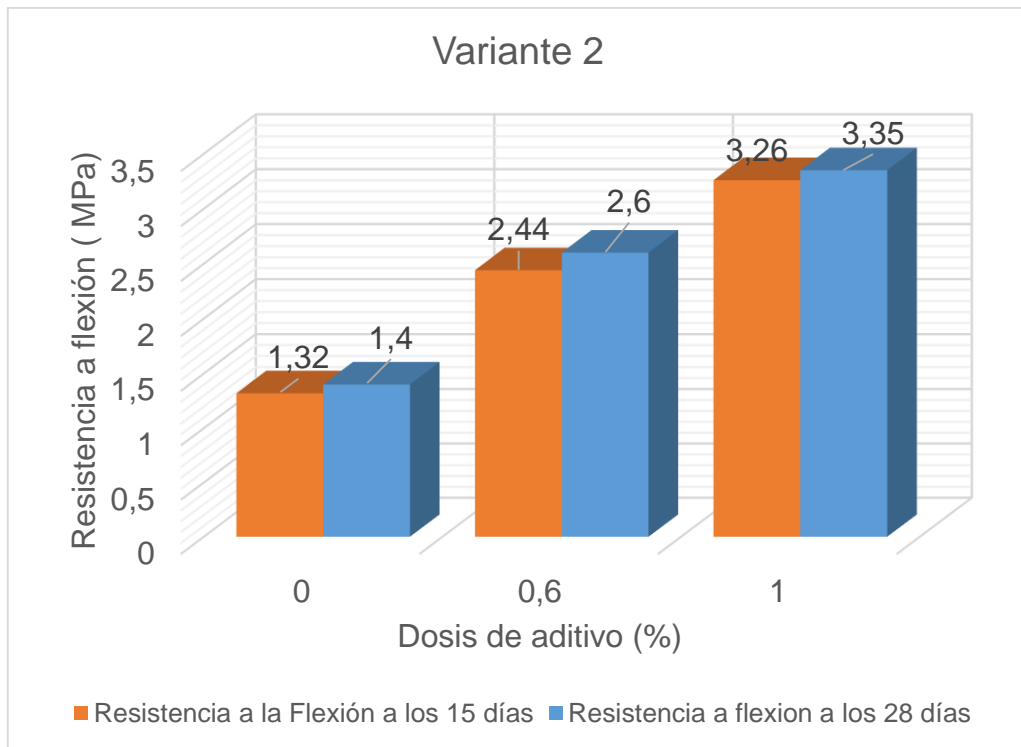


Gráfico 3.4. Resistencia media a flexión vs dosis de aditivo y reducción de un 15 % de cemento.

Atendiendo a los resultados de este gráfico se puede observar que con una reducción de un 15 % de cemento con la dosis de 0.6% la resistencia a la flexión mejora un 186 % con respecto al patrón, muy cerca de los parámetros establecidos por la norma NC: 237,2009. Con la dosis de 1% de aditivo la resistencia si cumple con la norma para un uso normal, y supera en 240 % la muestra patrón; destacando en este experimento la baja resistencia de la muestra patrón, que no cumple con la anterior norma. Esto puede ser provocado por la mala calidad de las materias primas, además se comprueba que el aditivo logra una reducción de cemento sin afectar la resistencia, e incluso se aumenta la misma a medida que se incrementa el tiempo de fundición.

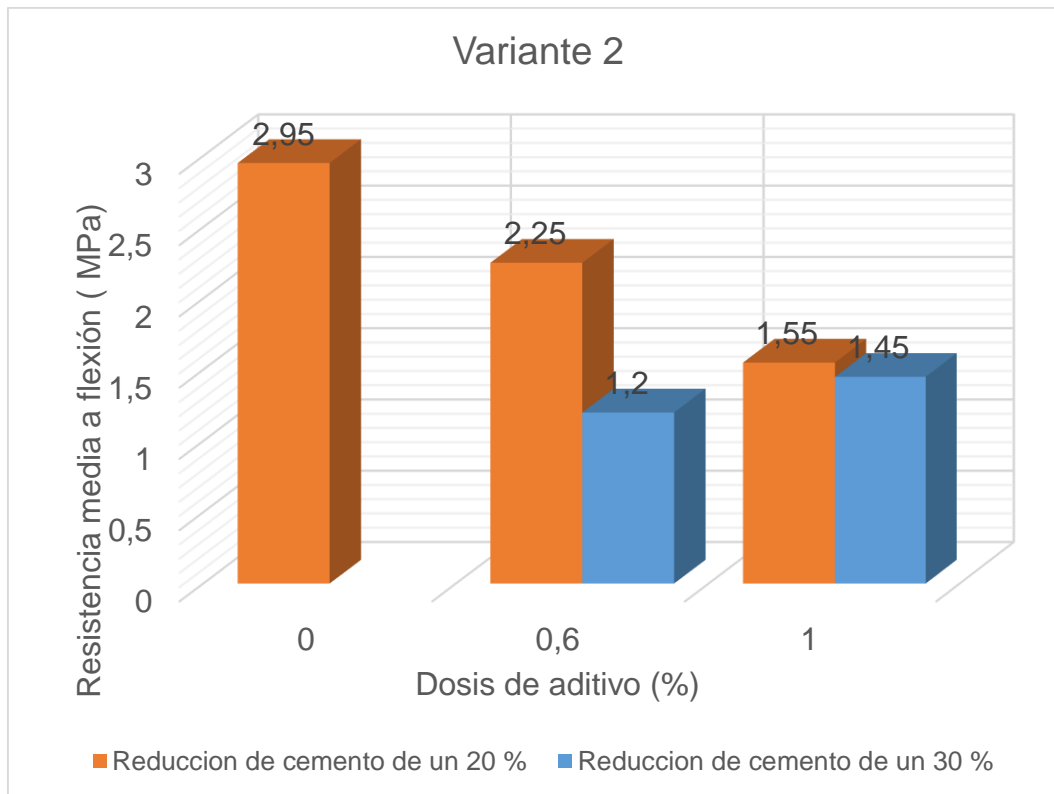


Gráfico 3.5. Resistencia media a flexión-dosis de aditivo con reducción de un 20 y 30 % de cemento a los 28 días.

En este ensayo a los 28 días el patrón es muy superior a las dosis ensayadas, lo que nos permite tener un límite de reducción de cemento, pero también hubo un incidente técnico en ese día de fundición, porque en esos días la producción de la planta e incluyendo el de este ensayo la mezcladora de la segunda capa, presentaba un problema de mantenimiento, que consistía en que no estaba dosificando bien entre el árido y el cemento, este problema se detectó después de realizar la investigación, por lo tanto pudo afectar el resultado de la investigación.

Este problema se detecta a raíz del aumento considerable de las roturas ([ver Anexo 5](#)) después de la etapa de pulido, por lo que afectó en general las resistencias de las baldosas.

Lo antes planteado tampoco justifica los bajos resultados de los ensayos, porque en cada ensayo se toma una muestra patrón para compararlos con los experimentos a realizar.

Ante este problema la fábrica adopta la medida: remoler las baldosas rotas, en un molino, con el objetivo de reutilizar los áridos en esas baldosas, pero esto aumenta los costos de electricidad de la fábrica, lo que conviene bajar el % de rotura.

3.3 Resultados de absorción de agua

Estos ensayos también fueron realizados en el laboratorio de la ENIA en Matanzas, provincia Matanzas.

Tabla 3.2. Absorción de agua de la Variante 1

| Muestra | Absorción (% en masa) |
|-------------|-----------------------|
| Patrón-1 | 24,41 |
| Dosis 0,3 % | 24,60 |
| Dosis 0,6 % | 24,53 |
| Dosis 1 % | 25,10 |

Ninguno de estos resultados de la absorción media cumplen con lo establecido en la norma (NC: 237,2009) que como se plantea en el capítulo 1, no deben exceder el 8 % en masa. Una de las causas de este fenómeno, podría ser la humedad que contienen los áridos para la producción en ese día de fundición, o la propia absorción de los áridos, por lo que en estas condiciones no se deberían comercializar las baldosas.

3.3.1 Absorción de agua de la Variante 2

A continuación se muestra los resultados de absorción para el patrón 2 y las dosis de aditivo de 0,6 y 1%, con las reducciones de cemento de 5, 10,15, 20, 30%.

Tabla 3.2. Absorción de agua de la Variante 2

| Muestra | Absorción (% en masa) |
|-------------------|-----------------------|
| Patrón-2 | 8,41 |
| Dosis 1% RC 5% | 8,04 |
| Dosis 1% RC 10% | 8,46 |
| Dosis 1% RC 15% | 7,92 |
| Dosis 0,6% RC 5% | 8,10 |
| Dosis 0,6% RC 10% | 7,65 |
| Dosis 0,6% RC 15% | 9,72 |
| Dosis 0,6% RC 20% | 9,55 |
| Dosis 0,6% RC 30% | 9,18 |

| | |
|-----------------|------|
| Dosis 1% RC 20% | 9,56 |
| Dosis 1% RC 30% | 8,89 |

Leyenda de la tabla

RC- Reducción de cemento

Para esta variante la absorción mejora en gran medida, ya que muchos de los experimentos bordean los valores normados, pero destacando la absorción de la variante 2 con un 15% y 10% de reducción de cemento y con una dosis de aditivo de 1 y 0,6% respectivamente que si cumplen con la norma.

Los ensayos realizados

3.4 Análisis económico

Para realizar un análisis económico para determinar las utilidades o pérdidas del aditivo en la inserción del proceso es necesario conocer los precios de las materias primas, a continuación se muestra la siguiente tabla con sus costos correspondientes:

Tabla 3.4. Costo de las materias primas, fuente:(MICONS, 2016)

| Materiales | Precio (\$/ton) |
|---------------------|------------------------|
| Granito 1ra capa | 23,13 |
| Polvo de piedra | 23,73 |
| Cemento | 163,89 |
| Aditivo (UMCC,2016) | 1,02 |

Tabla 3.5 Índices de Consumo para la fábrica de baldosas. (MICONS, 2016), [\(Ver Anexo 6\)](#).

| Producción de baldosas producidas | Consumo de cemento |
|-----------------------------------|--------------------|
| 1000m ² | 15,10ton |
| 11110 baldosas | 15,10ton |
| 114 baldosas | 50kg |
| 1 baldosas | 1,361kg |

Tabla 3.5. Índices de consumo para la fábrica productora de cemento de Cienfuegos: "Carlos Marx". (MINBAS, 2009).

| Producción cemento (ton) | Consumo de materias primas |
|--------------------------|----------------------------|
| 1 | 150kg de crudo |
| 1 | 124,8 kW |

Tabla 3.6 Costos de producción total sin aditivo. (MICONS, 2016).

| Costos \$/1000m ² | |
|------------------------------|-----------|
| Costos de Producción | 19 788,19 |
| Valor de la Producción | 21 943,04 |
| Ganancia | 2 154,85 |

Con los datos anteriores, se realiza el cálculo del ahorro de cemento, se calcula el costo de producción anual del aditivo y sin el aditivo.

Determinación del ahorro de cemento

Como se plantea anteriormente para producir una baldosa de 30x30 cm, se necesitan 1,361kg de cemento, pero solamente el 70% del cemento se utiliza en la capa húmeda o en la primera capa, por consiguiente: $1,361\text{kg} \cdot 0,7 = 0,95 \text{ kg}$, este valor es lo que representa la capa húmeda en la baldosa en kg, que es, donde el aditivo es adicionado.

Analizando los ensayos con reducción de cemento la mejor variante fue de un 15% el ahorro de cemento, se procede a calcular el ahorro de cemento por losa:

$$1,361\text{kg} - 0,1429\text{kg} = 1,212\text{kg}$$

Ahora el consumo de cemento por losa sería de 1,212kg que representa el 11% del total consumido por baldosa, sin aditivo, por tanto, se multiplica el consumo total anual por el nuevo consumo con reducción del 15% y se halla la diferencia entre el consumo total sin aditivo y con aditivo. Conociendo estos valores y resultados se muestra la siguiente tabla:

Tabla 3.7. Comparación económica de la producción de baldosas con aditivo y sin aditivo, por año de producción.

| Parámetros | Sin aditivo | Con Aditivo DISTIN 204 |
|----------------------------------|-------------|------------------------|
| Consumo Cemento (ton) | 66 5,31124 | 59 2,47408 |
| Ahorro de cemento (ton) | ----- | 72,8 |
| Valor del ahorro de cemento (\$) | ----- | 11 866,4 |
| Consumo de aditivo (l) | ----- | 10 555,6 |
| Costo del aditivo (\$) | ----- | 10 766 |
| Costo de producción (\$) | 870 680,36 | 869 579,96 |
| Disminución del CP (\$) | ----- | 1 100,4 |
| Ganancia total (\$) | 94 813,4 | 95 913,8 |

La tabla anterior refleja que la ganancia total se incrementa en 1,2% y el costo de producción total disminuye en 1%, estos porcentajes nos dicen que incluyendo el aditivo en el proceso productivo de la planta, la planta mantiene la ganancia y además la incrementa en un 1,2%, además haciendo cumplir las muestras ensayadas con los parámetros de calidad.

Tabla 3.7. Efecto del ahorro de cemento con el Aditivo DISTIN 204 con respecto a la fábrica productora de cemento de Cienfuegos: "Carlos Marx".

| Ahorro de cemento con el Aditivo DISTIN 204 | Ahorro de combustible o en energía |
|---|------------------------------------|
| 72,8 ton | 11 931kg de petróleo crudo |
| | 9 085,44kW |

Esta tabla nos brinda la información numérica del ahorro de combustible o en energía a la fábrica de cemento Portland de Cienfuegos. También analizando los resultados de la tabla, desde el punto de vista medioambiental y de producción más limpia: estos ahorros de materiales tienen un efecto positivo con relación al medio ambiente, porque sin afectar excesivamente los costos de producción de la fábrica de baldosas, se dejarían de combustionar 11931 kg de combustible para la fabricación de cemento, lo que trae consigo una disminución de los gases de efecto invernadero como son: el CO, CO₂, SO₂, CH₄, entre otros gases producto de la combustión de hidrocarburos.

Conclusiones parciales del capítulo:

1. Realizados los ensayos de la resistencia a flexión se obtuvo como mejor variante la dosificación de 1% de aditivo, con una reducción de un 15 % de cemento de la capa húmeda, que representa un 11% del total de cemento utilizado para cada baldosa, sin afectar la resistencia establecida por la norma NC 237-2009.
2. En los ensayos realizados de absorción de agua en la variante 1, ninguna muestra cumple con la norma, sin embargo en la variante 2 con una reducción de un 15% y un 10% a las dosis de 0,6% y 1% de aditivo, si cumplen con la normativa establecida.
3. Con el empleo del aditivo DISTIN 204 se alcanza un ahorro de cemento a la planta de 72,8 toneladas anuales, para la producir 44 000m² de baldosas.
4. La ganancia total se incrementa en 1,2% y el costo de producción total disminuye en 1%, estos porcentajes nos dicen que incluyendo el aditivo en el proceso productivo de la planta, la planta mantiene la ganancia y además la incrementa en un 1,2%, además haciendo cumplir las muestras ensayadas con los parámetros de calidad y esto representa en la fábrica productora de cemento de Cienfuegos: “Carlos Marx”, un ahorro de 11 931kg de petróleo crudo; a su vez, disminuye la emisión de gases de efecto invernadero, causantes del calentamiento global.

Conclusiones

1. La evaluación del aditivo DISTIN 204 logra reducir un 15% de la primera capa de la baldosa con una dosificación de 1% con respecto a la cantidad de cemento por amasada, sin afectar la resistencia a flexión, ni la absorción de agua, cumpliéndose con la hipótesis planteada.
2. Se logra sintetizar el aditivo DISTIN 204 a escala de laboratorio presentando las características siguientes: un pH de 9,89, un porcentaje de sólidos de 32,45 y una densidad de 1,1694 kg/l.
3. De las tres muestras patrón en diferentes días de producción de la planta ensayadas en la investigación solo una cumple con los parámetros normados según la Norma NC 237,2009, por lo no se debería comercializar el producto en esas condiciones.
4. El aditivo DISTIN 204 mejora las propiedades mecánicas a las baldosas, en todos los ensayos realizados, utilizando una dosis de 1%, exceptuando el ensayo con una reducción de cemento de 20% y 30%.
5. Con el empleo del aditivo DISTIN 204 en fábrica de Limonar: “Juan Gualberto Gómez” se alcanza un ahorro de cemento de 72,8 toneladas anuales, para producir 44 000m² de baldosas.
6. Para la fábrica productora de cemento de Cienfuegos: “Carlos Marx” disminución de la demanda de 72,8 toneladas, y esto representa un ahorro de 11 931kg de petróleo crudo; a su vez, disminuye la emisión de gases de efecto invernadero, causantes del calentamiento global.

Recomendaciones

1. Repetir los ensayos de reducción de cemento de un 20% y 30% con las dosificaciones de 0,6% y 1%, dados a los inconvenientes técnicos que ocurrieron en esta investigación para ese ensayo.
2. Diseñar una planta de producción del aditivo DISTIN 204, con el objetivo de bajar los costos de adquisición del mismo para las plantas que utilizan hormigón en Cuba.
3. Realizar un estudio sobre la utilización del aditivo en la producción de baldosas en la fábrica estudiada para conocer el % de rotura, sin aditivo y con aditivo.
4. Mantener un estricto control de la calidad de los áridos para la producción de la fábrica.

Bibliografía

1. Cánoves Valiente J., 2012. Evolución de la resistencia del hormigón de obra. Métodos de predicción a partir de los ensayos de control de la conformidad del hormigón, Universidad Politécnica de Valencia. pp-40.
2. Carrasco, Ma., 2012. Tecnología del Hormigón. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe.
3. Casabo, J., 1958. Fabricación de Mosaicos y Baldosas de Cemento. Librería y Editorial Nigar, S. R. L. Buenos Aires, Argentina.
4. Hester, Weston T., 1979. Superplasticizers in Ready Mixed Concrete (A Practical Treatment for Everyday Operations), National Ready Mixed Concrete Association, Publication No. 158, Silver Spring, Maryland.
5. <http://www.baldosahidraulica.com/> consultado en Enero 17,2015
6. Manual de Instrucciones, Mezcladora Segunda Capa. RIBA BC.2004.
7. Manual de Instrucciones. Alisadora Pulidora. RIBA 250/A.2004.
8. Manual de Instrucciones. Mezcladora. IPERBET 110.2004
9. Manual de instrucciones. Prensa Semiautomática Alternativa RIBA 250/A – RIBA 250/AS.1997
10. Martirena, José F., 2004.Una alternativa ambientalmente compatible para disminuir el consumo de aglomerante de clinker de cemento Portland: el aglomerante cal-puzolana como adición mineral activa / José F. Martirena Hernández. Tesis de grado de Doctor en Ciencias: UCLV (Const.);
11. MICONS. Reporte Estadístico 126 529 Consumo de cemento. MICONS; Diciembre 2009.
12. NC 237: 2009 Baldosas Hidráulicas de Terraso.
13. NC 271-1:2003. Aditivos Químicos, para Pastas, Morteros y Hormigones. Parte 1. Determinación de Sólidos totales.
14. NC 271-4:2003. Aditivos Químicos, para Pastas, Morteros y Hormigones. Parte Determinación de pH.
15. NC 272-2:2003. Aditivos Químicos, para Pastas, Morteros y Hormigones. Parte 2. Determinación de la Densidad.

16. Olcina Santos, 2014. Evolución de los aditivos en hormigón. Presente y futuro. Levante.pp-5
17. Ortega, S., 2005. "Aditivos para hormigón". Consultado en Enero 17, 2015 disponible en Internet en: <http://www.hormigononline.com/pdf/06aditivos/art_tec/AditivosMF.pdf>
18. Ortiz Lozano José Angel., 2005. Estudio experimental sobre la influencia de la temperatura ambiental en la resistencia del hormigón preparado. Tesis Doctoral. Barcelona, España.
19. Pineda, W., 2014. Anomalías Superficiales en Pavimentos de Mosaico Hidráulico: el Caso CMG. Trabajo Fin de Master. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España.
20. Ramachandran, V. S., 1995. Concrete Admixtures Handbook, Noyes Publications, Park Ridge, New Jersey.
21. Rixom, M. R., and Mailvaganam, N. P. 1986. Chemical Admixtures for Concrete, E. & F. N. Spon, New York.
22. Téllez, E., Salgado, N., 1989. Métodos de ensayos para evaluar aditivos. Curso de Postgrado. La Habana.
23. Vásquez, Agüero, E., 2009. Estudio de Diagnóstico para proponer Dosificaciones para bloques de hormigón. Tesis de Pregrado. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.
24. Whiting, D., and Dziedzic, W., 1992. Effects of Conventional and High-Range Water Reducers on Concrete Properties, Research and Development Bulletin RD107, Portland Cement Association.

Anexos


Anexo 1. Caracterización del Cemento Portland procedente de la fábrica de Cienfuegos: "Carlos Marx".

|  | EMPRESA NACIONAL DE INVESTIGACIONES APLICADAS UIC: <u>Matanzas</u> LABORATORIO DE ENSAYOS | | | | | | RG IA 23.3 | |
|--|--|---------|------------------|--|--|-----------|---------------------------------|---------------|
| | INFORME TECNICO DE CEMENTO | | | | | | | |
| TIPO DE CEMENTO <u>P-35 CIENFUEGOS S.A.</u> OBRA MUESTREADA: <u>PLANTA DE PREFABRICADO CANALETA.</u> FABRICA PRODUCTORA: <u>CIENFUEGOS S.A.</u> N°: _____ | | | | FECHA DE ENTRADA: 19/05/2016 MUESTRA LAB. N°: A-020-197 MUESTRA CLIENTE N°:3 LOTE | | | | |
| ENSAYO | CONDICIONES AMBIENTALES | | MÉTODO DE ENSAYO | UNIDAD | FECHA DE ENSAYO | RESULTADO | ESPECIFICACIONES | INCERTIDUMBRE |
| | TEMP | HUMEDAD | | | | | | |
| Tiempo de Fraguado Inicial | | | 524:2015 | min | 23/02/16 | 60* | ≥45 | ±0.38 |
| Tiempo de Fraguado Final | | | 524:2015 | h | 23/02/16 | 2.45* | ≤10 | ±0.7 |
| Consistencia Normal | | | 524:2015 | % | 23/02/16 | 25 | --- | ±0.36 |
| Finura de Molido del cemento | | | 980:2013 | % | 23/02/16 | 3.5 | | ±0.23 |
| Peso Específico Real del Cemento | | | 523:2015 | g/cm ³ | 23/02/16 | 3.11 | --- | ±0.03 |
| Resistencia a Compresión a 7 días | a | | 506:2013 | MPa | 01/03/16 | 27* | 25 | ±0.35 |
| Resistencia a Compresión a 28 días | a | | 506:2013 | MPa | 22/03/16 | 37.8* | 35 | ±0.15 |
| Observaciones: Se usa la <i>NC 95 Cemento Portland. Especificaciones</i> , para la evaluación de la conformidad. (16) (*) Conforme (**) No Conforme Las incertidumbres declaradas para los resultados de ensayos están expandidas con un factor de cobertura k=2. El laboratorio está disponible para cooperar con el cliente en cualquier momento, en la interpretación de los resultados que se emiten en este informe o en cualquier otra exégesis técnica en la que estén involucrados los mismos. | | | | | | | | |
| Elaborado por: Téc. Yenisleidys Collazo Varona | | | Firma: | | Aprobado por: Ing. Luis F. Aleaga León. | | Firma: | |

Anexo 2. Ensayos realizados a las materias primas utilizadas en la fábrica.

Año: 2016 Centro: Antonio Maceo Fracción: 5 - 0 mm

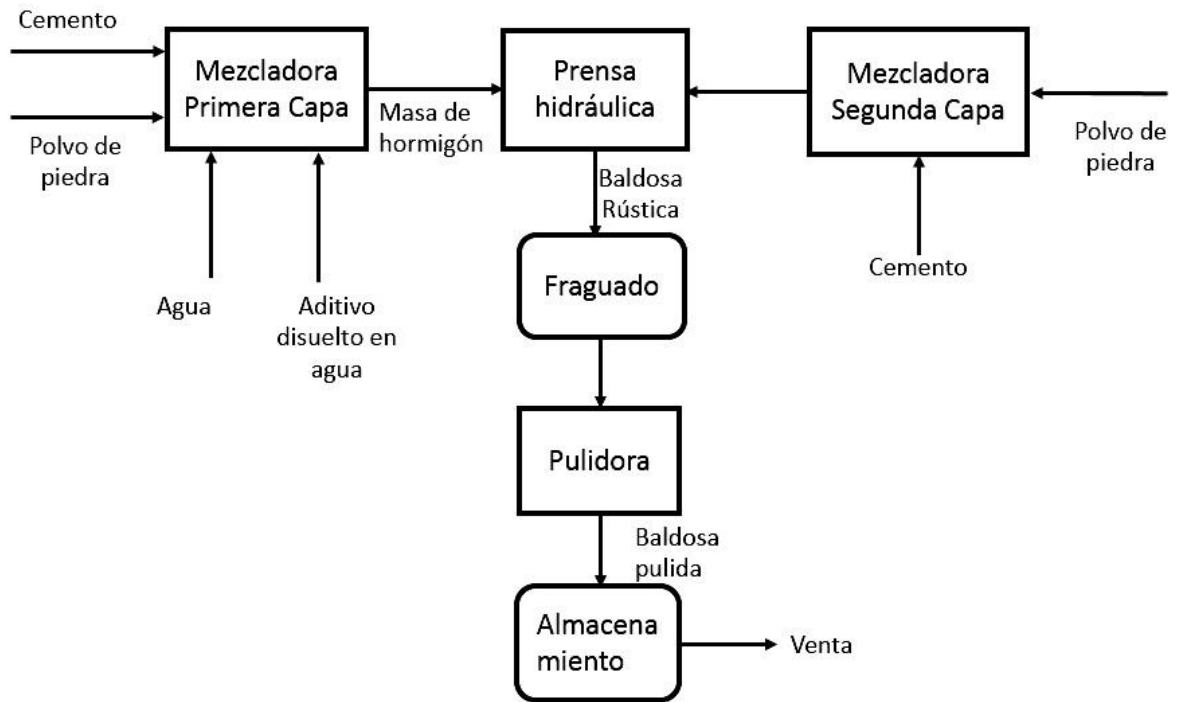
| Día Mes | Tamiz 200 | Terron Arcilla | Planasy Alargadas | GRANULOMETRIA TAMIZ No. | | | | | | | | Calidad | Produc. | Molino No. | Causas del incumplimiento |
|------------|--------------|-------------------|----------------------|-------------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-----------|---------|---------------|------------------------------|
| | | | | 9,52 | 4,76 | 2,38 | 1,19 | 0,59 | 0,295 | 1,149 | 0,074 | | | | |
| 30/09/20 | 3,2 | 0 | | 100 | 96 | 73 | 52 | 36 | 22 | 10 | 5 | Calidad 1 | 48 | Molino # 1 | |
| 31-May | 3,4 | | | 100 | 99 | 73 | 52 | 43 | 21 | 9 | 4 | Calidad 1 | 49 | Molino # 1 | |


 Tec. Asesor de Calidad

EMC No. 8 RESULTADO DE ENSAYOS DE LABORATORIO CENTRO: V. 10-11 FRACCION: 5-0 mm

| DIA MES | TAMIZ 200 | TERRON ARCILLA | PLANAS Y ALARGADAS | GRANULOMETRIA TAMIZ No. | | | | | | | | CALIDAD | PRODUCC. | MOLINO No. | CAUSAS DE |
|------------|-----------|-------------------|-----------------------|-------------------------|--------|-------|------|------|--|--|--|-----------|----------|---------------|------------------------|
| | | | | 12,5 | 9,52 | 4,76 | 2,36 | 1,19 | | | | | | | |
| 2/5/16 | 0,32 | / | | 100 | 90 | 18 | 8 | 1 | | | | Calidad 1 | 163 | 3 | |
| 3/5 | 0,32 | | | 100 | 93 | 16 | 10 | 3 | | | | Calidad 1 | 95 | 3 | |
| 6/5 | 0,32 | | | 100 | 96 | 15 | 6 | 1 | | | | Calidad 1 | 80 | 3 | |
| 7/5 | 0,4 | | | 100 | 92 | 20 | 10 | 2 | | | | Calidad 1 | 90 | 3 | |
| 9/5 | 0,32 | | | 100 | 92 | 17 | 7 | 1 | | | | Calidad 1 | 130 | 3 | |
| 11/5 | 0,4 | | | 100 | 94 | 15 | 4 | 2 | | | | Calidad 1 | 100 | 3 | |
| 12/5 | 0,32 | | | 100 | 95 | 20 | 5 | 2 | | | | Calidad 1 | 151 | 3 | |
| 13/5 | 0,36 | | | 100 | 92 | 18 | 2 | 1 | | | | Calidad 1 | 150 | 3 | |
| 14/5 | 0,38 | | | 100 | 93 | 16 | 10 | 2 | | | | Calidad 1 | 145 | 3 | |
| 16/5 | 0,36 | | | 100 | 96 | 15 | 6 | 1 | | | | Calidad 1 | 160 | 3 | |
| 17/5 | 0,38 | | | 100 | 95 | 15 | 9 | 3 | | | | Calidad 1 | 120 | 3 | |
| 18/5 | 0,4 | | | 100 | 92 | 19 | 8 | 2 | | | | Calidad 1 | 126 | 3 | |
| 19/5 | 0,38 | | | 100 | 91 | 17 | 7 | 2 | | | | Calidad 1 | 34 | 3 | |
| 20/5 | 0,4 | | | 100 | 94 | 22 | 5 | 1 | | | | Calidad 1 | 128 | 3 | |
| 21/5 | 0,36 | | | 100 | 90 | 16 | 8 | 3 | | | | Calidad 1 | 56 | 3 | |
| 22/5 | 0,4 | | | 100 | 92 | 15 | 6 | 2 | | | | Calidad 1 | 100 | 3 | |
| 24/5 | 0,4 | | | 100 | 94 | 16 | 6 | 2 | | | | Calidad 1 | 110 | 3 | |
| 26/5 | 0,32 | | | 100 | 95 | 18 | 9 | 2 | | | | Calidad 1 | 250 | 3 | |
| 27/5 | 0,38 | | | 100 | 92 | 20 | 10 | 3 | | | | Calidad 1 | 150 | 3 | |
| 28/5 | 0,32 | 0,10 | - | 100 | 90 | 15 | 7 | 2 | | | | Calidad 1 | 150 | 3 | Acusa de Tic. 10/11 |
| 7 | 0,32 | | | 100 | 94 | 17 | 8 | 2 | | | | | | | |
| 10 | 1 | | | 100 | 85-100 | 15-20 | 0-10 | 0-5 | | | | | | | |

Anexo 3. Descripción del proceso tecnológico de la planta de baldosas de Limonar en la provincia de Matanzas



Anexo 4. Cortadora de testigos:



Anexo 5. Roturas de las baldosas después del proceso de pulido.



Anexo 6. Índices de consumo de la planta de baldosas del año 2016

| Centro | Productos | Tecnología | Índices de Consumo. Producción Bruta | | |
|-----------------|------------------|------------|--------------------------------------|-------------------|----------------|
| | | | Cemento t/Mm2 | Arena m3/Mm2 | Granito m3/Mm2 |
| Baldosa Limonar | Baldosa 25*25 cm | - | 13.61 | 20.60 | 14.42 |
| | | | Cemento t/Mm2 | Polvo pdra m3/Mm2 | Granito m3/Mm2 |
| | Baldosa 25*25 cm | - | 13.61 | 30.0 | 5.92 |
| | | | Cemento t/Mm2 | | Granito m3/Mm2 |
| | Baldosa 25*25 cm | - | 13.61 | | 35.92 |
| | Baldosa 30*30 cm | - | 15.10 | | 46.90 |
| | Baldosa 40*40 cm | - | 15.42 | | 46.26 |

Anexo 7. Aditivo DISTIN 204 embazado y etiquetado.



