

**UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
FACULTAD DE CONSTRUCCIONES
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

TRABAJO DE DIPLOMA



**Título: Fundamentación de los parámetros técnicos a considerar en la
"Propuesta de norma cubana de especificaciones para el cemento de bajo
carbono fabricado a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada".**

**Autora: Adislen Conrado Sánchez
Tutor: Dr. Ing. Sergio Betancourt Rodríguez**

**Santa Clara
2014**



Exergo

Exergo

El futuro de nuestra Patria es y será un futuro de hombres de ciencia.

Fidel Castro Ruz

Dedicatoria

A mis padres Humberto y Katy por brindarme su ejemplo, su fuerza y su apoyo incondicional durante toda mi vida.

A mis abuelos Elsa y Abilio por sus buenos consejos, por su amor de padres y por cuidarme siempre.

A mis hermanas por ser la luz de mi vida y la razón que me impulsa a ser mejor cada día.

A mi prima Danelis por guiarme en el camino de la vida con su experiencia y por darme a Héctor, el mejor regalo.

A mi hermano Aliesky por estar siempre presente en los momentos de alegría y de tristeza.

A mi novio Randy por su amor y positividad durante estos cinco años.

Agradecimientos

A mi tutor Sergio Betancourt por asumir este desafío y por brindarme su apoyo y conocimiento.

A todos los profesores que ayudaron a mi formación durante estos cinco años.

A los trabajadores de la Oficina Territorial de Normalización de Villa Clara (OTN).

A todos los amigos que me han acompañado por la vida, en especial Amarielys, Eily, Jessica y Yudith.

A mi primo Anglada por ayudarme cuando más lo necesité.

A mi prima Dailín por su cariño y comprensión.

A mi novio y su familia por su ternura y apoyo.

A toda mi familia por ayudarme a cumplir mi sueño.

Gracias.

RESUMEN

El presente trabajo fundamenta los parámetros físicos, mecánicos y químicos a incluir en la propuesta de norma cubana de especificaciones para el cemento de bajo carbono fabricado a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada. Con el análisis de las características, campo de aplicación y resultados de la prueba industrial realizada en la Fábrica de Cementos Siguaney, se logró establecer cada requisito con su valor máximo y mínimo. Además se analizaron los principales métodos de ensayo empleados en el mundo y los especificados en las normas vigentes de Cuba. Para la asimilación de la nueva tecnología es necesario la incorporación de las normas para la arcilla calcinada como un nuevo tipo de puzolana y la utilización de caliza como material activo. Se elaboró la estrategia que contiene las distintas etapas del proceso de redacción y aprobación de estas normas para la introducción en la práctica social del mencionado cemento.

Palabras Clave: norma cubana, especificaciones, cemento de bajo carbono, arcilla calcinada, caliza.

ABSTRACT

This work substantiates the physical, mechanical and chemical parameters to be include in the proposal of the Cuban Standard Specification for low carbon cement made of from clinker-limestone-gypsum-calcined clay. With the analysis of the characteristics, scope and results of industrial test done in the Cement Factory of Siguaney, it was established each requirement with maximum and minimum values. Besides, the main test methods used in the world and specifications were analyzed a in the current standards of Cuba. For the assimilation of new technology is necessary to incorporate standards for calcined clay as a new type of pozzolana and the use of limestone as active material. It was elaborated the strategy containing different stages of drafting and adoption of these rules for the introduction in the social practice of cement mentioned before.

Keywords: Cuban norm, specifications, low carbon cement, calcined clay, and limestone.

ÍNDICE

Introducción	1
Capítulo I: Fundamentos teóricos y metodológicos sobre la evolución de la normativa relacionada con la producción y empleo de los cementos	4
1.1 Cemento Portland Ordinario	4
1.1.1 Desarrollo del Cemento Portland Ordinario.....	4
1.2 Evolución del empleo de los materiales cementicios suplementarios	5
1.2.1 Definición y clasificación de las puzolanas.....	5
1.2.2 Arcillas calcinadas, un material cementicio suplementario	9
1.2.3 Arcillas caoliníticas: metacaolín	10
1.3 Cemento a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada.....	11
1.3.1 Producción del cemento a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada en Cuba.....	11
1.3.2 Análisis de la normativa de cementos a nivel internacional	12
1.3.1 Evolución de la normativa europea para la producción de cementos.....	12
1.3.2 Desarrollo de las normas para cementos en Norteamérica.....	13
1.3.3 Contribución de la Organización Internacional de Normalización (ISO) al desarrollo de las normas.....	14
1.3.4 Perfeccionamiento y aplicación de las normas para cementos en Latinoamérica	15
1.3.5 Tendencia actual en la normativa de cementos	18
1.4 Normas de producción y empleo de cementos en Cuba.....	19
1.4.1 Antecedentes de las normas para cementos en Cuba	19
1.4.2 Análisis de los principales cambios realizados en las normas cubanas para cementos	29
1.5 Conclusiones parciales del capítulo.....	23
Capítulo II: Estrategia general sobre el proceso de normalización para la introducción en la práctica del cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada y la adopción de normas internacionales para la arcilla calcinada y la caliza.....	24
2.1 Selección y descripción de las materias primas.....	24
2.1.1 Caracterización mineralógica de la arcilla	25
2.1.2 Descripción de los materiales utilizados.....	27
2.2 Estrategia general sobre el proceso de normalización del cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada y la adopción de normas internacionales para la arcilla calcinada y la caliza.....	28
2.2.1 Actividades para la adopción de normas internacionales para los cementos con adiciones, arcilla calcinada y caliza.....	28
2.2.2 Proceso de normalización para la elaboración y aprobación de la norma cubana de cementos de bajo carbono elaborados a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada	31
2.3 Conclusiones parciales del capítulo.....	33



Índice

Capítulo III: Fundamentación de los parámetros técnicos a incluir en la propuesta de norma cubana para el cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada	34
3.1 Prueba industrial del cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada	34
3.2 Fundamentación de los requisitos físicos, mecánicos y químicos.....	36
3.2.1 Requisitos físicos	36
3.2.2 Requisitos mecánicos.....	41
3.2.3 Requisitos químicos	44
3.2 Conclusiones parciales del capítulo.....	50
Conclusiones Generales.....	52
Recomendaciones	54
BIBLIOGRAFIA.....	55
Anexos	58

Introducción

El modelo actual de desarrollo industrial no es sustentable en términos medioambientales. El agotamiento de los recursos naturales, como las materias primas y los combustibles fósiles empleados en la producción del cemento, constituye una de las causas por la que se buscan alternativas capaces de mejorar la tecnología y la organización social, de forma que el medio ambiente pueda recuperarse al mismo ritmo que es afectado por la actividad humana. La sustitución del contenido del clínker del cemento Portland es una de las tendencias para disminuir los gastos energéticos de la producción de cemento y las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera.

Estudios colaborativos entre el Centro de Investigación y Desarrollo de Estructuras y Materiales (CIDEM) y la Escuela Politécnica Federal de Lausana (EPFL) han logrado desarrollar un nuevo tipo de cemento producido por el remplazo de una parte del clínker, material más costoso del cemento, por una combinación de arcilla calcinada y carbonato de calcio en forma de piedra caliza. En una primera etapa se realizó una prueba industrial de producción de este cemento ecológico en nuestro país, y como fase complementaria, se inició la experimentación en obras, demandando una cuidadosa preparación donde se utilice, y una constante supervisión del equipo técnico. En apoyo a esta etapa se verificó el comportamiento del material y sus productos en condiciones reales, obteniéndose resultados que demuestran la aptitud del nuevo cemento.

La introducción en la práctica social de este nuevo tipo de aglomerante requiere de la existencia de la correspondiente norma, que establezca las especificaciones para su producción y empleo. Además, demanda de normas para el empleo de la arcilla calcinada y las adiciones de caliza. Actualmente no se han realizado las propuestas de estas normas, donde se definan los parámetros técnicos a cumplir por estos productos. Los requerimientos del mercado son cada vez mayores, por lo que se hace necesario guiar el proceso productivo de este cemento a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada, con el fin de presentar al mercado un producto de calidad, que propicie su fabricación en todo el país.

Por toda la situación planteada anteriormente constituye un problema científico a resolver el siguiente:

Problema científico

¿Qué parámetros técnicos deben ser considerados en la elaboración de la propuesta de norma cubana de especificaciones para los cementos de bajo carbono, como premisa para su introducción en la práctica?

Objetivo general

Elaborar la propuesta de norma cubana de especificaciones para los cementos de bajo carbono fabricados a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada.

Objetivos específicos

- Identificar los fundamentos teóricos y metodológicos sobre la evolución de la normativa relacionada con la producción y empleo de los cementos.
- Proponer una estrategia general sobre el proceso de normalización a seguir para la introducción del cemento de bajo carbono en Cuba.
- Fundamentar los parámetros técnicos que debe contener la propuesta de norma cubana para el cemento de bajo carbono.
- Redactar la propuesta de norma cubana de especificaciones para cementos de bajo carbono fabricados a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada.

Aportes

Aporte Teórico:

Se brinda una propuesta de la norma para los cementos de bajo carbono elaborados a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada, que permiten reunir las especificaciones técnicas para su producción y empleo.

Aporte Técnico:

El trabajo permitirá en el futuro que los usuarios de los cementos de bajo carbono elaborados a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada posean un documento legal que contenga los parámetros técnicos a cumplir por este producto. Además propiciará que los productores realicen los cementos de bajo carbono cumpliendo con las exigencias establecidas en estas normas.

Aporte Social:

Los resultados del trabajo facilitarán la introducción en la práctica social de nuestro país, la producción y empleo de un cemento con menor costo de producción y menor impacto ambiental negativo. Además, se dispondrá de documentos con carácter legal, que facilitarán las relaciones contractuales entre productores y usuarios.

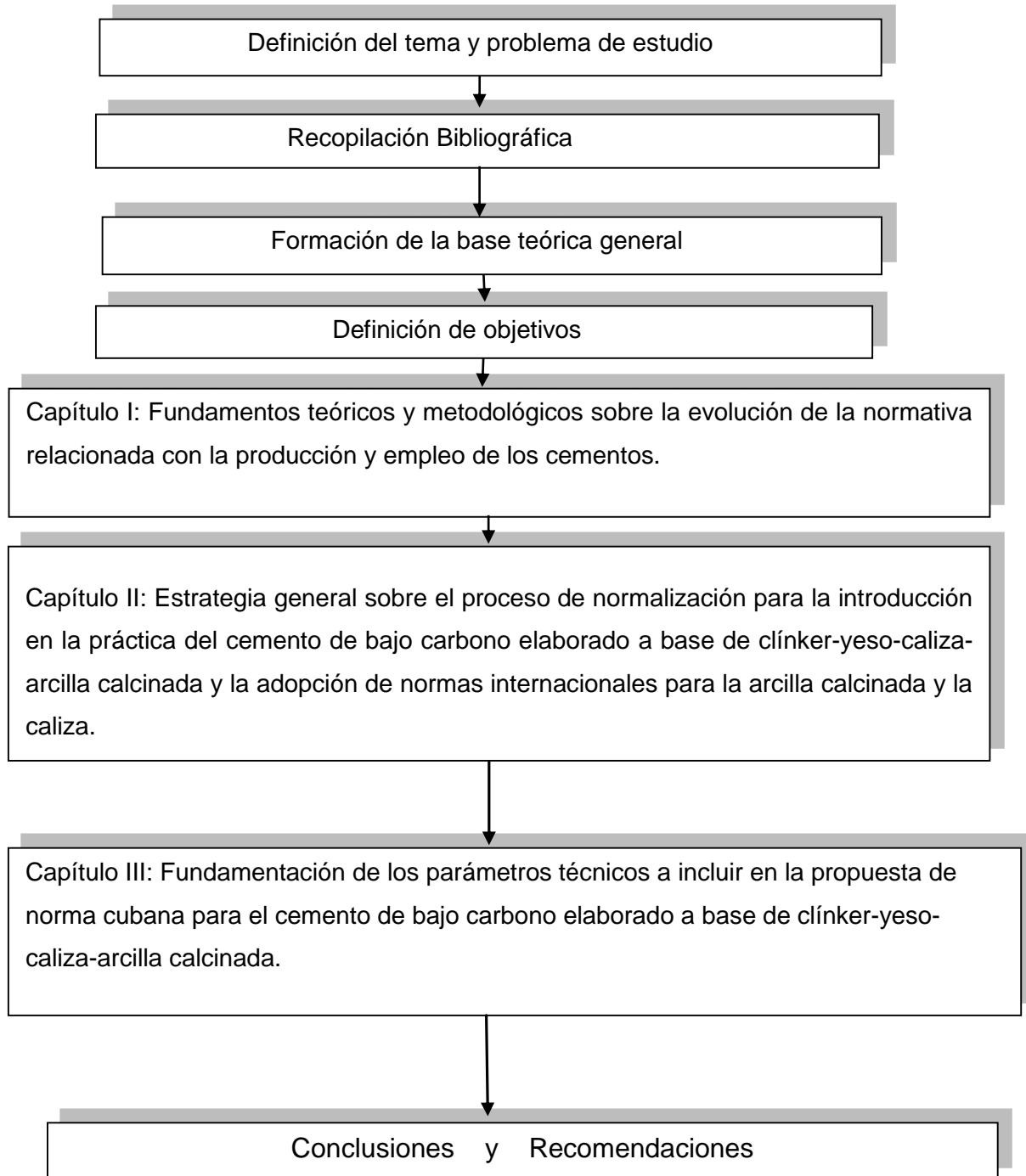
Estructura de los capítulos

Primer capítulo: Se presenta la evolución que ha tenido la normativa de los cementos en Cuba y el mundo. Se analizan las principales organizaciones de normalización y la normativa de los países líderes en la producción de cemento en América Latina. Además se conoce la tendencia actual de la normalización en el mundo.

Segundo capítulo: Se presenta la estrategia general de normalización a seguir para la redacción y aprobación de la propuesta de norma cubana sobre cementos de bajo carbono elaborados a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada y para la adopción de normas internacionales de arcilla calcinada y caliza.

Tercer capítulo: Se fundamentan todos los parámetros técnicos que se incluyen en la propuesta de la norma a través del análisis de los estudios realizados con el cemento de bajo carbono, los parámetros incluidos en normas de cementos vigentes y el procesamiento de los resultados obtenidos. Posteriormente se brindan las Conclusiones y Recomendaciones del trabajo. Una vez expuestos los tres capítulos se ofrece la bibliografía utilizada en la realización del trabajo.

Esquema metodológico de la investigación



Capítulo I. Fundamentos teóricos y metodológicos sobre la evolución de la normativa relacionada con la producción y empleo de los cementos

Capítulo I: Fundamentos teóricos y metodológicos sobre la evolución de la normativa relacionada con la producción y empleo de los cementos

1.1 Cemento Portland Ordinario

1.1.1 Desarrollo del Cemento Portland Ordinario

El descubrimiento del cemento Portland (CPO) como material cementante, patentado en el año 1824 por Joseph Aspdin, ha sido sin lugar a dudas uno de los acontecimientos más importantes en la historia de los materiales de construcción. Su uso prácticamente en todos los trabajos de la construcción, su costo relativamente bajo, la posibilidad de lograr una producción industrial masiva y los buenos resultados obtenidos en sus aplicaciones han sido la causa de que hoy en día este aglomerante haya desplazado a todos los que le antecedieron, los cuales han quedado relegados a aplicaciones menores en trabajos de albañilería (Martirena 2009).

En la actualidad el CPO se encuentra entre los materiales de construcción más empleados y al cual se debe gran parte del desarrollo alcanzado por la humanidad. Según el informe de (CEMBUREAU 2013), se estima que la producción global de cemento en el año 2012 alcanzó los 3,6 billones de toneladas, lo que se traduce en un incremento del 3% en comparación al año anterior.

En la elaboración del CPO, la producción de clínker representa el mayor consumo de energía y es responsable también de los mayores volúmenes de emisiones de CO₂ (Santamaría 2013). El reporte de (CSI 2013), plantea que la industria del cemento es responsable de cerca del 5% del total de las emisiones de CO₂ generadas por el hombre. Por esta razón, la protección del clima siempre ha sido una de las principales prioridades de la Iniciativa para la Sostenibilidad del Cemento (CSI).

Capítulo 1. Fundamentos teóricos y metodológicos sobre la evolución de la normativa relacionada con la producción y empleo de los cementos

Varios han sido los estudios con el fin de crear tecnologías más efectivas para la reducción de las emisiones de este gas contaminante, a partir de la sustitución del clinker por puzolanas que trabajen como un material cementicio suplementario, manteniendo y en ocasiones mejorando, las propiedades físico-mecánicas y de durabilidad de los hormigones (Donald E Macphee 2010), (Vanderwerf 2012).

Se espera que el CPO permanezca como uno de los materiales de construcción más empleados. Por tanto, es necesario importantes cambios en la industria cementera para lograr un desarrollo sustentable. Ante esta problemática, la tendencia del CPO será hacia la disminución del contenido de clinker por el empleo de Materiales Cementicios Suplementarios (MCS) y al aumento del uso de combustibles alternativos para su fabricación (Atcin 2000).

1.2 Evolución del empleo de los materiales cementicios suplementarios

1.2.1 Definición y clasificación de las puzolanas

Según la norma ASTM C 618-03 las puzolanas son materiales silíceos o aluminio-silíceos compuestos principalmente por sílice amorfa, que por sí solas poseen poco o ningún valor cementante o propiedades hidráulicas, pero que finamente dividido y en presencia de humedad reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio o cal a temperatura ambiente y forman un compuesto que posee propiedades aglomerantes (ASTM 2003).

El sistema de clasificación de la ASTM para las puzolanas está en función de su composición química y se distinguen dos grupos:

- a) Puzolanas tipos N y F, de bajo contenido de CaO. Las puzolanas del tipo N son naturales crudas o calcinadas, tal como las diatomitas; tobas y cenizas volcánicas, calcinadas o sin calcinar; y varios materiales que requieren de calcinación para inducir propiedades satisfactorias, como algunas arcillas. Las del tipo F son ceniza volante producida por la calcinación de carbón antracítico o bituminoso.

Capítulo 1. Fundamentos teóricos y metodológicos sobre la evolución de la normativa relacionada con la producción y empleo de los cementos

b) Puzolanas tipo C, de alto contenido de CaO. Ceniza volante producida por la calcinación de carbón sub-bituminoso o lignito. Esta clase de ceniza además de tener propiedades puzolánicas, también tiene propiedades cementicias (ASTM 2003).

En nuestro país la investigación y desarrollo para la producción de materiales cementicios suplementarios impone un estudio detallado de su comportamiento y características principales, por lo que se propuso adoptar normas extranjeras con carácter experimental, tanto las de especificaciones como las de ensayo, realizado mediante el método de traducción con las menores modificaciones posibles, las cuales posean un alcance y procedimientos analíticos tan amplios que cubran la calificación específica de las puzolanas nacionales (Standards 2007). La especificación técnica NC TS 528: 2007 hace una adopción de los elementos aplicables y la estructura de las normas ASTM de origen, ofreciendo similar clasificación para las puzolanas.

Según Massazza las puzolanas se dividen en dos grupos: naturales y artificiales. Las puzolanas naturales son las puzolanas de la que primero se tiene referencia de uso. Son rocas naturales que no precisan nada más que la molienda para poder ser empleadas como material puzolánico. Su formación se produce en zonas volcánicas del planeta, donde la proyección violenta de magma en la atmósfera trae consigo la formación de material vítreo. Cuando la salida al exterior de magma se produce en una forma menos violenta, da como resultado una ceniza volcánica de similar composición química, pero mucho menos reactiva. Una de sus características es que predominen en ellas en su composición química el silíceo, el aluminio y el hierro (Cook 1986).

Las puzolanas naturales se presentan en forma de rocas piroclásticas, materiales de origen mixto alterado y rocas clásticas:

- **Rocas volcánicas o piroclásticas** se dividen en rocas coherentes, alteradas durante su proceso y materiales incoherentes que se mantienen inalterados. En las rocas volcánicas o piroclásticas el constituyente amorfo es vidrio producido por enfriamiento brusco de la lava. Las rocas coherentes son depósitos volcánicos que han sufrido transformaciones, entre ellas la “zeolitización” y la “litificación”.

Capítulo 1. Fundamentos teóricos y metodológicos sobre la evolución de la normativa relacionada con la producción y empleo de los cementos

- **Los materiales alterados de origen mixto** se caracterizan por su alto índice de sílice. Éstos se han formado en un proceso de deposición en agua de materiales de variado origen, donde los óxidos solubles son lavados, dando lugar a una roca clara, porosa y ligera.

- **Rocas clásticas** incluyen las tierras de diatomeas y suelos arcillosos, son rocas o suelos con ópalo como constituyente silíceo, ya sea por la precipitación de la sílice de una solución o de los residuos de organismos (tierras de diatomeas). Las diatomitas son residuos de origen orgánico con alto contenido de sílice, que puede llegar a un 94%. Estos residuos se mezclan con arcillas y al ser calcinadas sufren un aumento considerable de su reactividad (Malhotra V.M 1996).

Las puzolanas artificiales son sub-productos industriales y materiales tratados térmicamente, y existen varios tipos, las cenizas volantes (fly ash), arcillas activadas o calcinadas térmicamente, escorias de fundición, micro-sílice, y las cenizas de residuos agrícolas.

- **Cenizas volantes (Fly Ash)** son un subproducto de los hornos que emplean carbón mineral finamente molido como combustible para la generación de energía eléctrica y constituyen en sí las partículas no combustibles removidas de las chimeneas de los gases, de bajo contenido de calcio y es un mineral que presenta una cantidad relativamente alta de alúmina y sílice amorfa. La reactividad de las cenizas volantes, depende de la presencia de una fase vítrea en su composición, lo cual a su vez depende básicamente de la temperatura y tiempo de residencia del material en la cámara de combustión, así como del régimen de enfriamiento de la ceniza.

De todas las puzolanas, las cenizas volantes resultan ser desde el punto de vista técnico y económico la mejor opción, ya que no requieren de grandes complicaciones tecnológicas. Aunque su reactividad no es de las más altas, se reconoce que como adición mineral tienen las mejores propiedades debido básicamente a la finura de sus partículas y su forma redondeada. (Association 1998, Martínez 2003, Martirena 2009).

Capítulo 1. Fundamentos teóricos y metodológicos sobre la evolución de la normativa relacionada con la producción y empleo de los cementos

- **Arcillas activadas o calcinadas artificialmente** se conocen desde tiempos remotos, son los residuos de la quema de ladrillos de arcilla molidos finamente o de otros tipos de arcillas las cuales se mezclan con cal y se producen morteros resistentes al agua. Estos materiales en estado natural tienen muy baja reactividad, la estructura cristalina de estos es alterada o destruida cuando se someten a un tratamiento térmico a temperaturas entre 700-900° C resultando una puzolana muy reactiva.

En el proceso de calcinación de las arcillas se extraen las moléculas de agua absorbidas y las combinadas químicamente, formándose una estructura amorfa que es la que reacciona con la cal y es la que se conoce como la fuente de la actividad puzolánica (Giulia 1997).

- **Escorias de fundición** son principalmente los residuos de procesos siderúrgicos en los altos hornos. Subproductos no metálicos producidos cuando el mineral de hierro es reducido a hierro dulce. La escoria líquida es enfriada rápidamente para formar gránulos, que son molidos hasta una finura similar a la del cemento Portland. Las escorias molidas de alto horno tienen por sí mismas propiedades cementantes pero estas son mejoradas cuando se utilizan con cemento Portland (Association 1998).

- **Humo de Sílice o Microsílice (Sílica Fume)** es un material puzolánico de alta reactividad, subproducto de la producción de metal silíceo o ferro-silíceo. Se recolecta de la chimenea de gases de los hornos de arco eléctrico. El humo de sílice es un polvo extremadamente fino, con partículas alrededor de 100 veces más pequeñas que un grano promedio de cemento. Para su uso resulta un material excelente como sustituto parcial de Cemento Portland, que proporciona notables ventajas tanto técnicas como económicas (Association 1998, Martínez 2003).

- **Cenizas de residuos agrícolas** es la combustión de residuos agrícolas como la ceniza de cáscara de arroz, las de bagazo de caña y la paja de la caña de azúcar. La combustión de la cáscara de arroz proporciona cenizas con un elevado contenido de sílice (más del 90%), que bajo determinadas condiciones puede ser utilizada como producto puzolánico de buena calidad.

Capítulo 1. Fundamentos teóricos y metodológicos sobre la evolución de la normativa relacionada con la producción y empleo de los cementos

Las cenizas procedentes del bagazo de caña pueden obtenerse como residuos de la combustión en los quemadores de los generadores de vapor en los centrales azucareros, en particular la extraída de los “ceniceros”. Cuando el bagazo de caña es quemado en condiciones especiales, las cenizas se enriquecen en sílice, y finalmente adquieren una composición química similar a la de las restantes puzolanas (Association 1998, Martínez 2003, Castillo 2004, Martirena 2009).

1.2.2 Arcillas calcinadas, un material cementicio suplementario

Los minerales arcillosos son formados por la variación progresiva de las rocas volcánicas, estas a su vez en estado natural presentan muy baja reactividad. La estructura cristalina puede ser alterada o destruida por medio de un tratamiento térmico a temperaturas entre 700- 900° C, dando lugar a una puzolana muy reactiva (Liang L.H 2000).

El tiempo de calcinación influye en la reactividad de la puzolana. Parece indicar que largos tiempos de exposición a altas temperaturas, por encima de la “deshidroxilación”, facilitan la re-cristalización, y con ello la disminución de esta cualidad. La baja reactividad de la puzolana puede ser propiciada por la combinación de temperaturas muy altas y largos tiempos de calcinación. Las temperaturas óptimas de calcinación de manera general están entre 700°C y 900° C, y el tiempo de residencia debe ser menor de 2 horas (Martirena 2009).

Estas adiciones se caracterizan por tener una alta reactividad y reducir las consecuencias de las reacciones álcalis-agregado las cuales pueden provocar la expansión del hormigón y su deterioro. Contienen sílice reactiva, que finamente dividida, reacciona rápidamente con los álcalis de la solución de poros, disminuyendo el poder destructivo del gel en la matriz cementante. Sin embargo, la efectividad está en función de la cantidad de fase amorfa y de las características micro-estructurales de la puzolana (M Frías 2008).

Capítulo 1. Fundamentos teóricos y metodológicos sobre la evolución de la normativa relacionada con la producción y empleo de los cementos

1.2.3 Arcillas caoliníticas: metacaolín

El metacaolín es parte de un amplio grupo de materiales cementicios suplementarios pertenecientes a la categoría de arcillas calcinadas. Por definición, el metacaolín se produce a partir del tratamiento térmico del mineral natural caolín. Para ello se requiere fundamentalmente de arcillas puras en dicho mineral y facilidades industriales que permitan alcanzar altas temperaturas en el proceso de calcinación.

El empleo del metacaolín como material cementicio suplementario permite obtener un cemento con una serie de ventajas con respecto al Cemento Portland Ordinario:

1. Incremento de las propiedades mecánicas, especialmente a edades tempranas.
2. Aumento de la resistencia al ataque de los sulfatos.
3. Incremento de la resistencia a la reacción álcali –sílice.
4. Disminución de la permeabilidad y de la corrosión del acero de refuerzo (Ambroise 1994).

A diferencia de las puzolanas provenientes de desechos de procesos industriales, las cuales pueden tener una composición variable, el metacaolín se produce bajo condiciones cuidadosamente controladas para refinar su color, remover las impurezas inertes y ajustar el tamaño de grano y así obtener un grado de pureza y actividad puzolánica mucho más elevado (Shvarzaman 2003). No obstante, otras fuentes han sido utilizadas como materia prima para su producción. Tal es el caso de suelos de origen laterítico (derivados de procesos de descomposición de rocas ricas en hierro y aluminio en un ámbito húmedo) y el lodo de desecho proveniente de la industria del reciclado del papel (Sabir 2001).

Cualquiera de estas variantes repercute en los altos precios del metacaolín en el actual mercado internacional, debido fundamentalmente al costoso proceso de purificación del caolín, y los altos costos energéticos de la calcinación. Los altos costos tecnológicos de producción se evidencian en los dos tipos de calcinación que son empleadas industrialmente para obtener metacaolín (Taylor 1990):

Capítulo I. Fundamentos teóricos y metodológicos sobre la evolución de la normativa relacionada con la producción y empleo de los cementos

- **Calcinación lenta**, conocida como lecho fijo: en la calcinación lenta industrial, la deshidroxilación es completa después de haber alcanzado lentamente una temperatura suficientemente alta (entre 600 °C y 800 °C) durante un período suficientemente largo (5 horas de cocción).
- **Calcinación instantánea (*flash*)**, es una calcinación muy rápida de un sólido, por lo general en forma fina, en suspensión en un gas. El proceso dura décimas de segundo. La deshidroxilación puede ser incompleta si los tiempos de exposición son muy cortos. El rápido ascenso de la temperatura dentro de la partícula genera un vapor de agua que no puede escapar por difusión, ya que la deshidroxilación se llevó a cabo más rápido que dicha liberación. Este vapor de agua sale de forma explosiva de la partícula.

1.3 Cemento a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada

1.3.1 Producción del cemento a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada en Cuba

Cuba prepara las bases para producir un cemento industrial ecológico, con muy bajo contenido de clínker, en un proceso que se inició con la calcinación de arcilla en la fábrica de cemento Siguaney, en la central Sancti Spíritus.

El resultado de expertos de Cuba y de la Universidad Politécnica de Lausana, Suiza, se basa en la sustitución de hasta un 45 por ciento del clínker utilizado en el proceso, por una mezcla del material metacaolín y piedra caliza, esta última sin quemar, lo cual evitará la emisión de toneladas de dióxido de carbono a la atmósfera (Antoni M 2013).

Por cada tonelada de cemento Portland producida hasta ahora, se genera de 650 a 900 kg de dióxido de carbono, un gas de efecto invernadero, de ahí la importancia de concretar esta innovación, capaz de reducir 32 por ciento las emisiones tóxicas en relación con el cemento tradicional. Además el nuevo procedimiento permite disminuir el costo de energía hasta un 29 por ciento en comparación con el proceso anterior.

El cemento ecológico resulta de gran utilidad en aplicaciones que no lleven refuerzo, que incluyen la producción de bloques de hormigón, tejas de techo, y en general en todos los trabajos de terminación, además de ser muy útil a la industria petrolera por sus propiedades refractarias.

Capítulo I. Fundamentos teóricos y metodológicos sobre la evolución de la normativa relacionada con la producción y empleo de los cementos

Con los datos de las pruebas y evidencias recolectadas, se presentará en el 2014 al Comité Técnico de Normalización del Cemento la propuesta de norma cubana para el uso de la nueva formulación (Martirena 2013).

1.3 Análisis de la normativa de cementos a nivel internacional

1.3.1 Evolución de la normativa europea para la producción de cementos

En relación a establecer vías para comprobar la calidad de los cementos, en los últimos años se han producido, tanto en España como en otros países europeos, cambios importantes. En la actualidad, existen dos caminos para legalizar la comercialización del cemento en Europa, que son la normalización y la certificación.

Este camino hacia la normalización en Europa comenzó en 1973 con la creación del Comité Europeo de Normalización, CEN, para llevar a cabo la normalización de todos los productos. Dentro del mismo se estableció toda una serie de Comités Técnicos, entre ellos el TC 51: "Cementos y Cales de Construcción", previsto para elaborar las normas de dichos productos o materiales.

Entre los años 1973 y 1992 se elaboró y perfeccionó un proyecto de norma europea para cementos, pero con carácter provisional. Publicada en 1992 como "norma experimental", con la designación ENV 197 1:92, solo incluía los llamados cementos comunes, entendiéndose por tales los utilizables en hormigón en masa, armado y pretensado.

Dado el elevado número de tipos de cementos "comunes y no comunes", entendiéndose por éstos últimos los dotados de alguna característica adicional especial, o aplicación específica, no imputables a los "comunes", el CEN/TC 51 decidió dividir el Proyecto ENV 197 en distintas partes. En la primera ENV 197-1 incluía sólo los cementos cuyo endurecimiento se basa principalmente en la hidratación de los silicatos de calcio anhidros del clínker Portland. Otras partes sucesivas irían incluyendo otros tipos de cemento con otros mecanismos diferentes de endurecimiento, por ejemplo, los llamados "cementos de aluminato de calcio" o con comportamiento específico añadido como resistencia a los sulfatos y/o al agua de mar, bajo calor de hidratación y bajo contenido de álcalis (Calleja 2002).

Capítulo 1. Fundamentos teóricos y metodológicos sobre la evolución de la normativa relacionada con la producción y empleo de los cementos

La norma final EN 197-1:2000 fue transferida a la española UNE-EN 197- 1:2000 de la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), organización que ha elaborado normas en consonancia con las normas del Comité Europeo de Normalización (CEN), que recogen definiciones, denominaciones, composición y especificaciones, tanto de los cementos como de sus componentes, así como sobre el control de calidad de los mismos. Todo ello con el fin de garantizar la seguridad y durabilidad del producto resultante.

1.3.2 Desarrollo de las normas para cementos en Norteamérica

ASTM International es un organismo de normalización de los Estados Unidos de América. Fue fundada en mayo de 1898, como la Sección Americana de la Asociación Internacional para probar materiales por decisión de Charles Benjamín Dudley, entonces responsable del Control Calidad de Pennsylvania, quien tuvo la iniciativa de hacer que los ferrocarriles y las fundiciones de acero coordinaran sus controles de calidad. En 1902, la sección americana se constituye como organización autónoma con el nombre de: Sociedad Americana para probar materiales, que se volvería universalmente conocida en el mundo técnico como ASTM. El campo de acción de la ASTM se fue ampliando en el tiempo, pasando a tratar no solo los materiales ferroviarios, sino todos los tipos de materiales, abarcando un espectro muy amplio, comprendiendo los revestimientos y los procesos de producción del cemento (Lascarro 2014).

En la década del setenta se realizaron intentos para regular el sistema de normas. El usuario estaba dispuesto a aceptar la lentitud y los controles, las conversaciones abiertas y los interminables debates en el proceso de desarrollo de normas. Hoy en día, las normas están comenzando a ser consideradas como documentos de comercio. Ahora se buscan resultados que lleven a sus productos al mercado y que les permitan lograr sus objetivos. La tendencia internacional a la normalización va a continuar y se va a intensificar (Cotera 1998).

Capítulo 1. Fundamentos teóricos y metodológicos sobre la evolución de la normativa relacionada con la producción y empleo de los cementos

1.3.3 Contribución de la Organización Internacional de Normalización (ISO) al desarrollo de las normas

El proceso de la globalización económica impone nuevos retos a las empresas, exigiendo en ellas cambios radicales en la estructura y la estrategia, en la forma de hacer las cosas con el fin de presentar al mercado un producto de excelente calidad.

La Organización Internacional de Estándares (ISO), es una red de los Institutos de Normas Nacionales formada por 163 países, sobre la base de un miembro por país, con una Secretaría Central en Ginebra (Suiza) que coordina el sistema. Las normas desarrolladas por ISO son voluntarias, comprendiendo que es un organismo no gubernamental y no depende de ningún otro organismo internacional, por lo tanto, no tiene autoridad para imponer sus normas a ningún país. Sin embargo debido a que provienen de un organismo internacional son aceptadas y exigidas como referentes de calidad, ecológicos, de confidencialidad, de procesos, es decir, que las certificaciones ISO son solicitadas por consumidores intermediarios y finales (Standardization 2000).

Las normas ISO se idearon originalmente desde comienzos de 1990 para empresas de la industria de fabricación, no obstante, su aplicación se ha difundido con extremada rapidez a otros sectores de la economía. La evolución experimentada en los últimos años ha llevado a un reconocimiento generalizado del valor de un certificado ISO y de su función como pilar de la calidad. Esta asociación certifica a las organizaciones de normalización de todo el mundo incluyendo el CEN, AENOR y ASTM (Rojas 1998, Standardization 2000).

El CEN firmó un acuerdo con la ISO, denominado el acuerdo de Viena, que establece los mecanismos de cooperación entre ambas organizaciones, desde el intercambio de información hasta la posibilidad para la organización ISO de introducir un observador en los comités técnicos del CEN y viceversa.

El propósito de ISO es ser un primer paso para ayudar a todo tipo de organizaciones, tanto del sector público como privado, a considerar la implementación de las Normas ISO como una forma de alcanzar los beneficios de operar de manera socialmente responsable.

Capítulo I. Fundamentos teóricos y metodológicos sobre la evolución de la normativa relacionada con la producción y empleo de los cementos

Por esta razón, es imprescindible en el estudio de la normativa de cementos en Latinoamérica, comenzar con el análisis de los países líderes de la industria del cemento.

La construcción civil en Brasil tiene fuertes raíces en el uso de hormigón, las primeras iniciativas para la instalación de una fábrica de cemento en el país se remontan a finales del siglo XIX. A partir de 1926, con la instalación de una fábrica en Sao Paulo, y otra en 1933 en Río de Janeiro, empezó la implantación de la industria del cemento en Brasil y en consecuencia la sustitución del cemento importado por el nacional.

Entre 1945 y 1955, nuevas fábricas fueron construidas, haciendo el país autosuficiente en producción de cemento, y desde entonces la industria sigue las diferentes etapas de desarrollo, siempre invirtiendo, ampliando y atendiendo al mercado de manera satisfactoria, contando hoy en día con 79 unidades de producción. La industria es pionera en el uso intensivo de cemento con adiciones, así como el uso de biomasa, uno de los países que más utiliza este tipo de combustible.

La eficiencia de la industria del cemento se basa en tres pilares que contribuyen sustancialmente a la reducción de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y una producción más limpia: eficiencia energética, combustibles alternativos y adiciones al cemento.

De acuerdo con las normas brasileras, la utilización de adiciones como escoria de alto horno y cenizas volantes en la producción de diferentes tipos de cemento, es una de las principales alternativas para reducir las emisiones y ahorrar materias primas no renovables. Según la normativa en Brasil el cemento Portland permite de 1-5% de adiciones, el cemento de alto horno de un 35-70% de escoria y el cemento puzolánico de 15-50% de puzolana (Carvalho 2011).

Por otro lado, la industria mexicana de cemento se caracteriza por tener una estructura de mercado altamente concentrada en pocas empresas. El proceso de concentración se ha agudizado a partir del proceso de liberalización, ya que en 1995 existían 35 plantas en el país, con una capacidad de producción de 41 millones de toneladas y una producción anual de 23.9 millones. En el 2011 con tres plantas menos (32) tenían 21.9%

Capítulo 1. Fundamentos teóricos y metodológicos sobre la evolución de la normativa relacionada con la producción y empleo de los cementos

más capacidad de producción (51 millones de toneladas). México no sólo es autosuficiente en la producción de cemento, sino que es un exportador que ha fortalecido sus exportaciones, al igual que su inversión en la adquisición de plantas cementeras en otros países, indicación que ha consolidado a la industria cementera mexicana (Kumaran 2008). Las normas mexicanas especifican que para el Cemento Portland con Escoria Granulada de Alto Horno (CPEG) se permite de un 6-60% y para el Cemento Portland Compuesto (CPC) admite una sustitución de puzolana de un 6-35% (EDIFICACIÓN 2009).

En el siglo XX, la producción de cementos adicionados ha sido practicada por décadas, particularmente en Europa, pero también en Japón y en la India. Colombia no ha sido ajena a este proceso tecnológico, y las fábricas del país han evolucionado en el conocimiento, explotación y uso de las adiciones desde hace unos treinta años, estando a tono con los avances logrados en países más desarrollados (Salamanca 2000). Las materias primas utilizadas para la elaboración de estos cementos son caliza, arcilla, yeso, escorias y puzolanas. En Colombia existen varias clases de cemento, sus propiedades y características varían dependiendo del porcentaje de dosificación que se aplique de cada materia prima (Andrés 2013).

En Argentina actualmente la fabricación de clínker Portland genera cantidades de CO₂ que no resultan preocupantes debido a que no existe un número elevado de fábricas de cemento, comparada con la concentración de plantas cementeras en Europa, que presenta una densidad elevada. Es por este motivo que la industria de cemento europea lideró la investigación y el desarrollo de los cementos con adiciones minerales convirtiéndose en una buena referencia para establecer cuál será el futuro cercano de la industria del cemento en Argentina y el resto de Latinoamérica. Las normas empleadas por esta nación se definen de acuerdo con el Instituto Argentino de Normalización como las normas IRAM del cemento Portland y toman como base a las normativas presentadas por el Comité Europeo de Normalización. Estas normas IRAM permiten una sustitución en el cemento puzolánico (CPP) de un 15-50% (Becker 2000, Torrent 2000).

En estos países las normas de ASTM y AENOR han tenido una tradición natural para su uso o adaptación, no obstante, su utilización en muchas ocasiones ha sido de forma

Capítulo 1. Fundamentos teóricos y metodológicos sobre la evolución de la normativa relacionada con la producción y empleo de los cementos

parcial o con desconocimiento de los principios bajo los cuales fueron concebidas. Como consecuencia de ello, en ocasiones se producen complicados y largos procesos de adaptación local por el desconocimiento en la implementación de las normas. Algunos de los estándares que se utilizan a menudo en el sector de la construcción o de materiales, no incorporan aspectos relacionados con prácticas comunes en los países de América Latina (Lascarro 2014).

1.3.5 Tendencia actual en la normativa de cementos

Las primeras normas que se adoptaron internacionalmente pretendían regular los procesos de fabricación, ante el desconocimiento de la forma de comportarse de los productos. Posteriormente, se dieron las normas prescriptivas sobre la composición de los productos, en la medida que la experiencia establecía niveles que aseguraban un buen comportamiento.

Recientemente, se han desarrollado las normas de desempeño. En el caso del cemento las normas de desempeño, son valiosas para el ingeniero que debe diseñar, construir estructuras de concreto y además que se proyectan al futuro, y al mismo tiempo la tecnología de la construcción se dirige a racionalizar la inversión con criterios reguladores de desempeño.

Así fue como se determinó en algunos países que las normas no podían limitar el acceso al mercado de un producto. En efecto, las normas prescriptivas sobre composición del cemento pueden impedir el desarrollo de nuevos productos. En cambio las normas de desempeño proporcionan seguridad en el comportamiento del cemento, según los métodos de prueba requeridos, evitando los inconvenientes propios del desarrollo de las prescripciones para cada producto. Además se fomenta la innovación dentro de la industria del cemento, con productos que deben cumplir con metas de “performance”, reemplazando los requerimientos propios del desarrollo de regulaciones prescriptivas para cada tipo de producto (Cotera 1998). Es por esto que debemos orientarnos al desarrollo de normas de cementos en las cuales las condiciones de desempeño primen sobre los requisitos prescriptivos.

Capítulo I. Fundamentos teóricos y metodológicos sobre la evolución de la normativa relacionada con la producción y empleo de los cementos

1.4 Normas de producción y empleo de cementos en Cuba

1.4.1 Antecedentes de las normas para cementos en Cuba

La Oficina Nacional de Normalización (NC), es el Organismo Nacional de Normalización de la República de Cuba que representa al país ante las Organizaciones Internacionales y Regionales de Normalización. Esta oficina tiene como objetivo fomentar la eficaz elaboración y el cumplimiento de las normas y otros documentos normativos, así como promover el uso de los mismos para contribuir al aumento de la disciplina tecnológica y la eficiencia de la producción y los servicios, posibilitar la introducción del avance científico-técnico, facilitar el comercio, la protección al consumidor, la salud, la seguridad y el medio ambiente (Standards 2001).

La preparación de las Normas Cubanas se realiza generalmente a través de los Comités Técnicos de Normalización. La aprobación de las Normas Cubanas es competencia de la Oficina Nacional de Normalización y se basa en evidencias de consenso. Las normas establecen los requisitos, clasificación y designación que deben cumplir los cementos Portland que se utilicen en trabajos de construcción. Son elaboradas por el Comité Técnico de Normalización del Cemento en el que están representadas diferentes instituciones como:

- Ministerio de la Industria Básica
- Ministerio de la Construcción
- Ministerio Educación Superior
- Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionarias
- Ministerio del Azúcar
- Poder Popular
- Centro Nacional de Envase y Embalaje
- Oficina Nacional de Normalización
- Unión de Empresas de Asbesto Cemento

Para la elaboración de las normas de productos como los cementos, se emplean otras normas como la NC 1: 2005 Reglas para la estructura, redacción y edición de las normas cubanas y otros documentos relacionados. Esta Norma Cubana especifica las reglas

Capítulo I. Fundamentos teóricos y metodológicos sobre la evolución de la normativa relacionada con la producción y empleo de los cementos

para la estructura, redacción y edición de los documentos destinados a convertirse en Normas Cubanas, Especificaciones Técnicas y Especificaciones Disponibles al Público. Proporciona además, algunas indicaciones con respecto a su presentación. Dichas reglas, dirigidas a los documentos que no constituyen adopciones idénticas, están destinadas a garantizar que tales documentos se redacten de la manera más uniforme posible, independiente de su contenido técnico (Standards 2005).

Además, se emplea la NC 333: 2004 “Guía para la elaboración de normas de productos”, que establece un conjunto de principios aplicables para la redacción y la elaboración de una norma de producto o grupo de productos. Esta guía es aplicable a todos los tipos de producto, excluyendo los servicios y el software. La misma no es aplicable a la adopción de las normas internacionales o regionales de productos como Normas Cubanas (Standards 2004). Ambas normas serán usadas para la elaboración de la propuesta de norma cubana para los cementos de bajo carbono elaborados a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada.

1.4.2 Análisis de los principales cambios realizados en las normas cubanas para cementos

Los cambios en la industria del cemento en Cuba han ido en ascenso y las características del cemento Portland han evolucionado significativamente. En sus inicios sólo se producía el llamado cemento de uso general en la construcción, cemento Tipo I, o “Cemento Portland Ordinario”. El desarrollo en espiral de la ciencia y la industria han traído consigo el surgimiento de toda una familia de cementos que responden a aplicaciones específicas (Standards 2011).

Las normas no son una obra completa e inmodificable, a lo largo de su aplicación pueden ser objeto de cambios y ajustes aconsejados por la experiencia y el conocimiento que la aplicación de la misma vaya proporcionando (Calleja 2002). Por esta razón las normas cubanas de especificaciones técnicas para el cemento Portland se han ido transformando, como resultado, la norma cubana NC 95:2001 sustituye a la norma Cubana NC 54-219:1982.

Capítulo 1. Fundamentos teóricos y metodológicos sobre la evolución de la normativa relacionada con la producción y empleo de los cementos

Esta norma de 2001 poseía una nueva representación del cemento Portland, donde designaba el producto con la resistencia a la compresión a los 28 días expresada en kgf/cm²:

- a) Cemento Portland 350: **Cemento P-350**
- b) Cemento Portland 450: **Cemento P-450**
- c) Cemento Portland 550: **Cemento P-550**

Además en esta norma se modificaron los siguientes índices:

- en el P-550 resistencia a los 3 días igual a 25 MPa
- la pérdida por ignición de 3 a 4 %
- el contenido de residuo insoluble de 2 a 4 %
- el óxido de magnesio de 3 a 5 %
- el trióxido de azufre de 3 a 3,5 %
- la denominación de Cemento Portland a los que contienen hasta un 5 % de adición (Standards 2001).

En la tabla 1.1 se muestra el resumen de los requisitos físicos, mecánicos y químicos incluidos en la NC 95:2001, así como sus especificaciones y los métodos de ensayos para su determinación.

Índice	Requisitos	UM	P-350	P-450	P-550	Método de ensayo	
Físicos	Retenido en el tamiz 4 900 (máx.)	%	10	8	6	NC 54-207	
	Superficie específica Blaine (mín.)	cm ² /g	2 800	2 900	3 200		
	Tiempo fraguado inicial (mín.)	min	45	45	45		
	Tiempo fraguado final (máx.)	h	10	10	10		
	Estabilidad de fraguado por Le Chatelier (máx.)	mm	10	10	10		
Mecánicos	Resistencia a la flexión (mín.)	kgf/cm ² (Mpa)	3 días	30 (3)	50 (5)	50 (5)	NC 54-206
			7 días	40 (4)	60 (6)	-	
			28 días	60 (6)	70 (7)	75 (7,5)	
	Resistencia a la compresión (mín.)	kgf/cm ² (Mpa)	3 días	170 (17)	250 (25)	250 (25)	
			7 días	250 (25)	350 (35)	-	
			28 días	350 (35)	450 (45)	550 (55)	
Químicos	Pérdida por ignición (máx.)	%	4,0	4,0	4,0	NC 54-206	
	Residuo insoluble (máx.)	%	4,0	4,0	4,0		
	Oxido de Magnesio (máx.)	%	5,0	5,0	5,0		
	Trióxido de Azufre (máx.)	%	3,5	3,5	3,5		

Tabla-1.1 Requisitos a cumplir por los diferentes grados de cemento Portland y los métodos de ensayo a emplear, según NC 95:2001 (Standards 2001).

Capítulo I. Fundamentos teóricos y metodológicos sobre la evolución de la normativa relacionada con la producción y empleo de los cementos

La norma cubana NC 95:2001 fue sustituida por la NC 95: 2011 y en su revisión se introdujeron las siguientes modificaciones:

El producto se clasifica en tres grados de calidad de acuerdo a la resistencia a la compresión a los 28 días expresada en MPa.

- a) Cemento Portland 35: **Cemento P - 35**
- b) Cemento Portland 45: **Cemento P - 45**
- c) Cemento Portland 55: **Cemento P - 55**

Además, se sustituye la “Estabilidad de ignición por Le Chatelier (máx)” por: “Estabilidad de volumen por Le Chatelier (máx)”. Se elimina el Residuo en Tamiz 4 900 y la Resistencia a Flexo-tracción. Se comienza a utilizar las unidades del Sistema Internacional (Standards 2011).

En la tabla 1.2 se muestra el resumen modificado de los requisitos físicos, mecánicos y químicos incluidos en la NC 95:2011, así como sus especificaciones y los métodos de ensayos para su determinación.

Índice	Requisitos	UM	P - 35	P - 45	P - 55	Método de ensayo	
Físicos	Superficie específica Blaine (mín.)	cm ² /g	2 800	2 900	3 200	NC EN 196-6	
	Tiempo fraguado inicial (mín.)	min	45	45	45	NC 524	
	Tiempo fraguado final (máx.)	h	10	10	10		
	Estabilidad de volumen por Le Chatelier (máx.)	mm	10	10	10	NC 504	
Mecánicos	Resistencia a la compresión (mín.)	3 días	(MPa)	17	25	25	NC 506
		7 días		25	35	35	
		28 días		35	45	55	
Químicos	Pérdida por ignición (máx.)	%	4,0	4,0	4,0	NC 507	
	Residuo insoluble (máx.)	%	4,0	4,0	4,0		
	Oxido de Magnesio (máx.)	%	5,0	5,0	5,0		
	Trióxido de Azufre (máx.)	%	3,5	3,5	3,5		

Tabla-1.2 Requisitos a cumplir por los diferentes grados de cemento Portland y los métodos de ensayo a emplear, según la NC 95:2011. (Standards 2011).

Capítulo 1. Fundamentos teóricos y metodológicos sobre la evolución de la normativa relacionada con la producción y empleo de los cementos

1.5 Conclusiones parciales del capítulo

1. En nuestro país no existen normas cubanas que permitan el uso de caliza y arcillas como materiales cementicios suplementarios en proporciones elevadas.
2. La no existencia de la norma cubana de especificaciones para los cementos de bajo carbono elaborados a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada, limita su producción industrial en Cuba.
3. La tendencia actual en la normativa para cementos a nivel mundial es que las condiciones de desempeño primen sobre los requisitos prescriptivos.
4. Las principales organizaciones de normalización en el mundo son la Organización internacional de Estándares (ISO), la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), el Comité Europeo de Normalización (CEN) y la Asociación Americana para Probar Materiales (ASTM).
5. En los países de Latinoamérica las normas de ASTM y AENOR han sido empleadas en muchas ocasiones de forma parcial o con desconocimiento de los principios bajo los cuales fueron concebidas.
6. En la elaboración de las normas para los cementos, se emplean otras normas como la NC 1: 2005 “Reglas para la estructura, redacción y edición de las normas cubanas y otros documentos relacionados” y la NC 333: 2004 “Guía para la elaboración de normas de productos”
7. Del estudio realizado en la literatura se evidencia la necesidad de elaborar una estrategia para la adopción de normas internacionales, que permitan el uso de puzolanas artificiales del tipo “arcillas calcinadas” como materiales cementicios suplementarios, hasta tanto sea posible la elaboración de normativas propias.

Capítulo II: Estrategia general sobre el proceso de normalización para la introducción en la práctica del cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada y la adopción de normas internacionales para la arcilla calcinada y la caliza

Capítulo II: Estrategia general sobre el proceso de normalización para la introducción en la práctica del cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada y la adopción de normas internacionales para la arcilla calcinada y la caliza

Para lograr la generalización de la producción y empleo del cemento de bajo carbono elaborado sobre la base de clínker-yeso-caliza-arcilla en Cuba, se requiere de todo un proceso de transformación en la base normativa, de manera tal que progresivamente se vaya asimilando la nueva tecnología. Es así que conviene elaborar una estrategia que conciba las distintas etapas de este proceso, sobre lo cual versa el presente capítulo del trabajo de diploma.

Los elementos distintivos principales que caracterizan a esta nueva tecnología de producción de cemento son, en esencia: introducción de un nuevo tipo de puzolana (la arcilla calcinada), y la incorporación de caliza como material activo (para garantizar la formación de carbo-aluminatos y hemi-carbo-aluminatos), amén de mayores sustituciones de clínker por dichos materiales. Bajo estas condiciones es que se realizará la propuesta de estrategia para la introducción en la práctica social del mencionado cemento.

De manera introductoria se presenta una descripción del proceso de selección y procesamiento de las materias primas, así como de sus principales características, que sirven de fundamento científico para su empleo.

Capítulo II: Estrategia general sobre el proceso de normalización para la introducción en la práctica del cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada y la adopción de normas internacionales para la arcilla calcinada y la caliza

2.1 Selección y descripción de las materias primas

En nuestro país las reservas de arcillas caoliníticas puras son escasas, pero sin embargo existen yacimientos con contenidos relativamente bajos de esta fase mineral que pueden ser aprovechados en la obtención de puzolanas de alta reactividad. Como resultado de estudios en las canteras de Río Callejón (Isla de la Juventud), Cerros de Caisimú y Dumañuecos (Las Tunas), Gaspar (Ciego de Ávila) y Pontezuela (Camagüey), se seleccionó esta última para la prueba industrial de este cemento condicionado por su relativamente alto contenido de caolinita, grandes reservas y cercanía a la Fábrica de Cementos Siguaney.

2.1.1 Caracterización mineralógica de la arcilla

La caracterización de la arcilla del yacimiento “Pontezuela” se realizó mediante las técnicas de Difracción de Rayos X (DRX) y Análisis Termo-gravimétrico (ATG), con el objetivo de determinar las fases minerales presentes en la arcilla y los cambios estructurales asociados a la pérdida de masa con la temperatura, que constituyen el fundamento de su activación. Los resultados del análisis mediante la técnica de Difracción de Rayos X de la arcilla del yacimiento “Pontezuela” se muestran en la figura 2.1. En la misma se aprecia claramente la presencia de feldespatos, cuarzo y de grandes contenidos de aluminosilicatos hidratados en forma de caolinita.

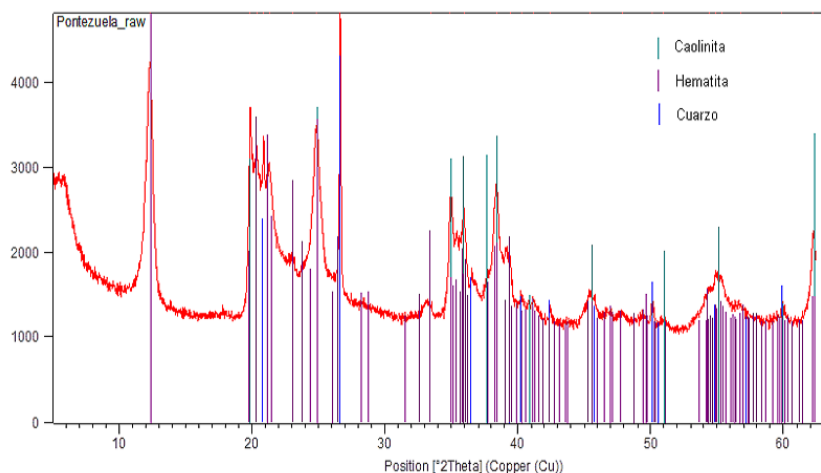


Figura- 2.1 Difractograma de rayos-X de la arcilla del yacimiento Pontezuela (Valero 2012).

Capítulo II: Estrategia general sobre el proceso de normalización para la introducción en la práctica del cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada y la adopción de normas internacionales para la arcilla calcinada y la caliza

Los principales cambios estructurales que ocurren en el sistema condicionados por el aumento de la temperatura pueden observarse en las curvas de la figura 2.2, donde se muestran los resultados del análisis termo-gravimétrico (ATG) para la arcilla de Pontezuela.

En la curva se observa la presencia de un primer efecto, entre los 50 y los 150°C, lo cual está asociado a la deshidratación del sistema, seguida de un pequeño efecto, entre los 200 y los 350°C, atribuido a la descomposición de hidróxidos de hierro presentes en el material.

La deshidroxilación de la caolinita, que viene acompañada por la pérdida de cristalinidad en el sistema, está representada por un efecto dominante que se extiende entre los 500°C y los 650°C con una temperatura de pico cercana a los 500°C. Mediante esta técnica de caracterización se determinó además el contenido de caolinita, el cual representa el 58% del material arcilloso. Los resultados exhibidos para estos análisis fueron el punto de partida para considerar a la arcilla de Pontezuela como una fuente de puzolana, una vez que fuese activada térmicamente.

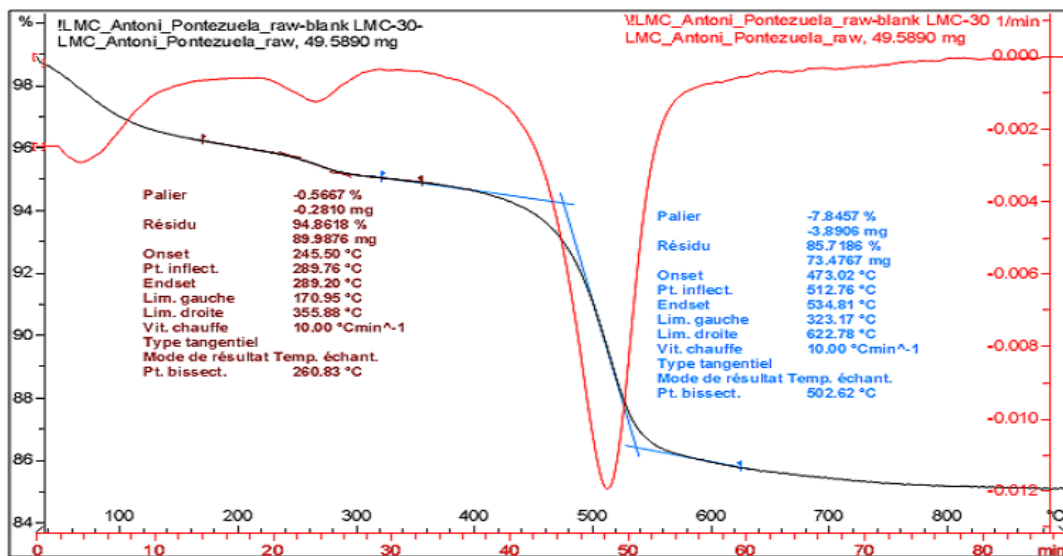


Figura-2.2 Curvas de ATG para la arcilla de Pontezuela (Valero 2012).

Capítulo II: Estrategia general sobre el proceso de normalización para la introducción en la práctica del cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada y la adopción de normas internacionales para la arcilla calcinada y la caliza

2.1.2 Descripción de los materiales utilizados

Las materias primas empleadas para la producción del cemento de bajo carbono fueron:



Arcilla del tipo caolinítica

El material de origen consiste en un suelo arcilloso caolinítico de la región de Pontezuela, en la provincia de Camagüey. La siguiente tabla resume algunas de las características de las adiciones utilizadas:

Tabla-2.1 Composición química del material arcilloso estudiado

Oxidos	Suelo arcilloso
SiO ₂	45,71
Al ₂ O ₃	28,04
Fe ₂ O ₃	21,49
CaO	0,144
MgO	0,823
SO ₃	3,00
K ₂ O	0,539

Clínker

Se utilizó el clínker de la planta Siguaney, ubicada en Taguasco, provincia Sancti-Spíritus. Se presenta la caracterización de su composición química en la Tabla 2.2 obtenida a través de los ensayos realizados en el laboratorio de esta fábrica de cemento espiritana.

Tabla-2.2 Composición química del clínker

Oxidos	Clínker
SiO ₂	20,39
Al ₂ O ₃	4,73
Fe ₂ O ₃	4,65
CaO	64,29
MgO	1,18
SO ₃	1,8
K ₂ O	0,1
Na ₂ O	0,1

Capítulo II: Estrategia general sobre el proceso de normalización para la introducción en la práctica del cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada y la adopción de normas internacionales para la arcilla calcinada y la caliza

Carbonato de Calcio

El carbonato de calcio (CaCO_3) que se empleó en la formulación de los aglomerantes se obtuvo de la localidad de Palenque, en el Municipio de Remedios, en la provincia de Villa Clara, en forma de polvo de piedra. Su composición química fundamental se muestra en la Tabla 2.3.

Tabla- 2.3 Composición química de la caliza empleada

Oxidos	Carbonato de calcio (Caliza)
SiO_2	0,20
Al_2O_3	0,50
Fe_2O_3	0,13
CaO	54,78
MgO	0,27
SO_3	0,10
K_2O	0,10
MnO	0,01

2.2 Estrategia general sobre el proceso de normalización del cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada y la adopción de normas internacionales para la arcilla calcinada y la caliza

2.2.1 Actividades para la adopción de normas internacionales para los cementos con adiciones, arcilla calcinada y caliza

Los estándares son una piedra fundamental hacia el camino en la seguridad de las producciones. La estandarización de los materiales, ensayos, laboratorios, dimensiones y tolerancias, y en general, todo aquello que pueda incidir en el desarrollo de una obra, deben ser una verdadera prioridad.

Para la adopción de normas internacionales en Cuba se emplea la norma NC-ISO-IEC Guía 21-1:2005 Adopción Regional o Nacional de Normas Internacionales y de otros Documentos normativos Internacionales. Parte 1: Adopción de Normas Internacionales. En esta norma se establecen los requisitos a cumplir y el procedimiento adecuado para que una norma internacional pueda emplearse en nuestro país, evitándose cualquier dificultad en su aplicación.

Capítulo II: Estrategia general sobre el proceso de normalización para la introducción en la práctica del cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada y la adopción de normas internacionales para la arcilla calcinada y la caliza

Para la adopción de normas internacionales de los cementos con adiciones, la estrategia a seguir está constituida por diferentes actividades que garantizan su adaptación exitosa:

1. Investigación de los principales países productores de cementos con adiciones.
2. Búsqueda de normas internacionales de cementos con adiciones.
3. Adquisición de normas internacionales de cementos con adiciones.
4. Selección de normas internacionales de cementos con adiciones pertenecientes a los países con características similares a Cuba.
5. Análisis del porcentaje de sustitución de clínker permitido en las normas seleccionadas.

En la primera etapa de la estrategia general para la normalización se realizaron las actividades de los cementos con adiciones correspondientes al mes de abril de 2014. En la figura 2.3 se muestra el cronograma de actividades propuesto para los cementos con adiciones.

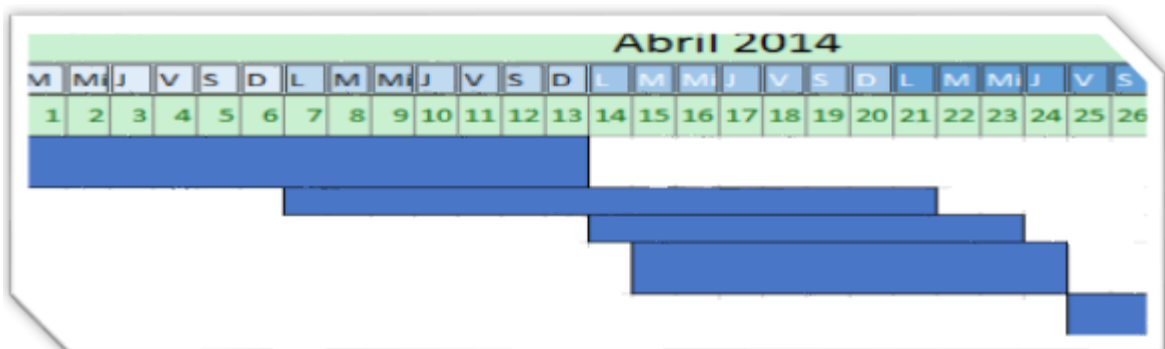


Figura-2.3 Cronograma de actividades para los cementos con adiciones.

La adopción de normas internacionales para las puzolanas (arcillas calcinadas) y para la caliza, también demanda la elaboración de un plan de acciones similar al anteriormente presentado:

Capítulo II: Estrategia general sobre el proceso de normalización para la introducción en la práctica del cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada y la adopción de normas internacionales para la arcilla calcinada y la caliza

1. Búsqueda de los principales países que emplean la arcilla y la caliza como materiales cementicios suplementarios.
2. Evaluación de las principales características presentadas por estas arcillas y calizas.
3. Visita a la Oficina Territorial de Normalización (OTN) para solicitar supervisión en el proceso de adopción de normas internacionales.
4. Presentación de los resultados obtenidos en el departamento de Normalización perteneciente a la Oficina Territorial de Normalización (OTN).
5. Adquisición de la norma cubana NC-ISO-IEC Guía 21-1:2005 Adopción Regional o Nacional de Normas Internacionales y de otros Documentos normativos Internacionales. Parte 1: Adopción de Normas Internacionales.
6. Obtención de las normas para arcillas y caliza que posean características equivalentes a las de nuestro país.
7. Redacción preliminar de la norma cubana para las puzolanas (arcillas calcinadas).
8. Redacción preliminar de la norma cubana para la caliza.
9. Presentación de la primera versión de la norma para las puzolanas (arcillas calcinadas) y la caliza ante el departamento de Normalización (OTN).
10. Redacción definitiva de la norma cubana para las puzolanas (arcillas calcinadas).
11. Redacción definitiva de la norma cubana para la caliza.
12. Apertura de expediente de la norma cubana para las puzolanas (arcillas calcinadas) en la OTN.
13. Apertura de expediente de la norma cubana para la caliza en la OTN.
14. Presentación de la norma cubana para las puzolanas (arcillas calcinadas) ante el Comité Técnico de Normalización.
15. Presentación de la norma cubana para la caliza ante el Comité Técnico de Normalización.
16. Aprobación de la norma cubana para las puzolanas (arcillas calcinadas) por el Comité Técnico de Normalización.
17. Aprobación de la norma para caliza por el Comité Técnico de Normalización.

El cronograma de las actividades iniciales para la adopción de normas internacionales de empleo de arcillas calcinadas (puzolanas) y calizas, se muestra en la figura 2.4. Las actividades

Capítulo II: Estrategia general sobre el proceso de normalización para la introducción en la práctica del cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada y la adopción de normas internacionales para la arcilla calcinada y la caliza

comenzaron en el mes de mayo de 2014 y la fecha máxima de cumplimiento es en abril 2015, mes en el que pueden ser aprobadas estas normas.

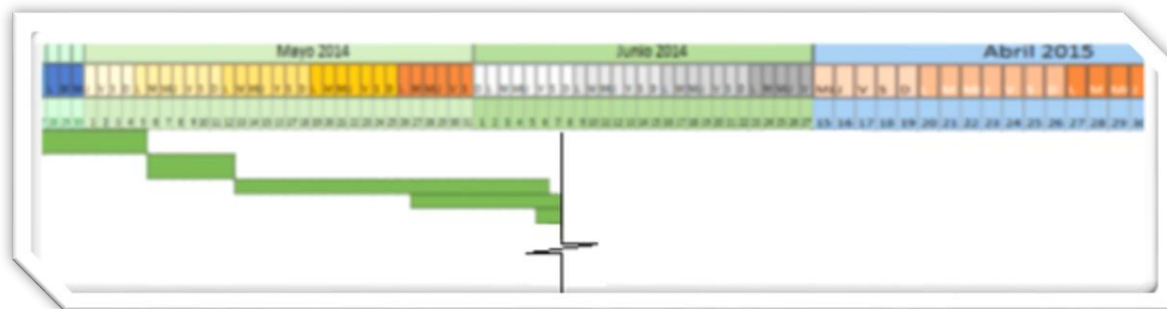


Figura- 2.4 Cronograma de actividades para la adopción de normas internacionales para el empleo de arcillas calcinadas como puzolanas y calizas.

2.2.2 Proceso de normalización para la elaboración y aprobación de la norma cubana de cementos de bajo carbono elaborados a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada

Para concebir la norma cubana de cementos de bajo carbono elaborados a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada se requiere trazar un plan que contemple las actividades necesarias para su desarrollo y posterior aprobación. Las normas que se emplearán para su correcta elaboración son la NC 1: 2005 Reglas para la estructura, redacción y edición de las Normas Cubanas y otros documentos relacionados y la NC 333:2004 Guía para la elaboración de normas de productos.

Estrategia general de normalización para la elaboración y aprobación de la norma cubana del cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada:

1. Revisión de normas y otros documentos internacionales sobre los cementos con adiciones.
2. Análisis de la evolución de las normas cubanas de cementos con adiciones.

Capítulo II: Estrategia general sobre el proceso de normalización para la introducción en la práctica del cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada y la adopción de normas internacionales para la arcilla calcinada y la caliza

3. Visita a la Oficina Territorial de Normalización (OTN) para solicitar supervisión en el proceso de redacción y aprobación de la norma para el cemento de bajo carbono.
4. Revisión de los documentos del Sistema Nacional de Normalización.
5. Selección de las normas cubanas para la estructura y redacción de la norma para el cemento de bajo carbono.
6. Solicitud de las normas a emplear en la OTN.
7. Revisión del reporte de la prueba piloto de molienda del cemento de bajo carbono.
8. Redacción preliminar de la norma para el cemento de bajo carbono.
9. Presentación de la norma cubana para el cemento de bajo carbono ante el Comité Técnico de Normalización.
10. Redacción definitiva de la norma para el cemento de bajo carbono.
11. Apertura de expediente para la norma cubana de cemento de bajo carbono en la OTN.
12. Aprobación de la norma cubana de cemento de bajo carbono por el Comité Técnico de Normalización.

En la figura 2.5 permite presentar en un cronograma las primeras actividades necesarias para lograr la redacción de la norma para el cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada, y su posterior aprobación, con fecha máxima para el mes de abril de 2015.

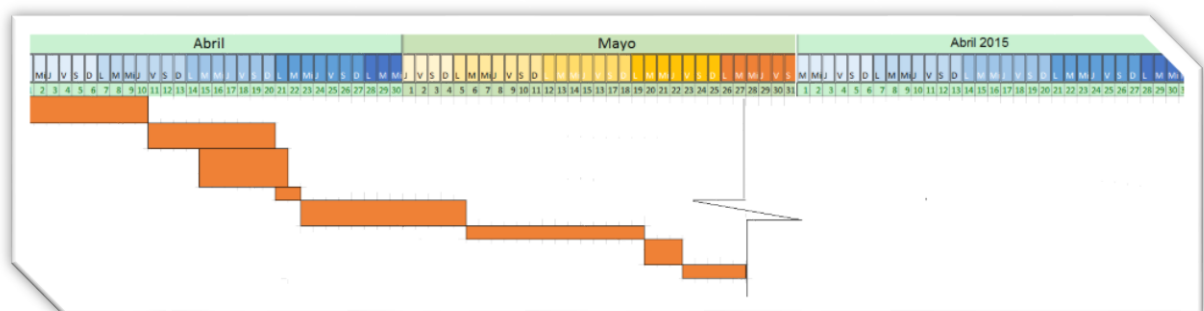


Figura-2.5 Cronograma de actividades sobre el proceso de normalización para los cementos de bajo carbono elaborados a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada.

Capítulo II: Estrategia general sobre el proceso de normalización para la introducción en la práctica del cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada y la adopción de normas internacionales para la arcilla calcinada y la caliza

1.3 Conclusiones parciales del capítulo

1. La adopción de normas internacionales en Cuba se realiza a través de la norma NC-ISO-IEC Guía 21-1:2005 Parte 1, lo que permite que se eviten procesos erróneos en su aplicación.
2. La estrategia general sobre el proceso de normalización propuesta para cemento de bajo carbono consta de tres etapas fundamentales: la adopción de normas internacionales para los cementos con adiciones, adopción de normas internacionales para la arcilla calcinada y la caliza, la elaboración y aprobación de la norma para el cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada.
3. Como premisa fundamental para que se apruebe con éxito la propuesta de norma cubana para el cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada, es fundamental que se complete la investigación sobre el comportamiento durable de los elementos fabricados con este cemento, permitiendo su aprobación con fecha probable en abril de 2015.

Capítulo III: Fundamentación de los parámetros técnicos a incluir en la propuesta de norma cubana para el cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada

Capítulo III: Fundamentación de los parámetros técnicos a incluir en la propuesta de norma cubana para el cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada

En este capítulo se fundamentan los parámetros físicos, mecánicos y químicos incluidos en la propuesta de norma cubana para el "cemento de bajo carbono" a través del análisis integral de la composición del cemento, de su campo de aplicación y sus principales características. Adicionalmente se ofrecen los resultados obtenidos en la prueba industrial realizada en la Fábrica de Cementos Siguaney, con el propósito de brindar información sobre el comportamiento en la práctica, que hasta el momento, posee el cemento y su capacidad para cumplir con las especificaciones propuestas. Además se analizan los principales métodos de ensayo empleados en el mundo y los especificados en las normas vigentes de Cuba.

3.1 Prueba industrial del cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada

Para la calcinación a escala industrial se trasladaron 300 t de arcilla del yacimiento de Pontezuela hacia la Fábrica de Cementos Siguaney. El material fue alimentado en su estado natural al horno. Durante este proceso se realizó un muestreo representativo con el objetivo de monitorear la humedad de la arcilla, para lo cual el material fue secado a una temperatura de 250°C, que garantiza la completa eliminación del agua adsorbida en la fase arcillosa. El proceso de calcinación industrial fue realizado en un horno rotatorio durante aproximadamente 6 horas. Previo a la calcinación, el horno fue sometido a un régimen de precalentamiento para garantizar el secado y la homogenización del material. Durante el tiempo que duró la prueba se hicieron diferentes ajustes a los parámetros del horno para

Capítulo III: Fundamentación de los parámetros técnicos a incluir en la propuesta de norma cubana para el cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada

garantizar un rango de temperatura entre 750 y 800°C, y por sobre todo, evitar sobrepasar los 900°C, temperatura a la cual ocurren los procesos de recristalización (Rojas 2013).

La molienda del cemento ternario se realizó entre los días 13 y 14 de agosto de 2013, y el proceso entre ambos días duró aproximadamente 8 horas, durante las cuales se tomaron un total de 16 muestras de alrededor de 20 kg cada una, para la realización de los ensayos de laboratorio correspondientes. Los mismos fueron desarrollados paralelamente por el laboratorio de la fábrica de cementos Siguaney y el Centro Técnico de Desarrollo de Materiales de Construcción (CTDMC), pertenecientes ambos al Ministerio de la Construcción (Andrés 2013).

Ensayos de caracterización del cemento

A partir de las 16 muestras de cemento tomadas durante la molienda, se conformó un cemento compósito, al cual se le aplicó el protocolo de caracterización acorde a las normas vigentes:

- NC-504: 2007 Cemento hidráulico — Método de ensayo —Determinación de la estabilidad de volumen.
- NC-505: 2007 Cemento hidráulico—Método de ensayo—Análisis químico—Determinación del óxido de calcio libre.
- NC 506: 2007, Cemento hidráulico—Método de ensayo— Determinación de la resistencia mecánica.
- NC 507: 2011 Cemento hidráulico—Método de ensayo— Análisis químico.
- NC 523: 2007 Cemento hidráulico—Método de ensayo—Determinación de la densidad.
- NC 524: 2007 Cemento hidráulico- Método de ensayo- Determinación de consistencia normal y tiempos de fraguado por aguja Vicat.
- NC 196-6: 2011 Cemento hidráulico- Método de ensayo- Determinación de la finura y la superficie específica.

Capítulo III: Fundamentación de los parámetros técnicos a incluir en la propuesta de norma cubana para el cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada

3.2 Fundamentación de los requisitos físicos, mecánicos y químicos

3.2.1 Requisitos físicos

- **Finura del cemento**

La finura de molido del cemento es una característica íntimamente ligada al valor hidráulico del cemento debido a que influye decisivamente en la velocidad de las reacciones químicas que tienen lugar durante su fraguado y endurecimiento. Estas reacciones de hidratación se producen en la superficie de los granos, sucede que cuanto más pequeño son éstos, es más rápido el desarrollo de resistencia (Ruiz 2002).

Existen diferentes métodos para determinar la finura del cemento:

- Ensayo del turbidímetro de Wagner.
- Ensayo Blaine de permeabilidad al aire.
- Empleo del tamiz de 4900 mallas.
- Empleo del tamiz de 45 μ m (Nº 325).
- Empleo del granulómetro láser.

El turbidímetro de Wagner consiste fundamentalmente de una fuente luminosa: de intensidad constante, ajustada, de manera que los rayos de luz pasen a través de una suspensión de cemento e incidan sobre una célula fotoeléctrica. La corriente generada se mide con un micro-amperímetro y la lectura es una medida de la turbiedad de la suspensión, esta turbiedad es, una medida de la superficie específica del cemento (Echavarría 2012).

La determinación de la finura del cemento empleando un tamiz 45 μ m (Nº 325) es un método poco empleado en el mundo. Su uso se realiza mojando la muestra completamente y luego se seca el tamiz y el residuo en un horno o sobre una placa caliente. Se enfría el tamiz y luego se cepilla el residuo del tamiz y se pesa en una balanza analítica (Normas 2013).

El granulómetro es un aparato diseñado para hacer mediciones granulométricas a productos pulverulentos suspendidos en un líquido. La luz coherente proveniente de una baja fuente láser de Helio-Neón pasa a través de un líquido que mantiene suspendido la muestra de polvo y el haz de luz o el rayo son difractados. El computador que tiene

Capítulo III: Fundamentación de los parámetros técnicos a incluir en la propuesta de norma cubana para el cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada

incorporado, determina rápidamente la distribución del tamaño de partículas significativas en un rango desde 0 a 192 μm (micras), de 0 a 600 micras u otros rangos para diferentes modelos (Zanabria).

La aplicación de estos métodos es realizada principalmente para el estudio de los cementos a nivel de laboratorio, la necesidad de diferentes y costosos aparatos para determinar la finura han propiciado que en la práctica se utilicen, tanto en Cuba como en el mundo, el tamiz de 4900 mallas y el ensayo Blaine de permeabilidad al aire.

En la norma cubana NC EN 196-6: 2007 Cemento hidráulico. Método de ensayo. Determinación de la finura y superficie específica, se incluyen los dos métodos citados anteriormente para determinar la finura del cemento:

El método del tamizado se emplea solamente para detectar la presencia de partículas gruesas en el cemento, por lo que es apropiado para comprobar y controlar el proceso de producción.

La determinación de la superficie específica se utiliza principalmente para comprobar la uniformidad del proceso de molienda de una sola y misma planta. Este método solo permite un juicio limitado sobre las propiedades del cemento utilizado y puede no dar resultados significativos en los cementos que contengan materiales ultrafinos (Standards 2007).

La NC 96: 2001 Cemento con adición activa. Especificaciones, se sustituye por NC 96:2011 donde el requisito físico “retenido en el tamiz 4900 (máx)” es eliminado. Además, no se incluye en ninguna de estas normas el requisito “superficie específica de Blaine (mín)”, debido a que estos cementos puzolánicos contienen adiciones de elevada finura.

Como se observa en la tabla 3.1, en las pruebas de finura realizadas al “cemento de bajo carbono” se obtuvieron valores superiores a los especificados en la NC 95:2011 Cemento Portland-Especificaciones, donde el valor “superficie específica Blaine (mín)” toma valores mayores o iguales a 2800 cm^2/g (Standards 2011).

Capítulo III: Fundamentación de los parámetros técnicos a incluir en la propuesta de norma cubana para el cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker–yeso–caliza–arcilla calcinada

Requisito físico	"cemento de bajo carbono"		cemento Portland		
	Resultado de la prueba de laboratorio	Resultado de la prueba industrial	Valor de la norma NC 95: 2011		
			P-35	P-45	P-55
Superficie específica de Blaine (mín) cm ² /g	9855	4190	2800	2900	3200

Tabla -3.1 Resumen de valores de “superficie específica Blaine (mín) “ del “cemento de bajo carbono“ y el cemento Portland.

En el caso de la propuesta de norma cubana para el cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada, se propone no incluir estos parámetros dentro de los requisitos físicos. Aunque, es importante señalar que la superficie específica del cemento y su fineza son parámetros de gran utilidad para el productor porque le ofrece una medida de la calidad de la molienda y si la finura alcanzada permitirá lograr la resistencia especificada en las normas vigentes, pero en el caso del usuario no son de gran importancia, su necesidad es conocer requisitos de desempeño como resistencia o tiempos de fraguado.

- **Tiempos de fraguado**

El tiempo de fraguado es una de las características físicas y mecánicas de cumplimiento obligatorio en todas las normas de cementos de los distintos países del mundo. Los profesionales de la construcción necesitan que la industria del cemento proporcione un producto homogéneo, que tenga un tiempo apropiado de manipulación y que sea capaz de suministrar elementos constructivos con resistencias mecánicas mínimas a edades tempranas. Por lo que resulta de gran importancia conocer los tiempos de fraguado de los cementos.

El método normalizado para determinar el tiempo de fraguado en todos los países del mundo es la aguja de Vicat. Dicho método, junto con el de Gillmore, que se emplea en algunos países como comparación, trata de fijar, a efectos de utilización práctica de los cementos, el intervalo de tiempo durante el cual se pueden trabajar los hormigones o los morteros antes de que se inicie el fraguado (González 2008),(Gabalec 2008),(Normalización 2009).

Capítulo III: Fundamentación de los parámetros técnicos a incluir en la propuesta de norma cubana para el cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker–yeso–caliza–arcilla calcinada

La NC 524: 2007 Cemento hidráulico. Método de ensayo. Determinación de la consistencia normal y tiempos de fraguado por aguja de Vicat, especifica un método de ensayo para la determinación de la consistencia normal y los tiempos de fraguado del cemento hidráulico mediante la aguja de Vicat (Standards 2007). El tiempo de fraguado inicial es contado desde el momento en que se adiciona el agua hasta que la pasta deje de ser fluida y el tiempo de fraguado final se mide también desde el momento en que se adiciona el agua hasta que la penetración de la aguja en la masa sea la cantidad especificada o no penetre, y deje en la masa una huella apenas perceptible.

En la propuesta de norma cubana para el “cemento de bajo carbono” es fundamental la incorporación de este parámetro de desempeño dentro de los requisitos físicos. En la tabla 3. 2 se muestran los valores de tiempos de fraguado del cemento de bajo carbono, obtenidos en la prueba industrial y el resultado propuesto en la norma. Los valores propuestos son los mismos del cemento Portland, el tiempo de fraguado inicial más prudencial en la práctica es de 45 minutos y el tiempo final se toma 10 horas, lográndose que se mantengan los valores establecidos en normas vigentes para otros cementos que se emplean en las mismas actividades constructivas en las que se usará el “cemento de bajo carbono”.

Requisito físico	"cemento de bajo carbono"		cemento puzolánico PZ-25	cemento Portland
	Resultado de la prueba industrial	Valor propuesto	Valor de la norma NC 96:2011	Valor de la norma NC 95:2011
Tiempo de fraguado (mín) minutos	135	45	45	45
Tiempo de fraguado (máx) horas	2,9	10	12	10

Tabla -3.2 Resumen de valores de los tiempos de fraguado del “cemento de bajo carbono”, el cemento Portland y el cemento puzolánico PZ-25.

En las tablas 3.3 y 3.4 se presentan los valores correspondientes a los tiempos de fraguado del cemento P-350 y el cemento puzolánico PZ-25 respectivamente, obtenidos en las distintas empresas productoras de cementos del país. Se evidencia que los valores alcanzados son similares a los valores alcanzados en la prueba industrial por el “cemento de bajo carbono”.

Capítulo III: Fundamentación de los parámetros técnicos a incluir en la propuesta de norma cubana para el cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada

Cemento P-35

	FI	FF
Norma NC 95:2011	45 min	10 máx
Empresas		
Mariel	75	2.22
Artemisa**	89	2.09
Siguaney *	130	2.92
Cienfuegos	138	3.08
Nuevitas	127	3.05
Mercerón	129	3.09

Tabla-3.3 Valores correspondientes a los tiempos de fraguado del cemento P-350 obtenidos en las distintas empresas productoras de cementos del país en el mes de noviembre de 2012 (Construcción 2012).

Cemento PZ-25

	FI	FF
Norma NC 96:2011	45 min.	12 máx
Empresas		
Artemisa **	90	2.20
Siguaney *	138	2.96
Cienfuegos	187	5.06
Nuevitas	140	3.23
Mercerón	138	3.08

Tabla-3.4 Valores correspondientes a los tiempos de fraguado del cemento PZ-25 obtenidos en las distintas empresas productoras de cementos del país en el mes de noviembre de 2012 (Construcción 2012) .

- **Estabilidad de volumen por Le Chatelier**

Las pastas del cemento después de fraguar deben tener la capacidad de mantener su volumen. La expansión destructiva ocurre cuando hay falta de sanidad en el cemento debido al exceso en las cantidades de cal libre o de magnesia.

En Cuba la NC 504:2007 Cemento Hidráulico- Método de ensayo-Determinación de la estabilidad de volumen, describe el método de ensayo para determinar la estabilidad de volumen de los cementos. La estabilidad de volumen se determina observando en el aparato de Le Chatelier la expansión volumétrica de la pasta de cemento de consistencia normal, indicada por el desplazamiento relativo de dos agujas. La pasta de cemento de consistencia normal tiene una resistencia especificada a la penetración de una sonda normalizada. El agua requerida para la confección de dicha pasta se

Capítulo III: Fundamentación de los parámetros técnicos a incluir en la propuesta de norma cubana para el cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker–yeso–caliza–arcilla calcinada

determina por medio de sucesivos ensayos de penetración en pastas con diferentes contenidos de agua. El ensayo se realiza simultáneamente en dos probetas de la misma amasada de pasta de cemento. La finalidad del ensayo de estabilidad de volumen es estimar el posible riesgo de expansión tardía debido a la hidratación del óxido de calcio y magnesio libres. Si el cemento reciente no satisface los requisitos de expansión especificados, se puede volver a repetir el ensayo sobre el cemento almacenado. Para ello, se extiende el cemento en una capa de 7 cm de espesor y se mantiene durante 7 días en una atmósfera a $(23 \pm 1,7) ^\circ\text{C}$ y una humedad relativa mínima del 65 %. Entonces, se repite el ensayo (Standards 2007).

Para evitar expansiones destructivas este requisito físico es incluido en la propuesta de norma cubana para el “cemento de bajo carbono”. En la tabla 3.5 se realiza un resumen comparativo en el que se presentan los valores obtenidos de “estabilidad de volumen por Le Chatelier” en la prueba industrial y el valor propuesto en la norma para el “cemento de bajo carbono”. Además, se añaden los valores especificados en las normas vigentes para los cementos Portland y el cemento puzolánico PZ-25.

Se supone que, debido al bajo contenido de óxido de magnesio que presenta en su composición el “cemento de bajo carbono” no se produzca una significativa variación de la estabilidad. Es necesario profundizar en los estudios realizados y aplicar otras pruebas que permitan conocer detalladamente el comportamiento del cemento. En este caso la estabilidad de volumen propuesta será de 10 mm, la misma que para el cemento puzolánico PZ-25 y el cemento Portland.

Requisito físico	"cemento de bajo carbono"		cemento puzolánico PZ-25	cemento Portland
	Resultado de la prueba industrial	Valor propuesto	Valor de la norma NC 96:2011	Valor de la norma NC 95:2011
Estabilidad de volumen por Le Chatelier (máx) mm	0,3	10	10	10

Tabla-3.5 Resumen de valores de Estabilidad de volumen por Le Chatelier (máx) para el “cemento de bajo carbono” , cemento puzolánico PZ-25 y cemento Portland.

3.2.2 Requisitos mecánicos

- Resistencia a la compresión

Capítulo III: Fundamentación de los parámetros técnicos a incluir en la propuesta de norma cubana para el cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker–yeso–caliza–arcilla calcinada

La resistencia mecánica del cemento es la característica principal que evalúa y aprecia el usuario. El cemento al hidratarse con el agua constituye la matriz que asegura la resistencia del esqueleto de agregados que conforman morteros y concretos. La resistencia intrínseca del cemento es función creciente del contenido de silicatos cálcicos en el clínker y de la finura de molienda, como parámetros básicos. El incremento de resistencia en el tiempo depende de la relación entre los compuestos sílico-calcáreos como la Alita (C_3S) y la Belita (C_2S) que generan las resistencias iniciales y finales en las pastas endurecidas (Cotera 1981).

La resistencia del hormigón difiere según el tipo de sollicitación que se le impone; por ejemplo, en compresión resiste unas diez veces más que a la tracción. Siendo la resistencia a la compresión la más alta, el hormigón tiene una vocación natural para cumplir este régimen de trabajo; reforzándose con barras de acero que asumen las tensiones de tracción o sometiéndose a un estado de coacción previa que compensa la tracción. Por otra parte, la resistencia de compresión constituye un índice general de calidad, pues guarda correlación con el módulo de elasticidad y es un eficiente indicador de durabilidad. Al iniciarse los ensayos de cemento las pruebas de resistencia se efectuaron por flexión, posteriormente el ensayo más característico fue el de tracción, estableciéndose luego el ensayo de compresión. En la actualidad el ensayo de compresión es generalmente adoptado como criterio de aceptación. Es evidente, que los resultados de ensayo de compresión son de interés pues el hormigón se aprecia por su resistencia a la compresión. Sin embargo, la resistencia a la tracción del cemento es un índice de la posibilidad de fisuración. Además si consideramos que la rotura de compresión se produce por separación del material, la resistencia a la tracción del cemento tiene un rol importante. Parecería ser, que las dificultades propias de los métodos de ensayos de tracción han llevado a que se abandone su especificación en las normas (Cotera 1981).

En Cuba se emplea la NC 506:2007 Cemento Hidráulico-Método de ensayo-Determinación de la resistencia mecánica, donde se describe un método para la determinación de las resistencias mecánicas a compresión y flexión del mortero de cemento.

Capítulo III: Fundamentación de los parámetros técnicos a incluir en la propuesta de norma cubana para el cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker–yeso–caliza–arcilla calcinada

El método comprende la determinación de las resistencias a compresión y opcionalmente a flexión de probetas prismáticas, de dimensiones 40 mm x 40 mm x 160 mm. Las probetas se rompen en dos mitades a flexión y cada mitad se somete al ensayo de resistencia a compresión. Si no se exige la resistencia a flexión este ensayo puede omitirse, entonces los ensayos de resistencia a compresión se realizarán sobre las dos mitades del prisma roto por un medio convencional, que no someterá los semi-prismas a esfuerzos perjudiciales (Standards 2007).

En el caso de la propuesta de norma para el “cemento de bajo carbono” solo se incluirá el requisito mecánico “resistencia a la compresión”, con este parámetro se comprueba la capacidad resistente por la que se caracterizan los hormigones. Muchas normas modernas califican la resistencia del cemento a los dos y tres días de edad, otras incluyen una valoración a los siete días, representando hasta una tendencia. Sin embargo, si consideramos que las especificaciones y reglamentos del hormigón asumen como resistencia la que corresponde a los 28 días se advierte que es fundamental también especificarla a esta edad. Más aún, si el usuario desea conocer cuál es la ganancia de resistencia que el cemento ofrece entre los 7 y 28 días (Cotera 1981). Es por esto que en la propuesta de norma para el “cemento de bajo carbono” la resistencia a la compresión se especifica a los 3, 7 y 28 días.

En la tabla 3.6 se muestra una comparación entre los valores de resistencia a la compresión para el “cemento de bajo carbono” y para el cemento puzolánico PZ-25, demostrando la equivalencia en el comportamiento de estos cementos. Además se proponen los valores de resistencia a la compresión para la norma de “cemento de bajo carbono”, que en este caso serán los mismos que para el cemento puzolánico.

Capítulo III: Fundamentación de los parámetros técnicos a incluir en la propuesta de norma cubana para el cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada

Requisito mecánico		"cemento de bajo carbono"				cemento puzolánico PZ-25
		Resultado de la prueba de laboratorio	Resultado de la prueba industrial	Valor propuesto		Valor de la norma NC 96: 2011
				M-25	M-35	
Resistencia a la compresión (mín) mPa	3 días	31,9	11	-	-	-
	7 días	45,0	17,5	17	25	17
	28 días	56,1	30,3	25	35	25

Tabla-3.6 Resumen de los valores de resistencia a compresión a los 3, 7 y 28 días para el “cemento de bajo carbono” y para el cemento puzolánico PZ-25.

El comportamiento equivalente entre el “Cemento de bajo carbono” y el cemento puzolánico PZ-25 es atribuido a dos factores fundamentales:

1. La baja finura evidenciada, que debido a la variedad en la dureza de los diferentes componentes del cemento ternario, parece indicar que afecta directamente al clínker, cuyo aporte es esencial entre 1-2 días.
2. El exceso de sulfatos en el sistema contribuye de igual manera al retraso en la reacción de los aluminatos por hipersulfatación, que propicia una mayor formación de etringita, esta ocupa determinado volumen en la matriz cementicia, afectando la correcta formación de otros productos de la hidratación más estables como los silicatos de calcio hidratados y la formación tardía de hemi y monocarboaluminatos, característicos en este tipo de sistema (Andrés 2013).

3.2.3 Requisitos químicos

• Pérdida por ignición

La NC 507:2007 Cemento Hidráulico-Método de ensayo-Análisis químico, tiene por objeto fijar los métodos de ensayo para realizar el análisis químico de los cementos. En esta norma se describen los procedimientos operatorios de referencia y, en determinados casos, una variante (método optativo o alternativo), que proporciona resultados equivalentes. Dentro de estos procedimientos se encuentra la pérdida por calcinación. Esta se determina en atmósfera oxidante (aire). Por calcinación al aire a (975 ± 25) °C se eliminan el gas carbónico y el agua, y se oxidan los elementos oxidables eventualmente presentes.

Capítulo III: Fundamentación de los parámetros técnicos a incluir en la propuesta de norma cubana para el cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker–yeso–caliza–arcilla calcinada

Se describe una corrección de la influencia de esta oxidación sobre la pérdida por calcinación. La pérdida por calcinación bruta se calcula por medio de una expresión y luego se realiza la corrección debida a la oxidación del sulfuro (Standards 2007).

Un clínker bien cocido no debe experimentar, teóricamente, variación de masa cuando se somete a, la acción del calor en atmósfera oxidante con el intervalo de temperaturas especificado pero por regla general se produce una pérdida de masa debida a la disociación térmica que experimentan los compuestos que, se han formado durante la meteorización que experimentan las partículas del clínker molido, por tratarse de un material pulverulento, muy fino y activo, sensible a la humedad y al dióxido de carbono presentes en la atmósfera (Tebar 1975). Siempre existe determinada pérdida por ignición, principalmente por los materiales arcillosos sin reaccionar, por lo que es fundamental su inclusión en la propuesta de norma cubana para el “cemento de bajo carbono”.

En la tabla 3.7 se realiza un resumen comparativo en el que se presentan los valores obtenidos de pérdida por ignición en la prueba industrial y el valor propuesto en la norma para el “cemento de bajo carbono”, además se añaden los valores especificados en las normas vigentes para el cementos Portland y el cemento puzolánico PZ-25. Como se planteaba anteriormente, la pérdida por ignición proviene de las materias de tipo arcilloso que no se eliminan durante la clínkerización, por tanto los cementos con adiciones arcillosas presentan una pérdida mayor por ignición que los Cementos Portland Ordinarios. Además otro factor que incide directamente en el aumento de la pérdida por ignición es la influencia de carbonato de calcio, que también durante la calcinación es eliminada. Se recomienda que los estudios de este parámetro en el cemento de bajo carbono se profundicen para lograr obtener datos que verifiquen esta proposición.

Capítulo III: Fundamentación de los parámetros técnicos a incluir en la propuesta de norma cubana para el cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker–yeso–caliza–arcilla calcinada

Requisito químico	"cemento de bajo carbono"		cemento puzolánico PZ-25	cemento Portland
	Resultado de la prueba industrial	Valor propuesto	Valor de la norma NC 96:2011	Valor de la norma NC 95:2011
Pérdida por ignición (máx) %	7,11	8	6	4

Tabla-3.7 Resumen de valores de la pérdida por ignición para el “cemento de bajo carbono”, cemento puzolánico PZ-25 y cemento Portland.

- **Residuo insoluble**

El residuo insoluble en ácido clorhídrico se determina generalmente en el mundo por dos procedimientos. En el primero se obtiene por ataque de la muestra del cemento, objeto de estudio, con una disolución diluida de ácido clorhídrico para evitar, al máximo, la precipitación del ácido silícico que se encuentra en la disolución; a continuación, el residuo, una vez filtrado, se trata con una disolución de carbonato de sodio, en caliente, con el fin de llevar a disolución las trazas de sílice que hubiesen precipitado y por último, se filtra, se seca, se calcina y se pesa el mencionado residuo. En el segundo método, el residuo insoluble en ácido clorhídrico, se determina por ataque de la muestra del cemento con una disolución diluida de ácido clorhídrico, filtrado y tratado del residuo con una disolución, a ebullición, de hidróxido de sodio; a continuación, se filtra, se seca, se calcina y se pesa el residuo.

El residuo insoluble en ácido clorhídrico y carbonato de sodio o hidróxido de sodio está formado por los compuestos no solubles en los reactivos señalados, que no reaccionaron en el proceso de fabricación del clínker o que pueden existir en el yeso como impureza y, principalmente, por los que se encuentran en la adición activa, de un modo especial en las puzolanas, tanto naturales como artificiales, de aquí que se eleve el contenido especificado para los cementos Portland con adiciones activas fabricados a base de puzolana (Tebar 1975).

Capítulo III: Fundamentación de los parámetros técnicos a incluir en la propuesta de norma cubana para el cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker–yeso–caliza–arcilla calcinada

En nuestro país se emplea la NC 507:2007 Cemento Hidráulico-Método de ensayo-Análisis químico. En esta norma se describen el procedimiento operatorio de referencia para determinar el residuo insoluble en el cemento, se trata de un método convencional mediante el cual el residuo insoluble de los cementos se obtiene por tratamiento con una disolución de ácido clorhídrico diluido, evitando en la medida de lo posible la precipitación de la sílice soluble. El residuo de este tratamiento se ataca por una disolución hirviente de carbonato de sodio, con el fin de volver a disolver las trazas de sílice que hayan podido precipitarse. El residuo se determina gravimétricamente, después de ser calcinado (Standards 2007). La determinación del residuo insoluble puede ser:

- En ácido clorhídrico y carbonato de sodio.
- En ácido clorhídrico e hidróxido de potasio.

En la NC 96:2011 Cemento con adición activa. Especificaciones, no se incluye este requisito para los cementos con adición activa natural. La sustitución máxima del contenido de clínker está entre 25% y 35% (Standards 2011). En el caso de la propuesta de norma para el “cemento de bajo carbono” este requisito químico se muestra en la tabla 3.8, es incluido debido a que este cemento está formado por arcilla calcinada como puzolana artificial, con una sustitución del clínker hasta 45 %, lo que influye en un alto contenido de residuo insoluble.

Requisito químico	"cemento de bajo carbono"		cemento puzolánico PZ-25	cemento Portland
	Resultado de la prueba industrial	Valor propuesto	Valor de la norma NC 96:2011	Valor de la norma NC 95:2011
Residuo insoluble (máx) %	12,59	14	-	4

Tabla-3.8 Resumen de los valores de residuo insoluble para el “cemento de bajo carbono”, cemento puzolánico PZ-25 y cemento Portland.

- **Óxido de magnesio**

El óxido de magnesio procede del carbonato de magnesio que puede estar mezclado con las materias primas, sobre todo con la caliza. Al enfriarse el clínker se puede transformar en periclasa, y esta al hidratarse aumenta considerablemente su volumen, este proceso ocurre una vez que el cemento ya está solidificado, por lo que un aumento

Capítulo III: Fundamentación de los parámetros técnicos a incluir en la propuesta de norma cubana para el cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada

de volumen de uno de sus componentes, le supone al cemento la aparición de una serie de tensiones internas no deseadas, de manera que si la concentración del óxido de magnesio fuera alta, estas tensiones podrían terminar agrietando la estructura. Por todo este es importante que la proporción de óxido de magnesio sea pequeña, ya que en caso contrario, esto puede suponer un grave problema (Hidalgo 2009).

El contenido de magnesio se determina gravimétricamente por pesada del pirofosfato de magnesio, para ello se precipita el magnesio al estado de fosfato de amonio y magnesio ($MgNH_4PO_4$), una vez llevado a disolución por ataque de la muestra con una disolución acuosa de ácido clorhídrico y eliminados los iones Aluminio (Al), Hierro (Fe) y Calcio (Ca). A continuación, se filtra, se lava, se seca, se calcina el precipitado, obteniéndose el mencionado pirofosfato ($Mg_2P_2O_7$), y se pesa (Tebar 1975).

La NC 507:2007 Cemento Hidráulico-Método de ensayo-Análisis químico, es la norma que se emplea para determinar el contenido de óxido de magnesio en el cemento. Antes del análisis químico, la muestra de laboratorio obtenida de acuerdo con la Norma NC ASTM C 183, se trata para obtener la muestra para ensayo. Las operaciones que se realicen para obtenerla se deben efectuar lo más rápido posible para que la muestra no esté expuesta al aire más que durante un tiempo mínimo (Standards 2007). Este parámetro formará parte de los requisitos químicos de la norma para el “cemento de bajo carbono”, debido a la importancia de no superar los contenidos de óxido de magnesio para evitar la expansión destructiva. Como se observa en la tabla 3.9 el valor propuesto para el óxido de magnesio es menor que las especificaciones de las normas para cemento puzolánico PZ-25 y cemento Portland, los cuales poseen como valor máximo del 5%.

Requisito químico	"cemento de bajo carbono"		cemento puzolánico PZ-25	cemento Portland
	Resultado de la prueba industrial	Valor propuesto	Valor de la norma NC 96:2011	Valor de la norma NC 95:2011
Oxido de magnesio (máx) %	1,30	5	5	5

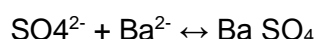
Tabla-3.9 Resumen de los valores de óxido de magnesio para el “cemento de bajo carbono”, cemento puzolánico PZ-25 y cemento Portland.

Capítulo III: Fundamentación de los parámetros técnicos a incluir en la propuesta de norma cubana para el cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker–yeso–caliza–arcilla calcinada

- **Trióxido de azufre**

El trióxido de azufre procede de los combustibles que adicionamos al horno giratorio para la realización del proceso de cocción. Estos combustibles pueden tener una determinada riqueza en azufre, y al producirse la combustión este se transforma en trióxido de azufre. El trióxido de azufre puede escapar en forma de gas, en las zonas del horno que se encuentran a alta temperatura (Hidalgo 2009).

La NC 507:2007 Cemento Hidráulico-Método de ensayo-Análisis químico plantea la determinación gravimétrica del sulfato donde los iones sulfato, que se disuelven en el ataque del cemento por ácido clorhídrico, se precipitan a pH comprendido entre 1,0 y 1,5 con una disolución de cloruro de bario. La reacción de precipitación se realiza a ebullición:



La determinación se efectúa gravimétricamente y su contenido, expresado como SO₃, se calcula por medio de una expresión (Standards 2007).

En la propuesta norma cubana para el “cemento de bajo carbono” este es el último requisito químico incluido, porque como se explicaba anteriormente el MgO y SO₃ pueden producir expansiones que al ocurrir en el hormigón endurecido ocasionan su agrietamiento. Los resultados de composición química que se muestran en la tabla 3.10 fueron realizados en la Planta de cemento Siguaney, evidenciándose el alto porcentaje en el contenido de SO₃, superior también al establecido en las regulaciones normativas NC 96: 2011 y la NC 95: 2007 que permite hasta un 3.5%.

Requisito químico	"cemento de bajo carbono"		cemento puzolánico PZ-25	cemento Portland
	Resultado de la prueba industrial	Valor propuesto	Valor de la norma NC 96:2011	Valor de la norma NC 95:2011
Trióxido de azufre (máx) %	3,65	4	3,5	3,5

Tabla-3.10 Resumen de los valores de trióxido de azufre para el “cemento de bajo carbono”, cemento puzolánico PZ-25 y cemento Portland.

Capítulo III: Fundamentación de los parámetros técnicos a incluir en la propuesta de norma cubana para el cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada

3.2 Conclusiones parciales del capítulo

1. La superficie específica del cemento y su fineza son de gran utilidad para el productor porque le ofrece una medida del resultado de la molienda y si la finura alcanzada permitirá lograr la resistencia especificada en las normas vigentes. En el caso usuario no es de gran importancia porque su necesidad es conocer las prescripciones de desempeño.
2. En la propuesta de norma cubana para el cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada no se incluyen los requisitos físicos “superficie específica de Blaine (mín)” y “retenido en el tamiz 4900 mallas“. Los métodos de ensayo son especificados en la norma cubana NC EN 196-6: 2007.
3. Los tiempos de fraguado son una de las características físicas y mecánicas de cumplimiento obligatorio en todas las normas de cementos de los distintos países del mundo, en la propuesta de norma cubana para el “cemento de bajo carbono” se incorpora este parámetro de desempeño dentro de los requisitos físicos. El método empleado para su determinación se especifica en la NC 524: 2007.
4. El requisito físico “estabilidad de volumen” es incluido en la propuesta de norma cubana para el “cemento de bajo carbono“. En Cuba la NC 504:2007 Cemento Hidráulico- Método de ensayo-Determinación de la estabilidad de volumen, se describe el método de ensayo para su determinación.
5. La resistencia mecánica del cemento es la característica principal que evalúa y aprecia el usuario. En la propuesta de norma para el “cemento de bajo carbono” solo se incluirá el requisito mecánico “resistencia a la compresión”, especificada a los 3, 7 y 28 días y no se especifica la resistencia a la flexo-tracción. El método de ensayo se describe en la NC 506:2007 Cemento Hidráulico-Método de ensayo-Determinación de la resistencia mecánica.

Capítulo III: Fundamentación de los parámetros técnicos a incluir en la propuesta de norma cubana para el cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker–yeso–caliza–arcilla calcinada

6. Los requisitos químicos que forman parte de la propuesta de norma para el “cemento de bajo carbono” son: “pérdida por ignición”, “residuo insoluble”, “contenido de óxido de magnesio y de trióxido de azufre”. En la NC 507:2007 Cemento Hidráulico-Método de ensayo-Análisis químico, se describen los métodos de ensayo que se emplean en Cuba para conocer los valores de estos requisitos.

Conclusiones Generales

1. La ausencia de la norma cubana de especificaciones para los cementos de bajo carbono elaborados a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada, limita su producción industrial en Cuba.
2. La tendencia actual en la normativa para cementos es el predominio de las condiciones de desempeño sobre los requisitos prescriptivos.
3. La estrategia general sobre el proceso de normalización propuesta para cemento de bajo carbono consta de tres etapas fundamentales: la adopción de normas internacionales para los cementos con adiciones, adopción de normas internacionales para la arcilla calcinada y la caliza, elaboración y aprobación de la norma para el cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada.
4. Como premisa fundamental para que se apruebe con éxito la propuesta de norma cubana para el cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada, es fundamental que se complete la investigación sobre el comportamiento durable de los elementos fabricados con este cemento, permitiendo su aprobación con fecha probable en abril de 2015.
5. En la propuesta de norma cubana para el cemento de bajo carbono elaborado a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada no se incluyen los requisitos físicos “superficie específica de Blaine (mín)” y “retenido en el tamiz 4900 mallas”.
6. Los tiempos de fraguado son una de las características físicas y mecánicas de cumplimiento obligatorio en todas las normas de cementos de los distintos países del mundo, en la propuesta de norma cubana para el “cemento de bajo carbono” se incorpora este parámetro de desempeño dentro de los requisitos físicos. El método empleado para su determinación se especifica en la NC 524: 2007.

7. El requisito físico “estabilidad de volumen” es incluido en la propuesta de norma cubana para el “cemento de bajo carbono“. En Cuba la NC 504:2007 Cemento Hidráulico- Método de ensayo-Determinación de la estabilidad de volumen, se describe el método de ensayo para su determinación.

8. La resistencia mecánica del cemento es la característica principal que evalúa y aprecia el usuario. En la propuesta de norma para el “cemento de bajo carbono” solo se incluirá el requisito mecánico “resistencia a la compresión”, especificada a los 3, 7 y 28 días y no se especifica la resistencia a la flexo-tracción. El método de ensayo se describe en la NC 506:2007 Cemento Hidráulico-Método de ensayo-Determinación de la resistencia mecánica.

9. Los requisitos químicos que forman parte de la propuesta de norma para el “cemento de bajo carbono” son: “pérdida por ignición”, “residuo insoluble”, “contenido de óxido de magnesio y de trióxido de azufre”. En la NC 507:2007 Cemento Hidráulico-Método de ensayo-Análisis químico, se describen los métodos de ensayo que se emplean en Cuba para conocer los valores de estos requisitos.

Recomendaciones

Elaborar las propuestas de normas cubanas para la arcilla calcinada (como puzolana) y la caliza, a partir de la adaptación de normas internacionales como primera etapa.

Profundizar en los estudios de caracterización realizados al “cemento de bajo carbono” y aplicar otras pruebas que permitan conocer detalladamente su comportamiento.

Valorar mediante consenso los requisitos físicos, mecánicos y químicos incluidos en la propuesta de norma cubana para los cementos elaborados a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada, permitiendo su posterior aprobación.

BIBLIOGRAFIA

- Ambroise, A. (1994). "Propiedades del Metacaolín mezclado con cemento." Cement Bas Master.
- Andrés, L. M. V. (2013). Reporte de la prueba piloto de molienda en la producción industrial de cemento de metacaolín. Cuba, Centro de Investigación y Desarrollo de las estructuras y los materiales (CIDem), Facultad de Construcciones, Universidad Central de Las Villas.
- Antoni M , M. F. (2013) Cement substitution by a combination of metakaolin and limestone. Cement and Concrete Research
- Association, N. R. M. C. (1998). "¿Qué, por qué y cómo?. Adiciones al cemento."
- ASTM, I. (2003). Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. **C618-03**.
- Atcin, P. (2000). "Cements of yesterday and today Concrete of tomorrow." Cement and Concrete Research."
- Becker, E. (2000) Cemento Portland. Características y recomendaciones de uso.
- Calleja, J. (2002). Apuntes históricos del desarrollo de la normalización del cemento en la Unión Europea. M. D. CONSTRUCCIÓN. España.
- Carvalho, J. O. (2011) La sostenibilidad en la industria del cemento en Brasil.
- Castillo, R. (2004). Obtención de hormigones con por cientos de sustitución de cemento Pórtland por adiciones de CP-40 y uso de aditivos químicos. departamento de Ingeniería Civil. Santa Clara, Cuba, Universidad Central de LasVillas.
- CEMBUREAU, T. E. C. A. (2013). The Cement Sector: a Strategic Contributor to Europe's Future.
- Cement, I. (2013). The Global Cement Report.
- Construcción, M. d. I. (2012). Resumen de cementos del mes de noviembre. Cuba.
- Cotera, I. M. G. d. I. (1998) Proyecto Norma ASTM, Performance para Cementos Portland.
- Cotera, M. G. d. I. (1981). CARACTERISTICAS FISICAS Y MECANICAS DEL CEMENTO.
- CSI, C. S. I. (2013). Global Cement Database on CO₂ and Energy Information.
- Donald E Macphee, S. S., Inés García Lodeiro (2010). "Alternative Cementitious binders chemical perspectives. IN ABERDEEN, U. O. (Ed.). ."
- Echavarría, S. G. R. (2012) Propiedades físicas del cemento.

- EDIFICACIÓN, O. N. D. N. Y. C. D. L. C. Y. (2009). "INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - CEMENTOS HIDRÁULICOS - ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA". Mexico.
- Gabalec, M. A. (2008). "Tiempo de fraguado del hormigón". Estructuras y Materiales de Construcción. argentina, Universidad Tecnológica Nacional. **Becarios de Investigación**.
- Giulia, B. (1997). "Study of the puzolanicity of some bricks and clays. Construction and Building Materials." **11**: No.1 (41-46).
- González, E. (2008) Método de ensayo de cementos. Determinación del tiempo de fraguado y de la estabilidad de volumen.
- Hidalgo, J. R. (2009). "COMPONENTES Y PROCESOS QUÍMICOS DEL CEMENTO". Innovación y experiencias educativas. Granada ,España.
- Kumaran, G. B. (2008). Evolución reciente de la industria de cemento: un estudio comparativo entre México y la India. Estudios sobre la cuenca del Pacífico. México.
- Lascarro, M. A. (2014). "Esfuerzos por mejorar la integración latinoamericana a la estandarización en el sector de la construcción." ASTM Standardization News
- Liang L.H, M. V. M. (2000). "Reduction in water demand of non-air-entrained concrete incorporating large volumes of fly ash", Cement & Concrete Research.
- M Frías, O. R. (2008). "Properties of calcined clay waste and its influence on blended cement behaviour. American Ceramic Society ".
- Malhotra V.M, M. P. K. (1996). Pozzolanic and cementitious materials. Inglaterra, Gordon and Breach.
- Martínez, L. (2003). Hormigones con altos volúmenes de adición de aglomerante cal-puzolana. Propiedades mecánicas y durabilidad. Departamento de Ingeniería Civil. Santa Clara, Cuba, Universidad Central de LasVillas. **Tesis Doctor**.
- Martirena, F. (2009). Una alternativa ambientalmente compatible para disminuir el consumo de aglomerante de clínker de cemento Pórtland: el aglomerante cal-puzolana como adición mineral activa. Departamento de Ingeniería Civil. Santa Clara, Cuba, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- Martirena, F. (2013). Cemento Ternario en base a arcilla calcinada, carbonato y clínker.
- Normalización, I. E. d. (2009). CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO. MÉTODO DE VICAT. Ecuador.
- Normas, C. G. d. (2013). Método de ensayo. Determinación de la finura del cemento hidráulico usando un tamiz de 45µm (№ 325). Guatemala.
- Rojas, L. F. (2013). Obtención de cementos ternarios con altos niveles de sustitución del clínker a partir de la utilización de fuentes de materias primas nacionales. Ingeniería Civil. Cuba, "Marta Abreu" de las Villas. **Trabajo de Diploma**.
- Rojas, M. I. S. (1998). "Normas europeas de cementos"

Ruiz, E. S. (2002) TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN. CONTROL DE CALIDAD EN OBRAS VIALES URBANAS.

Sabir, B. (2001). "Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review, Cement and Concrete Composites."

Salamanca, R. (2000). Cementos adicionados. Ciencia e ingeniería neogranadina. Colombia.

Santamaría, G. M. R. (2013). Informe Estadístico, Federación Interamericana del Cemento.

Shvarzaman, A. (2003). "The effect of dehydroxylation/amorphization degree on pozzolanic activity of kaolinite, Cement and Concrete Research."

Standardization, E. C. f. (2000). Specifications for mortar for masonry. Rendering and plastering mortar.

Standards, C. N. B. o. (2001). Cemento con adición activa. Especificaciones.

Standards, C. N. B. o. (2001). CEMENTO PORTLAND. ESPECIFICACIONES. Cuba.

Standards, C. N. B. o. (2004). GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE NORMAS DE PRODUCTO. Cuba.

Standards, C. N. B. o. (2005). REGLAS PARA LA ESTRUCTURA, REDACCIÓN Y EDICIÓN DE LAS NORMAS CUBANAS Y OTROS DOCUMENTOS RELACIONADOS. Granma. Cuba.

Standards, C. N. B. o. (2007). CEMENTO HIDRÁULICO—MÉTODO DE ENSAYO—ANÁLISIS QUÍMICO. Cuda.

Standards, C. N. B. o. (2007). CEMENTO HIDRÁULICO—MÉTODO DE ENSAYO—DETERMINACIÓN DE LA CONSISTENCIA NORMAL Y TIEMPOS DE FRAGUADO POR AGUJA VICAT. Cuba.

Standards, C. N. B. o. (2007). CEMENTO HIDRÁULICO—MÉTODO DE ENSAYO—DETERMINACIÓN DE LA FINURA Y LA SUPERFICIE ESPECÍFICA (EN 196-6:1989, IDT). Cuba.

Standards, C. N. B. o. (2007). CEMENTO HIDRÁULICO—MÉTODO DE ENSAYO—DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA. Cuba.

Standards, C. N. B. o. (2007). CEMENTO HIDRÁULICO—PUZOLANAS—ESPECIFICACIONES. Cuba.

Standards, C. N. B. o. (2007). CEMENTO HIDRÁULICO — MÉTODO DE ENSAYO — DETERMINACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE VOLUMEN. Cuba.

Standards, C. N. B. o. (2011). Cemento con adición activa. Especificaciones. Cuba.

Standards, C. N. B. o. (2011). Cemento Portland. Especificaciones.

Anexos

Anexo I: Resumen de los requisitos incluidos en la propuesta de norma cubana para el cemento de bajo carbono fabricados a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada y los métodos de ensayos empleados para su determinación.

Requisitos incluidos	Método de ensayo
Tiempos de fraguado	NC 524:2007
Estabilidad de volumen	NC 504: 2007
Resistencia a la compresión	NC 506: 2007
Pérdida por ignición	NC 507: 2011
Residuo insoluble	NC 507: 2011
Oxido de Magnesio	NC 507: 2011
Trióxido de azufre	NC 507: 2011

Anexo II: Propuesta de norma cubana para el cemento de bajo carbono fabricados a base de clínker-yeso-caliza-arcilla calcinada.

NOTA IMPORTANTE:

La entidad sólo puede hacer uso de esta norma para sí misma, por lo que este documento NO puede ser reproducido, ni almacenado, ni transmitido, en forma electrónica, fotocopia, grabación o cualquier otra tecnología, fuera de su propio marco.

ININ/ Oficina Nacional de Normalización

NORMA CUBANA

NC

XX: 2014

CEMENTO DE BAJO CARBONO-ESPECIFICACIONES

Low Carbon Cement-Specifications

ICS:
2014

1. Edición

REPRODUCCIÓN PROHIBIDA

Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 El Vedado, La Habana.
Cuba. Teléfono: 830-0835 Fax: (537) 836-8048; Correo electrónico:
nc@ncnorma.cu; Sitio
Web: www.nc.cubaindustria.cu



Cuban National Bureau of Standards

NC XX: 2014

Prefacio

La Oficina Nacional de Normalización (NC) es el Organismo Nacional de Normalización de la República de Cuba y representa al país ante las organizaciones internacionales y regionales de normalización.

La elaboración de las Normas Cubanas y otros documentos normativos relacionados se realiza generalmente a través de los Comités Técnicos de Normalización. Su aprobación es competencia de la Oficina Nacional de Normalización y se basa en las evidencias del consenso.

Esta Norma Cubana:

- Ha sido elaborada por el Comité Técnico de Normalización NC/CTN 22 de Cemento, en el que están representadas las siguientes entidades:
 - Ministerio de la Construcción (MICONS)
 - Empresa de Tecnologías Industriales para la Construcción (TICONS)
 - Grupo Industrial de Fibrocemento (PERDURIT)
 - Ministerio de la Industria Básica (MINBAS)
 - Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionarias (MINFAR)
 - Ministerio del Azúcar (MINAZ)
 - Ministerio de Educación Superior (MES)
 - Poder Popular (PP)
 - Oficina Nacional de Normalización (ONN)

© NC, 2014

Todos los derechos reservados. A menos que se especifique, ninguna parte de esta publicación podrá ser reproducida o utilizada en alguna forma o por medios electrónicos o mecánicos, incluyendo las fotocopias, fotografías y microfilmes, sin el permiso escrito previo de:

Oficina Nacional de Normalización (NC)

Calle E No. 261, El Vedado, La Habana, Habana 4, Cuba.

Impreso en Cuba.

CEMENTO DE BAJO CARBONO-ESPECIFICACIONES**1 Objeto**

Esta Norma Cubana establece las especificaciones, clasificación y designación que deben cumplir los cementos de bajo carbono que se utilicen en trabajos de construcción.

2 Referencias normativas

OIML R 79:1997 Labelling requirements for prepackaged products.

NC 526:2007 Cemento hidráulico. Términos y definiciones.

NC 507:2007 Cemento hidráulico. Método de ensayo. Análisis químico.

NC 506:2007 Cemento hidráulico. Método de ensayo. Determinación de la resistencia mecánica.

NC 522:2007 Cemento Hidráulico. Método de ensayo. Toma y preparación de muestras.

NC 504:2007 Cemento hidráulico. Método de ensayo. Determinación de la estabilidad de volumen.

NC 524:2007 Cemento hidráulico. Método de ensayo. Determinación de la consistencia normal y tiempos de fraguado por aguja Vicat.

NC 499 Cemento hidráulico. Almacenamiento y transporte.

3 Términos y definiciones

A los fines de esta Norma Cubana se aplican los términos y definiciones establecidos en la NC 526.

4 Clasificación y designación

El producto se clasifica en dos grados de calidad de acuerdo a la resistencia a la compresión a los 28 días expresada en MPa.

El producto se designa provisionalmente con la letra que inicia la marca del cemento, separadas por un guión del valor numérico de la resistencia a la compresión a los 28 días.

- a) Cemento Marca 25: Cemento M - 25
- b) Cemento Marca 35: Cemento M - 35

5 Requisitos y métodos de ensayo

Los requisitos que tiene que cumplir el cemento de bajo carbono, así como los métodos de ensayo a emplear aparecen en la Tabla 1.

Tabla 1 — Requisitos y métodos de ensayo para el cemento de bajo carbono

Índice	Requisitos	UM	M-25	M-35	Método de ensayo
Físicos	Tiempo fraguado inicial (mín.)	min	45	45	NC 524
	Tiempo fraguado final (máx.)	h	10	10	
	Estabilidad de volumen por Le Chatelier (máx.)	mm	10	10	NC 504
Mecánicos	Resistencia a la compresión (mín.) 3 días	MPa	-	-	NC 506
	7 días		17	25	
	28 días		25	35	
Químicos	Residuo insoluble (máx.)	%	13	13	NC 507
	Pérdida por ignición (máx.)	%	8	8	
	Oxido de Magnesio (máx.)	%	5	5	
	Trióxido de Azufre (máx.)	%	4	4	

El producto se aceptará si los resultados de ensayo cumplen con los requisitos establecidos en la Tabla 1.

6 Muestreo

Se realizará según se establece en la NC 522.

7 Transportación, manipulación, almacenamiento y conservación

Se realizará según lo que establece la NC 499

8 Marcado, etiquetado y embalaje

8.1 Producto envasado

Cuando el cemento se entrega en sacos debe indicar de forma clara e indeleble los datos siguientes, cumpliendo con los requisitos establecidos en la OIML R 79:

- Identidad del producto expresado en nombre y designación del producto.
- Nombre y lugar de la actividad del fabricante, del envasador, o del distribuidor.

- Peso neto declarado del producto.
- Referencia a Norma Cubana de especificaciones vigente para cada producto.

NOTA: En la factura del cliente debe aparecer la fecha de expedición del producto envasado.

8.2 Producto a granel

Cuando el cemento se entrega en un envase de cualquier naturaleza y cuyo contenido puede ser variable, se debe incorporar en la factura o remisión la siguiente información:

- Identidad del producto expresado en nombre y designación del producto.
- Nombre y lugar de la actividad del fabricante, del envasador, o del distribuidor.
- Peso neto declarado del producto.
- Fecha de expedición.
- Referencia a Norma Cubana de especificaciones vigente para cada producto.