

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



**Título: Propuesta de norma cubana para la producción y utilización de cementos base clínquer-caliza-arcilla calcinada en Cuba, basada en la modificación de la NC-96:2011.**

Autora: Yaimara Bacallao Rodríguez

Tutor: Ing. Dayran Rocha Francisco

Consultantes:

Dr. Ing. Sergio Betancourt Rodríguez

Dr. Sc. Ing. Fernando Martirena Hernández

**Santa Clara  
2016**

*Porque mejor es la sabiduría que las piedras preciosas; y todo  
cuanto se puede desear no es de compararse con ella.*

*Proverbio 3-15*

*A mis padres: Por darme su infinito amor y ayudarme  
a cumplir todos mis sueños.*

*A mi hermana: Por brindarme su experiencia y apoyo  
incondicional durante estos cinco años.*

*A mis sobrinas: por regalarme cada día su inocencia y  
alegría.*

*A mi tutor Dayran Rocha por brindarme su apoyo y  
conocimiento.*

*A todos los profesores que ayudaron a mi formación como un  
profesional integral.*

*A todos los amigos que me han acompañado en estos cinco  
años; en especial mis compañeras del 206.*

*A mi novio por su ternura y apoyo.*

*A toda mi familia por ayudarme a cumplir mi sueño.*

***A Dios** por permitirme llegar hasta aquí.*

**Índice.**

Resumen.....	7
Abstract.....	8
Introducción.....	9
Capítulo I: Reseña bibliográfica sobre la normativa utilizada en la producción y empleo de cementos mezclados con adiciones.....	14
1.1 Cemento Pórtland Ordinario (CPO).....	14
1.2 Cementos Mezclados.....	16
1.2.1 Cementos Binarios.....	17
1.2.2 Cementos Ternarios.....	18
1.2.3 Materiales Cementicios Suplementarios.....	18
1.3.1 Definición de las puzolanas.....	20
1.3.2.1 Puzolanas naturales.....	21
1.3.2.2 Puzolanas artificiales.....	24
1.3.3 Puzolanas a partir de arcillas calcinadas.....	28
1.3.4 Producción de cementos base de clínquer-caliza-arcilla calcinada en Cuba.....	30
1.4 Análisis de la normativa de cementos a nivel internacional.....	31
1.4.1 Normativa existente.....	31
1.4.2 Evolución de la normativa europea para la producción de cementos.....	32
1.4.3 Desarrollo de la normativa en Norteamérica.....	34
1.4.4 Organización Internacional de Normalización (ISO).....	35
1.4.5 Perfeccionamiento de la normativa referente a cementos en Latinoamérica.....	36
1.4.6 Evolución de la normativa cubana de cementos.....	41
1.4.6.1 Principales cambios realizados en la normativa cubana de cementos.....	46
1.4.7 Conclusiones parciales del Capítulo I.....	49
Capítulo II: Estrategia general para el proceso de inserción del cemento base clínquer-caliza-arcilla calcinada en la normativa cubana vigente.....	51
Introducción.....	51
2.2 Análisis comparativo de la norma ASTM C595/C595M-14 con los resultados obtenidos en ensayos realizados a los cementos base clínquer-caliza-arcilla calcinada.....	52

---

<u>2.2.1 Análisis de los valores de sustitución de clínquer de los cementos base clínquer-caliza-arcilla calcinada dentro de los rangos especificados por la norma ASTM C595/C595M-14.</u> .....	52
<u>2.2.2 Análisis comparativo de los resultados de composición química de los cementos base clínquer-caliza-arcilla calcinada con los requisitos establecidos por la ASTM C595/C595M-14.</u> .....	54
<u>2.2.2 Análisis comparativo de los requisitos físicos y mecánicos obtenidos en las pruebas industriales realizadas a los cementos base clínquer-caliza-arcilla calcinada con las especificaciones prescritas por la ASTM C595/C595M-14.</u> .....	56
<u>2.3 Análisis de la NC 96:2011 “Cemento con adición activa. Especificaciones”.</u> .....	59
<u>2.3.1 Propuesta de parámetros técnicos necesarios para la incorporación en la NC 96:2011 “Cemento con adición activa. Especificaciones” de los cementos mezclados base clínquer-caliza-arcilla calcinada.</u> .....	60
<u>2.3.2 Justificación de los cambios realizados a la NC 96:2011 “Cemento con adición activa. Especificaciones” en función de las investigaciones realizadas.</u> .....	63
<u>2.3.2.1 Análisis del comportamiento mecánico y de los requisitos físicos de los cementos base clínquer-caliza-arcilla calcinada (SIG B-45 y CIDC-2).</u> .....	63
<u>2.3.2.2 Análisis de la composición química de los cementos base clínquer-caliza-arcilla calcinada (SIG B-45 y CIDC-2).</u> .....	67
<u>Conclusiones Parciales del capítulo II.</u> .....	69
<u>Conclusiones Generales:</u> .....	70
<u>Recomendaciones.</u> .....	70
<u>Referencias bibliográficas:</u> .....	71
<u>Bibliografía consultada:</u> .....	71

**Resumen.**

En el presente trabajo se realizó un estudio de documentos normativos nacionales e internacionales referentes a la utilización de puzolanas como Materiales Cementicios Suplementarios (MCS) en la elaboración de cementos mezclados, con el objetivo de complementar la NC-96:2011 “Cemento con adición activa. Especificaciones”.

Se realizó una comparación entre los parámetros físicos, químicos y mecánicos establecidos por la ASTM C595/C595M-14 “Especificaciones para Cementos Hidráulicos Mezclados” y los resultados obtenidos en los ensayos realizados en condiciones industriales a los cementos base clínquer-caliza-arcilla calcinada. Se demostró que los cementos propuestos a incorporar en la norma cubana cumplen con los requerimientos establecidos en la norma norteamericana.

Finalmente se elaboró una propuesta de norma cubana para la producción y comercialización de cementos base clínquer-caliza-arcilla calcinada en nuestro país, a partir de la modificación de la NC-96:2011. La norma propuesta se presentó al Comité Técnico de Normalización No. 22 “Cemento y Cal” para su discusión y análisis.

**Palabras claves:** Puzolanas, Materiales cementicios suplementarios, adición, especificaciones, cemento base clínquer-caliza-arcilla calcinada.

***Abstract.***

In this paper a study of national and international policy documents concerning the use of pozzolan as Cementitious Materials Supplemental (SCM) for the production of blended cements was carried out with the aim of complementing the NC-96: 2011 "Cement with active addition Specifications".

A comparison between the physical and chemical parameters, and mechanical established by ASTM C595 / C595M-14 "Specifications for Cementos Hydraulic Mingling" and the results of the tests conducted under industrial conditions on the based cement clinker-lime-calcined clay was performed. It was shown that cements proposed to incorporate in the Cuban standard meet the requirements established in the American Standard.

Finally, a proposal for Cuban standard for the production and marketing of cement clinker-based calcined limestone-clay in our country, from modifying the NC-96: 2011 was developed. The proposed standard was submitted to the Technical Committee for Standardization No. 22 "Cement and Lime" for discussion and analysis.

Keywords:

Pozzolans, supplementary cementitious materials, addition, specifications, clinker-based cement calcined limestone-clay.

### ***Introducción.***

En la actualidad el Cemento Pórtland Ordinario (CPO) se encuentra entre los materiales de construcción más empleados a nivel mundial; sin embargo el alto consumo de combustibles fósiles y los grandes volúmenes de emisiones de CO<sub>2</sub> asociados a la producción del clínquer de cemento Pórtland influyen negativamente en los costos y la sostenibilidad ambiental.

Las puzolanas constituyen una vía para lograr reducciones del contenido de clínquer de cemento Pórtland, modificando satisfactoriamente las propiedades físicas y mecánicas del hormigón. Éstas pueden clasificarse, en dependencia de su origen, en naturales o artificiales. Las puzolanas naturales son las rocas existentes en la naturaleza que no precisan para su empleo nada más que la molienda, las mismas no están distribuidas uniformemente en el planeta, pero hay varias zonas donde estos materiales son abundantes, especialmente en el llamado "cinturón de fuego" (Martirena, 2003). Por otro lado, las puzolanas artificiales son subproductos de procesos altos consumidores de energía, ya sea por las altas temperaturas requeridas en la calcinación o combustión de materias primas, así como por el alto costo tecnológico asociado al mismo. Sus producciones principales se centran en países desarrollados, donde materiales como la ceniza volante (fly ash), el humo de sílice (silica fume), las escorias de fundición (blast furnace slag) y las arcillas calcinadas (metakaolin) se muestran como las de mayor aceptación para la producción de cementos mezclados. (Rancés Castillo\*1, 2010)

La elevada demanda de aglomerantes en Cuba producto de las necesidades constructivas propias de un país en vía de desarrollo y la indisponibilidad de puzolanas llevaron a especialistas pertenecientes al Centro de Investigación y Desarrollo de Estructura y Materiales (CIDEM) de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, en conjunto con un equipo técnico del Instituto Federal de Tecnología de Lausana, Suiza a trabajar en una propuesta de cemento ternario que se basa en la sustitución de un elevado porcentaje de clínquer por una

combinación de arcilla calcinada y carbonato de calcio en forma de piedra caliza.

La fórmula de cemento desarrollada a partir de la utilización de materiales locales, en este caso un suelo arcilloso con mineral caolinita de bajo grado de pureza, como fuente natural para la producción de puzolanas muy reactivas a partir de un tratamiento térmico por calcinación, permite triplicar los niveles actuales de sustitución de clínquer que logra la industria de cemento en Cuba (alrededor del 15-18% en el cemento PP-250). (Habitatsustentable.com, 2015)

Se conoce que mediante la sustitución del contenido de clínquer por MCS en el cemento Pórtland, se logra aumentar su resistencia mecánica y durabilidad frente a un determinado número de agentes ambientales, el cemento adquiere una resistencia muy superior a la penetración de cloruros. Además, al reducirse el contenido de clínquer de cemento Pórtland en el aglomerante, se favorece la disminución del empleo de energías no renovables y las emisiones de gases de efecto invernadero por tonelada de material.

Nuestro país no tiene experiencia en el uso de cementos mezclados con altos porcentos de sustitución del clínquer, ni en la utilización de arcillas calcinadas como MCS, por lo que resulta necesario a partir del análisis de la normativa internacional elaborar una propuesta de norma cubana que establezca las especificaciones para la producción y la comercialización de los cementos base clínquer-caliza-arcilla calcinada con el fin de lograr la introducción en la práctica social de este nuevo tipo de aglomerante.

### **Problema científico:**

¿Es posible elaborar una propuesta de norma cubana basada en la modificación de la NC-96:2011 para la producción y utilización de cementos base clínquer-caliza-arcilla calcinada en Cuba?

### **Objetivo general:**

Elaborar una propuesta de norma cubana basada en la modificación de la NC-96:2011 para la producción y utilización de cementos base clínquer-caliza-arcilla calcinada en Cuba.

**Objeto de investigación:** Documentos normativos referentes a la utilización cementos con adiciones minerales activas.

**Campo de acción:** Industria Cubana del Cemento.

### **Objetivos específicos:**

1. Analizar los documentos normativos referentes al uso de cementos con adiciones minerales activas.
2. Justificar a partir de resultados investigativos, referentes al empleo cementos mezclados con adición de arcillas calcinadas como MCS, las propuestas de modificación de la normativa cubana actual.
3. Elaborar propuesta de modificación de la NC-96:2011 “Cemento con adición activa”.
4. Presentar propuesta de modificación de la NC-96:2011 “Cemento con adición activa” al Comité Técnico de Normalización No. 22 “Cemento y Cal”.

Para dar cumplimiento a los objetivos anteriormente mencionados se proponen como **tareas científicas:**

- Compilación de bibliografía científica sobre el tema.
- Análisis de documentos normativos nacionales (NC95: 2011 y NC 96:2011) e internacionales (ASTM C595).
- Análisis de resultados investigativos referentes a la utilización de arcillas calcinadas como MCS, particularmente el trabajo referido a la producción y empleo de cementos base clínquer - caliza - arcilla calcinada en Cuba, desarrollado por el CIDEM y la EPFL.

- Confección de una propuesta de modificación de la NC-96:2011 “Cemento con adición activa”.
- Presentación de una propuesta de modificación de la NC 96:2011 “Cemento con adición activa” en el Comité Técnico de Normalización No. 22 “Cemento y Cal”.

### **Aporte Teórico:**

Se brinda una propuesta de modificación de la norma NC-96:2011 para los cementos de bajo carbono elaborados a base de clínquer-yeso-caliza-arcilla calcinada.

### **Aporte Técnico:**

El trabajo permitirá en el futuro que los consumidores del cemento base clínquer-caliza-arcilla calcinada contengan un documento legal que les permita confirmar la calidad del producto, favoreciendo el progreso técnico, el desarrollo económico y la mejora de la calidad de vida en nuestro país.

### **Aporte Social:**

El cemento desarrollado incluiría a Cuba dentro de los países que buscan alternativas sustentables para la producción de materiales de construcción, disminuyendo las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y posibilitando un cemento con menos costo y similares propiedades mecánicas y físicas que el cemento Pórtland.

### **Esquema metodológico de la investigación:**

- Definición del tema y problema de estudio.
- Recopilación bibliográfica.
- Formación de la base teórica general.
- Definición de objetivos.
- Capítulo I: Reseña bibliográfica sobre la normativa utilizada en la producción y empleo de cementos mezclados.

- Capítulo II: Estrategia general para el proceso de inserción del cemento base clínquer-caliza-arcilla calcinada en la normativa cubana vigente.
- Conclusiones y Recomendaciones.

## ***Capítulo I: Reseña bibliográfica sobre la normativa utilizada en la producción y empleo de cementos mezclados con adiciones.***

### **1.1 Cemento Pórtland Ordinario (CPO).**

Los cementos naturales son los obtenidos por la calcinación de rocas calizas arcillosas. Fueron descubiertos por J. Parker en 1796 conociéndolos también como cementos romanos ya que podían endurecer debajo del agua análogamente a los aglomerantes empleados por los romanos en sus construcciones. En 1824 ocurrió un importante descubrimiento en el área de los materiales de construcción, el albañil inglés Joseph Aspedin inventó lo que se conoce como cemento Pórtland, nombre que se le dio debido a que al secar tomaba la forma de una piedra extraída de las canteras de Pórtland, Inglaterra. En 1838, este cemento se utilizó por primera vez en una construcción de importancia, uno de los túneles construidos bajo el río Támesis en Londres. David Saylor, un técnico norteamericano, fue el primero en fabricar cemento en América, así nació en 1850 la industria cementera en Norteamérica. (Nagore Gilisagasti Perez, 2000)

El uso del cemento Pórtland continuó extendiéndose hasta convertirse en el material de construcción más utilizado en el mundo. En la actualidad solo se necesitan mencionar los edificios, avenidas, túneles, diques y carreteras, para conocer la dependencia de la civilización humana a este material. La conveniencia, precio accesible, adaptabilidad, resistencia y durabilidad han sido factores fundamentales para generalizar el uso del CPO y de su producto resultante; el hormigón, permitiendo al mundo adquirir una fisonomía diferente.

La mayor contribución de la industria del cemento a la huella ecológica del hormigón es a través de la generación de uno de los gases de efecto invernadero, el CO<sub>2</sub>. La emisión de CO<sub>2</sub> ocurre a través de la descarbonatación de las materias primas utilizadas en el proceso de manufactura del cemento y

el uso de combustibles fósiles como fuentes de energía directa e indirecta. Sobre la base del modelo estándar de producción de cemento usado actualmente y las tecnologías disponibles, (Gartner, 2004, Damtoft, 2008, Habert, 2010) se estima que por cada tonelada de cemento producida se emite aproximadamente una tonelada de CO<sub>2</sub>, (Domoterra, 2013) si en vez de cemento convencional, producimos cementos especiales podemos llegar a reducir la cifra de emisiones de CO<sub>2</sub> a 0,4 toneladas por tonelada producida.

La industria del cemento es responsable de cerca del 5% del total de las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por el hombre. (Domoterra, 2013) Se estima que en el 2012 la producción de cemento en América Latina y el Caribe haya alcanzado los 180 millones de toneladas. Es decir, un crecimiento del 5,10%, inferior al registrado en el año anterior, 6,26%. (Santamaría, 2013)

Hoy en día, los cementos con adiciones constituyen una importantísima opción para mitigar el impacto ambiental de la producción de los CPO al reducir los consumos energéticos en su producción y con ello las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, además de permitir el consumo de los desechos de otros procesos industriales potencialmente contaminantes al medio ambiente, como son las cenizas volantes y escorias de alto horno. (Santamaría, 2013)

La industria latinoamericana del cemento ha reducido sus emisiones específicas netas de CO<sub>2</sub> por tonelada de producto cementante en un 17% (de 713 kg/ton a 590 kg/ton) desde 1990 al 2011, alcanzando una tasa de reducción de emisiones igual a la obtenida a nivel mundial. Esto ha sido posible gracias a la utilización progresiva de combustibles alternativos que permiten disminuir la dependencia energética de los combustibles fósiles tradicionales y al mismo tiempo reducir las emisiones. (Santamaría, 2013)

## **1.2 Cementos Mezclados.**

Según la NC 526:2012 “Cemento hidráulico. Términos y definiciones” se define como **cemento hidráulico mezclado** aquellos que están compuestos por dos o más constituyentes inorgánicos (que al menos uno de los constituyentes no es cemento Pórtland o clínquer de cemento Pórtland) que separadamente, o en combinación, contribuyen al aporte de otras propiedades al cemento con o sin los otros constituyentes.(NC-526, 2012)

El profesor Harold F.W. Taylor, brinda una definición muy acertada, el cual cataloga a los cementos mezclados como cementos hidráulicos compuestos por cemento Pórtland y uno ó más materiales inorgánicos que forman parte en las reacciones de hidratación y que por ello realizan una importante contribución a la formación de productos de hidratación.(Taylor, 1990)

Los cementos hidráulicos mezclados se producen sustituyendo parte del clínquer de cemento Pórtland por adiciones naturales o artificiales que de acuerdo a su naturaleza presentan propiedades hidráulicas y una vez combinadas con el clínquer de CPO permiten la obtención de un material reactivo y de bajo calor de hidratación, propiciando el ahorro de energía, la eliminación de materias primas contaminantes y la reducción de emisiones de gases en el proceso de fabricación del cemento.

Las cenizas volantes, escorias granuladas, micro sílice y otras puzolanas naturales o calcinadas son reportados como las adiciones minerales más utilizadas para la elaboración de cementos mezclados. La naturaleza de los productos formados durante la reacción puzolánica en los cementos mezclados depende de las propiedades de las puzolanas y del clínquer utilizado para confeccionar el hormigón. Los principales productos de reacción son el silicato cálcico hidratado (CSH) y pequeñas cantidades de etringita y aluminatos hidratados.(Byron Javier Jaigua Romero 2010) .

### **1.2.1 Cementos Binarios.**

Es un cemento hidráulico que consiste en una mezcla homogénea y uniforme producida tanto por la intermolienda o mezcla o por una combinación de ambas al mezclar o intermoler el clínquer de cemento Pórtland o cemento Pórtland con una puzolana, una escoria o una piedra caliza. (ASTM-C595, 2014)

**Cemento Pórtland con escoria de alto horno:** Cemento hidráulico en el que el componente escoria puede representar hasta un 95 % por masa de cemento mezclado. Cuando el Cemento Pórtland con escoria de alto horno presenta un contenido de escoria igual o que exceda el 70 % por masa, se permitirá que contenga cal hidratada.

**Cemento Pórtland con escoria de alto horno con incorporador de aire:** Cemento Pórtland con escoria de alto horno al cual se le ha añadido suficiente adición incorporadora para que el producto resultante cumpla con el contenido de aire según los requisitos del mortero.

**Cemento Pórtland con puzolana:** Cemento Pórtland con puzolana es un cemento hidráulico en el que el componente puzolánico puede representar hasta un 40 % por masa de cemento mezclado.

**Cemento Pórtland con puzolana con incorporador de aire:** Cemento Pórtland con puzolana al cual se le ha añadido suficiente adición incorporadora para que el producto resultante cumpla con el contenido de aire según los requisitos del mortero.

**Cemento Pórtland con piedra caliza:** Cemento hidráulico donde el contenido de piedra caliza es mayor que un 5 % pero menor o igual a un 15 % por masa de cemento mezclado.

**Cemento Pórtland con piedra caliza con incorporador de aire:** Cemento Pórtland con piedra caliza al cual se le ha añadido suficiente adición incorporadora para que el producto resultante cumpla con el contenido de aire según los requisitos del mortero.

### **1.2.2 Cementos Ternarios.**

**Cemento ternario:** cemento hidráulico que consiste en una mezcla homogénea y uniforme producida tanto por la intermolienda o mezcla, o por una combinación de ambas al mezclar o intermoler clínquer de cemento Pórtland o cemento Pórtland con:

- 1) dos puzolanas diferentes.
- 2) una escoria y una puzolana.
- 3) una puzolana y una piedra caliza.
- 4) una escoria y una piedra caliza.

El cemento mezclado ternario de tipo IT ( $S \geq 70$ ) tendrá un contenido máximo de piedra caliza de un 15 % por masa y se permitirá que contenga cal hidratada. Todos los otros cementos ternarios tendrán un contenido máximo de puzolana de un 40 % por masa de cemento mezclado, un contenido máximo de piedra caliza de un 15 % por masa de cemento mezclado, y el contenido total de puzolana, piedra caliza y escoria será menor que el 70 % por masa de cemento mezclado.

### **1.2 Materiales Cementicios Suplementarios.**

Para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, producto de la producción de cemento Pórtland, se debe minimizar el consumo de clínquer para la elaboración de concretos hidráulicos, incrementando el consumo de MCS tales como las cenizas volantes, subproductos de los hornos que emplean carbón

mineral como combustible para la generación de energía.(Byron Javier Jaigua Romero 2010)

Comúnmente, las adiciones constituyen materiales naturales o subproductos derivados de otros procesos industriales que una vez mezclados con clínquer permiten obtener cementos con características especiales, producto que viene siendo empleado desde hace más de medio siglo en países industrializados como Francia, Alemania, Italia, Bélgica, Holanda entre otros.(Erick Estuardo Juárez Sagastume, 2003)

El conjunto de adiciones empleadas para la elaboración de cementos mezclados, está conformado por minerales originados en erupciones volcánicas, cenizas formadas en plantas generadoras que emplean el carbón como combustible, y por subproductos de hornos metalúrgicos, entre otros. En este sentido, de acuerdo al origen de cada una de las adiciones, suelen ser estas clasificadas en puzolanas naturales y artificiales, considerándose un grupo mixto o intermedio de puzolanas naturales sometidas a tratamientos térmicos de activación que buscan incrementar sus cualidades hidráulicas.(Morán, 1980)

Las adiciones aptas para la elaboración de cementos mezclados, deberán presentar contenidos adecuados de sílice y alúmina a fin de permitir la elaboración de mezclas, que una vez combinadas correctamente con cal en presencia de agua, dan lugar a compuestos permanentes insolubles y estables que se comportan como aglomerantes hidráulicos.(Fernández, 2006)

En este sentido, para el caso particular de las puzolanas, se deben considerar parámetros tales como la totalidad de componentes químicos ácidos, la estructura cristalina, la porosidad y la superficie específica entre otros. Para las cenizas volantes, es necesario determinar parámetros químicos como la pérdida al fuego, contenido de sulfatos y álcalis, así como la finura, humedad y estructura mineralógica en el aspecto físico.(Fernández, 2006)

### **1.3.1 Definición de las puzolanas.**

Se consideran generalmente como puzolanas los materiales que, carentes de propiedades cementicias y de actividad hidráulica por sí solos, contienen constituyentes que se combinan con cal a temperaturas ordinarias y en presencia de agua, dan lugar a compuestos permanentemente insolubles y estables que se comportan como conglomerantes hidráulicos. En tal sentido, las puzolanas dan propiedades cementantes a un conglomerante no hidráulico como es la cal. La reactividad de las puzolanas se atribuye, fundamentalmente en algunos casos, a la sílice activa que se encuentra en ellas formando compuestos mineralógicos silícicos.(Salazar, 2002)

Según la **NC-TS 528: 2013** las puzolanas son materiales de naturaleza silícea o sílico-aluminosa, las cuales por si misma poseen poca o ninguna propiedad cementante, pero finamente divididas y en presencia de humedad, reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio para formar compuestos con propiedades cementantes.(NC-528, 2013 )

### **1.3.2 Clasificación de las puzolanas.**

Las puzolanas, según su origen, se clasifican en dos grandes grupos; el de las naturales y el de las artificiales, aunque puede existir un grupo intermedio constituido por puzolanas naturales que se someten a tratamientos térmicos de activación, análogos a los que se aplican para obtener puzolanas artificiales, con objeto de incrementar su hidraulicidad. Estas puzolanas tratadas, aunque son naturales por origen, se pueden considerar como artificiales por causa del tratamiento que reciben. Podrían denominarse puzolanas mixtas o intermedias, por participar de los caracteres tanto de las naturales como de las artificiales.(Salazar, 2002)

### **Clasificación según la NC-TS 528: 2013.**

Esta norma cubana establece la siguiente clasificación de los materiales puzolánicos:

Clase N - Puzolanas naturales calcinadas y sin calcinar, tales como, algunas tierras de diatomeas, esquistos opalinos, tobas, cenizas volcánicas o pumíticas, calcinadas o no; y varios materiales que requieren calcinación para obtener propiedades satisfactorias, tales como las arcillas y pizarras.

Clase F - Cenizas volantes producidas por la combustión de la antracita y carbón bituminoso. Este tipo de ceniza volante tiene propiedades puzolánicas.

Clase C - Cenizas volantes normalmente producidas del lignito o carbón bituminoso. Este tipo de ceniza además de la propiedad puzolánica, tiene también alguna propiedad cementante. Algunas cenizas volantes de la clase C pueden tener contenidos de cal mayores del 10 %.

#### **1.3.2.1 Puzolanas naturales.**

Se componen básicamente por materiales de origen volcánico, orgánico y sedimentario, pudiendo ser éstos rocas volcánicas de naturaleza diversa: traquítica alcalina, pumicita, tobácea, etc, o también rocas de origen orgánico, tierras de diatomeas (algas) o de infusorios (protozoos rodolarios) de carácter fósil con naturaleza y composición a base de sílice activa.(Soffietti, 2015)

En su gran mayoría, las puzolanas naturales requieren de molienda para alcanzar un grado de finura que las haga adecuadas para su uso, además de hacer notar que no toda roca volcánica constituye por ende una puzolana natural.

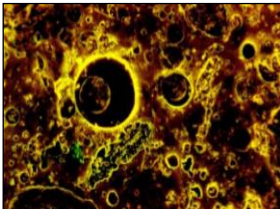
- **Origen volcánico.**

Consisten de materiales vítreos de estructura incoherente o tufas compactadas que se forman por la deposición de polvo y cenizas volcánicas. Pueden surgir

en la naturaleza en forma de rocas consolidadas y como estado fragmentado no consolidado.(Porta, 1985)

El polvo y las cenizas volcánicas de los cuales se han formado las puzolanas de origen volcánico, han experimentado un enfriamiento rápido y en algunos casos subsecuentes alteraciones químicas que han conducido a la formación de compuestos zeolíticos. Generalmente, esta alteración es atribuida a la acción de vapor súper calentado y al dióxido de carbono debajo de la superficie de la tierra.

El efecto de esta acción ha sido convertir la mayoría del material original a una forma químicamente más reactiva mientras los constituyentes básicos han sido parcialmente removidos por la acción conjunta del CO<sub>2</sub> y el agua.(Marroquín, 1989)



**Fig 1** Puzolana natural de origen volcánico púmitico.

- **Origen orgánico.**

Las puzolanas naturales de **origen orgánico** son rocas sedimentarias abundantes en sílice hidratada y formadas en yacimientos o depósitos que en su origen fueron submarinos, por acumulación de esqueletos y caparzones silíceos de animales (infusorios radiolarios) o plantas (algas diatomeas). Todas las propiedades de las puzolanas naturales y en particular aquellas que las hacen especialmente aptas para su aprovechamiento en la industria del cemento, dependen fundamentalmente de su composición y de su textura, las cuales a su vez están íntimamente relacionadas con su origen y formación.(Salazar, 2002)

**Tierras de diatomeas:** Es un material polvoriento o de muy alta finura y superficie específica, así como un elevado contenido de sílice amorfa altamente reactiva. Poseen un aspecto macroscópico de roca fina y porosa, con un color que varía desde blanco brillante (en el caso de alta pureza), hasta rosa cuando se trata de un material calcinado, o bien, gris cuando se encuentra sin calcinar.

**Esquistos opalinos:** Son rocas metamórficas constituidas de sílice pura producto de la cristalización de aguas, cuyos cristales se encuentran alineados en capas paralelas formando un gran número de exfoliaciones compactas y bien desarrolladas. Este tipo de rocas suelen romperse con facilidad por una laminación en placas finas parecidas a escamas.

- **Origen sedimentario.**

Arcillas: Es un material procedente de la descomposición natural de rocas que contienen feldespato, como el granito. Físicamente se considera un coloide de partícula extremadamente pequeña y superficie lisa, caracterizándose por adquirir plasticidad al entrar en contacto con el agua, así como sonoridad y dureza al calentarla por encima de 800°C. Se identifican de acuerdo al mineral que se halle presente en mayor proporción, encontrándose así arcillas caoliníticas, montmoriloníticas e ilíticas.

Las arcillas en su estado original consisten en un grupo de aluminosilicatos hidratados, aunque el aluminio puede ser substituido en distintas medidas por óxido férrico y en menor grado por bases como MgO, Na<sub>2</sub>O y CaO, incluyéndose en este grupo minerales del grupo del caolín y otros minerales de la misma composición. (Marroquín, 1989)

**Zeolitas:** Consiste en un material altamente reactivo similar a las tobas volcánicas, presentando un alto contenido de sílice amorfa con regular dureza.

En Cuba, uno de los MCS más usados son las tobas zeolíticas – llamadas en el argot popular como “zeolitas” – debido a su probada reactividad puzolánica y a la gran disponibilidad de reservas, que se estiman en el orden de los 360 MMt de recursos identificados y hasta 500 MMt inferidos de acuerdo a los yacimientos estudiados.(Andrés, 2014)

### **1.3.2.2 Puzolanas artificiales.**

Son desechos y subproductos silícicos vítreos determinados, como el caso de las cenizas volantes y el humo de sílice, además de las arcillas naturales aptas para ser activadas por medio de tratamientos térmicos.

Cabe distinguir dos grupos básicos, uno de ellos el formado por materiales naturales silicatados de naturaleza arcillosa y esquistosa que adquieren el carácter puzolánico por sometimiento a procesos térmicos, y otro, constituido por subproductos de determinadas operaciones industriales que en virtud de las transformaciones sufridas, adquieren propiedades puzolánicas.(Soffiatti, 2015)

- **Origen térmico.**

**Arcillas activadas o calcinadas artificialmente:** Cuando los suelos arcillosos o los residuos de la quema de ladrillos de arcilla finamente molidos son horneados a temperaturas entre 700-900<sup>o</sup>, las moléculas de agua se liberan, formando un material cuasi-amorfo reactivo con la cal.

Dentro de los minerales arcillosos más comunes se encuentran la caolinita, las esmectitas (montmorillonita), clorita y palygorskita-sepiolita, esmectitas e illitas. (Mackenzie, 1966, Danner, 2013, Snellings, 2011)

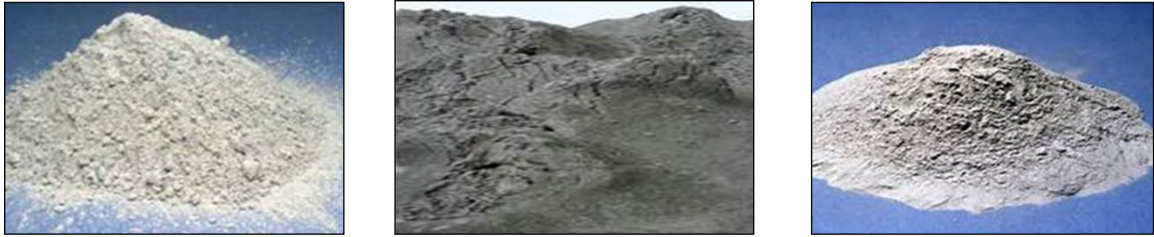
- **Origen residual.**

**Cenizas volantes:** Las cenizas son los residuos de la combustión de carbón pulverizado en centrales térmicas. Los productos de esta combustión se subdividen en cenizas volantes y de hogar. Los primeros, son residuos volátiles obtenidos a lo largo del trayecto de los gases de la combustión del carbón que son evacuados por la chimenea de la caldera. Las propiedades de estas cenizas varían ampliamente según el tipo de carbón, el residuo de cenizas, el grado de pulverización y el tipo de colectores empleados. Aun cuando estas cenizas se obtengan de una misma fuente de producción, sus propiedades físicas y químicas presentan cierto rango de variación. Las cenizas de hogar, por su parte, se obtienen desde el fondo del hogar de la caldera y el tamaño de sus partículas es entonces mayor que el de las cenizas volantes. Su producción corresponde al 20 % aproximadamente, del total de cenizas obtenidas. (Jorquera, 1984)

Las cenizas volantes pulverizadas o PFA son un subproducto de la industria electro-energética que emplea carbón mineral y constituyen el MCS más empleado en la industria del cemento como sustituto de clínquer en la producción de cementos mezclados.(Ahmaruzzaman, 2010, Barnett, 2010, EPFL, 2010)

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.(Sánchez, 2014)

La definición de cenizas volantes no incluye otros materiales tales como los residuos resultantes de: (1) la quema de la basura de los municipios ni ningún otro desperdicio de carbón; (2) la inyección de cal directamente dentro de las calderas para eliminar los sulfuros; (3) los residuos de las industrias o desechos de basura municipales obtenidos en incineradores conocidos comúnmente como “cenizas de incineradores”.(NC-528, 2013 )



**Fig. 2** Cenizas volantes.

Dos millones de toneladas de cenizas volantes u hollines procedentes de las centrales térmicas terminan cada año en los vertederos y su reutilización como cemento en la construcción reduciría de manera considerable las emisiones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), principal causante del calentamiento global.(Yuste, 2015)

Efe Manuel Mateos, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, descubrió en el año 1962 que ciertas cenizas volantes u hollines -las llamadas Tipo C- constituyen *“un auténtico cemento por sí solas”*.

En Estados Unidos, donde hace seis décadas se prohibió la emisión de los hollines a la atmósfera, se consumen millones de toneladas al año de este cemento, *“lo que evita millones de kilos del peligroso  $\text{CO}_2$ ”*.

Según Manuel Mateos, el uso de este “cemento”, muy extendido en algunos países para la construcción, disminuye el consumo de otros aglutinantes que requieren mucha energía para su fabricación, contribuye al reciclaje de residuos, reduce la contaminación y minimiza costos, al provenir de vertederos.

Entre sus posibles usos, destacan su aplicación en firmes de carreteras, como asiento de tubos en conducciones, fabricación de ladrillos, construcción de presas de embalses, cimientos y fabricación de hormigón ciclópeo, casas de adobe, etc.(Yuste, 2015)

**Humo de Sílice o Microsílice (Sílica Fume o SF):** Es un subproducto de la producción de metales de sílice o aleaciones ferrosilíceas y se considera uno de los MCS más reactivos (Khan, 2011), su adición está limitada por la EN 197 a un 10 %, pero ha resultado muy eficaz en cementos que contienen otras adiciones minerales con una cinética de reacción más lenta (GBFS, PFA y puzolanas), permitiendo incrementar el porcentaje de estos MCS en los cementos.



**Fig. 3** Humo de Sílice.

Dentro de las puzolanas artificiales se encuentran también las escorias de alto horno y las cenizas de residuos agrícolas.

**Escoria de alto horno (GBSF):** Producto no metálico, constituido esencialmente por silicatos y aluminio - silicatos de calcio y otras bases, que se han desarrollado simultáneamente con el hierro en las condiciones de fundición en un alto horno. (NC-528, 2013 )

Son un subproducto de la industria siderúrgica y constituyen, después de las cenizas volantes, el segundo MCS empleado en la industria del cemento. (Humphreys, 2002)

Por sus propiedades puzolánicas e hidráulicas, las normativas de cemento permiten su empleo como sustitutos de clínquer en cantidades superiores al 35 % establecido para el resto de los MCS. (ASTM-C595, 2014)



**Fig. 4** Escoria de alto horno.

**Cenizas de residuos agrícolas:** Cuando se queman la ceniza de cascarilla de arroz, ceniza del bagazo y la paja de la caña de azúcar, se obtiene un residuo mineral rico en sílice y alúmina, cuya estructura depende de la temperatura de combustión.

### **1.3.3 Puzolanas a partir de arcillas calcinadas.**

El Metacaolín (MK) es una puzolana artificial de uso conocido en hormigones. Es un derivado de la calcinación de arcillas caoliníticas y está constituido básicamente por compuestos a base de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) en fase amorfa, proporcionando alta reactividad con el hidróxido de calcio o portlandita  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , resultante de la hidratación del cemento. La portlandita es un cristal frágil y soluble, y es responsable de la pérdida de resistencia mecánica y durabilidad del hormigón. (Figueredo, 2012)



**Fig.5** Metacaolín.

El MK de alta reactividad, un mineral puzolánico sintético, reacciona de forma muy vigorosa con el hidróxido cálcico, lo que mejora de forma significativa las prestaciones del hormigón. Esta sustancia ha demostrado ser una alternativa adecuada al humo de sílice en la formulación de hormigones de alta resistencia o de altas prestaciones. De hecho, algunos investigadores han observado que el MK de alta reactividad produce resultados mejores incluso que el humo de sílice y mejora las propiedades del hormigón a la vez que garantizaba una buena trabajabilidad. (Rafik Abbas, 2010)

La finalidad del uso del MK consiste en el aumento de la compacidad del hormigón con una consecuente reducción de su porosidad producto del efecto filler, pues siendo un producto muy fino el MK se sitúa entre los granos de cemento llenando los vacíos dejados por estos (efecto filler).

Además, el aporte más importante de este material consiste en su reacción con la portlandita, conocida como reacción Puzolánica, ya que por ser el MK un silicato de aluminio, promueve reacciones con el hidróxido de calcio formando cristales de "C-S-H" (Silicato de Calcio Hidratado), y otros cristales resistentes, pertenecientes al grupo de la gelenita, cuya composición es del tipo silicoaluminato de calcio hidratado  $-5\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}-$  (C-A-S-H). Esta función puzolánica de alto desempeño lleva a un incremento en la resistencia a compresión y en otras propiedades del hormigón.

La temperatura de calcinación de las arcillas influye en las propiedades puzolánicas del material resultante. La mayor reactividad se alcanza cuando el proceso de calcinación provoca la deshidroxilación, dejando como resultado una estructura de arcilla colapsada y desordenada. La temperatura óptima de activación parece depender de la pureza del material y sus minerales acompañantes. La temperatura de activación óptima para el caso del caolín se encuentra en el rango de 630-800 °C. (B.Sabir, 2001, López, 2009)

El inconveniente del uso del MK se centra en la necesidad de disponer de arcillas puras en mineral caolín como materia prima para su producción, además de los altos costos de energía que exige su proceso de producción durante la calcinación. Formas viables de disminuir estas desventajas serían el empleo de arcillas de más bajo grado de pureza, unido a un eficiente proceso energético de producción durante su calcinación.

#### **1.3.4 Producción de cementos base de clínquer-caliza-arcilla calcinada en Cuba.**

El cemento “base clínquer-caliza-arcilla calcinada” es una formulación novedosa desarrollada por especialistas pertenecientes al Centro de Investigación y Desarrollo de Estructuras y Materiales (CIDEM) de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, en conjunto con un equipo técnico del Instituto Federal de Tecnología de Lausana, que permite sustituir un alto porcentaje de clínquer (50 %), material más costoso del cemento por una combinación de arcilla calcinada con mineral caolín de bajo grado de pureza y carbonato de calcio en forma de piedra caliza. La fórmula de cemento desarrollada permite triplicar los niveles actuales de sustitución de clínquer que logra la industria de cemento cubana (alrededor del 15-18% en el cemento PP-25 y PP-35), para producir un cemento de similar resistencia y una resistencia muy superior a la penetración de agentes como los cloruros, que pueden producir daños en la matriz de hormigón.

El cemento se realizará a partir de la utilización de materiales locales, en este caso un suelo arcilloso con mineral caolinita de bajo grado de pureza, como fuente natural para la producción de puzolanas muy reactivas a partir de un tratamiento térmico por calcinación. Este suelo arcilloso es abundante en Cuba (Delgado, 2003), lo cual garantiza la disponibilidad de materia prima para posibles producciones de esta puzolana. Con esta experiencia, Cuba se pone en la punta de los países que buscan alternativas ecológicas para la producción de materiales de construcción.

“Por cada tonelada de cemento producida, se genera aproximadamente una de dióxido de carbono, un importante gas de efecto invernadero, de ahí la trascendencia de la concreción de la mencionada innovación, capaz de reducir en un 32 por ciento las emisiones de CO<sub>2</sub>, además de disminuir el costo de energía en un 29 por ciento” respecto a otros cementos, explicó el científico cubano José Fernando Martirena. (Internacionales, 2013)

En la prueba industrial realizada entre el 12 y 14 de agosto de 2013 se molieron 137 toneladas de cemento en la fábrica de Siguaney, situada en la región central de Cuba, en la provincia de Sancti Spíritus, donde se realizó la quema industrial de 120 toneladas de arcilla caolinítica, que generaron más de 65 toneladas de material puzolánico.(Antoni M 2013)

Posteriormente en el 2015 se realizó una segunda prueba efectuada en la planta de producción de cemento a escala semi-industrial ubicada en el CIDC, en la cual se utilizaron los mismos materiales que los utilizados en la prueba piloto del 2013, ya que le objetivo era evaluar la molienda y producir cementos con diferentes porcentos de sustitución del clínquer.(Paradelo, 2015)

## **1.4 Análisis de la normativa de cementos a nivel internacional.**

### **1.4.1 Normativa existente.**

El establecimiento de normas, favorece en todo momento el progreso técnico, el desarrollo económico y la mejora de la calidad de vida. De acuerdo con ISO la normalización es la: “actividad que tiene por objeto establecer, ante problemas reales o potenciales, disposiciones destinadas a usos comunes y repetidos, con el fin de obtener un nivel de ordenamiento óptimo en un contexto dado, que puede ser tecnológico, político o económico “.

La normalización del cemento tiene sus inicios como especificaciones de fábrica a finales del siglo XIX, siendo en los comienzos del siglo XX cuando los organismos de normalización de los países industriales establecen normas de ensayo y calidad para los diversos tipos de cementos. Posteriormente, con la generalización de la normativa muchos países procedieron a establecer sus propias normas o bien, adoptar aquellas de mayor significación, hecho que ha obstaculizado la comparación de cementos como consecuencia de los diferentes métodos de ensayo. Actualmente, la normalización ha tendido a modificarse como consecuencia de la necesidad de adaptarse a la innovación y procurar especificaciones uniformes que permitan atender convenios de comercio internacional. (Fernández, 2006)

#### **1.4.2 Evolución de la normativa europea para la producción de cementos.**

El Comité Europeo de Normalización (CEN), fundado en 1961 en París tiene como objetivo específico la promoción del desarrollo del comercio y del intercambio entre los países miembros. Se encuentra constituido por varias subdivisiones entre las que se ubica la Comisión Técnica 51 (TC-51): "Cementos y Cales de Construcción", encargada de redactar las Normas Europeas de cemento con el fin de presentar al usuario innovadoras opciones en busca de un ahorro energético y aprovechamiento de los recursos naturales y artificiales.

A partir de 1973, comenzaron formalmente las tareas de la normalización del cemento, las cuales se han venido desarrollando de modo prácticamente ininterrumpido, en particular durante los años 80, en los cuales el CEN/TC 51 decidió tener en cuenta, a efectos de su inclusión en un Proyecto de Norma Europea Experimental, sólo los "cementos comunes", entendiendo por tales los utilizables en hormigón en masa, armado y pretensado, producidos y utilizados en la mayoría de los países de la Europa Occidental. Este propósito incluía también todo lo relativo a la definición, clasificación, nomenclatura

denominación y designación y especificaciones de los cementos, así como lo tocante a los métodos de ensayo y análisis de los mismos.(Calleja, 2002)

Fue así, como en 1989 el CEN/TC 51, a través de sus Subcomités y Grupos de Trabajo culminó la elaboración de un proyecto de norma europea para cemento, el cual, propuesto y sometido a votación, fue rechazado el mismo año por falta de aceptación mayoritaria, y porque la Directiva de Productos de la Construcción de la CE previamente promulgada y que, naturalmente afectaba al cemento, exigía la inclusión en el Proyecto de todos los cementos tradicionales y bien experimentados en todos los países de la Comunidad, a fin de establecer el ya citado Mercado Común Europeo para dichos productos, previsto en la mencionada Acta Única; exigencia que el proyecto presentado no cumplía.(Calleja, 2002)

En febrero de 1986 se designa a la Empresa "Asociación Española de Normalización" (AENOR) como Entidad reconocida para desarrollar tareas de Normalización y Certificación, y asume las funciones que venía realizando el Instituto Español de Normalización (IRANOR). En el seno de AENOR existen Comités Técnicos de Normalización, responsables de la elaboración de proyectos de normas, en base a un consenso obtenido entre todos los que intervienen en su ejecución. También en AENOR se establecen Comités de Certificación, cuyo objeto es verificar que los productos son conformes con las normas que les son aplicables, sirviendo al mismo tiempo para implantar en las empresas sistemas que aseguren la calidad a través de la concesión de marcas.

En la actualidad con la Norma Europea para Cementos EN 197-1:2000, a la cual se ha llegado a través de la evolución del proyecto hasta acabar en la norma española UNE-EN 197-1:2000 de AENOR, vigente desde el 1 de abril de 2002.

### **1.4.3 Desarrollo de la normativa en Norteamérica.**

ASTM o ASTM International es un organismo de normalización de los Estados Unidos de América. Fue fundado el 16 de mayo de 1898, como American Section of the International Association for Testing Materials por iniciativa de Charles Benjamin Dudley, entonces responsable del Control de la Calidad de Pensilvania Railroad. Algunos años antes se había fundado la International Association for Testing Materials (IATM), y justamente el 16 de junio de 1898 los setenta miembros de la IATM se reunieron en Filadelfia para fundar la sección americana de la organización. En 1902, la sección americana se constituye como organización autónoma con el nombre de: American Society for Testing Materials, que se volverá universalmente conocida en el mundo técnico como ASTM. Dudley fue, naturalmente, el primer presidente de la ASTM. (Hooton, 2007) La Sociedad Americana para Pruebas y Materiales en el 2001, cambió su nombre a ASTM International.

La ASTM International es un líder reconocido a nivel mundial en el desarrollo y suministro de normas de consenso voluntario. Hoy en día, más de 12.000 normas ASTM se utilizan en todo el mundo para mejorar la calidad del producto, mejorar la salud y la seguridad, fortalecer el acceso al mercado y el comercio, y construir la confianza del consumidor.

Las normas establecidas por la American Society for Testing and Materials (ASTM) en Estados Unidos, constituyen sin duda alguna los principales parámetros a seguir en cuanto a ensayos y materiales se refiere, encontrándose dentro de éstas la Norma ASTM C-595, en la cual se contemplan especificaciones básicas para cinco tipos de cementos mezclados destinados a usos generales en la construcción, determinándose en ella la calidad y tipo de materiales a emplear para el también establecido proceso de elaboración. La actual edición fue aprobada el 1º de mayo de 2014. Originalmente aprobada en 1967. Última edición previa aprobada en 2013 como C595/C595M-13. DOI: 10.1520/C0595\_C0595M-14.

Más allá de la elaboración de normas, ASTM ofrece programas de capacitación técnica , así como pruebas de competencia, certificación y declaración , que complementan las actividades de desarrollo de normas y proporcionan soluciones empresariales para agencias gubernamentales, investigadores y laboratorios de todo el mundo.

La sede mundial de la ASTM se encuentra en West Conshohocken, Pensilvania, con oficinas en Bélgica, Canadá, China, Perú y Washington, DC.

#### **1.4.4 Organización Internacional de Normalización (ISO).**

En 1947, justamente recién acabada la II Guerra Mundial, se crea en Londres la ISO, con la colaboración de 25 países. Su objetivo principal es promocionar la normalización mundial para facilitar los intercambios de mercancías y servicios entre países y a la vez intentar conseguir un entendimiento mutuo en el campo intelectual, científico, técnico y económico. Las normas ISO no tienen carácter obligatorio y van destinadas a los Organismos Nacionales, que las emplean como base para la elaboración de su propia normativa.(Mauricio Ossa M, 1984)

Sus actividades se desarrollan a través de Comités Técnicos, con Subcomités y Grupos de Trabajo que se ocupan de los distintos aspectos encomendados a cada Comité.

La Organización Internacional de Normas (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.(Standarization, 2000)

Cada miembro de ISO es el organismo más representativo dentro de su país en asuntos de normalización. Los miembros proponen las nuevas normas, participan en su desarrollo y ofrecen apoyo, conjuntamente con la Secretaría Central de ISO, a los 3 000 grupos técnicos que realmente desarrollan las normas.(www.iso.org, 2010)

En la actualidad, la ISO posee una cartera de más de 18400 normas que proveen soluciones prácticas y logran beneficios para casi todos los sectores del mundo económico, industrial y tecnológico. Dichas normas representan una oferta completa para las tres dimensiones – económica, ambiental y social – del desarrollo sostenible. El programa de trabajo de ISO abarca desde normas para actividades tradicionales, como la agricultura y la construcción, pasando por ingeniería mecánica, fabricación y distribución, hasta transporte, artículos médicos, lo último en desarrollo de tecnologías de información y comunicación, servicios y evaluación de la conformidad.

#### **1.4.5 Perfeccionamiento de la normativa referente a cementos en Latinoamérica.**

En los últimos años, las normas para fabricación de cemento han sufrido importantes cambios, con una tendencia a adecuarse a las necesidades de la construcción moderna y a contribuir a la reducción de los gases de efecto invernadero, con especial énfasis en el CO<sub>2</sub>. Se estima que en el 2012 la producción de cemento en América Latina y el Caribe haya alcanzado los 180 millones de toneladas.(Santamaría, 2013)

Los Ministros de Medio Ambiente de América Latina y el Caribe se reunieron el 31 de marzo del 2016 en Cartagena de Indias, Colombia, para definir

prioridades en 33 países de la región con el fin de fomentar la acción y la cooperación en la implementación de la dimensión ambiental de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. La XX Reunión del Foro de Ministros de Ambiente de América Latina y el Caribe es acogida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, con el apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA, que ejerce la Secretaría del Foro.(FICEM, 2016a)

En el año 1935, es fundado por un grupo de instituciones públicas y privadas el Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM), constituyendo el Primer Instituto de Normas de Latinoamérica. En 1999, se realiza una revisión de las de las Normas IRAM establecidas con el propósito de simplificar la aplicación del conjunto de normas relacionadas con las características y requisitos de los distintos tipos y clases de cementos comercializados en el país.(Fernández, 2006)

En Argentina actualmente la fabricación de clínquer de cemento Pórtland genera cantidades de CO<sub>2</sub> 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 IRAM permiten una sustitución en el cemento puzolánico (CPP) de un 15-50 por ciento. (Becker, 2000, Torrent, 2000)

La industria cementera en Argentina experimentó un fuerte repunte durante el año 2015, período en el que se registraron despachos récord vinculados al ritmo de construcción de viviendas y de obras públicas.(Argentina, 2016)

Por su parte, México cuenta con la Norma Mexicana NMX - C - 414 - ONNCCE - 1999, Industria de la construcción - cementos hidráulicos - especificaciones y métodos de prueba, establecida por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y edificación, la cual regula desde 1999 los rangos de los componentes que forman los cementos Pórtland puzolánicos, diseñados éstos especialmente para la construcción sobre suelos salinos además de presentar un excelente comportamiento en obras expuestas a ambientes químicamente agresivos. De igual forma se encuentra vigente la Norma NMX-C-273-ONNCCE, Determinación de la actividad hidráulica de las adiciones con cemento Pórtland.(Fernández, 2006)

La industria cementera en México se caracteriza por ser altamente competitiva, ya que en México participan seis de los grupos cementeros más grandes del mundo (Cemex, Grupo Cementos de Chihuahua, Grupo Moctezuma, Holcim-Apasco, Cruz Azul y Lafarge), reconocidos internacionalmente por su calidad. En el 2011 existían 32 plantas en el país, con una capacidad instalada de 51 millones de toneladas para una producción anual de 37.1 millones de toneladas y un consumo anual per cápita de 329kg. (Vivar, 2015)

La industria cementera en México trabaja bajo estrictos estándares de Sustentabilidad. El sector ha invertido 2,500 millones de dólares en los últimos 6 años, de los cuales el 12% se ha destinado exclusivamente a proyectos ambientales, con un estricto control de emisiones a la atmósfera bajo criterios nacionales e internacionales, realizando el co-procesamiento aproximado de 7.5 millones de llantas de desecho y acciones puntuales de reforestación de canteras, uso adecuado del agua, creación de viveros, así como una exhaustiva labor para la conservación de flora y fauna.

La industria cementera mexicana fue la primera en adherirse al programa de certificación ambiental voluntaria del gobierno mexicano, siendo reconocida como "Industria Limpia" desde 1997.

En Perú, el Comité Técnico de Normalización de Cementos y Cales, utilizó como antecedente la norma ASTM C-595 para la elaboración de la Norma Técnica Peruana NTP 334.090:2001, en la cual se establecen los requisitos que deben cumplir los cementos Pórtland mezclados de uso general en la construcción. Las normas nacionales sobre cemento comprende la Norma NTP 334.009 que contempla los cinco tipos de cemento Pórtland, las Normas NTP 334.044 y la NTP 334.049 sobre cementos Pórtland puzolánico y Pórtland de escoria respectivamente, así como la Norma NTP 334.073 del cemento Pórtland compuesto y la Norma NTP 334.082 sobre cemento Pórtland adicionado.

En febrero de 2016, la producción del sector de la construcción aumentó en 5,37% en comparación con igual mes del año 2015, informó el INEI. Este resultado se debió al incremento del consumo interno de cemento (4,52%) y al mayor avance físico de obras públicas (10,15%), en el que destacan los gobiernos locales (60,86%) y regionales (7,62%).(FICEM, 2016c)

En Colombia, el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC, constituye el organismo nacional de normalización encargado de establecer las especificaciones de calidad en muchos casos adaptadas de los estándares de la normalización ASTM. En este sentido, las normas NTC 121 y NTC 321 establecen las propiedades físicas, mecánicas y especificaciones químicas de los cementos Pórtland, mientras las normas NTC 30 y 31 clasifican y definen los tipos de cementos. Las normas colombianas, NTC, contemplan la posibilidad de añadirle al cemento Pórtland otros materiales y productos de adición, además del clínquer y el yeso, siempre que éstos no afecten las propiedades del cemento resultante.

El Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE) reveló que en febrero del presente año la producción de cemento gris en Colombia registró un incremento de 4,1% al alcanzar las 1.077,3 mil toneladas frente a 1.034,9 mil

toneladas de febrero de 2015. Por su parte, los despachos de cemento gris al mercado nacional presentaron un aumento de 6,1%, al alcanzar las 1.045,9 mil toneladas. Según el DANE estas cifras de producción y despachos son las más altas registradas para un mes de febrero, en los últimos seis años.(FICEM, 2016b)

Para establecer los requisitos de los cementos el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) emitió la NTE INEN 152, equivalente a la ASTM C150, que cubre los Cementos Pórtland Puros, Tipos I al V (OPC = Ordinary Portland Cements). Producir estos cementos genera más CO<sub>2</sub> que la fabricación de los cementos actuales, debido a los procesos físico-químicos inherentes en su forma de producirlos.

Luego surgió la NTE INEN 490, equivalente a la ASTM – C595, en donde se tienen cementos compuestos con adiciones de puzolana, en la que se dictan los requisitos y especificaciones para los cementos Pórtland compuestos, o bien, aquellos constituidos con un componente adicional de tipo mineral con potencial hidráulico, como el caso de la puzolana y la escoria. Estos cementos, al producirlos, generan menor cantidad de CO<sub>2</sub> y se introducen conceptos de durabilidad en los cementos y hormigones comunes.(S.A, 2012)

Finalmente, tenemos la actual norma NTE INEN 2380, equivalente a la ASTM – C1157. A diferencia de las normas anteriores, en donde se establecían límites en la composición química, en esta norma el requisito prioritario es el desempeño de los cementos hidráulicos al ser usados en hormigón, es decir, una norma moderna, con tipos de cementos tales como:

Tipo GU (Uso General)

Tipo HE (Alta Resistencia Temprana)

Tipo HS (Alta Resistencia a los Sulfatos)

Tipo MS (Moderada Resistencia a los Sulfatos)

Tipo MH (Mediano Calor de Hidratación)

Tipo LH (Bajo Calor de Hidratación)

La Asociación Brasileña de Normas Técnicas, ABNT, fundada en 1940, cuenta con Comités Técnicos de Normalización entre los que se encuentra el Comité ABNT/CB-02 encargado de la Normalización del área de la construcción civil, encontrándose establecidas las Normas NBR 5732: Cemento Pórtland común, NBR 5735: Cemento Pórtland de alto horno, Norma: NBR 5736 Cemento puzolánico y Norma NBR 11578: Cemento Pórtland compuesto.

De acuerdo con las Normas Brasileñas, 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.(Carvalho, 2010)

Cemento Pórtland Común (desde 1926) CP I-S: 1 - 5% adiciones.

Cemento de Alto Horno (desde 1952) CP III: 35 - 70% escoria.

Cemento Puzolánico (desde 1969) CP IV: 15 - 50% puzolana.

Cemento Compuesto (desde 1991) CP II-E: 6 - 34% escoria CP II-Z: 6 - 14% puzolana CP II-F: 6 - 10% caliza.

En el 2012 se mantuvo el liderazgo de Brasil en la producción de cemento seguido de México, Colombia y Argentina.

Brasil es líder en el uso de biomasa como sustituto de combustible, con 12% de la energía térmica total generada.

#### **1.4.6 Evolución de la normativa cubana de cementos.**

Las actividades de normalización, metrología y calidad en Cuba están reguladas por el **Decreto Ley No. 182 "De Normalización y Calidad"**, el **Decreto Ley No. 183 "De la Metrología"** (aprobados ambos el 23 de febrero de 1998), el **Decreto Ley 62 "De la implantación del Sistema Internacional de Unidades"**, el **Decreto No. 270 Reglamento del Decreto Ley "De la Metrología"**, del Comité Ejecutivo del Consejo de Ministros; que tiene como

objetivo reglamentar los aspectos establecidos en el Decreto Ley No. 183, "De la Metrología", por lo que los objetivos, principios generales y definiciones que se recogen en el mismo fundamentan las regulaciones de dicho documento, y el **Decreto 271 “De las contravenciones de las regulaciones establecidas en metrología”**.

La Oficina Nacional de Normalización, reconocida como NC, es el Organismo Nacional de Normalización de la República de Cuba que representa al país ante las Organizaciones Internacionales y Regionales de Normalización. Dicho Organismo representa a Cuba ante la Organización Internacional de Normalización (ISO), la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML), la Comisión del Codex Alimentarius (CODEX), la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM), Obstáculos Técnicos al Comercio de la organización Mundial del Comercio (OTC/OMC), la Cooperación Euroasiática de Instituciones Metroológicas (COOMET) y la Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT), entre otras. (<http://www.onarc.cubaindustria.cu>)

La Oficina Nacional de Normalización de la República de Cuba (NC) ostenta la condición de entidad competente (Punto de Contacto y Servicio Nacional de Información) ante el Comité de Obstáculos Técnicos al Comercio de la Organización Mundial del Comercio (OMC) en materia de Normalización y Procedimientos de Evaluación de la Conformidad y por lo que posee las responsabilidades y atribuciones ratificadas por la Resolución No. I-68 DEL 18 de Diciembre de 2003 de dicha Oficina, y en tal sentido: Notifica a los demás miembros de la OMC, por conducto de la Secretaría de ésta, las normas, reglamentos técnicos o procedimientos de evaluación de la conformidad en proyecto o aprobados.

Descargan diariamente, del sitio oficial de la OMC las notificaciones realizadas por todos los países miembros, así como los resúmenes mensuales de las mismas. (NC/OTC, 2016)

Publican en este sitio, para su consulta en línea:

- ✓ Las notificaciones descargadas diariamente.
- ✓ Las Noticias relevantes relacionadas con el comercio nacional e internacional en materia de Obstáculos Técnicos al Comercio (OTC).
- ✓ Las legislaciones nacionales relacionadas con el tema en cuestión.
- ✓ Distribuyen las notificaciones periódicamente por vía electrónica, entre los Organismos de la Administración Central del Estado, productores, importadoras y/o exportadores industriales y agropecuarios nacionales que lo soliciten.
- ✓ Facilitan, los textos completos de los documentos notificados por otros miembros.
- ✓ Tramitan las observaciones o consultas provenientes de nuestro grupo de destinatario. Difunden noticias, legislaciones, así como otros temas de interés y actualidad relacionados con el comercio internacional de productos y servicios.

Los trabajos de normalización nacional, los procedimientos de evaluación de la conformidad (certificación, inspección de la calidad, ensayos, entre otros) y el Servicio Nacional de Metrología (SENAMET) se desarrollan a partir de los principios y recomendaciones de las organizaciones internacionales y regionales referidas, de manera particular de las derivadas de la OMC.

El Decreto-Ley No.182 "De Normalización y Calidad" reconoce a la NC como Órgano Nacional de Certificación de conformidad de los Sistemas de Gestión, Productos, Procesos y Servicios respecto a los requisitos especificados en las normas, reglamentos técnicos y otros documentos normativos.

El ONARC (Órgano Nacional de Acreditación de la República de Cuba): Órgano que tiene la responsabilidad de evaluar la competencia de los órganos evaluadores de la conformidad y otorgar la acreditación bajo los requisitos internacionalmente establecidos. (Cuba.ONARC, 2016)

Es el encargado de desarrollar y aprobar la evaluación y reconocimiento de la competencia de las entidades que llevan a cabo la evaluación de la conformidad, entre las que se incluyen los laboratorios de ensayo y de calibración, así como los órganos de inspección, con el objetivo de coadyuvar al reconocimiento nacional e internacional de las actividades que se desarrollan en materia de evaluación de la conformidad. (<http://www.onarc.cubaindustria.cu>)

Un resultado trascendente se relaciona con el hecho de que el Órgano Nacional de Acreditación de la República de Cuba (ONARC) se sometió a la evaluación de pares conjunta de la ILAC y de la IAAC, previa solicitud del ONARC, el cual en sus conclusiones aprobó el ingreso de este Órgano al acuerdo de Reconocimiento Multilateral, que permite ratificar que un ensayo realizado por una vez y acreditado por nuestro ONARC es válido en cualquier lugar, de gran valor para proteger nuestro comercio internacional y prestigiar nuestro país, fruto del abnegado y profesional trabajo de todos nuestros evaluadores, trabajadores, laboratorios acreditados y en general de la economía.

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.

En los Comités Técnicos de Normalización se encuentran 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)

Los cambios en la industria del cemento en Cuba han ido en ascenso y las características del cemento Pórtland han evolucionado significativamente. En sus inicios sólo se producía el llamado cemento de uso general en la construcción, cemento Tipo I, o “Cemento Pórtland 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.(Valladares, 2015)

A partir del trabajo de un grupo de Comités Técnicos de Normalización se han logrado producir un conjunto de Normas Cubanas adoptadas de sus homólogas internacionales muy a tono con el lema, “Normas para un mundo más seguro”, pues establecen los requisitos de seguridad de una serie de esferas y renglones priorizados, entre los que se encuentran los equipos médicos, los juguetes, los espacios confinados, las instalaciones eléctricas en edificaciones, entre otros. Debemos continuar con este ritmo en el perfeccionamiento y actualización de nuestra base normativa nacional, por lo que este objetivo es y seguirá siendo una meta de trabajo permanente de la normalización y, en particular, la tarea más importante de los 103 Comités Técnicos constituidos para el trabajo en esta esfera en el país. (Rosa Ma. Millán Soler, 2005)

En Cuba, la principal institución que facilita el acceso a las normas nacionales e internacionales es el Centro de Información del Instituto de Investigaciones en Normalización(ININ). Creado en el mes de septiembre de 1961, con la entrada de Cuba a la International Standard Organization (ISO), el ININ comenzó el desarrollo de sus servicios de información en normalización a partir del denominado Fondo Estatal de Normas (FEN), más tarde y actualmente conocido como Fondo Nacional de Normas de la República de Cuba, aunque,

tanto por la costumbre como por la facilidad de pronunciación se decidió mantener sus siglas originales.(Javier Santovenia Díaz, 2005) (Javier Santovenia Díaz, 2005)

#### **1.4.6.1 Principales cambios realizados en la normativa cubana de cementos.**

Sin duda alguna las normas no son una obra completa e inmodificable, ya que a lo largo de su aplicación pudieran ser objeto de cambios, ajustes o adendas aconsejados por la experiencia y el conocimiento que de la aplicación de la misma se vayan adquiriendo. A continuación se presentan los principales cambios realizados a las normas cementeras en Cuba.

#### **NC-96:2001 Cemento con adición activa. Especificaciones.**

Sustituye a las Normas Cubanas NC 54-191:1978 y NC 54-216:1988.

Se modificaron los siguientes índices:

1. Para el PZ-250 y el PP-250 la resistencia a 7 días y 28 días será de 170 kg/cm<sup>2</sup> y 250 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente
2. Para el PZ-250 y el PP-250 la pérdida por ignición hasta un 6 %, el MgO hasta un 5 % máximo y el SO<sub>3</sub> hasta un 3,5 % máximo
3. PP-350 normalizarlo con los mismos valores del P-350 a 7 y 28 días y con los mismo requisitos químicos que el PZ-250 y el PP-250.

EL producto se clasifica en tres grados de calidad de acuerdo al % de adición y la resistencia a la compresión a los 28 días expresada en kgf/cm<sup>2</sup>.

#### **Cemento Pórtland Puzolánico:**

- a) Cemento Pórtland Puzolánico 250 (con un % adición activa natural entre 6 y 20): **Cemento PP-250.**

b) Cemento Pórtland Puzolánico 350 (con un % adición activa natural entre 6 y 20): **Cemento PP-350.**

**Cemento Puzolánico:**

a) Cemento Pórtland 250 (con un % de adición activa natural entre 21 y 35): **Cemento PZ-250.**

Índice	Requisitos	UM	PP-350	PP-450	PZ-550	Método de Ensayo
Físicos	Retenido en el tamiz 4 900 (máx)	%	15	10	12	NC 54-207
	Tiempo de fraguado inicial (mín.)	Min	45	45	45	
	Tiempo de fraguado final (máx.)	H	12	12	12	
	Estabilidad de ignición por Le Chatelier (máx.)	Mm	10	10	10	
Mecánicos	Resistencia a la flexo-tracción (mín.)	3 días	-	30(3)	-	NC 54-207
		7 días	30(3)	40(4)	30(3)	
		28 días	50(5)	60(6)	50(5)	
	Resistencia a la compresión (mín.)	3 días	-	170(17)	-	
		7 días	170(17)	250(25)	170(17)	
		28 días	250(25)	350(35)	250(25)	
Químicos	Pérdida por ignición (máx.)	%	6	6	6	NC 54-206
	Óxido de Magnesio (máx.)	%	5	5	5	
	Trióxido de Azufre (máx.)	%	3.5	3.5	3.5	

**Tabla-1.3 Requisitos a cumplir por los diferentes grados de cemento con adiciones minerales activas, así como los métodos de ensayo a emplear, según la NC 96:2001.**

**NC 96: 2011 Cemento con adición activa. Especificaciones.**

Sustituye a la Norma Cubana NC 96: 2001 Cemento con adición activa. Especificaciones.

En la revisión de esta norma se introdujeron las siguientes modificaciones:

1. Se modifica la clasificación de los cementos PP - 250, PP - 350 y PZ - 250 por PP - 25, PP -35 y PZ -25.
2. Se elimina de la Tabla 1 página 2 el Residuo en Tamiz 4 900.
3. Se elimina de la Tabla 1 página 2 la Resistencia a Flexotracción.
4. Utilización de las unidades del SI.

Clasificación y designación:

EL producto se clasifica en tres grados de calidad de acuerdo al % de adición y la resistencia a la compresión a los 28 días expresada en MPa ( $\text{kgf/cm}^2$ ).

**Cemento Pórtland Puzolánico:**

- a) Cemento Pórtland Puzolánico 25 (con un % adición activa natural entre 6 % y 20 %): **Cemento PP - 25.**
- b) Cemento Pórtland Puzolánico 35 (con un % adición activa natural entre 6 % y 20 %): **Cemento PP - 35.**

**Cemento Puzolánico:**

a) Cemento Pórtland 25 (con un % de adición activa natural entre 21 % y 35 %): **Cemento PZ - 25.**

Índice	Requisitos	UM	PP-25	PP-35	PZ-25	Método de Ensayo		
	Tiempo de fraguado inicial (mín.)	min	45	45	45	NC 524		
	Tiempo de fraguado final (máx.)	h	12	12	12			
	Estabilidad de volumen por Le Chatelier (máx.)	mm	10	10	10	NC 504		
Mecánicos	Resistencia a la compresión (mín.)	3 días	(MPa)		17	NC 506		
				7 días	17		25	17
				28 días	25		35	25
Químicos	Pérdida por ignición (máx.)	%	6.0	6.0	6.0	NC 507		
	Óxido de Magnesio (máx.)	%	5.0	5.0	5.0			
	Trióxido de Azufre (máx.)	%	3.5	3.5	3.5			

**Tabla-1.4 Requisitos a cumplir por los diferentes grados de cementos con adiciones activas y métodos de ensayo a emplear, según la NC 96:2011.**

#### **1.4.7 Conclusiones parciales del Capítulo I.**

1. En Cuba no existe una norma que contemple la producción de cementos mezclados con altos porcentos de sustitución del clínquer por MCS (Máximo permitido: 35%).
2. Resulta necesaria la modificación de la NC 96:2011, a partir de la adopción parcial de normas internacionales y resultados de investigaciones científicas para el posterior establecimiento de la

producción y utilización de cementos base clínquer-caliza-arcilla-calcinada en nuestro país.

## **Capítulo II: Estrategia general para el proceso de inserción del cemento base clínquer-caliza-arcilla calcinada en la normativa cubana vigente.**

### **Introducción.**

El desarrollo de una estrategia para la producción a escala industrial de cementos base clínquer-caliza-arcilla calcinada en Cuba, permitiría la obtención de un aglomerante capaz de alcanzar resistencias mecánicas y criterios de durabilidad semejantes o superiores a los obtenidos tradicionalmente, con reducciones notables en los consumos del clínquer de cemento Pórtland, favoreciendo la disminución del empleo de energías no renovables y las emisiones de gases de efecto invernadero por tonelada de material, además de suplir la creciente demanda de aglomerantes que presenta nuestro país.

La ausencia de experiencia en Cuba en el empleo a escala industrial de arcillas calcinadas como MCS y la limitada experiencia en la producción a escala industrial de cementos mezclados con altos porcentos de sustitución de clínquer de cementos Pórtland limitan la producción y el empleo de cementos base clínquer-caliza-arcilla calcinada, por lo que resulta necesaria la transformación de la base normativa vigente en nuestro país con respecto a la utilización de cementos mezclados y a la utilización de fuentes locales de materias primas ; con el fin de establecer los niveles de calidad requeridos y conseguir un producto final regular y de calidad adecuada que garantice la fabricación de hormigones duraderos y estables.

La estrategia propuesta consiste en la modificación de la NC-96:2011 a partir de la justificación de los porcentos de sustitución y de los parámetros físicos mecánicos y químicos de los cementos base clínquer-caliza-arcilla calcinada que no se encuentren en correspondencia con las exigencias de la NC-96:2011, a partir de los requerimientos establecidos por la norma norteamericana ASTM C595/C595M-14.

## 2.2 Análisis comparativo de la norma ASTM C595/C595M-14 con los resultados obtenidos en ensayos realizados a los cementos base clínquer-caliza-arcilla calcinada.

Con el objetivo de determinar si la norma ASTM C595/C595M-14 se puede usar como base para la incorporación de los parámetros técnicos requeridos para la modificación de la NC-96:2011 se realizará un análisis comparativo entre las especificaciones prescritas por la norma norteamericana y los resultados de los ensayos realizados en condiciones industriales a los cementos base clínquer-caliza-arcilla calcinada. (Ver anexo I)

### 2.2.1 Análisis de los valores de sustitución de clínquer de los cementos base clínquer-caliza-arcilla calcinada dentro de los rangos especificados por la norma ASTM C595/C595M-14.

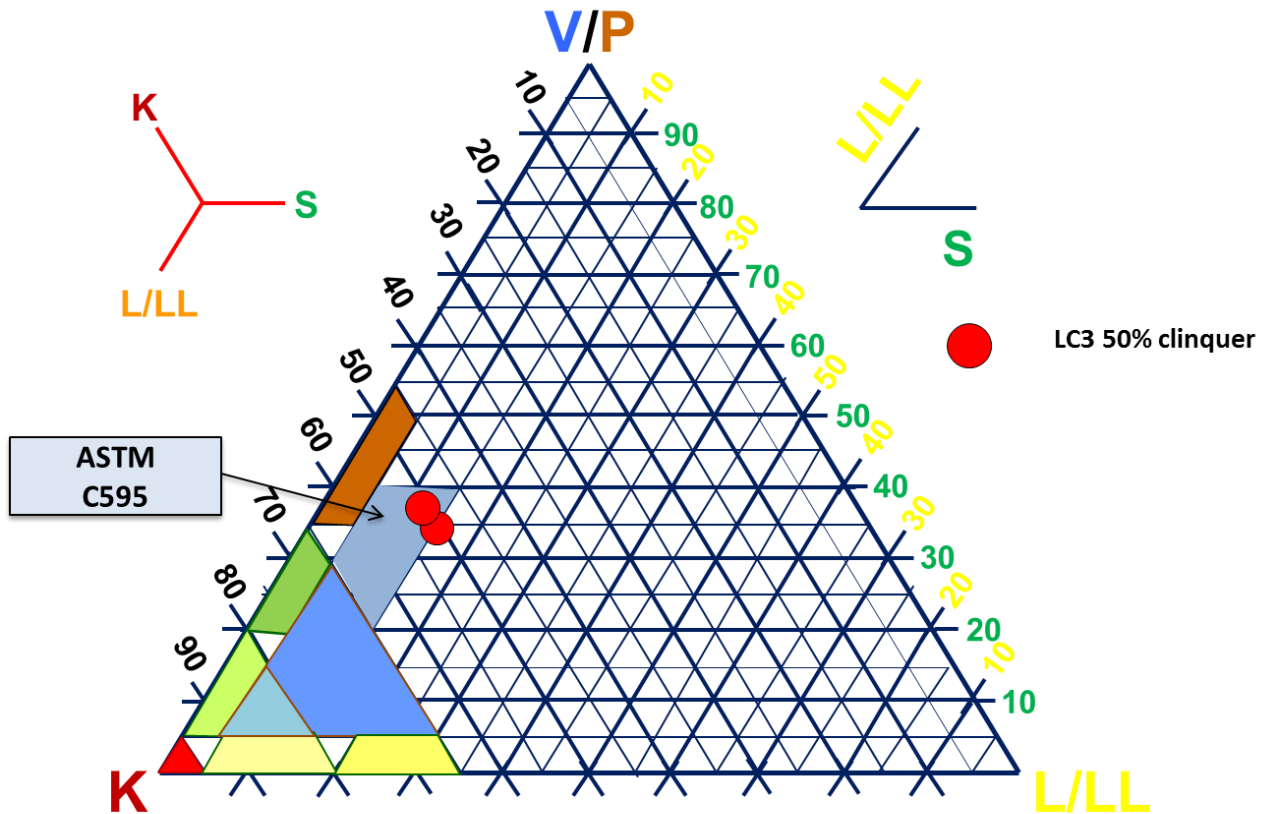
Según la norma ASTM C595/C595M-14 un cemento ternario es un cemento hidráulico mezclado que consiste en mezclar el cemento Pórtland con la combinación de 1) dos puzolanas diferentes, 2) una escoria y una puzolana, **3) una puzolana y una caliza**, o 4) una escoria y una caliza.

Estos cementos ternarios tendrán un contenido máximo **de puzolana de un 40 %** por masa de cemento mezclado, un contenido máximo de **pedra caliza** de un **15 %** por masa de cemento mezclado, y el contenido total de **puzolana, piedra caliza y escoria** será **menor** que el **70 %** por masa de cemento mezclado.

La *tabla 1* muestra la proporción promedio de los componentes utilizados para la obtención de los cementos SIG B-45 y CIDC-2 en condiciones industriales.

Proporción promedio de los componentes [%] <sup>b</sup>			
	Clínquer	Arcilla calcinada/ carbonato de calcio	Yeso
<b>SIG B-45</b>	50.0	41.1	8.9
<b>CIDC-2</b>	50.0	43	7

**Tabla 1** Resumen de la proporción promedio de los componentes utilizados para la obtención de los cementos base clínquer-caliza-arcilla calcinada.



**Figura 1** Inserción de los cementos base clínquer-caliza-arcilla calcinada dentro del rango de sustitución utilizado por la norma ASTM C595/C595M-14.

Los porcentajes de sustitución de los cementos base clínquer - caliza - arcilla calcinada se encuentran dentro de los rangos especificados por la norma ASTM C595/C595M-14 para el tercer grupo de cementos ternarios, la cual establece entre un cinco por ciento y un 15 por ciento de caliza y un 40 por ciento de puzolana.

### 2.2.2 Análisis comparativo de los resultados de composición química de los cementos base clínquer-caliza-arcilla calcinada con los requisitos establecidos por la ASTM C595/C595M-14.

La tabla 1.2 muestra un resumen de las propiedades químicas de los cementos base clínquer-caliza-arcilla calcinada (SIG B-45 y CIDC-2) obtenidos en condiciones industriales.

Composición química	Composición en óxidos [%]									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	RI	PPI	CaO libre	Total
<b>SIG B-45</b>	<b>27.3</b>	<b>4.6</b>	<b>4.6</b>	<b>49.8</b>	<b>1.3</b>	<b>3.7</b>	<b>12.6</b>	<b>7.1</b>	<b>0.9</b>	<b>98.4</b>
<b>CIDC-2</b>	29.12	4.9	2.43	44.64	2.84	2.15	28.63	8.94	1.68	95.02

**Tabla 1.2** Propiedades químicas de los cementos base clínquer-caliza-arcilla calcinada (SIG B-45 y CIDC-2) obtenidos en condiciones industriales.

En la *tabla 2* se muestran los requisitos químicos que deben cumplir los cementos hidráulicos mezclados según la norma ASTM C595/C595M-14. Los cementos base clínquer-caliza-arcilla calcinada se corresponden con el tipo **IT (P≥L)**.

**TABLA 2** Requisitos químicos.

El Tipo de Cemento <sup>A</sup>	Método de Prueba Aplicable	IS(<70), IT(P<S<70), IT(L<S<70)	IS(≥70), IT(S≥70)	IP, IT(P≥S), <b>IT(P≥L)</b>	IL, IT(L≥S), IT(L≥P)
El óxido de magnesio (MgO), máximo, % <sup>B</sup>	C114	...	...	<b>6.0</b>	...
El sulfato informado como SO <sub>3</sub> , máximo, % <sup>B</sup> ,	C114	3.0	4.0	<b>4.0</b>	3.0
Sulfito informado como S <sup>2-</sup> máximo, %	C114	2.0	2.0	...	...
El residuo insoluble, máximo, % <sup>C</sup> ,	C114	1.0	1.0	...	...
La pérdida en la ignición, máximo,%	C114	3.0 <sup>D</sup>	4.0 <sup>D</sup>	<b>5.0<sup>D</sup></b>	<b>10.0</b>

A Los requisitos químicos de esta tabla aplican para todos los equivalentes de cemento incorporador de aire.

B Se permite exceder los valores en la tabla para el contenido de SO<sub>3</sub> suministrado. Se ha demostrado, por el Método de Prueba C1038 que el cemento con el SO<sub>3</sub> incrementado, no desarrollará la expansión excediendo en un 0.020 % a los 14 días. Cuando el fabricante suministra el cemento según esta disposición, debe facilitarse información de apoyo al cliente. Ver Nota 9.

C El límite máximo de residuo insoluble no aplica para cementos mezclados ternarios.

**D Para cementos mezclados ternarios con piedra caliza, la pérdida de ignición se admite como máximo hasta un 10.0 % por masa.**

Las propiedades químicas de los cementos base clínquer-caliza-arcilla calcinada cumplen adecuadamente con las especificaciones prescritas en la norma ASTM C595/C595M-14.

**2.2.2 Análisis comparativo de los requisitos físicos y mecánicos obtenidos en las pruebas industriales realizadas a los cementos base clínquer–caliza-arcilla calcinada con las especificaciones prescritas por la ASTM C595/C595M-14.**

La tabla 1.3 hace referencia a las propiedades físicas y mecánicas de los cementos base clínquer–caliza-arcilla calcinada (SIG B-45 Y CIDC-2) obtenidos en condiciones industriales.

El análisis comparativo de los requisitos físicos se realizará a partir de los resultados obtenidos en la primera prueba industrial, pues en la segunda prueba industrial no se realizaron los ensayos correspondientes para la determinación de estos parámetros.

Requisitos	Ensayos físicos			Ensayos mecánicos		
	Frag. Inicial	Frag. Final	Estabilidad de volumen	Resistencia a la compresión [MPa]		
	Min.	Horas	Mm	3 días	7 días	28 días
<b>SIG B-45</b>	135	2.9	0.3	11	17.5	30.3
<b>CIDC-2</b>	-----			14.27	31.51	36.69

**Tabla 1.3** Resumen de las propiedades físicas y mecánicas de los cementos base clínquer–caliza-arcilla calcinada obtenidos en condiciones industriales.

En la tabla 3 se muestran los requisitos físicos y mecánicos que deben cumplir los cementos hidráulicos mezclados según la norma ASTM C595/C595M-14. Los cementos base clínquer-caliza-arcilla calcinada se corresponden con el tipo **IT(S<70)**.

**TABLA 3** Requisitos físicos para los cementos mezclados.

Tipo de cemento		Método de Prueba aplicable	IL, IP, IS(<70), IT(S<70)	IS(≥70), IT(S≥70)
Fineza		C204, C430	A	A
La expansión en autoclave, máximo, % <sup>B</sup> ,		C151	0.80	0.80
La retracción en autoclave, máximo, % <sup>B</sup> ,		C151	0.20	0.20
Tiempos de fraguado, la prueba de Vicat, : <sup>C</sup>				
Inicial, minutos, no menos de		C191	45	45
Final, horas, no más de			7	7
Contenido de aire en el mortero, volumen%, máximo		C185	12	12
La resistencia a compresión, el min, MPa [psi]:	3 Días	C109/C109M	13.0 [1890]	...
	7 Días		20.0 [2900]	5.0 [720]
	28 Días		25.0 [3620]	11.0 [1600]

**A** Ambas cantidades retenidas en el tamiz de 45-µm (No. 325) mediante un tamizado húmedo y la superficie específica por el equipo de permeabilidad al aire, m<sup>2</sup>/kg, se informará en todos los reportes de prueba de la molienda como se requiere en 15.4.

**B** Los especímenes permanecerán en buen estado y no mostrarán señales de distorsión, agrietamiento, comprobación o desintegración cuando fue analizado en la prueba de expansión en autoclave.

**C** El tiempo de fraguado en los cementos que contengan adiciones funcionales aceleradoras o retardadoras, que hayan sido requeridas por el cliente, no necesita cumplir con los límites de esta tabla, pero será indicado por el fabricante.

El pico atribuido a la reacción de los aluminatos no se observa después de 48 horas de comenzada la hidratación del cemento, lo cual tiene una influencia directa en el endurecimiento y por tanto, la resistencia a edades tempranas. El retraso en la reacción de los aluminatos causado por el exceso de sulfatos,

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, lo que también impacta las resistencias a edades tempranas. (Taylor, 1990)

La Tabla 5 muestra los requisitos que deben cumplir las puzolanas para su uso en los cementos mezclados y las escorias para su uso en cementos Pórtland-Escorias de alto horno según lo establece la ASTM C595/C595M-14.

**TABLA 5** Requisitos de las Puzolanas para el uso en los cementos mezclados y para escorias para el uso en cementos Pórtland-Escorias de alto horno.

Es aplicable a Puzolanas y Escorias		Métodos de prueba Aplicables	
Fineza; cantidad retenida cuando se cribó húmedo 45- $\mu$ m (No. 325) el cedazo, el máximo,%		C430	20.0
La reactividad alcalina de puzolana para el uso en los cementos Tipos IP(<15); IT(P<15) e IP(<15)-A; IT(P<15)-A, seis pruebas, la expansión de barra de mortero a 91 días, máximo,%		C227	0.05
El índice de actividad en el Portland, 28 días, min %		Índice de actividad con Cemento Portland	75
La pérdida en la ignición de puzolanas, máximo,%	Puzolanas naturales	C311	10.0
	Cenizas volantes		6.0
	Humo de Sílice		6.0

#### **Finura de molido:**

La finura de molido de la arcilla calcinada no constituye un problema de relevancia, debido a que se considera un material suave con respecto al clínquer. El régimen de molienda de las materias primas para la conformación del cemento ternario, juega un papel decisivo. La molienda por separado,

brinda mejores resultados que la inter-molienda de los materiales a adicionar, debido a la variación en la dureza de los mismos.(Valladares, 2015)

La Tabla 6 muestra los requisitos que deben cumplir las calizas para su aplicación en cementos mezclados.

Tabla 6 Requisitos de la caliza para el uso en cementos mezclados según la norma ASTM C595/C595M-14.

	Método de prueba aplicable	
El contenido de CaCO <sub>3</sub> , min. % por masa	C114	70 <sup>A</sup>
Índice de azul de metileno, el máximo, el g/100 g	Ver Anexo A2	1.2
El total el carbono orgánico, el máximo,% por la masa	Ver Anexo A3	0.5
<sup>A</sup> El contenido de carbonato de calcio de la caliza se determinará multiplicando el contenido de CaO de la caliza determinada por el Método de Prueba C114 por un factor de 1.785.		

Los cementos base clínquer-caliza-arcilla calcinada cumplen con las especificaciones técnicas establecidas por la ASTM C595/C595M-14, por lo que se pueden adoptar los parámetros necesarios para la modificación de la NC-96:2011.

### **2.3 Análisis de la NC 96:2011 “Cemento con adición activa. Especificaciones”.**

Según la NC-96:2011 los cementos con adiciones activas se clasifican en tres grados de calidad de acuerdo al % de adición y a la resistencia a la compresión a los 28 días expresada en MPa (kgf/cm<sup>2</sup>).

#### **Cemento Pórtland Puzolánico:**

a) Cemento Pórtland Puzolánico 25 (con un % adición activa natural entre 6 % y 20 %): Cemento **PP - 25**.

b) Cemento Pórtland Puzolánico 35 (con un % adición activa natural entre 6 % y 20 %): Cemento **PP - 35**.

**Cemento Puzolánico:**

- a) Cemento Pórtland 25 (con un % de adición activa natural entre 21 % y 35 %): Cemento **PZ - 25**.

Esta norma limita la sustitución del clínquer de cemento Pórtland a un 35% y permite la utilización de caliza como material inerte solo hasta un 5% del peso total.

Índice	Requisitos	UM	PP-25	PP-35	PZ-25	Método de Ensayo	
Físicos	Tiempo de fraguado inicial (mín.)	Min	45	45	45	NC 524	
	Tiempo de fraguado final (máx.)	H	12	12	12		
	Estabilidad de volumen por Le Chatelier (máx.)	Mm	10	10	10	NC 504	
Mecánicos	Resistencia a la compresión (mín.)	(MPa)		17		NC 506	
			3 días	17	25		17
			7 días	25	35		25
Químicos	Pérdida por ignición (máx.)	%	6.0	6.0	6.0	NC 507	
	Óxido de Magnesio (máx.)	%	5.0	5.0	5.0		
	Trióxido de Azufre (máx.)	%	3.5	3.5	3.5		

Tabla-1.4 Requisitos a cumplir por los diferentes grados de cementos con adiciones activas y métodos de ensayo a emplear, según la NC 96:2011.

**2.3.1 Propuesta de parámetros técnicos necesarios para la incorporación en la NC 96:2011 “Cemento con adición activa. Especificaciones” de los cementos mezclados base clínquer-caliza-arcilla calcinada.**

Los cementos propuestos a incorporar en la NC 96:2011 son cementos hidráulicos mezclados, según lo especifican las normas NC 526:2012 y ASTM C595/C595M-14. A continuación se presenta la definición de los porcentos de sustitución, atendiendo al **grupo 3)** de los cementos ternarios de la ASTM C595/C595M-14:

**Cemento hidráulico mezclado base clínquer-caliza-arcilla calcinada PPC-**

**25:**

- Puzolana (arcillas caoliníticas cubanas, activadas mediante la calcinación): máx. 30%
- Piedra caliza: máx.15%

**Cemento hidráulico mezclado base clínquer-caliza-arcilla calcinada PPC-**

**35:**

- Puzolana (arcillas caoliníticas cubanas, activadas mediante la calcinación): máx. 30%
- Piedra caliza: máx. 15%

A continuación, se presenta (**en letras rojas**) la designación de las nuevas propuestas de cementos hidráulicos mezclados base clínquer-caliza-arcilla calcinada de acuerdo al porcentaje de adición y a la resistencia a compresión a los 28 días a introducir en la NC 96:2011.

**Cemento Pórtland Puzolánico:**

a) Cemento Pórtland Puzolánico 25 (con un % adición activa natural entre 6 % y 20 %): **Cemento PP - 25.**

b) Cemento Pórtland Puzolánico 35 (con un % adición activa natural entre 6 % y 20 %): **Cemento PP - 35.**

**Cemento Puzolánico:**

a) Cemento Pórtland 25 (con un % de adición activa natural entre 21 % y 35 %): **Cemento PZ - 25.**

**Cemento hidráulico mezclado:**

**a) Cemento hidráulico mezclado 25 (adición de arcilla calcinada-caliza entre 35% y 50%, relación recomendada 2:1): **Cemento PPC-25.****

**b) Cemento hidráulico mezclado 35 (adición de arcilla calcinada-caliza entre 35% y 50%, relación recomendad 2:1): **Cemento PPC-35.****

En la siguiente tabla se especifican los requisitos técnicos y los métodos de ensayo que deben cumplir los cementos hidráulicos mezclados propuestos (PPC-25 y PPC-35).

Índice	Requisitos	UM	PP-25	PP-35	PZ-25	PPC-25	PPC-35	Método de ensayo
<b>Físicos</b>	Tiempo fraguado inicial (mín.)	Min	45	45	45	<b>45</b>	<b>45</b>	NC 524
	Tiempo fraguado final (máx.)	H	12	12	12	<b>12</b>	<b>12</b>	
	Estabilidad de volumen por Le Chatelier (máx.)	Mm	10	10	10	<b>10</b>	<b>10</b>	NC 504
<b>Mecánicos</b>	Resistencia a la compresión (mín.) 3 días	(MPa)		17			<b>17</b>	NC 506
	7días		17	25	17	<b>17</b>	<b>25</b>	
	28días		25	35	25	<b>25</b>	<b>35</b>	
<b>Químicos</b>	Pérdida por ignición (máx.)	%	6.0	6.0	6.0	<b>10.0</b>	<b>10.0</b>	NC 507
	Oxido de Magnesio (máx.)	%	5.0	5.0	5.0	<b>5.0</b>	<b>5.0</b>	
	Trióxido de Azufre (máx.)	%	3.5	3.5	3.5	<b>3.5</b>	<b>3.5</b>	

**Tabla 1.5** Requisitos y métodos de ensayo para los cementos con adiciones activas.

### **2.3.2 Justificación de los cambios realizados a la NC 96:2011 “Cemento con adición activa. Especificaciones” en función de las investigaciones realizadas.**

Con el objetivo de garantizar que la propuesta de modificación de la NC-96:2011 para la producción y comercialización de cementos base clínquer-caliza-arcilla calcinada tenga una base tecnológica válida, sea económicamente justificable e implementable se fundamentan a continuación los requisitos físicos, mecánicos y químicos adoptados en la propuesta de norma cubana para los cementos PPC-25 y PPC-35, en función de las investigaciones realizadas.

#### **2.3.2.1 Análisis del comportamiento mecánico y de los requisitos físicos de los cementos base clínquer-caliza-arcilla calcinada (SIG B-45 y CIDC-2).**

Existen diversos tipos de cemento, las propiedades de cada uno de ellos están íntimamente asociadas a la composición química de sus constituyentes iniciales, que se expresa en forma de sus óxidos, y que según cuales sean éstos, formarán compuestos resultantes distintos en las reacciones de hidratación. Además del tipo de cemento, el segundo factor que determina la calidad del cemento, es su clase o resistencia a compresión a 28 días. Esta se determina en un mortero normalizado y expresa la resistencia mínima, la cual debe ser siempre superada en la fabricación del cemento. No es lo mismo, ni debe confundirse la resistencia del cemento con la del hormigón, pues la del cemento corresponde a componentes normalizados y la del hormigón dependerá de todos y cada uno de sus componentes. Pero si el hormigón está bien dosificado a mayor resistencia del cemento corresponde mayor resistencia del hormigón.

El cemento se encuentra en polvo y la finura de su molido es determinante en sus propiedades conglomerantes, influyendo decisivamente en la velocidad de las reacciones químicas de su fraguado y primer endurecimiento. Al mezclarse con el agua los granos de cemento se hidratan sólo en una profundidad de 0,01 mm, por lo que si los granos fuesen muy gruesos el rendimiento de la hidratación sería pequeño al quedar en el interior un núcleo inerte. Sin embargo una finura excesiva provoca una retracción y calor de hidratación elevados.

Además dado que las resistencias aumentan con la finura hay que llegar a una solución de compromiso, el cemento debe estar finamente molido pero no en exceso. (Jiménez Montoya P., 1987)

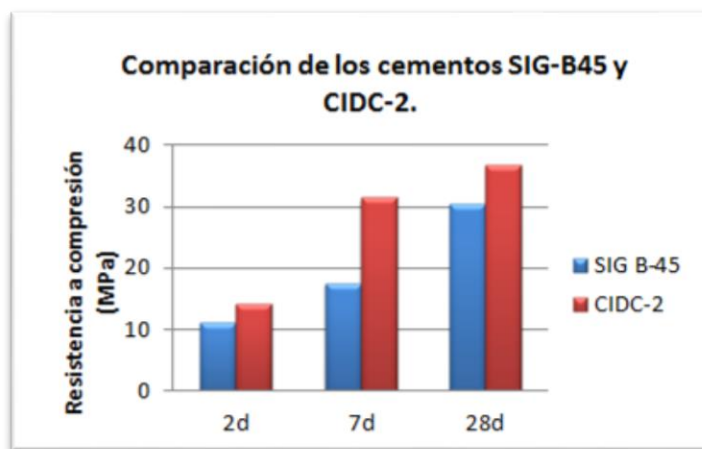
El siguiente gráfico muestra los resultados de resistencia a compresión del cemento SIG B-45 producido en la fábrica de cemento Siguaney, Sancti Spíritus en el año 2013 con una finura de 89% pasado por el tamiz 90  $\mu\text{m}$  y en su composición una sustitución del clínquer del 50% por arcilla calcinada-carbonato de calcio en una proporción 2:1 y del cemento producido en el año 2015 en la planta de producción de cemento a escala semi-industrial ubicada en el CIDC con una finura del 95% con igual proporción y materias primas.

Para la producción de los cementos base clínquer-caliza-arcilla calcinada en ambas pruebas industriales se utilizaron los mismos materiales:

- Arcilla del yacimiento de Pontezuela, provincia de Camagüey, calcinada a una temperatura de 750 °C.
- La arcilla calcinada fue mezclada en proporción 2:1 con la caliza proveniente del yacimiento de La Vigía.
- Se empleó un clínquer de cemento Pórtland comercial P-35 de la fábrica Siguaney.
- Se utilizó piedra de yeso mineral del yacimiento Punta Alegre, provincia de Ciego de Ávila.

Las resistencias mecánicas en ambas pruebas industriales fueron determinadas según lo establece la norma NC 506:2007 "Cemento hidráulico. Método de ensayo. Determinación de la resistencia mecánica."

El aumento de la resistencia en la segunda prueba industrial se debe fundamentalmente al incremento de la finura del cemento.



Como se muestra en la gráfica anterior, la Mezcla 2 obtuvo mejores resultados de resistencia a compresión en las diferentes edades. Es válido aclarar que el resultado del cemento SIG B-45 mostrado a los dos días en realidad se obtuvo a los tres días y aun así el resultado de la Mezcla 2 fue mayor.

La siguiente tabla muestra la correspondencia entre los resultados de resistencia a compresión de los cementos SIG B-45 Y CIDC-2 obtenidos en condiciones industriales y los valores establecidos por la NC-96:2011 para los cementos PP-25 Y PP-35.

Requisitos		SIG B-45	CIDC-2	Valores establecidos por la NC-96:2011.	
				PP-25	PP-35
Resistencia a la compresión (mín.)(MPa)	3	11	14.27	-	17
	7	17.50	31.51	17	25
	21	30.3	36.69	25	35

Los valores de resistencia a compresión propuestos para los cementos PPC-25 y PPC-35 serán los mismos que los especificados por la NC-96:2011 para los cementos PP-25 y PP-35 respectivamente.

Como se había explicado anteriormente el análisis comparativo de los requisitos físicos se realizará a partir de los resultados obtenidos en la primera prueba industrial, pues en la segunda prueba industrial no se realizaron los ensayos correspondientes para la determinación de estos parámetros.

La siguiente tabla muestra los requisitos físicos de los cementos base clínquer-caliza-arcilla obtenidos en condiciones industriales y los valores especificados por la NC-96:2011 para los cementos PP-25 y PP-35.

Requisitos	UM	SIG B-45	Valores establecidos por la NC-96:2011.	
			PP-25	PP-35
<b>Frag. Inicial</b>	Min	135	45	45
<b>Frag. Final</b>	H	2.9	12	12
<b>Estabilidad de volumen por Le Chatelier (máx.)</b>	Mm	0.3	10	10

### **Tiempos de fraguado:**

El tiempo de fraguado es uno de los requisitos técnicos de mayor importancia, responsable de proporcionar resistencias mecánicas mínimas a edades tempranas, con el fin de propiciar un tiempo apropiado de manipulación.

Los tiempos de fraguado inicial y final obtenidos para los cementos base clínquer-caliza-arcilla calcinada cumplen adecuadamente con los tiempos indicados por la NC 96:2011 para los PP-25 y PP-35. El fraguado inicial más prudente en la práctica será no menos de 45 minutos y el final no más de doce horas, con el objetivo de mantener los parámetros establecidos por la norma cubana.

### **Estabilidad de volumen por Le Chatelier.**

Las pastas del cemento después de fraguar deben tener la capacidad de mantener su volumen. 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. (Tesis, Conrado)

Debido al bajo contenido de óxido de magnesio que presenta en su composición el cemento base clínquer-caliza-arcilla calcinada no se produce una significativa variación en la estabilidad.

La estabilidad de volumen propuesta para los cementos PP C-25 y PP C-35 será de 10mm, la misma que la especificada por NC-96:2011 para los cementos PP-25 y PP-35.

### **2.3.2.2 Análisis de la composición química de los cementos base clínquer-caliza-arcilla calcinada (SIG B-45 y CIDC-2).**

La siguiente tabla muestra la composición química de los cementos base clínquer-caliza-arcilla calcinada (SIG B-45y CIDC-2) obtenidos en condiciones industriales y los valores especificados por la NC-96:2011.

Requisitos		SIG B-45	CIDC-2	Valores establecidos por la NC-96:2011.	
				PP-25	PP-35
Químicos	MgO	1.3	2.84	5	5
	SO <sub>3</sub>	3.7	2.15	3.5	3.5
	PPI	7.1	8.94	6	6

### **Óxido de Magnesio:**

Los contenidos de óxido de magnesio en ambas pruebas industriales no exceden los valores especificados por la NC 96:2011, por lo que se proponen para los cementos PPC-25 y PPC-35 los mismos valores establecidos por la norma cubana para los cementos PP-25 y PP-35.

Una alta concentración de MgO podría suponer al cemento una serie de tensiones internas no deseadas que podrían terminar agrietando la estructura, debido al aumento de volumen una vez solidificado el cemento que se produce por la hidratación de la periclasa que se forma durante el enfriamiento del clínquer.

### **Trióxido de Azufre:**

El contenido de trióxido de azufre para el cemento CIDC-2 se corresponde con el valor especificado por la NC 96:2011 y el aumento de SO<sub>3</sub> durante la primera prueba industrial se debe a dificultades tecnológicas durante la molienda industrial, por lo que se propondrán para los cementos PPC-25 y PPC-35 los valores respectivos especificados por la NC-96:2011 para los cementos PP-25 y PP-35.

### **Pérdidas por ignición:**

Aunque los valores obtenidos en las pruebas industriales de pérdida por ignición son mayores que el especificado por la NC-96:2011 y por la ASTM C595/C595M-14, no se puede afirmar que sobrepasan los parámetros establecidos por la norma norteamericana. En la Tabla 1 de la ASTM C595/C595M-14, la nota (D) aclara que, para los cementos mezclados ternarios con piedra caliza, la pérdida por ignición se admite como máximo de un 10.0 % por masa.

El aumento de la pérdida por ignición del cemento base clínquer-caliza –arcilla calcinada con respecto a los cementos con adiciones activas establecidos en la

NC-96:2011 se debe al incremento del porcentaje de sustitución del clínquer por arcilla calcinada y carbonato de calcio en forma de piedra caliza, pues la pérdida por ignición proviene precisamente de los materiales de tipo arcilloso que no son eliminados durante la clínquerización. Se adoptará el valor establecido por la ASTM C595/C595M-14 de un 10 % para ambas propuestas de cemento (PPC-25 y PP-35).

### **Conclusiones Parciales del capítulo II.**

1. El cemento base clínquer-caliza-arcilla calcinada cumple con las especificaciones requeridas por la norma **ASTM C595/C595M – 14**, posibilitando la adopción de los parámetros técnicos para la modificación de la NC-96:2011.
2. Los cementos ternarios producidos a escala industrial con un contenido de clínquer de un 50%, satisfacen los requisitos físicos y mecánicos establecidos para los cementos mezclados en la NC-96:2011.
3. Los valores de óxido de magnesio y trióxido de azufre de los cementos base clínquer-caliza-arcilla calcinada se encuentran en correspondencia con los valores especificados en la NC-96:2011. La modificación del valor de pérdida por ignición se debe al incremento del porcentaje de sustitución del clínquer por arcilla calcinada y carbonato de calcio en forma de piedra de caliza.
4. La propuesta de modificación de la NC-96:2011 se presentó al Comité Técnico de Normalización No. 22 “Cemento y Cal” para su análisis y discusión.

### **Conclusiones Generales:**

1. Resulta necesaria la adopción de una norma cubana que eleve los niveles de sustitución del clínquer hasta un 50%, para la utilización de los cementos base clínquer-caliza-arcilla calcinada.
2. El cemento base clínquer-caliza-arcilla calcinada cumple con las especificaciones requeridas por la norma **ASTM C595/C595M – 14**, posibilitando la adopción de los parámetros técnicos para la modificación de la NC-96:2011.
3. La propuesta de modificación de la NC-96:2011 se presentó al Comité Técnico de Normalización No. 22 “Cemento y Cal” para su análisis y discusión.
4. El Comité Técnico de Normalización analizó nuestra propuesta de modificación de la NC -96:2011, recomendando la realización de una nueva norma para cementos ternarios con los parámetros técnicos presentados en la propuesta anterior.

### **Recomendaciones.**

1. Elaborar una nueva norma para la producción y comercialización de cementos ternarios a partir de los parámetros técnicos presentados en la propuesta anterior.
2. Presentar la nueva norma al Comité Técnico de Normalización No. 22 “Cemento y Cal”.

### **Referencias bibliográficas:**

1. AHMARUZZAMAN 2010. A review on the utilization of fly ash. Progress in Energy and Combustion Science. 36, p327-363.
2. ANDRÉS, L. M. V. 2014. Cemento de bajo carbono a partir del sistema cementicio ternario clínquer-arcilla calcinada-caliza.
3. ANTONI M , M. F. 2013. Cement substitution by a combination of metakaolin and limestone.
4. ARGENTINA, F. D. C. A.-. 2016. El consumo de cemento en Argentina mejoró un 7,8%.
5. ASTM-C595 2014. Standard Specification for Blended Hydraulic Cements.
6. B.SABIR 2001. "Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review, Cement and Concrete Composites."
7. BARNETT, K. W. A. E. T. 2010. Available and Emerging Technologies for Reducing Greenhouse Gas Emissions from the Portland Cement Industry.
8. BECKER, E. 2000. Cemento Portland.Características y recomendaciones de uso.
9. BYRON JAVIER JAIGUA ROMERO , S. E. V. U. 2010. Estudio de hormigones de altas prestaciones utilizando áridos y cemento local, cenizas volcánicas naturales y súper-plastificante.
10. CALLEJA, J. 2002. Apuntes históricos del desarrollo de la normalización del cemento en la Unión Europea.
11. CARVALHO, J. O. 2010. La Sostenibilidad en la Industria del Cemento en Brasil.
12. CUBA.ONARC, S. O. D. Ó. N. D. A. D. L. R. D. 2016. La acreditación: Una herramienta global para apoyar el sector público.
13. DAMTOFT, J. S. 2008. Sustainable development and climate change initiatives. Cement and Concrete Research. 38, p115-127.
14. DANNER, T. 2013. Reactivity of calcined clays, in Faculty of Natural Sciences and Technology.
15. DOMOTERRA 2013. El cemento y la producción de CO<sub>2</sub>.

16. EPFL 2010. Supplementary cementitious materials. Sources, production, composition and characterization. . Doctoral Course- Supplementary cementitious materials. Lausanne.
17. ERICK ESTUARDO JUÁREZ SAGASTUME. 2003. Evaluación de las propiedades físicas de cementos hidráulicos mezclados, fabricados a nivel de Laboratorio, con adiciones de arena volcánica y escoria de alto horno.
18. FERNÁNDEZ, O. R. G. 2006. “Desarrollo y aplicaciones de los cementos mezclados hidráulicos.”
19. FICEM 2016a. Noticias.
20. FICEM 2016b. Producción de cemento gris en Colombia aumentó 4,1% en febrero.
21. FICEM 2016c. Sector construcción creció 5,37% durante febrero en Perú.
22. FIGUEREDO, L. A. M. 2012. Elaboración de hormigones de alta resistencia utilizando metacaolín de producción paraguaya.
23. GARTNER, E. 2004. Gartner, E., Industrially interesting approaches to “low-CO<sub>2</sub>” cements. Cement and Concrete Research.
24. HABERT, G. 2010. Cement production technology improvement compared to factor 4 objectives. Cement and Concrete Research.
25. HABITATSUSTENTABLE.COM 2015. Cemento ecológico de bajo carbono.
26. HUMPHREYS, K. A. M. M. 2002. Climate Change, in Toward a Sustainable Cement Industry.
27. INTERNACIONALES 2013. Cuba iniciará la producción de “cemento ecológico”.
28. JAVIER SANTOVENIA DÍAZ 2005. Quién es quién en Cuba: el acceso a las normas y otras clases de documentos normalizativos en el país.
29. JIMÉNEZ MONTOYA P., G. M. A., MORÁN CABRÉ F. 1987. Hormigón Armado Tomo I.
30. JORQUERA, M. O. A. H. 1984. Materiales de construcción. Cementos con cenizas volantes.
31. KHAN, M. I. A. R. S. 2011. Utilization of silica fume in concrete: Review of durability properties. Resources, Conservation and Recycling.

32. LÓPEZ, R. F. 2009. Calcined Clayey Soils as a Potential Replacement for Cement in Developing Countries, in Faculté Sciences et Techniques de L'Ingenieur. 2009, École Polytechnique Federale de Lausanne., p 178.
33. MACKENZIE, R. C. A. B. D. M. 1966. Clay mineralogy.
34. MARROQUÍN, M. E. M. 1989. Cementos Puzolanicos para Mampostería Típica en Guatemala.
35. MARTIRENA, F. 2003. Una alternativa ambientalmente compatible para disminuir el consumo de aglomerante de clínker de cemento Pórtland: el aglomerante cal-puzolana como adición mineral activa.
36. MAURICIO OSSA M, H. J. S. 1984. Cementos con cenizas volantes [Online].
37. MORÁN, H. H. A. 1980. Estudio de Estabilización de Suelos con Tierra de Diatomeas y Cal Hidratada para uso en construcción de vivienda económica.
38. NAGORE GILISAGASTI PEREZ, E. E. U. 2000. Cemento.
39. NC-526 2012. Cemento hidráulico. Términos y definiciones.
40. NC-528 2013 Cemento hidráulico.Puzolanas.Especificaciones.
41. NC/OTC 2016. Punto de contacto en materia de obstáculos técnicos al comercio de Cuba.
42. PARADELO, Y. R. 2015. Diseño y producción de hormigón con cemento de bajo carbono producido en prueba semi-industrial.
43. PORTA, H. R. O. 1985. Puzolanas y Cementos puzolánicos.
44. RAFIK ABBAS, S. A. A.-E.-E., EL-SAYED EZZAT 2010. Properties and durability of metakaolin blended cements: mortar and concrete.
45. RANCÉS CASTILLO\*<sup>1</sup>, R. F., MATHIEU ANTONI\*, KAREN SCRIVENER\*, ADRIÁN ALUJAS\*, JOSÉ F. MARTIRENA\*\* 2010. Activación de arcillas de bajo grado a altas temperaturas.
46. ROSA MA. MILLÁN SOLER, M. C. D. D. 2005. Discurso del acto por el día mundial de la normalización.
47. S.A, H. E. 2012. Evolución de las Normas para la fabricación de cemento y características de sus aplicaciones. Holcim Ecuador S.A [Online].
48. SALAZAR, A. 2002. “Síntesis de la tecnología del concreto. Una manera de entender a los materiales compuestos”.

49. SÁNCHEZ, A. C. 2014. 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”.
50. SANTAMARÍA, G. M. R. 2013. Informe Estadístico.
51. SNELLINGS, R. 2011. Mineralogical study of the pozzolanic properties of natural zeolites.
52. SOFFIETTI, F. 2015. Análisis de actividad puzolánica en toba zeolítica.
53. STANDARIZATION, E. C. F. 2000. Composition, specifications and conformity criteria for common cements.
54. TAYLOR, F. H. 1990. Cement Chemistry.
55. TORRENT, R. J. 2000. Nuevas normas IRAM de cemento. Mayor Transparencia y garantía de calidad para los usuarios.
56. VALLADARES, D. C. G. 2015. Fundamentación de normativas para la inserción del Cemento de Bajo Carbono (LC3) en las normas cubanas.
57. VIVAR, R. F. 2015. Cementeras, recetas duras para salir de la crisis.
58. WWW.ISO.ORG 2010. Organización Internacional de Normalización.
59. YUSTE, C. 2015. Los hollines usados como cemento reducen las emisiones de CO<sub>2</sub>.

***Bibliografía consultada:***

1. A. ENFEDAQUE DÍAZ, L. S. P., V. SÁNCHEZ-GÁLVEZ 2010. The effect of silica fume and metakaolin on glass-fibre reinforced concrete (GRC) agein.
2. EL NUEVODIARIO.2013. Perspectiva de crecimiento mercado de cemento en América Latina y el Caribe. [WWW.ELNUEVODIARIO.COM.DO](http://WWW.ELNUEVODIARIO.COM.DO), A.
3. GABRIEL LUIS DUQUE FERNANDEZ, J. C. L. Y., ESTER RUBIO FRÍAS 1989. Hidration of tricalcium silicate in blended Cements manufactured with cuban tuffs.
4. HOLCIM. 2012. Evolución de las Normas para la fabricación de cemento y características de sus aplicaciones. Holcim Ecuador S.A. [WWW.HOLCIM.COM/EC](http://WWW.HOLCIM.COM/EC).
5. MARROQUÍN, M. E. M. 1989. Cementos Puzolanicos para Mampostería Típica en Guatemala.
6. MORÁN, H. H. A. 1980. Estudio de Estabilización de Suelos con Tierra de Diatomeas y Cal Hidratada para uso en construcción de vivienda económica.
7. RAFIK ABBAS(\*), S. A. A.-E.-E., EL-SAYED EZZAT(\*\*\*) 2010. Properties and durability of metakaolin blended cements: mortar and concrete).
8. SÁNCHEZ, J. 2013. La industria del cemento en México.
9. V. L. BONAVENTI, E. F. I., G. MENÉNDEZ, M. F. CARRASCO, H. DONZA 2006. Concretes made with Binary and Ternary Cements: Durable Performanc.
10. ZAMORANO GÓMEZ, G. G., DÁVILA ACEVEDO. 2015. Estudio de la hidratación de pastas de cemento portland reemplazadas con escoria granulada de alto horno, ceniza volante y metacaolín: efecto del empleo de dos aditivos superplastificantes.

**Anexo I:** Resumen de las propiedades químicas, físicas y mecánicas de los cementos base clínquer-caliza-arcilla calcinada obtenidos en condiciones industriales.

**Tabla 5** Resumen de las propiedades químicas, físicas y mecánicas del cemento base clínquer-caliza-arcilla calcinada obtenido en condiciones industriales en el año 2013.

Composición química	Composición en óxidos [%]									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	RI	PPI	CaO libre	Total
	27.3	4.6	4.6	49.8	1.3	3.7	12.6	7.1	0.9	98.4
<b>Proporción promedio de los componentes [%]<sup>b</sup></b>										
Clínquer			Arcilla calcinada/ carbonato de calcio						Yeso	
50.0			41.1						8.9	
Ensayos físicos	Frag. Inicial	Frag. Final	Estabilidad de volumen							
	Min.	Horas	Mm							
	135	2.9	0.3							
Ensayos mecánico	Resistencia a la compresión [MPa]									
	3 días		7 días		28 días					
	11		17.5		30.3					

**Tabla 6** Resumen de las propiedades químicas, físicas y mecánicas del cemento base clínquer-caliza-arcilla calcinada obtenido en condiciones industriales en el año 2015.

Composición química	Composición en óxidos [%]									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	RI	PPI	CaO libre	Total
	29.12	4.9	2.43	44.64	2.84	2.15	28.63	8.94	1.68	95.02
<b>Proporción promedio de los componentes [%]<sup>b</sup></b>										
Clínquer			Arcilla calcinada/ carbonato de calcio						Yeso	
50.0			43						7	
Ensayos físicos	Frag. Inicial	Frag. Final	Estabilidad de volumen							
	Min.	Horas	Mm							
	-----	-----	-----							
Ensayos mecánico	Resistencia a la compresión [MPa]									
	3 días		7 días		28 días					
	14.27		31.51		36.69					

**Anexo II:** Primera variante de la nueva propuesta de norma cubana: “Cemento Ternario. Especificaciones”, presentada al Comité Técnico de Normalización No. 22 “Cemento y Cal” el día 14 de junio del 2016 para su discusión y análisis.

---

**NORMA CUBANA**

**NC**

XX: 2016

---

**TÍTULO: CEMENTO TERNARIO — ESPECIFICACIONES**

**Ternary blended cement — Specifications**

---

**ICS:**

**1. Edición                      Enero 2016**

**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**

## **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)
  
- Constituye una nueva Norma Cubana

**© NC, 2016**

**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.**

**Índice**

1 Objeto..... 5

2 Referencias normativas..... 5

3 Términos y definiciones..... 5

3.1 Cemento Ternario..... 5

4 Clasificación y designación..... 5

5 Requisitos y métodos de ensayo..... 6

6 Muestreo..... 6

7 Transportación, manipulación, almacenamiento y conservación ..... 6

8 Marcado, etiquetado y embalaje..... 7

8.1 Producto envasado..... 7

8.2 Producto a granel..... 7

Bibliografía ..... 8

## 0 Introducción

Estas especificaciones están relacionadas con los cementos ternarios para aplicaciones generales, usando escorias, puzolanas, calizas, o la combinación de éstos con el cemento Portland o clínquer de cemento Portland.

Serán incluidos en esta norma aquellos cementos que cumplan con el Punto 5 Requisitos y métodos de ensayo, previamente aprobados por el Comité Técnico de Normalización N° 22 "Cemento y Cal".

## CEMENTOS TERNARIOS — ESPECIFICACIONES

### 1 Objeto

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

### 2 Referencias Normativas

Los documentos que se mencionan seguidamente son indispensables para la aplicación de esta Norma Cubana. Para las referencias fechadas, solo se toma en consideración la edición citada. Para las no fechadas, se toma en cuenta la última edición del documento de referencia (incluyendo todas las enmiendas).

*OIML R 79:1997 Labelling requirements for prepackaged products.*

ASTM C595/C595M-14 Standard Specification for Blended Hydraulic Cements.

NC 526:2012 Cemento hidráulico. Términos y definiciones.

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

NC 506:2013 Cemento hidráulico. Método de ensayo. Determinación de la resistencia mecánica. ASTM C

183:2012 Cemento Hidráulico. Método de ensayo. Toma y preparación de muestras.

NC 504:2013 Cemento hidráulico. Método de ensayo. Determinación de la estabilidad de volumen.

NC 524:2015 Cemento hidráulico. Método de ensayo. Determinación de la consistencia normal y tiempos de fraguado por aguja Vicat.

NC 499:2012 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. Debe tenerse en cuenta, además, lo siguiente:

**3.1** Cemento ternario: Cemento hidráulico mezclado que consiste en mezclar el cemento Portland con la combinación de dos puzolanas diferentes, una escoria y una puzolana, una puzolana y una caliza, o una escoria y una caliza.

### 4 Clasificación y designación

EL producto se clasifica en tres grados de calidad de acuerdo al porciento de adición y la resistencia a la compresión a los 28 días expresada en MPa (kgf/cm<sup>2</sup>).

El producto se designa con las letras que inician los nombres de sus adiciones, separadas por un guión del valor numérico de la resistencia a la compresión a los 28 días.

En caso de utilizar caliza como adición, debe cumplir con los siguientes requisitos:

- a) El contenido de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>), calculado a partir del óxido de calcio, no debe ser inferior al 75 % en masa.

En caso de utilizar puzolanas como adición, las mismas debes cumplir con los requerimientos establecidos en la NC TS 528:2013 “Cemento Hidráulico-Puzolanas-Especificaciones”

Cemento hidráulico mezclado:

- a) Cemento hidráulico mezclado 25 (adición de arcilla calcinada-caliza entre 35% y 50%, relación recomendada 2:1):

#### **Cemento ACC-25.**

- b) Cemento hidráulico mezclado 35 (adición de arcilla calcinada-caliza entre 35% y 50%, relación recomendada 2:1):

#### **Cemento ACC-35.**

### **5 Requisitos y métodos de ensayo**

Estos cementos ternarios tendrán un contenido máximo de puzolana de un 40 % por masa de cemento mezclado, un contenido máximo de piedra caliza de un 15 % por masa de cemento mezclado, y el contenido total de puzolana, piedra caliza y escoria será menor que el 70 % por masa de cemento mezclado.

Los requisitos que tienen que cumplir los diferentes cementos ternarios, así como los métodos de ensayo a emplear aparecen en la Tabla 1.

**Tabla 1 — Requisitos y métodos de ensayo para los cementos ternarios**

<b>Índice</b>	<b>Requisitos</b>	<b>UM</b>	<b>ACC-25</b>	<b>ACC-35</b>	<b>Método de ensayo</b>
Físicos	Tiempo fraguado inicial (mín.)	min	45	45	NC 524
	Tiempo fraguado final (máx.)	h	12	12	
	Estabilidad de volumen por Le Chatelier (máx.)	mm	10	10	
Mecánicos	Resistencia a la compresión (mín.) 3 días	MPa		17	NC 506
	7 días		17	25	
	28 días		25	35	
Químicos	Pérdida por ignición (máx.)	%	10	10	NC 507
	Oxido de Magnesio ( máx.)	%	5	5	
	Trióxido de Azufre (máx.)	%	3,5	3,5	

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 ASTM C 183.

### **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

## Bibliografía

- Antoni, M., Rossen, J., Martirena, F., & Scrivener, K. (2012). Cement substitution by a combination of metakaolin and limestone. *Cement and Concrete Research*, 42(12), 1579–1589. <http://doi.org/10.1016/j.cemconres.2012.09.006>
- Avet, F., Snellings, R., Alujas, A., & Scrivener, K. (2015). Development of a new rapid , relevant and reliable ( R 3 ) testing method to evaluate the pozzolanic activity of calcined clays. *14th International Congress on the Chemistry of Cement*, 85, 1–7. <http://doi.org/10.1016/j.cemconres.2016.02.015>
- De Weerd, K., Haha, M. Ben, Le Saout, G., Kjellsen, K. O., Justnes, H., & Lothenbach, B. (2011). Hydration mechanisms of ternary Portland cements containing limestone powder and fly ash. *Cement and Concrete Research*, 41(3), 279–291. <http://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.11.014>
- Fernandez, R., Martirena, F., & Scrivener, K. L. (2011). The origin of the pozzolanic activity of calcined clay minerals: A comparison between kaolinite, illite and montmorillonite. *Cement and Concrete Research*, 41(1), 113–122. <http://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.09.013>
- Matschei, T., Lothenbach, B., & Glasser, F. P. (2007). The role of calcium carbonate in cement hydration. *Cement and Concrete Research*, 37(4), 551–558. <http://doi.org/10.1016/j.cemconres.2006.10.013>
- Sabir, B., Wild, S., & Bai, J. (2001). Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: A review. *Cement and Concrete Composites*. [http://doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00092-5](http://doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00092-5)
- Tironi, A., Trezza, M. a., Scian, A. N., & Irassar, E. F. (2013). Assessment of pozzolanic activity of different calcined clays. *Cement and Concrete Composites*, 37(1), 319–327. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.01.002>
- Trümer, a., & Ludwig, H.-M. (2012). Calcined clays as supplementary cementitious material. In *Proceedings of the 18th International Conference on Building Materials (ibausil), Weimar* (pp. 1–8).