

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

Facultad de Construcciones



MONOGRAFÍA

Título: Empleo de poliestireno expandido como sustitución parcial de áridos en bloques.

Autoras: Dra. Ing. Lesday Martínez Fernández

Ing. Yanay Santilez Márquez

Resumen

Las partículas de poliestireno expandido (EPS) constituyen una alternativa viable para la producción de hormigones ligeros en la construcción. Su estructura blanda hace que sea un material mucho más ligero que la arena y la presencia de las mismas disminuye la resistencia de los hormigones que componen.

Se presentan los estudios realizados a muestras de bloques de hormigón de 10 cm de espesor, fabricados con varios por cientos de sustitución de los áridos por partículas de poliestireno expandido, con el objetivo de proponer dosificaciones a partir del uso de este novedoso material en mezclas de hormigón hidráulico para confeccionar este tipo de bloques y demostrar que conservan los requisitos establecidos en diferentes normativas. En la investigación se realizó una caracterización de las materias primas, destacando las partículas ligeras de poliestireno como material fundamental y se llevaron a cabo diferentes ensayos a los bloques confeccionados como dimensiones, peso, absorción y resistencia a la compresión. Se realizó un análisis de los resultados obtenidos y se demostró que los bloques elaborados con la adición de partículas de poliestireno expandido, cumplen con los requisitos establecidos por las normativas evaluadas.

Índice

Introducción.....	4
1. Empleo de perlitas de poliestireno expandido como materia prima en la fabricación de bloques huecos de hormigón.	8
A partir del análisis de la bibliografía consultada se desarrollan los siguientes epígrafes sobre el uso de las perlitas de poliestireno expandido en la construcción. 8	
1.1Hormigones ligeros.....	8
1.1.2Propiedades Físicas de los hormigones ligeros	9
1.1.3Ventajas de los hormigones ligeros.....	10
1.2 Poliestireno expandido	10
1.2.1Reseña histórica del poliestireno expandido.....	11
En 1831 un líquido incoloro, el estireno, fue aislado por primera vez de una corteza de árbol. Hoy día se obtiene mayormente a partir del petróleo. 11	
1.2.2 Origen, Composición y Obtención del poliestireno expandido	11
1.2.3 Propiedades del poliestireno expandido.....	12
1.2.4 Usos del poliestireno expandido	14
1.2.5 Ventajas Constructivas del uso del poliestireno expandido	14
1.2.6 Beneficios medioambientales de la utilización del EPS.....	15
1.2.7 Uso del EPS en nuestro país	16
1.3 Hormigones livianos a base de EPS	16
1.4 Bloques huecos de hormigón	16
1.4.1 Antecedentes históricos de los bloques:	17
1.5 Análisis de diferentes normativas sobre bloques	18
1.5.1Norma Cubana NC 247-2010: Bloques huecos de Hormigón. Especificaciones. (normalización, 2010)	18
1.5.2 Norma Venezolana COVENIN 82- 42: Bloques huecos de concreto (COVENIN, 1982)	21
1.5.3 Norma ASTM 129-99a: Standard Specification for Nonloadbearing Concrete Masonry Units. (ASTM, 1999)	24
Los requerimientos generales de esta norma se pueden consultar en Anexo 3. A continuación se observan los requisitos de resistencia a compresión, absorción y peso, establecidos en la misma..... 24	

1.5.4 Norma NMX-C-441-ONNCCE-2005: Industria de la construcción – Concreto hidráulico para uso no estructural.	24
1.5.5 Norma IRAM 11561-2:1997: Bloques no portantes de Hormigón. Requisitos	26
1.5.6 Diferencias entre las normas NC 247-2010: Bloques huecos de hormigón – Especificaciones y COVENIN 42-82: Bloques huecos de concreto.	26
2. Caracterización de las materias primas y ejecución de la parte experimental.	27
2.1 Caracterización de los Áridos	27
2.1.1 Árido Fino.	28
2.1.2 Árido grueso.....	28
2.2 Caracterización del cemento	29
2.3 Caracterización de la Perlita de Poliestireno Expandido.....	30
2.3.1 Ensayos físicos realizados a la perlita de poliestireno	31
2.4 Estudio del plan experimental	32
2.5 Determinación de las dimensiones.....	36
2.5.1 Resultados del ensayo de dimensiones	36
2.6 Resultados de los ensayos de peso	37
2.7 Determinación de la resistencia a compresión	37
2.7.1 Resultados de los ensayos de resistencia a compresión	38
2.8 Determinación de la absorción.....	39
2.8.1 Resultados del ensayo de absorción	39
3. Análisis de los resultados de los ensayos realizados a los bloques con perlitas de poliestireno expandido.	40
3.1 Exposición de los resultados	40
3.1.1 Resultados de los ensayos de dimensiones realizados a los bloques	40
3.1.2 Resultados de los ensayos de peso realizados a los bloques.....	42
3.1.3 Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión realizados a los bloques	45
3.1.4 Resultados de los ensayos de absorción realizados a los bloques	48
Conclusiones Generales	50
Bibliografía	51
Anexos	55

Introducción

La evolución del hormigón unido al desarrollo de la ciencia y la técnica es indetenible, pues su utilización para la obras de construcción así lo hace necesario. En la actualidad es el material de mayor utilización por su durabilidad, velocidad de construcción y propiedades mecánicas. La sustitución, total o parcial, de los áridos utilizados para la fabricación de un hormigón tradicional, por áridos ligeros (naturales o industriales), da lugar a hormigones de menor densidad denominados Hormigones Ligeros.(Aguila Alejandro, 2011)

Actualmente uno de los áridos livianos más utilizados para el proceso de obtención de este hormigón son las partículas de poliestireno expandido (EPS), a partir de la adición de estas en el proceso de elaboración, las cuales pueden sustituir parcialmente al árido fino y grueso, debido a que son materiales que no absorben agua, no tienen impurezas, no reaccionan con el cemento y además tienen buena adherencia con el mismo. Estos hormigones se obtienen mezclando cemento, áridos, agua y partículas de poliestireno expandido molido y las propiedades que le aportan estas partículas son las siguientes:

- Peso específico aparente muy bajo.
- Excelente aislamiento térmico.
- Escasa absorción de humedad.
- Buena resistencia mecánica.(AAPE, 2009)

Son muchas las aplicaciones de estos hormigones, se les utiliza como aislantes en: rellenos de losas, paneles livianos aislantes auto portantes y no portantes, sub-bases para pavimentos, como sustituto del balasto en vías férreas, encofrados perdidos y bloques o ladrillos huecos, etc. (AAPE, 2009)

Las partículas de poliestireno pueden utilizarse en la preparación de hormigón ligero para la construcción. Su estructura blanda hace que sea un material mucho más ligero que la arena y la adición de las mismas disminuye la resistencia de los hormigones que componen. Según la literatura consultada, dentro de las que se encuentran((AAPE, 2009), (Miret, 2007), (UTILBOX, 2010)) se maneja el concepto de perlita por la forma que adquiere el material después de ser molido, es decir, se utiliza la partícula de EPS en forma de perlita de poliestireno expandido. Es por esto que a partir de este momento en este trabajo se referirá al término perlititas de poliestireno expandido.

La perlita retiene la humedad porque demanda agua para poder mezclarse con el resto de las materias primas debido a su textura superficial muy lisa. La sustitución de perlita de poliestireno

por volumen de hormigón elaborado, supone un aumento en volumen del total de la misma, debido a que este material presenta menor peso específico. (Aguila Alejandro, 2011)

En nuestro país se han construido muchas obras con el empleo del poliestireno expandido, como por ejemplo viviendas, edificaciones comerciales así como intervenciones y restauración de obras ejecutadas con gran variedad de sistemas constructivos. A pesar de esto las autoras consideran que todavía no existe la total conciencia o claridad de las tantas y excelentes aplicaciones de este material, tanto es así que a pesar de la importante ventaja del mismo de poder ser recuperado al 100 %, todavía los organismos involucrados en la gestión de residuos en nuestro país no lo tiene establecido dentro de las prioridades como material disponible y reciclable.

Los bloques de hormigón son piezas que se obtienen de una mezcla homogénea de cemento, árido grueso y fino de tamaño específico, además de agua. Estos bloques son confeccionados y luego de ser sometidos a un proceso de curado, fraguado y endurecimiento adquieren características portantes. Actualmente existen variedades de bloques construidos con hormigones ligeros a base de poliestireno expandido convirtiéndolos en un elemento importante, pues reducen considerablemente el peso sobre los elementos de construcción. Todo esto es posible por la adición en los mismos de este material novedoso que es la perlita de poliestireno expandido.

En nuestro país se ha desarrollado por parte del Ministerio del Interior en La Habana un estudio acerca de este material, para lo cual se han creado algunos talleres de reciclado en los cuales se producen bloques macizados e incluso algunos pequeños y medianos paneles de poliestireno expandido.

Ya existe un trabajo preliminar sobre bloques a base de EPS (Aguila Alejandro, 2011), el cual tenía como objetivo fundamental demostrar que los bloques se podían conformar, sustituyendo un por ciento de hormigón elaborado por las perlitas. Demostrado entonces que es posible y comprobado esto, el presente trabajo pretende proponer las dosificaciones exactas para conformar este tipo de bloques.

La actual norma cubana, NC 247(2010): Bloques huecos de hormigón – Especificaciones, contempla las condiciones que tienen que cumplir los mismos para poder ser utilizados en la construcción, así como la clasificación de estos según sus dimensiones. Todas estas condiciones y especificaciones están dadas para un bloque de características normales, es decir, confeccionado con hormigón tradicional, pero en estos momentos la utilización de bloques a base

de áridos ligeros es un punto importante en la construcción en todo el mundo y como es sabido con la utilización, por ejemplo del poliestireno expandido, reduce la resistencia de los mismos, y por tanto no deben cumplir con las especificaciones establecidas de utilización que están normalizadas.

En otros países, con más experiencia en la utilización de bloques aligerados con diferentes áridos livianos, como el EPS, existen normas que establecen los requisitos de los mismos y por tanto el grado de utilización. Venezuela es uno de estos países y el presente trabajo se basará en las condiciones establecidas en la COVENIN 42-82: Bloque huecos de concreto, para analizar las condiciones de los bloques confeccionados con este tipo de agregado ligero. Además se analizarán otras normativas internacionales (ASTM C129-99a, NMX-C441-ONNCCE e IRAM 11561-2:1997), que aunque no contienen especificaciones para bloques con áridos ligeros, se van a comparar los resultados obtenidos con lo establecido en las mismas.

Problema Científico

¿Es posible sustituir parcialmente los áridos por perlitas de poliestireno expandido en mezclas de hormigones ligeros para bloques?

Objeto de la investigación

Potencialidades de las perlitas de poliestireno para su utilización como áridos en la construcción.

Campo de acción

Producción de bloques en Cuba.

Objetivo General

Proponer dosificaciones a partir del uso del poliestireno expandido en mezclas de hormigón hidráulico para bloques huecos de 10 cm de espesor.

Objetivos específicos

- 1) Realizar el análisis bibliográfico sobre el potencial empleo de áridos ligeros en la elaboración de mezclas de hormigón para bloques huecos de hormigón.
- 2) Evaluar las principales propiedades físico-mecánicas del bloque de hormigón hidráulico de 10 cm de espesor empleando adiciones de poliestireno expandido en las mezclas de hormigón para su conformación.
- 3) Analizar los parámetros obtenidos en la experimentación del bloque hueco de hormigón con respecto a las normas NC 247-2010: Bloques huecos de hormigón, COVENIN 42-82: Bloques huecos de concreto, ASTM C129-99a: Standard Specification for Nonloadbearing Concrete Masonry Units, NMX-C441-ONNCCE-2005: Industria de la construcción-Concreto Hidráulico para uso no estructural e IRAM 11561-2:1997: Bloques no portantes de Hormigón. Requisitos.

Hipótesis:

Los bloques aligerados con perlitas de poliestireno expandido cumplen los requisitos establecidos para ser utilizados como bloques huecos de hormigón de 10 cm.

Novedad Científica:

Empleo de las perlitas de poliestireno como materia prima para la fabricación de bloques que sean capaces de reportar beneficios económicos, medioambientales y sociales.

Aporte práctico:

La proposición de nuevas mezclas de hormigón para obtener bloques más ligeros, luego de comprobar la eficiencia de su aplicación.

Resultados esperados:

Los bloques de hormigón aligerados, con la sustitución parcial de áridos por perlitas de poliestireno, son aptos para su utilización en la construcción.

1. Empleo de perlitas de poliestireno expandido como materia prima en la fabricación de bloques huecos de hormigón.

A partir del análisis de la bibliografía consultada se desarrollan los siguientes epígrafes sobre el uso de las perlitas de poliestireno expandido en la construcción.

1.1 Hormigones ligeros

Se les denomina hormigones ligeros o livianos a aquellos que durante el proceso de elaboración se logra, utilizando diferentes métodos, que su densidad sea menor que la del hormigón tradicional de arena, grava y cemento, pues la densidad lograda en los mismos fluctúa entre 300kg/m³ y 1900 kg/m³, mientras que la de los hormigones convencionales está alrededor de 2400 kg/m³.(Yi Xu, 2012)

Dentro de los tipos de hormigones ligeros que se producen se encuentran los elaborados a base de la inserción en los mismos de áridos ligeros, naturales o artificiales, que sustituyen total o parcialmente los utilizados en el hormigón tradicional.

Las características principales de estos hormigones son su poder aislante, uniformidad y ligereza, las cuales garantizan el correcto funcionamiento de los mismos y la aplicación en diferentes campos, fundamentalmente en la construcción, pues la baja densidad de estos unido a la resistencia a la compresión que garantizan entre 15 y 35 N/m² así lo hace posible. (AAPE, 2009)

1.1.1 Antecedentes de los hormigones ligeros

Los primeros hormigones livianos utilizados para construir edificaciones surgieron en el Imperio Romano en los años 20 a.C. Estos primeros hormigones eran resultado de la mezcla de materiales cementantes formados a partir de limos quemados con materiales de baja densidad como la piedra pómez.

Los primeros edificios construidos con hormigones estructurales livianos aparecieron luego de la Primera Guerra Mundial. En el año 1922 se construyó la ampliación del Gimnasio de la escuela de deportes acuáticos de la ciudad de Kansas y fue este el primer edificio construido con hormigón liviano estructural en la historia. El suelo donde se cimentó este edificio tenía una capacidad portante muy baja, por esta razón se optó por utilizar un hormigón liviano y poder así aligerar el peso que se descargaba al suelo.

Para el año 1928 se realizó un estudio para incrementar el número de pisos del edificio de oficinas de la compañía de teléfono Southwestern Bell en la ciudad de Kansas. Originalmente el edificio constaba con 14 pisos, se realizaron estudios en la cimentación y se determinó que a la estructura se le podía adicionar 8 pisos más utilizando hormigón convencional. Pero

debido a que se utilizó hormigón liviano fabricado con arcillas expandidas se pudo aumentar la estructura hasta 14 pisos más. (AAPE, 2009)

1.1.2 Propiedades Físicas de los hormigones ligeros

Los hormigones ligeros presentan determinadas propiedades que los diferencian de los hormigones tradicionales a partir de las características de los áridos livianos que presentan en su composición. Dentro de estas se destacan: baja conductividad térmica y acústica, resistencia al fuego y factible proceso de mezclado.

Baja conductividad térmica

El comportamiento térmico de los hormigones ligeros está directamente relacionado con su densidad. El aire contenido en la estructura porosa del árido ligero reduce considerablemente la conductividad térmica del hormigón así contenido. Los hormigones ligeros presentan importantes disminuciones en sus coeficientes de dilatación térmica frente al hormigón convencional con lo que la posibilidad de fisuración, por dilatación térmica, es mucho menor, sobre todo si se tiene en cuenta su mayor elasticidad.

Baja conductividad acústica

Son hormigones que presentan buen comportamiento acústico. La propagación de las ondas de baja frecuencia, derivadas de vibraciones producidas por impactos, no sufre atenuación por la cantidad de masa interpuesta sino por la interposición de materiales que absorban la vibración. La estructura porosa de los áridos ligeros actúa como amortiguador de las ondas vibratorias consiguiendo un aislamiento térmico-acústico efectivo respecto a los hormigones convencionales.

Hay que señalar que el comportamiento acústico de los hormigones ligeros estará estrechamente ligado a la relación entre la cantidad y tipo de árido ligero utilizado y la masa de la pasta en la matriz, por lo que se deben tener muy en cuenta las especificaciones de las dosificaciones de materiales componentes utilizados en las mezclas de dichos hormigones.

Resistencia al fuego

Los hormigones ligeros son más resistentes al fuego que los hormigones convencionales, debido a las siguientes características:

- La baja conductividad térmica del hormigón ligero mejora su estabilidad frente a las altas temperaturas.
- A igualdad de resistencia, los hormigones ligeros protegen las armaduras y mantienen su capacidad resistente durante períodos más prolongados que los hormigones convencionales en caso de incendio. (Miret, 2007, Chen et al., 2007)

1.1.3 Ventajas de los hormigones ligeros

El hormigón ligero es un material de baja densidad, obtenido generalmente por medio de la mezcla común de agua + cemento+ áridos ligeros+ aditivos. Esta mezcla logra obtener un hormigón de poco peso, económico y con grandes propiedades termo acústicas. A continuación se señalan algunas de las principales ventajas del uso del mismo en la construcción.

- Permite disminuir el peso en estructuras y cargas a la cimentación, es decir, reduce la carga muerta.
- Provoca un confort climático en las habitaciones, que se traduce en un ahorro del consumo de energía eléctrica.
- Su colocación y acabado son más económicos.
- Fraguado uniforme y controlado.
- Baja densidad.
- Mayor rapidez de construcción.
- Menores costos de transporte.
- Se logra menos tiempo de ejecución en la obra. (AAPE, 2009)

1.1.4 Usos y aplicaciones de los hormigones ligeros

Las aplicaciones que pueden tener los hormigones ligeros dependen exclusivamente de los agregados escogidos para la elaboración del mismo y del diseño.

El hormigón liviano es ideal para la construcción de elementos secundarios en edificios o viviendas, que requieren ser ligeros a fin de reducir las cargas muertas; para colar elementos de relleno que no soporten cargas estructurales y para la construcción de viviendas con características de aislamiento térmico. Son hormigones funcionales para resolver problemas de grandes luces, losas aligeradas y voladizos. Los mismos tienen aplicaciones refractarias, en hornos de cocción y chimeneas, reductoras de frecuencia de vibraciones, en estructuras sismo resistente y fundaciones de maquinaria industrial y además son hormigones perfectamente bombeables sin limitación de alturas. (AAPE, 2009)

1.2 Poliestireno expandido

El poliestireno expandido o EPS se define técnicamente como un material plástico celular y rígido fabricado a partir del moldeo de perlitas pre expandidas de poliestireno expandible o uno de sus copolímeros, que presenta una estructura celular cerrada y rellena de aire. Es un material plástico espumado utilizado en el sector de la construcción, principalmente como

aislamiento térmico y acústico, en el campo del envase y embalaje en diferentes sectores de la actividad y en una serie de aplicaciones diversas.

Este material tiene excelentes cualidades dentro de las que se encuentran: Aislamiento térmico, ligereza, amortiguación de impactos, resistencia mecánica, resistencia a la humedad, facilidad de manipulación, versatilidad, higiénico, 100% reciclable y moderado impacto ambiental.(BASF, 2001)

1.2.1 Reseña histórica del poliestireno expandido

En 1831 un líquido incoloro, el estireno, fue aislado por primera vez de una corteza de árbol. Hoy día se obtiene mayormente a partir del petróleo.

El poliestireno fue sintetizado por primera vez a nivel industrial en el año 1930. Hacia fines de la década del 50, la firma BASF (Alemania) por iniciativa del Dr. F. Stastny, desarrolla e inicia la producción de un nuevo producto: poliestireno expandible, bajo la marca Styropor. Ese mismo año fue utilizado como aislante en una construcción dentro de la misma planta de BASF donde se realizó el descubrimiento.

Al cabo de 45 años frente a escribanos y técnicos de distintos institutos europeos, se levantó parte de ese material, y se lo sometió a todas las pruebas y verificaciones posibles. La conclusión fue que el material después de 45 años de utilizado mantenía todas y cada una de sus propiedades intactas.(BASF, 2001)

1.2.2 Origen, Composición y Obtención del poliestireno expandido

El poliestireno expandido es de origen artificial, ya que al no encontrarse poliestireno expansible en la naturaleza, debemos recurrir a procesos de sintetización a fin de producirlo. En su composición se clasifica como un polímero. La base del poliestireno es el estireno, un líquido cuyas moléculas se polimerizan, dando origen a las macromoléculas de poliestireno. El estireno se mezcla íntimamente con agua y un agente de expansión: el hidrocarburo pentano C_5H_{12} . Después de la pre-expansión, las perlitas se mantienen en silos de reposo y posteriormente son conducidas hacia máquinas de moldeo. Dentro de dichas máquinas se aplica energía térmica para que el agente expansor que contienen las perlitas se calienten y estas aumenten su volumen, a la vez que el polímero se plastifica. Durante dicho proceso, el material se adapta a la forma de los moldes que lo contienen, posee una densidad aparente entre 10 kg/m³ y 30 kg/m³.

De esta forma obtenemos el poliestireno expansible que luego podrá ser expandido conformando las distintas formas comerciales. También se puede obtener otro tipo de poliestireno expansible denominado “difícilmente inflamable” o “auto extinguable” con variadas aplicaciones en la construcción. (BASF, 2001)

1.2.3 Propiedades del poliestireno expandido

A continuación se exponen las propiedades que caracterizan al Poliestireno Expandido.

Las propiedades físicas de este material son:

Aislamiento Térmico

Los productos y materiales de poliestireno expandido - EPS presentan una excelente capacidad de aislamiento térmico frente al calor y al frío. De hecho, muchas de sus aplicaciones están directamente relacionadas con esta propiedad. De todos es conocido que el aire en reposo es un excelente aislante térmico. La capacidad de aislamiento térmico de un material está definida por su coeficiente de conductividad térmica λ que en el caso de los productos de EPS varía igualmente a las propiedades mecánicas de forma directa.

Comportamiento frente al agua y vapor de agua

El poliestireno expandido no es un material higroscópico, los valores de absorción del mismo son mínimos entre 1% y 3%, incluso con este sumergido completamente en el agua. Por otro lado, al contrario de lo que sucede con el agua en estado líquido, el vapor de agua sí puede difundirse en el interior de la estructura celular del EPS cuando entre ambos lados del material se establece un gradiente de presiones y temperaturas.

Estabilidad Dimensional

Todos los materiales se ven afectados por las variaciones dimensionales debidas a la influencia térmica y los productos del EPS no están exentos de estas. El coeficiente de dilatación térmica es el factor que permite medir estas variaciones y se debe señalar que en el caso de los productos de EPS, este factor de evaluación independiente de la densidad, se encuentra entre 0,05 y 0,07 mm por metro de longitud y grado Kelvin.

Estabilidad frente a la temperatura

En cuanto al extremo inferior este material no tiene limitación alguna de temperatura para que sus propiedades se mantengan, excepto las variaciones dimensionales por contracción. Por otra parte el extremo superior tiene un límite de temperatura de 100°C para acciones de corta duración, y alrededor de los 80°C para acciones continuas, todo esto con un material sometido a una carga de 20 KPa.

Comportamiento frente a factores atmosféricos

En cuanto a este aspecto lo único que es importante analizar es la radiación ultra violeta. El poliestireno toma un color amarillento y se vuelve frágil bajo la acción prolongada a la luz UV, y de esta manera al incidir sobre ella la lluvia y el viento los mismos logran erosionarla. Estas consecuencias pueden evitarse con medidas como: el recubrimiento y revestimiento del material y la aplicación de pinturas.

Las propiedades químicas del poliestireno expandido hacen que este sea estable frente a muchos productos químicos. Por ejemplo el EPS no se destruye con la acción prolongada de diferentes sustancias activas como solución salina (agua de mar) y alcalinas, jabones y soluciones de tenso activos, lejías, ácidos diluidos, ácido clorhídrico (al 35%), ácido nítrico (al 50%) y alcoholes (metanol, etanol).

Por otra parte el EPS se comporta de manera no estable frente otras sustancias. Este material se contrae o se disuelve con la acción de ácidos concentrados al 100%(sin agua), disolventes orgánicos (acetona, esteres), hidrocarburos alifáticos saturados, aceite de diesel y carburantes. Además este material se comporta relativamente estable ante aceites de parafina, vaselina y silicona, es decir, ante la acción prolongada de estos el EPS puede contraerse o ser atacada su superficie.

Propiedades biológicas

Al ser expuesto a temperaturas superiores a 100°C, los productos de EPS empiezan a reblandecerse lentamente y se contraen, si aumenta la temperatura se funden. Si continúa expuesto al calor durante un cierto tiempo, el material fundido emite productos de descomposición gaseosos inflamables. Las bacterias del suelo no atacan la espuma rígida y además los productos de EPS no tienen efectos dañinos sobre el medio ambiente y no ponen

en peligro las aguas. Si se observan las disposiciones locales se pueden depositar o incinerar con la basura doméstica. (ANAPE, 2009),(DIMER, 2011).

1.2.4 Usos del poliestireno expandido

Las cualidades del poliestireno expandido tanto en su amplia gama de prestaciones así como los formatos en que se puede presentar, les convierten en material con amplias posibilidades de aplicación dentro del ámbito de la construcción. Las aplicaciones en esta área se centran, fundamentalmente, en la edificación con soluciones constructivas para el aislamiento termo-acústico de los diferentes cerramientos, así como en soluciones de aligeramiento y conformado de diversas estructuras de la edificación, además de otras aplicaciones como moldes de encofrado y juntas de dilatación. También ocupa un lugar de importancia creciente en aplicaciones de obra civil como material aligerante y conformador de estructuras.(Miret, 2007), (BASF, 2001)

Entre los principales elementos constructivos que se obtienen del uso del poliestireno expandido se encuentran:

- Hormigones Estructurales Livianos.
- Piezas Pretensadas y Postensados.
- Premoldeados en General.
- Hormigones Refractarios.
- Capas de Compresión de Losas Cerámicas.
- Concretos Asfálticos para Uso Vial.
- Bloques.
- Paneles Aislantes.
- Obras de Drenaje. (UTILBOX, 2010)

1.2.5 Ventajas Constructivas del uso del poliestireno expandido

El Poliestireno Expandido ocupa un lugar prioritario entre los aislantes empleados en la edificación, debido a sus cualidades de aislamiento térmico y acústico, resistencia la humedad y al envejecimiento, ligereza, propiedades mecánicas, facilidad de transporte e instalación, excelente relación prestaciones/precio, y una característica añadida que hace al EPS prácticamente insustituible para muchas aplicaciones: la versatilidad. En cuanto al tamaño se pueden emplear desde grandes piezas para aligeramiento en Ingeniería Civil y construcción de forjados, hasta pequeñas piezas complementarias y desde finas láminas de pocos milímetros hasta grandes espesores para paneles frigoríficos. (UTILBOX, 2010)

Seguidamente se muestran las principales ventajas constructivas del uso del EPS.

- Facilita el montaje de los elementos al ser más simples y ligeros.
- Los elementos pueden ser cortados a pie de obra.
- Las materias primas están garantizadas casi en su totalidad.
- Tecnología de rápida ejecución. (No empleo de maquinarias en el montaje)
- Uso del 30% menos de materiales constructivos.
- Los operarios no requieren de alta calificación.
- Aislante térmico y acústico, ahorro energético y confort habitacional. (UTILBOX, 2010)

1.2.6 Beneficios medioambientales de la utilización del EPS

La preocupación por el Medio Ambiente está presente muy especialmente en la Construcción, donde crece cada vez más la importancia del ahorro de energía y la mejora del confort de las viviendas. Los beneficios ambientales de la utilización de EPS son los siguientes:

- El poliestireno expandido EPS es un material no tóxico, exento de fibras, inerte, biológicamente neutro, que no contiene CFC's (clorofluorocarburos) ni HCFC's (hidroclorofluorocarburos) y por lo tanto no es agresivo para la capa de ozono. No constituye alimento para roedores ni soporte nutritivo para hongos o bacterias.
- El EPS representa una ausencia total de riesgo para los trabajadores en su instalación y uso, no requiriendo de ningún equipo de protección particular.
- Contribuye a la sostenibilidad, ya que la fabricación del EPS es un proceso que requiere un bajo consumo energético, y su instalación en edificios representa un importante ahorro de energía.
- En cuanto al riesgo de incendio, en la mayoría de aplicaciones el poliestireno expandido se encuentra recubierto por otros materiales como ladrillo, enlucidos, placa de yeso laminar, hormigón, etc. minimizando el riesgo de incendio. Durante su combustión el EPS libera energía, CO y CO₂ pero no genera ningún gas nocivo derivado de cloro o cianuros. (UTILBOX, 2010)

El EPS es 100% reciclable mediante la reincorporación, en ciertas proporciones, de materia prima virgen para obtener nuevos bloques. También se utiliza, una vez triturado y mezclado con otros materiales de construcción como hormigón, morteros de repello, ladrillos etc., con funciones aligerantes y aislantes. (Miret, 2007)

1.2.7 Uso del EPS en nuestro país

En nuestro país, con el empleo del poliestireno expandido se han construido obras de toda índole: viviendas, escuelas primarias y secundarias, edificios destinados a oficinas, inmobiliarias, edificaciones comerciales, así como intervenciones y restauración de obras ejecutadas con gran variedad de sistemas constructivos. Entre ellas se distinguen el AvanTec de paneles y cubierta (comercializado por el MICONS en el extranjero con el nombre PMS), el sistema Horm-EPS (Ticsa), así como los sistemas Mdos, Poligal, las bovedillas de poliestireno expandido, las losas Trimat, las Polimat del Centro Técnico de la Vivienda y el Urbanismo (CTVU), así como bloques, placas aislantes con espesores mayores a 12 mm, en la construcción de cámaras frigoríficas, cuartos fríos, recipientes y tuberías. También se utiliza como aligerante de techos, pisos y muros, en empaques protectores a través de ranuras o perforaciones y en hornos de Cerámica.

1.3 Hormigones livianos a base de EPS

En el hormigón liviano, se utilizan las perlitas de poliestireno expandido, las cuales pueden reemplazar totalmente el agregado grueso, y parcialmente el agregado fino, debido a que son áridos que no absorben agua, no tienen impurezas, no reaccionan con el cemento y además tiene buena adherencia con el mismo. Hay que señalar que las propiedades mecánicas de estos hormigones están directamente relacionados con la distribución y el contenido de EPS. (Zhou et al., 2010)

En el proceso de mezclado mecánico, se coloca el poliestireno previamente mojado para aumentar su peso, luego se vierte el agregado fino que se va a adherir a la superficie del poliestireno, y de mezclar esto se coloca el cemento y por último el agua de mezclado. El material obtenido forma una masa consistente, que se coloca en el sitio por vibrado o apisonamiento manual.

Para la elaboración del hormigón liviano con poliestireno expandido se debe tener en cuenta la dosificación exacta del agua, debido a que un exceso de esta puede ocasionar una mezcla no cohesiva y segregación del material en la superficie, por otro lado si la dosificación es correcta la mezcla será homogénea. (AAPE, 2009)

1.4 Bloques huecos de hormigón

Los bloques huecos de hormigón se encuentran dentro de los materiales más utilizados en la construcción actualmente, pues los mismos no necesitan de soporte estructural adicional y se utilizan en muchos tipos de obras, incluso en edificios de varios pisos. La experiencia en

la utilización de los mismos como sistema constructivo, ha demostrado su excelente comportamiento, resultados estos que se han sucedido producto a las ventajas que el mismo representa y que se pueden resumir en resistencia, durabilidad, economía y velocidad constructiva.

Estas ventajas mencionadas anteriormente, unidas a su facilidad de moldeado y la productividad de las máquinas de bloques, hacen que este producto de la construcción sea seleccionado para evaluar la aplicación de hormigones con EPS.

1.4.1 Antecedentes históricos de los bloques:

La utilización del mortero de concreto por los romanos data desde principios del año 200 a.c. con la finalidad de dar forma a las piedras usadas en la construcción de edificios en esa época. Durante el reinado del emperador romano Calígula en el año 37-41 d.c., pequeños bloques de concreto prefabricados fueron usados como material de construcción en la región cerca de lo que hoy se conoce como Nápoles, Italia. Sin embargo, mucha de la tecnología desarrollada por los romanos se perdió tras la caída del imperio en el siglo V. No fue sino hasta 1824 que el Ingles Joseph Aspdin, desarrolló el cemento Portland, que llegó a ser un componente esencial del concreto moderno. El primer bloque de concreto fue diseñado en 1890 por Harmon S. Palmer en los Estados Unidos. Después de 10 años de experimentación, Palmer patentó el diseño en 1900. Los bloques de Palmer fueron de 20.3 x 25.4 x 76.2cm. En 1905, aproximadamente 1500 compañías estadounidenses se encontraban manufacturando bloques de concreto. Estos bloques eran sólidos y sumamente pesados en los que se utilizaba la cal como material cementante. La introducción del cemento Portland y su uso intensivo, abrió nuevos horizontes a este sector de la industria. A principios del siglo XX aparecieron los primeros bloques huecos para muros; la ligereza de estos nuevos bloques significó, por sus múltiples ventajas, un gran adelanto. Las primeras máquinas que se utilizaban en la entonces incipiente industria se limita a simples moldes metálicos, en los cuales se compacta la mezcla manualmente; este método de producción se siguió utilizando hasta los años veinte, época en que aparecieron máquinas con martillos accionados mecánicamente, más tarde se descubrió la conveniencia de la compactación lograda basándose en vibración y compresión; actualmente las más modernas y eficientes máquinas para la elaboración de bloques de concreto utilizan el sistema de vibro compactación. (Aguila Alejandro, 2011)

1.5 Análisis de diferentes normativas sobre bloques

Como ya se ha mencionado anteriormente los bloques huecos de hormigón pueden elaborarse a partir de una mezcla de materiales tradicionales o la incorporación de áridos ligeros.

Este caso particular, bloques con áridos ligeros, no está recogido dentro de la normativa cubana actual (NC 247:2010) y las autoras consideran que este aspecto pudiera enriquecer dicha normativa, al contemplar la conformidad para el caso de bloques con materiales diferentes de los tradicionales que conlleven a una variación de su peso.

Luego de estudiar varias normativas internacionales (COVENIN 42-82, ASTM 129-99a, NMX-C441, IRAM 11561-2) se ha elegido la COVENIN 42-82 como patrón de comparación, por contemplar explícitamente los tipos de bloques según los áridos empleados en su elaboración.

A continuación se muestra un análisis por separado de cada una de las normas, señalando posteriormente las principales diferencias entre la NC 247 y COVENIN 42-82, analizando la necesidad de incluir en la norma de nuestro país los requisitos para bloques confeccionados a base de áridos ligeros.

1.5.1 Norma Cubana NC 247-2010: Bloques huecos de Hormigón. Especificaciones. (normalización, 2010)

Clasificación de los bloques:

Los bloques se clasifican por sus dimensiones principales y según estas se exigen las propiedades físico mecánicas.

Según su tipo:

El tipo viene definido por el ancho de la base.

Tabla 1.1- Dimensiones principales y tolerancias admisibles según NC 247-2010

Tipo de bloque	l(± 3 mm)	b(± 3 mm)	h(± 3 mm)
I	495	200	195
	395		
II	495	150	
	395		
III	495	100	
	395		
IV	495	65	
	395		

Donde

l es la longitud de los bloques

b es la base del bloque

h es la altura del bloque

Para los bloques cara vista las tolerancias dimensionales son de (± 2 mm).

Tabla 1.2 – Índices físico mecánicos según NC 247-2010

	Resistencia a la compresión		
Tipo de bloque	R'c mínima a los 7 días	Absorción máxima	R'c mínima a los 28 días
	MPa	%	MPa
I	5.6	8.0	7.0
II	4.0	10.0	5.0
III	2.0	-	2.5
IV	2.0	-	2.5

Donde

Rc es la resistencia media a la compresión (MPa)

Requisitos de las materias primas

Cemento

Se podrá utilizar cualquier cemento contenido en la NC 95.

Agua de amasado

Será utilizada para el amasado el agua que cumpla con la NC 353.

Aditivos

Solamente se podrán utilizar aquellos aditivos que vengan correctamente etiquetados y cuyos documentos de origen figuren su designación, así como la garantía del fabricante de que el aditivo, agregado en las proporciones y condiciones previstas, produce la función principal deseada sin perturbar excesivamente las restantes características del hormigón.

Áridos

Los áridos empleados para la producción de bloques de hormigón se adecuarán a lo establecido en la NC 251.

Hormigón

El hormigón empleado en la fabricación de bloques tendrá una calidad tal que permita que el producto acabado reúna las características establecidas en esta norma.

Requisitos del producto terminado

Superficie

Los bloques no deben tener fisuras en las caras vistas y presentarán una textura superficial adecuada para facilitar la adherencia de posible revestimiento.

Los bloques cara vista deberán presentar por su cara o caras exteriores una coloración homogénea y una textura uniforme no debiendo aparecer en dichas caras coqueras, desconchados o desportillamiento.

Dimensiones y tolerancias

Los bloques deberán adaptarse preferentemente a sus dimensiones nominales y de fabricación, a los valores establecidos en la **Tabla 1.1**.

Absorción

Los bloques no deberán presentar un valor de absorción de agua superior al establecido en la **Tabla 1.2**.

Características mecánicas.

Las características mecánicas de los bloques de hormigón según su tipo se establecen en la **Tabla 1.2.**

Hasta aquí se han presentado los requisitos que exige la normativa cubana para la conformidad de los bloques huecos de hormigón. Las autoras consideran muy positivo la inclusión de requisitos generales para las materias primas, ya que indiscutiblemente estos influyen en la calidad del producto terminado.

Se hace una diferenciación según el tipo, en función de las dimensiones de la base del bloque y su aplicación final revestidos o no.

1.5.2 Norma Venezolana COVENIN 82- 42: Bloques huecos de concreto (COVENIN, 1982)

La clasificación de los bloques se establece según la procedencia de los áridos y su uso como se indica a continuación.

Según los agregados:

Pesados: Bloques fabricados con agregados normales. El peso unitario del concreto seco es mayor de 2000 kg/m³.

Semipesados: Bloques fabricados con mezcla de agregados normales y livianos. El peso unitario del concreto seco es entre 1400 kg/m³ y 2000 kg/m³.

Livianos: Bloques fabricados con agregados livianos. El peso unitario del concreto seco es mayor de 1400 kg/m³.

Según su uso:

Tipo A: Bloques para paredes de carga, expuestas o no a la humedad.

Clase A1: Para paredes exteriores, bajo o sobre el nivel del suelo y expuestas a la humedad.

Clase A2: Para paredes exteriores, bajo o sobre el nivel del suelo y no expuestas a la humedad.

Tipo B: Bloques para paredes que no soportan cargas o para paredes divisorias.

Clase B1: Para paredes expuestas a la humedad.

Clase B2: Para paredes no expuestas a la humedad.

Requisitos que deben cumplir los bloques:

Apariencia y acabado:

Bloque tipo A: No deben presentar grietas paralelas a la carga, si aparecen imperfecciones estas no pueden ser más del 5 % del pedido, siempre y cuando las grietas perpendiculares a la carga que aparezcan no tengan una longitud mayor a 5 cm.

Bloque tipo B: Pueden presentar grietas menores producidas en la fabricación o fragmentos producidos en el manejo.

Dimensionales:

Las dimensiones usuales de los bloques son las siguientes:

Tabla 1.3 -Dimensiones de los bloques de Concreto según COVENIN 82- 42

Denominación Ordinaria(cm)	Dimensiones Normales(cm)	Dimensiones Modulares(cm)
10	39 x19 x 9	40 x 20 x 10
15	39 x19 x 14	40 x 20 x 15
20	39 x19 x 19	40 x 20 x 20
25	39 x19 x 24	40 x 20 x 25
30	39 x19 x 29	40 x 20 x 30

Tabla 1.4 - Espesores mínimos para bloques tipo A según COVENIN 82- 42

Tipo de Bloque (cm)	Espesor de Pared(cm)	Espesor de nervios(cm)
10	1.9	1.9
15	2.2	2.2
20	2.5	2.5
25	2.8	2.8
30	3.2	2.8

Tabla 1.5 - Espesores mínimos para bloques tipo B según COVENIN 82- 42

Tipo de Bloque (cm)	Espesor de Pared(cm)	Espesor de nervios(cm)
10	1.3	1.3
15	1.5	1.5
20	1.7	1.7
25	1.9	1.9
30	2.2	1.9

Químicos:

Absorción de agua:

Tabla 1.6 - Absorción máxima según COVENIN 82- 42

Tipo de Bloque	Pesado %	Semipesado %	Liviano %
A1- A2 y B1	14	16	12
B2	No tiene ensayo de absorción		20

Mecánicos:

Resistencia a la compresión:

Tabla 1.7 - Resistencia a la compresión según COVENIN 82- 42

Tipo de bloque	Promedio 3 bloques (kg/cm²)	Mínimo 1 bloque (kg/cm²)
A1	70	55
A2	50	40
B1 – B2	30	25

Los bloques después de ser convenientemente curados por métodos aprobados, deben tener una resistencia a la compresión igual o mayor al 80 % de la especificada en la tabla anterior.

1.5.3 Norma ASTM 129-99a: Standard Specification for Nonloadbearing Concrete Masonry Units. (ASTM, 1999)

Los requerimientos generales de esta norma se pueden consultar en Anexo 3. A continuación se observan los requisitos de resistencia a compresión, absorción y peso, establecidos en la misma.

Tabla 1.8 - Requerimientos de resistencia según ASTM 129-99a

	Resistencia a compresión Psi, (MPa)
Promedio 3 unidades	600 (4.14)
Unidad individual	500(3.45)

Estos requerimientos de resistencia son establecidos tomando en cuenta el concepto de área neta, es decir, la menor área susceptible en el plano paralelo al de asiento del bloque, sin incluir el área de las cavidades que conforman el mismo.

Tabla 1.9 - Clasificación en cuanto al peso según ASTM 129-99a

Clasificación	Peso del concreto lb/ft³ (kg/m³)
Ligero	Hasta 105 (1680)
Semi pesado	Desde 105 hasta 125 (1680 a 2000)
Normal	Mayores que 125 (2000)

La norma que se analiza, ASTM 129-99a, exige requisitos de absorción de humedad entre los valores de 25 y 45 % y estos a su vez se encuentran en función de la retracción.

1.5.4 Norma NMX-C-441-ONNCCE-2005: Industria de la construcción – Concreto hidráulico para uso no estructural.

La ficha técnica de la norma mexicana a que haremos referencia se puede consultar en **Anexo 2**, a continuación se han extractado los requerimientos de dimensiones, resistencia a compresión y absorción que deben cumplir los bloques, según la misma.

Tabla1.10 - Especificaciones de las dimensiones según NMX-C-441-ONNCCE-2005

Especificación	Pieza	Largo (cm)	Altura (cm)	Ancho (cm)
Dimensiones	Bloques de concreto	10 a 30	10 a 30	Más de 30
	Ladrillo, tabiques y tabicones	10 a 30	Hasta 15	Hasta 30
	Las tolerancias en las dimensiones de las piezas son de ± 3 mm en la altura y ± 2 mm en el largo y en el ancho.			

Tabla1.11 - Especificaciones de Resistencia a la compresión según NMX-C-441-ONNCCE-2005

Especificación	Tipo de pieza	Resistencia mínima promedio	Resistencia mínima individual
Resistencia a la compresión	Bloques y Tabicones	3,5 (35)	3,0 (30)
	Tabique recocido	3,0 (30)	3,0 (25)

Tabla 1.12 - Especificaciones de Absorción según NMX-C-441-ONNCCE-2005

Especificación	Tipo de pieza	Absorción máxima de agua en % durante 24 h	
		Máxima promedio	Máxima individual
Absorción	Bloques y Tabicones	25	27
	Tabique recocido macizo	22	25
	Tabique, Ladrillo extruido	22	25
	Celosía	25	30
	Piezas hechas a mano	25	30

1.5.5 Norma IRAM 11561-2:1997: Bloques no portantes de Hormigón. Requisitos

Según la normativa IRAM 11561-2:1997, la resistencia media exigida para la sección neta de los bloques no debe ser inferior a 4 MPa. En el caso de los valores individuales, estos no deben ser inferiores a 3.5 MPa.

1.5.6 Diferencias entre las normas NC 247-2010: Bloques huecos de hormigón – Especificaciones y COVENIN 42-82: Bloques huecos de concreto.

La norma Venezolana COVENIN 42-82 hace una diferenciación de los bloques en cuanto a la procedencia de los áridos y su empleo en ambientes de humedad o no. En consecuencia exige requisitos de calidad partiendo de la propiedad física de absorción. En este aspecto las autoras son de la opinión que tal diferenciación es un aspecto positivo, por cuanto los áridos pétreos se hacen más livianos en la medida que presenten más poros y esto contribuye a un aumento de la absorción del bloque confeccionado con él.

Las principales diferencias entre las normativas NC 247-2010 y COVENIN 42-82 son las siguientes:

- La COVENIN 42-82 toma en cuenta requisitos para los bloques conformados con áridos ligeros, mientras que la NC 247 no tiene incluida este tipo de especificación.
- La NC 247 clasifica los bloques por sus dimensiones, mientras que la COVENIN 42-82 lo hace de acuerdo al tipo de agregado y a su uso.
- La COVENIN 42-82 no establece requisitos de las materias primas, mientras que la NC 247 muestra requisitos para el cemento, agua de amasado, aditivos y áridos.
- La COVENIN 42-82 no toma en cuenta cumplimiento de la forma, mientras que la NC 247 analiza rectitud de las aristas y planeidad de las caras.

2. Caracterización de las materias primas y ejecución de la parte experimental.

Se confeccionaron bloques con perlitas de poliestireno expandido en el taller de materiales ubicado en Manicaragua, con el propósito de realizar diferentes ensayos a los mismos y obtener conclusiones que demuestren la posibilidad de la utilización de estos en la construcción y de esta forma proponer la dosificación exacta para su elaboración.

Se propusieron tres puntos experimentales, el primero correspondiente a la mezcla patrón (0% de perlita), y los otros dos puntos sustituyendo parcialmente los áridos por las perlitas de poliestireno expandido manteniendo el mismo volumen de sólidos, en el punto 1 con 20% de perlita y el punto 2 con 25% de perlita. A partir de esta matriz experimental se obtuvieron hormigones con los cuales se realizaron los bloques que fueron ensayados a compresión a 28 días, además de realizarle a los mismos ensayos de absorción, dimensión y masa, todos estos realizados en la UEB (Unidad Empresarial de Bases) Eladio Rodríguez. Se confeccionaron 20 bloques en cada punto con un total de 60 bloques aligerados con perlitas de EPS.

Se expone a continuación la metodología de la investigación diseñada para el desarrollo del trabajo.

En este capítulo se muestra la caracterización de todos los materiales utilizados durante la investigación, pues el hormigón está formado por mezcla de diversos materiales, (árido grueso y fino, cemento, agua y como es el caso, se pueden usar adiciones como las perlitas de poliestireno. Además se aborda todo el proceso de producción, sus características y particularidades así como los ensayos realizados y las herramientas utilizadas.

2.1 Caracterización de los Áridos

Las características de los áridos utilizados para la presente investigación provenientes de la Industria de la Construcción de Villa Clara, condicionan las propiedades del hormigón para la conformación de los bloques, como su estabilidad y durabilidad y por tanto en la calidad de los resultados. Los áridos gruesos provienen de la cantera “El Purio” localizada en la parte norte de Villa Clara a 30Km aproximadamente de Santa Clara. Estos áridos son producidos mediante la trituración de rocas calizas, las cuales son de colores claros, casi blanco, y los áridos presentan una buena granulometría por lo cual es factible el trabajo con la misma además de encontrarse en la misma provincia.

Como árido fino se utilizó la arena lavada o beneficiada, de la cantera o yacimiento Sergio Soto en Manicaragua. (El Hoyo)

Las características físicas de ambos áridos se exponen a continuación:

2.1.1 Árido Fino.

Tipo de árido: Arena lavada del Hoyo en Manicaragua.

Tabla2.1: Ensayos correspondientes al árido fino.

Ensayo	Unidad	Resultado	Especificaciones	Incert
Material más fino que el tamiz 200	%	--	--	--
Partículas de arcilla	%	--	--	--
Impurezas orgánicas	Placa No	--	--	--
Peso Específico Corriente	g/cm ³	2.52	≥2.50	±0.019
Peso Específico Saturado	g/cm ³	2.58	--	±0.018
Peso Específico Aparente	g/cm ³	2.68	--	±0.018
Absorción	%	2.3	≤3.0	±0.017
Masa Volumétrica Suelta	kg/cm ³	1429	--	--
Masa Volumétrica Compactada	kg/cm ³	1609	--	--
Por ciento de vacío	%	27.1	--	--
Módulo de finura	%	3.31	--	--

Tabla2.2: Análisis Granulométrico de la arena.

Tamices(mm)			9.5 2	4.7 6	2.3 8	1.1 9	0.5 9	0.29 7	0.14 9	0.07 4	Ince rt
Por ciento pasado	-	-	100 *	99*	86*	60*	31*	11*	3*	0	±1.5 5
Especificaciones	-	-	100	99	70	45	25	10	2	--	
	-	-	-	100	100	80	60	30	10	--	

2.1.2 Árido grueso.

Tipo de árido: Granito 10-5mm. Cantera o yacimiento: "El Purio.

Tabla 2.3: Ensayos correspondientes al granito 10 - 5mm.

Ensayo	Unidad	Resultado	Especificaciones	Incertidumbre
Material más fino Tamiz 200	%	-	≤1	-
Terrones de arcillas	%	-	≤0.25	-
Partículas planas y alargadas	%	-	≤10	-
Peso específico corriente	g/cm3	2.56*	≥2.50	±0.010
Peso específico saturado	g/cm3	2.62	-	±0.0076
Peso específico aparente	g/cm3	2.72	-	±0.0075
Absorción	%	2.2*	≤3.0	±0.17
Masa volumétrica suelta	kg./m3	-	-	--
Masa volumétrica compactada	kg./m3	-	-	-
Por ciento de vacío	%	-	-	-
Índice de triturbilidad	%	-	-	-
Abrasión los Ángeles	%	-	-	-
Módulo de finura	ad	-	-	-

Tabla 2.4: Análisis Granulométrico del granito

Tamices(mm)	-	-	-	-	-	12.7	9.52	4.76	2.38	1.19	Incert.
% pasado	-	-	-	-	-	100*	96*	29*	4*	2*	±1.54
Especificaciones	-	-	-	-	-	100	85	15	0	0	
	-	-	-	-	-	-	100	35	10	5	

Los áridos utilizados se analizaron según lo especificado en la NC251:2005: Áridos para hormigones hidráulicos. Requisitos para evaluar la conformidad.

2.2 Caracterización del cemento

Tipo de cemento: P-350 Fábrica productora: Carlos Marx en Cienfuegos.

Tabla 2.5: Ensayos correspondientes al cemento.

Ensayo	Unidad	Resultado	Especificaciones	Incertidumbre
Tiempo de fraguado inicial	Min.	135*	≥45	-
Tiempo de fraguado final	HR	3.45*	≤10	-
Consistencia normal	%	-	-	-
Finura de molido	%	3.5*	≤10	-
Peso unitario suelto	kg./m ³	-	-	-
Peso específico real	g/cm ³	2.98	-	±0.012
Resistencia a compresión a 7 días	MPa	23.5**	≥25	±1.4
Resistencia a flexo-tracción a 7 días	MPa	4.7*	≥4	±0.59
Resistencia a compresión a 28 días	MPa	37.3*	≥35	±1.34
Resistencia a flexo-tracción a 28 días	MPa	6.5*	≥6	±0.51

El cemento utilizado, P-350, se analizó según la norma NC 95:2001 Cemento Portland Especificaciones para la evaluación de la conformidad.

2.3 Caracterización de la Perlita de Poliestireno Expandido

Tipo de adición: Perlita de poliestireno

Origen: Reciclado de embalajes de poliestireno.

La perla de poliestireno expandido utilizada en la investigación fue obtenida a partir de la recolección y almacenamiento de embalajes de este material, molido en el molino de martillo para la trituración de áridos finos ubicado en el taller de Eco materiales de Manicaragua, en nuestra provincia. **Ver Figuras 2.1, 2.2 y 2.3.**

A continuación se exponen los datos del molino de martillo utilizado. (**Tabla 2.6**)

Tabla 2.6: Datos del molino de martillo utilizado para moler los embalajes de EPS.

Equipo	Diseñador	Procedencia	≈ Cost / unid		Pot.	Product / jornada 8 h
			CUC	MN	Kw	
Molino de Martillo	CEDEMA	Holguín	1157	2368	7	4.7 m ³



Fig.2.1: Embalajes recolectados de poliestireno



Fig.2.2: Molienda del poliestireno



Fig.2.3: Perlitas molidas

2.3.1 Ensayos físicos realizados a la perlita de poliestireno

El ensayo de finura mediante el tamizado seco se realiza según la norma NC - 178:2002. Áridos.

Tabla 2.7: Resultados del análisis Granulométrico realizado a las Perlitas de Poliestireno

Tamiz (#)	Abertura (mm.)	RP (gramos)	% R(Parcial)	RA (gramos)	% R(acumulado)	%Pasado
3/8"	9.52	0	0	0	0	100
4	4.76	38.76	38.76	38.76	38.76	61.24
8	2.38	60.19	60.19	98.95	98.95	1.05
16	1.19	0.66	0.66	99.61	99.61	0.39
30	0.59	0.17	0.17	99.78	99.78	0.22
50	0.295	0.14	0.14	99.92	99.92	0.08
100	0.149	0.08	0.08	100	100	0

A continuación se representa gráficamente el comportamiento granulométrico de las perlitas de poliestireno expandido molidas en el molino de martillo para áridos finos ubicado en el taller de Manicaragua.

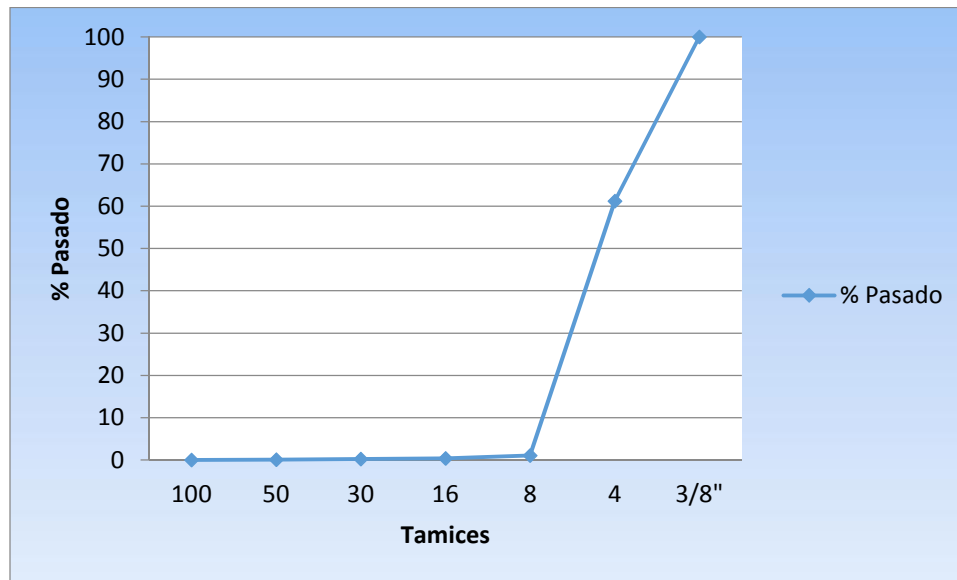


Figura 2.4: Comportamiento granulométrico de las Perlitas de Poliestireno

Los ensayos correspondientes a determinar la masa volumétrica suelta, masa volumétrica compactada según la NC 181-2002 (Áridos. Determinación del Peso Volumétrico) y peso específico se realizaron a nivel de laboratorio y según la NC: 186-2002 (Arena. Peso específico y Absorción de Agua), utilizándose un recipiente de volumen conocido y una balanza para obtener las mediciones.

Peso específico corriente----- 0.024

Peso Volumétrico Suelto-----112.5 g/Lts.

Peso Volumétrico Compactado-----134.5 g/Lts.

Densidad aparente-----24kg/m³

2.4 Estudio del plan experimental

A partir de la caracterización de las materias primas se comenzó el trabajo en el plan experimental. Se estudiaron bloques de 10 cm de espesor para analizar su comportamiento con áridos ligeros y para la utilización de los mismos en paredes divisorias y comprobar la disminución de peso y de resistencia logrando que cumplan con las normas fijadas para bloques aligerados.

Los bloques se confeccionaron en la máquina de bloques Vibracom en el taller de Manicaragua. **(Ver fig.2.6)** A continuación se muestran los datos de la máquina.

Electricidad: 3.5 HP tri fásica 220 volts

Vibrador: 1 HP 2880 RPM.

Peso: 750 kg. hasta 1100 kg.

Producción: 400 x 200 x 100mm - 4 bloques por puesta y realiza 1500 unidades por jornada de 8 horas

A continuación se muestran las figuras de la máquina y el molde utilizado para bloques de 10 cm de espesor. **(Fig.2.5 y 2.6)**

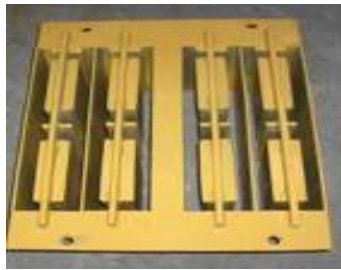


Fig.2.5: Molde para bloques de 10 cm



Fig.2.6: Máquina Vibracom

La metodología seguida en esta etapa del trabajo se muestra en el siguiente esquema:

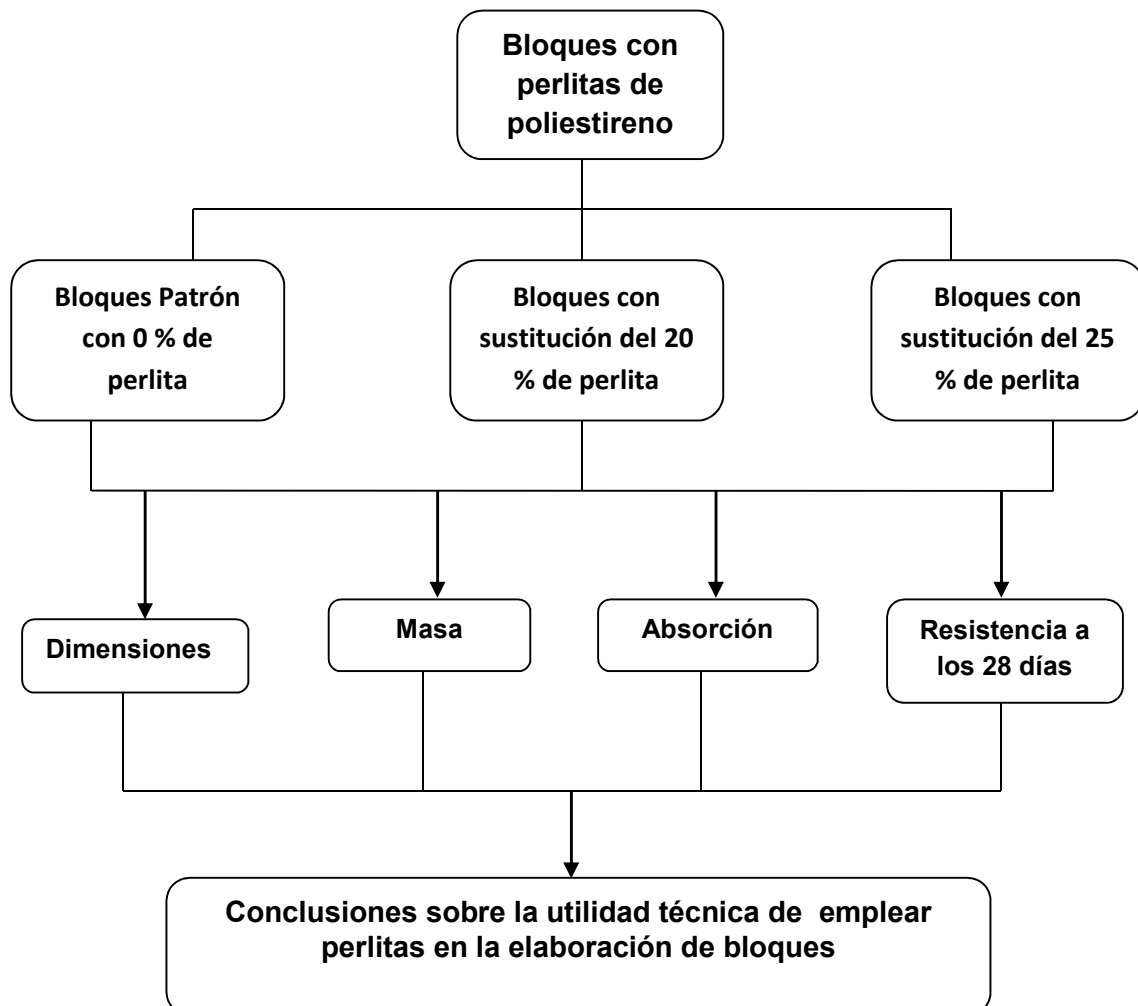


Figura 2.7: Esquema metodológico del trabajo realizado.

Los puntos experimentales seleccionados parten de una experiencia (Aguila Alejandro, 2011), en que se utilizó una sustitución parcial de áridos finos por perlitas de EPS, manteniendo constante los áridos gruesos. Los puntos estudiados fueron un patrón con 0 % de perlita y tres más con por ciento de sustitución de 10%, 20% y 30% de sustitución para 50 litros de mezcla.

Se observó una extensión de la mezcla, al obtener más bloques que la dosificación patrón. Se concluyó que es factible técnicamente emplear hasta 20 % de sustitución de áridos finos por perlitas.

En el presente trabajo se ha tomado en consideración el aporte de la perlita en cuanto a su fracción granulométrica, **observar la figura 2.4**. Se concluye que aproximadamente el 60 % tiene un tamaño menor de 4 mm, por lo que se comporta como un árido fino. Mientras que el resto tiene partículas mayores que 4.76 mm y menores que 9.52 mm.

Para ser consecuentes con el aporte granulométrico de este material se ha planificado un aporte de la perlita del 25 % como árido grueso en los puntos experimentales estudiados y un 20 y 30 % de sustitución de áridos finos y perlitas respectivamente; siempre manteniendo constante el volumen total de sólidos a mezclar. Esto indica una sustitución parcial de áridos, en volumen, de 20 % y 25 % por perlitas.

Para todo el proceso de dosificaciones se utilizaron los pesos unitarios o las masas volumétricas sueltas de los diferentes materiales, los cuales se muestran a continuación:

Masa Volumétrica Suelta de la arena = 1429 kg/m^3

Masa Volumétrica Suelta de la gravilla = 1371 kg/m^3

Masa Volumétrica Suelta de la perlita = 112.5 g/Lts.

A continuación se muestran las dosificaciones para 80 litros de mezcla, correspondiente a una amasada en la hormigonera. **(Tabla 2.8)**

Tabla 2.8: Dosificaciones para Bloques con perlitas de poliestireno para 80 Lts.

Mezcla	Cemento	Arena		Gravilla		Perlitas		Cantidad de bloques por amasada
	kg	kg	m3	kg	m3	kg	m3	
Patrón	15	42.87	0.03	54.84	0.04	-	-	10
Perlita 20%	15	35.725	0.025	41.13	0.03	1.69	0.015	10
Perlita 25%	15	28.58	0.02	41.13	0.03	2.25	0.02	10

En la siguiente tabla se expone el consumo de materiales para 1m³ de hormigón. (**Tabla 2.9**)

Tabla 2.9: Dosificaciones para Bloques con perlitas de poliestireno para 1m³.

Mezcla	Cemento	Arena		Gravilla		Perlitas		Agua
	kg	kg	m3	kg	m3	kg	m3	litros
Patrón	187.5	535.88	0.375	685.5	0.5	-	-	125
Perlita 20%	187.5	446.56	0.313	514.13	0.375	21.125	0.188	150
Perlita 25%	187.5	357.25	0.25	514.13	0.375	28.125	0.25	175



Fig.2.8: Bloque de 10 cm



Fig.2.9: Bloques de cada punto experimental

En esta etapa del trabajo se realizaron diferentes ensayos a los bloques, ensayo de dimensiones, masa, absorción de agua y resistencia a compresión a 28 días. Los resultados de cada uno de estos ensayos se muestran a continuación.

2.5 Determinación de las dimensiones

Este ensayo se realiza con el objetivo de determinar las dimensiones de fabricación de los bloques. Para esto se efectúa la medición de cada uno de los bloques y se determina el promedio de cada una de sus dimensiones. Las mediciones se realizaron con una cinta métrica metálica con valor de división de 1 mm. Ver en (fig. 2.10 y 2.11) medición del largo y el alto.



Fig.2.10: Medición del largo



Fig.2.11: Medición del alto

2.5.1 Resultados del ensayo de dimensiones

A continuación se muestran los resultados del ensayo de dimensiones realizados a los bloques, exponiendo los resultados de los seis valores medidos en cada punto experimental. (Ver tabla 2.10).

Tabla 2.10: Resultados de los ensayos de dimensiones realizados a los bloques.

Lote	Dimensiones	Muestras						Sumatoria	X(Media)
		1	2	3	4	5	6		
Patrón	Largo (mm)	400	399	401	399	403	402	2404	400,7
	Ancho (mm)	101	100	101	100	101	99	602	100,3
	Altura (mm)	181	175	179	178	181	180	1074	179
	Espesor (mm)	30	25	26	27	27	25	160	26,7
Perlita 20 %	Largo (mm)	399	398	401	402	403	399	2402	400,3
	Ancho (mm)	102	99	101	101	99	99	601	100,2
	Altura (mm)	178	179	182	181	179	182	1081	180,2

	Espesor (mm)	27	28	29	26	26	28	164	27,3
Perlita 25 %	Largo (mm)	403	400	403	404	402	400	2412	402
	Ancho (mm)	100	99	103	102	99	98	601	100,2
	Altura (mm)	180	176	182	180	178	178	1074	179
	Espesor (mm)	27	28	29	30	26	25	165	27,5

2.6 Resultados de los ensayos de peso

A continuación se muestran los resultados del ensayo de peso realizado a los bloques, en el que se exponen igualmente los valores de las mediciones realizadas en cada punto experimental, seis valores medidos en cada uno. **(Ver tabla 2.11)**. Además se muestra la **fig.2.12**, donde se observa la realización del ensayo a uno de los bloques.



Fig.2.12:Ensayo de peso

Tabla 2.11: Resultados de los ensayos de peso realizado a los bloques.

Lote	Masa	Muestras						Sumatoria	X(Media)
		1	2	3	4	5	6		
Patrón	Peso ambiente (kg)	11,4	11	10,8	11	11,1	10,5	65,8	11
Perlita 20 %		9,6	9,5	10	10	10	10	59,1	9,9
Perlita 25 %		9,2	8,7	9,5	9,4	9,2	9	55	9,2

2.7 Determinación de la resistencia a compresión

Primeramente señalar que este método se establece para determinar la resistencia media a la compresión de los bloques y para obtener este resultado cada bloque de la muestra fue sometido a una carga de compresión en el sentido longitudinal de los huecos hasta la rotura determinándose la resistencia a la compresión promedio. Las muestras tienen que prepararse antes de realizar el ensayo y este proceso consiste en colocar una capa de pasta sobre la superficie de carga y apoyo de los bloques con el fin de nivelar estas.

A todo este proceso se le denomina recapado de los bloques y la resistencia a compresión de estos morteros será superior a la especificada para los bloques.

Para la aplicación de la capa de nivelación, se verterá el mortero preparado sobre la superficie engrasada y se esparcirá con la cuchara de albañil formando una capa uniforme, rápidamente se coloca el bloque sobre esta capa comprobándose su perpendicularidad con la base por medio de un nivel de burbuja en posición vertical, acomodándolo con golpes ligeros con el mango de la cuchara de albañil hasta que quede bien asentado el bloques, retirándose el material sobrante por los lados una vez rematados estos con un movimiento de la espátula entrante hacia arriba.

Para efectuar el ensayo cada bloque a ensayar se coloca suavemente sobre el plato inferior de la máquina de ensayo a compresión y al poner en contacto la cara superior de los bloques con el plato superior de la máquina se comienza a aplicar una carga de velocidad constante de 5 KN/s hasta determinar el esfuerzo máximo hasta la rotura. (normalización, 2010)

2.7.1 Resultados de los ensayos de resistencia a compresión

A continuación se muestran los resultados del ensayo de resistencia los 28 días realizado a los bloques. Se aprecian los valores de las cargas obtenidas, las áreas brutas y por último el valor del esfuerzo de cada bloque en cada uno de los puntos experimentales analizados en la investigación. Se muestra además el resultado el cálculo del área neta y del esfuerzo neto. (Tabla 2.12).

Tabla 2.12: Resultados de los ensayos de resistencia a 28 días realizado a los bloques.

Lote	Resistencia a compresión	Muestras						Sumatoria	X(Media)
		1	2	3	4	5	6		
Patrón	Carga Aplicada (kg)	320	310	300	320	305	300		
	Area bruta (cm2)	404	399	405	399	407	398		
	Esfuerzo bruto (Mpa)	8.08	7.92	7.55	8.18	7.64	7.69	47.06	7.84
	Area neta (cm2)	250.5	250.5	250.5	250.5	250.5	250.5		
	Esfuerzo neto (Mpa)	13.03	12.62	12.21	13.03	12.42	12.62	75.93	12.66
Perlita 20 %	Carga Aplicada (kg)	217	185	197	200	180	175		
	Area bruta (cm2)	407	394	405	406	399	395		
	Esfuerzo bruto (Mpa)	5.44	4.79	4.96	5.02	4.6	4.52	29.33	4.89
	Area neta (cm2)	250.5	250.5	250.5	250.5	250.5	250.5		
	Esfuerzo neto (Mpa)	8.83	7.53	8.02	8.14	7.33	7.12	46.97	7.83
Perlita 25 %	Carga Aplicada (kg)	127	122	120	142	130	132		
	Area bruta (cm2)	403	396	415	412	398	392		
	Esfuerzo bruto(Mpa)	3.21	3.14	2.95	3.51	3.33	3.43	19.57	3.26
	Area neta (cm2)	250.5	250.5	250.5	250.5	250.5	250.5		
	Esfuerzo neto (Mpa)	5.17	4.97	4.88	5.78	5.29	5.37	31.46	5.24

2.8 Determinación de la absorción

Este método se establece para determinar la capacidad de los bloques de absorber una capacidad de agua. Una sección de los bloques fue sumergida en agua para determinar el contenido de esta por diferencia de masa expresada en por ciento.

El procedimiento para este ensayo consiste en colocar las porciones de bloques en la estufa y estas son secadas hasta una masa constante. Cuando se termina este proceso los bloques o las porciones de ellos son pesados y colocados en un estanque lleno de agua de modo que los cubra totalmente. Aquí se dejan sumergidos en reposo durante 24 horas y posteriormente se extraen y el agua superficial es eliminada con un paño húmedo secándolas hasta que pierdan el brillo y cuidando de no exponer las muestras al sol durante este proceso. Luego se pesan en una balanza determinando así su masa húmeda. La diferencia de estas masas divididas por la masa seca de cada uno de ellos y multiplicadas por 100 nos dará el por ciento de absorción de los mismos. (normalización, 2010)

2.8.1 Resultados del ensayo de absorción

Seguidamente se muestran los resultados del ensayo de absorción realizados a tres bloques seleccionados de cada punto experimental. (**Tabla 2.13**).

Tabla 2.13: Resultado del ensayo de absorción realizado a los bloques.

Muestra	Descripción	Peso seco (kg)	Peso saturado (Kg)	% Absorción	Media
1	Patrón	6.7	7.2	7.5	8.3
		8.4	9.1	8.3	
		6.6	7.2	9.1	
2	Perlita (20%)	5.6	6.1	8.9	9.7
		6.1	6.7	9.8	
		6.8	7.5	10.3	
3	Perlita (25%)	7.1	7.9	11.3	10.6
		5.7	6.2	8.8	
		5.2	5.8	11.5	

Hasta aquí se han expuesto los resultados de los ensayos realizados a los bloques con perlitas de poliestireno expandido. A continuación se desarrollará el capítulo 3, en el cual se realiza un análisis de los resultados obtenidos.

3. Análisis de los resultados de los ensayos realizados a los bloques con perlitas de poliestireno expandido.

A partir de la caracterización de las materias primas y de los ensayos realizados, en este capítulo se realiza el análisis de los resultados obtenidos a partir de la introducción de perlitas de poliestireno expandido dentro de las mezclas para la conformación de bloques, comparando los mismos con las normativas existentes para valorar su conformidad.

3.1 Exposición de los resultados

Seguidamente se reflejan los resultados de los ensayos realizados a los bloques confeccionados con perlitas de poliestireno expandido.

3.1.1 Resultados de los ensayos de dimensiones realizados a los bloques

A continuación se representan los resultados de los ensayos de dimensiones realizados a los bloques. En el mismo se analizaron el largo, ancho, altura y espesor de las diferentes unidades y los datos que se muestran en las **figuras 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4** son el resultado de las media de cada una de las dimensiones. **Ver Tabla 2.10**

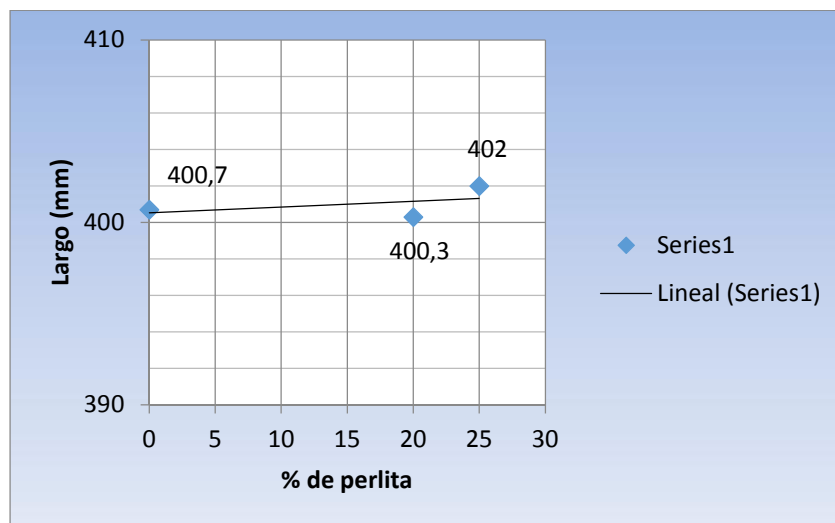


Fig.3.1: Gráfico de las medias del largo vs % de perlita.

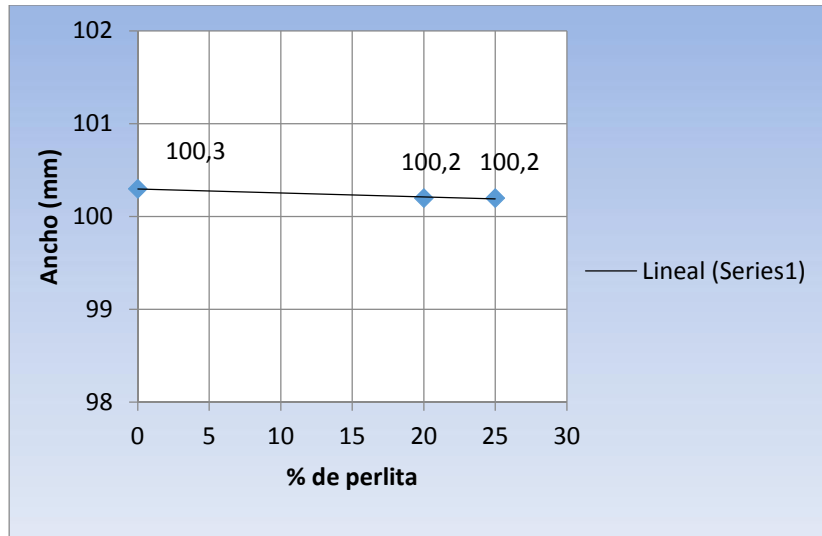


Fig.3.2: Gráfico de las medias del ancho vs % de perlita.

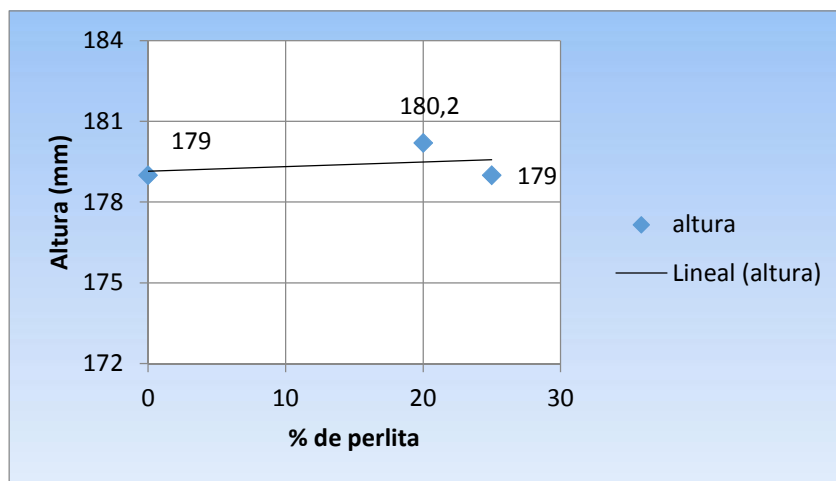


Fig.3.3: Gráfico de las medias de la altura vs % de perlita.

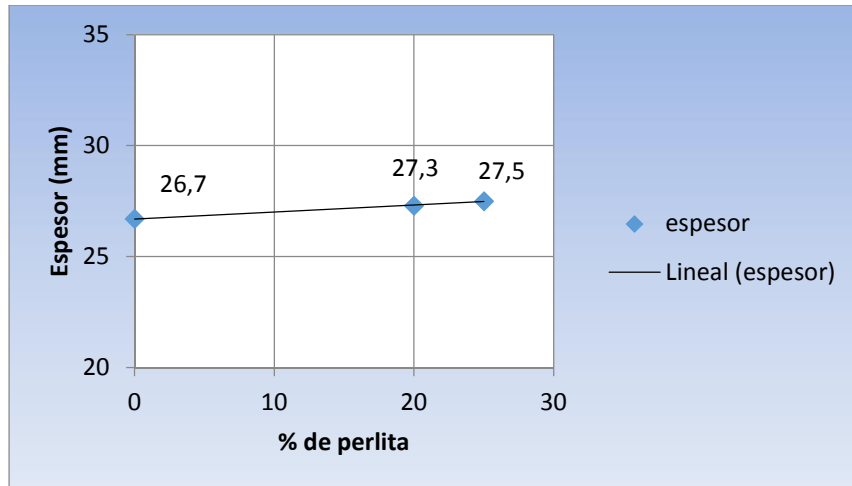


Fig.3.4: Gráfico de las medias del espesor vs % de perlita.

Analizando los resultados obtenidos, los bloques se logran fabricar con repetitividad e iguales dimensiones, excepto los valores de la altura, resultado este que puede estar condicionado por problemas en el molde de la máquina en la cual se confeccionaron las unidades. A pesar de lo anterior, los bloques cumplen con las especificaciones tanto de la normativa cubana (NC 247) como la venezolana (COVENIN 42-82), con un rango de tolerancias en ambas de ± 3 mm en cada una de las dimensiones medidas.

3.1.2 Resultados de los ensayos de peso realizados a los bloques

A continuación se muestran los resultados obtenidos del ensayo de peso realizado a los bloques. En la **figura 3.5** se representan los valores de los seis bloques medidos en cada punto experimental. **Ver Tabla 2.11**

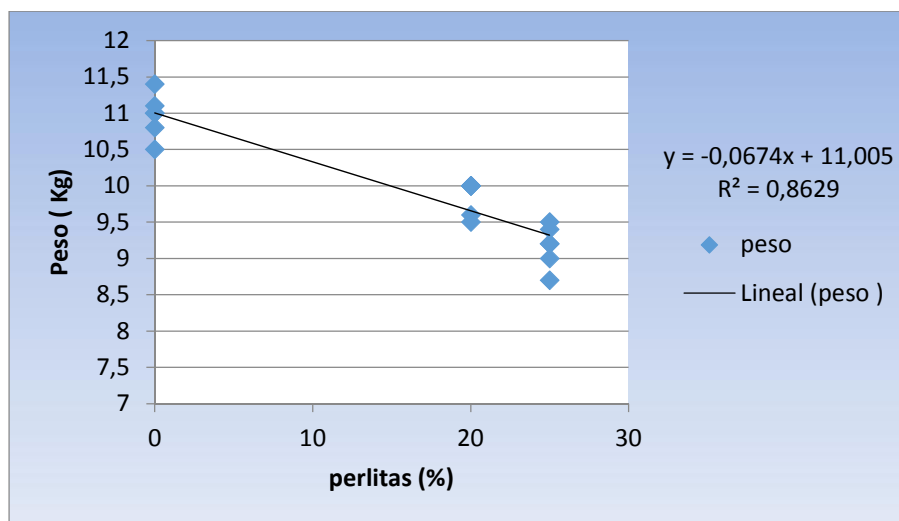


Fig.3.5: Gráfico de los valores del peso vs % de perlita.

A medida que aumenta el por ciento de perlita disminuye el peso de los bloques, cumpliendo con uno de los supuestos argumentados en el capítulo 1 sobre el empleo de este material, dígame partículas de EPS, en su utilización como árido ligero en la fabricación de bloques.

Analizando los resultados estadísticamente utilizando el Software Statgrapys, podemos concluir que, como el p – valor del test f es inferior a 0.05, hay diferencias estadísticamente significativas entre las masas medias de un nivel de % de perlita a otro para un nivel de confianza del 95 %, demostrando de esta forma, que el peso de los bloques confeccionados disminuye con el aumento del % de sustitución de áridos por perlitas de EPS. Para obtener una mayor información sobre este procesamiento **ver anexo 1**.

En cuanto a este aspecto del peso se realizaron diferentes cálculos para clasificar los bloques confeccionados de acuerdo al tipo de agregado, como indica la norma Venezolana (COVENIN 42-82), en pesados, semipesados o ligeros. Para esto se calculó el volumen de un bloque macizo y se le restó el volumen de los huecos que lo forman, dividiendo el peso por este valor para determinar el peso unitario seco. El resultado de este proceso se muestra en la **Tabla 3.1**, para cada uno de los puntos experimentales utilizados en la investigación.

Volumen macizo de una unidad: 8000 cm³

Volumen de huecos de una unidad: 2990 cm³

Volumen de un bloque: 5010 cm³

Tabla 3.1: Resultados del cálculo del peso unitario seco.

	(0% de perlita)	(20% de perlita)	(25% de perlita)
Volumen (cm³)	5010	5010	5010
Peso (kg)	11	9.9	9.2
Peso Unitario seco(kg/ m³)	2195.6	1976.07	1836.33

La norma venezolana clasifica los bloques según los áridos que los conforman en:

Pesados: Bloques fabricados con agregados normales. El peso unitario del concreto seco es mayor de 2000 kg/m³.

Semipesados: Bloques fabricados con mezcla de agregados normales y livianos. El peso unitario del concreto seco es entre 1400 kg/m^3 y 2000 kg/m^3 .

Livianos: Bloques fabricados con agregados livianos. El peso unitario del concreto seco es mayor de 1400 kg/m^3 .

Con los resultados obtenidos los bloques de la presente investigación, según la norma COVENIN 42-82, se clasifican en:

El punto (0% de perlita) con un Peso Unitario seco de 2195.6 kg/ m^3	Pesado
El punto (20% de perlita) con un Peso Unitario seco de 1976.07 kg/ m^3	Semipesado
El punto (25% de perlita) con un Peso Unitario seco de 1836.33 kg/ m^3	Semipesado

De igual manera, se clasifican los resultados de peso obtenidos, con los requisitos establecidos en la ASTM C 129 – 99a.

Tabla3.2: Clasificación de los bloques en cuanto al peso según ASTM C 129 – 99a

Clasificación	Peso del concreto lb/ft ³ (kg/m ³)
Ligero	Hasta 105 (1680)
Semipesado	Desde 105 hasta 125 (1680 a 2000)
Normal	Mayores que 125 (2000)

Con los resultados obtenidos los bloques de la presente investigación, según la norma ASTM C 129 – 99a, se clasifican en:

El punto (0% de perlita) con un Peso Unitario seco de 2195.6 kg/ m^3	Normal
El punto (20% de perlita) con un Peso Unitario seco de 1976.07 kg/ m^3	Semipesado
El punto (25% de perlita) con un Peso Unitario seco de 1836.33 kg/ m^3	Semipesado

Como se observa en los resultados de la clasificación por el peso, en ambas normas, la ASTM C 129 – 99a y COVENIN 42-82, los bloques con 0% de perlita son bloques pesados, de características normales, mientras que los restantes puntos entran dentro de la categoría de bloques semipesados, por su característica de haber sido conformados sustituyendo

parcialmente los áridos por perlitas de EPS. De esta forma queda demostrado que efectivamente cuando se emplea este tipo de adición en la conformación de bloques huecos, disminuye el peso de los mismos.

3.1.3 Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión realizados a los bloques

A continuación se muestran los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión realizados a 28 días. En las **figuras 3.6 y 3.7** se graficaron los valores medios de las resistencias de cada punto experimental. **Ver Tabla 2.12**

Se analizan los resultados de resistencia calculados tanto con el área bruta como la neta, además de comparar los valores contra la mínima exigida en cada una de las normativas descritas en el capítulo 1 de esta investigación.

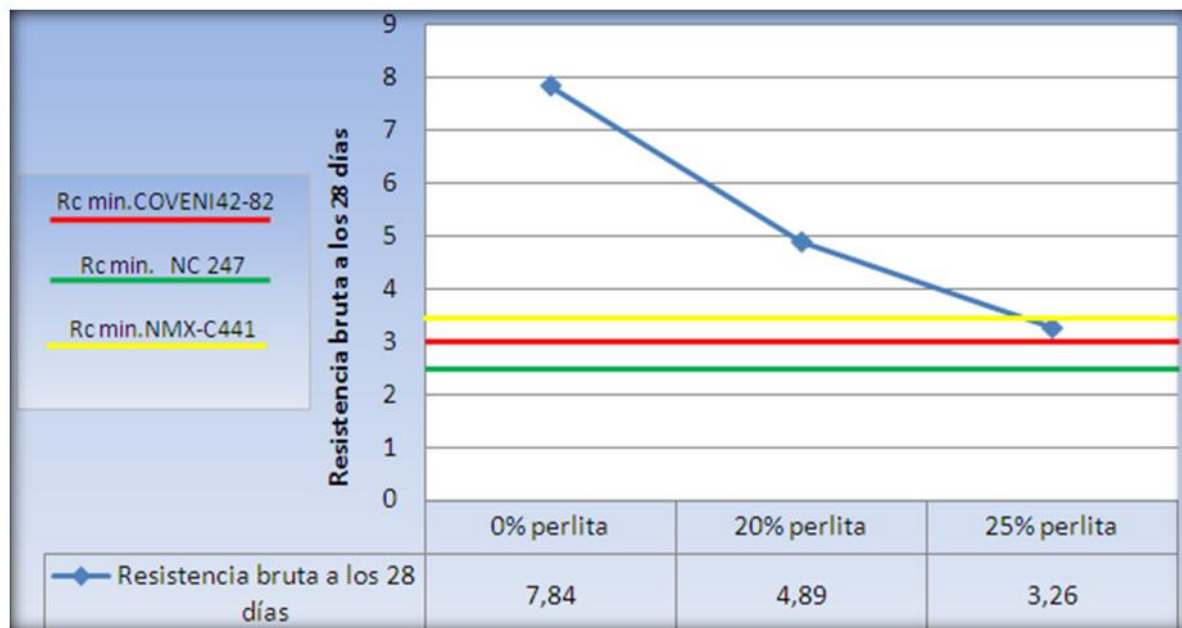


Fig.3.6: Curva del comportamiento de la resistencia bruta media a 28 días vs % de perlita.

Al analizar el comportamiento de las curvas se observa que los valores de resistencia disminuyen con el aumento de la perlita, pero a pesar de esto los valores se encuentran por encima de lo establecido primero para la norma cubana y venezolana, es decir los bloques cumplen. Según NMX-C441 el punto con el 25 % de sustitución de áridos por perlitas de EPS, no cumple con los requisitos mecánicos de la misma, pues la misma exige 3,5 MPa.

Las autoras consideran que para las exigencias de la normativa cubana, venezolana, así como la norteamericana y argentina, que se verán a continuación, los bloques estudiados cumplen y por lo tanto estas dosificaciones pueden ser empleadas en la práctica. Se debe precisar que la normativa mexicana es exigente en este sentido.

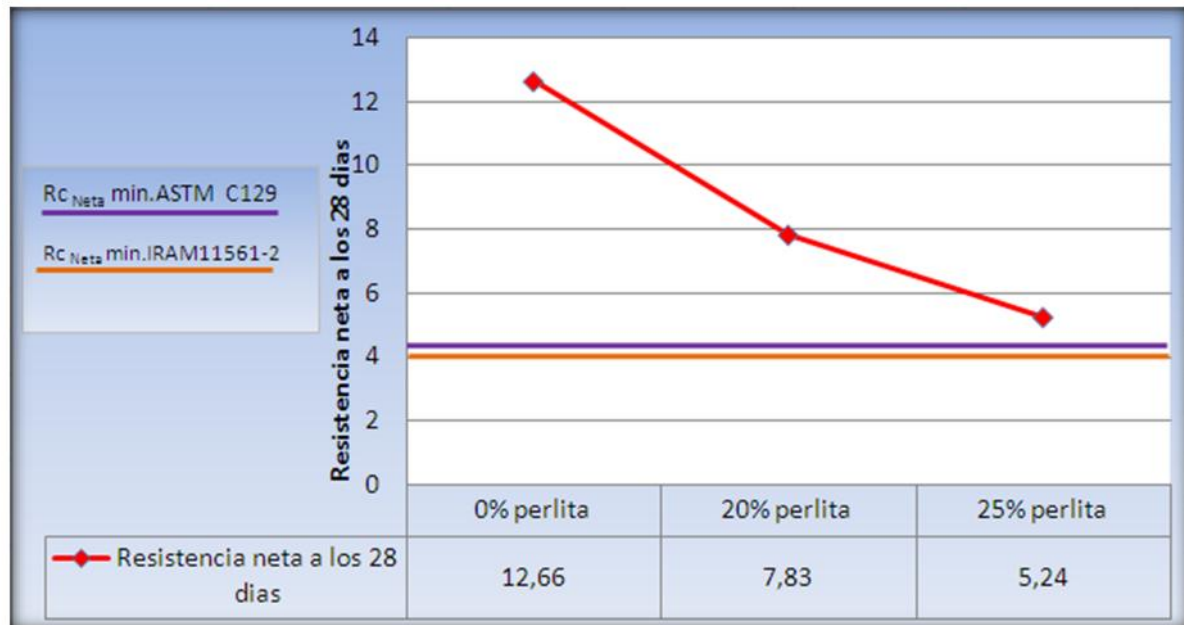


Fig.3.7: Curva del comportamiento de la resistencia neta media a 28 días vs % de perlita.

En cuanto a este requisito de la resistencia se analizó lo exigido en las normas ASTM C190 – 99a y en IRAM 11561-2:1997, en las cuales se toma en cuenta el concepto de área neta, y se observa que igualmente las resistencias disminuyen con el aumento de la sustitución de los áridos por la perlita, pero los valores obtenidos siguen cumpliendo con lo establecido en cada una de ellas.

Seguidamente se muestran los gráficos con los resultados del ensayo de resistencia a compresión a 28 días, mostrando los seis valores de cada punto experimental. **Fig.3.8 y 3.9**

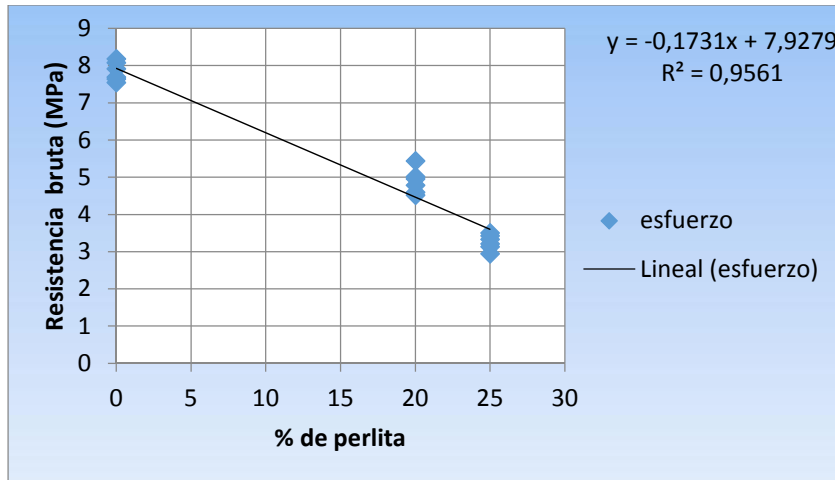


Fig.3.8: Línea de tendencia de los valores de resistencia bruta vs % de perlita

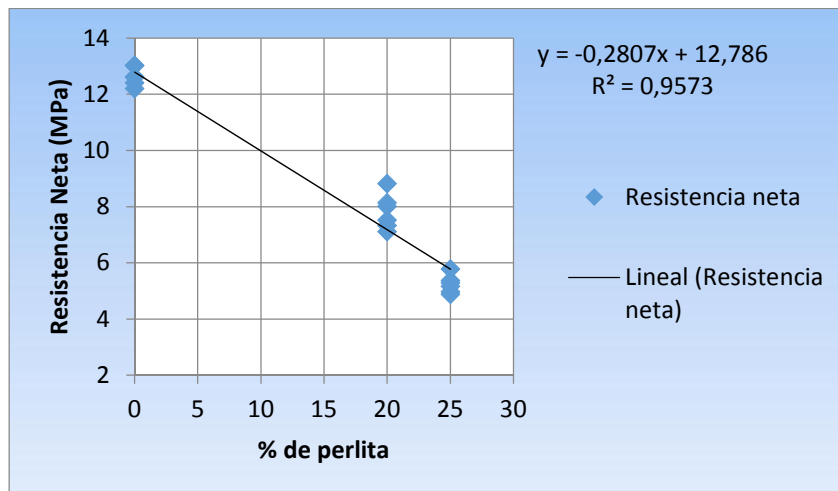


Fig. 3.9: Línea de tendencia de los valores de resistencia neta vs % de perlita

Los gráficos muestran como el valor de la resistencia va disminuyendo con el aumento de sustitución del % de perlitas de EPS, mostrando la línea de tendencia que evidencia este comportamiento en ambas figuras. (3.8 y 3.9). De igual manera se muestra el valor de $R^2 = 0.9561$ y $R^2 = 0.9573$ en el gráfico de la resistencia bruta y neta respectivamente, lo cual evidencia que el ajuste de la recta está correcto.

Analizando los resultados estadísticamente utilizando el Software Statgrapys, podemos concluir que, como el p – valor del test f es inferior a 0.05, hay diferencias estadísticamente significativas entre las resistencias brutas y netas medias de un nivel de % de perlita a otro

para un nivel de confianza del 95 %, demostrando de esta forma, que el valor de resistencia de los bloques confeccionados disminuye con el aumento del % de sustitución de áridos por perlitas de EPS. Para obtener una mayor información sobre este procesamiento **ver anexo 1**.

Tomando en consideración los comentarios anteriores las autoras indican que la dosificación con 25% de perlitas no debe ser empleada en los talleres de Ecomateriales, debido a que en los mismos los materiales son medidos en volumen y esto puede traer como consecuencia dispersión en los resultados que conlleven a obtener bloques no conformes.

3.1.4 Resultados de los ensayos de absorción realizados a los bloques

A continuación se muestran los resultados de los ensayos de absorción realizados a los bloques. Para esto se tomaron tres bloques en cada punto experimental y el resultado que se muestra en la **figura 3.10** corresponde a la media de estos valores para cada % de sustitución.

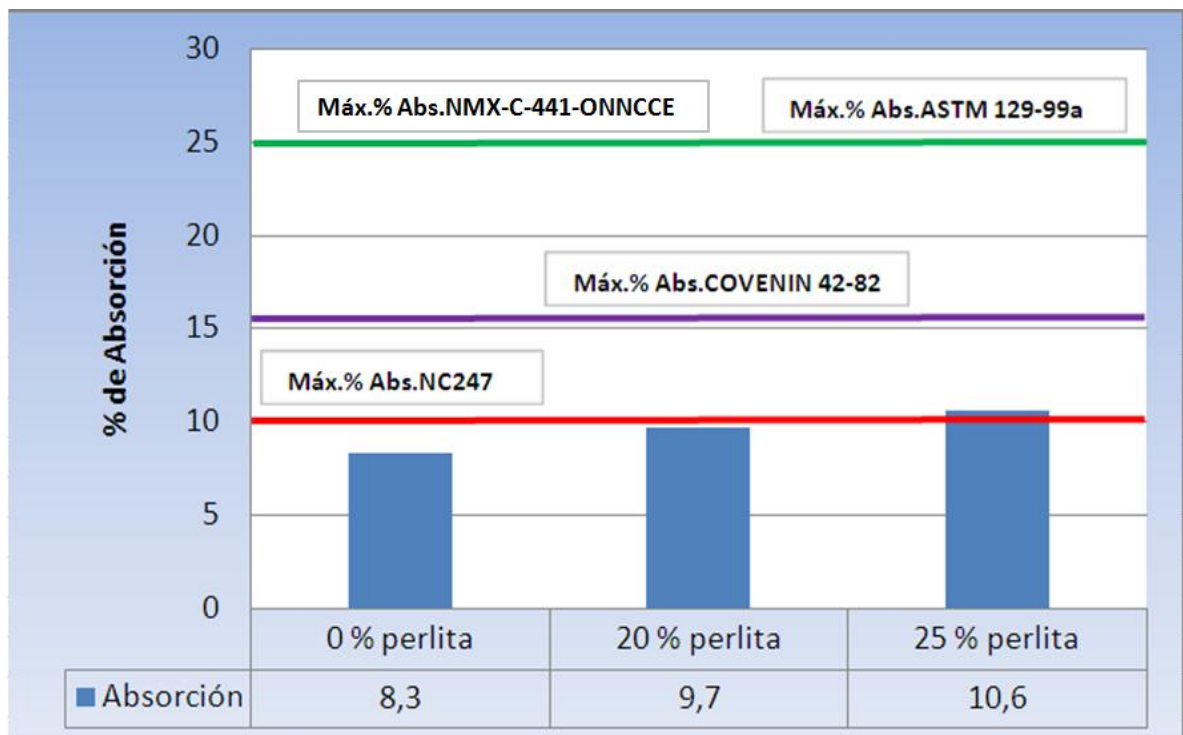


Fig.3.10: Gráfico de barras del % de absorción vs % de perlita.

Al analizar la absorción se evidencia que la misma aumenta a medida que es mayor el % de sustitución de áridos por perlitas de EPS. Esto ocurre porque al conformar la mezcla esta demanda mayor cantidad de agua debido a que las perlitas trabajan como una esponja, que dificulta el proceso de compactación al recuperarse con facilidad, lo cual influye en el proceso de mezclado propiciando espacios vacíos en los hormigones elaborados. Esto da como resultado un mayor carácter absorbente en aquellas mezclas que presentan mayor cantidad de perlitas en su composición.

Analizando el comportamiento en correspondencia con los valores establecidos en las normativas, los valores de absorción cumplen, pues en la norma cubana no hay límite en cuanto a este parámetro para bloques de 10 cm, aunque se ha representado en la **figura 3.10** el máximo valor establecido por esta normativa para bloques de 15 cm, por ser el valor más cercano para los fines del estudio realizado. Comparando con COVENIN 42-82, ASTM 129-99a, y NMX-C 441-ONNCCE, los valores son inferiores a los máximos establecidos, como se observa en la **figura 3.10**.

Al analizar los resultados estadísticamente utilizando el Software Statgrapys, podemos concluir que, como el p – valor del test f es inferior a 0.05, no hay diferencias estadísticamente significativas entre los valores de absorción media de un nivel de % de perlita a otro para un nivel de confianza del 95 %, demostrando de esta forma que el aumento del % de sustitución de áridos por perlitas de EPS, no influye en el valor de la absorción de los bloques confeccionados. Para obtener una mayor información sobre este procesamiento **ver anexo 1**.

Conclusiones Generales

- El poliestireno expandido proporciona grandes ventajas y aplicaciones para determinados tipos de construcciones ligeras por su fácil obtención y alcance.
 - El reciclado del poliestireno expandido contribuye al saneamiento y protección del medio ambiente.
 - Es necesario realizar una correcta gestión del residuo de poliestireno expandido, para alcanzar esta meta se requiere que los organismos involucrados en nuestro país lo incluyan dentro de los materiales reciclables para su uso como árido ligero en la construcción, para lo cual es necesario sumar a los principales gestores de este material, la localidad y el gobierno municipal.
 - La adición de perlitas de poliestireno expandido, propicia un ahorro de las materias primas a utilizar para la conformación de bloques de 10 cm de espesor. Aunque se debe tener en cuenta el consumo de energía del molino de martillo, que es el encargado de llevarlo a su forma de utilización.
 - Con el empleo de perlitas de poliestireno expandido, se logra un bloque hueco de 10 cm de espesor que conserva las características mecánicas y disminuye su peso.
 - Se propone para la utilización de perlitas de poliestireno expandido EPS la dosificación con 20 % de sustitución de este material por áridos (cemento P-350=187.5 kg, arena=0.313 m³, granito 10-5mm=0.375 m³ y perlita de poliestireno=0.188 m³ para confeccionar 1m³ de mezcla de hormigón), pues esta cumple con las propiedades físico mecánicas exigidas.
-

Bibliografía

- AAPE 2009. ¿Qué es el EPS?. EPS y Medio ambiente.
- AGUILA ALEJANDRO. 2011. *Empleo de las perlitas de poliestireno expandido en la produccion de bloques en la construccion*. Marta Abreu de las Villas.
- ANAPE. 2009. *Propiedades del EPS* [Online]. España. Available: www.anape.es/eps [Accessed].
- ASTM 1999. C 129 – 99a: Standard Specification for Nonloadbearing Concrete Masonry Units¹. Estados Unidos.
- BASF 2001. “Informaciones Técnicas Styropor”.
- CHEN, B., TU, S. Y. & WENG, Y. F. 2007. Study on the properties of lightweight expanded polystyrene concrete. *Jianzhu Cailiao Xuebao/Journal of Building Materials*, 10, 26-31.
- COVENIN 1982. 42-82: Bloques huecos de concreto. Venezuela.
- DIMER. 2011. *Propiedades del Poliestireno Expandido* [Online]. Mexico. Available: <http://www.dimer.com.mx/eps.htm> [Accessed 2012].
- MIRET, E. K. 2007. *Knauf Industries* [Online]. Barcelona, España. Available: www.knauf-industries.com [Accessed].
- NORMALIZACIÓN, O. N. D. 2010. Bloques huecos de hormigon - Especificaciones. Cuba.
- UTILBOX, E. 2010. *Poliestireno Expandido EPS* [Online]. Available: www.utilbox.es/pages/eps-aplicaciones [Accessed].
- YI XU, L. J., JINXIA XU, YANG LI 2012. Mechanical properties of expanded polystyrene lightweight aggregate concrete and brick. *Construction and Building Materials*, 32-38.
- ZHOU, K. K., CHEN, B. & CHEN, L. Z. 2010. Effects of particle distribution on the mechanical properties of expanded polystyrene sphere-concrete mixes. *Harbin Gongcheng Daxue Xuebao/Journal of Harbin Engineering University*, 31, 195-201.
2010. *Poliestireno Expandido* [Online]. Available: <http://www.textoscientificos.com/polimeros/poliestireno-expandido> [Accessed].
- BABU, K. G. & BABU, D. S. 2003. Behaviour of lightweight expanded polystyrene concrete containing silica fume. *Cement and Concrete Research*, 33, 755-762.
- BABU, K. G. & BABU, D. S. 2004. Performance of fly ash concretes containing lightweight EPS aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 26, 605-611.

- BOUVARD, D., CHAIX, J. M., DENDIEVEL, R., FAZEKAS, A., LÉTANG, J. M., PEIX, G. & QUENARD, D. 2007. Characterization and simulation of microstructure and properties of EPS lightweight concrete. *Cement and Concrete Research*, 37, 1666-1673.
- CHEN, B. & LIU, J. 2004. Properties of lightweight expanded polystyrene concrete reinforced with steel fiber. *Cement and Concrete Research*, 34, 1259-1263.
- CHEN, B. & LIU, J. 2007. Mechanical properties of polymer-modified concretes containing expanded polystyrene beads. *Construction and Building Materials*, 21, 7-11.
- CHEN, B., LIU, J. & CHEN, L. Z. 2010. Experimental study of lightweight expanded polystyrene aggregate concrete containing silica fume and polypropylene fibers. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)*, 15, 129-137.
- CHEN, B. & WANG, J. 2009. Experimental study of the properties of lightweight MPC-EPS concrete. *Jianzhu Cailiao Xuebao/Journal of Building Materials*, 12, 650-655.
- CRUZ, A. F. J. 2009. *ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE BLOQUES PREFABRICADOS DE CONCRETO ALIGERADOS CON POLIESTIRENO EXPANDIDO*. UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.
- DENG, A. & YU, Y. T. 2009. Influence of freeze-thaw cycles on compressive strength of WFS-FA-EPS beads lightweight fillers. *Jianzhu Cailiao Xuebao/Journal of Building Materials*, 12, 448-452.
- DIMA, S. O., SARBIT, A., DOBRE, T., RADU, A. L., NICOLESCU, T. V. & LUNGU, A. 2009. Rheological behaviour of lightweight concrete with embedded EPS beads. *Materiale Plastice*, 46, 224-229.
- ESKANDER, S. B. & TAWFIK, M. E. 2011. Polymer-cement composite based on recycled expanded polystyrene foam waste. *Polymer Composites*, 32, 1430-1438.
- FU, D., LI, F., WANG, X. & NI, X. 2010. Study on the failure theory of EPS lightweight aggregate concrete. *Shenyang Jianzhu Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban)/Journal of Shenyang Jianzhu University (Natural Science)*, 26, 469-473.
- GUAN, H., LIU, S., DUAN, Y. & ZHAO, Y. 2007. Investigation of the electromagnetic characteristics of cement based composites filled with EPS. *Cement and Concrete Composites*, 29, 49-54.
- GUAN, H. T., LIU, S. H., DUAN, Y. P. & ZHAO, Y. B. 2006. Electromagnetic absorbing property of cement paste filled with expanded polystyrene. *Jianzhu Cailiao Xuebao/Journal of Building Materials*, 9, 459-463.
- KAN, A. & DEMIRBOĞA, R. 2007. Effect of cement and EPS beads ratios on

- compressive strength and density of lightweight concrete. *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, 14, 158-162.
- KÜNZEL 2001. Informaciones Técnicas Styropor. *BASF Aktiengesellschaft*.
- LING, I. H. & TEO, D. C. L. Year. Lightweight concrete bricks produced from industrial and agricultural solid waste. *In*, 2011. 148-152.
- LING, I. H. & TEO, D. C. L. 2011. Properties of EPS RHA lightweight concrete bricks under different curing conditions. *Construction and Building Materials*, 25, 3648-3655.
- LOBATO, L. 2010. *Evaluación comparativa entre bloques de mampostería empleando bloques aligerados con concreto celular vs EPS*. Instituto Universitario Politécnico.
- MILED, K., SAB, K. & LE ROY, R. 2007. Particle size effect on EPS lightweight concrete compressive strength: Experimental investigation and modeling. *Mechanics of Materials*, 39, 222-240.
- MIRET, E. K. 2007. *Knauf Industries* [Online]. Barcelona, España. Available: www.knauf-industries.com [Accessed].
- NING, X., LIU, J. & YANG, Z. 2011. Research on expanded polystyrene light-aggregate concrete.
- ZHAO, X., TIAN, W., JIANG, X. & ZHANG, X. 2009. Effects of vibration technology and polyvinyl acetate emulsion on microstructure and properties of expanded polystyrene lightweight concrete. *Transactions of Tianjin University*, 15, 145-149.
- ZHAO, X. Y., TIAN, W. L., JIANG, X. L. & ZHOU, M. J. 2010. Properties and microstructures of EPS lightweight concrete modified with EVA. *Jianzhu Cailiao Xuebao/Journal of Building Materials*, 13, 243-246.
- ZHAO, Y., LIU, S. & GUAN, H. 2006. Electromagnetic wave absorption properties of cement-based composite filled with expanded polystyrene. *Kuei Suan Jen Hsueh Pao/ Journal of the Chinese Ceramic Society*, 34, 225-228.
- ZHONG, S. Y., HE, H. Z. & YAN, Y. B. 2005. Effect of fine aggregate on mechanical property of styrene-acrylate copolymer emulsion modified cement mortar. *Jianzhu Cailiao Xuebao/Journal of Building Materials*, 8, 619-624.
- ZHOU, K. K., CHEN, B. & CHEN, L. Z. 2010. Effects of particle distribution on the mechanical properties of expanded polystyrene sphere-concrete mixes. *Harbin Gongcheng Daxue Xuebao/Journal of Harbin Engineering University*, 31, 195-201.
- ROTOGAL. 2008. *Productos plásticos rotomoldeados para sectores industriales diversos* [Online]. Available: <http://www.abc->

pack.com/product_info.php/cPath/1_9/products_id/377?osCsid=phmvorq7268kn74gq4ikvah9e3 [Accessed].

ROUX, S., BUR, N., FERRARI, G., TRIBOLLET, B. & FEUGEAS, F. 2010. Influence of a biopolymer admixture on corrosion behaviour of steel rebars in concrete.

Materials and Corrosion, 61, 1026-1033.

SARADHI BABU, D., GANESH BABU, K. & HUAN, W. T. 2006. Mechanical properties of lightweight expanded polystyrene concrete containing fly ash. *Indian*

Concrete Journal, 80, 40-45.

UTILBOX, E. 2010. *Poliestireno Expandido EPS* [Online]. Available:

www.utilbox.es/pages/eps-aplicaciones [Accessed].

Anexos

Anexo 1

A continuación se muestran los resultados del procesamiento estadístico:

Resultados del peso

Tabla ANOVA para Masa según % de perlita					
Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	8.38183	2	4.19091	23.57	0.0000
Intra grupos	2.66762	15	0.177841		
Total (Corr.)	11.0494	17			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de Masa en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro de los grupos. El F-ratio, que en este caso es igual a 23.5655, es el cociente de la estimación entre grupos y la estimación dentro de los grupos. Puesto que el p-valor del test F es inferior a 0.05, hay diferencia estadísticamente significativa entre las Masa medias de un nivel de % de perlita a otro para un nivel de confianza del 95.0%. Para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras, seleccione los Tests de Rangos Múltiples en la lista de Opciones Tabulares.

Representación por Código de Nivel

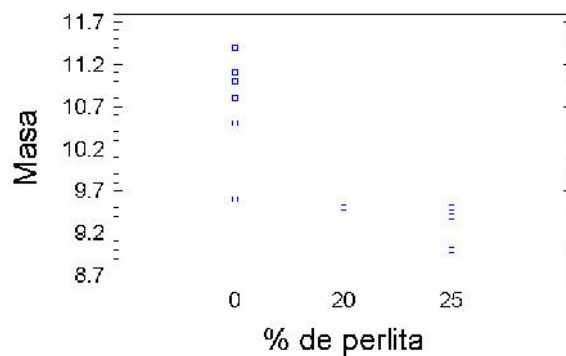
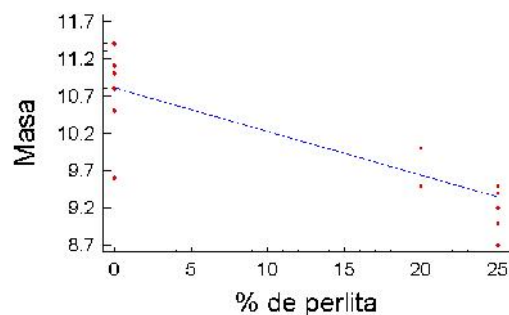


Gráfico del Modelo Ajustado



Resultados de la resistencia bruta

Tabla ANOVA para Resistencia bruta según % de perlita

Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	64.7395	2	32.3697	179.12	0.0000
Intra grupos	2.7107	15	0.180713		
Total (Corr.)	67.4502	17			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de Resistencia bruta en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro de los grupos. El F-ratio, que en este caso es igual a 179.122, es el cociente de la estimación entre grupos y la estimación dentro de los grupos. Puesto que el p-valor del test F es inferior a 0.05, hay diferencia estadísticamente significativa entre las Resistencia bruta medias de un nivel de % de perlita a otro para un nivel de confianza del 95.0%. Para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras, seleccione los Tests de Rangos Múltiples en la lista de Opciones Tabulares.

Representación por Código de Nivel

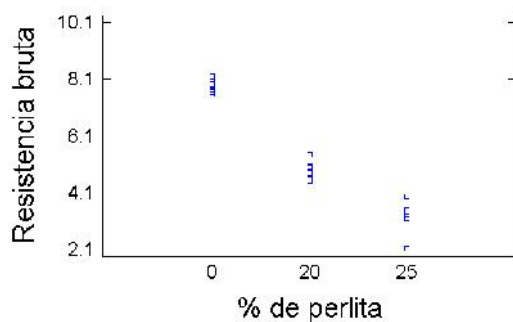
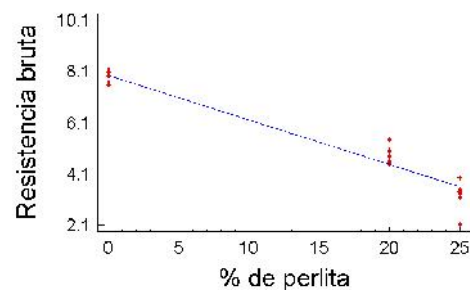


Gráfico del Modelo Ajustado



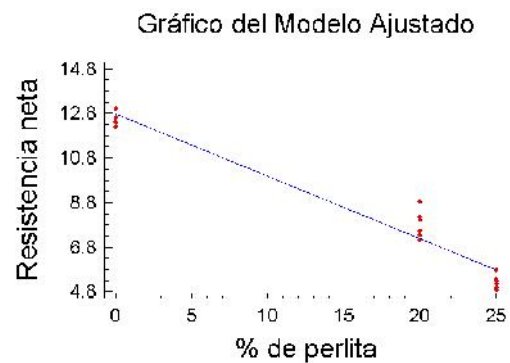
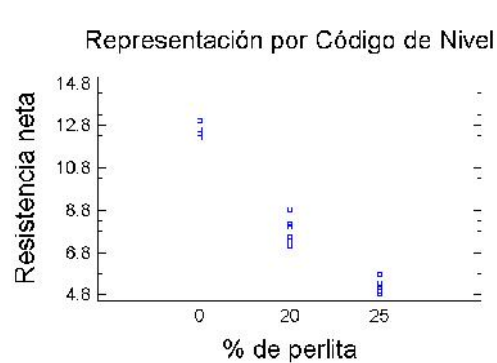
Resultados de la resistencia neta

Tabla ANOVA para Resistencia neta según % de perlita

Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	169.823	2	84.9117	420.14	0.0000
Intra grupos	3.03157	15	0.202104		
Total (Corr.)	172.855	17			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de Resistencia neta en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro de los grupos. El F-ratio, que en este caso es igual a 420.138, es el cociente de la estimación entre grupos y la estimación dentro de los grupos. Puesto que el p-valor del test F es inferior a 0.05, hay diferencia estadísticamente significativa entre las Resistencia neta medias de un nivel de % de perlita a otro para un nivel de confianza del 95.0%. Para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras, seleccione los Tests de Rangos Múltiples en la lista de Opciones Tabulares.



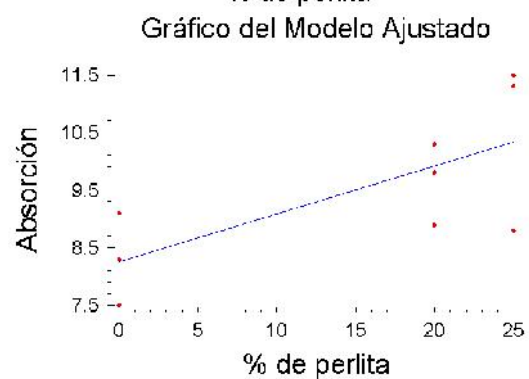
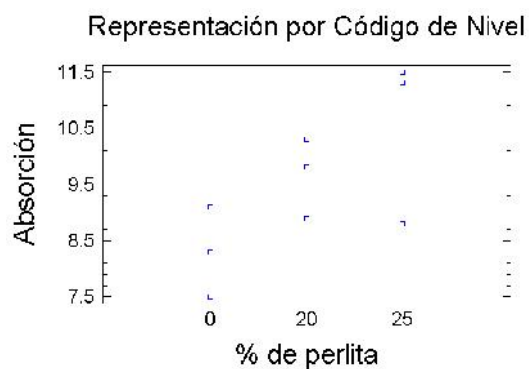
Resultados de la absorción

Tabla ANOVA para Absorción según % de perlita

Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	7.60667	2	3.80333	3.35	0.1055
Intra grupos	6.81333	6	1.13556		
Total (Corr.)	14.42	8			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de Absorción en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro de los grupos. El F-ratio, que en este caso es igual a 3.34932, es el cociente de la estimación entre grupos y la estimación dentro de los grupos. Puesto que el p-valor del test F es superior o igual a 0.05, no hay diferencia estadísticamente significativa entre las Absorción medias de un nivel de % de perlita a otro para un 95.0%.



Anexo 2

Ficha técnica con los requerimientos de la normativa NMX-C-441-ONNCCE-2005

Bloque de Concreto

Línea Estándar y Estructural



Descripción:

El bloque de concreto Megablock es una pieza de concreto prefabricada con forma de prisma recto y con uno o más huecos verticales, para utilizarse en sistemas de mampostería simples o estructurales, esto debido a la posibilidad de reforzar las piezas en ambos sentidos de su plano. Además es fabricado con un proceso industrializado, que garantiza piezas de gran calidad.

Usos y aplicaciones:

El bloque de concreto es utilizado ampliamente en la construcción, desde viviendas de interés social hasta edificaciones comerciales e industriales. Sus principales aplicaciones son:

- Muros simples o divisorios
- Muros estructurales
- Bardas perimetrales
- Muros de retención

Ventajas

El bloque de concreto Megablock es fabricado con un estricto control de materias primas y a través de un proceso industrializado con tecnología de punta, lo que garantiza su calidad respecto a otros productos del mercado, logrando con esto obras de mayor calidad y reduciendo el desperdicio en obra. Nuestros bloques cumplen las Normas NMX-C-441 - "Industria de la Construcción - Bloques, Tabiques o Ladrillos y Tabicones para uso No Estructural - Especificaciones". Y la

Línea Estándar (NMX - C - 441 - ONNCCE - 2005)

Pieza cm	Peso kg	Resistencia a la Compresión	Absorción
10 x 20 x 40	11.3	Mínima 35 kgf/cm ²	Máxima 25%
12 x 20 x 40	12.4		
15 x 20 x 40	15.5		
20 x 20 x 40	16.9		

Línea Estructural (NMX - C - 404 - ONNCCE - 2005)

Pieza cm	Peso kg	Resistencia a la Compresión	Absorción
20 x 20 x 40	17.1	Mínima 60 kgf/cm ²	Máxima 12%
15 x 20 x 40	15.7		

Nota: El peso es sólo de referencia, puede presentar variaciones.

Recomendaciones para el almacenamiento:

El lugar para recepción y almacenamiento en obra de los bloques de concreto debe ser amplio, tener fácil acceso tanto desde el exterior como desde las edificaciones y tener un piso firme, limpio y nivelado. Cuando se manejan bloques individualmente, se recomienda que las estibas no superen una altura de 1.6 m y se hagan trabados en los dos sentidos horizontales para evitar su caída.

NMX-C-404 – “Industria de la Construcción – Bloques, Tabiques o Ladrillos y Tabicones para uso Estructural – Especificaciones y Métodos de Prueba”.

Presentación y Propiedades Físicas

El bloque de concreto en la línea estándar se fabrica en 4 diferentes medidas: 10, 12, 15 y 20 cm de ancho, teniendo como constantes 20 cm de altura y 40 cm de largo. Además contamos con piezas accesorias como: medias piezas, piezas knock out para cadena o dala, con machimbre, etc. Sus principales propiedades físicas son:

Normas y Especificaciones Aplicables

Concepto	Norma Mexicana
Cemento Pórtland	NMX-C-414-ONNCCE-2010
Agregados	NMX-C-111-ONNCCE-2004
Agua	NMX-C-122-ONNCCE-2004
Aditivos	NMX-C-255-ONNCCE-2006
Bloques de Concreto	NMX-C-441-ONNCCE-2005
Bloques de Concreto para uso Estructural	NMX-C-404-ONNCCE-2005
Resistencia a la compresión	NMX-C-036-ONNCCE-2004
Absorción	NMX-C-037-ONNCCE-2005
Dimensiones	NMX-C-038-ONNCCE-2004

Las especificaciones y propiedades de este producto no son limitativas, si requiere de alguna característica especial favor de ponerse en contacto con asistencia técnica para obtener la ayuda y asesoría correspondiente.

www.gcc.com / Asistencia Técnica: asistec@gcc.com / Servicio al cliente 01 800 1111 422
FTBLC00312



Anexo 3

Norma ASTM C 129 – 99a: Standard Specification for Nonloadbearing Concrete Masonry Units¹

Standard Specification for Nonloadbearing Concrete Masonry Units¹

This standard is issued under the fixed designation C 129; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A

superscript epsilon (e) indicates an editorial change since the last revision or reapproval. *This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

1. Scope *

1.1 This specification covers hollow and solid nonloadbearing concrete masonry units made from portland cement, water, and mineral aggregates with or without the inclusion of other materials. These units are intended for use in nonloadbearing partitions, but under certain conditions they may be suitable for use in nonloadbearing exterior walls above grade where effectively protected from the weather.

1.2 The text of this standard references notes and footnotes which provide explanatory material. These notes and footnotes (excluding those in tables and figures) shall not be considered as requirements of the standard.

1.3 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

NOTE 1—Concrete masonry units covered by this specification are made from lightweight or normal weight aggregates, or both.

NOTE 2—when particular features are desired, such as weight classification, surface texture for appearance or bond, finish, color, fire resistance, insulation, acoustical properties, or other special features, such properties should be specified separately by the purchaser. However, local sellers should be consulted as to the availability of units having the desired features.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

C 33 Specification for Concrete Aggregates²

C 140 Test Methods for Sampling and Testing Concrete Masonry Units and Related Units³

C 150 Specification for Portland Cement⁴

C 207 Specification for Hydrated Lime for Masonry Purposes⁴

C 331 Specification for Lightweight Aggregates for Concrete Masonry Units²

C 426 Test Method for Drying Shrinkage of Concrete Masonry Units³

C 595 Specification for Blended Hydraulic Cements⁴

C 618 Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined

Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete²

C 1157 Performance Specification for Blended Hydraulic Cement⁴

C 1209 Terminology of Concrete Masonry Units and Related Units³

C 1232 Terminology of Masonry³

3. Terminology

3.1 Terminology defined in Terminology C 1209 and Terminology C 1232 shall apply for this specification.

4. Classification

4.1 Nonloadbearing concrete masonry units manufactured in accordance with this specification shall conform to one of two types (4.2) and to one of three weight classifications prescribed in Table 1.

4.2 Types:

4.2.1 *Type I, Moisture-Controlled Units*—Units designated

Type I shall conform to the requirements of this specification.

4.2.2 *Type II, Nonmoisture-Controlled Units*—Units designated Type II shall conform to the requirements of this specification, except the requirements of Table 1.

5. Materials and Manufacture

5.1 *Cementitious Materials*—Materials shall conform to the following applicable specifications:

5.1.1 *Portland Cement*—Specification C 150.

5.1.2 *Blended Cements*—Specification C 595 or Performance Specification C 1157.

5.1.3 *Hydrated Lime, Type S*—Specification C 207.

5.1.4 *Pozzolans*—Specification C 618.

5.2 *Aggregates*—Aggregates shall conform to the following ASTM specifications, except that grading requirements shall not necessarily apply:

5.2.1 *Normal Weight Aggregates*—Specification C 33.

5.2.2 *Lightweight Aggregates*—Specification C 331.

5.3 *Other Constituents*—Air-entraining agents, coloring pigments, integral water repellents, finely ground silica, and other constituents, shall be previously established as suitable for use in concrete masonry and shall conform to applicable ASTM standards or shall be shown by test or experience not to be detrimental to the durability of the concrete masonry units. This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee C-15 on Manufactured Masonry Units and is the direct responsibility of Subcommittee C15.03 on Concrete Masonry Units and Related Units.

Current edition approved Nov. 10, 1999. Published January 2000. Originally published as C 129 – 37. Last previous edition C 129 – 99.

2 *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02.

3 *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.05.

4 *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.01.

1

***A Summary of Changes section appears at the end of this standard.**

Copyright © ASTM, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. or any material customarily used in masonry construction.

6. Physical Requirements

6.1 At the time of delivery to the purchaser, all units shall conform to the strength requirements prescribed in Table 2.

6.2 At the time of delivery to the purchaser, Type I units shall conform to the requirements prescribed in Table 3.

NOTE 3—The purchaser is the public body or authority, association, corporation, partnership, or individual entering into a contract or agreement to purchase or install, or both, concrete masonry units. The time of delivery to the purchaser is FOB plant when the purchaser or purchaser's agent transports the concrete masonry units, or at the time unloaded at the worksite if the manufacturer or manufacturer's agent transports the concrete masonry units. 6.3 At the time of delivery to the purchaser, the total linear drying shrinkage of Type II units shall not exceed 0.065%.

7. Dimensions and Permissible Variations

7.1 Minimum face shell thickness shall be not less than 1/2 in. (13 mm).

7.2 No overall dimension (width, height, and length) shall differ by more than 6 1/8 in. (3.2 mm) from the specified standard dimensions.

NOTE 4—Standard dimensions of units are the manufacturer's designated dimensions. Nominal dimensions of modular size units are equal to the standard dimensions plus the thickness of one mortar joint. Nominal dimensions of nonmodular size units usually exceed the standard dimensions by 1/8 to 1/4 in. (3.2 to 6.4 mm).

8. Finish and Appearance

8.1 All units shall be sound and free of cracks or other defects that interfere with the proper placement of the units or significantly impair the strength or permanence of the construction. Minor cracks incidental to the usual method of manufacture or minor chipping resulting from customary methods of handling in shipment and delivery are not grounds for rejection.

8.2 Where units are to be used in exposed wall construction, the face or faces that are to be exposed shall not show chips or cracks, not otherwise permitted, or other imperfections when

viewed from a distance of not less than 20 ft (6.1 m) under diffused lighting.

8.2.1 Five percent of a shipment containing chips, not larger than 1 in. (25.4 mm) in any dimension, or cracks not wider than 0.02 in. (0.5 mm) and not longer than 25 % of the nominal

height of the unit is permitted.

8.3 The color and texture of the units shall be specified by the purchaser. The finished surfaces that will be exposed in place shall conform to an approved sample consisting of not less than four units, representing the range of texture and color permitted.

8.4 Nonloadbearing concrete masonry units shall be clearly marked in a manner to preclude their use as load bearing units.

9. Methods of Sampling and Testing

9.1 The purchaser or authorized representative shall be accorded proper facilities to inspect and sample the units at the place of manufacture from the lots ready for delivery. At least 10 days shall be allowed for the completion of the tests.

9.2 Sample and test units in accordance with Test Methods C 140 and Test Method C 426 when applicable.

9.3 Total linear drying shrinkage shall be based on tests of concrete masonry units made with the same materials, concrete mix design, manufacturing process, and curing method, conducted in accordance with Test Method C 426 not more than 24 months prior to delivery.

10. Compliance

10.1 If a sample fails to conform to the specified requirements, the manufacturer shall be permitted to remove units from the shipment. A new sample shall be selected by the purchaser from remaining units from the shipment with a similar configuration and dimension and tested at the expense of the manufacturer. If the second sample meets the specified requirements, the remaining portion of the shipment represented by the sample meets the specified requirements. If the second sample fails to meet the specified requirements, the remaining portion of the shipment represented by the sample fails to meet the specified requirements.

NOTE 5—unless otherwise specified in the purchase order, the cost of tests is typically borne as follows: if the results of the tests show that the units do not conform to the requirements of this specification, the cost is typically borne by the seller. If the results of the tests show that the units conform to the specification requirements, the cost is typically borne by the purchaser.

11. Keywords

11.1 climatic map; concrete masonry units; face shell; flange; linear shrinkage; moisture-controlled; nonloadbearing.

TABLE 1 Weight Classification

Clasificación	Peso del concreto lb/ft³ (kg/m³)
Ligero	Hasta 105 (1680)
Semi pesado	Desde 105 hasta 125 (1680 a 2000)
Normal	Mayores que 125 (2000)

TABLE 2 Strength Requirements

	Resistencia a compresión Psi,(MPa)
Promedio 3 unidades	600 (4.14)
Unidad individual	500(3.45)

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. CLIMATIC MAP

SUMMARY OF CHANGES

Committee C-15 has identified the location of selected changes to this standard since the C 129-99 edition that may impact the use of this standard.

(1) Changes were made to Section 8 to require that face imperfections be viewed from a distance and address conformance of units to specified colors and textures.

(2) The dimensions of chips were changed in 8.2.1.

NOTE—Based on 1:30 A.M. and P.M. and 7:30 A.M. and P.M. Eastern Standard Time, observations for 20 years or more through 1964.

FIG. X1.1 Selected Climatic Map of the United States C 129

3

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility. This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below. This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

C 129