

# **FICHA PARA EL EMPLEO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS E INDUSTRIALES EN LA PRODUCCIÓN DE BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN**

TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN  
AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

Autora: Silvia Nelva Pérez Pantoja

HOLGUÍN 2021



# **FICHA PARA EL EMPLEO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS E INDUSTRIALES EN LA PRODUCCIÓN DE BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN**

TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN  
AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

Autora: Silvia Nelva Pérez Pantoja

Tutores: MsC. Alexander Fernández Pérez

MsC. Silvia Campos Movilla

HOLGUÍN 2021



## PENSAMIENTO

Nosotros hemos de ser el cambio, que deseamos ver en el mundo.

Mahatma Gandhi



## DEDICATORIA

A Dios, por brindarme la oportunidad y la dicha de la vida, al brindarme los medios necesarios para continuar mi formación como docente, y siendo un apoyo incondicional para lograrlo.

A mi esposo, madre, padre, hermanos, y resto de la familia que me acompañaron a lo largo del camino, brindándome la fuerza necesaria para continuar y momentos de ánimo, así mismo ayudándome en lo que fuera posible, dándome consejos y orientación.

A mis amigos por haber estado en los momentos difíciles y apoyarme cuando más lo necesitaba.

A la Revolución cubana que me dio la oportunidad de formarme como profesional.

Al colectivo de profesores que contribuyeron en mi formación como ingeniera civil.



## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a:

Primeramente, le agradezco a Dios porque hizo realidad este sueño, por todo el amor con el que me rodea y porque me tiene en sus manos. Esta tesis es para él.

Gracias por permitirme culminar mis estudios como Ingeniera Civil.

Le agradezco además a mi esposo Jorge Enrique Fals Pérez por su apoyo incondicional ante todo proyecto que he emprendido, a mis hijas Lauren Liset Fals Pérez y Evelyn Lianet Fals Pérez pues son el motor que me impulsa cada día a superarme.

Además, agradezco especialmente a mis padres, mis hermanas especialmente Nelvita y a mi suegra por su apoyo y su exigencia durante mi formación profesional, lo cual fue un incentivo para hacer un mejor trabajo cada día.

Son muchas las personas especiales a las que les gustaría agradecer su amistad, apoyo, ánimo y compañía en las diferentes etapas de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en el corazón. Sin importar en donde estén o si alguna vez llegan a leer estas dedicatorias quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

A todos mis amigos, sin excluir a ninguno, mil gracias por todos los momentos que hemos pasado juntos y porque han estado conmigo siempre, aunque sea solo para dar lata y molestar.

También agradezco al profesor Alexander Fernández Pérez y a la profesora Silvia Campos Movilla por ser mis tutores en la realización de mi trabajo de diploma.

A todos mis profes, no solo los de la carrera sino de toda la vida, mil gracias porque de alguna manera forman parte de lo que ahora soy.

. Agradezco además a todos aquellos que me apoyaron de una forma u otra durante esta etapa tan importante de mi vida.

A todos, GRACIAS.



## RESUMEN

Los residuos sólidos están en constante aumento, contaminan las áreas urbanas y suburbanas y se hace indispensable un abordaje integral. Por otra parte, la necesidad de vivienda que cumplan las condiciones mínimas de confort es apremiante. Unido a lo anterior en un mundo globalizado como el actual, toda información relevante debe de buscar el canal adecuado para que llegue a su receptor, con la menor distorsión posible y que ayude a cumplir el objetivo y finalidad que el emisor busca, que no es otro en nuestro caso que transmitir un conocimiento para una utilidad funcional y necesaria. Los tres acápites anteriores se vieron reflejados y cumplidos en esta investigación, donde el objetivo constituyó la confección de una ficha que contribuyera a la socialización de soluciones y diversificación de materiales y productos de la Construcciones para el programa de Vivienda, donde se reflejaran investigaciones realizadas en el departamento de Construcciones de la Universidad de Holguín empleando residuos sólidos de origen urbanos e industriales en la fabricación de bloques huecos de hormigón, minimizando las afectaciones ambientales generadas por la inadecuada disposición de los residuos sólidos. Para tal propósito fueron elaboradas fichas teniendo en cuenta sus variables físicas, químicas y mecánicas, a través de cinco (5) pasos y seis (6) fases. Para su desarrollo se aplicaron métodos de investigación del nivel teórico, empírico y estadístico, que permitieron constatar las limitaciones del tema investigado y valorar la factibilidad de los aportes de la investigación. Igualmente, el asiento bibliográfico se desarrolló a partir de las normas APA.



## ABSTRACT

Solid waste is constantly increasing, polluting urban and suburban areas and a comprehensive approach is essential. On the other hand, the need for housing that meets the minimum conditions of comfort is pressing. Together with the above in a globalized world such as the current one, all relevant information must seek the appropriate channel so that it reaches its receiver, with the least possible distortion and that helps meet the objective and purpose that the issuer seeks, which is not another in our case to transmit knowledge for a functional and necessary utility. The three previous sections were reflected and fulfilled in this research, where the objective was the preparation of a technical sheet that would contribute to the socialization of solutions and diversification of materials and construction products for the Housing program, where research carried out in the Department of Construction of the University of Holguín using solid waste of urban and industrial origin in the manufacture of hollow concrete blocks will be reflected, minimizing environmental effects generated by the inadequate disposal of waste for this purpose, files were prepared taking into account their physical, chemical and mechanical variables, through five (5) steps and six (6) phases. For its development, research methods of the theoretical, empirical and statistical level were applied that allowed to verify the limitations of the investigated topic and to assess the feasibility of the research contributions likewise, the bibliographic entry was developed from the APA standards.



## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO I: FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y METODOLÓGICOS QUE SUSTENTAN EL DISEÑO DE FICHAS PARA EL EMPLEO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA ELABORACIÓN DE BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN</b>	<b>7</b>
1.1 Bloques huecos de hormigón. Origen. Definición	7
1.2 Residuos. Concepto, clasificación	14
1.3 Empleo de los residuos en la fabricación de bloques huecos de hormigón	16
1.4 Antecedentes históricos sobre la elaboración de fichas para el empleo de residuos sólidos urbanos e industriales en la elaboración de bloques huecos de hormigón.	18
1.5 Compilación de investigaciones desarrolladas en el Departamento de construcciones de la Universidad de Holguín	20
<b>CAPÍTULO II. ELABORACIÓN DE UNA FICHA PARA EL EMPLEO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS E INDUSTRIALES EN LA PRODUCCIÓN DE BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN</b>	<b>32</b>
2.1 Concepciones para la elaboración de una ficha para el empleo de residuos sólidos urbanos e industriales en la fabricación de bloques huecos de hormigón	32
2.2 Propuesta de ficha para el empleo de residuos sólidos urbanos e industriales en la fabricación de bloques huecos de hormigón.	33
2.3 Estudio de caso para la elaboración de ficha para el empleo de residuos sólidos urbanos e industriales en la fabricación de bloques huecos de hormigón.	42
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>60</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>61</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>62</b>



## INTRODUCCIÓN

El problema de los residuos sólidos en la gran mayoría de los países y particularmente en determinadas regiones, viene agravándose como consecuencia del acelerado crecimiento de la población, su concentración en las áreas urbanas, el desarrollo industrial, los cambios de hábitos de consumo y el aumento en el nivel de vida; así como también debido a otra serie de factores que conllevan a la contaminación del medio ambiente y al deterioro de los recursos naturales.

De lo anterior y tomando en consideración tan solo el número de habitantes del planeta se ha triplicado entre 1950 y 2010, de cumplirse las previsiones podría estar cerca de cuadruplicarse en el 2050, en el 2020 se estimó una población de 7.790 millones de habitantes (Global No 1. Bussines Data Plataform 2020). Ante tal magnitud una de las principales problemáticas a resolver es que sus necesidades son ilimitadas, en tanto que los recursos naturales disponibles en el medio ambiente para su satisfacción son limitados, finitos.

Tomando en cuenta que la relación número de habitantes con la generación de residuos es lineal, cada año se recolecta en el mundo una cantidad estimada de 11 200 millones de toneladas de residuos sólidos de los cuales solo se ha reciclado un 9% de todo el desecho plástico que se ha producido a lo largo de la historia. Aproximadamente un 12% se ha incinerado, mientras que el 79% se ha acumulado en vertederos, basureros o directamente en el medio ambiente. (ONU, Datos y cifras 2020). Por otro lado, el Banco Mundial en su informe “Los desechos 2.0...” señala que, si no se adoptan medidas urgentes, para 2050 los desechos a nivel mundial crecerán un 70% con respecto a los niveles actuales

La necesidad de equilibrar los impactos ambientales de la actividad humana asociados a los residuos es cada vez más evidente. Por otro lado, es una realidad que, en la gestión de los residuos sólidos a nivel mundial, los territorios se están quedando sin espacio para el depósito definitivo de los mismos o encuentran seria oposición de la población a su instalación; por lo que cada vez más, se buscan



alternativas que, a la vez que protegen los recursos, permiten alargar la vida de los sitios de disposición final.

Los residuos sólidos según Urbina (2018) se pueden catalogar por su composición, naturaleza y origen, dentro de estos últimos se encuentran los industriales y los urbanos. En el caso específico de los residuos sólidos urbanos (RSU), son inofensivos o inertes y su exposición no pone en riesgo la salud pública... Usualmente se describen en términos de porcentaje en masa, así como en categorías. Estas pueden ser papel, cartón, metales, madera, vidrio, textil, plásticos, escombros, materiales orgánicos, entre otros (Urbina, 2018). Mientras que los residuos sólidos industriales (RSI) son aquellos derivados de un proceso de fabricación, transformación, utilización, consumo o limpieza, cuyo poseedor destina al abandono, o del cual el productor tenga necesidad de desprenderse, por no ser objeto directo de sus procesos productivos (Montserrat, 1995), son considerados como no peligrosos, incluyen productos como plásticos, cartones, maderas, gomas, escombros, ladrillos y chatarra metálica

Cuba no se encuentra ajena no solo a la acumulación sino al aumento de los residuos, en el año 2016 se generaron 4 674.2 Miles de toneladas de residuos, de las cuales se reciclaron o trataron 443.0 miles de toneladas, mientras en el año 2020 se generaron 5 169.2 miles de toneladas, tratándose o reciclando solamente 467.0 (Anuario estadístico de Cuba 2020), lo que denota un aumento considerable en su acumulación. La provincia de Holguín se encuentra dentro de las provincias que más generan residuos sólidos tanto urbanos como industriales, en el año 2016 se recogieron 19 948.00 metros cúbicos, mientras en el 2020 fueron 21 759.00 (Anuario estadístico de Cuba. 2020) aumentando en 9.07 %, en tan solo seis años. Esta acumulación de residuos ha traído consigo afectaciones a la salud de las personas y a los ecosistemas donde se depositan.

La necesidad de buscar soluciones desde el punto de la gestión ambiental de los residuos sólidos ya sean urbanos o industriales está impulsando el desarrollo de sistemas alternativos de reciclado y valorización. El proceso de recuperación adquiere un especial interés por parte de las empresas y gobiernos, porque además



de resolver el acuciante problema ambiental, mejora el saneamiento ambiental y da la posibilidad de nuevas formulaciones de mezclas de estos materiales.

Por su parte, los altos costos de los materiales de Construcciones han generado la búsqueda de alternativas viables que garanticen la calidad, resistencia y durabilidad de los elementos constructivos a fabricar. Cabe destacar que uno de estos materiales los constituye el bloque hueco de hormigón cuyo valor económico ha aumentado. Este hecho se debe entre otras cosas al aumento del precio del cemento y áridos utilizados para garantizar un producto óptimo con las características requeridas para sus diferentes usos. En cuanto a los métodos tradicionales de construcción, los bloques huecos de hormigón se producen prácticamente en todo el mundo debido a su alta calidad y a la demanda de materiales de construcción económicos. Una amplia variedad de materias primas puede utilizarse para producirlos, en diferentes tamaños y formas (Gámez et al, 2011).

La escasez de materia prima y los costos de fabricación han impulsado el desarrollo de tecnologías alternativas para la fabricación de materiales de y productos de Construcciones. Esta problemática ha despertado la atención mundial, lo que ha traído consigo que no pocos centros de investigaciones como la Universidad Austral de Chile (Rivas 2010, Vidal 2010), Universidad de Talca en Curicó-Chile (Quezada, 2010), Universidad de San Carlos de Guatemala (Ramírez 2012), Universidad Nueva Esparta en Caracas-Venezuela (Contreras 2016).

En el ámbito nacional la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (Águila. A 2011, Martínez y Santilez.Y 2016), han desarrollado proyectos que persiguen aprovechar los residuos sólidos. En la Universidad de Holguín, en el Departamento de Construcciones se han desarrollado investigaciones por los autores, Nieves (2013), Arcos (2014), Proénza (2014), Carballo (2015), Carballo (2015), Rodríguez (2015), Fernández, et. Al (2017), empleando residuos sólidos como sustitutos de áridos en mezclas de mortero y hormigones, obteniendo resultados que los avalan como alternativas en la esfera de la Construcciones.

Por otra parte, los autores, Puente (2017), Nicot (2017), Hernández (2017), Tabera (2018), Guerra (2018), han desarrollado investigaciones empleando los residuos



sólidos en la fabricación de bloques huecos de hormigón, alcanzando resistencias similares a los bloques convencionales. Logrando con ello además minimizar los posibles impactos ambientales asociados a la deposición y acumulación de residuos sólidos.

Por estas y otras razones afines, los residuos sólidos tanto urbanos como industriales se presentan como especímenes en esta categoría y prometen resultados confiables como material de Construcciones según investigaciones precedentes. Su empleo en la fabricación de bloques huecos de hormigón, podría atenuar el consumo real de áridos naturales y propiciar un impacto económico favorable conforme a los lineamientos del VII Congreso del Partido, en su Artículo 235 que plantea: “Promover la intensificación del reciclaje y el aumento del valor agregado de los productos recuperados, priorizando actividades de mayor impacto económico con menos recursos”. Sin embargo se evidenciaron limitaciones en la existencia de fichas que incorporen propiedades o parámetros de los residuos sólidos urbanos e industriales en la producción de bloques huecos de hormigón que den respuesta al programa de la vivienda.

Por tanto, se plantea como Problema de la investigación: ¿Cómo socializar los resultados de investigaciones del Departamento de Construcciones de la Universidad de Holguín en la producción de bloques huecos de hormigón mediante el empleo de residuos sólidos urbanos e industriales?

El Objeto de la investigación lo constituyen los bloques huecos de hormigón y el campo de acción los bloques huecos de hormigón con residuos sólidos urbanos e industriales

Objetivo general: Diseñar una ficha a través de un procedimiento para el empleo de los residuos sólidos urbanos e industriales en la producción de bloques huecos de hormigón, que contribuya a la socialización de soluciones y diversificación de materiales y productos de la Construcción para el programa de Viviendas.

Se consideran como objetivos específicos los siguientes:



- Sistematizar los fundamentos teóricos y metodológicos que sustentan el diseño de fichas para el empleo de residuos sólidos en la elaboración de bloques huecos de hormigón.
- Compilar las investigaciones del Departamento de Construcciones de la Universidad de Holguín en base a variables físico, químicas y mecánicas.
- Elaborar una ficha para el empleo de residuos sólidos urbanos e industriales en la fabricación de bloques huecos de hormigón.

Para dar solución al problema científico expuesto se formula la siguiente hipótesis: si se elabora una ficha para el empleo de residuos sólidos urbanos e industriales en la producción de bloques huecos de hormigón a partir de las investigaciones realizadas en el Departamento de Construcciones de la Universidad de Holguín se podrían socializar las soluciones y diversificar los materiales y productos de la Construcciones para el programa de Viviendas.

#### Métodos Teóricos:

Histórico-Lógico: permitió el análisis histórico del empleo de los residuos sólidos urbanos e industriales en la elaboración de bloques huecos de hormigón. Resulta de valor además para el análisis cronológico de los fundamentos teóricos y metodológicos que sustentan al objeto y el campo de la investigación.

Hipotético-deductivo: para la elaboración de la hipótesis de la investigación, precisión de las variables de la investigación y la asunción de una lógica investigativa.

Análisis-síntesis: para el análisis de la información procedente de la caracterización histórica, teórico metodológico y empírica del objeto y el campo de la investigación.

#### Métodos Empírico

Revisión de documentos: para la caracterización histórico-teórico-metodológica y empírica del objeto y el campo de la investigación.

Consultas a especialistas: al personal calificado en los talleres productores de bloques huecos de hormigón, en los laboratorios de materiales de Construcciones y profesores del Departamento de Construcciones.



Métodos matemáticos y estadísticos:

- Método estadístico descriptivo: para presentar los resultados obtenidos en el proceso de caracterización empírica del objeto y el campo de la investigación y la valoración de la factibilidad de la estrategia, a partir de la ficha.

La novedad científica de la investigación la constituye la confección de una ficha para el empleo de residuos sólidos urbanos e industriales en la fabricación de bloques huecos de hormigón.

El aporte de la investigación consiste en un documento que recoge las características físicas, químicas y mecánicas de residuos sólidos urbanos e industriales en la fabricación de bloques huecos de hormigón que contribuya a la socialización de soluciones y diversificación de materiales y productos de la Construcciones para el programa de viviendas.

Este trabajo de diploma se estructura de la forma siguiente: capítulo I aborda las bases teóricas de la investigación, el estado actual de objeto, así como conceptos y criterios generales sobre las características físicas, químicas y mecánicas de los residuos sólidos urbanos e industriales para su empleo en la fabricación de bloques huecos de hormigón que contribuya a la socialización de soluciones y diversificación de materiales y productos de la Construcciones para el programa de viviendas.

En el capítulo II se plantea la propuesta de la ficha teniendo en cuenta las propiedades físico, químicas y mecánicas, así como los requisitos de los bloques huecos de hormigón al ser fabricados con residuos sólidos urbanos e industriales. Se plantean las conclusiones y recomendaciones. Se cuenta además una recopilación de la bibliografía consultada.



# **CAPITULO I: FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y METODOLÓGICOS QUE SUSTENTAN EL DISEÑO DE FICHAS PARA EL EMPLEO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA ELABORACIÓN DE BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN.**

## Introducción al capítulo

En el capítulo se muestran los fundamentos teóricos del objeto de estudio. Se ofrecen experiencias tanto internacionales como nacionales en el empleo de residuos sólidos urbanos e industriales empleados en la fabricación de bloques huecos de hormigón. Además se recogen las experiencias en cuanto a la elaboración de fichas en las cuales se integran las propiedades físicas químicas de esos residuos. Se realiza una compilación de investigaciones realizadas en el Departamento de Construcciones de la Universidad de Holguín entre los años 2017 y 2018.

### **1.1 Bloques huecos de hormigón. Origen. Definición**

Durante siglos, los materiales básicos de albañilería estuvieron constituidos por la piedra natural, con sus variantes de mampostería, sillería, junto con el ladrillo artificial. Pero no fue hasta el año 1824 que el Inglés Joseph Aspdin desarrolló y patentó el cemento portland, el cual se transformó en una de las materias primas principales del hormigón moderno.

Desde su aparición, a fines del siglo pasado, el empleo de los bloques de hormigón en las obras de ingeniería en los países desarrollados ha alcanzado una importante expansión, tanto en cantidad como en variedad de usos. Como dato ilustrativo, puede señalarse que sólo en EE.UU. y Canadá se producen más de 5.000 millones de unidades equivalentes al bloque 400 x 200 x 200 mm, destinados a una gran variedad de aplicaciones, tales como edificación de viviendas, mampostería estructural en edificios de gran altura, tabiques divisorios, chimeneas, piletas de natación, silos, muros de sostenimiento, cámaras subterráneas, barreras sónicas, etc.

Esta amplia utilización de los bloques proviene principalmente de las ventajas que en algunos aspectos presentan con respecto a otros materiales de construcción, entre los que puede citarse su facilidad de uso tanto en soluciones constructivas simples como estructurales, la capacidad de conferirles con facilidad propiedades de textura



superficial sin necesidad de terminaciones ni revestimientos adicionales, con las ventajas económicas y arquitectónicas que ello significa, y una apropiada aislación térmica y acústica y resistencia al fuego. Debe señalarse además, el menor costo por metro cuadrado de pared en comparación con la mampostería de ladrillos cerámicos, derivado de sus características de textura y dimensiones, que permiten un uso significativamente menor de mano de obra para su manipulación, y de mortero de unión por unidad de superficie de muro. Asimismo, su empleo requiere de técnicas simples pero más cuidadosas para su recepción, mantenimiento y empleo en obra. Por otra parte, el empleo de los bloques de hormigón puede adaptarse a todas las formas constructivas que requieren la participación de albañilerías, ya sea en forma de albañilería simple, armada o reforzada.

Los bloques de mampostería actuales distan mucho de los que se fabricaban hace años, al emplearse hoy en día maquinaria de alta calidad que permite, en función del árido empleado y su compactación, junto con la incorporación de aditivos colorantes y distintos tratamientos de acabado, ofrecer después de un riguroso curado en cámaras de temperatura y humedad controladas, un producto de máxima calidad funcional, resistente y estético (Arbesú, 2007).

La NC 247: 2010 Bloques huecos de hormigón. Especificaciones, establece que; el bloque de hormigón es una pieza prefabricada a base de cemento, agua, áridos finos y/o gruesos, naturales y/o artificiales, con o sin aditivos, incluidos pigmentos, de forma sensiblemente ortoédrica, sin armadura alguna, añade además que pueden ser de dos tipos: con alvéolos o cavidades internas y senos de junta o cavidades perimetrales, que pueden ser pasantes o ciegas. El conjunto de alvéolos comprendido entre dos tabiques longitudinales contiguos o entre una pared exterior y un tabique longitudinal contiguo, se denomina hueco.

Con la aparición del hormigón armado, se abrió paso un nuevo material de albañilería, el denominado “bloque de hormigón” capaz de ampliar los campos de aplicación con un formato de mayores dimensiones, junto con sus múltiples posibilidades constructivas y arquitectónicas (Gordillo, 2014).

- Rapidez y Economía



La utilización del bloque de hormigón, combinado con el empleo de elementos pre moldeados, constituye un sistema de prefabricación completo en sí, y que cumple con el objetivo de ser económico, tanto en lo que se refiere al costo intrínseco de la vivienda como asimismo en lo relativo a la mano de obra. Esta economía de mano de obra es además total, es decir, que transcurre desde la obtención de las materias primas, fabricación de los productos y su incorporación a la construcción. Es pues, una economía general.

El bloque hueco de hormigón es un elemento que satisface ampliamente las condiciones técnicas económicos necesarios para ser empleado en la construcción de viviendas tradicionales. Entre las numerosas ventajas económicas que se derivan de la construcción con bloques, se destacan las siguientes:

- El uso del bloque de hormigón significa una reducción apreciable en la mano de obra con respecto a los sistemas tradicionales, tanto por el menor número de unidades a colocar (12,5 bloques de 400 x 200 x 200 mm, contra 108 ladrillos comunes por m<sup>2</sup> de pared), como por la simplificación de tareas, con motivo del empleo de los bloques especiales, que disminuyen en apreciablemente el tiempo de ejecución.
- Menor cantidad de mortero a emplear en la construcción del muro: aproximadamente 10 litros por m<sup>2</sup> de pared, en lugar de 90 litros cuando se emplean ladrillos macizos comunes. La menor cantidad de mortero representa economía de mano de obra y materiales.
- La uniformidad de los elementos hace que los parámetros resulten lisos y regulares por lo que, si se desea dejar parámetros vistos, es suficiente un tratamiento superficial, realizado con pintura de cemento portland para obtener muy buen aspecto, y asegurar la impermeabilidad de la pared. En el supuesto caso de que se quiera revocar la pared, el reducido espesor del revoque que requiere, por la mencionada regularidad del paramento, hace que sea menor la cantidad de mortero usado con ese propósito lo que se traduce en economía de mano de obra y materiales. Inclusive, si se utilizan bloques



texturados decorativos, no será necesario el tratamiento superficial. La existencia de bloques de color incrementan las posibilidades de uso arquitectónico, mejorando el aspecto estético del muro, y disminuyendo costos.

- Materias primas para su fabricación

La dosificación del hormigón base de los bloques se obtiene de un estudio riguroso de los materiales constitutivos, lo que implica al análisis de distintos materiales de características diferentes: cemento, arena, grava, aditivos, etc., que deben adecuarse a las diversas condiciones impuestas por la normativa (Gordillo, 2014),

- Cemento: Se podrá utilizar cualquier cemento contenido en la NC 95:2011.
- Áridos: Los áridos empleados para la producción de bloques de hormigón se adecuarán a lo establecido en la NC: 251: 2013. No deberán emplearse áridos activos frente al cemento o que se descompone frente a los agentes a los que va estar sometido en obra.
- Agua de amasado: Será utilizada para el amasado el agua que cumpla con la NC 353:2004.
- Aditivos: Es un material distinto del agua, el cemento y los agregados, que se utiliza como ingrediente del hormigón para modificar o crear condiciones inexistentes en la mezcla y se añaden antes o durante el mezclado.
- Hormigón: El hormigón empleado en la fabricación de bloques tendrá una calidad tal que permita que el producto acabado reúna las características de resistencia a compresión establecidas en la NC 247-2010

- Procedimiento de mezclado

La fase de mezclado de cualquier producto pre moldeado de hormigón constituye uno de los principales factores que influirá directamente en la calidad del producto final. Si esta operación se realiza siguiendo los pasos especificados en la bibliografía



específica, se logrará un incremento en la producción, además de conseguir un aumento de la resistencia y mejorar la apariencia general del bloque.

- Moldeo en equipos de alta potencia de vibrado y prensado:

La maquinaria utilizada en la fabricación de los bloques puede ser de accionamiento manual o mecánico utilizándose esta última en producciones industriales con control de calidad incorporada. Existen moldeadoras fijas que entregan el bloque fresco, bien directamente sobre canales, bien sobre bandejas metálicas (pallets) existiendo también máquinas móviles o ponedoras que depositan los bloques directamente sobre una pista. Los modernos equipos actualmente en plaza permiten producir, por ejemplo, 1620 bloques de 400 x 200 x 200 mm por hora con 3 bloques a la vez o su equivalente, hasta 9 ciclos por minuto. El sistema de vibración aplicado al molde facilita una compactación uniforme del material dando como resultado un bloque más denso y resistente, con menor contenido de cemento.

La tecnología de avanzada de estos modernos equipos permite obtener productos de calidad controlada, garantizándose en un 100% el cumplimiento de todos los requerimientos de norma.

- Curado de bloques de hormigón

Este es uno de los procesos más importantes, ya que su terminación no depende de las materias primas a emplear, así como el de su tamaño y diseño, sino que del curado o secado de los bloques de hormigón. El curado no es más que una “mantención de un contenido satisfactorio de humedad y temperatura en el hormigón o mortero durante sus etapas primarias, de modo que puedan desarrollarse propiedades deseadas como resistencia y durabilidad. Existen cuatro procedimientos de curado de los bloques que se clasifican en: a) curado natural, b) curado acelerado a temperatura constante, c) curado acelerado a presión atmosférica y d) curado en autoclave a presión elevada.

- Almacenamiento

Después de terminado el curado las unidades deben almacenarse al abrigo de la lluvia para su secado. Estos se colocan en pilas de unos dos metros de altura, de



forma que los huecos de los bloques queden en sentido vertical con el fin de que se produzcan corrientes ascendentes de aire, continuando su curado al perder poco a poco la humedad y conservando la suficiente para su fraguado.

- Requisitos del producto terminado

Los bloques una vez terminados tienen que cumplir requisitos de calidad según la NC 247 -2010, dentro de los que se hallan:

- Superficie: Los bloques no deben tener fisuras en sus 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.
- Dimensiones y tolerancias: Los bloques deberán adaptarse preferentemente en sus dimensiones nominales y de fabricación, a los valores establecidos en la norma (tabla 1.1). Espesor de las paredes y tabiques: El espesor efectivo de las paredes exteriores y tabiques de los bloques no podrá ser inferior a 20 mm en ningún punto de los mismos, incluso en las paredes cizalladas.
- Absorción: Los bloques tendrán un valor de absorción de agua entre el 8 y 10 % correspondiendo con el tipo I y II respectivamente.
- Características mecánicas: Las características mecánicas de los bloques de hormigón, de acuerdo con su tipo se establecen en la no: NC 247: 2010 (tabla 1.2).

Tabla 1.1 Dimensiones principales y tolerancias admisibles.

<b>Tipos de Bloques</b>	<b>l (±3 mm )</b>	<b>b (±3 mm )</b>	<b>H (±3 mm )</b>
<b>I</b>	495	200	195
	395		
<b>II</b>	495	150	
	395		
<b>III</b>	495	100	
	395		
<b>IV</b>	495	65	
	395		

Fuente: NC 247: 2010 Bloques huecos de hormigón



Tabla 1.2 Índice físico mecánicos

Tipo de bloque	Resistencia a la compresión (Rc)		
	Rc mínima a los 7 días	Absorción máxima	Rc 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

Fuente: NC 247: 2010 Bloques huecos de hormigón

- Tipología

Al ser un material prefabricado, pueden existir tantos modelos de bloque de hormigón como fabricantes existan en el mercado. Se enumeran aquí las tipologías más representativas:

- De gafa: son el modelo más común. Deben ser posteriormente revestidos con algún tratamiento superficial (normalmente enlucidos en paramentos interiores, y enfoscados en los exteriores).
- Multicámara: sus huecos internos están compartimentados. Estos bloques se utilizan frecuentemente cuando se pretende construir una pared de una sola hoja.
- De carga: son más macizos, y se emplean cuando el muro tiene funciones estructurales (esto es: cuando soporta el forjado superior)
- Armados: diseñados como encofrado perdido de muros macizos de hormigón.
- Presentan rebajes interiores para apoyar las armaduras de acero.
- Cara vista: son bloques con al menos una de las caras especialmente preparadas para no precisar revestimiento.
- En U: se emplean como zunchos para cubrir cantos de forjado, o para crear dinteles.

## 1.2 Residuos. Concepto, clasificación,

La palabra residuos puede inducir que se trata de una expresión subjetiva en dependencia de los actores involucrados. Lo anterior se corrobora teniendo en cuenta que; quien decide si un determinado objeto continúa siendo útil o no es su



propietario. Otro ejemplo es cuando existe posibilidad de reciclaje y por lo tanto deja de serlo, convirtiéndose en materia prima de otro proceso o como parte de un producto. Muy a pesar de los intentos de adoptar una definición objetiva aún hoy persiste cierto grado de incertidumbre. Por esta razón legislaciones, organizaciones, convenios y autores incluyen en su texto la definición de “residuo” por la que han optado.

Por otra parte, para autores; Tchobanoglous, Theisen y Vigil (1996) son tanto la masa heterogénea de los desechos de la comunidad urbana como la acumulación más homogénea de los residuos agrícolas, industriales y minerales. Hontoria García y Zamorano Toro (2000) refieren por su parte que sus fuentes de origen pueden ser comerciales: originados por los diversos establecimientos de servicios; domésticos: generados por la vida diaria de las residencias, ruinas constructivas, servicios municipales y los lodos de estaciones depuradoras de aguas residuales.

Para Linares González (2017) el término residuo sólido se refiere a todo lo que es generado producto de una actividad y no es de nuestro interés, ya sea por la acción directa del hombre o por la actividad de otros organismos vivos, formándose una masa heterogénea que, en muchos casos, es difícil de reincorporar a los ciclos naturales. Se clasifican según la composición, la naturaleza y el origen.

De lo anterior se resume que existe diversidad de criterios en cuanto al concepto o definición de residuo, por lo que la autora se identifica con lo expresado por Linares González (2017) y para comprender mejor lo expuesto se muestra la figura 1.1.

En el caso de estudio de la presente investigación se tienen en cuenta los residuos sólidos por su origen, específicamente los residuos sólidos urbanos (RSU) y los residuos sólidos industriales (RSI).

En el caso específico de los residuos sólidos urbanos, son inofensivos o inertes y su exposición no pone en riesgo la salud pública. Su composición es una característica que depende del origen de generación y del grado de industrialización. Usualmente se describen en términos de porcentaje en masa, así como en categorías. Estas pueden ser papel, cartón, metales, madera, vidrio, textil, plásticos, escombros, materiales orgánicos, entre otros (Urbina, 2018).



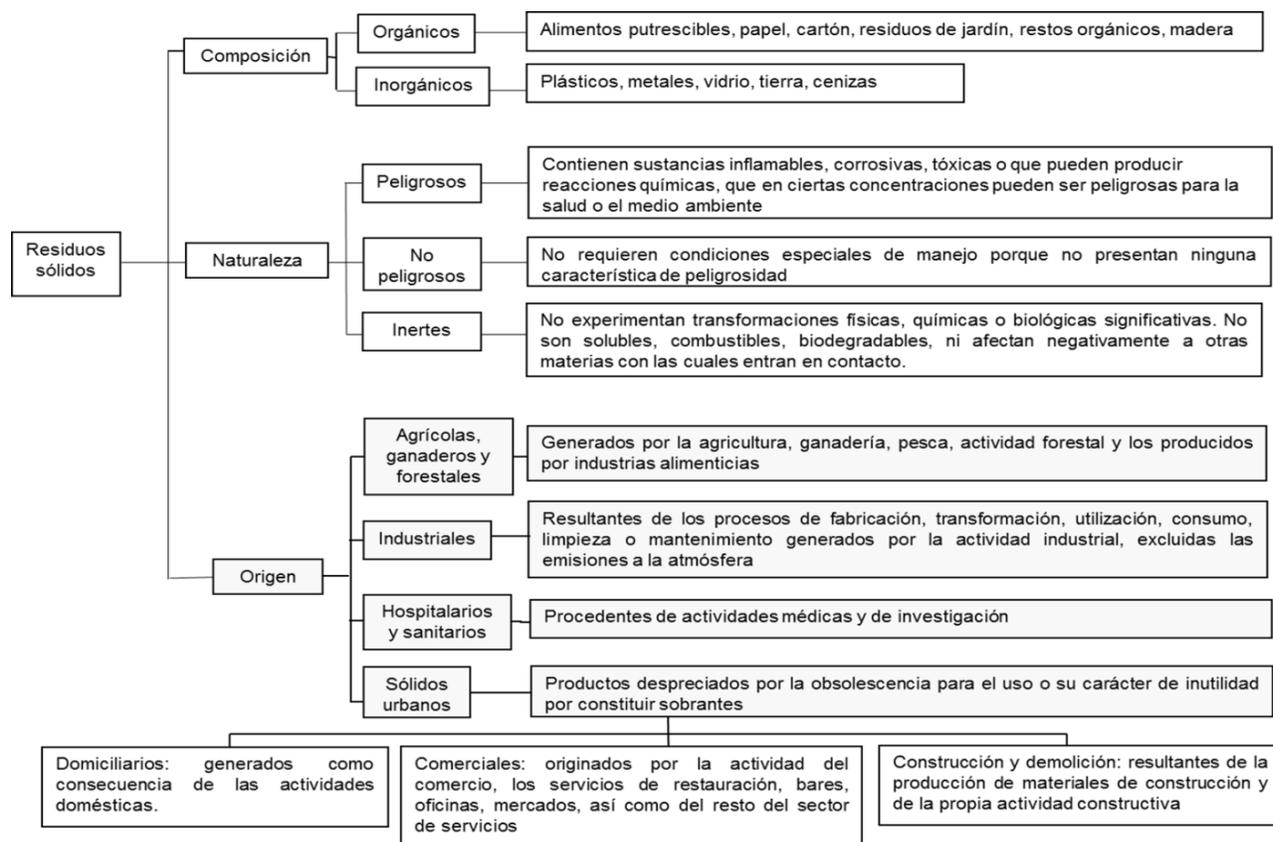


Figura 1.1. Clasificación de los residuos sólidos.  
Fuente: Urbina (2018).

Mientras que para los residuos sólidos industriales. Son aquellos derivados de un proceso de fabricación, transformación, utilización, consumo o, limpieza, cuyo poseedor destina al abandono, o del cual el productor tenga necesidad de desprenderse, por no ser no ser objeto directo de sus procesos productivos (Montserrat, 1995). Muy a pesar de la antigüedad de la definición hoy conserva plenamente su significado.

En Cuba según el anuario estadístico de Cuba 2020, Medio Ambiente, edición 2021, en el 2020 se recolectaron 516 920.00 toneladas de residuos sólidos, de ellos se reciclaron 467 10.00 toneladas, tomando como ejemplo, del total de los residuos reciclados 9 402.80 toneladas correspondieron a materiales plásticos para un 1.81% del total. Debido a su bajo peso específico, los residuos plásticos ocupan grandes volúmenes, por lo que su almacenamiento requiere de amplios espacios.

Por otra parte, la gestión de los residuos sólidos en Cuba se caracteriza por presentar importantes deficiencias en cada una de sus etapas, lo que ha propiciado



el deterioro de las condiciones higiénico sanitarias en muchas localidades, permitiendo la propagación de enfermedades, creando además de un serio problema ambiental, una situación de riesgo para la salud y calidad de vida de los ciudadanos. Una de las formas de valorización es su reciclaje como materia prima en la elaboración de bloques huecos de hormigón.

### **1.3 Empleo de los residuos en la fabricación de bloques huecos de hormigón**

La construcción de elementos constructivos elaborados con residuos en el mundo, ha ido creciendo a lo largo de los años. En la construcción se pueden aprovechar cantidades enormes de residuos como materia prima reduciendo al mismo tiempo la necesidad de zonas de vertido. En la búsqueda bibliográfica especializada se constató que su empleo es cada vez mayor, uno de los productos de la construcción donde se han empleado es en la fabricación de bloques huecos de hormigón, fundamentalmente como sustituto de los áridos.

#### **Experiencias Internacionales**

Estuardo (2006) de Guatemala realiza una investigación donde describe el proceso de producción de bloques fabricados con cemento mezclado BCM (cemento portland + escoria) y bloques con materiales tradicionales BMC (mezcla control), presenta los ensayos y resultados de los dos tipos de bloques evaluados de acuerdo a las Normas COGUANOR NGO 41056H1 y NGO 41056H2. Se ensayan los bloques hasta la rotura, obteniendo como resultado la posibilidad de fabricar bloques huecos de hormigón con cemento mezclado con escoria de hornos, mientras se mantengan las condiciones que se indican en su investigación.

En la investigación desarrollada por Gagginoen en Argentina (2008) se reciclan residuos plásticos para la fabricación de componentes constructivos. Los materiales utilizados fueron: polietileno-tereftalato, procedente de envases descartables de bebidas; y films de plásticos varios: polietileno, polipropileno biorientado y poli cloruro de vinilo, procedentes de embalajes de alimentos reciclados. Estos residuos se trituraron y se incorporaron a una mezcla de cemento Portland común, agua y un aditivo químico. Con esta mezcla se fabricaron ladrillos, bloques de pared y de techo, y placas de ladrillos, que se aplican en cerramientos no estructurales de viviendas.



En los resultados se evidencia que es una alternativa posible para la construcción de viviendas. Reduce la cantidad de un residuo que actualmente se acumula o entierra, produciendo contaminación y desaprovechando un recurso. Por su bajo costo y tecnología simple son especialmente aptos para viviendas de interés social.

En Portoviejo ciudad de Ecuador, se desarrolló una investigación (Párraga et. al 2013) con el objetivo de evaluar el uso de los residuos de la construcción en la elaboración de bloques de hormigón. Los residuos se seleccionaron y se realizaron tres formulaciones, variando las cantidades de ladrillo y bloques de hormigón. Se examinaron las características físicas de cada uno de los residuos. Además, se observó la resistencia y la absorción al bloque a los siete días pos elaboración. Los datos se analizaron mediante análisis de varianza. Concluyendo que el contenido de los residuos influye en las características del bloque principalmente en la resistencia. El reciclar los residuos de la construcción para la elaboración de bloques de hormigón es una alternativa en el manejo de los mismos.

### **Experiencias nacionales**

En la bibliografía nacional se observan diversas investigaciones realizadas, dentro de las que se encuentran, la realizada por Q Costa (2013), del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, en la provincia de Holguín, donde se determinó el comportamiento de las propiedades físico mecánicas de los bloques huecos de hormigón, confeccionados con vidrio reciclado, como sustituto de árido en los centros productores de elementos constructivos, se sustituyó la arena y se conformaron bloques en un 25, 50, 75 y 100 % con los residuos, al realizar los ensayos se observó que la resistencia de los bloques aumenta en el tiempo para las dosificaciones desde 25 hasta 75 % de sustitución y para el 100 % de sustitución de arena la resistencia a la compresión tuvo un comportamiento irregular. Los bloques con mejor resultado fueron los de 75 % de sustitución de arena además de ser más ligeros que los bloques convencionales; el porcentaje de absorción de agua y la cantidad añadida de esta en los bloques disminuyó a medida que aumentó el porcentaje de arena sustituido.

En el 2015 en la Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas se realizó una investigación por Lesday Martínez y Chávez Días donde proponen la fabricación de



Bloques Huecos de Hormigón con áridos reciclados con diferentes dosificaciones, esto permitió un hormigón con menor costo de producción, se realizó además la caracterización de la materia prima reciclada mostrando los resultados del hormigón en estado fresco, así como la resistencia a compresión en estado endurecido. Presentan un análisis de los resultados determinado la dosificación más adecuada y proponiendo su aplicación en la producción para dar respuesta al interés de la industria de Materiales de la Construcción de la provincia de Villa Clara.

La fabricación de bloques huecos de hormigón con material reciclado, constituyo uno de los principales logros de la Empresa Constructora de Holguín en el año 2017, como una de las alternativas para fomentar la venta de estos productos a la población. Se elaboraron a partir de residuos de construcción y demolición, específicamente del propio proceso de fabricación de los bloques, lo cual contribuyo al ahorro de los áridos naturales.

Lo anterior confirma que existen experiencias en la fabricación de Bloques huecos de hormigón a partir del empleo de residuos sólidos urbanos e industriales.

#### **1.4 Antecedentes históricos sobre la elaboración de fichas para el empleo de residuos sólidos urbanos e industriales en la elaboración de bloques huecos de hormigón**

En cuanto a la búsqueda de bibliografía internacional, se encontró una amplia información sobre, abordado fundamentalmente desde el punto de la gestión ambiental, dentro de las consultadas se encuentran, El “Manual IHOBE Para Redacción e Implantación de Plan de Gestión de Residuos de Construcciones y Demolición” del Gobierno Vasco, España (2012); tiene como objetivo dar soporte a las constructoras que realicen sus actividades en el marco legislativo de Euskadi, en dos aspectos fundamentales: La redacción de un Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición [PGR] y la implantación efectiva en obra de dicho PGR. El manual propone en su estructura, un manual detallado, Un manual rápido, documentación de soporte y ejemplos prácticos, muy a pesar de que realiza un excelente estudio sobre los Residuos de construcción y demolición no propone la valorización de los mismos de forma total, sino cuando sea posible su empleo.



Dentro del cúmulo de bibliografía revisada, y la que más se acerca a los propósitos de esta investigación es el “Catálogo de residuos utilizables en la Construcciones” (CEDEX. 2013) España, cuyo objetivo es contribuir al conocimiento público de los residuos que podrían tener utilidad en las actividades de construcción, contribuyendo con ello a la demanda de productos reciclados, a la vez que disminuye la cantidad que se destinan a los vertederos, dando prioridad al reciclado y otras formas de valorización. Dentro de estos se encuentran; residuos de la industria metalúrgica (RSI), residuos municipales (RSU) y residuos procedentes de canteras, entre otros. Proponiendo fundamentalmente su empleo como árido en carreteras y hormigón. Todo lo anterior se realiza a través de fichas, las cuales tienen en cuenta variables como; origen; volumen, distribución, propiedades físicas, mecánicas y químicas tanto en estado original como del material procesado, y a pesar de que ofrece variantes para su valorización no propone su empleo como árido en la fabricación de bloques huecos de hormigón.

La “Guía aprovechamiento de residuos plásticos” (2014) de San José, Costa Rica, en la cual informa de manera eficiente sobre los posibles impactos ambientales y las medidas de manejo que se deben tener en cuenta en el aprovechamiento de los residuos plásticos, a través de una secuencia de pasos que abarcan actividades como, identificación y valoración de impactos ambientales, Impactos potenciales del proceso de reciclaje de residuos plásticos, Riesgos sanitarios de los residuos plásticos destinados para reciclaje mecánico, Medidas para asegurar la calidad del producto y reducir sus impactos ambientales y por último manejo de los impactos ambientales en la incineración con recuperación de energía. Pero muy a pesar de que propone una valorización de los residuos no realiza un estudio sobre el origen, procedencia y acumulación de los mismos, además no propone una posible valorización a los residuos producto de la calcinación.

El “Manual Operativo de Valorización de Residuos Sólidos Urbanos para Medianos y Pequeños Asentamientos de Argentina” (2015), “Manual de Tratamiento y reciclaje” (2017), enmarcada dentro del Proyecto de Fortalecimiento de la Capacidad Institucional en el Manejo Integral de los Residuos Sólidos a Nivel Nacional en la República Dominicana. Todos proponen una valoración desde el punto de vista de la



Gestión Ambiental, con el objetivo de trazar estrategias y programas a través de manuales que aborden todas las etapas del manejo de los residuos, incorporando actividades de tratamiento intermedio y reciclaje que permitirán mejorar las condiciones actuales de la gestión de los residuos sólidos, a la vez de establecer un marco de acción común para una correcta valoración desde el punto de vista técnico y ambiental.

De todos los manuales consultados en la bibliografía la autora se identifica con el de CEDEX (2013), por lo que se toma como referencia.

En cuanto a las referencias bibliográficas en Cuba con respecto al tema de investigación no se encontraron, por lo que se plantea que existen limitaciones en la sistematización de la bibliografía en Cuba

### **1.5 Compilación de investigaciones desarrolladas en el Departamento de construcciones de la Universidad de Holguín.**

En el departamento de Construcciones de la Universidad de Holguín, en la especialidad de Ingeniería civil en el periodo comprendido entre los años 2017-2020 se han realizado investigaciones centradas en el empleo de residuos sólidos tanto urbanos como industriales aplicados a la Construcciones, en esta ocasión su valorización como árido en la elaboración de bloques huecos de hormigón. Las investigaciones se corresponden con;

- Potencialidades de los residuos de poliestireno expandido para la elaboración de bloques huecos de hormigón, Puente (2017).
- Propuesta de utilización de residuos de PVC de la fábrica plásticos Cají maya en bloques huecos de hormigón, Nicot (2017).
- Producción de bloques huecos de hormigón con residuos plásticos de la fábrica de tubos de Holguín, Hernández (2017).
- Propuesta de utilización de escorias siderúrgicas en la fabricación de bloques huecos de hormigón. Tabera (2018).



- Producción de bloques huecos de hormigón con residuos plástico de tereftalato de polietileno Guerra (2018)

#### Resumen de las investigaciones

- Potencialidades de los residuos de poliestireno expandido para la elaboración de bloques huecos de hormigón. Puente (2017).

Este investigador presenta los resultados de su estudio, en el cual evaluó las propiedades mecánicas de bloques huecos de hormigón con residuos sólidos urbanos de Poliestireno expandido (RUEPS en lo adelante). Obtenidas a partir de envases desechables y embalajes de equipos electrodomésticos y electrónicos recolectadas por el autor como parte de los RSU en la ciudad de Holguín. Para obtener una uniformidad granulométrica del RSUPE, se trituraron en un molino de martillo ubicado en la Empresa Constructora de Obras del Poder Popular de Holguín.

Para realizar la combinación “ideal” de los áridos y las perlas de polietileno se empleó el método del Nomograma o del Rectángulo. Para el diseño de las dosificaciones de la mezcla se utilizó el método O'Reilly, en el que se toma como criterio que el porcentaje de vacío y la superficie específica mínimos de una mezcla de áridos es la que señala la composición óptima, la cual requerirá una cantidad mínima de cemento. Obtenidos los datos de los métodos anteriores se proponen tres puntos experimentales para la mezcla, el primero correspondiente con un patrón de 0% de perlitas, los otros dos puntos coincidiendo con una sustitución de 15% y 25% de RUEPS respectivamente.

A partir de esa matriz experimental se obtuvieron hormigones con los cuales se confeccionaron 12 bloques para cada punto de control, para un total de 36 muestras con dimensiones 400 x 100 x 200 mm. Las mismas se sometieron a varios ensayos; comenzando por el control de dimensiones, comportándose dentro de los parámetros que rige la norma. Otro de los ensayos esperados fue el de pesaje de los bloques, pues al emplear un material muy ligero es de esperarse una disminución en su peso, en la tabla 1.3 se pueden observar los resultados, en la misma se aprecia que con respecto al patrón se comprueba una disminución del peso del 4 % y del 8% en las



muestras con 15% y 25% de RUEPS respectivamente, algo positivo cuando de manipulación y transporte se trate.

Tabla 1.3 Resultados de los ensayos de peso realizado a los bloques

Lote	Masa Kg	Muestras			Sumatoria	X (Media)
		1	2	3		
Patrón	Peso ambiente	12.64	12.50	12.41	37.45	12.48
EPS 15%		11.89	11.94	12.21	36.04	12.01
EPS 25%		11.79	11.32	11.56	34.67	11.56

Fuente: Puente (2017)

Tabla 1.4 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días para muestras con RUEPS

Lote	Resistencia compresión	Muestras			Sumatoria	X (Media)
		1	2	3		
Patrón	Carga aplicada (Kn)	182	218	187	587	195.67
	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	423.15	423.15	417.04	1263.34	421.11
	Esfuerzo (MPa)	4.30	5.15	4.48	13.93	4.64
EPS 15%	Carga aplicada (Kn)	190	193	154	537	179
	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	421.05	410.97	405.96	1237.98	412.66
	Esfuerzo (MPa)	4.51	4.70	3.79	13	4.33
EPS 25%	Carga aplicada (Kn)	169	169	125	463	154.33
	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	410.97	413.03	413.03	1237.03	412.34
	Esfuerzo (MPa)	4.11	4.09	3.03	11.23	3.74

Fuente: Puente (2017)

En el ensayo de absorción de agua los resultados arrojados fueron similares en las tres muestras, comportándose dentro de lo establecido por las normas correspondientes. El ensayo que define si es factible el empleo de RUEPS en la elaboración de bloques huecos de hormigón es la determinación de la resistencia a la compresión, hasta determinar el esfuerzo máximo hasta la rotura de las muestras. El mismo se realizó en los laboratorios de control de calidad a materiales de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) a la edad de 28 días de elaborados y una vez realizado el caping se depositan en la prensa y comienza el ensayo. Los resultados (tabla 1.4) arrojaron que las dos muestras experimentales



alcanzaron la resistencia según normas, ante lo cual el autor propone la dosificación propuesta correspondiente al 25% de RUEPS.

- Propuesta de utilización de residuos de PVC de la fábrica Plásticos Cají maya en bloques huecos de hormigón, Nicot (2017).

En la investigación que se expone a continuación se emplearon residuos sólidos industriales de Poli cloruro de vinilo (RIPVC en lo adelante) generados en la Fábrica de Plásticos Cají maya Arcadio Leyte Vidal del municipio Mayarí como áridos para la fabricación de bloques huecos de hormigón. Para tomar las muestras fue necesario someterlas a un proceso de trituración y molienda, acción que se realiza en la propia industria en un molino de cuchillas fabricados por ellos. Se recogieron en total 63 kg en sacos de polietileno. Los cuales se trasladaron a los laboratorios de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas de Holguín (ENIA) y de la Empresa Provincial de Prefabricado de Holguín (EPPH) donde se realizó su caracterización a través de ensayos según normas.

Dentro de los ensayos catalogados como muy importantes se encuentra el ensayo granulométrico, tras un análisis de los resultados se argumentó que el residuo cumple con los requisitos como árida fracción 10-5 mm según norma establecida. Con el ensayo de pesos unitarios suelto y compactado se corroboró que el PVC es más liviano que los áridos naturales.

En el estado experimental fueron propuestos tres puntos para la sustitución de los áridos por RIPVC, el primer punto se concibió como la muestra patrón, el segundo punto con 25% de RIPVC y el tercer punto con un 50%. Los bloques se confeccionaron en la máquina de bloques Vibracom perteneciente a la bloquera de Guayacán del Centro de Producción de Materiales perteneciente a la Industria de la Agricultura (MINAGRI), se fabricaron un total de 32 bloques para las muestras con RIPVC, para las muestras patrón se tomaron 16 bloques de forma aleatoria de los destinados a la producción.

A todas las muestras se le comprobaron las dimensiones, donde se determinó que los valores están sobrepasados  $\pm 3\text{mm}$  de lo establecido en la norma, por lo que el autor concluyo que la máquina para la elaboración de los bloques se encuentra con



desperfectos en cuanto a sus dimensiones, pudiendo ser debido a sus años de explotación. Se determinó el peso de los bloques, concluyendo que las muestras con un 25% de RIPVC pesan un 8% menos en correspondencia con la muestra patrón, mientras que la muestra con 50% de RIPVC un 15% menos, algo positivo cuando de manipulación y transporte se trate.

En el ensayo de absorción se determinó que los bloques con 25% de RIPVC superan en absorción a los bloques con 50 %, algo esperado a partir de que contiene mayor cantidad de áridos naturales, no obstante, ambas muestras quedaron por debajo de la muestra patrón. Por último, se realizó el ensayo de resistencia a la compresión para determinar el esfuerzo máximo hasta la rotura de las muestras, este ensayo lo realizó el autor en los laboratorios de control de calidad a materiales de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas de Holguín (ENIA) a la edad de 28 días de elaborados. El ensayo concluyó (Tabla 1.5) que las muestras en estudio superaron la resistencia mínima a la compresión para la categoría de bloques III. Concluyendo que los bloques huecos de hormigón con 50% de RIPVC es la que mejores resultados obtuvo, siendo esta la que además consume menor cantidad de áridos naturales.

Tabla 1.5 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días para muestras con RIPVC

Lote	Resistencia a compresión	Muestras			Sumatoria	X (Media)	NC 247-2010
		1	2	3			
Patrón	Carga aplicada (Kn)	182	218	187	587	195.67	2.5
	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	423.15	423.15	417.04	1263.34	421.11	
	Resistencia (MPa)	4.30	5.15	4.48	13.93	4.64	
PVC 25 %	Carga aplicada (Kn)	225	150	212	587	195.67	2.5
	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	417.04	410.97	406.98	1234,99	411,66	
	Resistencia (MPa)	5,39	3,65	5,21	14,25	4,75	
PVC 50 %	Carga aplicada (Kn)	175	188	123	486	162	2.5
	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	406.98	410.97	417.04	1234,99	411,66	
	Resistencia (MPa)	4,29	4,57	2,95	11,81	3,94	

Fuente: Nicot (2017).



- Producción de bloques huecos de hormigón con residuos plásticos de la fábrica de tubos de Holguín, Hernández (2017).

La fábrica de tubos HOLPLAST del Ministerio de la Construcciones, ubicada en el municipio de Holguín, tiene un volumen de producción de 150 ton mensuales de tubos de polietileno de alta densidad (PEAD), generando un 3% de residuos, lo que equivale a 4,5 ton aproximadamente de residuos sólidos industriales de polietileno de alta densidad (RIPEAD en lo adelante). Como todo material de Construcciones es preciso realizar una serie de ensayos para adecuarlo a las normas cubanas, entre los ensayos que no pueden faltar se encuentra el de granulometría, para realizar el mismo y obtener la granulometría normada, se tomaron dos muestras aleatorias procediendo a depositarla en los tamices, posteriormente se seleccionan ciertas granulometrías de ambas, se mezclan nuevamente y se tamizan para comprobar que el % pasado cumple lo normado. A continuación, se realizó el ensayo de pesos unitarios suelto y compactado, comprobando que el RIPEAD es más ligero que los áridos convencionales.

Para realizar la combinación considerada ideal entre dos tipos de áridos, en este caso la combinación de los áridos naturales y RIPEAD se realizó mediante el método del nomograma o del rectángulo hasta obtener la combinación "ideal", para la dosificación de la mezcla se empleó el método propuesto por el científico Cubano Vitervo O'Reilly. Obtenidos los datos de los métodos anteriores se toman tres puntos experimentales, el primero determinado como muestra patrón y con el que se comprobaran los resultados de los otros dos puntos experimentales, el segundo con 20% de RIPEAD y el tercero con 30%.

Obtenidas las dosificaciones se fabricaron los bloques, tomándose 16 muestras para cada punto de control. Una vez culminado el tiempo de curado son trasladados hasta el laboratorio de control de materiales de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas en Holguín para realizarle los ensayos y comprobaciones. El primero fue la de las mediciones comprobando que se encuentran dentro de lo estipulado en las normas. En el pesado de las diferentes muestras de bloques se probó la hipótesis planteada de que al emplear RIPEAD sería más ligeros, con respecto a las muestras



patrón los que contienen un 20% quedaron por debajo en un 10%, mientras el punto de control del 30% se mantuvo por debajo en un 15%, lo cual es muy beneficioso para los albañiles en su labor, así como para los transportistas.

En cuanto al ensayo de absorción de agua tras ser sumergidos en agua 24 horas, ofrecieron resultados esperados, las muestras con RIPEAD absorbieron un % menor, que la muestra original, las que contienen el 20% consiguió un 4% y el 30% alcanzó un 3% menos. Por último, se realizó el ensayo de resistencia a la compresión para determinar el esfuerzo hasta la rotura de las muestras. El mismo se realizó en los laboratorios de control de calidad a materiales de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) a la edad de 28 días de elaborados y una vez realizado el caping se depositan en la prensa y comienza el ensayo. Los resultados del ensayo (Tabla 1.6) concluyeron que ambas muestras con RIPEAD alcanzaron la resistencia especificadas en normas para estos tipos de bloques, la autora propone que la dosificación conteniendo un 30% de RIPEAD es la más adecuada al reducir un 30% de áridos naturales, contribuyendo a mitigar el impacto negativo que ejercen los mismos sobre el medio ambiente.

Tabla 1.6: Media de los bloques de RIPEAD

<b>Muestras %</b>	<b>l (mm)</b>	<b>b (mm)</b>	<b>H (mm)</b>	<b>Masa (Kg)</b>	<b>R'i (Resistencia) (MPa)</b>	<b>% de absorción</b>
<b>20</b>	399,7	102	198	10706,6	2,65	4,83
<b>30</b>	398	102,33	198,33	10528,3	2,62	5

Fuente: Hernández (2017).

- Propuesta de utilización de escorias siderúrgicas en la fabricación de bloques huecos de hormigón. Tabera (2018).

La investigación realizada por Tabera Fuentes, J.A (2018) analiza los residuos industriales generados en la planta de aceros inoxidables ACINOX de la provincia de Las Tunas. Una vez obtenido el acero se genera un tipo de residuo industrial denominado residuo industrial de escoria negra de acería de arco eléctrico (RIENAE en lo adelante), del cual se generan aproximadamente más de 10 000 ton al año. Estas se vierten diariamente en lugares de depósito a la intemperie, ocupando



grandes áreas, creando gastos considerables por concepto de transporte y almacenamiento. Razones que argumenta el autor para realizar esta investigación, avalada por numerosa bibliografía del ámbito local, nacional e internacional.

La toma de las muestras se realiza en el relleno sanitario distante 800 m de la planta, se escogieron puntos aleatorios que presentan mayor aspecto de envejecimiento, siguiendo los criterios de personas que trabajan en el lugar. Se recogen 120 Kg en sacos de nylon grueso. Se trasladan hasta el laboratorio de control de calidad a materiales de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) donde se realizaron todos los ensayos. Antes de realizar los ensayos fue necesario triturar la RIENAE, actividad que se realizó en un molino de martillo perteneciente a la Empresa Constructora de Obras del Poder Popular de Holguín.

Es una característica que aquel material que su fin sea ser valorado como árido como en este caso la RIENAE, será necesario además analizar su granulometría, por tal motivo se realizaron cinco ensayos después de la trituración hasta obtener el porcentaje pasado y logrado según se especifica en normas. La determinación del cálculo del módulo de finura mostró resultados de 3.54, coincidiendo con el rango establecido en normas. El ensayo para determinar el material más fino que el tamiz de 0,074 mm (No. 200) reveló un 3,53% cumpliendo lo normado para los áridos. Los resultados de los ensayos pesos específicos y volumétricos corroboraron que la RIENAE presenta un mayor peso debido fundamentalmente a su origen y contenido de impurezas metálicas. En el caso de la absorción de agua se comportó por debajo de los áridos convencionales, mientras el % de vacío o de huecos presentó valores similares.

El diseño de las dosificaciones para el hormigón con el que se fabricaran los bloques huecos de hormigón se realizó mediante el método del científico Cubano Vitero O'Reilly, obteniéndose tres puntos de control, el primero se determinó sea la muestra patrón con la que se verificaran los resultados de los puntos restantes, el segundo punto con un 20% de RIENAE y el tercero con un 40%. Los bloques fueron confeccionados en un taller perteneciente a un trabajador por cuenta propia ubicado



en el Reparto San Field, se tomaron 18 bloques para cada punto de control, para un total de 54 muestras, las cuales fueron trasladadas al laboratorio antes mencionado, El primer ensayo fue el de comprobar que las dimensiones de los bloques huecos de hormigón se encuentren dentro de los rangos establecidos. En cuanto a la determinación del peso se corroboró que los bloques en estudio con RIENAE resultaron más pesados que la muestra patrón, no obstante, la diferencia como se observa en la tabla 1.7 no es significativa. En cuanto al porcentaje de absorción de los tres puntos de control mostró un comportamiento similar, es meritorio observar que las normas no indican el porcentaje de absorción a evaluar.

Tabla 1.7 Resultados del pesaje de los bloques huecos de hormigón.

Lote	Peso de Muestras (Kg)			Sumatoria	X (Media)
	1	2	3		
<b>Patrón</b>	10.80	11.20	12.20	34.20	11.40
<b>RIENAE 20 %</b>	12.13	11.52	11.28	34.93	11.47
<b>RIENAE 40 %</b>	11.18	11.53	11.70	34.41	11.64

Fuente: Tabera (2018)

Por último, se realiza el ensayo que determinará si los bloques huecos de hormigón con residuo industrial de escoria negra de acería de arco eléctrico se podrán emplear en la Construcciones. Una vez culminado se apreció que los resultados fueron positivos a partir de que las muestras con RIENAE superan la resistencia que establece la norma para estos productos. Concluyendo que los bloques huecos de hormigón con residuo industrial de escoria negra de acería de arco eléctrico pueden emplearse en la esfera de la Construcciones.

- Producción de bloques huecos de hormigón con residuos plástico de tereftalato de polietileno. Guerra (2018).

Cómo aprovechar los residuos plásticos PET en la producción de bloques huecos de hormigón, disminuyendo el consumo de áridos y la contaminación ambiental, fue la interrogante planteada para realizar la investigación que se expone. El tereftalato de polietileno, politereftalato de etileno, polietileno tereftalato o polietileno tereftalato (más conocido por sus siglas en inglés PET, polyethylene terephthalate) es un tipo de



plástico muy usado en la preservación de alimentos y bebidas carbonatadas. Estos envases una vez concluida su vida de servicio son desechados y pasan a formar parte de los residuos sólidos urbanos (RSU). Los mismos tienen un periodo de descomposición que puede llegar a 450 años o más, los cuales son además intratables y generan grandes volúmenes, por lo que su almacenamiento se ha vuelto un problema no solo de Cuba sino internacional.

Al no existir en la provincia de Holguín una planta de reciclado de este material, el proceso de preparación del PET fue elaborado casi en su totalidad manualmente, las etapas para la preparación del material consistieron en; Recogida del Material, Clasificación y separación del Material, limpieza, molido o triturado del Material:

La forma final después del molido del residuo sólido urbano de tereftalato de polietileno (RUPET en lo adelante) no permite su clasificación como árido, por lo cual no se realizó el ensayo granulométrico, igual suerte corrieron los ensayos reaccionados con el pesaje. El autor para obtener una guía de referencia realizó el pesaje de distintos tipos de formas y capacidad para conocer la cantidad aproximada de RUPET que estas ocupan.

Para realizar la combinación considerada ideal entre dos tipos de áridos, en este caso los áridos naturales se realizaron mediante el método del nomograma o del rectángulo, para la dosificación de la mezcla se empleó el método propuesto por el científico Cubano Vitervo O'Reilly. De los métodos anteriores se propusieron tres puntos de control el primero como muestra patrón y los restantes con un 8% y 12% de RUPET respectivamente. Los bloques huecos de hormigón fueron elaborados en una mini industria de materiales y productos de la Construcciones situada en la Carretera San German en las afueras de la ciudad de Holguín, propiedad de un trabajador por cuenta propia. Se tomaron 18 bloques para cada punto de control, para un total de 54 muestras, las cuales transcurrido el proceso de curado se trasladan hasta el laboratorio de control de calidad a materiales de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas de Holguín (ENIA) donde se realizaron todos los ensayos.



Una vez realizadas las mediciones los valores obtenidos arrojaron que estaban sobrepasados  $\pm 3\text{mm}$  de lo establecido en la norma, por lo que se valora que la máquina para la elaboración de los bloques se encuentra con desperfectos en cuanto a sus dimensiones, pudiendo deberse a sus años de explotación, además en algunos casos presentaron alteraciones en cuanto a la paralelabilidad de sus caras. El ensayo del pesaje de los bloques indicó que la muestra con 12% de RUPET era más ligera en un 12%, mientras la portadora del 8% no mostro diferencia. Tras ser sumergidos las muestras por 24 horas en agua, se extraen y son sometidos nuevamente al pesaje, se determinó que entre la muestra patrón y la portadora del 12% no hubo apenas diferencia, pero con respecto a la portadora del 12% de RUPET la diferencia consistió en un 26%. Trascurridos los 28 días se procede a realizar el ensayo de resistencia a la compresión hasta la rotura, resultando que los valores de resistencia de las muestras fueron satisfactorios con respectos a lo exigido por las normas.

### **Conclusiones del capítulo**

El análisis realizado en los epígrafes anteriores, condujo a plantear las siguientes conclusiones, respecto al estado del arte sobre la fabricación de bloques huecos de hormigón con residuos existen suficientes investigaciones que demuestran la factibilidad de emplear estos residuos y obtener resistencias similares a los bloques con áridos naturales. En la bibliografía internacional consultada se aprecia una profunda preocupación en la temática. La compilación de las investigaciones realizadas en el Departamento de Construcciones de la Universidad de Holguín sobre el empleo de residuos sólidos urbanos en la fabricación de bloques huecos de hormigón, brinda la posibilidad de contar con diferentes investigaciones en un solo documento.



## **CAPÍTULO II. ELABORACIÓN DE UNA FICHA PARA EL EMPLEO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS E INDUSTRIALES EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN**

Introducción al capítulo.

En este capítulo se pretende ofrecer solución al problema científico a través de la propuesta de una ficha. Esta dará solución al objetivo de compilar en un documento las investigaciones del Departamento de Construcciones en la producción de bloques huecos de hormigón con residuos sólidos urbanos e industriales, que contribuya a la socialización de soluciones y diversificación de materiales y productos de la Construcciones para el programa de Viviendas.

### **2.1. Concepciones para la elaboración de una ficha para el empleo de residuos sólidos urbanos e industriales en la fabricación de bloques huecos de hormigón.**

La concepción de una ficha el empleo de residuos sólidos urbanos e industriales en la fabricación de bloques huecos de hormigón. Necesita primeramente establecer las herramientas que permitan definir los fundamentos científicos y ofrecer las posibles soluciones que den respuesta a la problemática planteada. La ficha debe de concebir un proceso que facilite las políticas de desarrollo económico, científico-tecnológico, y a las exigencias de protección del medio ambiente. Estos se materializan a través de premisas, propiedades de los residuos sólidos, y la contextualización de algunas de sus dimensiones. A continuación, se desarrollan cada uno de estos criterios:

- Propiedades de los residuos sólidos en la fabricación de bloques huecos de hormigón

Cuando se analiza un material de Construcciones es preciso caracterizarlo a través de propiedades, las cuales son inherente no solo al tipo de material sino al producto que se obtiene a partir de su utilización. Para adecuar esas propiedades existen las normas, las que proporcionan los rangos idóneos o ideales de los cuales se parte, permitiendo la toma de decisiones en cuanto a su valoración y posterior utilización. Los residuos sólidos en su valoración tienen que evaluarse mediante variables físicas, químicas y mecánicas, de cuyos resultados se decide o no su empleo.



- Contextualización de algunas de sus dimensiones
  - Concepción económica

El empleo de residuos sólidos urbanos e industriales en la fabricación de bloques huecos de hormigón, debe considerar las políticas de desarrollos económicos y científico-tecnológicos, entrelazadas con las exigencias de protección del medio ambiente y el uso sostenible de los recursos naturales y sociales. Valorizar los residuos de tal forma que su gestión alcance niveles aceptables de autofinanciamiento. Promover el desarrollo de la industria de reciclaje de los materiales recuperados.

- Concepciones medioambientales

Desde esta concepción se pretende mejorar el uso del suelo, al aumentar el tiempo de vida de los rellenos sanitarios y disminuir los impactos negativos de la disposición final incontrolada. Propiciar la conservación de los recursos naturales para la demanda futura, por medio del mejoramiento de la gestión de los residuos sólidos urbanos e industriales, permite incrementar el potencial de utilización de los recursos de la naturaleza. Además, Proteger los ecosistemas naturales del impacto producido por la disposición de los residuos y los efectos de los lixiviados, es impedir la afectación de la salud humana.

## **2.2. Propuesta de ficha para el empleo de residuos sólidos urbanos e industriales en la fabricación de bloques huecos de hormigón.**

Una vez analizados los fundamentos teóricos y metodológicos, las experiencias foráneas y nacionales tanto en la fabricación de bloques huecos de hormigón con residuos sólidos urbanos e industriales como de las propuestas de fichas contenidas en manuales, así como la contextualización de algunas dimensiones y propiedades de los residuos en la fabricación de bloques se propone la organización de la ficha mediante una serie de cinco (5) pasos y seis (6) fases como se muestra en la figura 2.1



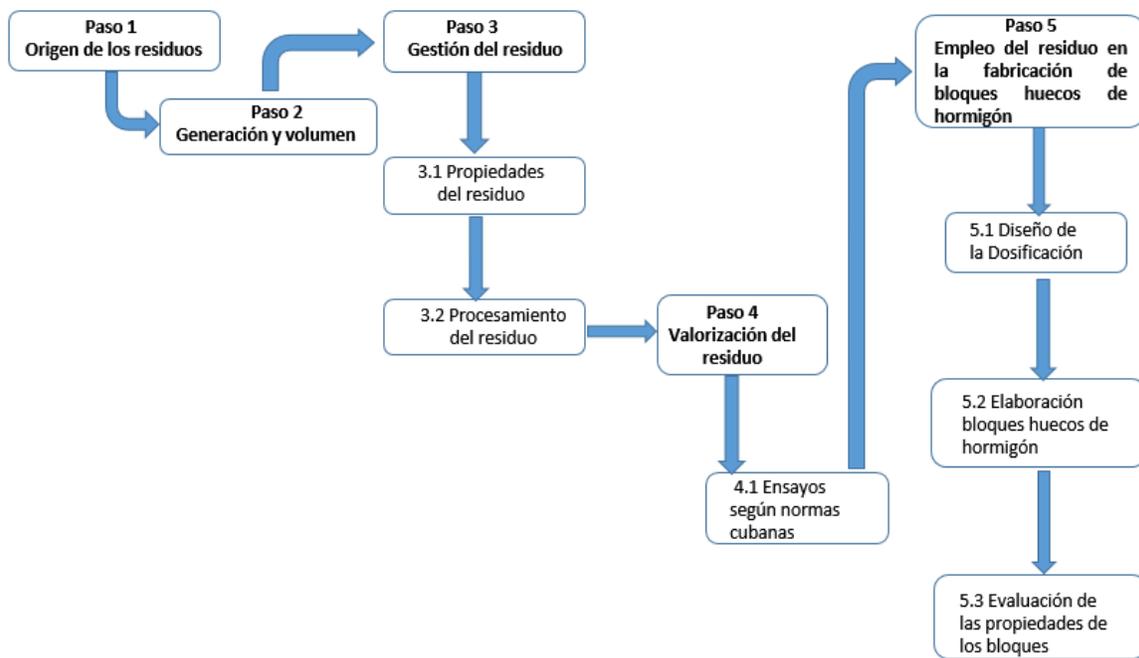


Figura 2.1 Pasos para la confección de la ficha para el empleo de residuos sólidos urbanos e industriales en la producción de bloques huecos de hormigón

Fuente: Adaptado de CEDEX (2013).

### **Paso 1. Origen de los residuos**

Permite el diagnóstico del estado actual del manejo de los residuos independientemente de su clasificación. Se apoya en la forma o proceso de gestión ambiental existente, sino existiera, estos pasos sentarían las bases para su confección desde el punto de vista del usuario o cliente del producto elaborado.

### **Paso 2. Generación y volumen**

Permite evaluar la generación de los residuos, determinar estadística o experimentalmente la distribución porcentual de los volúmenes en un periodo de tiempo determinado, lo que posibilita conocer su disponibilidad.

### **Paso 3. Gestión del residuo**

Esta etapa permite conocer particularidades del residuo como, materias primas que lo componen y su distribución dentro de ellos. Variables, físicas químicas, mecánicas o biológicas, así como otras cualidades o características intrínsecas del residuo, lo cual permite proponer los métodos para su procesamiento, dentro de los que se



podieran incluir, mecánico, químico, térmico. Se define además su forma y tiempo de almacenamiento, así como plantas de transferencias en caso que sea necesario.

### 3.1 Propiedades del residuo

Determinar las propiedades o característica propias del residuo en su estado original antes de su procesamiento, desde el punto de vista del usuario del producto terminado. Además, permite determinar la tecnología para su procesamiento. Si las herramientas citadas anteriormente no han podido ayudar a clasificar el residuo o no se cuenta con suficiente información, podrá optarse por la caracterización del residuo a través de un laboratorio externo. Todo lo anterior posibilita proponer la vía más factible para su valorización.

### 3.2 Procesamiento del residuo

Se realiza el procesamiento de los residuos, pudiendo ser por tecnología, mecánica, químico o térmica, según requerimientos del cliente del producto final.

## **Paso 4. Valorización del residuo**

En esta etapa se analiza el residuo desde el punto de vista como material de Construcciones, según normativa vigente.

### 4.1 Determinar propiedades como material de Construcciones

Cuando se analiza un material de Construcciones es preciso caracterizarlo a través de propiedades, las cuales son inherentes no solo al tipo de material sino al producto que se obtiene a partir de su utilización. Para adecuar esas propiedades existen las normas, las que proporcionan los rangos idóneos o ideales de los cuales se parte, permitiendo la toma de decisiones en cuanto a su valoración y posterior utilización.

Se determinan las propiedades de los residuos, para su posible uso, para bloque hueco de hormigón, a través de realizar los siguientes ensayos de laboratorio.

- Análisis granulométrico

Puede realizarse mediante distintos procedimientos. Sin embargo, en la práctica de la Construcciones se determina mediante el método de tamizado, considerando los



tamices normados. O sea, se separan las partículas del material ensayado por fracciones de tamaño, en función de la abertura de los orificios de los tamices usados. Para ello se deberá considerar los límites de la fracción nominal, la abertura de malla de los tamices y el por ciento pasado según lo establecido en la tabla 2.1.

Tabla. 2.1. Granulometría del árido fino

Límites de la fracción (mm)		Abertura de malla de tamices normalizados	(% pasado)
Nominal	Equivalente		
5 – 0,15	4,75 – 0,150	9,5 mm	100
		4,75 mm	90-100
		2,36 mm	70-100
		1,18 mm	45-80
		600 μ	25-60
		300 μ	10-30
		150 μ	2-10

Fuente: NC 251:2013

- Módulo de finura (MF): se determinará por la ecuación 2.1

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Retenido acumulado en los tamices normados}}{100} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Dónde: los tamices normados serán: 76,2 mm (3"); 38,1 mm (1,5"); 19,1 mm (¾"); 9,52 mm (3/8"); 4,76 mm (# 4); 2,38 mm (# 8); 1,19 mm (# 16); 0,59 mm (# 30); 0,297 mm (# 50); 0,149 mm (# 100) (NC 251: 2013).

La clasificación se realizará según lo establecido en la tabla 2.2.

Tabla 2.2. Clasificación del Módulo de finura

Módulo de finura	Clasificación
------------------	---------------



MF < 2.20	Arena fina
2.20 < MF < 3.20	Arena media
3.20 < MF < 6	Arena gruesa
MF > 6	Árido grueso

Fuente: Adaptado de NC 251: 2013

- Tamaño máximo

Se determinará según la abertura del tamiz inmediato superior al tamiz que presenta un por ciento retenido acumulado igual o mayor de 15. Para esto se utilizan, además de los tamices normados, tamices adicionales.

- Peso específico corriente, saturado sin humedad superficial y aparente

La masa o peso específico de un material cualquiera se ve afectado por el grado de humedad que posea el mismo. Los pesos específicos corriente, saturado y aparente se determinan tanto para los áridos fino como para los gruesos, según las Normas Cubanas (NC) NC 186:2002 y NC 187:2002, respectivamente, las que plantean resumidamente que se obtienen después de secar en la estufa a temperatura de 105-110 °C por 24 horas, sumergir en agua también durante 24 horas, secar superficialmente y pesar, por último, pesar sumergido en agua en la balanza hidrostática. A pesar de que la NC 251:2013 establece que el peso específico será superior a 2.5 g/cm<sup>3</sup>, hay que tener en cuenta el origen de este material, pues proviene de las impurezas de la chatarra que se emplea para fabricar el metal. Lo anterior es una alerta ya que al emplearse como material de Construcciones puede provocar segregación en la mezcla.

- Por ciento de absorción de agua, se determinará por la ecuación 2.2.

Las Normas Cubana NC 186:2002 y la NC 187:2002 establecen los parámetros para determinar la absorción de agua en los áridos finos y gruesos respectivamente.

$$\text{Por ciento de absorción} = \frac{B - A}{A} \times 100\%$$

Ecuación 2.2



Dónde: A: Peso en gramos de la muestra secada en la estufa

B: Peso en gramos de la muestra saturada con superficie seca

La NC 251-2013 establece que la absorción, generalmente, no superará el 3% de la masa seca del mismo.

- Por ciento de huecos, se determinará por la ecuación 2.3.

El porcentaje de huecos en los áridos se determina según la NC 177-2002 con arreglo a la fórmula siguiente:

$$\text{Por ciento de huecos} = \frac{PEC - PVC}{PEC} \times 100\% \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Dónde: PEC= Peso específico corriente del árido (g/cm<sup>3</sup>)

PVC= Peso volumétrico compactado del árido (g/cm<sup>3</sup>)

- Peso volumétrico unitario

La NC 181:2002, establece los requisitos a seguir para determinar el peso volumétrico unitario, a través de recipientes con determinadas dimensiones (tabla 2.3), denominándose peso volumétrico unitario suelto y compactado, dependiendo del sistema de acomodamiento que se le haya dado al material y pesado inmediatamente después de la prueba.

Tabla 2.3. Dimensiones de los recipientes para determinar el peso volumétrico unitario

Tamaño de las medidas			
Tamaño Máximo del árido (mm)	Capacidad de la medida (litros)	Dimensiones en mm	
		Diámetro interior	Altura interior
Hasta 9,52	3	152	165
Hasta 38,1	15	254	296
Hasta 102	30	355	303

Fuente: NC 181:2002.

- Material más fino que el tamiz 75 μ (No. 200)

La NC 251-2013 establece los límites de material más fino que el tamiz 75 μ (No. 200), tanto para el árido grueso como para el fino. En cuanto al árido grueso permite



hasta un 1,5 % si el árido está libre de arcilla y esquisto. En el caso del árido fino se determinará con arreglo a la siguiente fórmula:

$$Lp = \frac{1+P}{(100-P)} \times T - A$$

Ecuación 2 .4

Donde:

Lp: Límite del contenido de tamiz de 75 μ (No. 200) especificado en el árido grueso (%)

P: Porcentaje de árido fino con relación al peso total de áridos.

T: Límite del contenido de tamiz de 75 μ (No. 200) especificado en el árido fino (%)

A: Contenido real de tamiz de 75 μ (No. 200) en el árido fino.

Tabla 2.4. Material más fino que el tamiz de 75 μ (No. 200) en los áridos finos

Tipos de arena	Tipos de hormigones	Tamiz de 75 μ (No. 200) %
Áridos finos	Hormigones sometidos a ambientes agresivos	3
	Todos los restantes hormigones	5

Fuente: Adaptado de NC 251:2013

Esta misma norma establece que bajo ninguna circunstancia los áridos finos podrán tener una cantidad mayor que lo que se especifica en la Tabla 2.4.

### **Paso 5. Empleo de los residuos en la fabricación de bloques huecos de hormigón**

Una vez determinadas y evaluadas las propiedades del residuo como resultado de los ensayos realizados se realizan dosificaciones para la elaboración de bloques huecos de hormigón, teniendo en cuenta las especificaciones de la NC 247:2010 Bloques huecos de hormigón. Especificaciones.



### 5.1 Diseño de las dosificaciones

Diseño de las dosificaciones de hormigón, se puede realizar por los métodos tradicionales, teniendo en cuenta la resistencia según normativa vigente para los distintos tipos de BHH.

### 5.2 Elaboración de bloques huecos de hormigón.

Las fábricas productoras de bloques cuentan con tecnología de punta para obtener productos de excelente calidad, existen además productores particulares denominados cuenta propia que han desarrollado máquinas para su confección. En cualquiera de los casos se deben de observar las medidas para garantizar la calidad de los BHH.

### 5.3 Evaluación propiedades de bloques huecos de hormigón con residuos

Los bloques una vez terminados tienen que cumplir requisitos de calidad según la NC 247:2010, dentro de los que se hallan:

- Superficie: Los bloques no deben tener fisuras en sus 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.
- Forma: Los bloques con respecto a la rectitud de aristas y planeidad de caras, cumplirán con las condiciones indicadas en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5. Formas

<b>Condiciones en por ciento</b>	<b>– Rectitud de aristas</b>	<b>– Planeidad de caras</b>
<b>Bloques cara vista</b>	– Flecha máxima 0,5	– Flecha máxima 0,5
<b>Bloques a revestir</b>	– Flecha máxima 1	– Flecha máxima 1
<b>NOTA:</b> Estas limitaciones no son aplicables a caras de bloques cizallados.		

Fuente: NC 247: 2010 Bloques huecos de hormigón

- Dimensiones y tolerancias: Los bloques deberán adaptarse preferentemente en sus dimensiones nominales y de fabricación, a los valores establecidos en la norma (Tabla 2.6).



Tabla 2.6. Dimensiones principales y tolerancias admisibles

<b>Tipos de Bloques</b>	<b>Longitud (±3 mm )</b>	<b>Base (±3 mm )</b>	<b>Altura (±3 mm )</b>
<b>I</b>	495	200	195
	395		
<b>II</b>	495	150	
	395		
<b>III</b>	495	100	
	395		
<b>IV</b>	495	65	
	395		

Fuente: NC 247: 2010 Bloques huecos de hormigón

- Absorción: Los bloques tendrán un valor de absorción de agua entre el 8 y 10 %, si son categoría I y II respectivamente, mientras que las III y IV no las define la norma.
- Características mecánicas: Las características mecánicas de los bloques de hormigón, de acuerdo con su tipo se establecen en la norma (Tabla 2.7).

Tabla 2.7. Índices físico mecánico

<b>Tipo de bloque</b>	<b>Resistencia a la compresión</b>		
	<b>Rc mínima a los 7 días</b>	<b>Absorción máxima</b>	<b>Rc mínima a los 28 días</b>
	<b>MPa</b>	<b>%</b>	<b>MPa</b>
<b>I</b>	5,6	8,0	7,0
<b>II</b>	4,0	10,0	5,0
<b>III</b>	2,0	-	2,5
<b>IV</b>	2,0	-	2,5

Fuente: NC 247: 2010 Bloques huecos de hormigón

### 2.3. Estudio de caso para la elaboración de ficha para el empleo de residuos sólidos urbanos e industriales en la fabricación de bloques huecos de hormigón.

Ejemplo de aplicación de la ficha para el empleo de residuos sólidos urbanos de tereftalato de polietileno en la fabricación de bloques huecos de hormigón (Guerra, 2018).





## RESIDUOS DE PET

### **PASO 1. ORIGEN DE LOS RESIDUOS**

Los Residuos sólidos plásticos urbanos (RSPU) empleados para obtener el material plástico reciclado pueden proceder de diferentes aplicaciones, no obstante, la procedencia de los mismos está basada en dos grandes fuentes (CEDEX, 2010).

- Residuos procedentes de los procesos de fabricación, es decir, residuos que quedan al pie de la máquina, tanto en la industria petroquímica como en la transformadora.
- Residuos procedentes de la masa de residuos sólidos urbanos (RSU). Éstos se dividen a su vez en tres clases:
  - Residuos plásticos de tipo simple, los cuales se clasifican y separan en distintas clases.
  - Residuos mixtos, se definen como la mezcla de diferentes tipos de plásticos.
  - Residuos plásticos mixtos combinados con otros residuos tales como papel, cartón, metales.

El caso de estudio es el residuo sólido urbano de tereftalato de polietileno recolectado en los vertederos de la ciudad de Holguín.



## **PASO 2. GENERACIÓN Y VOLUMEN**

El consumo y utilización de materias plásticas ha experimentado un notable crecimiento en los últimos treinta años. Esta positiva evolución está directamente relacionada con la gran versatilidad de los productos y con un número prácticamente ilimitado de aplicaciones por lo que es uno de los productos más comerciados en el mundo (PlasticsEurope, 2018).

En Cuba el consumo de plásticos se ha incrementado en las tres últimas décadas, lo que ha conllevado un aumento en el número de residuos. Según el anuario estadístico de Cuba 2020, Medio Ambiente, edición 2021, en el 2020 se recolectó 5169.2 miles de toneladas de residuos sólidos, de ellos se reciclaron 467.1 miles de toneladas, y correspondieron a materiales plásticos 9 402.80 toneladas para un 1.81% del total. Debido a su bajo peso específico, los residuos plásticos ocupan grandes volúmenes, por lo que su almacenamiento requiere de amplios espacios.

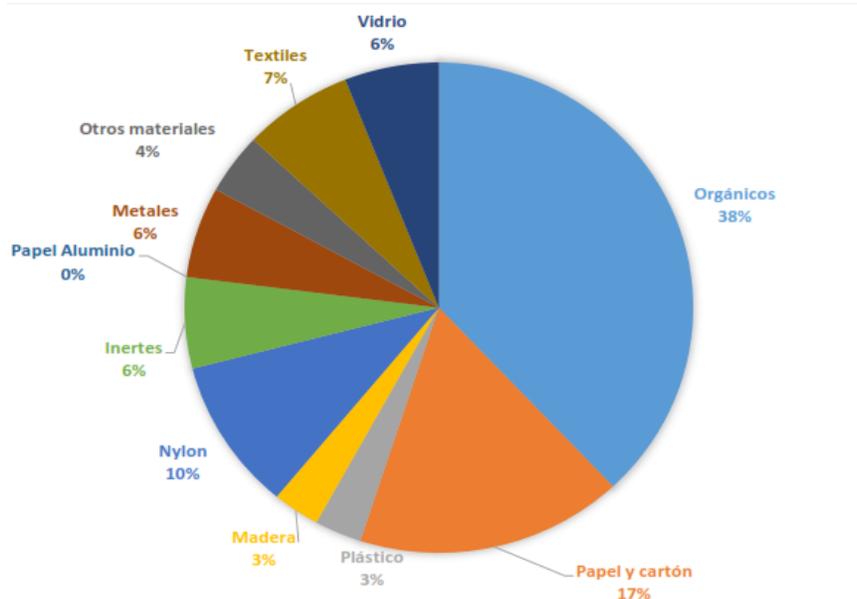


Fig. 2.1 Composición de los residuos sólidos urbanos en el vertedero Municipal Holguín

Fuente: Rodríguez. (2011)

### **Ciclo de vida de las Botellas PET**

El ciclo de vida de un producto define las etapas que pasa un producto desde su nacimiento hasta su declive (Blogspot, 2008).



- El origen: Esta etapa concibe el proceso de transformación de resina PET en botellas y envases.
- La vida de la botella de PET: Su utilización, características y propiedades como envases, ventajas y desventajas para su utilización
- Como residuo: Etapa en la que los envases de PET terminan como residuos generando serios daños al medio ambiente, pues hasta el momento no se ha concebido tecnología alguna para su eliminación segura
- El reciclado: Última fase de su ciclo de vida donde el producto termina como residuo y es reciclado para ser reusados para el mismo u otro propósito.

Esta última etapa es además conocida como valorización, la cual consiste en evaluar a través de sus propiedades o características la mejor solución para ser empleado.

El reciclado de los residuos sólidos urbanos tanto los plásticos en general como el tereftalato de polietileno (PET en lo adelante) en Cuba está en una etapa incipiente estando focalizadas hacia la valorización de los propios residuos sólidos industriales de empresas transformadoras de plásticos y trabajos investigativos de algunos centros de investigación como las universidades de Holguín, de la Habana y de Las Villas; la principal limitación es la no existencia de tecnologías avanzadas para este fin. Por tanto, los trabajos realizados han estado dirigidos a la caracterización de polímeros, estudio de tecnologías de avanzadas para la valorización utilizadas en algunos países de Europa y América, de degradación de materiales plásticos y de materiales compuestos de matriz polimérica.

En el municipio de Holguín los residuos sólidos plásticos representan un 4% de los residuos sólidos urbanos vertidos. El reciclado y por ende la valorización de los residuos sólidos urbanos plásticos en el municipio Holguín se realiza por mediación de la Empresa de Industrias Locales Varias a través de transformadores artesanos con máquinas criollas. El número de estos artesanos luego de las medidas adoptadas para la liberación del trabajo por cuenta propia, aumentó considerable de 28 en el 2011, a 52 al finalizar el 2012.



### **PASO 3. GESTIÓN DEL RESIDUO**

#### 3.1. Propiedades del residuo

Los residuos PET generados en la ciudad de Holguín comparten las mismas propiedades o cualidades que los residuos PET generados en otras partes del mundo. Como el fin de su valorización es como material de Construcciones, es preciso conocer sus características, y valorar su comportamiento en la interacción con los materiales que componen el bloque hueco de hormigón (BHH) como son, cementos, áridos y aditivos, otro aspecto a considerar es valorar su durabilidad en comparación con los BHH.

- Resistencia a los agentes químicos.

El PET es una poliolefina de alto peso molecular con una estructura apolar similar a la de los hidrocarburos parafínicos, por lo que les proporciona una excelente resistencia a los agentes químicos.

- Resistencia al ataque de microorganismos y roedores.

El PET no sufre agresión microbiana apreciable, ni constituye terreno de cultivo para la proliferación de bacterias, hongos, etc. Las bacterias reductoras de sulfatos existentes en el subsuelo no ejercen ninguna influencia sobre el PET. No es digerible por los roedores, por lo que no sufre el ataque de los mismos. Además, su superficie redondeada y lisa no ofrece posibilidades a la mordedura de los roedores.

- Estabilidad a la intemperie.

Al igual que la mayoría de productos naturales y de plástico, el PET puede deteriorarse si permanece durante mucho tiempo a la intemperie, debido principalmente al componente ultravioleta de la luz solar y al oxígeno del aire. Para evitar tal inconveniente está protegido mediante la adición, junto con estabilizadores, como aminas aromáticas o derivados fenólicos, que contrarrestan su eventual envejecimiento térmico. Ello garantiza que este material pueda almacenarse o utilizarse durante mucho tiempo a la intemperie, sin que sea de temer que sus características se alteren.



- Comportamiento frente a la acción de las llamas.

El PET se enciende bajo la acción del fuego y continúa ardiendo con llama poco brillante, incluso después de haberlo apartado de aquel, desprendiendo gotas de material inflamado. Como ocurre durante la combustión de los hidrocarburos, desprende CO, CO<sub>2</sub> y agua siendo categorizado como material combustible de muy baja propagación de llama.

- Módulo de elasticidad bajo.

El PET es un material que no es elástico ni plástico, por lo que no se le pueden aplicar las leyes puras de la mecánica clásica. Es un material visco elástico que como todos los termoplásticos, presenta la característica de irse plasto deformando con el tiempo, a temperatura ambiente y bajo carga. Cuando deja de actuar esta última, las piezas recuperan más o menos su forma original, según la magnitud de la carga y el tiempo que haya actuado.

- Características térmicas.

Las deformaciones térmicas son absorbidas por el material sin la creación de tensiones apreciables. Por otra parte, el aislamiento térmico del polietileno reduce el riesgo de rotura frágil en caso de heladas. La capacidad elástica del material soporta condiciones mucho más desfavorables que otros materiales.

- Resistencia a la abrasión.

El PET demuestra una gran resistencia a la erosión por rozamiento con materiales abrasivos. La escasa rugosidad del material reduce el coeficiente de rozamiento y, con ello, la abrasión de las superficies. La resistencia a la abrasión es mayor que la del acero.



A raíz de las propiedades observadas en los PET se pueden considerar como alternativas para realizar su valoración como en la fabricación de BHH.

### 3.2. Procesamiento del residuo



El reciclado mecánico es el sistema más utilizado para el procesamiento de este residuo, el cual consiste en la transformación de los residuos en fibras, los que servirán para la fabricación BHH. Es muy importante que su composición sea homogénea, para lo cual la clasificación minuciosa juega un papel preponderante. Los residuos ideales deben ser de un tamaño medio o superior, como las botellas de bebida, recipientes de alimentos u otros productos de uso doméstico. Este proceso comienza cuando el material llega al centro de procesamiento donde será lavado y secado, para evita que se mezclen impurezas. Una vez limpios, se someten a una trituración en máquinas de molienda para reducir el tamaño de partículas, lo que facilita los subsiguientes procesos de conformación del BHH.

#### **PASO 4. VALORIZACIÓN DEL RESIDUO**

##### 4.1 Determinación propiedades como material de Construcciones

- Resultados del ensayo de granulometría

Tabla 2.8. Resultado del ensayo análisis granulométrico

<b>Tamiz</b>	<b>% pasado</b>
<b>12.70</b>	100.0
<b>9.50</b>	99.60
<b>4.75</b>	22.40
<b>2.36</b>	3.00
<b>1.18</b>	1.80
<b>0.60</b>	1.10
<b>0.30</b>	0.70
<b>0.15</b>	0.50

Fuente: Guerra (2018)

Como se observa en la tabla anterior una vez realizado por duplicado el ensayo granulométrico se aprecia que la granulometría no cumple como árido para las normas cubanas actuales.

- Ensayos botellas PET

Para lograr un mejor resultado en la dosificación y tener una idea más clara de cuantas botellas de PET se necesitaría para la fabricación de una cantidad dada de bloques, se realizó el pesaje de distintos tipos de botellas de PET de diversas formas



y capacidad para poder tener la cantidad aproximada de material PET que estas ocupan. Las muestras se realizaron con los envases PET que más abundan en la ciudad de Holguín, estos fueron pesados y se les promedió su peso según su capacidad de contenidos, en este caso en litros.

Tabla 2.9. Resultado de los pesajes de botellas de PET

<b>Capacidad de las Botellas (litros)</b>	<b>Peso de las botellas (g)</b>
<b>0.5</b>	17.50
<b>1.0</b>	30.70
<b>1.5</b>	33.50
<b>2.0</b>	54.20
<b>5.0</b>	80.20

Fuente: Guerra (2018)

## **PASO 5. EMPLEO DEL RESIDUO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN**

### 5.1 Diseño de la dosificación

Una vez determinadas y evaluadas las propiedades de los residuos sólidos urbanos de tereftalato de polietileno como resultado de los ensayos realizados se diseñarán dosificaciones de mezclas para bloques huecos de hormigón teniendo en cuenta las especificaciones de la NC 247:2010. El bloque que se propone en este trabajo y el que se elaboro es el llamado de gafas de (400 x 100 x 2000cm) partiendo de que es el más utilizado en muros. Para determinar la dosificación exacta de los componentes de la mezcla de hormigón para la confección de los bloques se tuvieron en cuenta las siguientes concepciones primarias;

- Se prefijo la cantidad de agua inicial, teniendo en cuenta la experiencia de los operarios en la fabricación de los bloques.
- Se prefijo la cantidad de cemento inicial, teniendo en cuenta los índices de producción de la planta de bloques.
- Para la sustitución de los áridos por residuos de PET en las proporciones 8 % y 12%, se tuvo en cuenta los volúmenes añadidos las mezclas, considerando una relación del 56% para el polvo de piedra y 44% del granito.



- Se realizó el diseño de la mezcla de hormigón para  $1\text{m}^3$ , teniendo en cuenta un volumen de vacío del 2%.

Comenzando a realizar el diseño de los componentes:

- Cantidad de agua se definió por criterios de experiencia =  $135\text{ dm}^3$
- Cantidad de cemento =  $190\text{ kg}$

Conociendo la cantidad prefijada para el agua y cemento necesarias, se procede mediante la ecuación 1, a determinar los volúmenes necesarios para combinar las cantidades de áridos y residuos de PET en la mezcla. Debemos considerar que la suma de los volúmenes absolutos de los materiales componentes es de  $1000\text{ L}$  por lo que:

$$V_c + V_{ag} + V_{ar} + V_{vacío} = 1000L \quad \text{Ecuación 2.5}$$

Donde

$V_c$ : volumen de Cemento

$V_{ag}$ : volumen de agua

$V_{ar}$ : volumen de áridos (áridos finos y gruesos)

$V_{vacíos}$ : Volumen de poros en litros, se supone que para hormigones normales constituyen el 2%, por el aire atrapado en el proceso de manipulación.

En la ecuación 2 se tiene en cuenta el peso específico del cemento ( $\gamma_c$ )

$$V_{ar} = 1000 - \left( \frac{c}{\gamma_c} + V_{ag} + V_{vacío} \right) \quad \text{Ecuación 2.6}$$

El peso de los áridos combinados se despeja de la ecuación 3, y se procede a determinar los volúmenes de los materiales, prefijando las cantidades de cemento y agua como se mencionó anteriormente, con un porcentaje de vacío del 2%.

$$P_{ar} \times \left( \frac{\%A+PVC}{\gamma_a} + \frac{\%G}{\gamma_g} \right) = V_{ar} \quad \text{Ecuación 2.7}$$

Donde:



%A+PET: Porcentaje de arena más residuo de PET en la mezcla.

%G: Porcentaje de granito en la mezcla. Var: Volumen de los áridos= 785 dm<sup>3</sup>

Par: Peso total de los áridos.

a: Peso específico de la mezcla de arena y PET; 2.53 g/cm<sup>3</sup> para la arena y 0.19 g/cm<sup>3</sup> para el residuo de PET.

g: Peso específico del granito=2.61 g/cm<sup>3</sup>.

- Dosificación volumétrica

Como se tienen los pesos específicos de los materiales y el volumen de los áridos, se varían los porcentajes de las mezclas de los áridos en la ecuación 2.7 para obtener el peso combinado de cada una.

La mini industria de bloques emplea como dosificación de los áridos el 56% de polvo de piedra y el 44% de granito, representando 445 dm<sup>3</sup> del polvo de piedra y 350 dm<sup>3</sup>. Una vez obtenida las proporciones se sustituye el 8 y el 12% del polvo de piedra.

- Resultando las dosificaciones siguientes; Dosificación patrón  
C=60 dm<sup>3</sup>; V agua =135L; Granito =350 dm<sup>3</sup>; y 445dm<sup>3</sup> de polvo de piedra.

- Sustitución Del 8% de PET

Sustitución Del 8% de PET-- C=60 dm<sup>3</sup>; V agua =124L; Granito =350 dm<sup>3</sup>; PET=36 dm<sup>3</sup> y 409 dm<sup>3</sup> de polvo de piedra.

- Para un 12% de residuos de PET se realizó la misma operación, obteniendo como resultado la siguiente dosificación:
- Sustitución Del 12% de PET C=60 dm<sup>3</sup>; V agua =116L; Granito=354 dm<sup>3</sup>; PET=53 dm<sup>3</sup> y 392 dm<sup>3</sup> de polvo de piedra.

La mezcla patrón de 50% para cada árido quedo con un peso total de los áridos de 2084 kg para 1m<sup>3</sup> de hormigón, esto da una dosificación de:

- Cemento = 190 kg
- Agua = 135 L
- Granito = 913 kg
- Polvo de piedra = 1125 kg

**Muestras PET-1:** Combinación para sustituir el 8 % del polvo de piedra:



56% PP y 44% de árido granito + PET + Polvo de piedra, peso total de los áridos = 1954 kg.

- Cemento = 190 kg
- Agua = 130 kg
- Granito = 913 kg
- Polvo de piedra + PET = 1034 kg + 7 kg = 1041 kg

**Muestras PET-2:** Combinación para sustituir el 12 % del polvo de piedra:

56% PP y 44% granito + PET, + Polvo de piedra, peso total de los áridos = 1914 kg.

- Cemento = 190 kg
- Agua = 128 kg
- Granito = 913 kg
- Polvo de piedra + PET = 991 kg + 10 kg = 1001 kg

**Tabla 2.10 Dosificaciones propuestas**

Material	Dosificación volumétrica (m <sup>3</sup> x m <sup>3</sup> )			Dosificación gravimétrica (kg)		
	Patrón	8%	12%	Patrón	8%	12%
<b>Cemento</b>	0.060	0.060	0.060	103	190	190
<b>Agua</b>	0.135	0.130	0.128	135	130	128
<b>Granito</b>	913	0.354	0.354	913	913	913
<b>PET</b>	-	0.036	0.053	-	36	53
<b>PP</b>	0.350	0.409	0.392	1125	1034	991

Fuente: Guerra (2018)

Los materiales se trasladaron a una mini industria situada en la Carretera San German en las afuera de la ciudad, propiedad de un trabajador por cuenta propia, al cual le fueron suministrados los equipos y recursos necesarios para fabricar los bloques. Sus producciones son comercializadas a través de comercio interior. La máquina con la que se producen los bloques es de marca Vibracom.

Para la elaboración de los bloques se realizaron varias actividades, para entre otros detalles, obtener la mejor trabajabilidad de la mezcla. Los bloques sometidos al estudio son los llamados de gafas, con dimensiones de 10 cm x 20 cm x 40 cm, siendo los más utilizados en la Construcciones de viviendas y muros. Se propusieron tres puntos experimentales, el primero correspondiente a la mezcla



patrón (0% residuos de PET), y los otros dos puntos sustituyendo parcialmente los áridos por residuos de PET manteniendo el mismo volumen de sólidos, en el punto 1 con 8% (PET-1) y el punto 2 con 12% (PET-2). Se realizaron los cuales se depositaron en el patio de la mini industria hasta cumplir el proceso de curado. Transcurridos siete días se recogen y almacenan hasta los 28 días.



Figura 5.2 Elaboración de bloques huecos de hormigón.

Fuente. Guerra (2018)

Los bloques en ensayo que se fabrican son categoría III, con dimensiones 400 x 100 x 200mm (bloque de 10 cm) los cuales deben tener las dimensiones según la NC 247:2010 Por lo que son categorizados como tipo III.



- Ensayos realizados a los bloques huecos de hormigón.
- Determinación de las dimensiones.



### 5.3 Evaluación de las dimensiones de los boques huecos de hormigón con residuos de PET

Fuente. Guerra (2018)

Para la determinación de las dimensiones de los bloques experimentales se utilizó una cinta métrica. Se midió la longitud del bloque realizando 3 mediciones en la cabeza según lo establece la norma, estos valores fueron sumados y promediados. Luego se procedió a determinar el ancho, realizando mediciones en 3 puntos en la cara superior y en 3 puntos en la cara inferior sumando los resultados y promediándolos. Por último, se realizaron 6 mediciones, en 3 puntos en cada cara lateral para determinar la altura de igual forma los valores fueron promediados. Resultados en la tabla 2.11.

Según los resultados obtenidos de las dimensiones, se puede determinar que los valores están sobrepasados  $\pm 3\text{mm}$  de lo establecido en la norma, por lo que se puede expresar que la máquina para la elaboración de los bloques se encuentra con desperfectos en cuanto a sus dimensiones que puede ser debido a sus años de explotación en algunos casos se presentó alteraciones en cuanto a la paralelabilidad de sus caras.



Tabla 2.11. Resultados de las mediciones a las muestras de bloques

	Dimensiones	Muestras			Sumatoria	Promedio
		1	2	3		
<b>Patrón</b>	Largo(mm)	401	403	401	1205	401.7
	Base(mm)	103	103	104	310	103.3
	Altura(mm)	201	202	201	603	201
<b>PET-1</b>	Largo(mm)	401	400	401	1202	400.6
	Base(mm)	102	103	102	307	102.3
	Altura(mm)	202	199	200	601	200.3
<b>PET-2</b>	Largo(mm)	401	401	399	1201	400.3
	Base(mm)	102	102	100	304	101.3
	Altura(mm)	201	199	201	601	200.3

Fuente: Guerra (2018)

- Determinación del peso.



Fuente. Guerra (2018)

Tabla 2.13. Peso real de los bloques

Muestras	Peso de las Muestras (Kg)			Sumatoria (kg)	Promedio (kg)
	1	2	3		
<b>Patrón</b>	11.22	11.23	10.89	33.34	11.19
<b>PET-1</b>	11.87	12.02	11.82	35.71	11.111
<b>PET-2</b>	9.66	9.97	9.92	29.55	9.85

Fuente: Guerra (2018)



– Determinación de la absorción.

Este método es aplicado para determinar la capacidad de los bloques para absorber una determinada cantidad de agua. Los bloques fueron sumergidos en un estanque con agua suficiente que los cubran para determinar el contenido de esta por diferencia de masa expresada en por ciento. Los resultados se muestran en la Tabla 2.14

El procedimiento para este ensayo consiste en colocar los bloques en la estufa donde son secados hasta una masa constante. Cuando se termina este proceso los bloques

son pesados y colocados en un estanque lleno de agua de modo que los cubra totalmente. Se dejan sumergidos en reposo durante 24 horas y posteriormente se extrae, 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.

Tabla 2.14. Resultados del % de absorción de los bloques

	<b>Muestras</b>	<b>Peso saturado (kg)</b>	<b>Peso seco (kg)</b>	<b>% de absorción</b>	<b>Promedio (%)</b>
<b>Patrón</b>	1	11.57	11.22	3.12	3.89
	2	11.60	11.23	3.29	
	3	11.25	10.89	3.30	
<b>PET-1</b>	1	10.00	9.66	3.52	3.24
	2	10.39	9.97	4.21	
	3	10.31	9.92	3.93	
<b>PET-2</b>	1	12.22	11.87	2.94	2.91
	2	12.36	12.02	2.83	
	3	12.17	11.82	2.96	

Fuente: Guerra (2018)

– Determinación de la resistencia a compresión.

El ensayo para la resistencia a compresión se realizó en el Laboratorio Central de la Empresa Productora de Prefabricado Holguín este se encuentra en Avenida Los Internacionalista km 2.5, el cual cuenta con los equipos y personal calificado para realizar estos ensayos.





## PROCESAMIENTO DEL BLOQUE

Según la norma específica que este método se establece para determinar la resistencia media a la compresión de los bloques. Cada bloque que constituye la muestra de ensayo es sometido a una carga de compresión en el sentido longitudinal de los huecos hasta la rotura, determinándose la resistencia a la compresión promedio. Donde la NC 247:2010 establece los requisitos de compresión para bloques huecos de hormigón.

Los bloques fueron ensayados a los 7 y 28 días, realizando el proceso de recape mediante un mortero de nivelación, la resistencia a compresión de estos morteros será superior a la especificada para los bloques el cual se realizó de la siguiente forma. Se preparó una mezcla con cemento P35 y yeso con una proporción de 4:1 (4 de cemento y 1 de yeso) en forma de pasta, la cual es aplicada en la superficie de carga y apoyo de los bloques para poder ser nivelados.

Una vez comprobado que mediante la manipulación de los bloques las capas de nivelación no se encuentran dañadas se esperó 24 horas para efectuar el ensayo. Para efectuar el ensayo cada bloque a ensayar se coloca suavemente sobre el plato



inferior de la máquina de ensayo a compresión. En el momento de 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. Los resultados obtenidos de la resistencia a los 7 días se muestran en la tabla 2.15 y los de 28 días se muestran en la tabla 2.16.

Tabla 2.16. Resultados de resistencia a compresión a los 7 días

	Muestras	Largo (mm)	Base (mm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Capacidad de carga	Resistencia (Mpa)	RbK
<b>Patrón</b>	1	401	103	413.03	1300	3.14	3.37
	2	403	103	415.09	1500	3.61	
	3	401	104	417.04	1400	3.36	
<b>PET-1</b>	1	401	102	409.02	1500	3.67	3.64
	2	400	103	412.00	1500	3.64	
	3	400	102	408.00	1500	3.68	
<b>PET-2</b>	1	401	102	409.02	1300	3.17	3.12
	2	401	102	409.02	1200	2.93	
	3	399	100	399.00	1300	3.25	

Fuente: Guerra (2018)

Tabla 2.16. Resultados de resistencia a compresión a los 7 días

	Muestras	Largo (mm)	Base (mm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Capacidad de carga	Resistencia (Mpa)	RbK
<b>Patrón</b>	1	403	102	411.06	2100	5.11	4.96
	2	403	105	423.15	2300	4.96	
	3	401	104	417.04	2000	4.80	
<b>PET-1</b>	1	401	104	417.04	1800	4.32	4.37
	2	399	103	410.97	1700	4.13	
	3	399	102	406.98	1900	4.67	
<b>PET-2</b>	1	399	102	406.98	1800	4.42	4.21
	2	399	103	410.79	1700	4.13	
	3	401	104	417.04	1700	4.08	

Fuente: Guerra (2018)

Una vez obtenidos los resultados del ensayo se compara con lo que exige la norma NC 247:2010 a los 7 y 28 días obteniendo resultados positivos ya que todas las muestras superan la resistencia mínima a compresión para la categoría III.



## **Conclusiones del capítulo**

La sistematización de los fundamentos teóricos y metodológicos permitió conocer que a pesar que constan investigaciones que demuestran la posibilidad de valorización de los residuos, existen limitaciones en cuanto a la existencia de fichas que incorporen variables físico, químicas y mecánicas de los residuos sólidos urbanos e industriales en la producción de bloques huecos de hormigón.

En el análisis de las cinco (5) investigaciones compiladas tesis evaluadas se observó que a pesar de que se emplean las normas de ensayos para caracterizar los residuos no existe consenso en cuanto a determinar el volumen de residuos sólidos,



## CONCLUSIONES GENERALES

- La sistematización de los fundamentos teóricos y metodológicos permitió conocer que a pesar que constan investigaciones que demuestran la posibilidad de valorización de los residuos, existen limitaciones en cuanto a la existencia de fichas que incorporen variables físico, químicas y mecánicas de los residuos sólidos urbanos e industriales en la producción de bloques huecos de hormigón.
- La compilación de las cinco (5) investigaciones realizadas en el Departamento de Construcciones de la Universidad de Holguín empleando residuos sólidos urbanos e industriales en la fabricación de bloques huecos de hormigón en base a variables físicas, químicas y mecánicas, permitió conocer que a pesar de que se emplean las normas de ensayos para caracterizar los residuos no existe consenso en cuanto a determinar el volumen de residuos sólidos.
- La ficha se desarrolló teniendo en cuenta el origen, generación y volumen de los residuos, así como la gestión para su caracterización y valorización, consta de cinco (5) pasos y seis (6) fases, lo que permite contar con un documento técnico que recoge las características físicas, químicas y mecánicas de residuos sólidos urbanos e industriales en la fabricación de bloques huecos de hormigón lo que contribuye a la socialización de soluciones y diversificación de materiales y productos de la construcción para el programa de viviendas.



## RECOMENDACIONES

Se recomienda al Departamento de Construcciones

Buscar las vías y canales para que la ficha sea divulgada y cumpla su finalidad de socializar las investigaciones llevadas a cabo en el Departamento de Construcciones de La Universidad de Holguín contribuyendo a la diversificación de materiales y productos de la Construcciones para el programa de Viviendas.



## BIBLIOGRAFÍA

ACN (2017). Fabrican en Holguín Bloques de hormigón con material reciclado. Recuperado de 2021 <http://www.acn.cu/cuba/27032-fabrican-en-holguin-bloques-de-hormigon-con-material-reciclado>.

Álvarez, D. E (2006). Valuación de bloques huecos de mampostería fabricados con cementos mezclados con escoria de hornos. Universidad de San Carlos. Guatemala.

Anuario Demográfico de Cuba 2020. Centro de Estudios de Población y Desarrollo. Edición septiembre 2021

Anuario estadístico de Cuba 2020. Medioambiente. Oficina Nacional de Estadística e Información. Edición 2021

Centros de Estudios de Experimentación y Obras Públicas (CEDEX) (2011). Ficha técnica de escorias de Acería de horno de arco eléctrico. España. (2013): Actualización del catálogo de residuos utilizables en la Construcciones. Ficha técnica de escorias de Acería de horno de arco eléctrico. España. <http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos>.

Decreto 104/2006, (2006): Valorización de escorias en la Comunidad Autónoma de Cantabria. BOC - Número 206. Pág 12727. España.

Decreto 281/2007 del Ministerio de Justicia de la República de Cuba. Reglamento para la implantación y consolidación del sistema de dirección y gestión empresarial estatal. Cuba

Diccionario de la Construcciones en línea. Accedido 15 de enero 2018 <http://www.diccionariodelaconstruccion.com>

Diccionario Larousse (2008). Pequeño Larousse Ilustrado. Ediciones Larousse. México

Fernández Ruiz, A. (2015). Estudio preliminar del uso de áridos siderúrgicos como lastre de los molinos de viento. Tesis de grado. Departamento de Materiales de Construcciones. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. España.

Gaggino, R. (2008). Componentes constructivos elaborados con una mezcla cementicia y agregados de plásticos REC. Recuperado de <https://www.google.com/amp/s/docplayer.es/amp/11338608-Componentes-constructivos-elaborados-con-una-mezcla-cementicia-y-agregados-de-plasticos-reciclados-gaggino-rosana-1.html>

Gámez, D; Flores, J y Rada, J. (2011). “Elaboración y uso de bloques de hormigón y bloques de arcilla en mampostería”. Trabajo de grado para optar al título de ingeniero civil. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador.



Gordillo. (s.f). Bloques de hormigón. Recuperado de <https://www.google.com/amp/s/docplayer.es/amp/23518032-Alubry-san-luis-s-a-bloques-de-hormigon.html>

Martínez, L., Chevez, I. (2015). Fabricación de BHH con áridos reciclados. Recuperado de <https://www.scribd.com/document/467853331/fabricacion-bloques-huecos-hormigon-aridos-reciclados-pdf>

NC 177:2002 Áridos. Determinación del porcentaje de huecos.

NC 178:2002. Áridos. Análisis granulométrico.

NC 181:2002. Áridos. Determinación del peso volumétrico.

NC 182:2002. Áridos. Determinación del material más Fino que el tamiz de 0.074 mm (no. 200). Método de ensayo.

NC 186:2001. Arena. Peso específico y absorción de agua. Método de ensayo

NC 187:2002. Árido grueso. Peso específico y absorción de agua. Método de ensayo

NC 671:2008. Áridos. Toma de muestras.

NC ISO 14040 (2009). Gestión Ambiental. –Análisis del Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia. Oficina Nacional de Normalización. La Habana. Cuba. 2da Edición. Disponible en: [nc@ncnorma.cu](mailto:nc@ncnorma.cu)

NC-251:2013. Áridos para hormigones hidráulicos. Requisitos.

Quesada, A.L. (2013). Utilización de desechos de vidrio reciclado como árido en bloques huecos de hormigón (Tesis de maestría) Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, Moa Holguín) Recuperada de <https://ninive.ismm.edu.cu/bitstream/handle/123456789/3512/Aglyslaura.pdf>

SIHOBE Sociedad Pública de gestión ambiental. (2012). Manual Ihobe para redacción e implantación de plan de gestión de residuos de construcción y demolición y buenas prácticas gremiales .Recuperado de [https://www.btbab.com/wp-content/uploads/documentos/legislacion/Manual\\_IHOBE.pdf](https://www.btbab.com/wp-content/uploads/documentos/legislacion/Manual_IHOBE.pdf)

Urbina, M. (2018). Gestión ambiental urbana del ciclo de vida de los residuos domiciliarios en espacios urbanos. Tesis de doctorado publicada. Universidad de La Habana. La Habana. Cuba.

Veliz, J.F., Zambrano, E.M., Rivera, R.D. (2013) Reciclaje de residuos de construcción en la Producción de bloques en la ciudad de Portoviejo. Recuperado de [http://revistasespam.espam.edu.ec/index.php/Revista\\_ESPAMCIENCIA/article/view/78](http://revistasespam.espam.edu.ec/index.php/Revista_ESPAMCIENCIA/article/view/78)

