

*Universidad de Matanzas Sede “Camilo Cienfuegos”*

*Facultad de Ciencias Técnicas*

*Departamento de construcciones*



**Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Civil**

Propuesta de mortero reciclado para restauración de edificaciones que datan de siglos XVIII y primera de la mitad XIX de la ciudad de Matanzas

**Autor: Susana Martirosov Colina**

**Tutor(es): Ing. Darien Leyva Suárez**

*Matanzas, 2020*

## **PENSAMIENTO**

**“EL ARTE DE LA RESTAURACIÓN ESTÁ EN SABER RESPETAR EL PASO DEL TIEMPO EN SUCESIVAS ETAPAS QUE PUEDEN HABER DEJADO HUELLAS DE VALOR, AQUELLAS QUE CONSERVAN LA IDENTIDAD O PERSONALIDAD DE LOS EDIFICIOS Y LAS COSAS”.**

**EUSEBIO LEAL SPENGLER**



## **DECLARACIÓN DE AUTORIDAD**

Por medio de la presente declare que **Susana Martirosov Colina** soy el único autor de este trabajo de diploma y, en calidad de tal, autorizo a la Universidad de Matanzas a darle el uso que estime más conveniente.

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Miembros del Tribunal:**

_____	_____	_____
<b>Presidente</b>	<b>Secretario</b>	<b>Vocal</b>

**DEDICATORIA:**

**QUIERO CONSAGRAR EL RESULTADO DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN:**

**A MIS PADRES,**

**POR CREER EN MÍ, A QUIENES LES AGRADEZCO LO QUE SOY, POR HABERME SABIDO  
GUIAR**

**EN LA VIDA Y SU APOYO EN LOGRAR QUE MI SUEÑO SE HICIERA REALIDAD.**

**A MI ESPOSO E HIJO,**

**POR SU COMPRESIÓN, PACIENCIA Y AMOR. POR ESTAR SIEMPRE PRESENTE.**

**A MI FAMILIA,**

**QUIENES SE HAN PREOCUPADO POR MÍ Y HAN SEGUIDO DE CERCA MIS ESFUERZOS, POR**

**ALCANZAR LO QUE HA CONSTITUIDO MI MAYOR ANHELO.**

## AGRADECIMIENTOS

Gracias a un grupo de seres increíbles he podido arribar a este momento tan importante para mí, por ello quiero gratificar eternamente:

A mi tutor,

\* Por ser mi ejemplo a seguir, en constancia, dedicación y esfuerzo, a debo la constante ayuda con la investigación

Al profesor Ramon Recondo,

\* Por ser mi amigo, una persona maravillosa, excelente profesional, quien me brindó todos sus conocimientos sobre la historia de Matanzas con su constante e inmenso amor por la misma, haberme sabido guiar y consagrar su valioso tiempo.

Al profesor Alejandro Hernández,

\* Por sus buenos consejos desde un inicio y por el apoyo constante aun desde la distancia

\*A todo el colectivo de profesores que nos formó e hizo avanzar hasta lo que somos hoy

\*A mi familia completa que confió en mi y apoyo desde sus posibilidades a cada paso de la investigación

A todos, infinitas gracias,

## RESUMEN

En el marco de la declaración del centro histórico de Matanzas Monumento Nacional y de la creación de la Oficina del Conservador de la ciudad comienza un nuevo período en cuanto a conservación que intenta rescatar de los embates del tiempo joyas de la ingeniería que atesoran el legado patrimonial de épocas pasadas. Actualmente los materiales utilizados para la restauración difieren en cuanto a sus propiedades físico-mecánicas de los utilizados originalmente, por lo cual se presentan numerosos problemas, entre ellos problemas de revestimiento, el estudio de los morteros para la conservación resulta en estos momentos una tarea de gran importancia, debido a la incapacidad de los morteros actuales de erradicar las imperfecciones presentadas por las edificaciones que datan de siglos XVIII y primera de la mitad XIX de la ciudad de Matanzas, para lograr preservar edificaciones de gran valor patrimonial. Se expone las diferentes normas que debe cumplir un mortero para su uso como revestimiento grueso y fino, así como se explica detalladamente el diseño del experimento que se realizó en estudio previo del Autor: Alejandro Zayas Cancela en su Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Civil: "Evaluación de morteros mixtos de revestimientos con cal residual de la producción de acetileno" en el cual se obtienen morteros que pueden cumplir perfectamente con las actividades de restauración, por lo cual luego del estudio de las características de las edificaciones y propiedades entre los morteros obtenidos se hace una selección de material, con la intención de verificar su comportamiento una vez aplicado a una edificación patrimonial.

**Palabras claves:** Patrimonio, conservación, revestimiento, mortero.



## ABSTRACT

In the framework of the declaration of the historic center of Matanzas as a National Monument and the creation of the city's Office of the Conservator, a new period in terms of conservation begins, trying to rescue engineering jewels from the ravages of time that treasure the heritage from past times. Currently the materials used for the restoration differ in terms of their physical-mechanical properties from those originally used, which is why there are numerous problems, including coating problems, the study of the mortars for conservation is currently a task of great importance, 'cause to the inability of the current mortars to eradicate the imperfections presented by the buildings dating from the eighteenth and first half of the nineteenth centuries in the city of Matanzas, in order to preserve buildings of great heritage value. The different standards that a mortar must meet for its use as a thick and fine plaster are exposed, as well as the design of the experiment that was carried out in the author's previous study: Alejandro Zayas Cancela in his Diploma Tesis as an option to the title of Civil Engineer: "Evaluation of mixed mortars of linings with residual lime from the production of acetylene" in which mortars are obtained that can perfectly comply with the restoration activities, so after studying the characteristics of the buildings and properties between a selection of materials is made.

Palabras claves: Patrimonio, conservacion, revestimiento, argamasa, mortero.

Key Words: heritage, conservation, coating, mortars.

## TABLA DE CONTENIDO

Introducción .....	1
Capítulo 1 Revisión Bibliográfica .....	8
1.1 Definiciones referentes a la conservación.....	8
1.1.1 Patrimonio.....	8
1.1.2 Conservación.....	8
1.1.3 Restauración.....	9
1.1.4 Patología estructural.....	10
1.1.5 Patología no estructural.....	10
1.1.6 Estudio Patológico .....	11
1.1.7 Lesión.....	11
1.1.8 Diagnóstico .....	12
1.1.9 Pronóstico .....	12
1.1.10 Levantamiento Patológico .....	<b>1;Error! Marcador no definido.</b>
1.1.11 Tratamiento o terapéutica .....	<b>1;Error! Marcador no definido.</b>
1.1.12 Revestimiento .....	<b>1;Error! Marcador no definido.</b>
1.2 Definición de mortero.....	14
1.3 Surgimiento y desarrollo de los morteros en la construcción	<b>1;Error! Marcador no definido.</b>
1.4 Tipos de morteros .....	19
1.5 Propiedades físicas-mecánicas de los morteros .....	84
1.5.1 Propiedades de los morteros en estado fresco.....	24
1.5.2 Propiedades de los morteros en estado endurecido.....	25
1.6 Dosificación de los morteros y proceso de mezclado.....	27
1.7 Utilización de materiales reciclados en los morteros.....	89
1.7.1 Morteros modificados con ceniza proveniente de la desorción térmica de aguas de la industria petrolera.....	29
1.7.2 Morteros de albañilería elaborados con ácidos reciclados mixtos con diferentes procesos de obtención .....	<b>¡Error! Marcador no definido.0</b>
1.7.3 Nuevo material de construcción denominado Geosilex.....	32

1.7.4 Empleo de resinas furano-epoxídica en la fabricación de morteros base cemento .....	3	¡Error! Marcador no definido.
1.7.5 Cieno de acetileno.....	5	¡Error! Marcador no definido.
1.8 Antecedentes de estudios de morteros de cal.....	37	
Capítulo 2 Materiales y métodos utilizados.....	42	
2.1 Morteros de cemento: problemática de su empleo en la restauración .....	42	
2.2 Ventajas de los morteros de cal .....	43	
2.3 Ventajas del uso de la cal dentro del mortero .....	45	
2.3.1 Morteros puros de cal.....	45	
2.3.2 Morteros mixtos de cal y cemento .....	46	
2.4 Requisitos a cumplir por un mortero .....	47	
2.5 Resultados de ensayos realizados por el Ing. Alejandro Zayas Cancelas en una investigación previa referente a la temática.....	48	
2.5.1 Determinación de la granulometría para la arena .....	49	
2.5.2 Propiedades físicas del árido.....	53	
2.5.3 Dosificación.....	55	
2.5.4 Propiedades físicas y mecánicas de los morteros ensayados .....	58	
2.5.4.1 Mortero fresco.....	58	
2.5.4.2 Mortero endurecido.....	61	
2.5.5 . Beneficios del uso de cieno de cal en morteros mixtos de revestimientos. ...	65	
2.6 Análisis de los resultados obtenidos en el estudio de Ing. Alejandro Zayas y selección del material a proponer .....	68	
2.7 Resultados esperados de la investigación .....	70	
2.7.1 Características necesarias del mortero para el entorno matancero .....	70	
2.7.2 Aplicación de materiales similares en la restauración de manera exitosa .....	71	
2.7.2.1 Esclerometría .....	72	
2.7.2.2 Presencia de carbonato.....	75	
Conclusiones.....	77	
Recomendaciones .....	78	
Referencias Bibliográficas .....	79	



## INTRODUCCIÓN

A lo largo del último siglo el concepto de Patrimonio ha experimentado una notable evolución en la que, en líneas generales, se ha pasado de una valoración exclusivamente artística o histórica de los bienes patrimoniales, a una visión mucho más amplia en la que se recogen otros aspectos igualmente importantes para nuestra sociedad, como son los que se refieren a los valores antropológicos, etnológicos, científico-tecnológicos, etc., dando lugar a lo que hoy conocemos por “Patrimonio Cultural” [Convención sobre la protección del Patrimonio Cultural y Natural de la UNESCO].

La restauración del Patrimonio Arquitectónico, dentro del legado del Patrimonio Histórico cubano ha adquirido una importancia indudable en el contexto de la sociedad cubana en las últimas décadas. De acuerdo a los objetivos y criterios de la Convención de UNESCO de 1972, el objetivo primordial de la Defensa del Patrimonio Cultural es conservar y entregar a las generaciones siguientes en el mejor, más estable y auténtico estado posible, los testimonios materiales de la cultura que han llegado hasta nuestro tiempo, sin impedir o condicionar negativamente su lectura o interpretación, sin añadidos o supresiones que distorsionen los significados culturales de la herencia recibida y de la que sólo somos administradores responsables.

El Patrimonio Cultural Arquitectónico es el conjunto de edificaciones representativas de una sociedad, destaca su ideología, economía, tecnologías o forma de vida de un momento histórico determinado. Las obras arquitectónicas son un legado histórico que nos han dejado nuestros antepasados por lo que debemos conocerlas, estudiarlas, valorarlas y conservarlas para transmitir las a las futuras generaciones.

En la actualidad uno de los retos más difíciles que afrontan los ingenieros y arquitectos son las tareas de conservación de obras de valor patrimonial y cultural, donde no solo se enfrentan a obras de otro tiempo con materiales y técnicas constructivas diferentes, sino, porque para cumplir con estas actividades es crucial que se mantengan los valores arquitectónicos, estructurales, estéticos, históricos y sociales de las edificaciones ;se encuentra en sus manos la posibilidad de devolverle a esas construcciones la belleza y funcionalidad con que fueron concebidas.

La conservación de edificaciones tiene como objetivo la transformación de algo al estado en que se encontraba originalmente. Para lograrlo es necesario contar con los conocimientos precisos de la historia, las técnicas usadas en la época de construcción y saber hacer una correcta selección de los materiales, además, de conocer los efectos que pueden causar estos sobre los ya colocados.

Esta actividad juega un importante papel en la economía y la sociedad ya que contiene la rehabilitación, el mantenimiento, la restauración y la reconstrucción de edificaciones, posibilitando devolverles su uso original o permitiendo un nuevo uso de las mismas, además de preservarlas y rescatarlas volviéndolas totalmente funcionales.

Desde el 18 de abril de 2003 en Cuba se comenzó a celebrar el Día Internacional de los Monumentos, oportunidad en que el Consejo Nacional de Patrimonio Cultural (CNPC) entrega el Premio Nacional de Conservación y Restauración de Monumentos con el fin de estimular la protección y el rescate de los monumentos nacionales y locales, así como el patrimonio edificado, histórico y natural de la nación.

En el año 2013 la Comisión Nacional de Monumentos otorgó al Centro Histórico de la ciudad de Matanzas la categoría de Monumento Nacional a tenor de los valores patrimoniales muebles e inmuebles que la distinguen. A partir de este suceso surgió la Oficina del Conservador en la Ciudad de Matanzas (OCCM) que es parte de la Red de Oficinas del Conservador e Historiador de Ciudades patrimoniales de Cuba cuya misión es: Velar por la preservación, conservación, restauración patrimonial y el desarrollo cultural, social, físico y económico de manera sostenible en la Zona Priorizada para la Conservación (ZPC) donde se considera a la comunidad protagonista y beneficiaria

La OCCM dividió la ZPC en 3 fases para su óptimo trabajo; así se logró una centralización de los trabajos de restauración y conservación. Actualmente el Plan Maestro de la OCCM ha concentrado sus estudios e inversiones en la zona I y con el objetivo futuro de prestar atención al total de fases.

Por todas estas razones y a causa del reciente aniversario de la fundación de la ciudad, se decidió por parte de los gobiernos municipal y provincial realizar una gran inversión

concentrándose, sobre todo, en el centro histórico y cultural realizando intervenciones de muchos inmuebles con el objetivo de homenajear la fundación de la ciudad e impulsar el desarrollo económico y social de la misma lo que estimula a un aumento del turismo nacional e internacional. El rescate y conservación fue realizado por cooperativas no agropecuarias, brigadas de trabajadores por cuenta propia y algunas instituciones de Cultura como el Fondo de Bienes Culturales, ATRIO y Caguayo.

Refiriéndose al tema Ramón Recondo Pérez en la sede matancera de la Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba, y como parte de las exposiciones colaterales del proyecto Ríos Intermitentes , capítulo yumurino de la XIII Bienal de La Habana [1] expresó (... )Matanzas fue, y será una ciudad única, distinguida e inigualable .Que supo unir a los innegables valores naturales de su emplazamiento, una bella ,inspirada y cuidadosa obra urbanística y arquitectónica(...)-no obstante-muestra hoy un conjunto de problemas urbanísticos que se suman a sus 325 años(...).aún estamos a tiempo de salvarla(...) .

Debido a la situación económica del país, dada la escasez de recursos, la agresividad del ambiente en obras del litoral cubano y la necesidad de contribuir el incremento de la producción de materiales locales, hace que los problemas de durabilidad en morteros alcancen aún más vigencia.

El empleo de materiales no tradicionales para la producción de morteros no es nuevo en el mundo. No son pocas las industrias en que, para obtener un producto específico, tienen que desechar grandes cantidades de residuos, que no les interesan y que, además, tienen que ser transportados hacia vertederos adecuados, lo cual incrementa el área muerta de la industria, así como la contaminación ambiental. Uno de éstos es el residuo de la producción de acetileno.

En la presente Tesis, se plantea la utilización de un mortero elaborado con cieno de cal residual, obtenido como deshecho de la UEB Gases Industriales Matanzas, para revestimiento, con el objetivo de proponer un material reciclado que a su vez posea características aceptables y compatibles para la restauración de edificaciones de los siglos

XVIII y primera de la mitad del XIX de la ciudad de Matanzas para la realización de acciones de conservación futuras y que contribuyan a la economía del país.

La selección del mortero se realizó indagando en diferentes estudios realizados en Europa y América Latina en búsqueda del conocimiento para las mejores opciones de material existentes , y con el objetivo de encajar estos materiales con las normas cubanas se tomó una investigación previa que refiere el tema del Autor: Alejandro Zayas Cancela [2] "Evaluación de morteros mixtos de revestimientos con cal residual de la producción de acetileno" donde se ensayaron seis morteros a los que se les determinaron las siguientes propiedades: resistencia a flexión y compresión, favorabilidad, tiempo de utilización, porosidad y absorción de agua por capilaridad. De los morteros ensayados se seleccionaron dos tipos, uno de repello grueso y otro de repello fino, atendiendo a que fueron los que mejores resultados tuvieron con respecto a las propiedades físicas y mecánicas. Probados una vez con las diferentes normas existentes y siendo un material perfecto para la restauración se propone su uso en dicha actividad.

También merecen una reflexión las ventajas, no sólo desde los puntos de vista de conservación del legado histórico, cuya importancia e interés ya han quedado expuestos con anterioridad, sino desde un punto de vista económico, para todas las instituciones encargadas de la financiación de las obras de restauración, pues en no pocos casos ciertas obras emprendidas con morteros de cemento Portland tuvieron consecuencias nefastas en pocos años que obligaron a reinvertir cantidades mayores en un nuevo proceso de restauración e incluso de rehabilitación de los daños ocasionados por tan inapropiados trabajos previos. Parece que el empleo de materiales adecuados para la restauración, debidamente conocidas sus propiedades y los mecanismos de cambio en sus procesos fisicoquímicos, además de la afectación global al conjunto de la obra resultan, más bien, una necesidad imperiosa.

Situación problemática:

Debido a la ausencia de un material que se adecue correctamente a las actividades de restauración de edificaciones antiguas que datan de los siglos XVIII y primera mitad del XIX se pone en evidencia en las diferentes edificaciones ubicadas en el Centro Histórico



de la ciudad de Matanzas, que presentaban problemas estructurales los cuales fueron resueltos, y problemas no estructurales, donde se encontraba los problemas de revestimiento de las estructuras, en las que encontramos : segregación, desprendimientos, pérdidas de sección, humedades y abofamiento en sus paredes ,por lo cual los encargados de la conservación hicieron frente a esas afectaciones eliminando una gran parte de los problemas existentes que generaran lesiones secundarias, logrando que los problemas del revestimiento cedieran momentáneamente, pues en el momento actual, pasados cerca de dos años de la inversión vuelven a presentar los mismos problemas lo cual indica que hubo algún tipo de deficiencia en las variantes que podrían afectar el resultado y durabilidad donde se encuentra: el procedimiento utilizado , los materiales empleados o la preparación del personal que trabajó en la conservación.

Luego de un análisis de las fuerzas de trabajo que realizaron la conservación se eliminó esta variante como defectuosa pues entre los mismos se pudo encontrar profesionales ampliamente capacitados para la realización de la tarea pues muchos eran graduados de la escuela de conservación fundada por Eusebio Leal Spengler en la capital cubana, si el porcentaje de los mismos no era el mayoritario, es destacable también que las edificaciones en que intervinieron estos presentaban los mismos problemas pasado el tiempo referido. Esto a su vez nos hace descartar que las técnicas utilizadas fueran erróneas pues eso cuenta como parte de la formación de estos profesionales por lo cual el presente trabajo se centrará en un problema de los materiales.

### **Problema:**

Ausencia de un mortero de revestimiento adecuado para la restauración de las edificaciones de los siglos XVIII y primera mitad del XIX de la ciudad de Matanzas

### **Hipótesis**

Si se establece un mortero adecuado para realizar acciones de restauración en la ciudad podría eliminarse en futuras intervenciones la presencia de problemas con los revestimientos en las edificaciones que datan de siglos XVIII y primera mitad del XIX ubicadas en el Centro Histórico de la ciudad de Matanzas.

**Variables dependientes:** Calidad de los resultados de las intervenciones y durabilidad en el tiempo con el uso del mortero propuesto.

**Variables independientes:** Materiales empleados durante las intervenciones, calificación de la mano de obra que realizó las intervenciones, época del año en que se realizaron los trabajos, técnicas utilizadas para las intervenciones.

**Objetivo general:** Proponer un mortero adecuado para la restauración de edificaciones de los siglos XVIII y primera mitad del XIX de la ciudad de Matanzas

**Objetivos específicos:**

1-Establecer el marco teórico referencial de la evolución de los morteros y técnicas empleadas en las edificaciones que datan de siglos XVIII y primera mitad del XIX

2-Characterizar los materiales utilizando los métodos establecidos por las normas cubanas.

3-Proponer un mortero adecuado para la restauración de edificaciones de los siglos XVIII y primera mitad del XIX de la ciudad de Matanzas

El cumplimiento de los objetivos conduce a que se espere el siguiente **resultado:**

Lograr un mortero reciclado que se adecue a las condiciones propias de las edificaciones que datan de los siglos XVIII y primera mitad del XIX de la ciudad de Matanzas permitiendo cuidar el patrimonio arquitectónico y economizar recursos en futuras inversiones.

**Valores de la investigación:**

**En lo práctico:**

Recopilar la información requerida para incentivar y fundamentar la aplicación de un mortero adecuado para la restauración de edificaciones de los siglos XVIII y primera mitad del XIX ubicados en el casco histórico de la ciudad de Matanzas y servir de base para otros estudios relacionados con este tema.

### **En lo económico-social:**

Lograr la seguridad y calidad en trabajos posteriores de manera que no requerirían intervenciones tan seguido

### **Los métodos de la investigación a utilizar en el desarrollo del trabajo serán:**

**Análisis y síntesis:** se utiliza para el procesamiento de las fuentes de información a fin de determinar los diferentes enfoques y criterios relacionados con el problema de la investigación.

La **observación:** permite analizar el diagnóstico y la propuesta de estrategia de intervención para erradicar las afectaciones de las edificaciones de siglos XVIII y primera mitad del XIX ubicados en el Centro Histórico de la ciudad de Matanzas en futuras inversiones de restauración.

**Histórico - Lógico:** para la revisión de años de construcción de las edificaciones. Permitirá recorrer los antecedentes hasta llegar a la situación actual del objeto de estudio. El método de análisis histórico estudia la trayectoria real de los fenómenos y acontecimientos en el decurso de su historia y el método lógico investiga las leyes generales de funcionamiento y desarrollo de los fenómenos.

**Inducción - Deducción:** Aplicado por el autor para generalizar los rasgos más importantes obtenidos a partir de la documentación de proyectos viales para definir los modelos y analizar las investigaciones ingenieras aplicadas de archivos.

## **CAPÍTULO 1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

En este capítulo se realizan investigaciones para conformar una base bibliográfica del acontecer de la restauración y de los morteros, en el decursar de los años hasta la actualidad para establecer las bases teóricas de la investigación. Se exponen los conceptos necesarios para la comprensión correcta de la temática tratada a lo largo del capítulo. Se hace un recorrido a través del surgimiento y panorámica general de la evolución de los morteros, así como sus propiedades y clasificación. Se explican algunos tipos de morteros existentes en la actualidad y las propiedades que estos deben reunir. Se tratan diferentes tipos de morteros reciclados.

### **1.1 Definiciones referentes a la conservación**

#### **1.1.1 Patrimonio**

El patrimonio cultural es el “conjunto de bienes culturales que una sociedad recibe y hereda de sus antepasados con la obligación de conservarlo para transmitirlo a las siguientes generaciones” [Chanfón 1996].

El patrimonio cultural arquitectónico son “las edificaciones que son representativas de una sociedad, de su forma de vida, ideología, economía, tecnología, productividad, etc., y de un momento histórico determinado, que además poseen un reconocimiento e importancia cultural a causa de su antigüedad, significado histórico, por cumplir una función social o científica, estar ligados a nuestro pasado cultural, por su diseño, así como por sus valores intrínsecos, arquitectónicos, funcionales, espaciales, tecnológicos y estéticos, entre otros” [Terán 2001].

Concluyendo el autor define el patrimonio cultural arquitectónico como un conjunto de edificaciones representativas de una sociedad de épocas anteriores que aún se encuentran presente en la actualidad.

#### **1.1.2 Conservación**

“Del latín *conservatio*, la conservación es la acción y efecto de conservar (mantener, cuidar o guardar algo, continuar una práctica de costumbres). El término tiene

aplicaciones en el ámbito de la naturaleza, la alimentación y la biología, entre otros” [Collins 2001].

La conservación es el “conjunto de trabajos que se ejecutan para obtener la durabilidad, seguridad y eficiencia máxima y mantener las características estéticas de la construcción” [NC 1982].

Concordando con el concepto anterior, el Dr. Macías [2003] plantea además que se emplea como “acción que encierra todo el conjunto de acciones posibles a realizar dentro del patrimonio construido.”

La conservación consiste en la “aplicación de los procedimientos técnicos, cuya finalidad es la de detener los mecanismos de alteración o impedir que surjan nuevos deterioros en un edificio histórico. Su objetivo es garantizar la permanencia de dicho patrimonio arquitectónico” [Terán 2004].

La conservación es el “conjunto de trabajos que se ejecutan para obtener la durabilidad, seguridad y eficiencia máxima y mantener las características estéticas de la construcción” [Babé 2006].

Por lo cual la conservación no es más que Conservación Conjunto de trabajos que se ejecutan para obtener la durabilidad, seguridad y eficiencia máxima y mantener las características estéticas de la construcción. Además, se emplea como acción que encierra todo el conjunto de acciones posibles a realizar dentro del patrimonio construido.

### **1.1.3 Restauración**

Según la Carta de Venecia [1964] la restauración es una “operación que debe tener un carácter excepcional. Tiene como fin conservar y revelar los valores estéticos e históricos del monumento y se fundamenta en el respeto a la esencia antigua y a los documentos auténticos. Su límite está allí donde comienza la hipótesis: en el plano de las reconstituciones basadas en conjeturas; todo trabajo de complemento reconocido como indispensable por razones estéticas o técnicas aflora de la composición arquitectónica y

debe llevar la marca de nuestro tiempo. La restauración estará siempre precedida y acompañada de un estudio arqueológico e histórico del monumento.”

La restauración se define como la “intervención profesional en los bienes del patrimonio cultural, que tiene como finalidad proteger su capacidad de delación, necesaria para el conocimiento de la cultura” [Chanfón 1996].

La restauración está constituida por todos aquellos “procedimientos técnicos que buscan restablecer la unidad formal y la lectura del bien cultural en su totalidad, respetando su historicidad, sin falsearlo” [Terán 2004].

La restauración no es más que la conservación intacta de las características originales de una edificación sin modificación alguna.

#### **1.1.4 Patología estructural**

Las patologías estructurales son aquellas que “están directamente relacionadas con el comportamiento de la estructura y se manifiestan en forma de grietas, fisuras, deformaciones excesivas, etc. Generalmente, tienen gran incidencia en la seguridad estructural” [Figueredo Sosa et al. 2013].

Las patologías estructurales son aquellas “lesiones originadas por un comportamiento inadecuado de la estructura y que de forma general son provocadas por deficiencias de proyecto, de la ejecución o de la explotación” [Ramírez Díaz et al. 2015].

Las patologías estructurales son las lesiones encontradas en las edificaciones que están estrechamente relacionadas con el comportamiento estructural.

#### **1.1.5 Patología no estructural**

Las patologías no estructurales son aquellas que “no tienen relación alguna con el comportamiento estructural y se manifiestan en forma de filtraciones, humedades, crecimiento de vegetación, tupiciones y colapso de las instalaciones sanitarias, la acción del hombre, etc.” [Figueredo Sosa et al. 2013].

Las patologías no estructurales, como su nombre lo indica, “no están relacionadas con el comportamiento de la estructura, usualmente se deben a la acción del medio ambiente y en no pocos casos a la irresponsabilidad de los hombres” [Ramírez Díaz et al. 2015].

Las patologías no estructurales son las lesiones encontradas que no están relacionadas con el comportamiento estructural de la edificación.

### **1.1.6 Estudio Patológico**

La patología constructiva se define como: “parte de la ingeniería que estudia los síntomas, los mecanismos, las causas y los orígenes de los defectos de las obras civiles, o sea, es el estudio de las partes que componen el diagnóstico del problema” [Helene 1997].

La patología no es más que la “ciencia que estudia, en las construcciones, las lesiones y sus causas, permitiendo llegar a un correcto diagnóstico” [Sánchez 2001].

El proceso patológico no es más que una serie de aspectos relacionados con el diagnóstico de la edificación como son el conocer el proceso, su origen, sus causas, su evolución, sus síntomas y su estado actual.

### **1.1.7 Lesión**

Se denomina lesión a cada una de las manifestaciones observables de un problema constructivo. Será, pues, el síntoma o efecto final del proceso patológico en cuestión. las

Causas de las lesiones se definen como el agente, activo o pasivo, que actúa como el origen del proceso patológico y que desemboca en una o varias lesiones. En ocasiones, varias causas pueden actuar conjuntamente para producir una misma lesión.

Si ése era el punto de partida del estudio, la causa es su objetivo, ya que con el diagnóstico lo que se persigue es conocer el origen de la "enfermedad" para atacar el mal desde el principio.

Pueden clasificarse según sus causas de origen en:

Lesión primaria: Es el primer síntoma que aparece en el proceso patológico y que puede ser origen de otras (grietas, fisuras, humedades, etc.).

Lesión secundaria: Consecuencia normalmente de la primaria y segundo efecto del proceso, pero lesión en sí misma.

### **1.1.8 Diagnóstico**

“Del griego *diagnostikós*, a su vez del prefijo *día-*, "a través", y *gnosis*, "conocimiento" o "apto para conocer", el diagnóstico alude, en general, al análisis que se realiza para determinar cualquier situación y cuáles son las tendencias. Esta determinación se realiza sobre la base de datos y hechos recogidos y ordenados sistemáticamente, que permiten juzgar mejor qué es lo que está pasando” [Collins 2001].

El diagnóstico es la “determinación del estado de conservación de los diferentes componentes” [Casanova & Tejera 2002].

El diagnóstico es el que se “define el tipo de daño, sus causas y futuro comportamiento” [Babé 2006].

Por lo tanto, diagnosticar, supone conocer la anomalía y discriminarla. El diagnóstico adquiere diversos estadios de concreción en función del nivel cognoscitivo que del objeto del análisis y su propia constitución se efectúe. El diagnóstico nos obliga a pronosticar la posible tendencia que de acuerdo a las lesiones puede tener la edificación.

### **1.1.9 Pronóstico**

“Un buen pronóstico debe basarse tanto en el diagnóstico del proceso patológico como en el conocimiento del edificio, pues al ser éste el que da soporte físico al mismo, incide en mayor o menor grado sobre su evolución” [Monjo 1991].

El pronóstico es “predecir la probable evolución de la anomalía, prevenir que puede suceder. El concepto de pronóstico, asociado siempre al diagnóstico, lleva implícito la idea de previsión” [Babé 2006].



Un buen pronóstico debe basarse tanto en el diagnóstico del proceso patológico como en el conocimiento del edificio pues al ser éste el que da soporte físico al mismo, incide en mayor o menor grado sobre su evolución.

El pronóstico es la predicción de las afectaciones que se puedan ocasionar en la edificación luego de haber conocido el diagnóstico.

### **1.1.10 Levantamiento Patológico**

Es la acción mediante la cual se detecta, clasifica y cuantifica los deterioros existentes en la estructura. Las afectaciones detectadas son en su mayoría asociadas a las patologías típicas de la degradación de materiales tales como el acero, el hormigón armado y en menor cuantía algunas relativas al comportamiento estructural.

Caracterización de los materiales Esta fase reviste una importancia singular, pues permite conocer el estado real de las propiedades físico-mecánicas de los materiales componentes de la estructura y definir los modelos constitutivos que mejor representen su comportamiento

- Caracterización de la edificación Localización
- Caracterización histórica
- Caracterización constructiva

Estrategia de intervención La estrategia de intervención para erradicar las afectaciones de la edificación está en función de las patologías encontradas en dicha edificación, pues se encamina a eliminar las causas que las provocaron.

### **1.1.11 Tratamiento o terapéutica**

El conjunto de actuaciones (demoliciones, saneamientos, nuevos materiales, etc.) destinadas a recuperar el estado constructivo original de dicha unidad recibirá el nombre de tratamiento.

A la terapia le corresponde el estudio de la corrección y la solución de estos problemas patológicos. Para obtener éxito en las medidas terapéuticas, es necesario que el estudio precedente, el diagnóstico del problema, haya sido bien definido.

### **1.1.12 Revestimientos**

Son aplicaciones efectuadas sobre las superficies de paredes o techos (alicatados, enfoscados, yesos y escayolas) es la capa superficial de muros o techos.

### **1.2 Definición de mortero.**

Se puede definir como una mezcla constituida por el conglomerante y áridos finos que al adicionarle agua reacciona y adquiere resistencia. Puede estar compuesto eventualmente por aditivos químicos y adiciones que mejoran sus propiedades tanto en estado fresco como endurecido y le otorgan características especiales como su plasticidad inicial, que permite trabajarla y moldearla según la necesidad, que lo hace útil como material de construcción.

Son mezclas plásticas empleadas como material de asentamiento o unión de elementos, como material de recubrimiento o acabado de superficies y para la fabricación de piedras artificiales; siendo los de cal, de cementos y la mezcla de ambos (morteros bastardos) con arena natural los más empleados (Barrera et al., 2002b, Hernbostel, 2002, Lana, 2005, N.A, 2007)

La norma cubana (NC175, 2002) define por mortero a una mezcla de uno o varios conglomerantes, áridos, agua y a veces adiciones y/o aditivos que sirve para unir elementos como ladrillos, bloques, celosías y otros, también sirve para revestimientos de paredes y techos.

Los morteros se definen como mezclas de uno o más conglomerantes inorgánicos siendo el principal el cemento. También se puede adicionar cal como segundo conglomerante para aportar trabajabilidad y plasticidad. Otros componentes son los áridos silíceos, calizos; los aditivos químicos que pueden ser aireantes, plastificantes, retenedores de agua, hidrofugantes, retardante y el agua (Revista técnica cemento-hormigón, 2008).

Según (Salamanca, 2001) “Mortero en su definición más general es toda mezcla de [cemento + arena + agua]. Puede tener función estructural o no tenerla. Los pañetes, por ejemplo, no poseen función estructural. Los morteros usados en mampostería (pega o relleno) o los usados para fundir elementos estructurales sí poseen tal función”.

Según [Orus 1968] son mezclas plásticas con uno o más conglomerantes inorgánicos, siendo el principal el cemento, sirven para unir las piedras o ladrillos que integran las obras de fábrica y para revestir muros.

La NC 791: 2010 lo define como compuesto constituido por: conglomerante (cemento, hidrato de cal, otros), agregado (arenas de diferente procedencia), hidrato de cal y agua, opcionalmente aditivos para mejorar algunas de sus propiedades.

(Menéndez, 1945, p. 3) lo define como la mezcla de materiales aglomerantes e inertes amasados con suficientemente cantidad de agua para ser laborables

### **1.3. Surgimiento y desarrollo de los morteros en la construcción.**

El origen de los morteros se remonta a la necesidad del ser humano de tener un techo en el cual resguardarse de las inclemencias climáticas y el ataque de animales, primero se sirvió de las condiciones que le previó la naturaleza siendo sus primeros asentamientos la copa de los árboles, en cavernas o en la construcción de paredes a base de ramas de los árboles. En estos inicios el material aglomerante para fijar las ramas o piedras entre sí fue el barro en algunas ocasiones mezclado con algún material vegetal.

Años después en el Imperio Persa se comienzan a utilizar los bloques de ladrillo para cuya fijación se utilizaba barro mezclado con tierra o arena y otros componentes. Sin embargo, entre los bloques calizos del revestimiento de la Gran Pirámide se utilizó una especie de mortero posiblemente para facilitar su deslizamiento y óptimo ajuste al colocarlos. En cuanto a sus aplicaciones si bien casi siempre los morteros estuvieron asociados a los aspectos estéticos se les utilizó también en la construcción de vías y superficies de rodamiento (Revista Construir, 2011).

La utilización de los morteros como material de unión entre las piezas de piedra o de ladrillo para garantizar la estabilidad del edificio se convirtió con el paso del tiempo en la práctica más habitual. El aglomerante más utilizado fue la cal, que experimentó un importante desarrollo en el Imperio Romano, ya en esta época se presentaron los primeros testimonios del empleo de aditivos describiéndose las propiedades dispersantes de la clara de huevo y la sangre animal. También se describen fórmulas o recetas que incorporan refuerzos a base de fibra vegetal y animal (Revista técnica cemento-hormigón, 2008).

Si bien la invención del mortero de cal o mortero Puzolánico se debe posiblemente a los griegos, su desarrollo y utilización masiva en todo tipo de construcciones se dio en Roma donde fue utilizado para asegurar la unión o fijación de piezas en paredes y otros elementos constructivos como en revestimientos y como base para la fabricación de hormigones. Los constructores griegos y romanos descubrieron que ciertas cenizas volcánicas mezcladas con caliza y arena producían un mortero muy fuerte capaz de resistir la acción del agua dulce o salada. Estas cenizas las encontraron en un lugar llamado Puteoli conocido hoy como Pozzuoli, lo que dio su nombre al cemento de puzolana. Hasta el siglo XVIII sólo se utilizan los morteros de cal, yesos y materiales Puzolánicos.

“Se entiende por **puzolana**, en sentido estricto, el producto natural de origen volcánico que finamente dividido no posee una propiedad hidráulica, pero contienen sílice y alúmina capaces de fijar cal a temperatura ambiente en presencia de agua, formando compuestos de propiedades hidráulicas.” (Jiménez, 2000, p. 19).

El nombre de puzolana comenta (Monzón, 2002), se aplica también a otros productos que tienen propiedades análogas a las antes mencionadas como son las cenizas volantes, humo de sílice, cenizas de cáscara de arroz etc.

La puzolana se combina con la cal,  $(Ca(OH)_2)$ , por lo que se tendrá una menor cantidad de esta última. Pero justamente porque la cal es el componente que es atacado por las aguas agresivas, el cemento Puzolánico será más resistente al ataque de éstas. Por otro lado, como el Aluminato tricálcico,  $(3CaO \cdot Al_2O_3)$ , está presente solamente en el

componente constituido por el clinker Portland, la colada de cemento Puzolánico desarrollará un menor calor de reacción durante el fraguado.

Este cemento es, por lo tanto, adecuado para ser usado en climas particularmente calurosos o para coladas de grandes dimensiones. Por ser mezclada con la cal y ésta tener un fraguado más lento que el del cemento Portland, las partículas de los componentes involucrados en la reacción de hidratación y fraguado del cemento se acomodarán mejor en un volumen determinado, ocasionando esto mayor compacidad, mayor densidad, menor cantidad de poros obteniéndose morteros más impermeables y más duraderos. (Jiménez, 2000, p. 19).

La civilización romana fue la que descubrió todo el potencial que estos materiales podían ofrecer. De esta forma uno de los mejores exponentes que podemos encontrar es el Partenón de Roma. Construido en el año 123 fue, durante 1 500 años, la mayor cúpula construida y con sus 43,3 metros de diámetro aún mantiene récord como el de ser la mayor construcción de hormigón no armado que existe en el mundo. Para su construcción se mezcló cal, puzolana y agua añadiendo en las partes inferiores ladrillos rotos a modo de los actuales áridos, aligerando el peso en las capas superiores usando materiales más ligeros como piedra pómez y puzolana no triturada.

En el siglo XIX una serie de investigaciones describieron el comportamiento hidráulico de las mezclas de caliza y arcilla, lo que impulsó su fabricación que continúa en la actualidad dosificada en las proporciones convenientes y molidas conjuntamente.

En 1824 fue patentado el cemento Portland que debe su nombre a motivos comerciales pues su color y dureza recuerdan a las piedras de Portland. El material fue obtenido mediante la calcinación a alta temperatura de una caliza arcillosa. A finales del siglo XIX se perfeccionó el proceso de fabricación hasta llegar a los actuales cementos Portland íntimamente ligados a la producción de los morteros de hoy (Revista Construir, 2011).

En la actualidad la seguridad y comodidad son los factores que priman para el diseño y construcción de una vivienda. Estos barros, arcillas y cales son los precursores de los morteros actuales. En el presente la forma de aplicar los materiales no ha variado mucho

en comparación con las técnicas y herramientas con las que contamos, el mortero sigue haciéndose mayormente manual. El conocimiento científico y técnico de los morteros ha evolucionado en grandes medidas y seguirá en el orden que se siga investigando sus propiedades. De esta forma se puede seleccionar la materia prima y sus proporciones para lograr morteros que cumplan con los estándares internacionales de resistencia, permeabilidad, durabilidad entre otros. Según Álvarez Galindo y colaboradores [2006] los egipcios fueron los primeros en utilizar el yeso para el mampuesto de los bloques de la pirámide de Keops. El uso de mortero de yeso queda casi exclusivamente limitado en la Antigüedad, a los morteros egipcios. Sólo en Grecia se ha encontrado el yeso como ligante en las paredes del Palacio de Micenas y entre los bloques gigantes del antiguo fondeadero de Kition, en Chipre (600 a.n.e.). Se puede afirmar que fue en Egipto donde se logró en la Antigüedad el mayor conocimiento del yeso, de su preparación y aplicaciones, y también donde prácticamente se utilizó por primera vez el yeso puro como mortero.

El uso del mortero de cal propiamente dicho corresponde a los griegos y romanos. Las excavaciones realizadas atestiguan que los constructores griegos conocían los ligantes artificiales desde épocas muy remotas, lo que corrobora la hipótesis del origen neolítico del mortero de cal. Sin embargo, la utilización del mortero de cal en Grecia para la construcción de muros es muy posterior, a finales del siglo II o principio del siglo I a.n.e.

En anteriores construcciones, las piedras estaban unidas por un mortero hecho simplemente de tierra y de arcilla. Ya desde el siglo VII a.n.e. los constructores griegos recurrían a la técnica de estucos y de revestimientos para disimular el aspecto rudo de ciertos materiales como la toba y la caliza.

Son los romanos los herederos de la tecnología de la construcción griega, y más concretamente del empleo del mortero de cal. Los romanos aplicaron la antigua técnica griega del pulimentado del mismo en sus construcciones para la conducción de agua, además del uso del mortero de cal, *opus caementitium*, en otras construcciones como el Panteón, el Coliseo y acueductos como el de Segovia o Pont du Garde.

Los romanos también heredaron de los griegos la técnica de añadir a la mezcla diversas sustancias que favorecían las características del mortero. Por ejemplo, con frecuencias le añadía lava ligera como agregado, como lo demuestran los morteros hallados en el Foro Romano en Ostia, en Pompeya y Herculano. La gran durabilidad de estos morteros pulidos se explica por la baja absorción y desorción de agua del agregado; al actuar de igual forma para la entrada de aire, afecta también la expansión y la contracción del mortero. Se puede señalar, por tanto, que la civilización romana mejoró los procedimientos de fabricación de la cal y las técnicas de aplicación de su mortero.

Sin embargo, el mortero de cal hidráulica, no fue utilizado con posterioridad a la civilización romana, hecho asignable al retroceso cultural y tecnológico general que acaeció a partir de su decadencia, particularmente en los restos del Imperio Romano de Occidente. Durante toda la Edad Media y el comienzo de la Edad Moderna, incluyendo el Renacimiento, los morteros son de mala calidad, constituidos esencialmente de cal aérea y yeso (morteros bastardos). No fue hasta la segunda mitad del siglo XVIII cuando la cal aérea fue sustituida, poco a poco, como material de construcción, primero por cales hidráulicas y luego por cementos de tipo Portland y otros. [Castillo 2008]

Los avances de la tecnología produjeron en las últimas décadas un desplazamiento de los morteros hechos in situ a favor de los morteros industriales. Finalmente, la mayor exigencia y control de sus propiedades generó en los últimos años una fuerte tendencia hacia el desarrollo del mortero seco, suministrado en silos o en sacos. [Gómez 2011]

#### **1.4. Tipos de morteros.**

Autores como (Álvarez, 2011, Blanco, 2012 ) plantean el mortero como material resultante de la mezcla íntima de un árido, ligante y agua, según la naturaleza del conglomerante se puede clasificar en:

\*Morteros de base cal: Están fabricados con hidróxido de calcio (cal), arena y agua. La cal puede ser aérea o hidráulica, se diferencian en que la hidráulica tiene un pequeño porcentaje de silicatos, lo que la hace más recomendable para su uso en ambientes húmedos. Estos tipos de morteros no se caracterizan por su gran dureza a corto plazo,

sino por su plasticidad, color, y maleabilidad en la aplicación. Las propiedades de los morteros de cal están limitadas por el proceso de endurecimiento por lo que presentan baja resistencia mecánica, elevada capacidad de deformación, elevada permeabilidad al agua y al vapor de agua, ausencia de sales solubles, fácil laborabilidad debido al lento proceso de endurecimiento, elevada retracción y baja resistencia a los ciclos hielo/deshielo (Blanco, 2012, Pérez, 2008) Es una mezcla compuesta de cal aérea o hidráulica, arena y agua; pueden tener hasta un 5% de cemento blanco cuando se considere necesario y aditivos para mejorar algunas propiedades (NC566, 2007).

\*Morteros de base cal con puzolanas: definido por (Álvarez, 2011) como morteros plásticos, laborables, de porosidad media y resistencias mecánicas de baja a media. El tipo de cal y principalmente el tipo, finura y actividad de la puzolana influyen en la reactividad del cemento, ya que las puzolanas naturales y artificiales están formadas por silicatos o aluminosilicatos, que por sí solos carecen de propiedades cementantes y actividad hidráulica, pero que al unirse con la cal son capaces de reaccionar en presencia de agua, dando lugar a la formación de productos insolubles y estables, similares a los formados en la hidratación del cemento Portland, o sea, a la formación de silicatos y aluminatos cálcicos hidratados (Arriola, 2009).

\*Morteros basados en ligantes hidráulicos: Se definen por (Arriola, 2009) como productos artificiales de naturaleza inorgánica y mineral, que al ser amasados con agua forman una pasta que fragua obteniéndose compuestos estables que endurecen en el tiempo, siendo esta su principal propiedad. La cal hidráulica es uno de los primeros ligantes hidráulicos, aunque el principal es el cemento Portland.

\* Morteros de cemento Portland: Son morteros elaborados a base de cemento Portland, arena y agua. El cemento se obtiene por la calcinación de una mezcla de calizas puras y arcillas molidas. Se pueden utilizar para revestimientos de muros y techos, colocación de unidades de albañilería y para sellar las juntas que se crean al unir elementos prefabricados.

\* Morteros de cemento de aluminato de calcio: Fabricados a base de cemento de aluminato de calcio, arena y agua, resisten mejor el ataque de soluciones sulfatadas,



menos el de los álcalis cáusticos. Se utilizan en taponamientos de vías de agua. [Gómez 2011]

\*Morteros mixtos o bastardos: Los morteros bastardos son aquellos en los que intervienen dos aglomerantes como por ejemplo cal y cemento y sirven para evitar la escasa trabazón, adherencia y alta porosidad de los morteros de cemento y arena con dosificaciones superiores a 1:5, presentando ventajas como endurecimiento bastante rápido, ausencia de grietas por retracción, aumento de la plasticidad, la compacidad y la adherencia. Este tipo de morteros sustituye ventajosamente al mortero de cal en aquellos casos en que el revestimiento está particularmente expuesto a solicitaciones mecánicas y a la intemperie (Rodríguez, 2003). Si en la masa se pone más cemento que cal será más resistente y si la proporción es inversa será más flexible. [Ibíd.]

\* Morteros de yeso: Con el yeso de fábrica, que es de fraguado rápido, se forma una pasta, que se amasa solamente con agua. Admite poca arena, y no se puede emplear más de un tercio del volumen de la pasta. Además, como su fraguado es rápido, el tiempo de amasado es muy breve. [Orus 1968]

Plantea (Álvarez, 2011) otra clasificación de los morteros, atendiendo al tipo de aplicación, en relación a la calidad de los cementos, en morteros de albañilería y morteros especiales

\*Morteros para determinar la calidad de los cementos: son empleados para la evaluación de las resistencias mecánicas de los cementos.

\*Morteros de albañilería: son los morteros más empleados tanto en la colocación de elementos (ladrillos, bloques, rasillas, celosías, etc.) como en el revestimiento de edificaciones. En la (NC175, 2002) se plantean los requisitos que deben cumplir para ser empleados en obras de albañilería y los define como mezcla de uno o varios Morteros especiales: engloban varios tipos como morteros de cola, dentro del cual se encuentra el cemento blanco o gris, estos están conformados por áridos finos de naturaleza calcárea o silíceo, libres de arcillas y materias orgánicas, el mortero monocapa aplicado en varias capas sucesivas como el salpicado, resano y el fino. Los morteros aligerados, empleados

como aislantes térmico y acústico, niveladores de pendientes, rellenos en cubiertas antes de colocar la soladura y en relleno de zanjas, otro de los integrantes de esta familia son los morteros poliméricos donde el conglomerante principal son polímeros y no el cemento, son empleados como revestimiento de cualquier soporte o paramento, fachadas, zócalos, cajas de escaleras, pasillos, entre otros (Álvarez, 2011, Lana, 2005, Mas, 2006).

La (NC175, 2002) los clasifica según el sistema de fabricación en: Mortero preparado “in situ”: Mortero compuesto por los componentes primarios, mezclados y amasados en el lugar de construcción.

\*Mortero industrial: Mortero dosificado y mezclado en la fábrica, que se suministra al lugar de construcción. Este mortero puede ser "mortero seco" que exige la adición y amasado con agua para su utilización o “mortero húmedo” que está retardado y se suministra listo para su empleo.

\*Mortero industrial semiterminado: Material cuyos componentes se mezclan en fábrica y se suministran al lugar de construcción, en donde se mezclan y amasan en las proporciones y condiciones especificadas por el fabricante aglomerantes minerales, áridos, agua y a veces adiciones y/o aditivos.

Los morteros según su uso en la albañilería pueden ser :

\*Morteros de revestimientos: Son morteros que se emplean para revestir las paredes y techos, generalmente están divididos en salpicado, resano o repello grueso y repello fino [NC 791: 2010]. Los mismos pueden ser aplicados manual o proyectados con máquinas. Estos últimos tienen una dosificación específica para este tipo de aplicación en función de parámetros como el contenido de finos, capacidad de retención de agua, la adherencia en estado fresco y sobre todo bien fluidos. [Aditivos para el hormigón 2008]

\* Adhesivos cementosos: Sirven como puente de unión entre cerramientos y distintos materiales cerámicos que se emplean como revestimiento final. [Ibíd.]

\* Morteros de colocación: Morteros empleados para unir elementos de albañilería como bloques, ladrillos, celosías, otros. También se utilizan para la colocación de elementos de piso. [NC 791: 2010]

\* Morteros de reparación: Estos están dotados de dosificaciones muy estrictas para cumplir con las exigencias de la puesta en obra, realizar reparaciones industriales y en estructuras de hormigón. [Aditivos para el hormigón 2008]

Referente al grupo de Morteros especiales en la Revista Construir se clasifican se la siguiente manera:

\* Morteros ignífugos: Se emplean para revestir y proteger estructuras metálicas, formadas por elementos de acero o cualquier otro al que se le deba proporcionar resistencia al fuego. En estos morteros se sustituye la arena, parcial o totalmente, por materiales resistentes al fuego, como el amianto previamente preparado.

\* Morteros refractarios: Están compuestos por cemento de aluminato de calcio y arena refractaria. Se emplean para construir hornos, hogares y chimeneas, y como material de agarre para la unión de piezas refractarias. Son resistentes a altas temperaturas y a la agresión de los gases que se producen en las combustiones.

\* Morteros con aireante: Se agrega al mortero un aireante líquido exento de cloruros, lo que hace que actúe como plastificante y reductor de agua, a la vez que aumenta la oclusión de aire dentro del hormigón. Reduce el riesgo de segregación y absorción de agua a través de los canales capilares, por lo que el mortero resulta más impermeable. Produce un acabado uniforme y suave.

\*Morteros exentos de finos: Se fabrican con arenas que contengan solo la fracción gruesa, por lo que se eliminan los granos que pasan por el tamiz de 1,25 mm de luz de malla. La relación agua/cemento es muy baja. Se caracterizan por presentar, una vez endurecidos, una masa muy porosa. Reduce el riesgo de segregación y absorción de agua a través de los canales capilares, por lo que el hormigón resulta más impermeable. Produce un acabado uniforme y suave.

\* Morteros de cemento cola: Son fabricados con un aglomerante compuesto por una mezcla de cemento Portland y resinas de origen orgánico. La relación agua/cemento, expresada en peso, varía según el tipo de resina. Para la fabricación de estos morteros se utilizan arenas finas, que pasen por un tamiz de 0,32 mm de luz de malla. Son morteros muy finos y con gran adherencia. Necesitan poca agua para su amasado y endurecen rápidamente.

\* Morteros autonivelantes: Al igual que el resto de morteros, se componen de cemento y arena de granulometría fina, con el agregado de aditivos que le confieren mayor fluidez, lo que facilita su nivelado y un acabado más liso. [Revista Construir 2011]

\* Morteros hidrófugos: Son morteros que se le agregan materiales hidrófugos como: filler calizo, cal hidratada, sílice pulverizada y fluoruros. Los aditivos de la familia de los hidrofugantes obturan los capilares (hidrófugo en masa) y actúan en la superficie del mortero, al que convierten en un material repelente al agua y menos humedecible.

## **1.5 Propiedades físicas-mecánicas de los morteros .**

Dado a que los morteros pasan por dos fases: estado fresco y estado endurecido podemos apreciar las diferentes propiedades q tienen en cada momento a continuación:

### **1.5.1 Propiedades de los morteros en estado fresco.**

\* Compacidad.

Es la propiedad del mortero de ser compacto y contener la menor cantidad de poros al fraguar y endurecerse. Esta idea se ratifica por lo planteado por Jiménez en cuanto —Una mayor compacidad no solo proporciona gran resistencia mecánica frente a esfuerzos, impactos, desgaste, vibraciones, sino una mayor resistencia física a los efectos de la helada y química frente a la acción agresiva de los agentes climatológicos. Lo anterior se fundamenta ya que al contener una cantidad mínima de huecos o porosidades las vías de penetración de los agentes exteriores también disminuyen. [Jiménez 2000].

\* Laborabilidad

Es la propiedad más importante del mortero fresco. El mortero laborable puede extenderse fácilmente sobre paredes y juntas de la unidad de albañilería, es capaz de soportar el peso de las unidades (ladrillos, bloques, etc.) cuando se colocan sobre él, facilitando su alineación y salir de las juntas cuando se aplica una presión sobre las mismas. Esta propiedad es el resultado de la lubricación de las partículas de áridos, mediante la pasta conglomerante. Una buena laborabilidad es importante para propiciar la máxima adherencia en las unidades de albañilería. [NC 175: 2002]

\* Retención de agua

Es la capacidad de un mortero de mantener su laborabilidad cuando éste ha sido sometido a la succión de las unidades de albañilería y al proceso de evaporación, o sea, es la capacidad del mortero de retener el agua. Esta se puede incrementar aumentando el contenido de cal o aire en el mortero, así como utilizando aditivos retenedores de agua. [Ibíd.]

\* Tiempo de utilización

Es el tiempo durante el cual el mortero tiene suficiente laborabilidad para ser manipulado sin necesidad de adición de agua.

### **1.5.2 Propiedades de los morteros en estado endurecido**

\* Resistencia a flexión y compresión.

El autor define la resistencia a flexión como la propiedad del mortero de resistir las flexiones que provocan las fuerzas que actúan en los muros, techos, pisos, etc. donde se aplica el mortero.

La resistencia compresión es la fuerza que resiste una mezcla al ser sometida a carga en el eje vertical. [El uso de la cal en las mezclas de albañilería s.o.d]La resistencia a la compresión aumenta con el incremento del contenido de cemento y disminuye con el aumento de la cal, arena, agua y contenido de aire. Esta resistencia, a los 28 días, es generalmente usada como criterio principal para seleccionar el tipo de mortero, ya que es

relativamente fácil de medir y comúnmente se relaciona con otras propiedades, como la adherencia y absorción del mortero. [NC 175: 2002]

\* Resistencia a la adherencia por tracción perpendicular.

La adherencia es posiblemente la propiedad más importante del mortero endurecido. El mortero tiene que desarrollar suficiente adherencia con las unidades para resistir los esfuerzos de tracción producidos por: las cargas de la estructura, del terreno, sísmicas y del viento; los cambios de volumen de las unidades y los cambios de temperatura. Existen muchas variables que afectan la adherencia como son: contenido de aire, succión de las unidades de albañilería, cohesión del mortero, retención de agua del mortero, rugosidad del sustrato, condiciones de curado, etc. [Ibíd.]

\* Durabilidad.

Es la habilidad del mortero para mantenerse estable en su apariencia original, a través de los años. Para que se cumpla esto se tienen en cuenta dos consideraciones:

-Las unidades de albañilería deben ser estables en su composición.

- Un mortero capaz de formar una adherencia completa y permanente, esto es, haciendo a la estructura completamente permeable. [El uso de la cal en las mezclas de albañilería s.o.d]

- Variaciones de Volumen

El mortero experimenta variaciones de volumen, dilataciones o contracciones, durante toda su vida útil por causas físico-químicas. El tipo y magnitud de estas variaciones está afectada en forma importante por las condiciones ambientales de humedad y temperatura existentes, y también por los componentes presentes en la atmósfera. Se pueden distinguir tres tipos de variaciones de volumen que afectan al mortero: la que se deriva de las condiciones de humedad se denomina retracción hidráulica, la que tiene por causa la temperatura, retracción térmica y la originada por la composición atmosférica (especialmente el anhídrido carbónico) denominada retracción por carbonatación. [Barrera, Faundez, & Luna 2002]

- Permeabilidad

Es la resistencia de un material al paso del agua. Depende del grado de porosidad del material. Si la relación de vacíos de un mortero es muy alta, la posibilidad de filtraciones será muy alta, si existen grietas o fisuras provocadas por la poca adherencia o el fraguado rápido, se eleva la posibilidad de las filtraciones. La cal se carbonata y por lo tanto sella los huecos por donde penetra el agua, provee alta adhesión, lo que impide separaciones entre las unidades de albañilería y las mezclas; además tiene la propiedad de absorber la humedad. [El uso de la cal en las mezclas de albañilería s.o.d]

- Porosidad.

Son los espacios vacíos que quedan en la masa del mortero a consecuencia de la evaporación del agua excedente del amasado y del aire atrapado en su manipulación.

- Absorción capilar.

Se considera la masa de agua por unidad de área que puede ser absorbida en los capilares cuando el mortero se encuentra en contacto con agua. Representa la porosidad efectiva o accesible al agua y por tanto a los agresivos ambientales. [CYTED 1997]

### **1.6 Dosificación de los morteros y proceso de mezclado.**

La dosificación de un mortero se expresa indicando el número de partes en volumen o peso de sus componentes. Para el amasado del mortero lo primero que se realiza es mezclar el aglomerante o los aglomerantes con el agua, para que se hidraten todos los granos evitando que se formen vacíos debido a que no reaccionen todas las partículas de cemento con el agua y por último las partes de arena. El papel que desempeña la arena es puramente mecánico, para evitar las contracciones que se producen en los morteros de cal, debido a la evaporación del agua de amasado y a la compresión producida por el peso de la obra. En los morteros hidráulicos se usa para disminuir la dosis necesaria para obtener un volumen dado con una resistencia o impermeabilidad dada, y aminorar la retracción de fraguado. Teóricamente solo se precisa la cantidad de aglomerante necesaria para cubrir con una película a los granos de arena, que los podíamos suponer

tangentes entre sí; pero si además queremos que sean compactos e impermeables, tendremos que llenar los huecos con aglomerantes u otro cuerpo más económico. [Orus 1968]

Se suelen expresar las dosificaciones por la relación entre los volúmenes de aglomerantes y arenas; así, un volumen de aglomerante y tres de arena se representan por 1:3. Se expresa: cemento: árido: agua (c: a: w). En general, conviene amasar el mortero con el mínimo de agua; pues el exceso, al evaporarse, deja poros y retrasa el fraguado. Según el autor, las dosificaciones están sujetas a parámetros como son: la naturaleza y características del árido (composición granulométrica, pesos específicos, pesos unitarios, porcentaje de arcilla), cantidad de agua, tipo y características físico-químico-mecánicas del cemento.

En la NC 175: 2002 se establecen las definiciones, así como se especifican los requisitos que deben cumplir los morteros para ser empleados en obras de albañilería. En esta norma, la resistencia a la compresión a los 28 días es generalmente usada como criterio principal para seleccionar el tipo de mortero, ya que es relativamente fácil de medir y comúnmente se relaciona con otras propiedades, como la adherencia y absorción del mortero.

En la tabla 1.1 se encuentran los morteros que agrupados por tipos de acuerdo a los requisitos que reúnen y las dosificaciones volumétricas que responde a proporciones



generales empleadas de acuerdo a las materias primas disponibles

**Tabla 1.1:** Dosificaciones generales y propiedades de los morteros de albañilería.

**Fuente:** Tomado de NC 175: 2002.

Tipos de morteros	R <sub>c</sub> 28d. (MPa)	Adh. 28d. (MPa)	CEMENTOS			ARENA	Hidrato de cal
			P-350	PP-250	Albañilería		
I	2,4	0,15 ± 0,05	1			8	2
				1		6	2
					1	4	1,5
II	3,5	0,25 ± 0,05	1			6	2
				1		5	1
					1	4	1
III	5,2	0,40 ± 0,05	1			4	2
				1		4	1
					1	3	1
IV	8,9	0,50 ± 0,05	1			4	1
				1		4	0,5
					1	3	0,5
V	12,4	0,65 ± 0,05	1			3	1
				1		3	0,5
					1	2,5	-

Los morteros de albañilería, además de cumplir con la resistencia mínima a compresión se caracterizarán por otras propiedades que varían de acuerdo al tipo de mortero seleccionado y que están influenciados por la experiencia del operario encargado de preparar la mezcla. Entre esas propiedades se pueden señalar: compacidad, adherencia, laborabilidad, durabilidad y constancia de volumen

## 1.7 Utilización de materiales reciclados en los morteros.

### 1.7.1 Morteros modificados con ceniza proveniente de la desorción térmica de aguas de la industria petrolera.

El alto consumo de agregados naturales y de agua motiva a la producción de morteros que ambientalmente exijan menos recursos naturales. Recientemente se han realizado investigaciones con este propósito. Un ejemplo es la utilización de la ceniza de locaciones petroleras como un material adicionado en porcentaje en peso del cemento, buscando disminuir la relación agua/cemento. Esta investigación, realizada por un grupo de ingenieros civiles de la Universidad Pontificia Bolivariana (Colombia), se centra en la

evaluación de las propiedades mecánicas de morteros preparados con arena de diferentes módulos de finura (MF) y con ceniza proveniente de la desorción térmica de aguas de la industria petrolera añadida al cemento en porcentaje en peso en todas las mezclas. La resistencia mecánica a compresión de los morteros preparados y curados en agua se ensayó a las 24 horas, 3 días, 7 días y 28 días, encontrándose que las probetas con 10% de ceniza y 90% de cemento tienen un comportamiento a compresión cercano al de las mezclas testigo. Asimismo, que los morteros preparados con módulo de finura (MF) menor arrojan un comportamiento mecánico mejor lo cual se asocia a la facilidad de hidratación de la pasta por la mayor superficie específica del agregado fino. [Serrano, Pérez, Orlando, & Grammes 2013]

### **1.7.2 Morteros de albañilería elaborados con áridos reciclados mixtos con diferentes procesos de obtención.**

Los estudios realizados a nivel internacional sobre morteros de albañilería elaborados con áridos reciclados de residuos de construcción y demolición, analizan principalmente los áridos reciclados provenientes de residuos de un único material. Según Vegas, et al.[2009] se fija un máximo de 25 % de sustitución de árido natural por reciclado sin que el mortero vea afectadas sus prestaciones, y establecen la elevada absorción de agua y el alto contenido de sulfatos de los áridos como elementos limitantes. Corinaldesi [2009] considera la utilización de áridos reciclados obtenidos de residuos provenientes de tres fuentes diferentes: una planta de hormigón, ladrillos cerámicos y una planta de reciclaje. Los resultados muestran que los morteros reciclados presentan una resistencia mecánica inferior a los de arena natural, sin embargo, muestran una mayor adherencia en la interacción mortero ladrillo.

La utilización de residuos de ladrillos cerámicos con actividad puzolánica como sustitución parcial de cemento, en morteros fabricados con arena natural, fue analizada por Nacerini [2009] solo las sustituciones de 5 y 10 %, a partir de 90 días, mostraron comportamientos mecánicos similares a los morteros sin ningún porcentaje de sustitución.

En La Habana se generan diariamente más de 1000 m de residuos de construcción y demolición (RCD) según datos calculados de la Oficina Nacional de Estadísticas. La mayor parte de estos RCD se depositan en vertederos comunes, lo que provoca un negativo impacto ambiental. Además, este manejo de los RCD provoca su contaminación, haciendo extremadamente difícil su reciclaje. Los RCD sin contaminar generados en La Habana, poseen características singulares si se comparan con los generados en otros países. La ausencia de demoliciones selectivas y los derrumbes ocurridos debido al mal estado de una parte importante del fondo habitacional, provoca que se generen residuos de construcción y demolición de tipo mixto, diferentes a los RCD de naturaleza única (cerámico, hormigón, mortero, yeso, etc.) con los que se trabajan en diversos países.

En la mayoría de las viviendas cubanas se utilizan como elementos constructivos verticales, bloques de hormigón unidos por morteros. Tanto el repello interior como el exterior de estos elementos se realizan igualmente con morteros de albañilería. En ambos casos se emplea un gran volumen de áridos naturales. Paralelamente, las canteras de áridos naturales, cercanas a la ciudad se encuentran sobreexplotadas y muchas de ellas ya comienzan a agotarse, lo que provoca que las canteras suministradoras de la capital se encuentren cada vez más distantes, lo que trae consigo el aumento en los costos de transportación.

La fabricación de áridos reciclados a partir de los residuos de construcción y demolición generados en la ciudad es una alternativa que permite proteger los recursos naturales, disminuyendo la explotación de las canteras, los costes de transporte y minimiza el impacto ambiental que produce la deposición irregular de los RCD.

Una alternativa generalizada en la ciudad para contrarrestar la falta de áridos naturales, ha sido la utilización del material fino (menor de 5 mm) que se obtiene de cernir directamente los escombros que se producen tanto de demoliciones como de derrumbes de edificaciones. Este material es empleado principalmente para la confección de morteros de albañilería tanto de colocación como de revestimiento.

En el estudio hecho por Herrera, Larragaña, Fé y Brito [2012] se analizan dos áridos reciclados obtenidos mediante diferentes procesamientos de un mismo residuo procedente de la demolición de una vivienda. A los áridos reciclados se les determinan sus propiedades físicas y químicas, y se comparan con las de una arena natural ampliamente comercializada en la ciudad de La Habana. Posteriormente, se fabrican morteros de albañilería con cada uno de estos áridos comparando las prestaciones con los estándares establecidos por la norma cubana.

Los resultados obtenidos confirmaron que el procesamiento utilizado con los residuos de construcción y demolición (RCD) para la obtención de áridos finos influye en las prestaciones de los morteros elaborados con estos áridos. De la trituración de las partículas gruesas (superiores a 5 mm) de los residuos se obtienen áridos reciclados que permiten fabricar morteros de colocación aptos para su utilización tanto en muros portantes como no portantes, según especificaciones de la norma cubana, así como para revestimiento de paredes interiores no enchapadas. [Herrera, Larrañaga, Fé, & Brito, 2012]

### **1.7.3 Nuevo material de construcción denominado Geosilex.**

La empresa Geosilex Trenza Metal [Andrés 2014] desarrolló un proyecto de investigación en colaboración con la Universidad de Granada que tuvo como resultado la patente de un nuevo material de construcción denominado Geosilex, una cal con una elevada capacidad de absorción de CO<sub>2</sub> ambiental.

La materia prima de este producto innovador es un desecho industrial. En la producción de un gas llamado acetileno se genera un residuo cuyo componente fundamental es el hidróxido cálcico (Ca(OH)<sub>2</sub>), que habitualmente se desecha.

El material resultante se seca y se suministra en polvo, siendo compatible para realizar mezclas con las cenizas de centrales térmicas de carbón. —Estas cenizas son silicatos solubles que le dan la posibilidad de fraguarlo, de forma que puede convertirse en un material que sustituya al cemento. De hecho, el 70% del cemento puede llegar a

reemplazarse por una mezcla de Geosilex y estas cenizas, según los experimentos de los científicos.

Este hecho ya supone una gran ventaja, porque la huella de carbono de la producción del nuevo material equivale a cero, debido a que procede de residuos de otro proceso industrial. Además, puede emplearse como absorbente de CO<sub>2</sub> en chimeneas de industrias como las propias cementeras, de forma que no registra emisiones y además incrementa la actividad captadora de CO<sub>2</sub>.

En definitiva, el proceso contribuye a reciclar residuos, a crear un material de construcción con una huella de carbono cero y a captar CO<sub>2</sub>, de manera que medioambientalmente resulta muy rentable.

La obtención de cal industrial no contribuye a este objetivo. Este producto se logra mediante la calcinación a elevadas temperaturas del carbonato de calcio, que en la naturaleza se encuentra en las piedras calizas y en el proceso de fabricación se emiten grandes cantidades de CO<sub>2</sub>.

Por el contrario, Geosilex es un hidróxido de calcio que procede de residuos y absorbe este gas además de ahorrar energía en su fabricación. Los líquidos sobrantes en el proceso de purificación también se pueden reutilizar en la industria cerámica. El agua saturada de hidróxido de calcio se puede incorporar a hormigones o al amasado de arcillas, lo cual permite fabricar ladrillos con una mayor calidad y un menor consumo energético, ya que rebaja el punto de fusión necesario.

Todos estos datos se pueden tener en cuenta a la hora de medir la huella de carbono de este producto y sus procesos de fabricación en relación con otros. El concepto de huella de carbono hace referencia a la totalidad de los gases de efecto invernadero emitidos directa o indirectamente, en este caso, en la obtención de un producto. Pues bien, los desarrolladores del Geosilex consideran que la huella de carbono de este material es cero, porque se fabrica de residuos de otro proceso, pero además a esto hay que añadir su capacidad para absorber CO<sub>2</sub>, y el hecho de ser un material de construcción que reduce la

cantidad de cemento normal que se emplea, de manera que la huella de carbono podría ser negativa.

Dadas sus características higroscópicas, elevada plasticidad y retención de agua es un aditivo óptimo para materiales base cemento contribuyendo a que éstos adquieran óptimas propiedades plásticas y de anclaje en estado fresco sobre los materiales de soporte.

- Neutraliza la alta absorción de agua de los ladrillos, penetra más en los poros y se adapta mejor a las irregularidades superficiales de éstos.
- Es ideal para aplicar en morteros de restauración sobre piedra reduciendo o evitando las incompatibilidades químicas del cemento y la piedra.
- Aumenta el anclaje de los morteros sobre los materiales de soporte.
- Aumenta las propiedades mecánicas a medio y largo plazo.

En contacto con materiales puzolánicos tales como el metacaolín o residuos industriales de elevado contenido en sílice y alúmina (cenizas volantes), el  $\text{Ca(OH)}_2$  del GEOSILEX® provoca reacciones puzolánicas resultantes en la precipitación de aluminatos y silicatos cálcicos hidratados de carácter cementante, lo que favorece el fraguado hidráulico de dichas mezclas. Puede por tanto usarse en la preparación de cales hidráulicas artificiales de uso en construcción e ingeniería civil.

#### **1.7.4 Empleo de resinas furano-epoxídica cubanas en la fabricación de morteros base cemento.**

La investigación realizada por Velazco [2012] comprende los primeros estudios reconocidos sobre este tema. Abarca una gran cantidad de ensayos, sobre el posible uso y desarrollo de resinas cubanas, derivadas del bagazo de la caña de azúcar, para el mejoramiento de las propiedades de morteros y hormigones.

### *Protección Primaria*

Los morteros con sustitución de resina y monómero de base furano-epoxídica tienen menores resistencias mecánicas que los patrones, pero mayor resistividad eléctrica y menor absorción capilar que los mismos, por lo que mejora su estructura de poros. La dosificación ensayada con mejores resultados en las edades de 3,7, 28 y 91 días, es la sustitución del cemento por monómero de base furano-epoxídica al 5 %. Protección Secundaria Al aplicar 1 ó 2 capas de resina de base furano-epoxídica, en forma de pintura mejoraron las propiedades de densidad, resistividad eléctrica y resistencia a flexotracción.

Las mejores correlaciones entre la resistencia a compresión y la resistividad eléctrica, la densidad y la velocidad de ultrasonido se aprecian a las edades de 7 y 28 días.

### *Protección combinada*

Las propiedades físico-mecánicas de los morteros donde se han sustituido el 5 y 10 % del cemento por resina y monómero de base furano-epoxídica y aplicando 1 ó 2 capas de resina de base furano-epoxídica, en forma de pintura. las resistencias mecánicas están por debajo de los patrones, pero por encima la resistividad eléctrica y menor absorción capilar. Las correlaciones entre la resistencia a compresión, la densidad y la velocidad de ultrasonido se aprecian en las edades de 28 y 91 días.

#### **1.7.5 Cieno de acetileno.**

Un hidrato de cal económico para morteros de albañilería. En el trabajo realizado por Álvarez [2014] se demuestra que el subproducto de la producción de acetileno presenta similar comportamiento en los morteros que el hidrato de cal comercial, aunque se recomienda caracterizar este tipo de subproducto para determinar sus propiedades, ya que cuando está mucho tiempo a la intemperie tiende a carbonatarse y disminuye sus propiedades como hidrato de cal, al pasar a formarse carbonato de calcio.

En las tablas No. 3 y No. 4 se muestra un resumen de las características de varias dosificaciones de morteros donde se emplea el cemento PP-25 y el cemento P-35,

diferentes hidratos de cal y siempre una arena artificial lavada pasada por el tamiz de 4,76 mm.

La tabla 1.2 muestra dos tipos de dosificaciones (C- cemento; A- arena; HC y D- hidratos de cal) y cuatro tipos de hidratos de cal. La retención de agua, que es un parámetro importante en los morteros, principalmente en los resanos, en todos los casos se encuentra por encima del 90 %, también presentan muy buenas resistencias a flexión, compresión y adherencia y además no hay diferencias significativas entre los diferentes hidratos de cal, por lo tanto todos pueden ser empleados en morteros de albañilería.

Tabla 1.2. Resumen de las características de morteros con cemento PP-25.Fuente:

Tomado de Álvarez Cabrera, Jorge L. (2014).

Dosificaciones				Ra/c	Ragua (%)	F. flex, MPa			Rcomp, MPa			Adh. (MPa)	Abs. cap. (MPa)
C	A	HC				7d.	28 d.	90 d.	7d.	28 d.	90 d.		
1	2	1	HC-II	1,0	95	2,6	3,9	4,8	9,0	14,1	19,9	0,61	1,88
1	2	1	D1	0,99	94	2,8	4,5	4,9	10,3	15,8	17,7	0,57	2,13
1	2	1	D2	1,0	95	2,7	4,2	4,4	10,4	15,8	19,8	0,63	2,03
1	2	1	D3	0,87	95	2,8	3,7	4,5	10,8	16,5	19,7	0,60	1,77
1	4	2	HC-II	1,67	94	1,3	2,0	2,6	3,9	6,1	8,6	0,41	3,13
1	4	2	D1	1,79	94	1,1	1,6	2,5	3,5	5,2	7,9	0,40	3,38
1	4	2	D2	1,74	93	1,0	1,5	2,3	3,4	4,6	7,9	0,38	4,18
1	4	2	D3	1,64	94	1,1	1,6	2,7	3,4	5,0	7,9	0,38	2,81

La tabla 1.2 muestra cuatro dosificaciones diferentes y dos tipos de hidrato de cal. Como aglomerante fundamental se emplea el cemento P-35. Todas las dosificaciones de mortero cumplen con la retención de agua, además presentan buenas resistencias mecánicas tanto a flexión como a compresión y adherencia. En todos los casos a medida que la dosificación es más pobre en cemento todas las resistencias disminuyen, independiente del hidrato de cal empleado. No hay diferencias significativas entre



dosificaciones por el efecto del tipo de hidrato de cal empleado.

**Tabla 1.3:** Resumen de las características de morteros con cemento P-35.

**Fuente:** Tomado de Álvarez Cabrera, Jorge L. (2014).

Dosificación			Retención de agua(%)	Resistencias mecánicas				Adh <sub>28d</sub> (MPa)
				Rf (MPa)		Rc (MPa)		
C	A	X		28d.	360 d.	28d.	360 d.	
1	3	1 HC-II	93	3,58	6,40	12,35	21,36	0,59
1	4	1 HC-II	91	2,81	6,32	9,58	20,83	0,49
1	4	2 HC-II	92	2,40	5,08	7,24	16,30	0,45
1	6	2 HC-II	90	1,48	3,32	4,85	9,87	0,28
1	3	1 D 2	93	3,98	6,20	11,53	23,19	0,52
1	4	1 D 2	90	3,04	5,27	9,31	15,58	0,49
1	4	2 D 2	92	2,73	5,03	6,65	15,48	0,43
1	6	2 D 2	90	1,76	3,04	4,42	9,48	0,36

### 1.8 Antecedentes de estudios de morteros de cal

Teniendo en cuenta que el cemento cuenta con mayor facilidad de manejo, preparación y aplicación, a principios del siglo XIX se tituló como el aglutinante preferido empezando a reemplazar a la cal hidráulica y la cal hidratada. Pero de igual manera cuenta con desventajas como ser un material con susceptibilidad a las grietas y la alta rigidez. Es por esto por lo que se realizaron estudios que proporcionen la aparición de la cal hidráulica con el fin de obtener un revestimiento adecuado para edificios antiguos y recientes, con buen comportamiento y bajo costo para el aumento de aplicación de recubrimientos. (Alexandre Jerónimo, 2019).

Teniendo en cuenta que las estructuras pueden estar expuestas durante su vida útil a cualquier acontecimiento, desastre natural, accidente; es importante conocer e investigar sobre la resistencia de los materiales de construcción a altas temperaturas.

Durante los últimos años se han realizado diversas investigaciones acerca de los impactos de temperaturas elevadas en los materiales a base de cemento (morteros de cemento, concreto). Pero no hay variedad en estudios de materiales de reparación es por esto por lo que se estudia una serie de morteros a base de cal expuestos a temperaturas en un rango de 200 ° C hasta 1000 ° C. se realizaron muestras de mortero a diferentes temperaturas y se evaluaron las propiedades físico-mecánicas. (Vasiliki Pachtá, 2018).

La estructura porosa de los morteros de cal y aire, formulados con agregados de diferente mineralogía y distribución de tamaño de grano, con el objetivo de estudiar la influencia del tipo de arena en la modificación micro estructural a lo largo del tiempo y establecer la relación entre estas modificaciones y el comportamiento mecánico.

La micro estructura de los morteros se determinó por poro y simetría de intrusión de mercurio a los 28, 90 y 360 días, y los resultados se compararon con sus características mecánicas, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y módulo de elasticidad. (Ana Rita Santos, 2018).

Los morteros de cemento y cal mezclados tienen capacidad para reemplazar los morteros de cal hidráulicos, cal natural mezclados como morteros de reparación en trabajos de reparación, teniendo en cuenta que la cal hidráulica natural es difícil de encontrarla en muchos países, diferente de la disponibilidad del cemento. Las propiedades evaluadas determinaron que se pueden usar morteros de cemento y cal mezclados teniendo en cuenta que el cemento debe ser superior al 25% y menor al 50% de la masa total del aglomerante para no perjudicar la compatibilidad. De esta manera el mortero de cal mezclado con un 50% de cal hidráulica natural expuso mayor potencial de restauración. (B.A. Silva, 2015)

La cal se utiliza como un aglutinante en morteros de patrimonio arquitectónico desde tiempos antiguos. La selección y preparación del aglutinante, la ejecución y aplicación de los morteros de cal se realizaron primero por prueba y error y los conocimientos adquiridos se transmitieron durante generaciones.

Los morteros hechos con masilla de cal con largos períodos de extinción se comportan mejor que otros hechos con las cales hidratadas secas actuales. Para valorar esta evaluación, se realizó un estudio experimental de morteros de cal, utilizando cal seca e hidratada y dos masillas de cal. Se hace evidente que el uso de masillas de cal con largos periodos de extinción en los morteros permite mejores rendimientos, particularmente en la aplicabilidad y resistencia a los sulfatos. (Paulina Faria, 2008)

Investigar cómo afecta el cemento a las propiedades de los morteros de cal. El uso de ligantes aéreos puros reduce la resistencia al agua y la durabilidad mecánica del material. Determinar que los aditivos de la puzolana o el cemento deben usarse en el mortero de cal. Se redujo el mortero de cal de cemento mixto (con una cantidad creciente de cemento) y se probaron sus propiedades: densidad, composición química, tasa de absorción de agua, resistencia a la compresión, resistencia a sales solubles y resistencia a las heladas. El cemento Portland se puede utilizar como un aditivo adecuado para los morteros, para mejorar su compatibilidad con los morteros hidráulicos e históricos. (J.Setina, 2017)

En los últimos años, se han publicado numerosos estudios sobre la tecnología de los morteros aéreos industriales de cal. Estos documentos se refieren a la incidencia del proceso de carbonatación y el comportamiento mecánico en sus propiedades como material de construcción, de interés para su aplicación en la conservación del Patrimonio Cultural. También se destaca la importancia del tipo de agregado (composición y granulometría) y la relación aglomerante / agua (B / W) en sus propiedades. Hay menos documentos sobre los cuales se trata el tipo de cal, especialmente sobre la base de su proceso de fabricación (tradicional o industrial), sobre la presentación del producto (polvo o masilla), o referidos a los diferentes tipos de morteros (preparados en situ o pre-dosificado). En este papel, se ha determinado el comportamiento de los morteros de cal aérea elaborados con cal tradicional y se ha realizado un estudio comparativo con morteros de polvo y en cal masilla pre dosificados. (Esther Ontiveros-Ortega, 2018)

El mortero de cal ha sido muy importante durante milenios, su uso destacado en las estructuras antiguas se le puede atribuir a su abundante disponibilidad, Además de otorgar un encanto estético a la fachada, ayuda a regular la temperatura de la superficie y hace que la tela sea transpirable. La naturaleza higroscópica y porosa de su superficie ayuda a regular la humedad ambiental, mientras mantiene la temperatura ambiente moderada. Resistencia superior a la compresión y la tracción. El mortero de cal realza su utilidad. (Mona Doctor-Pingel, 2019)

Para la conservación y restauración sostenible de sitios arqueológicos y edificios históricos, la elección del material debe recibir una atención considerable, incluidos los morteros de reparación más apropiados. Se ha demostrado que las reparaciones basadas en cemento dañan los edificios porque introducen sales peligrosas en la mampostería y son mecánica y físicamente incompatibles. En respuesta, se ha renovado el interés en usar mortero de cal para proyectos de restauración. (Duygu Ergenç, 2018)

Después de la llegada del cemento y de los avances tecnológicos utilizando hornos para la calcinación de materias primas, se olvidaron de las técnicas relacionadas con la cal. En los últimos años se han llevado investigaciones acerca de los morteros de cal, su evolución en el tiempo, la naturaleza, calidad, sus componentes, la influencia de la preparación del mortero y el proceso de aplicación. Aun así, identificando que la cal es el material más adecuado para la conservación de edificios falta investigación para convertirlo en el material más usado en conservación y rehabilitación. (Veiga, 2017)

En la restauración de edificios y estructuras históricamente se utiliza los morteros hidráulicos naturales de cal teniendo en cuenta que brindan una buena compatibilidad con el material del sustrato y la eficiencia ecológica, esto debido a que la cal durante su proceso de producción consume poca energía en comparación con el cemento y después de ser aplicado en la construcción absorbe dióxido de carbono ambiental. Sin embargo, se encuentra poca investigación acerca del comportamiento de los morteros de cal a edades tempranas, este comportamiento es importante debido a que se presentan deformaciones antes del fallo de las nuevas adiciones y ayuda a evitar roturas. (Lucía Garijo M. A., 2019)

Los morteros a base de cal se utilizan considerablemente en los trabajos de restauración, debido a su alta compatibilidad con el material original y su durabilidad. Sin embargo, aún existe poca información acerca de la dosificación del mortero de cal. De esta manera se fabricaron siete tipos de mortero en donde se estudió cinco factores diferentes que influyen en sus propiedades. (Lucía Garijo X. Z., 2018)

El material aglutinante que se utilizaba en las estructuras históricas es diferente al cemento que se usa hoy en día, el mortero de agregados con cal muestra una estructura

más flexible que el concreto y permite que las estructuras sean más duraderas, es por esto por lo que la determinación de las propiedades físicas y mecánicas hay que estudiarlas para conservar los edificios históricos.

Se realizó un estudio donde se realizan mezclas de morteros con diferentes relaciones de agua/ cal de 0.55 y cal / agregado de 0,66 y de esta manera observar que las resistencias de las muestras aumentan día a día en los diferentes tiempos de curado. (Binal, 2017)

### **Conclusiones parciales**

- La revisión de numerosas fuentes bibliográficas referidas al tema tratado permite evaluar el criterio de varios autores e identificar las definiciones claves de la investigación.
- El estudio de los morteros para la conservación resulta en estos momentos una tarea de gran importancia, debido a la incapacidad de los morteros actuales de erradicar las imperfecciones presentadas por las edificaciones que datan de siglos XVIII y primera de la mitad XIX de la ciudad de Matanzas.
- El estudio sobre un mortero adecuado para la restauración resulta de gran importancia para la ciudad de Matanzas para lograr preservar edificaciones de gran valor patrimonial.

## ***Capítulo 2: Materiales y métodos utilizados.***

En este capítulo abordara las problemáticas que trae consigo el uso de mortero de cemento portland para la restauración, así como los beneficios del uso de morteros de cal y híbridos de cal y cemento. Se hace referencia a las funciones de la cal dentro del mortero. Se expone las diferentes normas que debe cumplir un mortero para su uso como repello grueso y fino, así como las características de los materiales que se utilizaron en el diseño del experimento, se expone los métodos para determinar las propiedades físicas y geométricas del árido fino, y para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los morteros en estado fresco y endurecido. Además, se explica detalladamente el diseño del experimento que se realizó en estudio previo del Autor: Alejandro Zayas Cancela en su Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Civil: "Evaluación de morteros mixtos de revestimientos con cal residual de la producción de acetileno".

### **2.1 Mortero de cemento: problemática de su empleo en la restauración**

El masivo uso del cemento Portland para restauración en este tipo de construcciones de valor patrimonial y arquitectónico se ha debido principalmente al relativamente limitado conocimiento que se tiene sobre las distintas propiedades y acciones de los morteros de cal y morteros híbridos. El cemento ha centrado una parte muy importante de las investigaciones que sobre materiales de construcción ha realizado la comunidad científica. Y, además, se convirtió durante mucho tiempo en el material de referencia para ser usado en la práctica totalidad de los procesos constructivos, incluyendo las intervenciones para la restauración de obras monumentales. De hecho, existen numerosos y recientes casos de intervenciones en las que se ha utilizado morteros de cemento, provocando cuantiosos daños a la construcción antigua debido a la incompatibilidad existente entre los materiales antiguos y el cemento empleado [3-6].

Son varios los factores que han contribuido a la infrautilización de los morteros de cal a favor de los de cemento:

- i) el gran empleo del cemento Portland en la industria de la construcción para todo tipo de obras, lo cual ha hecho que sea mucho más fácil adquirir un cemento, sea del tipo que sea, que una determinada cal
- ii) las bajas resistencias atribuidas a los morteros de cal
- iii) el largo período que requiere este tipo de morteros para endurecer
- iv) la ausencia de variedades de estudios rigurosos sobre sus características y propiedades.

Frente a estas teóricas ventajas, el mortero de cemento, debido a la incompatibilidad anteriormente mencionada, presenta muchas más desventajas en su utilización para trabajos de restauración/rehabilitación, convirtiéndolo en un material muy poco aconsejable debido a:

- i) su alto contenido en sales: el cemento es un producto mucho más agresivo que la cal y puede acabar atacando y afectando de forma negativa a la piedra o los distintos mampuestos antiguos, que en numerosos casos suelen estar bastante alterados y/o deteriorados por el paso del tiempo
- ii) la expansión que sufren los morteros de cemento, ya que su utilización puede deteriorar más la obra que se intenta restaurar de lo que lo estaba al inicio de dicha restauración
- iii) las altas resistencias que puede ofrecer: este hecho plantea serios inconvenientes al aportar demasiada rigidez a las mamposterías antiguas, evitando y restringiendo la movilidad y deformabilidad característica de estas fábricas, lo que puede acarrear fisuraciones que ponen en riesgo la estabilidad estructural [6].

## **2.2. Ventajas de los morteros de cal**

Recientemente, se ha destacado en la literatura especializada la necesidad de utilizar

morteros de cal o morteros híbridos de cal y cemento en procesos de restauración de obras monumentales de interés histórico-artístico [1]. De hecho, centros internacionales como ICOMOS o ICCROM dedicados a la restauración del Patrimonio, han recomendado el uso de estos morteros de restauración o de rejuntado (“repair mortars”) basados fundamentalmente en la cal debido a su similitud en composición y propiedades con los materiales originales de las edificaciones [7-8].

Desde finales del siglo XX viene siendo cada vez menos habitual el empleo de los morteros de cemento en restauración de estructuras antiguas. La sustitución de este tipo de morteros en favor del, cada vez mayor, empleo del mortero de cal puede justificarse y avalarse con varios argumentos. Numerosos de estos argumentos coinciden con algunos de los problemas asociados a la utilización del cemento Portland clásico:

- i) La cantidad de sales solubles aportada por el mortero de cal es mucho menor que la del cemento Portland. Esto evita daños importantes en el sistema conjunto piedra/mortero originados por ciclos de cristalización y/o hidratación [3].
- ii) Los morteros de cal son más compatibles con los métodos de edificación y materiales antiguos desde los puntos de vista químico, estructural y mecánico [7].
- iii) Unido a esto, y ya referido en el apartado anterior, se encontraría la compatibilidad tecnológica con los materiales antiguos, mayor en los morteros de cal que en los basados en cemento (con elevadas proporciones de conglomerante y de resistencia a la compresión) [10].
- iv) Los morteros de rejuntado de cal son capaces de mantener durante más tiempo la estabilidad estructural de un edificio, pues en el caso de que se originen fracturas en el mortero, éstas pueden subsanarse mediante un proceso de autosellado (relacionado con ciclos de disolución/reprecipitación de la calcita) [3,11].

Junto a estos argumentos, y en favor del uso de morteros de rejuntado de cal, pueden esgrimirse razones históricas, que sostendrían como principio la mínima intervención sobre obras patrimoniales (conservación preventiva) o, en caso de necesidad, la



utilización de materiales y técnicas de construcción análogos a los empleados en la edificación original, buscando siempre la salvaguarda de los valores intrínsecos y extrínsecos propios de la obra integrante del Patrimonio Histórico [8]. Por razones semejantes, cabría hablar asimismo de ventajas estéticas en el uso de este tipo de morteros en procesos de restauración/rehabilitación.

### **2.3 Ventajas del uso de los morteros de cal dentro del mortero**

Las ventajas y características que aportan la cal a los morteros son innumerables, como la mejora de plasticidad y trabajabilidad, incremento de la retención del agua, obtención de morteros más flexibles y con mayor adherencia, facilitando en el reamasado, curado autógeno con menor retracción y fisuración.

Tiene una gran versatilidad, no produce sales nocivas (el cemento sí), su elasticidad evita retracciones, no se usan con ella más aditivos que los áridos necesarios en el diseño de su anterior textura y pigmentación, lo cual hace innecesario el uso de pinturas de acabado (las multinacionales de las pinturas son otros enemigos potenciales de la reivindicación de este noble material), y su principal propiedad es el hecho de haber sido el único cementante empleado por el hombre en esa expresión de la cultura que es el arte de construir.

Como cualidad de sostenibilidad, mencionaremos que, al cabo de cientos de años, la cal apagada, después de carbonatarse completamente, retorna a su estado original en la cantera, que es el de roca caliza.

#### **2.3.1. Morteros puros de cal:**

- Buena plasticidad y trabajabilidad (la cal, por su finura, envuelve la superficie entre los áridos, evitando rozamiento y mejorando el deslizamiento).
- Ausencia de retracción.
- Gran elasticidad (favorece adaptación deformaciones del soporte sin provocar agrietamiento)

- Constancia de volumen bajo condiciones variables de humedad.
- Permeabilidad apreciable al vapor de agua (los muros “respiran”). Evita condensaciones.
- No provoca eflorescencias debido a la ausencia de sales solubles.
- Buen aislamiento térmico y acústico.
- Permite la realización de capas más finas consiguiendo unos resultados inalcanzables con otros materiales.
- Fáciles de colorear alcanzando gran riqueza en cromatismos y luminosidad del color.
- Garantizan el sellado y estucado.
- Los morteros de cal poseen una buena resistencia a la penetración del agua de lluvia (en revestimientos verticales exteriores).
- Producto desinfectante y fungicida natural por la alcalinidad de la cal.
- Producto ignífugo que no emite gases tóxicos.

### **2.3.2. Morteros mixtos de cal y cemento:**

- Mayor adherencia.
- Mayor plasticidad.
- Incremento de la permeabilidad al vapor.
- Disminución de eflorescencias.
- Menor retracción y fisuración.

Los valores de las resistencias mecánicas de estos morteros dependen de las proporciones de cal hidratada y de cemento (tipo y clase) de la mezcla. Las resistencias mecánicas serán más elevadas y los tiempos de fraguado más cortos cuanto mayor sea el contenido

de cemento; pero serán menos plásticos y menos permeables al vapor de agua, con mayor posibilidad de tendencia a la fisuración por retracción. (Lopez 202).

## **2.4 Requisitos a cumplir por un mortero**

Prácticamente existen normas nacionales o internacionales para la totalidad de materiales constructivos. Dichas normas detallan desde la definición y clasificación de los distintos materiales hasta los requisitos que deben cumplir, pasando por métodos de análisis y/o ensayos de los mismos, etc. Para el caso concreto de los morteros (y hormigones) existen numerosas normas, pero prácticamente todas ellas están enfocadas a los morteros de cemento pues son los más utilizados en la construcción actual [11-13].

En cuanto a las normas referentes a los conglomerantes, al igual que las de los morteros, están prácticamente enfocadas en su totalidad al cemento, con pequeñas excepciones de normas que únicamente se refieren a la cal o normas de cementos que son aplicables a cales.

Pese a la normativa existente y a los requisitos que quedan detallados en dichas normas, existen otros requisitos, muchos de ellos de sentido común, y que debe cumplir toda unidad de construcción. Centrará este análisis la restauración de mampostados, dado que la fábrica de sillería, al plastificar el conglomerante, por el pequeño espesor de las juntas, ofrece menos problemas mecánicos relativos al mortero, y comparte otros aspectos con las mamposterías. Algunas de las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de mampostería que son relevantes para su uso en la construcción de fábricas son: el color, la textura superficial, el peso, la absorción y estructura porosa, la conductividad térmica, los cambios térmicos y de humedad, la resistencia al fuego y las resistencias a tensión y compresión [6].

Respecto a las propiedades mecánicas de las unidades de mampostería, la más importante es la resistencia a compresión, la cual, además de tener una relevancia directa sobre la resistencia de la fábrica, sirve como un indicativo general de las características de dichas unidades. El mortero es una de estas unidades de mampostería y aunque sólo representa el 7% del volumen total de la mampostería, su influencia sobre la fábrica final es mucho

mayor de lo que esta proporción indica. El mortero debe cumplir ciertas propiedades antes del fraguado, en particular, es de especial importancia su trabajabilidad. El mortero endurecido tiene que ser suficientemente resistente y debe desarrollar una adecuada adhesión a las demás unidades de mampostería. También debe endurecer sin sufrir una excesiva retracción que podría reducir la resistencia de la mampostería por penetración del agua de lluvia o incluso causando el agrietamiento de las unidades. También debería ser capaz de acomodar sin agrietarse ciertos grados del movimiento. Los movimientos como resultado de la aplicación de una tensión o carga, cambios de humedad o temperatura, reacciones químicas, etc. se dan en todos los materiales de la mampostería. Estos efectos, así como los movimientos debidos al asentamiento de la fábrica, pueden conducir a agrietamientos del muro, si no son absorbidos en cierto grado. Los movimientos debidos a cargas producidas por tensiones o sobrepesos en la mampostería, los cuales son significantes en construcciones con diversos pisos, pueden darse, o bien inmediatamente a la aplicación de la carga (deformación elástica) o tras un período de tiempo (deslizamiento).

Cuanto más resistente es el mortero menos capaz es de acomodar los movimientos por lo que no es admisible usar mezclas más resistentes que lo que es necesario para satisfacer los requerimientos estructurales. Una resistencia a compresión de 2-5 N/mm<sup>2</sup> es adecuada para la mayoría de las estructuras [6].

Como ya se ha dicho anteriormente, uno de los requisitos que debe cumplir un mortero cuando está en estado fresco es el que forme una mezcla trabajable, que tenga una consistencia suave y plástica, que pueda ser fácilmente extendido con ayuda de una paleta y se adhiera fácilmente a las superficies verticales. El empleo de áridos finos, al igual que el empleo de cal como conglomerante, realza la trabajabilidad, así como los agentes incluidores de aire (aditivos) y el empleo de cantidades adecuadas de agua de amasado. La cal suministra plasticidad y capacidad de retención de agua en la mezcla mientras los aditivos (plastificantes) proporcionan resistencias a heladicidad

## **2.5 Resultados de ensayos realizados por el Ing. Alejandro Zayas Cancela en una investigación previa referente a la temática.**

La investigación desarrollada por el Ing. Alejandro Zayas Cancela en su tesis de pregrado tuvo como objetivo evaluar las propiedades físicas y mecánicas de morteros mixtos de revestimientos elaborados con cieno de cal generada en el proceso de obtención del acetileno para su uso en la albañilería. La cual tuvo como resultado que los morteros mixtos de revestimientos elaborados con cieno de cal tengan propiedades físicas y mecánicas como: porosidad, absorción de agua, consistencia, laborabilidad y resistencia a flexión y compresión suficientemente buenas para su utilización en las obras de albañilería de la provincia de Matanzas.

El autor considera que la investigación previa es relevante pues se desea profundizar en la evaluación de los morteros mixtos de cal y cemento para destinar su uso en la restauración de edificaciones que datan de siglos XVIII y primera de la mitad XIX de la ciudad de Matanzas. Por lo que se considerarán los resultados obtenidos en la investigación previa para reenfoque el uso del material obtenido hacia la restauración patrimonial.

#### **2.5.1. Determinación de la granulometría para la arena.**

El material se sometió, por medio de la tamizadora marca Controls, a un movimiento lateral, vertical y de sacudida del tamiz. La muestra se movió continuamente sobre la superficie del tamiz, el retenido en cada tamiz se pesó en la balanza marca Maruto con sensibilidad de 0,5 g y capacidad máxima de 5000 g. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Fuente :tesis de Alejandro Zayas Cancela

Tabla 1.4. Granulometría de la arena.

Apertura (mm)	Tamiz	RP	RA	% RA	% PAS	ESP
9,52	N° 3/8"	0	0	0	100	100
4,76	No.4	43	43	9	91	95-100
2,38	No.8	169	212	42	58	70-100
1,19	No.16	110	322	64	36	40-75
0,59	No.30	70	392	78	22	20-40
0,295	No.50	50	447	88	12	10-25
0,149	No.100	35	477	95	5	0-10
Fondo	23			Módulo finura	3.76	

**Leyenda:**

RP: Retenido parcial.

RA: Retenido acumulado.

% RA: Porcentaje de retenido acumulado.

% PAS: Porcentaje Pasado.

ESP: Especificaciones según norma NC 657: 2008.

**Módulo granulométrico o de finura**

$$Mf = \frac{\sum \%RA(\text{Hasta malla } 0.149)}{100}$$

$$\text{Fondo} = \text{Total} - \text{RA}$$

(1.1)

El módulo de finura representa el tamaño medio del árido empleado en el mortero. Mientras más pequeño sea éste, más fino es el agregado pétreo y viceversa. La arena no cumplió con los parámetros granulométricos porque el porcentaje de pasado de los tamices

No.4, No.8 y No.16 fue inferior a los porcentos especificados en la NC 657: 2008. El módulo de finura sobrepasa el límite máximo (3,58) de la NC 251:2005, lo que implica que el tamaño medio de las partículas de arena es grueso creándose espacios vacíos entre las partículas inertes por un mal acomodamiento de estas y en la mezcla no habrá un acoplamiento adecuado entre sus componentes.

#### **Determinación del material más fino que el tamiz de 0,074 mm (No.200)**

Los resultados se presentan en la Tabla 1.4, calculados por la ecuación (2.2), se obtuvo el porcentaje de partículas finas existentes en la arena. Entiéndase por partículas finas las que pasan a través del tamiz de 0,074 mm (No.200).

Pf= Porcentaje de material que pasa por el tamiz de 0,074 mm (No.200).

a= Peso de la muestra original seca.

b= Peso de la muestra seca después de lavada.

Tabla 1.5: Porcentaje de arena que pasa por el tamiz 0,074mm (No.200).

Fuente :tesis de Alejandro Zayas Cancela

	Muestra 1
a	500 g
b	479 g
% T 200	4,2

#### **Leyenda:**

**% T 200**= Porcentaje de partículas finas pasadas por el tamiz 200.

El autor considera que este ensayo presenta gran importancia para la determinación del grado de contaminación del árido, pues la presencia del alto contenido de impurezas afecta la Resistencia mecánica y pueden ocurrir gran retracción de volumen se el árido presenta arcilla .El resultado de este ensayo es conforme con el porcentaje de partículas

pasadas por el tamiz 200 que dictamina la NC 657: 2008 que es de 10 % de partículas finas pasadas por el tamiz 200 por lo que el mortero no será afectado por estas impurezas.

### **Determinación de las partículas de arcilla.**

Se seleccionaron las partículas de arcilla en la muestra de arena ensayada y se determine qué porcentaje representan del total de la muestra como se muestra en la Tabla 2.6 según la ecuación (2.3).

$$L = \frac{W - R}{W} \cdot 100\%$$
$$L = \frac{500 - 500}{500} \cdot 100\% = 0\%$$

(1.2)

Donde:

L – Porcentaje de partículas de arcilla en la muestra.

W – Peso de la muestra (g).

R – Peso de la muestra después de separarle las partículas de arcilla (g).

Tabla 1.6: Porcentaje de arcilla de la arena.

Fuente: tesis de Alejandro Zayas Cancela

Tamiz 200	Muestra 1
W	500 g
R	500 g
L	0 %

El ensayo demostró que la arena se encontraba limpia de terrones de arcilla, por lo que no se vio afectada la resistencia mecánica de los morteros producto a expansiones en la mezcla endurecida, ni hubo afectaciones en la adherencia (pasta-árido) por el



recubrimiento que forman dichas impurezas sobre el árido que no le permiten interactuar correctamente con el cemento. Tampoco se produjo un aumento de la cantidad de agua de amasado, ni retracciones debido a la presencia de partículas de arcilla.

### 2.5.2. Propiedades físicas del árido.

Pesos específicos y absorción de agua.

Los pesos específicos y la absorción de agua fueron calculados mediante las ecuaciones 1.2, 1.3, 1.4, 1.5 como se muestra a continuación.

#### Peso específico corriente

$$PEC_1 = \frac{A}{C + B - C_1} = \frac{495}{672 + 500 - 951} = 2,24g/ \quad (1.2)$$

$$PEC_2 = \frac{A}{C + B - C_1} = \frac{494}{640 + 500 - 953} = 2,64g/$$

#### Peso específico saturado

$$PES_1 = \frac{B}{C + B - C_1} = \frac{500}{672 + 500 - 951} = 2,26g/ \quad (1.3)$$

$$PES_2 = \frac{B}{C + B - C_1} = \frac{500}{640 + 500 - 953} = 2,67g/$$

#### Peso específico aparente

$$PEA_1 = \frac{A}{C + A - C_1} = \frac{495}{672 + 495 - 951} = 2,29g/ \quad (1.4)$$

$$PEA_2 = \frac{A}{C + A - C_1} = \frac{494}{640 + 494 - 953} = 2,73 g/$$

#### Porcentaje de absorción de agua

$$\%ABS_1 = \frac{B - A}{A} \cdot 100 = \frac{500 - 495}{495} \cdot 100 = 1,01\% \quad (1.5)$$

$$\%ABS_2 = \frac{B - A}{A} \cdot 100 = \frac{500 - 494}{494} \cdot 100 = 1,21\%$$

Tabla 1.6 Peso específico y absorción de agua de la arena

Fuente: tesis de Alejandro Zayas Cancela

Pesos específicos (g/cm <sup>3</sup> ) y absorción de agua (%).				
A muestra 1	495	PEC	2,24	2,44
A muestra 2	494		2,64	
B muestra 1	500	PES	2,26	2,47
B muestra 2	500		2,67	
C muestra 1	672	PEA	2,29	2,51
C muestra 2	640		2,73	
C1 muestra 1	951	ABS	1,01	1,11
C1 muestra 2	953		1,21	

---

Los resultados de los pesos específicos de la arena, no cumplieron con la condición establecida en la norma NC 251: 2011 pues dos de ellos fueron menores que 2,5 g/cm<sup>3</sup>.

La esencia de la obtención del peso específico del árido reside en determinar los porcentos de vacíos, elemento básico para desarrollar el diseño de la mezcla. La absorción no superó el 3% de la masa seca del mismo por lo que este parámetro cumple con lo establecido en esta norma cubana. Estos resultados permiten controlar el contenido neto de agua en el mortero y determinar los pesos de cada mezcla con más exactitud.

### **Determinación de los pesos volumétricos y porciento de vacío.**

Tabla 1.7: Pesos unitarios de la arena

Fuente: tesis de Alejandro Zayas Cancela

Pesos unitarios	
PMS	5730g
PMC	5970g
Tara del recipiente	1874g

Volumen del recipiente	2726cm <sup>3</sup>
PUS	1,414g
PUC	1,503g
Porcentaje de vacío	38,4

Leyenda:

**PMS:** Peso del material suelto.

**PMC:** Peso del material compacto.

**PUS:** Peso unitario suelto.

**PUC:** Peso unitario compacto.

Determinación del porcentaje de vacíos.

$$\% \text{ de vacío} = \frac{\text{PEC} - \text{PUC}}{\text{PEC}} \cdot 100$$

$$\% \text{ de vacío} = \frac{2.44 - 1.503}{2.44} \cdot 100 = 38,4\% \quad (1.6)$$

PEC: Peso específico corriente.

PUC: Peso unitario compacto.

Estos espacios vacíos dejados por la arena que son ocupados por la pasta de cemento, influyen en la compacidad del mortero y por ende en su durabilidad.

### 2.5.3. Dosificación.

Se realizó la dosificación de dos tipos de morteros de revestimiento con cemento P-35 proveniente de la planta de cemento de Cienfuegos —Carlos Marxll, arena de la cantera Planta Libertad y cieno de cal de la UEB Gases Industriales de Matanzas.

Antes de comenzar el amasado del mortero se consideró como una parte un recipiente de 160 ml. Luego se pesaron muestras de 160 ml (1 parte) de cemento y arena pasada por los tamices No 4 (4.76 mm) y No 16 (1.19mm) como lo muestra la Tabla 1.7, para realizar posteriormente las dosificaciones gravimétricas por metro cúbico de mortero.

Tabla 1.8: Peso de los materiales utilizados.

Fuente: tesis de Alejandro Zayas Cancela

Peso de los materiales utilizados en (g), en un volumen de 160 ml.	
Materiales	Peso (g)
Cemento P-35	224,8
Arena pasada por tamiz No 4	233,5
Arena pasada por tamiz No 16	209,4
Cieno de cal	238,4

Luego de ir probando varias proporciones en cada una de las mezclas de morteros quedaron las siguientes dosificaciones ya que fueron las que mejor desempeño tuvieron en cuanto a la laborabilidad y homogeneidad. En la siguiente tabla se muestran las dosificaciones de morteros de revestimientos seleccionadas para evaluar sus propiedades: Tabla 1.9: Dosificaciones volumétricas y gravimétricas para un volumen de parte de 160 ml.

Fuente : tesis de Alejandro Zayas Cancela

Tipo de mortero	Dosificacion C:A:CC	C(g)	A(g)	CC(g)
Repello grueso	1;6:2	224,8	1401	476.8
	1;6;4	224,8	1401	953.6

	1;4;2	224,8	934	476.8
Repello fino	1;5;3	224,8	1047	715.2
	1;4;3	224,8	837.6	715.2
	1;4;2	224,8	837.6	476.8

**Leyenda:**

C: Cemento P-35.

A: Arena.

CC: Hidrato de cal (cieno de cal).

En la siguiente tabla se muestran las relaciones agua-cemento, densidades y dosificaciones de los morteros de revestimientos elaborados.

Tabla 1.10: Relaciones agua-cemento, densidades y dosificaciones de los morteros de revestimientos elaborados

Diseño	Código	Dosificación C:A:CC	r (a/c)*	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Repello grueso	M1	1:6:2	0,67	2131
	M3	1:6:4	0,44	2063
	M4	1:4:2	0,58	1988
Repello fino	M2	1:5:3	0,58	2000
	M5	1:4:3	0,67	2031
	M6	1:4:2	0,67	2011

Leyenda:

C: Cemento P-35.

A: Arena.

CC: Hidrato de cal (cieno de cal).

Las densidades de los morteros están en el rango señalado en la NC 283:2003 que es 1800 y 2000 kg/m<sup>3</sup>.

\*El cieno de cal utilizado es una pasta, es decir que contiene una cantidad de agua para que la cal no comience el proceso de carbonatación. La pasta de cieno de cal utilizada en los ensayos de laboratorio contuvo un 39 % de su peso en agua aproximadamente. Es por eso que las relaciones agua cemento son pequeñas.

#### **2.5.4. Propiedades físicas y mecánicas de los morteros ensayados.**

##### **2.5.4.1. Mortero fresco.**

###### **□ Determinación de la consistencia.**

Los resultados de la tabla 2.13 permiten afirmar que los diseños realizados tienen una fluidez adecuada para ser utilizados en las obras de albañilería, excepto la dosificación (1:4:2) de repello fino que se observó muy arenosa durante y después del amasado. A pesar de esto se decidió seguir utilizándolas para analizar otras propiedades porque es la dosificación que propone la NC 175: 2002.

Tabla 1.11: Valores de consistencia de los morteros.

Tipo de mortero	Código	Dosificación C:A:CC	Diámetros (mm)	Consistencia (mm)
Repello grueso	1	1:6:2	175 y 188	181,5
	3	1:6:4	170 y 180	175
	4	1:4:2	170 y 180	175
Repello fino	2	1:5:3	170 y 180	175
	5	1:4:3	190 y 180	185
	6	1:4:2	200 y 180	190

**Leyenda:**

C: Cemento P-35.

A: Arena de Planta Libertad.

CC: Hidrato de cal (cieno de cal).

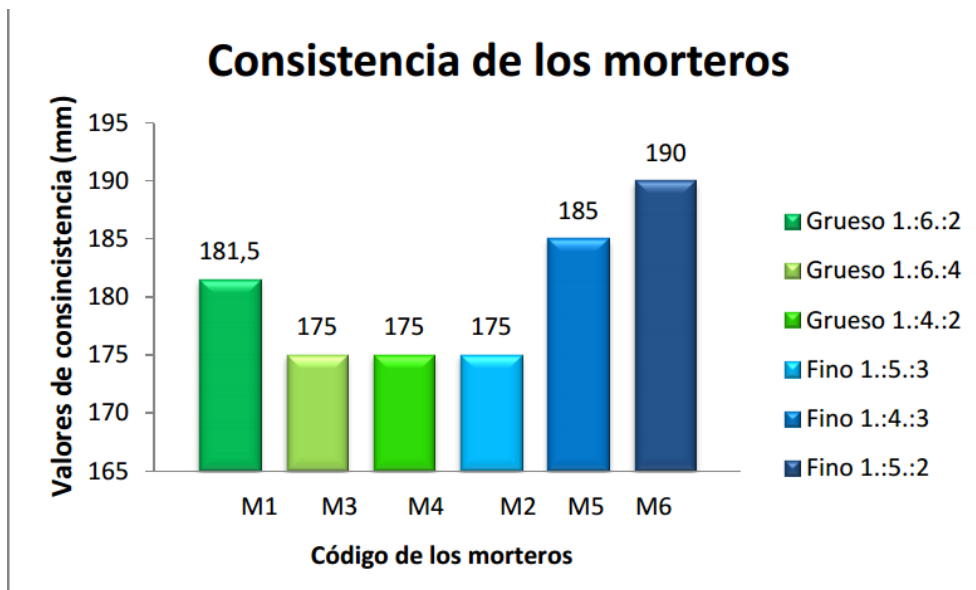


Figura 1.1: Consistencia de los morteros.

Fuente: : tesis de Alejandro Zayas Cancela

La consistencia recomendada para morteros en la NC 175: 2002 es de  $190 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$  de diámetro medido en la mesa de sacudidas. Los morteros M1, M5 y M6 son los que presentan valores de consistencia más alta y dentro del rango recomendado. Estos resultados demuestran que estos morteros fueron los que se lograron aplicar con mayor facilidad sobre la base de aplicación y los de mejor plasticidad.

#### □ **Tiempo de utilización.**

Al transcurrir 30 minutos de realizado el ensayo de consistencia de cada dosificación se volvió a medir la consistencia y se pudo comprobar que estos diseños de mortero tienen un tiempo de utilización de alrededor 30 minutos con una consistencia promedio de  $167 \text{ mm}$ , es decir cada dosificación mantuvo la suficiente laborabilidad para ser manipulado sin necesidad de agregarle agua durante 30 minutos.

El fraguado del cemento y el mortero de albañilería, por su baja retención de agua, es muy acelerado lo que provoca que en poco tiempo esté convertido en piedra y por tanto ocasiona grandes desperdicios. El ceno de cal, sin embargo, tiene un fraguado más lento por lo cual se pueden evitar desperdicios.

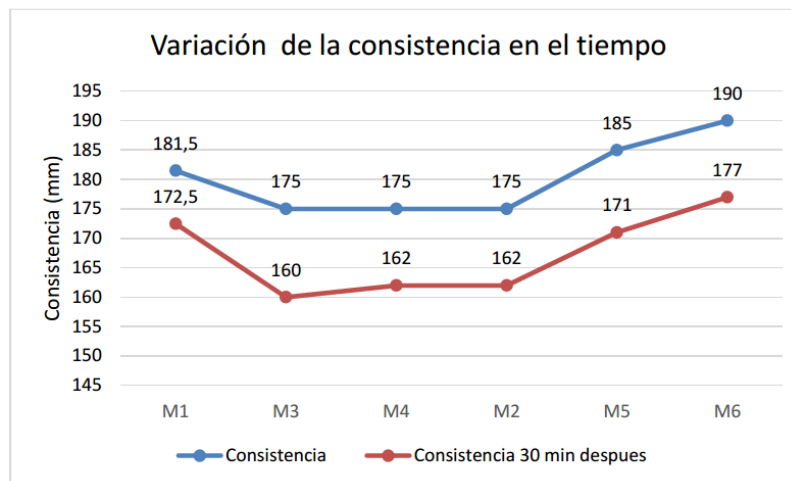


Figura 1.2 Variación de la consistencia de los morteros al cabo de 30 minutos.

#### □ **Laborabilidad.**



Es una combinación de consistencia y plasticidad que se evaluó por la facilidad o dificultad de expandir la mezcla. En esta propiedad la cal jugó un papel muy importante ya que permitió retener más agua lo que beneficia más el trabajo del albañil, porque la mezcla que tiene más laborabilidad se extiende con más facilidad, no pierde agua y no se rigidiza rápidamente.

Los morteros de repello grueso y repello fino se aplicaron sobre superficies de prueba (muros del laboratorio). Los mismos no presentaron pérdida del agregado pétreo por exceso de éste en la mezcla, no hubo dificultad para expandir la mezcla de fino, no hubo fisuras por retracción de la mezcla. La adecuada laborabilidad que presentaron los morteros M1 y M5 es el resultado de la suficiente lubricación de las partículas de áridos, mediante la pasta conglomerante.

#### 2.5.4.2. Mortero endurecido.

##### □ Resistencia a flexión.

**Tabla 1.11:** Resistencias a flexión de las briquetas a los 28 días.

Resistencia a flexión de las briquetas a los 28 días.						
Usos	Dosificación C:A:CC	Código briqueta	No 1	No 2	No 3	Rf <sub>media</sub>
Repello grueso	1:6:2	1	1,2	1,2	1,9	1,4
	1:6:4	3	0,9	0,9	0,9	0,9
	1:4:2	4	2,6	2,3	2,5	2,5
Repello fino	1:5:3	2	0,7	0,9	0,9	0,9
	1:4:3	5	0,9	0,9	0,9	0,9
	1:4:2	6	1,2	1,2	1,2	1,2

##### □ Resistencia a compresión.

**Tabla 1.12:** Resistencias a compresión de las briquetas a los 28 días.

**Fuente:** : tesis de Alejandro Zayas Cancela

Resistencia a compresión de las briquetas a los 28 días.						
Usos	Dosificación C:A:CC	Código briqueta	No 1	No 2	No 3	R'c media
Repello grosso	1:6:2	1	4,6	4,5	4,8	4,6
	1:6:4	3	2,0	2,0	2,1	2,0
	1:4:2	4	6,9	8,3	6,3	7,1
Repello fino	1:5:3	2	2,0	2,0	2,0	2,0
	1:4:3	5	2,5	2,5	2,5	2,5
	1:4:2	6	4,1	3,8	3,9	3,9

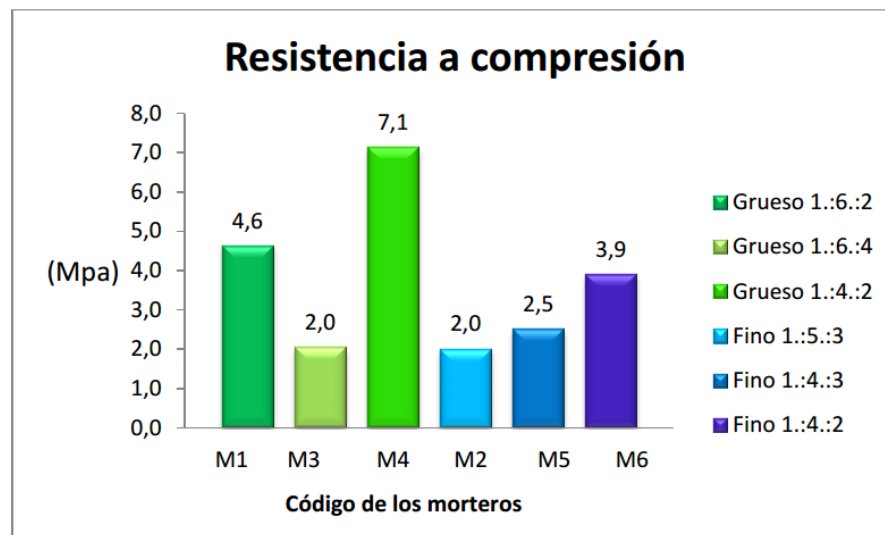


Figura 1.3 Resistencia a compresión de los morteros

Fuente : tesis de Alejandro Zayas Cancela

Las dosificaciones de mortero 2 y 3 no cumplieron con la resistencia mínima a compresión que es 2,4 MPa, por tanto estas dos dosificaciones no se pueden utilizar para morteros de revestimientos. Estas resistencias bajas se deben a una mayor cantidad de arena y/o cieno de cal en la composición del mortero.

#### Determinación de la absorción de agua.

**Tabla 1.13:** Cantidad y porcentaje de absorción de agua de las briquetas.

**Fuente:** tesis de Alejandro Zayas Cancela

Absorción de agua de las briquetas a los 7 días									
Usos	Código briketa	A		B		C		$(g/cm^2)_{media}$	% abs media
		$(g/cm^2)$	% abs	$(g/cm^2)$	% abs	$(g/cm^2)$	% abs		
Resano grueso	M1	3,0	24,3	2,7	21,4	2,8	23,7	<b>2,8</b>	<b>23</b>
	M3	3,2	25,4	3,9	32,1	4,2	34,6	<b>3,8</b>	<b>31</b>
	M4	2,9	23,8	2,5	20,1	2,4	19,6	<b>2,6</b>	<b>21</b>
Resano fino	M2	2,4	19,0	1,4	10,2	1,3	8,9	<b>2,4</b>	<b>19</b>
	M5	2,1	15,5	0,7	4,3	2,3	16,9	<b>1,7</b>	<b>12</b>
	M6	2,3	15,0	3,8	27,5	2,3	16,1	<b>2,8</b>	<b>20</b>

$$\text{Absorción por capilaridad} = \frac{P_{\text{final}} - P_{\text{inicial}}}{16} \quad (1.7)$$

Donde:

P final - Masa de la probeta a la edad del ensayo en gramos

P inicial - Masa de la probeta antes de sumergirse en el agua en gramos.

De los morteros de repello grueso el M4 fue el que menos absorción de agua tuvo. Entre los morteros de repello fino el M5 fue después del M6 el de menor valor de absorción. Esto quiere decir que tanto el M4 como el M5, y el M6 serán menos afectados por ácidos y sales del ambiente y por tanto su durabilidad no estará tan afectada por estas sustancias agresivas. La absorción capilar de estos morteros es el mecanismo de transferencia de líquidos más rápido y esta está directamente relacionada con la durabilidad que tendrán.

#### **Análisis de la porosidad de los morteros.**

Tabla 1.14: Resultados del ensayo de porosidad a los morteros.

Fuente: : tesis de Alejandro Zayas Cancela

Porosidad de las briquetas						
Usos	Dosificación C:A:CC	Código	A	B	C	%Porosidad promedio
			%Porosidad	%Porosidad	%Porosidad	
Repello grueso	1:6:2	M1	36,8	38,9	36,3	<b>37</b>
	1:6:4	M3	38,6	37,8	38,5	<b>38</b>
	1:4:2	M4	35,9	40,9	30,6	<b>36</b>
Repello fino	1:5:3	M2	32,4	33,1	32,7	<b>33</b>
	1:4:3	M5	26,9	28,7	30,0	<b>29</b>
	1:4:2	M6	26,9	28,0	26,4	<b>27</b>

$$\%Porosidad\ Total = \frac{W_{sat} - W_{seco}}{W_{sat} - W_{sum}} \cdot 100$$

En la tabla 1.14 se puede observar que los repellos gruesos tienen mayor porcentaje de porosidad que los finos porque el aumento del tamaño del agregado ocasiona un incremento en la porosidad. Algo similar ocurre entre un mismo tipo de repello, por ejemplo, el mortero M5 tiene una parte más de cal que el mortero 6 y por tanto su porosidad es mayor. Entre los morteros de repello grueso el que mayor porcentaje de porosidad tuvo fue el M3 porque este contiene una mayor proporción de arena y cieno de cal, luego sigue el M1 que tiene la misma cantidad de arena, pero dos partes menos de cieno de cal, por último, está el M4 que posee dos partes menos de arena y de cieno de cal que el M3.

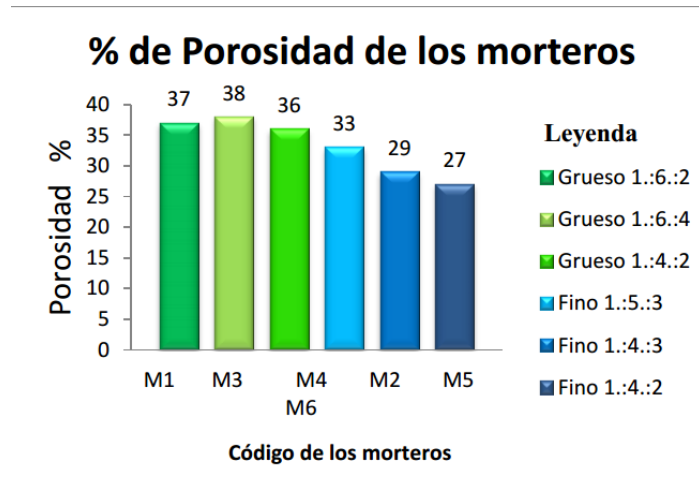


Figura 1. 4 Porosidad de los morteros

Fuente: : tesis de Alejandro Zayas Cancela

### 2.5.5. Beneficios del uso de cieno de cal en morteros mixtos de revestimientos.

Al ser el cieno de cal un componente de la mezcla que no requiere gastos de producción pues es simplemente un subproducto del proceso de obtención del acetileno, se pueden producir los mismos volúmenes de morteros de revestimientos que con polvo de piedra con la consiguiente disminución de los costos de fabricación. El empleo de cieno de cal produce un efecto económico por sustitución del uso del polvo de piedra de cantera, tanto a nivel de industria como a nivel de obra, siendo mayor su efecto en la medida en que se reduzca el transporte y el uso de energía en su producción.

Además, representa un efecto económico por sustitución del uso de un hidrato de cal producida industrialmente y con mayores costos en la fabricación de morteros de albañilería.

A nivel de industria la Empresa de Materiales de la Construcción de Matanzas no tiene que gastar capital en obreros, instalaciones temporales y permanentes y además se ahorran recursos naturales como el agua que se utiliza en los centros de producción de áridos para el lavado de los mismos.

Las empresas constructoras no tienen que emplear mano de obra para obtenerlo, solo se gasta en el transporte hacia la obra o lugar de almacenamiento para posterior uso.

### **Recuperación de un residuo industrial**

La UEB Gases Industriales de Matanzas genera actualmente unos 201 854 kg de cieno de cal al año. Al recuperar y valorizar este residuo industrial como material de construcción, se disminuiría la cantidad de desecho acumulado en los vertederos y se ahorrarían recursos naturales como combustibles y agua. Se evitaría, además, la emisión de gases de efecto invernadero al reemplazar materiales de primera producción y se lograría una mejor eficiencia energética.

En la tabla siguiente se compara los materiales sobre la base de las sustancias contaminantes, los consumos de energía, materias primas y efectos negativos de su proceso de producción.

Tabla 1.15: Efectos medioambientales y energéticos de materiales usados para elaboramorteros.

Fuente: : tesis de Alejandro Zayas

Cancela

Materiales	Consumo de energía	Sustancias contaminantes	Efectos negativos	Materias primas
Cemento	90 % de costes totales	CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> ,	Silicosis, contaminación del suelo, agua y atmósfera.	Caliza, arcilla, yeso, adiciones, aceites y grasas de lubricación
Hidrato de cal comercial	50% de costes totales	Polvo, NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> y CO	Silicosis, contaminación del suelo, agua y atmósfera.	Roca caliza, dolomía y caliza dolomítica
Áridos	Combustibles , transporte y maquinarias	Polvo, CO <sub>2</sub>	Silicosis, conjuntivitis, sedimentación de polvo la vegetación y contaminación de la atmósfera	Roca caliza, sílice
Cieno de cal	No tiene	Infiltraciones en el manto freático	Olor fuerte, irrita las manos si se manipula sin protección e infiltraciones en el manto freático que contaminan las aguas y los suelos	No tiene

En la tabla anterior se puede observar que el cieno de cal es un material que no tiene consumo de energía ni de materia prima pues es un residuo, a diferencia de la producción de cemento, hidrato de cal comercial y áridos. Por tanto, el uso del cieno de cal en la producción de morteros mixtos de revestimientos tendrá un alto beneficio social y medioambiental porque al reciclar las altas cantidades de cieno en los vertederos se eliminan prácticamente las infiltraciones en el manto freático y por tanto las aguas y los suelos no se contaminan. También se elimina el fuerte olor que produce esta acumulación de desechos en las piscinas. Es decir al reciclar el cieno de cal y utilizarlo como un componente en la elaboración de morteros mixtos de revestimientos se están realizando producciones más limpias o generosas con el medio ambiente.

## 2.6 Análisis de los resultados obtenidos en el estudio de Ing. Alejandro Zayas y selección del material a proponer

Luego de un análisis de los diferentes resultados arrojados en el estudio del Ing. Alejandro Zayas se puede proceder a una selección de material considerando las características que requiere un mortero para su durabilidad en el entorno matancero.

- **Elección de las dosificaciones definitivas atendiendo a las propiedades de los morteros .**

Para la elección de las dosificaciones definitivas se tuvieron en cuenta los resultados de los ensayos de las propiedades físicas y mecánicas de los morteros en estado fresco y endurecido. A continuación, se muestran en la tabla 3.14 las dosificaciones seleccionadas y el análisis realizado a estos resultados.

**Tabla 1.16:** Selección de la mejor dosificación para repello grueso y repello fino

Fuente: tesis de Alejandro Zayas Cancela.

Selección de la mejor dosificación para repello grueso y repello fino					
Usos	Código	Laborabilidad	Consistencia (mm)	Porosidad (%)	R <sup>c</sup> (MPa)
Repello grueso	M1	muy buena	181,5	37	4,6
	M3	buena	175	38	2,0
	M4	mala	175	36	7,1
Repello fino	M2	buena	175	33	2,0
	M5	muy buena	185	29	2,5
	M6	regular	190	27	3,9

Para la actividad de repello grueso se seleccionó el mortero con código M1 cuya dosificación es 1 parte de cemento, 6 de arena y 2 de cieno de cal (1:6:2). Para la actividad de repello fino se seleccionó el mortero con código M5 y dosificación: 1 parte de cemento, 4 de arena pasada por el tamiz No 16 (1,19mm) y 3 de cieno de cal (1:4:3). La consistencia del mortero para repello grueso escogido fue el de valor más alto



(181,5mm), además de estar cerca del valor recomendado que es  $190 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ . En el caso del mortero para repello fino aunque el mortero 6 tuvo una consistencia de 190 este estaba muy arenoso y por tanto se seleccionó el mortero 5 con 185 mm de valor de consistencia.

El tiempo de utilización de estas dos dosificaciones resultó entre 20 y 30 minutos, manteniendo una consistencia promedio de 171 mm. El autor considera que ese valor de consistencia todavía es admisible para los trabajos de repello.

La laborabilidad de estos dos tipos de repellos fue bastante buena pues se logró extender la mezcla con facilidad debido a la buena plasticidad y se notó que la retención de agua fue buena ya que no se produjeron grietas en las paredes de pruebas del laboratorio y no se rigidizó la mezcla rápidamente.

El mortero 4 tuvo un valor de absorción de 21% siendo este el menor valor para los morteros de repellos gruesos.

La porosidad del mortero 1 (23%) fue mayor que la del mortero 4 (21%) entre los morteros para repello grueso, pero en un porcentaje pequeño que no producirá una gran diferencia.

Entre los morteros de repello fino el de menor absorción de agua fue el mortero 5 (12%).

Teniendo en cuenta todo lo anteriormente expuesto se elaboró la siguiente tabla en la cual se muestran las dosificaciones de morteros escogidos, las recomendaciones para su uso según la NC 791:2010, sus densidades, relaciones agua-cemento y la cantidad de materiales para  $1 \text{ m}^3$  de mortero de revestimiento.

Tabla 1.17: Recomendaciones de uso de los morteros de revestimientos seleccionados.

Fuente: : tesis de Alejandro Zayas Cancela

Requisitos	Lugar de utilización	Actividades	Cantidad de materiales para 1m <sup>3</sup> de mortero de revestimiento						
			C:A:CC	C(kg)	A(kg)	CC* (kg)	r (a/c)*	w (l)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Tipo I	Pared/techo interior	Fino sobre repello	1:4:3	220,5	1322,8	440,9	0,67	147,1	2131
Tipo II	Pared/techo interior y exterior	Repello grueso	1:6:2	234,4	937,4	703,1	0,67	156,4	2031
Tipo II-III	Pared exterior	Repello grueso	1:6:2						

**Leyenda:**

C: Cemento P-35.

A: Arena de Planta Libertad.

CC: Hidrato de cal (cieno de cal).

\*El cieno de cal utilizado es una pasta, es decir que contiene una cantidad de agua para que la cal no comience el proceso de carbonatación. La pasta de cieno de cal utilizada en los ensayos de laboratorio contuvo un 39 % de su peso en agua aproximadamente. Es por eso que las relaciones agua cemento son pequeñas.

**2.7 Resultados esperados de la investigación.**

**2.7.1 Características necesarias del mortero para el entorno matancero**

En Matanzas nuestro clima es costero, con un alto por ciento de humedad y contenido de sustancias nocivas para el mortero como son los cloruros y sulfatos por lo cual exigen la mayor impermeabilidad de los mismos frente a estas condiciones ambientales. Esto se logra manteniendo una granulometría continua en la arena y el polvo de piedra y cumpliendo con los porcentos retenido en los tamices según lo normado (NC 178: 2002). La adición de agua en la masa de mortero también va a repercutir en la impermeabilidad

ya que poca agua, pero con un buen mezclado para que todas las partículas del aglomerante se hidraten, logra altas resistencias. Pero esto de nada vale si el mortero es poco laborable ya que se pierde la adherencia entre el material y la superficie donde se coloca. Hay que tener bien definido el uso que se le va a otorgar al mortero. En cuanto al aglomerante su dosificación está estrechamente vinculada a la cantidad de agua para que en su totalidad ocurra la reacción y fragüe, como también lo es la composición de fino en el agregado pétreo. En Matanzas los diseños de morteros usan como aglomerante el cemento P-350, este aglomerante no es económicamente factible usar en mortero, pudiéndose utilizar el PP-25 que brinda resistencias, que satisfacen la norma y su valor económico en el mercado está muy por debajo que el del cemento P-350.

### **2.7.2 Aplicación de materiales similares en la restauración de manera exitosa**

Debido a que el uso de la cal en la construcción se remonta a la antigüedad por lo cual el material ha sido estudiado por diversos países para la restauración de las mismas edificaciones cuyo material de base era la cal ,además recientes estudios demuestran la efectividad de la misma para el uso en morteros por su calidad en la terminación, como el gran ahorro económico a que contribuye.

Como ejemplos de utilización del mortero de cal para la restauración de forma exitosa y donde se define que es el material más noble para la afrontación de la tarea, pues no invade de manera negativa la composición de la estructura original podemos encontrar:

- Las Murallas de Atienza, restaurada en España en el 2005. Proyectos y obra coordinada por el IPHE. Trabajos de sustentación de tramos destruidos, desagregados o faltantes, utilizando piedras de la misma muralla, similares, o piedras artificiales y argamasas de cal, así como concreto con cal hidráulica y tierra de varios colores.
- Castillo de Embid, restaurado en España en el 2005. Proyecto y obra coordinada por el IPHE. Inicio de los trabajos de sustentación de los paramentos y torres utilizando argamasas de cal aérea y mezcladas con tierra de varios colores.

- Fuerte de Santa Catarina do Cabedelo restaurada en Paraíba durante el 2004. Edificios completamente restaurados Cuartel de la tropa de la fortaleza de Santa Cruz de Anhatomirim, 2004-2005. Edificio emblemático. Restaurado manteniendo el aspecto “texturizado” de las superficies del revoque.
- Fuerte de Santo Antonio, Ilha de Ratoes, Santa Catarina: después de la intervención de 1990. Parcialmente reconstruido con piedras de ruinas y revocado para distinguir el material de la propia ruina Cuartel da Tropa, en Santa Cruz de Anhatomirim, 2005. Restauración de un tramo de revoque y capeamientos de los contrafuertes.

Esto son solo algunos ejemplos donde se usaron materiales similares al seleccionado para la restauración de edificaciones de argamasa, por lo cual el autor puede deducir que el efecto de la aplicación de los morteros M1 y M5 favorezca las actividades de restauración al lograr similitud en cuanto a propiedades mecánicas de los materiales originales y los estudiados. Por lo cual el autor está de acuerdo con la selección del material realizada por el Ing. Alejandro Zayas Cancela.

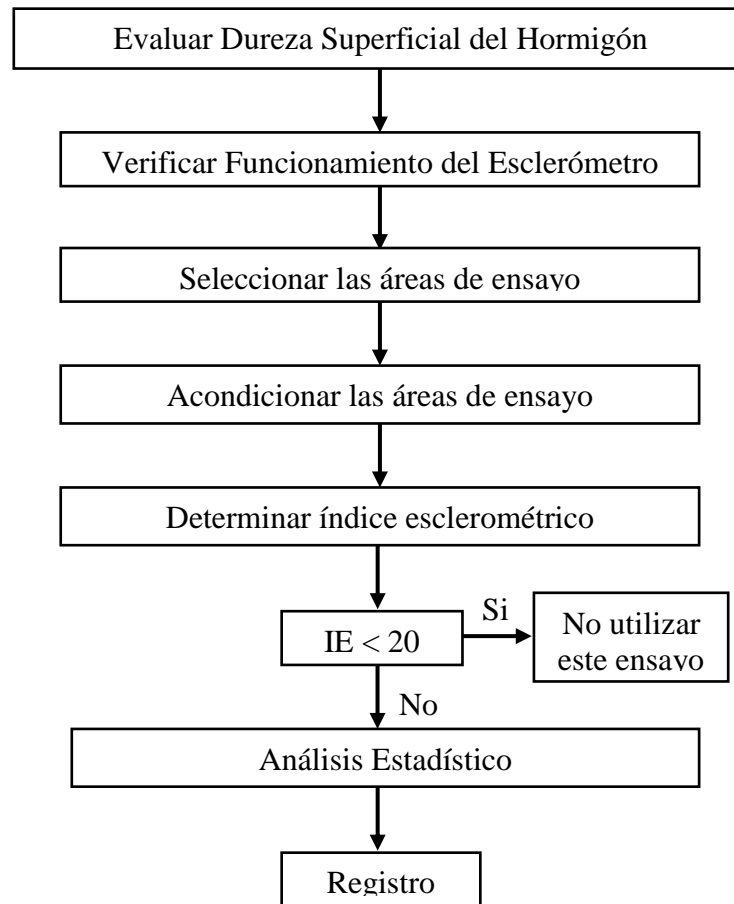
La comprobación de la eficiencia del material para la restauración se debe realizar en varias etapas, donde luego de la aplicación del material en edificaciones que datan de siglos XVIII y primera de la mitad del XIX de la ciudad de Matanzas cuya base sea de compuestos de mampuesto, se evalúen las propiedades físicas y mecánicas a través de pruebas de ensayos no destructivos como lo son:

- Esclerometría
- Presencia de Carbonatación

### **2.7.2.1 Esclerometría**

La esclerometría tiene como objetivo evaluar la dureza superficial del hormigón mediante el uso del esclerómetro de reflexión.

A continuación, se mostrará mediante un diagrama de flujo el **procedimiento** a seguir en el ensayo.



Esquema 1.1 Procedimiento a seguir para la evaluación de la dureza superficial del hormigón. Fuente: Extraído del Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado. (Red DURAR)

Las áreas de ensayo deben estar:

- Localizadas en las caras verticales.
- Alejadas de regiones afectadas por segregación, exudación, concentración excesiva de armaduras, juntas.
- Alejados por lo menos 60 mm de los cantos o aristas de los elementos.

- Tener una superficie entre los 8000 mm<sup>2</sup> (90 x 90 mm) y 40.000 mm<sup>2</sup> (200 x 200).

El número de impactos está limitado por la separación de las barras de refuerzo, sin embargo, se recomienda:

- Efectuar un mínimo de 9 impactos en cada área de ensayo.
- Evitar impactos sobre agregados, armaduras.
- No se debe permitir más de un impacto sobre un mismo punto.
- Distancia mínima entre impactos de 30 mm.

Los esclerómetros de reflexión no deben ser utilizados cuando los índices esclerométricos son inferiores a 20.

Utilización del esclerómetro:

- El esclerómetro de reflexión debe ser siempre aplicado ortogonalmente sobre el área de ensayo.
- La barra de percusión debe ser presionada contra un punto del área de ensayo, previamente delimitada y, antes de que dicha barra desaparezca completamente en el cuerpo del esclerómetro, el martillo debe ser liberado.
- La liberación del martillo debe ser efectuada a través de un aumento gradual de presión en el cuerpo del aparato.
- Después del impacto, la punta indicadora localizada en la escala del esclerómetro proporciona directamente el índice esclerométrico. Este puede ser fijado por medio del botón de presión, para permitir una lectura más segura en área de poca luminosidad o en posiciones de difícil acceso.
- El esclerómetro debe ser aplicado preferentemente en posición horizontal y consecuentemente sobre superficies verticales. Cuando sea necesario aplicarlo en

posiciones diversas, el índice esclerométrico debe ser corregido con los coeficientes proporcionados por el fabricante del esclerómetro.

Una vez aplicado el mortero en una edificación se deberá aplicar el ensayo de esclerometría en diferentes etapas para evaluar la calidad y resistencia del mortero tomando como referencia los resultados de los ensayos de laboratorio.

Resistencia Inicial (MPa)		Período a evaluar			
		7 días	28 días	6 meses	1 año
M1	4.6				
M5	2.5				

Tabla 1.18 Evaluación de la dureza superficial del mortero en el tiempo.

Fuente: Elaborado por el autor

### 2.7.2.2 Presencia de carbonato

El hormigón es por su naturaleza un medio alcalino pues su pH oscila normalmente entre 12 y 14. Cuando el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) contenido en la atmósfera comienza a penetrar al hormigón a través de sus poros se produce un fenómeno denominado carbonatación. Este fenómeno, en presencia de la humedad reduce la alcalinidad del hormigón, pues el  $\text{CO}_2$  al reaccionar con los álcalis (hidróxidos) los neutraliza; dando como resultado la formación de carbonatos. La consecuencia de este proceso es la disminución del pH a valores inferiores a 10.

Para la realización del ensayo se emplea una solución indicadora ácido-base: fenolftaleína (1 g fenolftaleína + 49 g alcohol + 50 g agua) o timolftaleína (1 g timolftaleína + 99 g agua).

#### Criterios de Evaluación

En función del indicador ácido-base seleccionado se establecerá el pH del frente incoloro en la muestra obteniendo el nivel de pH.

La fenolftaleína es el indicador más comúnmente utilizado y su rango de viraje está entre pH 8.2 y pH 9.8. Varía su tonalidad de incoloro a violeta rojizo.

La timolftaleína es otro indicador que podría utilizarse, ya que su rango de viraje está entre pH 9.3 y pH 10.5 con tonalidades de incolora a azul.

Una vez aplicado el mortero en una edificación se deberá aplicar el ensayo de presencia de carbonatación al año de su aplicación para determinar la existencia o no de carbonatación debido al ambiente agresivo al cual se encuentran expuestas las edificaciones del centro histórico de Matanzas.

### **Conclusiones parciales.**

1. Se presentaron las causas de la necesidad de el uso de un mortero con cal para la restauración así como se verificó el cumplimiento de las normas cubanas.
2. Se analizaron los resultados obtenidos por el Ing. Alejandro Zayas Cancela tomando de referencia sus resultados para la investigacion.
3. Se planteó el procedimiento experimental a seguir para la verificación de las propiedades físico mecánicas del mortero en condiciones no controladas, tomando como punto de partida los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio.



## CONCLUSIONES

- La revisión de numerosas fuentes bibliográficas referidas al tema tratado permite evaluar el criterio de varios autores e identificar las definiciones claves de la investigación.
- El estudio sobre un mortero adecuado que en su composición responda a las necesidades particulares de las edificaciones que datan de siglos XVIII y primera de la mitad XIX de gran valor patrimonial de la ciudad de Matanzas resulta de gran importancia para lograr su preservación.

## **RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda a la ENIA investigar más a fondo el mortero propuesto y realizar la aplicación del material para su estudio en condiciones reales de ambiente no controlado.
2. Se recomienda a la Oficina de Patrimonio y la Oficina del Conservador en la Ciudad de Matanzas crear la posibilidad para el desarrollo de los experimentos pendientes para según su resultado fomentar la producción de morteros para la restauración que economice gastos futuros por múltiples intervenciones.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ramón Recondo Pérez en la sede matancera de la Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba, y como parte de las exposiciones colaterales del proyecto Ríos Intermitentes, capítulo yumurino de la XIII Bienal de La Habana.
- [2] Alejandro Zayas Cancela "Evaluación de morteros mixtos de revestimientos con cal residual de la producción de acetileno"
- [3] Rodriguez-Navarro, C., Hansen, E., Ginell, W.S., Calcium hydroxide cristal evolution upon aging of lime putty, J. Am. Cera. Soc. 81 (11) (1998) 3032-3034.
- [4] Martín, A. Ensayos y experiencias de alteración en la conservación de obras de piedra de interés histórico-artístico. Ed. Centro de Estudios Ramón Areces, Madrid, 1990.
- [5] Degryse, P. Elsen, J. Waelkens, M. Study of ancient mortars from Salassos (Turkey) in view of their conservaton, Cem. Concr. Res. 32 (2002) 1457-1563.
- [6] Hendry, A.W. Masonry walls: materials and construction, Constr. Build. Mater. 15 (2001) 323-330.
- [7] Venice Charter, International Charter for the conservation and restoration of monuments and sites, Venice, 1964, [http://www.icomos.org/docs/venice\\_charter.html](http://www.icomos.org/docs/venice_charter.html).
- [8] Conclusions of the symposium "mortars, cements and grouts used in the conservation of historic buildings", Rome, Mater. Struct. 23 (1990) 235.
- [9] Martínez-Ramírez, S. Puertas, F. Blanco-Varela, M.T. Thompson, G.E. Almendros, P. Behavior of repair lime mortars by wet deposition process, Cem. Concr. Res. 28 (2) (1998) 221-229.
- [10] Winnefeld, F. Knöfel, D. Investigation on historical mortars with microscopic methods, Proc. of the 18h International Conference on Cement Microscopy, Houston, Texas, April 21-25, 1996, 171-184.

[11] UNE 83-200, Aditivos para hormigones, pastas u morteros. Clasificación y definiciones, 1984.

[12] UNE 83-800, Morteros de albañilería. Definiciones y especificaciones, 1994.

Álvarez, J. (2014). Cieno de acetileno. Un hidrato de cal económico para morteros de albañilería. La Habana: Presentado en Décima Conferencia Científico-Técnica de la Construcción.

Álvarez, J., Martín, A., & García, P. (26 de Julio de 2006). Historia de los morteros. Boletín Informativo, págs. 52-59.

Barrera, H., Faundez, D., & Luna, P. (2002). Estudio de los morteros de junta, según NCh2256/1, bajo la óptica de la adherencia.

Castillo, E. (2008). Morteros de Construcción y Ornamentación. Recuperado el 22 de Mayo de 2008, de <http://www.ugr.es>

CYTED. (1997). Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón. Río de Janeiro.

El uso de la cal en las mezclas de albañilería. (s.f.).

Gómez, A. (2011). Morteros: Uniendo estructuras. Revista Construir. Herrera, I. E., Larrañaga, M. E., Fé, E. P., & Brito, N. E. (agosto de 2012). Evaluación de morteros de albañilería elaborados con áridos reciclados mixtos con diferentes procesos de obtención. Revista Cubana de Ingeniería, III(2), 11-16.

Jiménez, P. (2000). Hormigón armado. (14 ed.). Barcelona: Ed. Gustavo Gili, S. A.

Nacerini, A. y. (2009). Use of waste brick as a partial replacement of cement in mortar. Waste Management, 29, 2378 - 2384.

NC 175. (2002). Morteros de albañilería. Especificaciones. La Habana: Oficina Nacional de Normalización (NC).

NC 566. (2007). Morteros de cal-especificaciones, preparación y aplicación. La Habana: Oficina Nacional de Normalización (NC).

NC 791. (2010). CÓDIGO DE BUENAS PRÁCTICAS SOBRE LA PREPARACIÓN, DOSIFICACIÓN, MEZCLADO Y COLOCACIÓN. La Habana: Oficina Nacional de Normalización (NC).

Orus, F. (1968). Materiales de Construcción (Séptima ed.). La Habana: Instituto del Libro.

Serrano, M. F., Pérez, D. D., Orlando, C., & Grammes, F. (2013). Evaluación de las propiedades mecánicas de morteros modificados con ceniza proveniente de la desorción térmica de aguas de la industria petrolera. Revista técnica cemento-hormigón.

Vázquez, A. (2012). Evaluación de los diseños de morteros con cemento PP-25, arena y polvo de piedra. Trabajo de Diploma, Universidad, Departamento de Construcciones, Matanzas.

Vegas, I., Gill, M., & Reyes, E. (2009). Diseño y prestaciones de morteros de albañilería elaborados con áridos reciclados procedentes de escombros de hormigón. Materiales de Construcción, 59(295), 5 - 18.

Velazco, G. (2012). Empleo de resinas furano-epoxídica cubanas en la fabricación de morteros base cemento. UPADI. La Habana: Obras.

## Bibliografía

- Aditivos para el hormigón. (2008). Revista técnica Cemento-hormigón (922).
- Alejandro Zayas Cancela (2014) tesis de pregrado “Evaluación de morteros mixtos de revestimientos con cal residual de la producción de acetileno”
- Álvarez, J. (2014). Cieno de acetileno. Un hidrato de cal económico para morteros de albañilería. La Habana: Presentado en Décima Conferencia Científico-Técnica de la Construcción.
- Álvarez, J., Martín, A., & García, P. (26 de Julio de 2006). Historia de los morteros. Boletín Informativo, págs. 52-59.
- Andrés, J. P. (2014). Se patenta un nuevo material que absorbe CO2. Noticias de la Ciencia y la Tecnología. doi: ISSN 2013-6714
- Barrera, H., Faundez, D., & Luna, P. (2002). Estudio de los morteros de junta, según NCh2256/1, bajo la óptica de la adherencia.
- Campos Cisneros, Ronald. (s.a) Disponible en:  
[www.monografias.com/trabajos55/agregados/agregados.shtm](http://www.monografias.com/trabajos55/agregados/agregados.shtm) l Accesado 20 de abril de 2020
- Características de los morteros| (en línea) Disponible en:  
[http://www.construmatica.com/construpedia/Caracter%C3%ADsticas\\_de\\_los\\_Morteros](http://www.construmatica.com/construpedia/Caracter%C3%ADsticas_de_los_Morteros)  
Accesado 18 de junio de 2020
- Castillo, E. (2008). Morteros de Construcción y Ornamentación. Recuperado el 22 de mayo de 2020, de <http://www.ugr.es>
- Corinaldesi, V. a. (2009). Behaviour of cementitious mortars containing differents kinds of recycled aggregate. . Construction and Building Materials, 23, 289 - 294.
- CYTED. (1997). Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón. Río de Janeiro.
- Degryse, P. Elsen, J. Waelkens, M. Study of ancient mortars from Salassos (Turkey) in view of their conservaton, Cem. Concr. Res. 32 (2002) 1457-1563.
- De la Sotta Monreal, Juan Pablo. (2010) Análisis comparativo entre mortero de junta para albañilería fabricado en obra y mortero premezclado húmedo para albañilería.

Tesis de grado. Universidad Austral de Chile. Valdivia. Chile

Departamento de enseñanza de la construcción (2002), [En línea]. Taller de construcción. Cátedra de construcción 1 de la facultad de Arquitectura. Montevideo, Uruguay. [Citado el: 28 de abril del 2012]. [www.farq.edu.uy](http://www.farq.edu.uy).

Descalzo Arana, Susana Patricia. —Carburo de Calcio C2 Call Disponible en: [www.epec.com.ar/molet/material\\_didactico\\_v2.htm](http://www.epec.com.ar/molet/material_didactico_v2.htm) | Accesado 18 de abril de 2014

El uso de la cal en las mezclas de albañilería. (s.f.).

Furlan V, Bisseger P, (1975), Les mortiers anciens. —Histoire et essais d'analyse scientifique. Revue suisse d'Art et d'Archéologie, vol. 32, pp. 1-14.

Gallegos Martínez, Erika (2010) Inventario de emisiones de partículas y modelado de su transporte a partir de fuentes de área de una industria minera. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de San Luis Potos, México

Gayoso Blanco, Regino A., Mercedes B. Rosell Lam, Ernesto Díaz Bring y Julián Porro Reynaldo Sarria. (2012) —Dosificaciones de hormigones durables con áridos producidos en Matanzas. Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de Construcción. La Habana, Cuba

Gilvonio Alegría, Leoncio Rubén (2005) El ahorro de energía en la industria cementera. Tesis de Maestría. Universidad Mayor de San Marcos. Lima. Perú

Gómez, A. (2011). Morteros: Uniendo estructuras. Revista Construir.

Hendry, A.W. Masonry walls: materials and construction, Constr. Build. Mater. 15 (2001) 323-330

Hernández Sampieri, Roberto, Carlos Fernández Collado y Pilar Baptista Lucio. (1998) Metodología de la investigación. 2da ed. McGraw-Hill

Herrera, I. E., Larrañaga, M. E., Fé, E. P., & Brito, N. E. (agosto de 2012). Evaluación de morteros de albañilería elaborados con áridos reciclados mixtos con diferentes procesos de obtención. Revista Cubana de Ingeniería, III(2), 11-16.

Jiménez, P. (2000). Hormigón armado. (14 ed.). Barcelona: Ed. Gustavo Gili, S. A.

León Consuegra, Liset. (2011) Evaluación del mortero restaurador de estructuras Cover Fs Structural V/O con un árido grueso. Tesis de diploma. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos

López González, Lisbet Mailin, María Teresa Hernández Nodarse y Zenaida Herrera Rodríguez “Utilización de la vinaza de destilería como fluidizante para pastas crudas de cemento”‖ Disponible en: [www.monografias.com/trabajos15/vinaza/vinaza.zip](http://www.monografias.com/trabajos15/vinaza/vinaza.zip) Accesado abri18, 20014

López, L., Hernández, M., & Herrera, Z. (14 de mayo de 2011). Monografías.com S.A. Recuperado el 18 de junio de 2014,de <http://www.monografias.com/Tecnología/index.shtml>

Malinowski R, (1982), —Ancient mortars and concretes: Aspects of their durability‖. Histoire of Technology, vol. 7, pp. 89-101.

Martín, A. Ensayos y experiencias de alteración en la conservación de obras de piedra de interés histórico-artístico. Ed. Centro de Estudios Ramón Areces, Madrid, 1990.

Martínez-Ramírez, S. Puertas, F. Blanco-Varela, M.T. Thompson, G.E. Almendros, P. Behavior of repair lime mortars by wet deposition process, Cem. Concr. Res. 28 (2) (1998) 221-229.

Martínez Herrera, Iván Emilio, Miren Etxeberria Larrañaga, Elier Pavón de la Fé, Nelson Emilio Díaz Brito. “Evaluación de morteros de albañilería elaborados con áridos reciclados mixtos con diferentes procesos de obtención”‖. Revista Cubana de Ingeniería. Vol. III, No. 2, mayo - agosto, 2012, pp.11-16, ISSN 2223 -178

Mayor Lobo, Pablo Luis y Francisco Hernández Olivares (2007) “Determinación por procedimientos físico-mecánicos de la dosificación de agua en morteros monocapa. Análisis predictivo de fisuraciones.” I Jornada Nacional de Investigación en edificación. Universidad Politécnica de Madrid

Menéndez, José (1948). Una lección sobre arenas: Editorial de Libros y Folletos O'Reilly, Numero 304. La Habana, Cuba.

Menéndez, José (1945). Una lección sobre morteros. La Habana: Ed. Imprenta de la universidad.

Morales-Flórez, V., A. Santos, A. Lemus, y L. Esquiviasa. (2006) —Artificial weathering pools of calcium-rich industrial waste for CO2 sequestration‖ Environment Science and Technology, 40, pp. 802–808

Muñoz Gutiérrez, Salvador (2012) Estudio de factibilidad económica-financiera para la toma de decisiones del proyecto de fabricación de morteros secos ensacados en Cuba.

Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (CUJAE). Tesis (Maestría). La Habana. Cuba

Nacerini, A. y. (2009). Use of waste brick as a partial replacement of cement in mortar. *Waste Management*, 29, 2378 - 2384.

NC 170. (2002). Morteros frescos. Determinación de la consistencia en la mesa de sacudidas. Oficina Nacional de Normalización Ciudad de La Habana, Cuba.

NC 171. (2002) Mortero endurecido. Determinación de la absorción de agua por capilaridad. Oficina Nacional de Normalización. La Habana. Cuba

NC 173. (2002). Mortero endurecido. Determinación resistencia a flexión y compresión. Oficina Nacional de Normalización Ciudad de La Habana, Cuba.

NC 175. (2002). Morteros de albañilería. Especificaciones. Oficina Nacional de Normalización Ciudad de La Habana, Cuba.

NC 175. (2002). Morteros de albañilería. Especificaciones. La Habana: Oficina Nacional de Normalización (NC).

NC 177. (2002). Determinación del porcentaje de huecos. Método de ensayo. Oficina Nacional de Normalización Ciudad de La Habana, Cuba.

NC 178. (2002). Análisis granulométrico. Oficina Nacional de Normalización Ciudad de La Habana, Cuba.

NC 179. (2002). Determinación del contenido de partículas de arcilla. Método de ensayo. Oficina Nacional de Normalización Ciudad de La Habana, Cuba.

NC 181. (2002). Determinación del peso volumétrico. Método de ensayo. Oficina Nacional de Normalización Ciudad de La Habana, Cuba.

NC 182. (2002). Determinación del material más fino que el tamiz de 0,074 mm (No. 200). Método de ensayo. Oficina Nacional de Normalización Ciudad de La Habana, Cuba.

NC 186. (2002). Peso específico y absorción de agua. Método de ensayo. Oficina Nacional de Normalización Ciudad de La Habana, Cuba.

NC 251. (2011) Áridos para hormigones hidráulicos—requisitos Oficina Nacional de Normalización. La Habana. Cuba

NC 506. (2007). Cemento hidráulico. Métodos de ensayo. Determinación de la resistencia mecánica. Oficina Nacional de Normalización Ciudad de La Habana, Cuba.



NC 52-79 (1993) Código de práctica para la producción. Morteros para albañilería. Diseño y caracterización. (Parte 1) s.o.d

NC 54-008 (1978) Cal hidratada hidráulica. Determinación de los hidróxidos de magnesio y calcio. Comité Estatal de la Construcción. Ciudad de La Habana, Cuba.

NC 54-037 (1985) Determinación de los óxidos de hierro (III) y aluminio (III) en cales y calizas. Comité Estatal de Normalización. Ciudad de La Habana, Cuba

NC 54-207. (1980). Materiales y productos de la construcción. Cemento, ensayos compresión - flexión físico-mecánicos. Oficina Nacional de Normalización Ciudad de La Habana, Cuba.

NC 54-207. (1980). Materiales y productos de la construcción. Cemento, ensayos compresión - flexión físico-mecánicos. Oficina Nacional de Normalización Ciudad de La Habana, Cuba

NC 54-285 (1984) Cal viva. Especificaciones de calidad. Comité Estatal de Normalización. Ciudad de La Habana, Cuba

NC 54-286. (1984). Materiales y productos de la construcción Hidrato de cal. Especificaciones de calidad. Oficina Nacional de Normalización Ciudad de La Habana, Cuba.

NC 566. (2007). Morteros de cal-especificaciones, preparación y aplicación. La Habana: Oficina Nacional de Normalización (NC).

NC 657. (2008). Áridos para morteros de albañilería. Especificaciones. Oficina Nacional de Normalización Ciudad de La Habana, Cuba.

NC 791. (2010). Código de buenas prácticas sobre la preparación, dosificación, mezclado y colocación. La Habana: Oficina Nacional de Normalización (NC).

Niveles actuales de emisiones y consumo de energía y materias primas (en línea) Disponible

en:[www.concreteonline.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=739&catid=39:articulos-tecnicos&Itemid=100166](http://www.concreteonline.com/index.php?option=com_content&view=article&id=739&catid=39:articulos-tecnicos&Itemid=100166) Accesado 3 de marzo de 2014

Oficina Nacional de Estadísticas. Tratamiento y recolección de desechos sólidos [en línea]. La Habana [ref. 19 de enero de 2012]. Disponible en Web: <http://www.one.cu/aec2009/datos/2.50.xls>

Orlando Lima Franco (2003) *Materiales y productos para la construcción*. (s.o.d)Orus, F. (1968). *Materiales de Construcción* (Séptima ed.). La Habana: Instituto del Libro.

Rassineux F, Petit JC, Meunier A, (1989), Ancient analogues of modern cement: calcium hydrosilicates in mortars and concretes from Gallo-Roman Thermal Baths of Western France. *J.Am.Ceram.Soc.*; 72 (6): 1026-32.

Rome, Mater. Struct. 23 (1990) 235. Conclusions of the symposium “mortars, cements and grouts used in the conservation of historic buildings

Rodriguez-Navarro, C., Hansen, E., Ginell, W.S., Calcium hydroxide cristal evolution upon aging of lime putty, *J. Am. Cera. Soc.* 81 (11) (1998) 3032-3034.

Serrano, M. F., Pérez, D. D., Orlando, C., & Grammes, F. (2013). Evaluación de las propiedades mecánicas de morteros modificados con ceniza proveniente de la desorción térmica de aguas de la industria petrolera. *Revista técnica cemento-hormigón*.

Torres Acosta, Andrés Antonio, Cesar Eduardo Celis Martínez, Wilfrido Martínez Molina y María Guadalupe Lomelí González (2010) —Mejora en la durabilidad de materiales base cemento, utilizando adiciones deshidratadas de dos cactáceas| Publicación Técnica No. 326 secretaría de comunicaciones y transportes. Instituto Mexicano del Transporte. Sanfandila, Queretaro, México

UNE 83-200, Aditivos para hormigones, pastas u morteros. Clasificación y definiciones, 1984.

UNE 83-800, Morteros de albañilería. Definiciones y especificaciones, 1994.

Vázquez, A. (2012). Evaluación de los diseños de morteros con cemento PP-25, arena y polvo de piedra. Trabajo de Diploma, Universidad, Departamento de Construcciones, Matanzas.

Vegas, I., Gill, M., & Reyes, E. (2009). Diseño y prestaciones de morteros de albañilería elaborados con áridos reciclados procedentes de escombros de hormigón. *Materiales de Construcción*, 59(295), 5 - 18.

Velazco, G. (2012). Empleo de resinas furano-epoxídica cubanas en la fabricación de morteros base cemento. UPADI. La Habana: Obras.

Venice Charter, International Charter for the conservation and restoration of monuments and sites, Venice, 1964, [http://www.icomos.org/docs/venice\\_charter.html](http://www.icomos.org/docs/venice_charter.html).

Winnefeld, F. Knöfel, D. Investigation on historical mortars with microscopic methods, Proc. of the 18h International Conference on Cement Microscopy, Houston, Texas, April 21-25, 1996, 171-184.