



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**INCIDENCIA DE LA BENTONITA SÓDICA EN LA IMPERMEABILIZACIÓN DE
LOS MORTEROS PARA MAMPOSTERÍAS NO PORTANTES**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero e Ingeniera Civil

AUTORES: Jackson Marcelo Calva Rodriguez
Lorena Margoth De La Cruz Chicaiza

TUTOR: Francisco Roberto Ortiz Navas

Quito - Ecuador
2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Jackson Marcelo Calva Rodriguez con documento de identificación N° 1104585359 y Lorena Margoth De La Cruz Chicaiza con documento de identificación N° 1003552179; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 05 de marzo del 2024

Atentamente,



Jackson Marcelo Calva Rodriguez
1104585359



Lorena Margoth De La Cruz Chicaiza
1003552179

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Jackson Marcelo Calva Rodríguez con documento de identidad N° 1104585359 y Lorena Margoth De La Cruz Chicaiza con documento de identidad N° 1003552179, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico: “Incidencia de la bentonita sódica en la impermeabilización de los morteros para mamposterías no portantes”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 05 de marzo del 2024

Atentamente,



Jackson Marcelo Calva Rodriguez

1104585359



Lorena Margot De La Cruz Chicaiza

1003552179

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Francisco Roberto Ortiz Navas con documento de identificación N° 1717631244, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: INCIDENCIA DE LA BENTONITA SÓDICA EN LA IMPERMEABILIZACIÓN DE LOS MORTEROS PARA MAMPOSTERÍAS NO PORTANTES, realizado por Jackson Marcelo Calva Rodríguez con documento de identificación N° 1104585359 y por Lorena Margoth De La Cruz Chicaiza con documento de identificación N° 1003552179, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 05 de marzo del 2024

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Francisco Roberto Ortiz Navas', is written over a horizontal line.

Ing. Francisco Roberto Ortiz Navas, PhD.

1717631244

INCIDENCIA DE LA BENTONITA SÓDICA EN LA IMPERMEABILIZACIÓN DE LOS MORTEROS PARA MAMPOSTERÍAS NO PORTANTES

INCIDENCE OF SODIUM BENTONITE IN THE WATERPROOFING OF MORTARS FOR NON-LOAD-BEARING MASONRY

Jackson Calva- Rodriguez¹, Lorena De La Cruz- Chicaiza², Francisco Ortiz -Navas³

Resumen

A través de este trabajo de investigación se pretende hallar una solución a los problemas más frecuentes que se presentan en las paredes de las edificaciones a causa de la humedad, al estar expuestos a la intemperie, ya sea por las precipitaciones o agentes externos que ocasionan deterioros en las fachadas y en las estructuras. Con el propósito de mejorar las propiedades impermeables del mortero tradicional para mamposterías no portantes, se hará uso de la bentonita sódica. Este material se dispondrá como remplazo parcial del cemento, en porcentajes de 5%, 10%, 15% y 20%, para ello se realizarán pruebas de ensayo con el fin obtener las dosificaciones adecuadas y conseguir un mortero con capacidades impermeables. Se observó que el comportamiento más favorable en términos de permeabilidad, absorción capilar y resistencia a la compresión fue la dosificación del 10 % de bentonita de sodio en el mortero.

Palabras Clave: Bentonita sódica, mortero, dosificación, fluidez, resistencia a la compresión, absorción capilar y coeficiente de permeabilidad.

Abstract

The purpose of this research work is to find a solution to the most frequent problems that occur in the walls of buildings due to humidity, when exposed to elements either by precipitation or external agents, causes deterioration in the facades and structures. In order to improve the waterproof properties of traditional mortar for non-load-bearing masonry, sodium bentonite, a natural clay, will be used. This material will be used as a partial replacement of cement, in percentages of 5%, 10%, 15% and 20%, for which tests will be carried out in order to obtain the appropriate dosages and obtain a mortar with impermeable capacities. It was observed that the most favorable behavior in terms of permeability, capillary absorption and compressive strength was in the dosage of 10% sodium bentonite in the mortar.

Keywords: Sodium bentonite, mortar, dosage, flowability, compressive strength, capillary absorption and permeability coefficient.

¹ Estudiante de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito – Ecuador.

² Estudiante de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito – Ecuador.

³ Docente de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito – Ecuador.

Autores para correspondencia: jcalva@est.ups.edu.ec / ldel3@est.ups.edu.ec

1. Introducción

En el Ecuador, las fachadas de las construcciones de edificios y otras estructuras frecuentemente presentan problemas de humedad. La eficacia de los tratamientos impermeabilizantes son un aspecto crítico que no se han estudiado rigurosamente en nuestro medio. La humedad siendo un factor que afecta a los morteros de las mamposterías no portantes, provoca daños en la estructura de una vivienda o edificación.

Para dar una solución práctica y útil a los problemas relacionados con las propiedades permeables de los morteros de mamposterías no portantes, se busca incorporar la arcilla natural en los morteros para mejorar su impermeabilización formando una barrera protectora que ralentiza o evita el paso del agua.

El estudio realizado por Kadhim, Kamal, & Hasan Bedir [1] evidencia que, en las mezclas de mortero a las edades de 7, 14, 28, 60, 91 y 120 días, cuando el 5% y el 10% del cemento es reemplazado por bentonita seca, los valores de absorción disminuyen y en la proporción del 15% mejora los morteros en la resistencia a la compresión y flexión.

Por otro lado, Sardar Farhan Mushtaq [2] investigaron la inclusión de la arcilla de sodio en el hormigón, como sustituto parcial del cemento en proporciones de 5%, 10% y 15% en peso y constataron que el desempeño del concreto fue mejor en términos de desempeño mecánico (compresión y resistencia a la tracción) y una alta resistencia a la absorción del agua que la del hormigón tradicional.

Para determinar la idoneidad de la arcilla de bentonita como material aglutinante en la producción del hormigón Jawad Ahmad [3] sustituyeron parcialmente el material aglutinante por la arcilla mencionada, donde concluyen que la arcilla hizo que aumente la resistencia mecánica y la durabilidad, a su vez también aumenta el rendimiento del concreto, pero presentando

disminución en la fluidez. De esto concluye, que la proporción óptima de este elemento varía del 15% al 20% dependiendo de las minas de su extracción.

En general los estudios realizados son alentadores, por lo que en la presente investigación experimental se busca mejorar la impermeabilidad de los morteros para mamposterías no portantes mediante el uso de la bentonita sódica (arcilla natural), como sustituto parcial de cemento en porcentajes de 5%, 10%, 15 y 20% para ello se necesita elaborar ensayos preliminares para obtener las dosificaciones de los morteros. También se dosificará probetas de mortero tradicional con el fin de medir la permeabilidad de ambos (con y sin bentonita sódica) y conocer la efectividad de la inclusión de este material en el mortero. Primeramente, se realizarán pruebas de caracterización de los materiales seguido de pruebas experimentales (ensayo-error) para los diseños de mezcla de los morteros.

Por otro lado, mediante los ensayos en estado endurecido (resistencia a la compresión, permeabilidad y absorción capilar de agua) con las dosificaciones obtenidas a las edades de 7, 14 y 28 días se podrá conocer la influencia que tiene la bentonita sódica en la propiedad físicas y mecánicas en especial la permeabilidad de los morteros.

El análisis de resultados se determinará mediante gráficas y la comparativa entre las probetas de mortero base y morteros con porcentajes de bentonita sódica en remplazo parcial del cemento, esto permitirá definir los efectos positivos que puede generar el uso del material reemplazante propuesto.

2. Materiales y Métodos

2.1. Agregados Para La Elaboración Del Mortero

- **Árido fino**

Agregado fino representado en la figura 1 procedente de las canteras de Pifo, el cual es un producto derivado de tres o más procesos de trituración, por la desintegración de la roca volcánica andesita, con módulo de finura que se encuentra dentro de los rangos de la norma NTE INEN 872 [4] que especifica que no debe ser menor a 2,3 ni mayor que 3,1.



Figura 1. Arena procedente de canteras Pifo.

- **Bentonita sódica**

Arcilla natural procedente de minas colombianas y existente como producto en Quito y Guayaquil, de grano muy fino conformada esencialmente de montmorillonita, material que se presenta en polvo como se indica en la figura 2. El hierro que contiene le da un color entre marrón y beige, presenta alta impermeabilidad y baja compresibilidad siendo muy útil para sellar depósitos de residuos tóxicos y peligrosos [5].

Debido a las propiedades impermeabilizantes que este material ofrece, cuando el agua es absorbida por esta, forma un gel semisólido con fuerte resistencia a la presión hidrostática, lo que permite que sea empleada en estanques y muelles para sellar las infiltraciones del suelo y revestir la base de los vertederos y gracias a su viscosidad y

plasticidad también pueden ser usados en morteros y lechadas [6].



Figura 2. Bentonita sódica.

- **Cemento Portland Puzolánico Tipo IP**

En la figura 3 se puede observar el cemento Portland Puzolánico Tipo IP, material hidráulico que posee altas propiedades de adherencia y cohesión, además reacciona al contacto con el agua [7]. En general el cemento puzolánico es utilizado en obras civiles, apto para el diseño de hormigones y morteros en mamposterías que cumple con los requerimientos de la norma NTE INEN 490 [7] y ASTM C 595 [8].



Figura 3. Cemento portland Puzolánico Tipo IP.

- **Agua**

La norma NTE INEN 2617:2012 [9] permite el uso de agua potable como agua de mezclado [9] en hormigones y morteros.

2.2. Metodología experimental

Los ensayos realizados previos a la dosificación de los morteros y posteriores a ella

como son las propiedades mecánicas de fluidez, resistencia a la compresión, absorción capilar y permeabilidad se describen seguidamente:

2.2.1. Análisis Granulométrico

Se realizó el ensayo en base al procedimiento establecido en la norma NTE INEN 696 [10] con el fin determinar la graduación de las partículas del agregado, porcentaje de material más fino y módulo de finura del agregado (ver figura 4), a fin de conocer si el agregado es apto para utilizarse en hormigones y morteros.

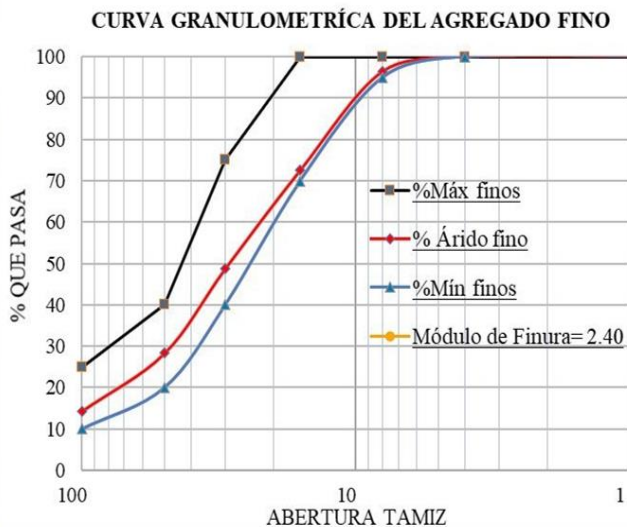


Figura 4. Curva granulométrica característica del árido fino de Pifo.

De acuerdo al ensayo los porcentajes pasantes de cada tamiz se encuentra dentro de los límites superior e inferior para los morteros de mamposterías según la normativa NTE INEN 2 536 [11], "Áridos para uso en morteros de mampostería".

2.2.2. Impurezas orgánicas del árido fino

Se utilizó el procedimiento descrito en la norma NTE INEN 855 [12](ver Figura 5). Ensayo que permite identificar la existencia de sustancias orgánicas perjudiciales en el árido fino y consecuentemente en la elaboración tanto de morteros como hormigones.

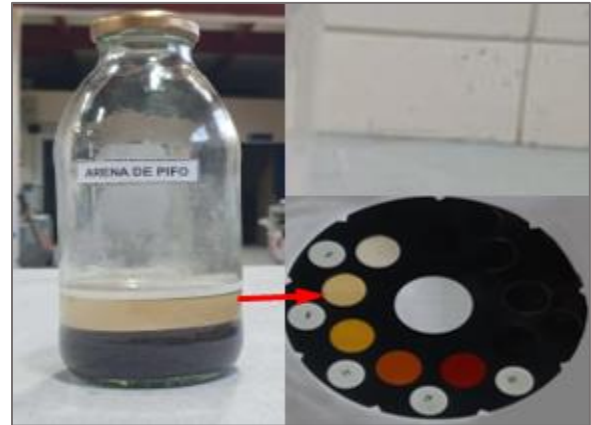


Figura 5. Ensayo de contenido de impurezas en el árido fino de Pifo.

Después de las 24 horas se pudo interpretar el resultado del ensayo, se verificó que el material no contiene cantidades perjudiciales de impurezas orgánicas debido a que el color observado de la muestra es de tono claro (N° 8 en la escala de Gardner) y como resultado de la interpretación el número en el orden del comparador es 2.

2.2.3. Densidad específica capacidad de absorción del árido fino

Para obtener la densidad y la capacidad de absorción del árido fino se tomó como referencia la norma NTE INEN 856 [13]. Parámetros cruciales en la preparación del mortero ya que afecta en la cantidad de agua de la mezcla.

Como resultado del ensayo se obtuvo la densidad de 2,54 g/cm³ y el porcentaje de absorción de 2,95.

2.2.4. Peso volumétrico suelto y compacto

Los ensayos de peso volumétrico suelto y compactado del árido fino según la normativa NTE INEN 858 [14], permiten determinar las propiedades de la masa unitaria (peso volumétrico), en estado compactado o suelta y calcular los vacíos entre partículas del agregado fino, para el cálculo y diseño en la mezcla.

Se determinó la masa unitaria suelta y compacta de 1,502 y 1,643 g/cm³ respectivamente.

2.2.5. Contenido de humedad

La norma NTE INEN 862 [15] especifica el método para la medición de contenido de humedad por secado del árido fino, valor que posteriormente permite realizar las correcciones de las dosificaciones por el contenido de humedad del agregado fino en el diseño de las mezclas de hormigón y morteros.

$$\text{Humedad} = \frac{\text{masa del agregado humedo} - \text{masa del agregado seco}}{\text{masa del agregado seco}}$$

(Ec.1)

El contenido de humedad obtenido del agregado fino es de 3,60 %.

2.2.6. Propiedades Del Árido Fino

La tabla 1 muestra el resumen de las propiedades obtenidas de los ensayos realizados al agregado fino, que son necesarios para el diseño de las dosificaciones del mortero.

Tabla 1. Características del agregado fino.

| Datos técnicos | | |
|-------------------------------|-------------------|-------|
| Procedencia: | Pifo | |
| Lugar de: | Fábrica | |
| Propiedades del Agregado fino | | |
| Peso específico | g/cm ³ | 2,540 |
| Absorción | % | 2,950 |
| Masa unitaria suelta | g/cm ³ | 1,502 |
| Masa unitaria compactada | g/cm ³ | 1,643 |
| Contenido de humedad | % | 3,600 |
| Módulo de finura | - | 2,400 |
| Pasa tamiz # 200 | % | 6,109 |
| Impurezas orgánicas | - | 2,000 |

2.2.7. Densidad real del cemento

En base a la normativa NTE INEN 156 [16] se determinó la densidad del cemento mediante el método del frasco volumétrico de Le Chatelier que

se ilustra en la figura 6, parámetro usado para el diseño de mezcla.

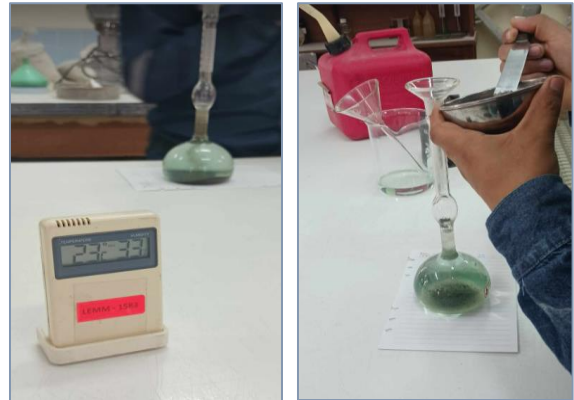


Figura 6. Ensayo de densidad del cemento hidráulico.

Mediante el ensayo se obtuvo la densidad del cemento de 2,92 g/cm³.

2.2.8. Dosificación de la mezcla

La normativa NTE INEN 2 518 [17] especifica los requisitos para los materiales que se emplean en morteros de mamposterías, para lo cual se tomó la resistencia mínima de diseño de 12,4 MPa para un mortero Tipo S [17], siendo de uso externo por encima del nivel de terreno y recomendado para revestimiento [18].

Para el diseño por peso de las mezclas se dio las siguientes nomenclaturas (ver tabla 2):

Tabla 2. Descripción de las nomenclaturas de los morteros de diseño.

| Nomenclatura | |
|--------------|---|
| B0 | Mortero base (cemento y arena) |
| B5 | Mortero de cemento(95%)+5% de bentonita sódica y arena |
| B10 | Mortero de cemento(90%)+10% de bentonita sódica y arena |
| B15 | Mortero de cemento(85%)+15% de bentonita sódica y arena |
| B20 | Mortero de cemento(80%)+20% de bentonita sódica y arena |

Con base a esta información se establecieron mezclas y se realizaron probetas (ver figura 7 y 8) para los diferentes ensayos en estado endurecido.

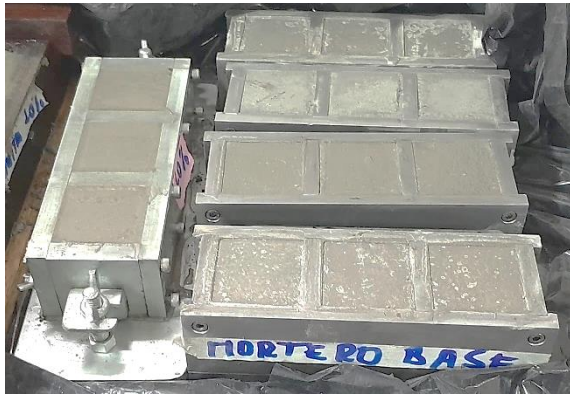


Figura 7. Probetas de la dosificación de mortero base.



Figura 8. Probetas de las dosificaciones de los morteros con bentonita sódica.

2.2.8.1. Cantidades de materiales por m³ de mortero.

Los morteros se proporcionaron y dosificaron como se muestra a continuación en la tabla 3 y 4, siendo la tabla 5 los valores definitivos para la dosificación de mortero base corregido por humedad y absorción.

Tabla 3. Muestra base "B0"

| Material | Cantidad (Kg) |
|----------|---------------|
| Cemento | 415,000 |
| Arena | 1424,271 |
| Agua | 297,140 |

Tabla 4. Muestra base "B0" corregida por humedad y absorción

| Material | Cantidad (Kg) |
|----------|---------------|
| Cemento | 415,000 |
| Arena | 1475,545 |
| Agua | 287,882 |

Nota: Diseño de mortero con un flujo de 114,25% y una relación a/mc= 0,716 y proporciones de 1:3,56.

Los valores de la dosificación de los morteros se evidencian en la tabla 5.

Tabla 5. Tabla resumen del diseño de mezcla del mortero tradicional y con diferentes proporciones del material de remplazo parcial propuesto.

| | Id | B0% | B5% | B10% | B15% | B20% |
|-------------------|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Dosificación | Cemento | 415,000 | 394,250 | 373,500 | 352,750 | 332,000 |
| | Agua | 287,882 | 287,882 | 287,882 | 287,882 | 287,882 |
| | Arena | 1475,545 | 1475,545 | 1475,545 | 1475,545 | 1475,545 |
| | Bentonita sódica | 0,000 | 20,750 | 41,500 | 62,250 | 83,000 |
| Relación | a/c | 0,716 | 0,716 | 0,716 | 0,716 | 0,716 |
| Flujo del mortero | % | 114,25 | 101,725 | 91,875 | 80,350 | 68,850 |

Nota: Los diferentes diseños expresados en la tabla 6 tienen una relación de cemento /arena de 1:3,56.

Ensayos experimentales en estado fresco

2.2.10. Fluidéz del mortero

El método de ensayo NTE INEN 2 502 [19] permite determinar el porcentaje de fluidéz por medio del incremento del diámetro de la base de la masa del mortero medido en la mesa de flujo (ver figura 9) por la acción de 25 caídas en 15 segundos. Para morteros comúnmente se exige una retención de agua de 75% produciendo un flujo inicial de 105 a 115% [17].



Figura 9. Ensayo de determinación del flujo en el mortero.

2.2.9. Ensayos experimentales en estado endurecido

2.2.10.1. Resistencia a la compresión simple

Para el ensayo se realizó en base a la metodología de la norma NTE INEN 488 [20]. El ensayo determina el esfuerzo máximo que soporta una muestra de mortero de sección de 5cm x 5cm al aplicar una carga de aplastamiento.

Las muestras dosificadas fueron ensayadas a edades de 7, 14, 28 días, esto se realizó una vez que se cumplió el tiempo de fraguado, desencofrado y el curado.

2.2.10.2. Permeabilidad por absorción capilar de agua

El método de ensayo estipulado en la norma ASTM C 1585-04 [21], es empleada para medir el ritmo de absorción de agua en el hormigón de cemento hidráulico. El ensayo se basa en medir el incremento de masa de una probeta como resultado de la absorción de agua por succión capilar en función del tiempo, cuando la superficie de la muestra entra en contacto con el agua [21].

2.2.10.3. Coeficiente de permeabilidad

El ensayo se realizó de acuerdo a la norma ASTM D2434 [22], método que utiliza una carga de agua para permear la muestra de prueba en un tiempo determinado y medir la permeabilidad mediante un coeficiente "k" (ver Ec.2) aplicando la ley de Darcy.

$$k = \frac{V * L}{A * T * H}$$

(Ec.2)
[23]

k: Coeficiente de permeabilidad en cm/s.

V: Volumen en cm³.

L: Longitud de la muestra en cm.

T: Tiempo de desagüe en s.

H: Carga en cm.

3. Resultados y Discusión

Se presenta los hallazgos obtenidos de los ensayos en estado fresco y estado endurecido de las dosificaciones propuestas.

3.1. Fluides del mortero estado fresco

La consistencia de los morteros fue determinada mediante la mesa de flujo como se observa en la figura 10.

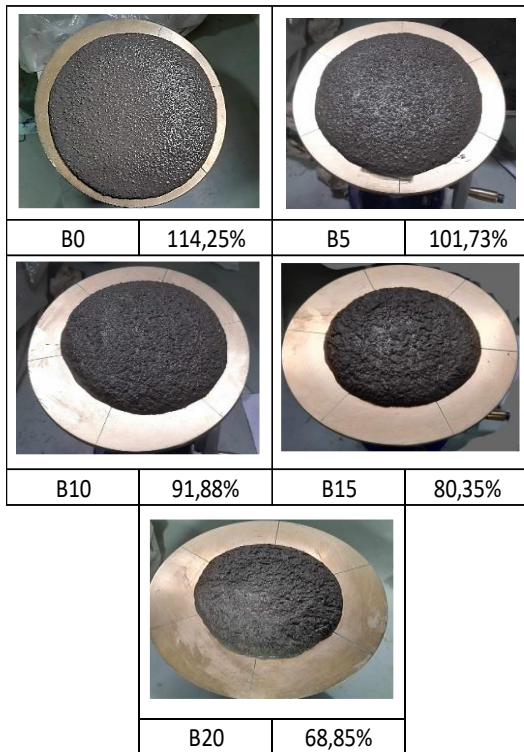


Figura 10. Flujos de mortero base y con sustitución de la arcilla propuesta en proporciones de 5%,10%,15% y 20% en remplazo parcial del cemento.

3.2. Resistencia a la compresión simple

Los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión simple a edades de 7,14 y 28 días se puntualizan en la tabla 6. Con base a la resistencia mínima de diseño se muestra que todas las dosificaciones cumplen para un mortero tipo S.

Tabla 6. resultados del ensayo de compresión simple.

| Resistencia a los 7 días | | | | | |
|---------------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|-----------------|-------|
| Iden | Área(mm) ² | P \bar{X} (KN) | f _{cm} (MPa) | \bar{S} (Mpa) | Cv(%) |
| B0 | 2506,667 | 30,812 | 12,292 | 1,130 | 9,195 |
| B5 | 2562,033 | 27,678 | 10,803 | 0,219 | 2,027 |
| B10 | 2540,250 | 24,635 | 9,698 | 0,358 | 3,691 |
| B15 | 2585,700 | 22,528 | 8,713 | 0,244 | 2,805 |
| B20 | 2515,000 | 20,655 | 8,213 | 0,186 | 2,268 |
| Resistencia a los 14 días | | | | | |
| Iden | Área(mm) ² | P \bar{X} (KN) | f _{cm} (MPa) | \bar{S} (Mpa) | Cv(%) |
| B0 | 2538,443 | 39,195 | 15,441 | 0,820 | 5,313 |
| B5 | 2541,720 | 37,101 | 14,597 | 0,567 | 3,885 |
| B10 | 2495,000 | 31,311 | 12,549 | 0,727 | 5,793 |
| B15 | 2516,667 | 28,952 | 11,504 | 0,162 | 1,405 |
| B20 | 2518,333 | 25,356 | 10,069 | 0,201 | 1,994 |
| Resistencia a los 28 días | | | | | |
| Iden | Área(mm) ² | P \bar{X} (KN) | f _{cm} (MPa) | \bar{S} (Mpa) | Cv(%) |
| B0 | 2510,003 | 42,978 | 17,123 | 0,624 | 3,644 |
| B5 | 2558,577 | 41,217 | 16,109 | 0,745 | 4,625 |
| B10 | 2520,000 | 40,056 | 15,895 | 0,569 | 3,579 |
| B15 | 2520,000 | 35,369 | 14,035 | 0,089 | 0,638 |
| B20 | 2518,333 | 31,405 | 12,471 | 0,290 | 2,327 |

Nota: Coeficiente de variación (Cv) en paréntesis

Desviación Estandar (\bar{S}) en paréntesis

Resistencia a la compresión simple media(f_{cm}) en paréntesis

Resistencia promedio(P \bar{X}) en paréntesis

En la figura 11 se muestra los resultados de la resistencia a la compresión de los morteros dosificados en los porcentajes establecidos en la tabla 2. Se deduce que el mortero base tiene resistencias altas y de forma gradual los morteros que contienen el material de remplazo parcial disminuyen.

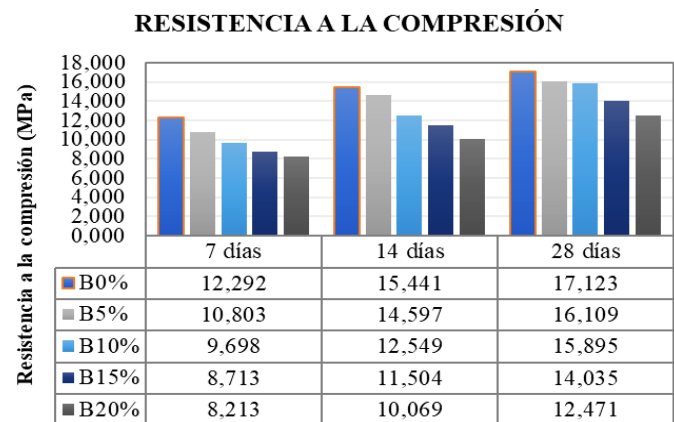


Figura 11. Resistencia a la compresión de los morteros a edades de 7,14 y 28 días.

Se discrepa que no coincidió con la investigación realiza por Kadhim, Kamal, & Hasan Bedir donde deducen que las resistencias de los morteros con la particular arcilla aumentan a apartir del 15%, esto puede ser a causa de las carateristicas y procedencia de los materiales.

3.3. Ensayo de Absorción Capilar

La tabla 7 permite verificar el incremento de la absorción de agua (I prom) de las muestras de mortero ensayadas en periodos de tiempo de 0s a 691200s (8 días).

Tabla 7. Datos y resultados recogidos de la determinación del ritmo de absorción del agua de las muestras de mortero a una edad de 28 días.

| T(s) | Raíz C.tiempo | B0 | B5 | B10 | B15 | B20 |
|--------|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | $S^{1/2}$ | Iprom (mm) | Iprom (mm) | Iprom (mm) | Iprom (mm) | Iprom (mm) |
| 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 60 | 7,75 | 1,03 | 1,15 | 1,21 | 1,07 | 1,26 |
| 300 | 17,32 | 1,25 | 1,37 | 1,45 | 1,30 | 1,55 |
| 600 | 24,49 | 1,51 | 1,62 | 1,71 | 1,52 | 1,79 |
| 1200 | 34,64 | 1,69 | 1,83 | 2,42 | 1,69 | 2,00 |
| 1800 | 42,43 | 1,83 | 1,98 | 2,61 | 1,82 | 2,18 |
| 3600 | 60,00 | 3,12 | 3,33 | 3,95 | 2,99 | 3,72 |
| 7200 | 84,85 | 3,34 | 3,56 | 4,17 | 3,19 | 3,86 |
| 10800 | 103,92 | 3,87 | 4,02 | 4,90 | 3,84 | 4,39 |
| 14400 | 120,00 | 4,62 | 4,42 | 5,43 | 4,13 | 4,92 |
| 18000 | 134,16 | 5,28 | 5,30 | 5,65 | 4,45 | 5,36 |
| 21600 | 146,97 | 5,54 | 5,93 | 5,93 | 5,18 | 5,80 |
| 86400 | 293,94 | 9,77 | 10,14 | 10,97 | 10,24 | 11,07 |
| 172800 | 415,69 | 10,54 | 11,02 | 11,53 | 10,76 | 11,89 |
| 259200 | 509,12 | 11,07 | 11,20 | 11,65 | 11,07 | 12,05 |
| 345600 | 587,88 | 11,22 | 11,30 | 11,74 | 11,21 | 12,16 |
| 432000 | 657,27 | 11,36 | 11,39 | 11,83 | 11,29 | 12,27 |
| 518400 | 720,00 | 11,43 | 11,45 | 11,89 | 11,34 | 12,34 |
| 604800 | 777,69 | 11,46 | 11,48 | 11,92 | 11,39 | 12,37 |
| 691200 | 831,38 | 11,49 | 11,51 | 11,95 | 11,46 | 12,40 |

Las pendientes de cada curva (I_{prom} vs $S^{1/2}$) obtenidas mediante los datos de la tabla 7 para cada dosificación representa la velocidad de absorción de agua, llamando como primaria o inicial a la etapa del rango de 0 a 6 horas (ver figura 12 y secundaria a partir del día 1 al 8 (ver figura 13), cabe señalar que las curvas se han construido para la edad de 28 días, el proceso para las edades de 7 y 14 días es el mismo. (ver tabla 8).

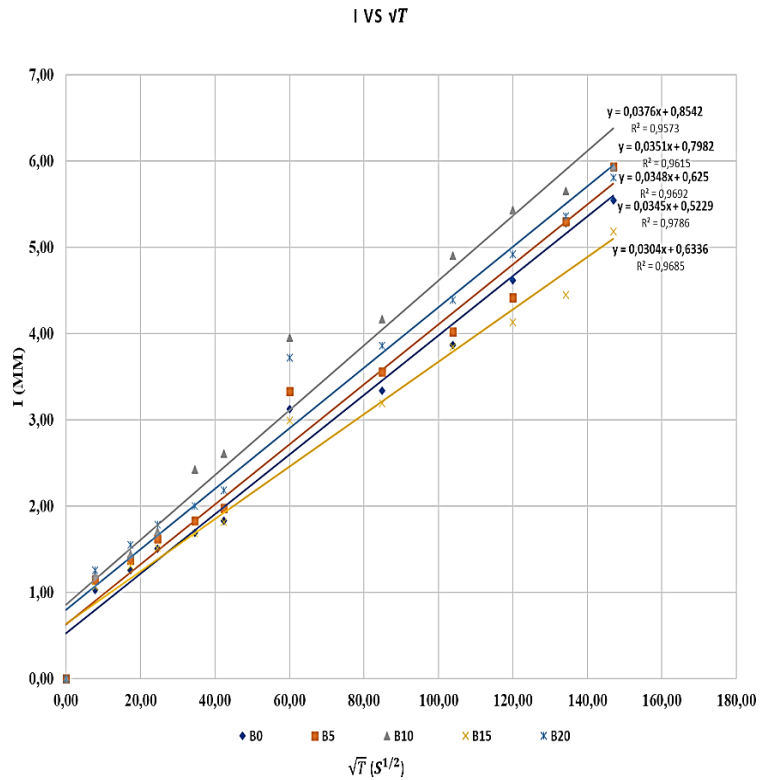


Figura 12. Curvas de ritmo de absorción inicial.

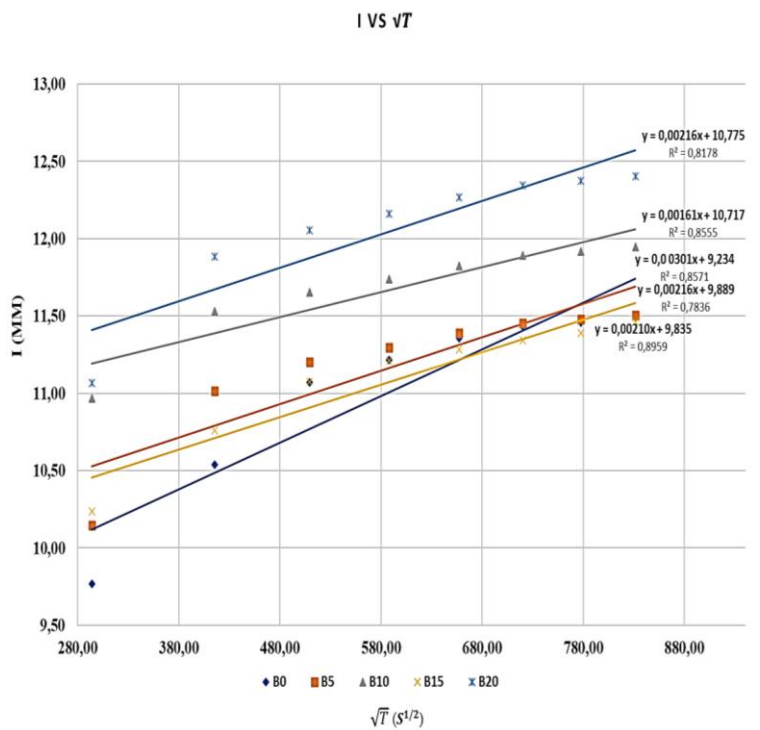


Figura 13. Curvas de ritmo de absorción secundaria.

Tabla 8. Resumen de las pendientes obtenidas del ensayo de absorción capilar a la edad de 7,14 y 28 días.

| VELOCIDAD DE ABSORCIÓN (mm/s ^{1/2}) | | | | | | |
|--|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Edad | Etapa | B0 | B5 | B10 | B15 | B20 |
| 7 días | Inicial | 5,217E-02 | 3,827E-02 | 6,400E-02 | 5,601E-02 | 5,598E-02 |
| | Secundaria | 1,007E-03 | 2,481E-03 | 9,500E-04 | 1,037E-03 | 1,011E-03 |
| 14 días | Inicial | 4,539E-02 | 3,948E-02 | 4,485E-02 | 4,979E-02 | 4,780E-02 |
| | Secundaria | 1,477E-03 | 1,480E-03 | 1,459E-03 | 1,395E-03 | 1,458E-03 |
| 28 días | Inicial | 3,452E-02 | 3,478E-02 | 3,758E-02 | 3,035E-02 | 3,508E-02 |
| | Secundaria | 3,014E-03 | 2,164E-03 | 1,614E-03 | 2,104E-03 | 2,160E-03 |

3.3.1. Velocidad de absorción de agua en las etapas inicial y secundaria.

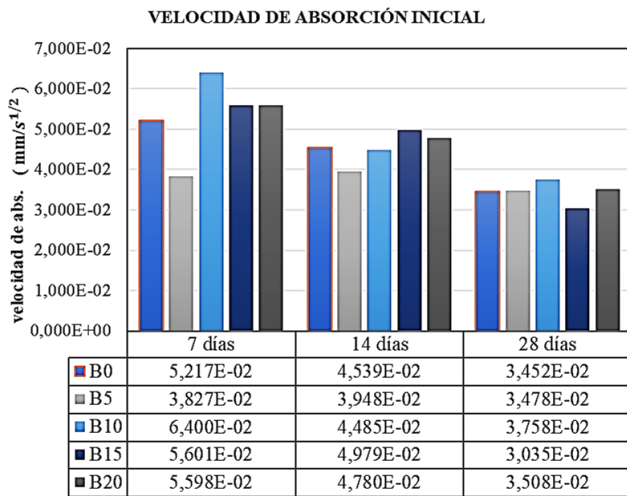


Figura 14. Etapa inicial de absorción capilar de agua de los morteros a las edades de 7,14 y 28 días.

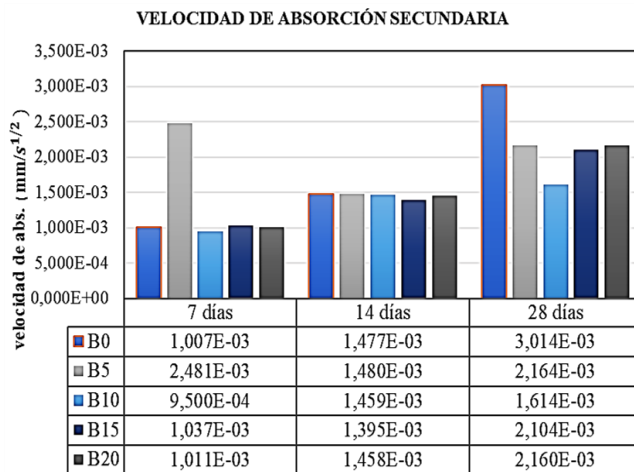


Figura 15. Etapa secundaria de absorción capilar de agua de los morteros a las edades de 7,14 y 28 días.

De acuerdo a los resultados obtenidos a una edad adecuada de curado (28 días) se presentó una menor capacidad de absorción para la dosificación de mortero B10 seguidamente del mortero B15. En referencia a la investigación [1] y [3] se coincide en el resultado obtenido para la proporción de 10% y 15% del material propuesto como remplazo parcial del cemento donde la resistencia a la absorción de agua es favorable.

3.4. Ensayo de coeficiente de permeabilidad

El coeficiente “k” de permeabilidad para las diferentes dosificaciones de mortero propuestas se describen en la tabla 9.

Tabla 9. ensayo de permeabilidad

| Coeficiente de permeabilidad (cm/s) | | | | | |
|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| EDAD | B0 | B5 | B10 | B15 | B20 |
| 7 días | 8,730E-09 | 8,389E-09 | 8,168E-09 | 8,361E-09 | 8,838E-09 |
| 14 días | 4,625E-09 | 4,197E-09 | 3,903E-09 | 4,494E-09 | 5,555E-09 |
| 28 días | 2,955E-09 | 2,585E-09 | 2,179E-09 | 2,488E-09 | 3,345E-09 |

Se presenta los resultados obtenidos del ensayo del coeficiente de permeabilidad a las edades de 7, 14 y 28 días (ver figuras 16, 17 y 18 respectivamente).

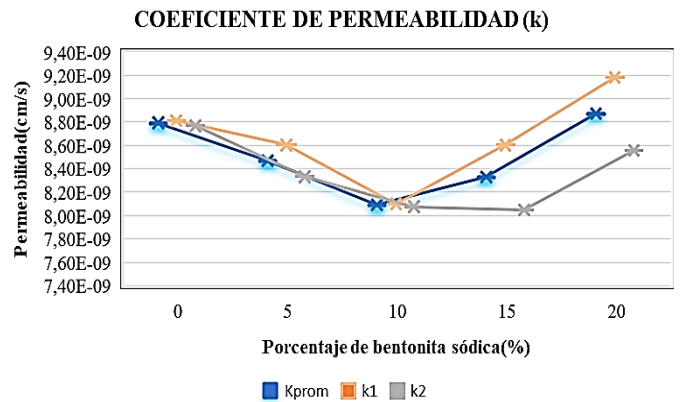


Figura 16. Coeficiente de permeabilidad de las dosificaciones propuestas a la edad de 7 días.

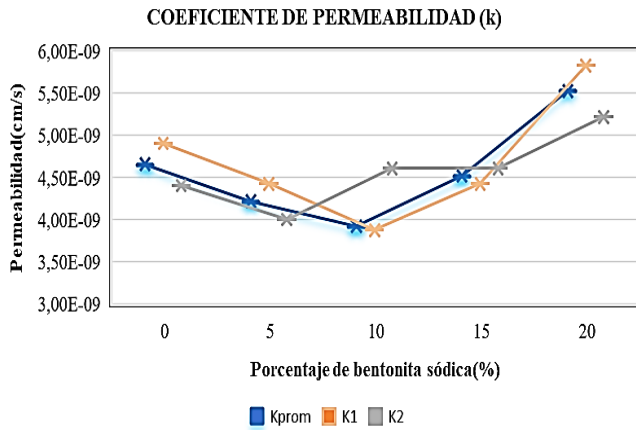


Figura 17. coeficiente de permeabilidad de las dosificaciones propuestas a la edad de 14 días.

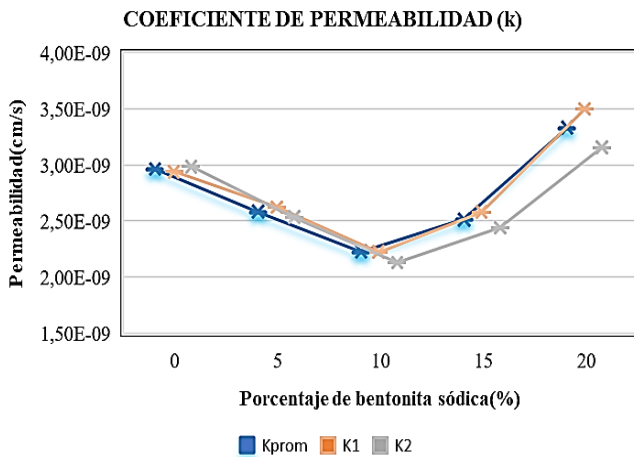


Fig. 18. coeficiente de permeabilidad de las dosificaciones propuestas a la edad de 28 días.

Se puede mencionar que las gráficas a diferentes edades de ensayo, la dosificación más adecuada resultó para el buen desempeño de la permeabilidad óptima es de 10% de la probeta modificadas con bentonita sódica en todas las edades.

4. Conclusiones

En base a los resultados presentados de los ensayos se puede concluir lo siguiente:

De acuerdo con la información obtenida de las propiedades de físicas y mecánicas del agregado fino proveniente de la cantera de Pifo, el material presenta buena resistencia y posee mínimas cantidades de

impurezas orgánicas, siendo elegible para el empleo de morteros tradicionales o hormigones.

La mezcla de mortero base tuvo una consistencia ligeramente manejable; sin embargo, al realizar las dosificaciones del material de reemplazo “bentonita sódica” propuestas (ver tabla 2) en 5%, 10%, 15% y 20%, los morteros disminuyen el flujo en un rango de porcentaje de 9 a 14 % aproximadamente debido a la absorción de agua por parte del material arcilloso.

El mortero tradicional presentó un flujo de 114,25% y en cambio la dosificación del 20% de la arcilla propuesta de 68.85% de fluidez, así de esta manera los morteros son ajustados a los rangos de flujo establecidos por la norma NTE INEN 2518 [17].

La resistencia a la compresión simple promedio del mortero tradicional(B0) fue de 17.125 MPa, superando la resistencia mínima de diseño 12.4MPa, pero manteniéndose dentro del rango para un mortero Tipo S. Por otra parte, la probeta del 20%, tuvo una resistencia promedio de 12.471MPa también enmarcándose en los rangos establecidos en la norma NTE INEN 2518 [17] para tal tipo de mortero.

El ensayo de absorción capilar denotó variación de la velocidad de absorción capilar de agua de los morteros dosificados con bentonita sódica en referencia al mortero tradicional; en la etapa inicial y luego en la etapa secundaria, donde demostró que la velocidad disminuye volviéndose más impermeable que el mortero base; sin embargo, la sustitución que evidenció mejor desempeño en la impermeabilización del mortero fue la probeta del 10% de bentonita. Por otro lado, los resultados del coeficiente de permeabilidad, tiene una similitud con el resultado de absorción y confirmando que la probeta del 10% actúa de la mejor manera en el control de la permeabilidad del mortero.

De acuerdo a la información de los resultados se puede sugerir:

Al emplear más agregado fino en los morteros, se obtendrán resistencias menores y aumentar la relación agua-material cementante se obtendrán flujos mayores.

Se debe realizar un aumento de la relación agua-material cementante (controlado) al aplicar el mortero con bentonita en obra, ya que un mayor flujo también puede representar la pérdida de resistencia del mortero.

Por otro lado, también se puede hacer uso de un aditivo plastificante, para mejorar el flujo del mortero sin alterar la resistencia del diseño, previo a un análisis químico entre la bentonita y el plastificante.

Para concluir, al sustituir el material arcilloso en los morteros con los porcentajes propuestos, en reemplazo del aglutinante, este va disminuyendo de forma gradual la resistencia a la compresión conforme se aumenta el material propuesto.

Referencias

- [1] H. M. M. Mohammed J.Kadhim, «Hydro-Mechanical Propierties of Cement Mortar Using Bentonite as Partial Cement Replacement,» 2022.
- [2] A. A. A. K. F. T. M. N. D. D. B. N. A. Sardar Farhan Mushtaq, «Effect of Bentonite as Partial Replacement of Cement on Resicual Properties of Concrete Exposed to Elevated Temperatures,» 2022.
- [3] K. J. M. Z. A.-M. S. S. M. H. E. O. M. A. E.-S. Jawad Ahmad, «Partial Substitution of Binding Material By Bentonite Clay(BC) in Concrete: A Review,» 2022.
- [4] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *Áridos para Hormigón.Requisitos.*, Quito:

STANDARD SPECIFICATION FOR CONCRTE AGGREGATES, 2011.

- [5] Grupo Oregon Chem, «Materias primas,» 2016-2022. [En línea]. Available: <https://materiasprimas.cl/producto/bentonita-sodica-1-kg/>.
- [6] Y. Maldonado, «Geologiaweb: Blog de Geología,sus ramas y aplicaciones,» 20 Noviembre 2020. [En línea]. Available: <https://geologiaweb.com/minerales/bentonita/>.
- [7] N. I. 490, Cementos hidraulicos Compuestos. Requisitos, Quito, 2011.
- [8] LAFARGE CEMENTOS S.A., *Cemento Portland Puzolánico Tipo IP.*
- [9] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *Hormigón de cemento hidráulico.Agua para mezcla.Requisitos.*, Quito, 2012.
- [10] Instituto Ecuatoriano de Normalización , *Áridos.Ánalysis Granulométrico en los áridos fino y grueso.*, Quito, 2011.
- [11] Norvativa Técnica Ecuatoriana, «Áridos para uso de morteros para mamposterías.Requisitos.,» de *NTE INEN 2 536:2010*, 2010.
- [12] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *Áridos.Determinación de las impurezas orgánicas en el árdio fino para hormigón.*, Quito, 2010.
- [13] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *Áridos.Determinación de la densidad,densidad relativa(gravedad específica) y absorción del árido fino.*, Quito, 2010.
- [14] Instituto Ecuatoriano de normalización, *Árido.*

Determinación de la masa unitaria(peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos., Quito, 2010.

- [15] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *Áridos para hormigón .Determinación del contenido total de humedad., Quito, 2011.*
- [16] NTE INEN 0156, *Cemento hidráulico. Determinación de la densidad, 2009.*
- [17] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *INEN 2518:Morteros para unidades de mampostería. Requisitos., Quito, 2010.*
- [18] 360 EN CONCRETO, *Normatividad morteros para mamposterías no estructurales.*
- [19] INSTITUTO ECUADTORIANO DE NORMALIZACIÓN, *NTE INEN 2 502:Cemento hidráulico. Determinación del flujo en morteros., 2009.*
- [20] Instituto Ecuatoriano de Normalización , *Cemento hidráulico.Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50mm de arista., Quito, 2009.*
- [21] American Society for Testing and Materials, *Método de ensayo normalizado para medir el ritmo de absorción de agua de los hormigones de cemento hidráulico, 2010..*
- [22] ASTM D2434, *Método de Prueba Estándar para permeabilidad Suelos Granulares., 2000.*
- [23] M. Wainzstein, *Permeabilidad de hormigones, p. 124.*