



**UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL**

Propuesta de concreto de baja permeabilidad con adición de polvo de ladrillo  
de arcilla para la construcción de viviendas en ambientes marinos, Cerro Azul

Cañete

**TESIS**

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

**AUTOR(ES)**

Castillo Gonzales, Mayela Danixa (0000-0003-4601-5892)

Hernández Muñaqui, Kevin Aldo (0000-0001-5621-3337)

**ASESOR**

Eyzaguirre Acosta, Carlos Augusto (0000-0001-9769-2135)

**Lima, 15 de Enero de 2020**

## *DEDICATORIA*

*Este proyecto de tesis está dedicado a cada una de las personas que nos apoyaron durante este proceso, familia, hermanos, amigos, por no dejar de creer en nosotros al guiarnos y brindarnos fuerzas, para ellos con mucho amor.*

## AGRADECIMIENTOS

A nuestra alma mater, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, por habernos apoyado en el desarrollo de nuestra carrera.

A nuestro Asesor de Tesis, el Ing. Carlos Eyzaguirre, por el constante apoyo durante la elaboración y desarrollo del proyecto.

Agradecimiento especial al Ing. Cristian Sotomayor Cruz, por habernos ayudado brindándonos sus conocimientos en el desarrollo de la presente tesis.

Al laboratorio de la institución, y las personas a cargo por su ayuda incondicional durante la ejecución de los diferentes ensayos realizados.

Al Sr. Roberto Vargas por su asesoría y ayuda en la obtención del polvo de ladrillo.

## RESUMEN

El deterioro de las estructuras de concreto debido al ataque de agentes externos, es una de las problemáticas con más énfasis en el rubro de la construcción, ya que afecta directamente las propiedades de la infraestructura, dando como resultado la reducción de vida útil.

Por otro lado, tenemos el incremento de construcciones cerca al litoral marítimo, sin embargo, surge la problemática de presencia de eflorescencia, desprendimiento, corrosión o manchas en el concreto, por el ataque de sulfatos presente en el agua de mar, en el suelo, y en la humedad. A lo largo de los años se ha propuestos productos como adiciones en la composición del cemento o productos no permeables para aplicar al concreto, con el fin de minimizar el impacto.

Para la presente investigación se estudia la efectividad del polvo de ladrillo, como reemplazo parcial del cemento, mediante los ensayos de resistencia a la compresión, trabajabilidad en estado fresco, volumen de contenido de vacíos y permeabilidad. Se realizó pruebas con cuatro diferentes proporciones de reemplazo como es 5%, 15%, 25% y 30%, para una resistencia de  $f'c$  300 kg/cm<sup>2</sup>.

De acuerdo a los resultados, se concluyó que la muestra con reemplazo parcial de polvo de ladrillo de arcilla en 25%, demuestran resultados óptimos como mayor resistencia, además de un bajo volumen de contenido de vacíos y una permeabilidad baja. Asimismo, muestra una reducción económica de fabricación por m<sup>3</sup> de 8.72%, en comparación a la muestra convencional.

Palabras clave: Polvo de ladrillo de arcilla; Sulfatos; Volumen contenido de vacíos; y Permeabilidad.

Low permeability concrete proposal with the addition of clay brick dust for the construction of houses in marine environments, Cerro Azul, Cañete

ABSTRACT

The deterioration of concrete structures due to the attack of external agents, is one of the problems with more emphasis in the construction sector, since it directly affects the properties of the infrastructure, resulting in a reduction in useful life.

On the other hand, we have the increase in constructions close to the sea coast, however, the problem of efflorescence, detachment, corrosion or stains on the concrete arises, due to the attack of sulphates present in seawater, in the soil, and in the humidity. Over the years, products such as additions in the cement composition or non-permeable products have been proposed to apply to concrete, in order to minimize the impact.

For the present investigation, the effectiveness of brick dust is studied as a partial replacement for cement, through tests of compressive strength, workability in a fresh state, void content volume and permeability. Tests were carried out with four different replacement proportions such as 5%, 15%, 25% and 30%, for a resistance of  $f'c$  300 kg / cm<sup>2</sup>.

According to the results, it was concluded that the samples with partial replacement of clay brick dust in 25% demonstrate optimal results such as greater resistance, in addition to a low volume of voids content and a low permeability. Likewise, it shows an economic reduction in manufacturing of m<sup>3</sup> of 8.72%, compared to the conventional sample.

Keywords: Clay brick dust; Sulfates; Void Content Volume; and Permeability.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>11</b>
1.1	REALIDAD PROBLEMÁTICA	11
1.2	DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	14
1.3	ANTECEDENTES	15
1.4	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	25
1.5	HIPÓTESIS	25
1.6	OBJETIVOS	26
1.6.1	Objetivo General	26
1.6.2	Objetivos Específicos	26
1.7	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	26
<b>2</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>27</b>
2.1	CONCRETO	27
2.1.1	Definición de concreto	27
2.1.2	Componentes del concreto	27
2.1.3	Propiedades del concreto	29
2.1.4	Ataques al concreto	34
2.2	DURABILIDAD	38
2.3	ADICIONES	38
2.3.1	Puzolanas	39
2.4	ÍNDICE DE ACTIVIDAD PUZOLÁNICA CON EL CEMENTO	39
2.5	LADRILLOS DE ARCILLA	40
<b>3</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>41</b>
3.1	MÉTODO DE ENSAYO ÍNDICE DE ACTIVIDAD PUZOLÁNICA EN EL CEMENTO	41
3.2	AGREGADOS	43
3.2.1	Obtención de polvo de ladrillo de arcilla	44
3.2.2	Agregado Grueso	45
3.2.3	Agregado Fino	48
3.3	DISEÑO DE MEZCLA	49
3.4	ENSAYOS DE CONCRETO EN ESTADO FRESCO	50
3.4.1	Ensayos de temperatura (ASTM C 1064 - NTP 339.184)	50

3.4.2	Ensayos de Slump -Asentamiento (ASTM C 143 -NTP 339.035).....	50
3.5	DESMOLDADO Y CURADO DE PROBETAS .....	51
3.6	ENSAYOS DE CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO .....	51
3.6.1	Ensayo de Compresión .....	51
3.6.2	Ensayo de Densidad, Absorción y Vacíos en el concreto endurecido.....	52
3.6.3	Ensayo de Permeabilidad bajo presión de agua.....	52
<b>4</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>55</b>
4.1	ÍNDICE DE ACTIVIDAD PUZOLÁNICA CON EL CEMENTO .....	55
4.2	ENSAYOS DE CALIDAD EN LOS AGREGADOS .....	57
4.2.1	Peso específico de polvo de ladrillo de arcilla .....	57
4.2.2	Granulometría de agregado grueso.....	58
4.2.3	Granulometría de agregados finos.....	58
4.2.4	Contenido de humedad agregado fino y grueso .....	59
4.2.5	Peso unitario suelto agregado grueso y fino .....	59
4.2.6	Peso unitario compactado agregado grueso y fino .....	60
4.2.7	Peso específico agregado grueso y fino.....	61
4.3	DISEÑO DE MEZCLA .....	61
4.4	ENSAYOS EN CONCRETO FRESCO .....	63
4.4.1	Ensayo de temperatura.....	63
4.4.2	Ensayo de Slump – Pérdida de asentamiento .....	63
4.5	ENSAYOS EN CONCRETO ENDURECIDO .....	66
4.5.1	Ensayos de Compresión .....	66
4.5.2	Ensayo de Contenido de vacíos en el concreto endurecido.....	69
4.5.3	Ensayo de Permeabilidad bajo presión de agua.....	69
<b>5</b>	<b>ANÁLISIS ECONÓMICO .....</b>	<b>72</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>73</b>
<b>7</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>74</b>
<b>8</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>74</b>
<b>9</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>77</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clases de Agentes Externos agresivos .....	12
Tabla 2. Tipo de Suelo, bajo el rango de resistividad, por conductividad eléctrica .....	14
Tabla 3. Proporciones del diseño de mezcla.....	17
Tabla 4. Mezclas de Mortero y sus propiedades de fluidez.....	18
Tabla 5. Especificaciones y diseño de mezcla de las muestras .....	21
Tabla 6. Efecto del ladrillo de arcilla en la permeabilidad de las muestras ensayadas .....	22
Tabla 7. Proporciones de diseño de mezclas de mortero.....	24
Tabla 8. Detalles de temperatura en el concreto.....	29
Tabla 9. Consistencia / Asentamientos en el concreto .....	30
Tabla 10. Tipos de Permeabilidad según ASTTM C 1202 .....	33
Tabla 11. Agentes químicos que perjudican al concreto .....	35
Tabla 12. Factores que aceleran el ataque de los agentes químicos y formas de mitigación .....	36
Tabla 13. Requisitos para el concreto según su clase de exposición.....	37
Tabla 14. Requisitos para condiciones especiales de exposición.....	37
Tabla 15.. Composición química del ladrillo de arcilla.....	40
Tabla 16. Proporción de mezcla para cubos de mortero del ensayo de Actividad Puzolánica .....	42
Tabla 17. Masa mínima de muestra de ensayo para Tamaño Máximo nominal .....	46
Tabla 18. Relación de permeabilidad del concreto con el coeficiente de permeabilidad y la profundidad de penetración .....	54
Tabla 19. Resultado de Ensayo de Resistencia a los cubos de mortero .....	55
Tabla 20. Índice de actividad puzolánica .....	55
Tabla 21. Propiedades físicas del polvo de ladrillo de arcilla .....	57
Tabla 22. Porcentaje de humedad agregado grueso .....	59
Tabla 23. Porcentaje de humedad de agregado fino .....	59
Tabla 24. Peso unitario suelto agregado grueso .....	59
Tabla 25. Peso unitario suelto agregado fino .....	60
Tabla 26. Peso unitario compactado agregado grueso .....	60
Tabla 27. Peso unitario compactado agregado fino.....	60
Tabla 28. Peso específico agregado grueso .....	61



Tabla 29. Peso específico agregado fino .....	61
Tabla 30. Diseño de mezcla F'c 245 kg/cm <sup>3</sup> .....	62
Tabla 31. Diseño de mezcla F'c 300 kg/cm <sup>3</sup> .....	62
Tabla 32. Resultados temperatura para las muestras M0-M4 .....	63
Tabla 33. Ensayo de Slump – Asentamiento .....	64
Tabla 34. Pérdida de Slump M0-M4 .....	64
Tabla 35. Resistencia a la compresión a las edades de 7, 14, 28 días .....	66
Tabla 36. Resultado Ensayo de la densidad, absorción de agua y vacíos en el concreto ....	69
Tabla 37. Resultado ensayo de Permeabilidad bajo presión de agua .....	69
Tabla 38. Análisis económico de precios unitarios por m <sup>3</sup> de concreto de M0-M3(25%).	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Presencia de sulfatos .....	13
Figura 2. Presencia de humedad en Cerro Azul – Cañete .....	15
Figura 3. Efecto del polvo de ladrillo de arcilla sobre la Resistencia a la compresión. ....	17
Figura 4. Índice de actividad puzolánico de muestra de control y muestras mezcladas .....	19
Figura 5. Resistencia a la compresion de las mezclas realizadas con agregados de ladrillos de arcilla, y su edad de curado.....	20
Figura 6. Resistencia a la compresion a 28 y 90 días de las muestras en tercera serie.....	21
Figura 7. Vista del equipo de permeabilidad (a) Muestras sujetas a presión de agua de 2 bares durante la prueba, (b) Muestras de los moldes de concreto.....	22
Figura 8. Imagen de los especímenes con ataque a los sulfatos .....	24
Figura 9. Resistencia de cubos con ataque de sulfatos versus volumen de adición de ladrillo de arcilla .....	25
Figura 10. Equipo para ensayo de permeabilidad bajo presión de agua.....	34
Figura 11. Mezcla con cemento y arena .....	43
Figura 12. Curado de cubos de mortero .....	43
Figura 13. Molino de Bola 14”x17” .....	44
Figura 14. Bolas de acero en el recipiente de la máquina de Molino de Bola .....	44
Figura 15. Polvo de ladrillo de arcilla 45 micras.....	45
Figura 16. Movimiento de trompo de mezcla .....	49
Figura 17. Medida de asentamiento.....	50
Figura 18. Probetas curadas, con su denominación.....	51
Figura 19. Ensayo de Densidad, absorción y vacíos en el concreto endurecido .....	52
Figura 20. Probetas cortadas con la aplicación de barniz Adaptado de Laboratorio UNI .	53
Figura 21. Equipo de permeabilidad bajo presión de agua.....	53
Figura 22. Índice de Actividad Puzolánica ASTM C 311 .....	56
Figura 23. Rotura de cubos de mortero para el ensayo de índice de Actividad Puzolánica	57
Figura 24. Curva Granulométrica en agregado grueso.....	58
Figura 25. Curva granulométrica en agregado grueso.....	59
Figura 26. Curva de Slump vs Temperatura muestra patrón M0 .....	65
Figura 27. Curva de Slump vs Temperatura, muestra óptima 25% (M3) .....	65
Figura 28. Gráfico de barras de resistencia a la compresión de los diseños M0-M4 .....	67
Figura 29. Línea de tendencia de Resistencia a la compresión de los diseños M0-M4 .....	68

Figura 30. Rotura de probetas a los 7 días de curado .....	68
Figura 31. Profundidad media, ensayo de permeabilidad bajo presión de agua de los especímenes .....	70
Figura 32. Muestras partidas diametralmente para medir la profundidad de penetración ..	70
Figura 33. Líneas de tendencia del porcentaje de volumen de vacíos y coeficientes de permeabilidad de los especímenes.....	71
Figura 34. Gráfico de barras de resistencia a la compresión a 28 días y línea de tendencia de los coeficientes de permeabilidad de los especímenes .....	72

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Realidad Problemática

En los últimos 20 años, el sector construcción viene contribuyendo como uno de los dos sectores principales en el aporte del producto bruto interno para el desarrollo de la economía del Perú. Asimismo, de ser un gran generador de empleo y tener una importante inversión en el sector privado y público. Como es la elaboración de infraestructuras de puentes, carreteras, intercambios viales, y edificios entre los principales, utilizándose como base fundamental, el concreto armado.

El concreto al ser el material más empleado para la construcción de edificaciones de vivienda, su utilización tiene como objetivo contribuir con la durabilidad de las estructuras frente a condiciones de exposición severas. Resulta recurrente en los 30 años que las estructuras construidas en ambientes marinos vienen presentando problemas de deterioración debido a deficiencias en los diseños de concretos y procesos constructivos aplicados. En cuanto al diseño de mezcla, se ha venido utilizando concretos especificados por resistencia ( $210 \text{ kg/cm}^2$ ) dejándose de lado, especificarse por relación agua cemento para un mejor control de la baja permeabilidad que se le debe conferir, a fin de evitar el ingreso de agentes externos, que originan diversos tipos de patología como el ataque de sulfatos, la corrosión del acero de refuerzo, ataques de sales, entre los primordiales.

Uno de los principales problemas que deben afrontar las edificaciones en concreto armado es la mitigación de los ataques químicos, para preservar su durabilidad, en los cuales se encuentran los ataques por sulfatos, por sales y por ácidos. Para la zona de trabajo se encuentra la presencia de sulfatos sódico, como se puede apreciar en la tabla N°1, su presencia en los suelos salinos es común y su solubilidad es muy variable. (Dorrnsoro, 2020).

Tabla 1. Clases de Agentes Externos agresivos

Clase	Presencia en los suelos salinos	Solubilidad	Toxicidad para las plantas
<b>CLORUROS</b>			
Sódico	común	alta	+++
Magnésico	común	alta	++++
Cálcico	raro	alta	++
Potásico	baja	alta	+
<b>SULFATOS</b>			
Sódico	común	muy variable	++
Magnésico	común	media	++++
Potásico	baja	alta	+
<b>CARBONATOS</b>			
Sódico	en suelos sódicos	media	+++++
<b>BICARBONATOS</b>			
Sódicos	en los suelos sódicos	media	++++

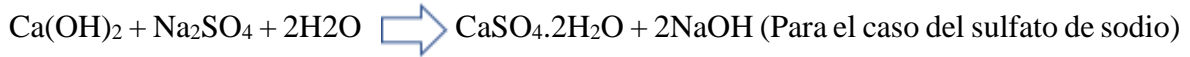
Adaptado de Contaminación por sales solubles por la página de Edafología

La presencia de los ataques de sulfato, puede llegar afectar la vida útil de la estructura de concreto en un lapso no menor a 20 años. Estos sulfatos se pueden encontrar en el suelo, en forma de sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), o de modo de anhidrita ( $\text{CaSO}_4$ ), en intervalos de 0.01% a 0.05% (Sotomayor, 2018). Sin embargo, estas manifestaciones no representan en su mayor parte una amenaza de ataque en el concreto. No obstante, el agua de mar es una fuente natural de sulfatos, que conlleva a que la estructura de concreto que este en contacto con ella, se vea perjudicada en sus propiedades, reduciendo su durabilidad en el tiempo.

El ataque de sulfatos, perjudica directamente los dos productos más sensibles en el concreto como es, los aluminatos presentes en el cemento Portland  $\text{C}_3\text{A}$  y la portlandita presente en la pasta hidratada, añadiendo a ello la presencia de sulfatos en el mar. Se produce uno de los mecanismos físicos químicos, perjudicial en la durabilidad del concreto, como es la expansión en el concreto o formación de etingrita secundaria y la disminución de las propiedades adherentes del hidrato de silicato de calcio (cal hidratada). Se suscita la formación de los mecanismos a continuación. (Sotomayor, 2018)

### Formación de la etringita secundaria:

Sustitución iónica entre la Portlandita y los sulfatos

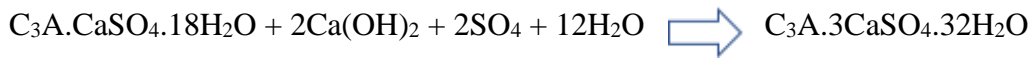


### Formación de la etringita secundaria:



A partir de los aluminatos hidratados:

(Monosulfoaluminatos)



(C<sub>4</sub>AH<sub>x</sub>)



El desarrollo de etringita, origina un estrés expansivo en el interior del concreto. Tal extensión puede conducir al crecimiento de microgrietas, disminuyendo la durabilidad de las estructuras de concreto (Song, 2016). Los daños en el concreto en mayor magnitud son los desprendimientos del concreto, fisuración y la pérdida de resistencia, está última debido a la pérdida de adherencia de la pasta con los demás componentes de la mezcla, como son los agregados. En la figura N° 1 se observa las consecuencias de la presencia de etringita en el concreto.

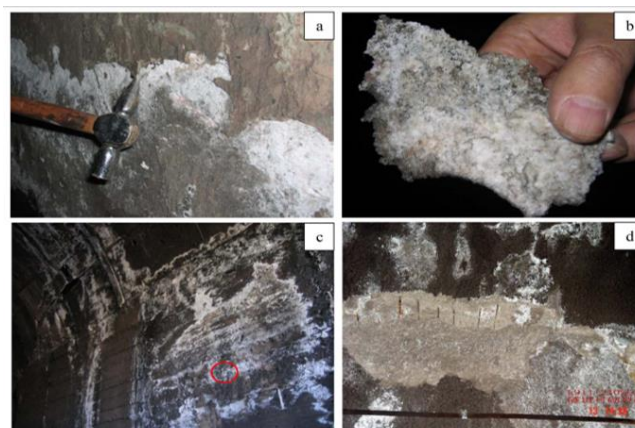


Figura 1. Presencia de sulfatos

Adaptado de An Internal Expansive Stress Model of Concrete under Sulfate Attack por Acta Mechanica Solida Sinica, 2016.

## 1.2 Delimitación del problema

En el presente estudio de investigación se abarcará las zonas aledañas al margen marítimo, del distrito de Cerro Azul-Cañete, ubicado en el kilómetro 132 de la Panamericana Sur de la provincia de Cañete (Ordoñez, 2002). Al ser un distrito en desarrollo, existe la necesidad de nuevas construcciones de viviendas residenciales, edificios multifamiliares, por lo que existe la preocupación de proponer mezclas de concreto para mitigar el ataque de sulfatos existentes en los suelos y en ambientes marinos.

Respecto al tipo de suelo existente en la provincia de Cerro Azul - Cañete, donde se observa la existencia de suelo llamado Solonchak Gleico, afectado por la salinidad, con una napa freática es muy alta, 0.60m de profundidad (Ordoñez, 2002). De acuerdo con ello existe un riesgo que las estructura sea afectada por el ataque de sulfatos.

Asimismo, mediante la tomografía eléctrica, es decir, un análisis para obtener los parámetros de resistividad al paso de la corriente eléctrica, conllevaron a dar como resultado el tipo de suelo que se encuentra en la ciudad de Cerro Azul. El estudio en mención ejecutado por el Ministerio de Ambiente del Perú, permite considerar que al tener la presencia de valores menores a 20 ohm.m en profundidad, de acuerdo a los cinco rangos expuestos en la tabla N°2, se considera que predomina los suelos con valores bajos o muy bajos resistivos y el tipo de suelo contiene presencia de agua, arcillas, con un grado de salinidad proveniente del agua de mar.

Tabla 2. Tipo de Suelo, bajo el rango de resistividad, por conductividad eléctrica

RANGOS DE RESISTIVIDAD	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (ohm.m)	TIPO DE SUELO
Muy Alto Resistivo	>1500	Materiales bajo condiciones de ausencia de agua, presencia de arcilla.
Alto Resistivo	500 - 1500	Suelos con muy baja composición de materiales orgánicos.
Resistivo o Resistividad Moderada	100 - 500	Suelos sedimentarios, arenas, arcillas y limos, con mayor contenido orgánico.

Bajo Resistivo	20 - 100	Suelos saturados de agua, suelos orgánicos, arcillosos, limosos.
Muy Bajo Resistivo	<20	Suelos con presencia de agua, material orgánico, arcillas, con grado de salinidad por parte del agua de mar.

Adaptado de *Zonificación Sísmica – Geotécnica del Área Urbana de la ciudad de Cerro Azul, 2016.*

Por otro lado, se presencia un alto nivel de humedad en la ciudad de Cerro Azul, al ser una zona ubicada cerca al litoral marítimo, es usual observar niveles elevados generalmente por las mañanas y por las noches. En la figura N°2, se contempla los altos niveles de humedad alrededor del año, aunque con mayor presencia en los primeros meses y a fines, al ser la evaporación misma del agua de mar, junto con la presencia de bajas concentraciones de sulfatos en el suelo conllevan que sea un mecanismo más para la formación de la composición expansiva denominada etringita.

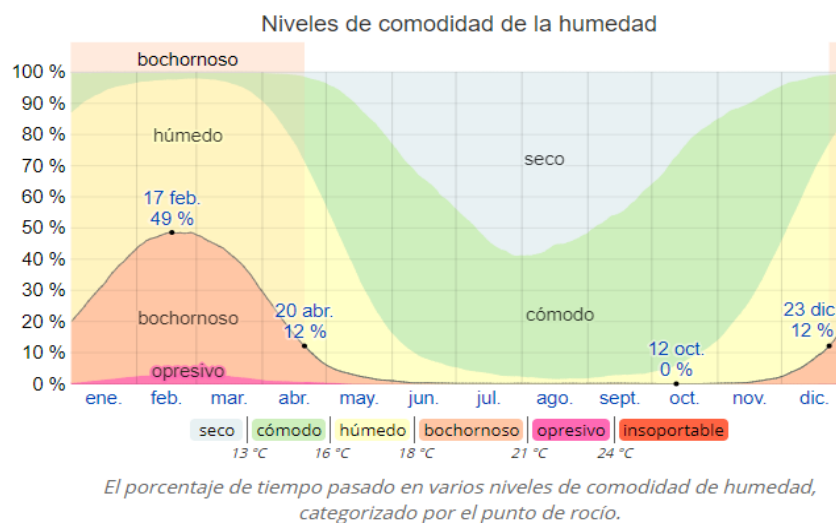


Figura 2. Presencia de humedad en Cerro Azul – Cañete  
Adaptado de Weather Spark

### 1.3 Antecedentes

Durante los últimos años, se vienen probando distintos medios para combatir el ataque de los sulfatos en el concreto. Contando desde la reducción de la relación agua cemento, de acuerdo a las especificaciones internacionales, o hasta las pruebas con adiciones puzolanas como



mitigantes en el ataque de las propiedades del concreto. Abordando este último medio como es las adiciones puzolanas, capaces de consumir el  $\text{Ca(OH)}_2$  originado por la hidratación que se da en un primer momento del cemento, asimismo, el reemplazo de las adiciones reduce la presencia del  $\text{C}_3\text{A}$ , aminorando la permeabilidad a la penetración de sulfatos en el concreto. (Sotomayor, 2018)

Ante ello, de acuerdo a estudios realizados en el panorama internacional, se contemplaron cuatro investigaciones, que se emplearán como sustento científico para la presente tesis de investigación.

Como primer estudio se tiene a la investigación titulada “Mechanical Properties of Concrete with Partial Replacement of Portland Cement by Clay Brick Powder” por Usha Rani en el 2016 (M. Usha Rani, 2016), en la cual se aporta la evaluación del polvo de ladrillo de arcilla como reemplazo parcial del cemento en el diseño de mezcla. Debido a la alta demanda, por las construcciones de edificios por parte de las inmobiliarias. Estos desechos producto de las demoliciones, en su mayoría están compuestos por restos en su mayoría de ladrillos de arcilla, concreto, acero, piedras y cerámicos. Según estudios los residuos de arcilla representan de un 50% a 70% de los residuos de construcción (Cheng, 2016). Al mismo tiempo se origina un gran impacto ambiental ya que surge un aumento de desechos que representan un 50% de la cantidad total en los botaderos (Cheng, 2016). Se hizo uso de Cemento Portland IS, el agregado fino proveniente de arena de río limpia, cuyo tamaño máximo es de 4,75mm, para la obtención del agregado grueso, se hizo efectivo el empleo de una máquina trituradora de piedra granito azul de forma angular. Se contó con una relación agua cemento de 0,425, como se muestra en la tabla N°3, además se elaboró una mezcla convencional denominada M1, y mezclas con 10%, 20% y 30% de reemplazo parcial de polvo de ladrillo de arcilla, con la nomenclatura de M2, M3, M4.

Por otro lado, para el polvo de ladrillo de arcilla, de los residuos restantes de la máquina triturada, se tamiza hasta llegar a gramos que pasan a través de 90 micras. Para el estudio se elaboró, 36 cubos de 1mm de tamaño y 36 muestras cilíndricas de 150 mm de diámetro y una altura de 300 mm, el estudio se empleó para 7, 14 y 28 días, para cada día de curado se ensayaron 3 probetas.

Tabla 3. Proporciones del diseño de mezcla

Si.No	Ingredient	kg/m3	Proportion
1	Portland Cement	450	1:1.12: 2.687 W/C = 0.425
2	Water	191.60	
3	Fine Aggregate	504	
4	Coarse Aggregate	1209	

Adaptado de *Mechanical Properties of Concrete with Partial Replacement, por International Journal of Engineering Research and Technology, 2016.*

En el siguiente artículo científico, se ejecutaron los ensayos de resistencia a la compresión, resistencia a la tracción y resistencia a la flexión, para los 7, 14 y 28 días de curado.

De acuerdo a los resultados, se observa que la resistencia a la compresión de las muestras de 10%, 20% de adición de polvo de ladrillo de arcilla, prevalecen en comparación a la muestra convencional M0, sin adiciones. Sin embargo, cuando el porcentaje de ladrillo aumentó en 30% de adición, la resistencia a la compresión decreció. Para los 7 días de curado, la muestra M2 mostró un aumento de 3.52% y M3 en 7,83%. No obstante, se apreció un decrecimiento de 4,98%, todas las muestras en comparación a la muestra M1. Para los 14 días, se observó un aumento de 4,98% y 4,46% de las muestras M2 y M3 respectivamente en comparación a la muestra M1, concreto convencional. Asimismo, hubo una disminución de 3,79% para la muestra M4. Finalmente se expuso para los 28 días, un aumento de 4,45% y 8,23% para M2 y M3 respectivamente. Decreció en 3,07% para la muestra M3 en comparación a la muestra M0. Los siguientes resultados son expresados en la figura N°3.

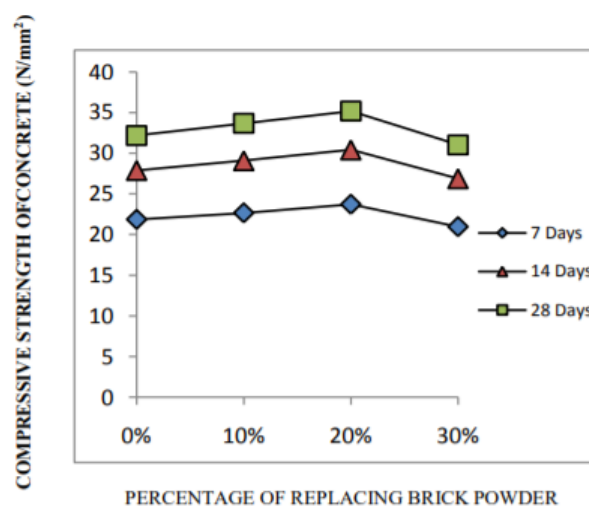


Figura 3. Efecto del polvo de ladrillo de arcilla sobre la Resistencia a la compresión.

Adaptado de *Mechanical Properties of Concrete with Partial Replacement of Portland Cement by Clay Brick Powder por International Journal of Engineering Research & Techonology, 2016*

Adjunto a ello, las conclusiones, relacionado con el efecto del polvo de ladrillo de arcilla sobre la resistencia, es debido a su comportamiento a resistencias tempranas al aumento de adición, sin embargo, se expresa una variación cuando se agrega un 30%, de acuerdo a lo expresado líneas arriba, se reduce esta resistencia. Por ello, en la presente tesis se propone variar las adiciones y agregar adiciones de 5% y 25%, con el fin de ampliar los estudios y tener mayor rango de aprobación de resultados.

Como segundo ensayo, respecto al comportamiento del cemento con el polvo de ladrillo de arcilla, según el artículo científico titulado “Pozzolanic potentials and hydration behavior of ground waste clay brick obtained from clamp-firing technology” (Bediako, 2018), muestra que la pasta mezclada con el polvo de ladrillo de arcilla, disminuye el contenido de hidróxido de calcio, debido a su comportamiento por sus propiedades puzolánicas y la mezcla del hidróxido de calcio liberado durante la hidratación del cemento. De igual manera, para los primeros días de curado, las partículas de la adición de polvo de ladrillo de arcilla originaron un efecto de relleno, es decir se generó sitios de nucleación para el crecimiento de hidróxido de calcio, adicional a ello se asocia con la formación hidratos de calcio y aluminosilicato, mejorando la resistencia y el refinamiento del tamaño de los poros en el comportamiento del concreto.

De igual modo, dentro del artículo científico se contempló la evaluación de la actividad puzolánica del polvo de ladrillo de arcilla, artículo en el cual se preparó cubos de mezcla de mortero bajo la norma ASTM C311, donde se emplea el uso del polvo de arcilla, es decir, se prepara la elaboración de cubos de mortero con dosificación de 20% de la adición y un mortero convencional, solo con contenido de cemento, arena y agua. Las dosificaciones se muestran en la tabla N°4. Asimismo, los índices de resistencia para 7 y 28 días, según norma la resistencia con la adición al 20%, deben exceder los 75% con respecto al mortero convencional sin adición.

Tabla 4. Mezclas de Mortero y sus propiedades de fluidez

CON	% Content		Flow	HRWR (%)
	Cement	PWCB		
CON	100	0	105	0
10GWCB	90	10	11	0.135
20GWCB	80	20	109.5	0.27
30GWCB	70	30	107	0.541
40GWCB	60	40	108	0.676

Adaptado de *Pozzolanic potentials and hydration behavior of ground waste clay brick obtained from clamp-firing technology por Case Studies in Construction Materials*, 2018.

Los resultados para el índice de actividad puzolánica, entre la muestra control y los morteros con adición, muestran que, para los 7 y 28 días, el mortero con 20% de adición tiene una resistencia a la compresión de 100% y 101% respectivamente, excediendo así el índice de resistencia superior al 75% con respecto de la muestra control, cumpliendo así el requisito de la norma ASTM C618, mostrado en la figura N°4.

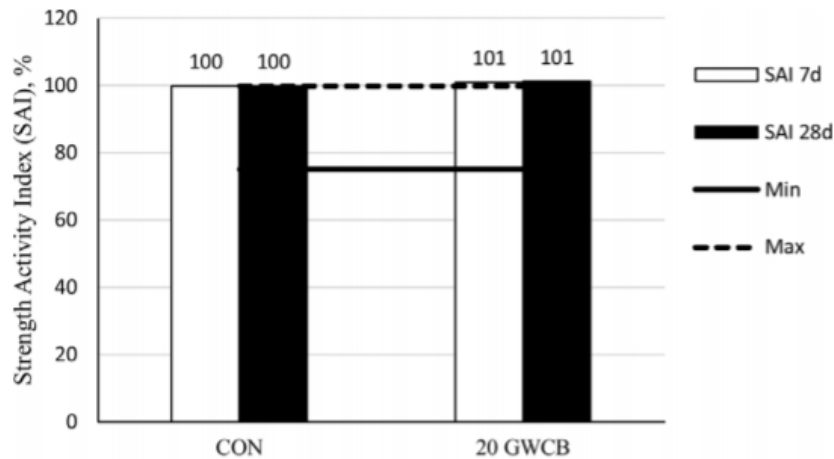


Figura 4. Índice de actividad puzolánico de muestra de control y muestras mezcladas  
Adaptado de *Pozzolanitic potentials and hydration behavior of ground waste clay brick obtained from clamp-firing technology por Case Studies in Construction Materials, 2018.*

Para el tercer estudio, los resultados mostrados en el artículo llamado “Properties and Performance of Concrete Made with Recycled Low-Quality Crushed Brick” (Bolouri Bazaz, 2012), donde se hace uso del ladrillo triturado reciclado, extraído de la demolición de edificaciones, como agregado en la preparación de la mezcla de concreto, que a pesar de la alta porosidad y absorción que presenta el ladrillo, da como resultado un concreto semipesado, duradero y de baja permeabilidad, reforzando sus características de resistencia y durabilidad.

Su proceso consta de la preparación y posterior evaluación de tres series diferentes, donde se toma de base el uso de Cemento Portland Tipo II para todas estas. Por otro lado, los agregados finos como los gruesos consisten únicamente en ladrillos de arcilla triturada, para la primera y segunda serie y en las muestras de BBN, HBB, BBF, BBS y BBFS de la tercera serie, con un módulo de finura de 3,7 según la ASTM C125 (2009) y un tamaño máximo nominal de 19 mm respectivamente. Y complementos como granito, arena natural y ladrillos calcinados quemados aplicado en la tercera serie. Sin embargo, cabe destacar que no se utilizó ningún aditivo para las muestras de la primera y segunda serie, a comparación de la

tercera serie que se agregó superplastificante en estado líquido y humo de sílice en estado sólido en las diferentes pruebas para analizar su comportamiento ya que mejora las características de asentamiento reduciendo su relación a/c y siendo más permeable respectivamente.

En la primera y segunda serie se destaca la evaluación a la resistencia a la compresión del concreto en el que se utilizaron agregados de ladrillo reciclados finos y gruesos para ambas. Para la primera serie, se mantuvo constante la relación a/c de 0,5 para diferentes contenidos de cemento que van de 150 a 350 (Kg/m<sup>3</sup>) lo cual provocó un aumento en la resistencia hasta un cierto valor de 225 kg/m<sup>3</sup>, en comparación de la segunda que se mantuvo un valor contante de cemento de 350 Kg/m<sup>3</sup> , y la relación a/c se vio afectada por su variación que va de 0.45 a 0.7, dando como resultado una relación inversamente proporcional que indica que mientras más aumente la relación a/c, disminuye la resistencia a la compresión como se indican en la figura N°5.

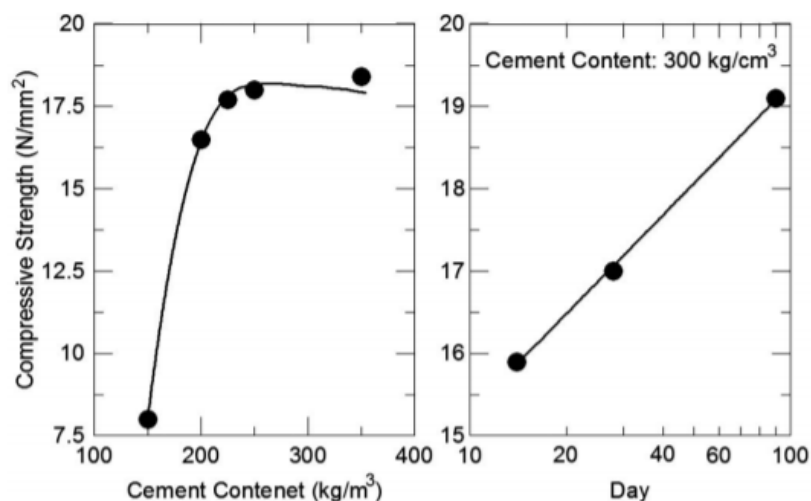


Figura 5. Resistencia a la compresion de las mezclas realizadas con agregados de ladrillos de arcilla, y su edad de curado Adaptado de "Properties and Performance of Concrete Made with Recycled Low-Quality Crushed Brick" por *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2012.

Esto por ello que la capacidad de la resistencia a la compresión aumenta al hacer uso del ladrillo triturado como agregado en la mezcla de concreto, pero teniendo en cuenta que la relación a/c tiene que estar controlada y en un rango no mayor a 0.5.

La tercera serie toma de base los resultados de las dos primeras, siendo así que se opta por tomar un valor constante de contenido de cemento de 350 Kg/m<sup>3</sup> y una relación a/c de 0.45, aunque para este último varia solo para las muestras que presenten superplastificante líquido

para su equilibrio con las demás muestras, como se presenta en la tabla. Para esta serie se destacan los ensayos de resistencia a la compresión y permeabilidad.

Tabla 5. Especificaciones y diseño de mezcla de las muestras

Código de muestra	Tipo de agregado		a/c	Agua (kg/m <sup>3</sup> )	Cemento (kg/m <sup>3</sup> )	Adición	
	Grueso	Fino				Humo de sílice (kg/m <sup>3</sup> )	Plastificante (mL/m <sup>3</sup> )
BBN	Ladrillo	Ladrillo	0.45	157.5	350	-	-
BNN	Ladrillo	Arena Natural	0.45	157.5	350	-	-
BGN	Ladrillo	Granito	0.45	157.5	350	-	-
HBB	Ladrillo calcinado quemado	Ladrillo calcinado quemado	0.45	157.5	350	-	-
	Ladrillo	Ladrillo					
GGN	Granito	Granito	0.45	157.5	350	-	-
BBF	Ladrillo	Ladrillo	0.45	157.5	322	28	-
BBS	Ladrillo	Ladrillo	0.35	122.5	350	-	5.250
BBFS	Ladrillo	Ladrillo	0.35	122.5	322	28	5.250
BNS	Ladrillo	Arena Natural	0.35	122.5	350	-	5.250
BNFS	Ladrillo	Arena Natural	0.35	122.5	322	28	5.250

Adaptado de *Properties and Performance of Concrete Made with Recycled Low-Quality Crushed Brick* por *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2012

El ensayo de la resistencia compresión, las muestras se curaron durante 28 y 90 días y posteriormente se analizaron sus comportamientos con el cual se obtuvo que en todos los casos es creciente, además que se comprueba que al disminuir la relación a/c y haciendo uso de superplastificante líquido en la muestra de igual configuración aumenta la resistencia, como es el caso del BNN-BNS, BBN-BBS y BBF-BBFS. Esto se debe principalmente al bajo peso unitario del ladrillo como fuente de agregado, lo que da como resultado un hormigón ligero con una capacidad de resistencia óptima.

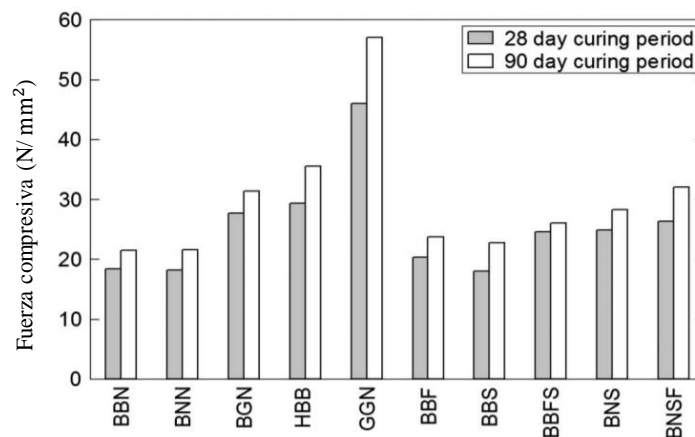


Figura 6. Resistencia a la compresión a 28 y 90 días de las muestras en tercera serie

Adaptado de *Properties and Performance of Concrete Made with Recycled Low-Quality Crushed Brick* por *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2012.

Del mismo en el artículo científico adjunto líneas arriba, el ensayo de permeabilidad, es un método para evaluar la durabilidad del concreto. Para su medición se diseñó un aparato en forma de tronco cónico que consta de moldes que van conectadas a una red de abastecimiento de agua que proporciona una presión constante a la muestra a ensayar en la figura N°7.

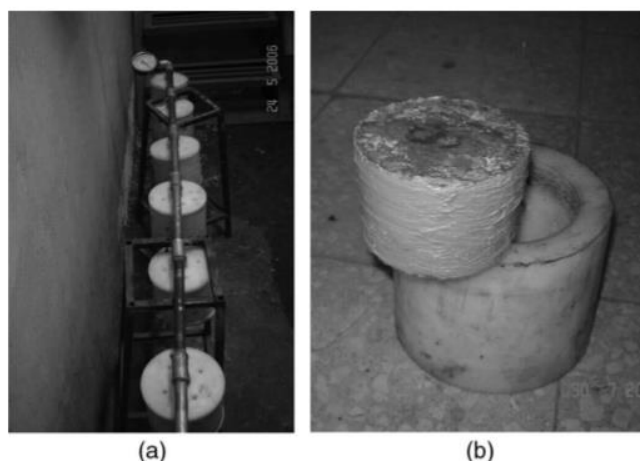


Figura 7. Vista del equipo de permeabilidad (a) Muestras sujetas a presión de agua de 2 bares durante la prueba, (b) Muestras de los moldes de concreto  
 Adaptado de "Properties and Performance of Concrete Made with Recycled Low-Quality Crushed Brick" por Journal of Materials in Civil Engineering. 2012.

En la cual, previo a su uso, la muestra se cura por 28 días y se le aplica un adhesivo impermeable al área de la superficie lateral de las muestras. Debido a la baja permeabilidad del concreto, fue necesario dejar las muestras a 2 bares de presión de agua durante al menos 50 días haciendo posible medir el peso del agua descargada. Las muestras BBF, BBS, BNS y BNS fueron seleccionadas para las pruebas de permeabilidad. La prueba se terminó cuando la velocidad de descarga de agua fue constante durante semanas sucesivas, los resultados se muestran en la tabla N°6.

Tabla 6. Efecto del ladrillo de arcilla en la permeabilidad de las muestras ensayadas

Código de muestra	Permeabilidad ( $10^{-9}$ mm/s)
BNN	3.98
BBF	21.63
BBS	0.632
BNS	6.67

Adaptado de "Properties and Performance of Concrete Made with Recycled Low-Quality Crushed Brick" por Journal of Materials in Civil Engineering. 2012.

La muestra a destacar, por presentar el menor valor de permeabilidad es el BBS, debido al uso de superplastificante líquido que disminuye la relación a/c, baja la cantidad de agua. Lo que indica que la permeabilidad del concreto está relacionada principalmente con su porosidad y de alguna manera es independiente de la permeabilidad del ladrillo y su alta absorción de agua. Esto se debe principalmente a la baja porosidad y permeabilidad de la pasta de cemento que recubre las partículas del concreto. Dando como resultado un concreto durable en relación al tiempo.

Como cuarto estudio científico, elaborado en China, con el nombre de “Reutilizing clay brick dust as paste substitution to produce environment- friendly durable mortar” (Li, 2020) evalúa la reutilización, basado en el método de la sustitución del cemento por la adición de un árido, en este caso el empleo del polvo de ladrillo de arcilla. Con el fin de contemplar el comportamiento de esta adición, se estudió su trabajabilidad con respecto y a su flujo, resistencia y durabilidad en resistencia a los sulfatos. Por ello, para los siguientes ensayos, se empleó cemento Portland, arena obtenida de un río local con una absorción de agua de 0,88%. Para la obtención del polvo de ladrillo de arcilla, se trituró los ladrillos adquiridos de la demolición de un edificio, luego de ello fueron molidos y tamizados para eliminar partículas mayores de 150mm, después se llevó al horno a 105°C aproximadamente oh para disminuir el contenido de humedad. El agua se obtuvo del grifo y se adición un aditivo químico a base de polixarboxilato. Se realizaron diseños de mezclas de concreto con una relación agua cemento de intervalos de 0,40 a 0,55, mientras que, en cuanto a las dosificaciones se dividieron en 0%, 5%, 10% y 15%, dando un total de 19 mezclas muestreadas, tal y como se establece en la tabla N°7.

Para la prueba de ataque de sulfato, se usaron seis cubos de mortero de 100mm, tres de ellos se curaron en húmedo a 26 días, luego de ello fueron secados a temperatura ambiente durante 2 días, para proceder a ser sometidos al ataque de sulfatos durante 90 días en un equipo modelo ZSLSB. Por otro lado, para los otros 3 cubos se curaron en húmedo durante 118 días, sin embargo, no se le aplicó ningún ataque de sulfato, con el fin de comparar las fuerzas con y sin adición en los morteros bajo el ataque de sulfatos.



Tabla 7. Proporciones de diseño de mezclas de mortero

Mix no.	Water (kg/m <sup>3</sup> )	Cement (kg/m <sup>3</sup> )	Clay brick dust (kg/m <sup>3</sup> )	Percentage reduction in cement content (%)	Fine Agreggate (kg/m <sup>3</sup> )
0.40-0	333	832	0	-	1032
0.40-5	305	762	132	8.3	
0.40-10	277	693	264	16.7	
0.40-15	250	624	396	25	
0.45-0	350	778	0	-	1032
0.45-5	321	713	132	8.3	
0.45-10	292	648	264	16	
0.45-15	263	583	396	25	
0.45-20	233	519	528	33.3	
0.50-0	365	731	0	-	1032
0.50-5	335	670	132	8.3	
0.50-10	304	609	264	16.7	
0.50-15	274	548	396	25	
0.50-20	244	487	528	33.3	
0.55-0	379	689	0	-	1032
0.55-5	347	631	132	8.3	
0.55-10	316	574	264	16.7	
0.55-15	284	516	396	25	
0.55-20	252	459	528	33.3	

Adaptado de "Reutilizing clay brick dust as paste substitution to produce environment- friendly durable mortar" por Journal of Cleaner Production, 2020.

De acuerdo a los resultados expresados en la figura N°8, se observa que a medida que se aumenta el volumen del polvo de ladrillo de arcilla, el color de la muestra cambia a un rojo grisáceo. La muestra sin adición presenta formación de grietas superficiales y un gran desprendimiento, mientras que por otro lado las muestras con adición de 5%, 10% y 15% de adición tiene un menor daño progresivo mostrado en la superficie. Sin embargo, para la muestra con 20% de adición de polvo de ladrillo de arcilla, no se mostró ningún daño como grietas o desprendimiento del concreto.



Figura 8. Imagen de los especimenes con ataque a los sulfatos

Adaptado de "Reutilizing clay brick dust as paste substitution to produce environment- friendly durable mortar" por Journal of Cleaner Production, 2020.

Es evidente que este reemplazo parcial del polvo de ladrillo de arcilla en la mezcla de cemento contribuye positivamente en los daños causados por el sulfato como es el agrietamiento y el desprendimiento de la estructura, causando finalmente su reducción de vida útil, y posteriormente su eliminación. Los resultados de resistencia al ataque de sulfatos, se expresan en la figura N°9, de acuerdo a la gráfica la resistencia cubica al reducir la relación agua cemento, para las mismas dosificaciones expresaron la disminución de resistencia. Mientras que para una relación agua cemento mayor tuvo mejores resultados. Dando como resultado que las dosificaciones y la relación agua cemento mantienen una conexión directamente con la resistencia a los ataques de sulfato.

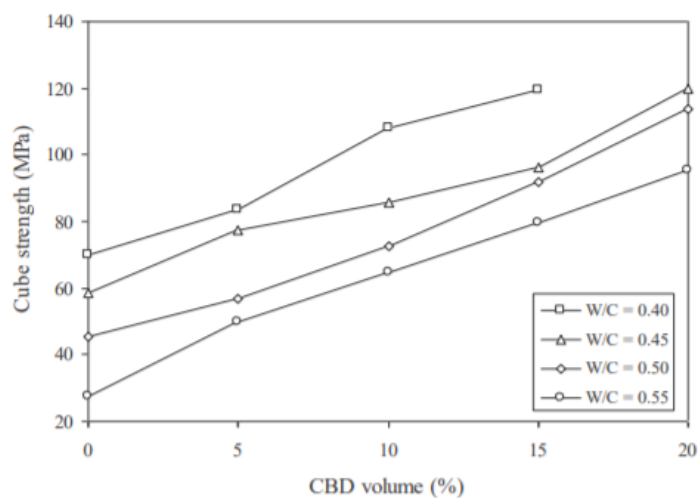


Figura 9. Resistencia de cubos con ataque de sulfatos versus volumen de adición de ladrillo de arcilla  
Adaptado de "Reutilizing clay brick dust as paste substitution to produce environment- friendly durable mortar" por Journal of Cleaner Production, 2020.

#### 1.4 Formulación del Problema

¿Cómo se podría bajar la permeabilidad del concreto, para mitigar el daño en las viviendas construidas en ambiente marino?

#### 1.5 Hipótesis

Mediante la adición de polvo de ladrillo de arcilla en el concreto, si se baja la permeabilidad en las construcciones de las viviendas en ambientes marinos en Cerro Azul – Cañete.

## 1.6 Objetivos

### 1.6.1 Objetivo General

Elaborar un concreto con el uso de adición de polvo de ladrillo de arcilla como material puzolánico artificial y reemplazante parcial del cemento, con el fin de bajar la permeabilidad en las construcciones de viviendas ubicadas en ambientes marinos, Cerro Azul – Cañete

### 1.6.2 Objetivos Específicos

- Determinar el Índice de Actividad Puzolánica a 7 y 28 días, para establecer la calidad puzolánica del polvo de ladrillo de arcilla.
- Elaborar diseños de concreto con adición de polvo de ladrillo de arcilla en reemplazos de 5%, 15%, 25% y 30% del contenido de cemento, utilizando el método de ACI y el módulo de Finura para la combinación de agregados.
- Evaluar el desempeño del concreto fresco (asentamiento, pérdida de fluidez y temperatura) y concreto endurecido (resistencia a compresión a 7, 14 y 28 días, densidad, absorción, y contenido de vacíos, permeabilidad bajo presión de agua).
- Evaluación comparativa costo – beneficio para definir la mezcla óptima con adición de polvo de ladrillo de arcilla.

## 1.7 Descripción del contenido

El presente trabajo de investigación consta de los siguientes ítems: Introducción, Marco Teórico, Metodología Aplicada, Análisis de Resultados, Conclusiones y Recomendaciones.

En el primer Ítem, se presenta la Introducción, donde se contempla la realidad problemática, delimitación del problema, los antecedentes que suscriben la solución a la formulación del problema, además se encuentran la hipótesis, objetivos generales y específicos.

Como segundo ítem, dentro del Marco Teórico se aborda, el concepto del concreto, como sus componentes para su elaboración, las propiedades a aplicar tanto en estado fresco como en estado endurecido, conceptos de resistencia, permeabilidad, adiciones y durabilidad.

En el tercer Ítem, se describe la Metodología descriptiva cuantitativa a aplicar para el presente tema de investigación, asimismo el procedimiento junto con las normas nacionales e internacionales que se aplicaran para cada ensayo a elaborar.

Para el cuarto Ítem, se aborda el Análisis de Resultados, donde se contempla la actividad puzolánica efectuada en la adición expuesta, los diseños de mezcla con los diferentes

porcentajes de adición, los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión, trabajabilidad, temperatura, contenido de volumen de vacíos y permeabilidad bajo presión de agua. Junto con ello, la discusión de resultados frente al concreto convencional, y el concreto con adición. Adicional a ello, se contempla el análisis económico de la propuesta de concreto con reemplazo parcial de polvo de ladrillo de arcilla.

Como quinto y último Ítem, se presenta las Conclusiones y Recomendaciones, respuesta a la hipótesis planteada como al objetivo general y los específicos, se enfatiza en los resultados óptimos. Por otro lado, se realizan recomendaciones para reforzar la investigación o contemplar estudios adicionales a los ya propuestos.

## 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1 Concreto

#### 2.1.1 Definición de concreto

El concreto es el material fundamental en las construcciones de infraestructuras alrededor del mundo, debido a su composición, adaptabilidad y resistencia en el tiempo. Compuesto proporcionalmente por cemento, arena, piedra, agua, y en algunos casos aditivos y adiciones, estos últimos requeridos dependiendo del concreto a usar. El cemento y el agua, relación fundamental, cuando se requiere de mayor trabajabilidad, mayor resistencia, y durabilidad en el tiempo. Con el tiempo se ha enfatizado mejorar la composición del concreto, de acuerdo a las necesidades del mercado, originando los concretos especiales, aquellos de mayor rango, creados a partir de las exigencias en el mercado del sector de construcción.

#### 2.1.2 Componentes del concreto

##### 2.1.2.1 Cemento

Material conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza, margas y arcillas, las cuales son molidas y forman un polvo gris, y junto con la reacción química al tacto con el agua origina su solidificación, por ello su denominación como cementante hidráulico. Su composición química, es un factor a notar cuando se requiere observar el comportamiento del concreto, en cuanto a su velocidad de hidratación, resistencias y su grado de exposición. Se han realizado a lo largo del tiempo diversos tipos de cemento, dependiendo de los requerimientos que se presentan, con el fin de proteger a la estructura. La combinación del cemento, junto con adiciones ha permitido mejorar en gran parte la funcionalidad, en cuanto resistencia, trabajabilidad, adaptación, durabilidad y sostenibilidad.

### 2.1.2.2 Agregados

Se denomina agregados a las combinaciones de arena, grava o roca triturada en su estado natural o procesado. Son minerales comunes encontrados en ríos, valles donde fueron depositados por las corrientes de agua. El agregado representa aproximadamente el 70% de la mezcla, sus funciones son principalmente como llenante en la mezcla y dejar un espacio entre las partículas para que esos vacíos sean llenados por la pasta de cemento. Además, estos agregados deben pasar por pruebas las cuales se encuentran en la NTP 400.010.2000.

#### 2.1.2.2.1 Agregado Fino

Agregado proveniente de la desintegración artificial o natural que pasa por el tamiz 9.5mm (3/8 pulg) y queda retenido en el tamiz 74 um (N°200), existen dos tipos de arenas, pero la que usualmente se usa para la mezcla de concreto es la arena gruesa con partículas de tamaño máximo de 5mm.

La cantidad de la muestra de ensayo, luego del secado será de 300 g mínimo. Además, no deberá ser retenido más del 45% en dos mallas consecutivas. Por otro lado, los agregados finos son reconocidos por un número llamado Modulo de finura, que generalmente es menor a medida que decrece el tamaño del agregado y se vuelve más fino. Su función dentro de la mezcla del agregado fino es originar un esqueleto rígido en donde se unifique tanto este material junto con el agua y el cemento.

#### 2.1.2.2.2 Agregado Grueso

El agregado grueso es considerado cuando es retenido en el Tamiz N°4, los cuales pueden estar conformadas por grava natural o triturada, piedra chancada o piedra partida, y a la vez puede ser natural o artificial. El tamaño y la forma del agregado grueso influye dentro del resultado de la mezcla, tenemos piedras angulares, sub angular, redondas, sub redondas y muy redondas. Por ello es recomendable usar el mayor tamaño para tener trabajabilidad y que la mezcla sea finalmente consistente.

#### 2.1.2.3 Agua

Es uno de los componentes que le brinda trabajabilidad a la mezcla, además de endurecer cuando se adhiere al cemento. El agua que se debe utilizar en el diseño de mezcla debe ser limpia y libre de cualquier sustancia que pueda ser perjudicial, si se tiene alguna duda de la procedencia del agua se sugiere realizar los ensayos correspondientes. Puede ser obtenida de fuentes naturales, superficiales o potables.

### 2.1.3 Propiedades del concreto

Las propiedades del concreto son clasificadas en estado fresco, en la cual se observa el comportamiento de la integración de los materiales, ya sea su trabajabilidad, temperatura y volumen de la mezcla. Mientras que en su estado endurecido se evalúa la capacidad del concreto cuando es sometido a fuerzas que perjudican su resistencia, su durabilidad y su calidad.

#### 2.1.3.1 Propiedades del concreto en fresco

##### 2.1.3.1.1 Temperatura

Por un lado, tenemos la temperatura de la mezcla en estado fresco, la cual debe cumplir con las especificaciones de la norma ASTM C 94, tabla N°8, la temperatura puede modificar las propiedades internas del concreto, el calor de hidratación puede ser perjudicial cuando el proceso fraguado es rápido, mientras que en el clima frío la temperatura puede modificar el volumen del concreto. La temperatura máxima del concreto es de 32 °C y mínimo de 10°C.

Tabla 8. Detalles de temperatura en el concreto

Section Size, minium dimensión, inch [mm]	Concrete temperatura as placed
Less tan 12 [300]	55°F [13°C]
12 – 36 [300-900]	50°F [10°C]
36 – 72 [900 -1800]	45°F [7°C]

Adaptada de ASTM C-94, Especificación normalizada de concreto premezclado

##### 2.1.3.1.2 Trabajabilidad

La trabajabilidad en la mezcla de concreto se define como la facilidad que tiene la mezcla para manejarse, mezclarse, y ser compactada manteniendo su homogeneidad. El resultado, depende mucho de las dosificaciones del diseño de mezcla y las propias características de los materiales, como sus condiciones, geometría y tamaños. Una mezcla puede considerarse trabajable solo si la mezcla es consistente y tiene fluidez, y sus materiales tienen un buen comportamiento. En algunos casos se presenta la segregación, se debe a la separación de los agregados con el cemento, esto se puede dar debido a la diferencia de tamaños o por un mal manejo de los materiales.

Para evaluar la trabajabilidad de la mezcla se realiza el ensayo de Cono de Abrams bajo la norma NTP 339.035, mediante este ensayo se observa la facilidad que tiene la mezcla en

estado fresco para deformarse o adecuarse a alguna forma. Los tipos de consistencias pueden ser secas, plásticas, blandas o fluidas y se pueden comprobar mediante el asentamiento, se expresa en la tabla N°9.

*Tabla 9. Consistencia / Asentamientos en el concreto*

CONSISTENCIA	ASIENTO (CM)
SECA	0 - 2
PLÁSTICA	3 - 5
BLANDA	6 - 9
FLUIDA	10 - 15

*Adaptado de Curso Básico Concreto*

### 2.1.3.2 Propiedades del concreto en estado endurecido

#### 2.1.3.2.1 Resistencia del concreto

La resistencia es la capacidad del concreto para resistir esfuerzos cuando es sometido, sin presentar fallas. Se tiene los ensayos de resistencia a la compresión, tracción y corte, y propiedades como módulo de elasticidad y la relación de Poisson. Estas pruebas son empleadas con el fin de saber los esfuerzos que soportan las infraestructuras.

##### 2.1.3.2.1.1 Resistencia a la compresión ( $F'_c$ )

Es la característica más valorada por los ingenieros, ya que, nos brinda el conocimiento del máximo esfuerzo que soporta el concreto. De acuerdo a la norma ASTM C39 o la NTP 339.034, las cuales estipula el procedimiento a realizar en las probetas de concreto, el máximo esfuerzo se da antes de producirse la falla o ruptura en el concreto.

##### 2.1.3.2.1.2 Resistencia a la Tracción

Estos ensayos muestran la importancia en el agrietamiento, debido a las limitaciones de las contracciones por secado, cambios de temperatura o cuando es sometido a grandes esfuerzos, originando la aparición de grietas. Su procedimiento se rige bajo la norma ASTM C 496, previo a ella se cura el concreto y se ensaya por edades.

##### 2.1.3.2.1.3 Resistencia a la Flexión

Resistencia que se mide bajo el módulo de rotura, sometido a esfuerzos que exceden los límites de la infraestructura, o cambios de temperatura, se mide a través de una viga simplemente apoyada, y se realiza el ensayo bajo la norma ASTM C78.

#### 2.1.3.2.2 Porosidad

La composición del concreto se basa en la adición de arena, piedra, cemento y agua dentro del diseño de mezcla. Durante el proceso de mezcla se incorpora una cierta cantidad de aire en la mezcla, el agua y el aire se juntan y toman espacio dentro del concreto, antes y después de las primeras fases del fraguado.

Mientras el concreto es trabajado empieza a cuajarse y se asientan los agregados más pesados en la base, mientras que los agregados livianos tienden a flotar. Siendo el agua el agregado más liviano, flota y se evapora o se distribuye por los lados o al fondo. El agua al ocupar todos los espacios, deja vacíos dentro de la composición de la mezcla por todas las direcciones, esto mismo pasa con el aire.

Estos vacíos se unen entre si originando la porosidad, como consecuencia estos poros crean fisuras en el concreto debilitando las estructuras. Por otro lado, la porosidad es la relación entre el volumen de poros saturables de agua en proporción al volumen total del concreto, constituido por el volumen de sólidos y poros saturables como no saturables (Bustamante, 2017). Además, la porosidad determina la cantidad de agentes agresivos que pueden penetrar en la mezcla y perjudicar las propiedades del concreto.

Para encontrar cuantitativamente la relación de poros se encuentra el ensayo de Densidad, absorción y vacíos en el concreto ASTM C 642, prueba en la cual se mide la densidad, la absorción de agua y los vacíos en el concreto endurecido. Además, de acuerdo a los datos obtenidos en esta prueba se puede desarrollar la conversión entre masa y volumen para concreto. Este ensayo se realiza previamente a la prueba de permeabilidad, ya que se debe tener un registro de los contenidos de vacíos dentro de concreto endurecido a ensayar. Se somete a secado, para luego ser sumergido en agua y ser evaluado.

#### 2.1.3.2.3 Permeabilidad

La permeabilidad es la capacidad que tiene el material de acceder que un flujo lo atraviese sin modificar su estructura interna. En el sector constructivo se considera un material permeable si deja entrar una porción apreciable de fluido en un tiempo estimado (mayor a 10-10 m/s), y se puede considerar también que es impermeable, si la porción de fluido es despreciable (menor a 10-12 m/s) (Moreno, 2015)

La penetración de materiales en el diseño de mezcla puede deteriorar la durabilidad del concreto, generalmente ocasionados por agente agresivos externos, condiciones del



ambiente, u otras condiciones de exposición. La reducción de la permeabilidad mejora la resistencia y su durabilidad con respecto a los ataques de sulfatos, sales y/o otros agentes químicos. El concreto que estará expuesto a condiciones severas o mal tiempo debe tener un coeficiente de permeabilidad media o baja.

Esta penetración depende de la permeabilidad del concreto y está determinada por la facilidad en la que el concreto puede saturarse. Por otro lado, el concreto armado cuando está expuesto a la humedad y el aire tiene como consecuencia la corrosión del acero, aumentando su volumen y/o oxidando el material originando la presencia de fisuras y agrietamientos, además de reducir la resistencia del concreto. La permeabilidad no solo está relacionada con la porosidad, sino que también depende de su morfología, la distribución y su continuidad (Bustamante, 2017). Los factores que influyen en la permeabilidad del concreto son:

- Relación agua/cemento, para una misma relación de agua/cemento afecta la permeabilidad, influenciado en la rapidez de su hidratación. Mientras que con una baja relación de agua/cemento se refleja una mezcla manejable y durable.
- Curado, la hidratación constante del cemento provoca que el tamaño de vacíos se reduzca, a mayor tiempo menor permeabilidad de la estructura. A su vez la pérdida del agua por evaporación está en función de la temperatura y la humedad relativa, la temperatura y la velocidad del viento en donde se encuentra expuesto.
- Agregados finos y gruesos, influye en la forma y tamaño del material ya que, al haber grietas dentro de su composición influye en la penetrabilidad de algún material externo y el desarrollo entre el agregado y el cemento.
- Tipo de Cemento, de acuerdo al lugar en donde estará expuesto o a que agentes, varia el tipo de cemento, la adición de escoria, micro sílice o ceniza volantes influye en la reducción de la permeabilidad del concreto.

#### 2.1.3.2.3.1 Permeabilidad rápida de cloruros (Norma ASTM C1202)

El ingreso de este líquido dentro de la probeta, determina la resistencia que presenta el concreto endurecido al paso del ion cloruro por un tiempo de 6 horas, al inducir un voltaje que divide en dos soluciones tanto positivo como negativo provocando que los iones de cloruro ingresen en el concreto. Consiste en la preparación de probetas de 100 mm de diámetro y 50mm de espesor, es colocado en una celda que contiene líquidos en ambos lados.

Para la prueba una celda es llenada con solución de 3% de NaCl y la otra con solución 0.3N NaOH, luego se aplica 60 voltios a través de la celda.

La conexión negativa en la celda con NaCl y la conexión positiva en la celda NaOH, y así los iones cloruros cargados negativamente se transfieren hacia la conexión positiva. La corriente es medida por 6 horas. Por otro lado, se determina el área bajo la curva en paralelo al tiempo, la cual representa la carga total o Coulombs que están a través del espécimen. Los tipos de permeabilidad, se basan a través de la carga total, como se muestra en la tabla N°10.

Tabla 10. Tipos de Permeabilidad según ASTM C 1202

<b>Coulombs</b>	<b>Clase de Permeabilidad</b>	<b>Típico de</b>
>4000	Alta	w/c* > 0.5
4000-2000	Moderada	w/c=0.4 a 0.5
2000-1000	Baja	w/c < 0.4
1000-100	Muy Baja	Concreto modificado con latex
<100	Insignificante	Concreto Polimérico

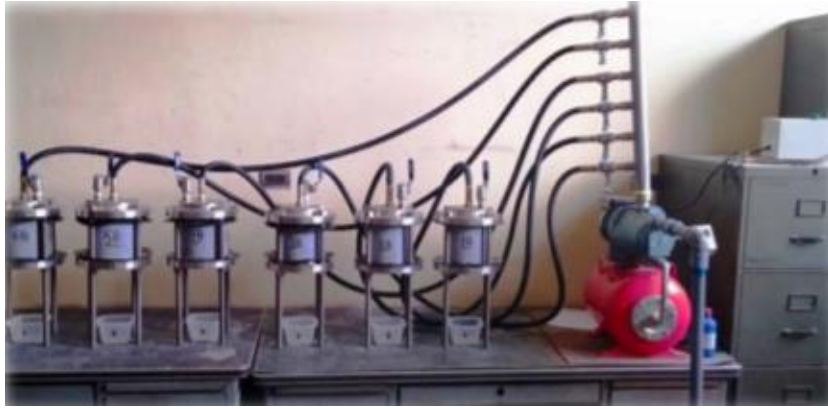
Adaptado de la Norma ASTM C 1202

#### 2.1.3.2.3.2 Método Torrent SIA 262-1

Este ensayo es para medir el recubrimiento del concreto permeable al aire de forma no destructiva. Es empleado para especificar y controlar la calidad del recubrimiento en una estructura terminada. De acuerdo a la permeabilidad del concreto el tiempo que puede tomar es de 2 a 6 minutos.

#### 2.1.3.2.3.3 Profundidad de penetración de agua bajo presión (EN 12390-8 / NTC 4483)

Esta norma mide la permeabilidad del concreto en el agua, se utilizan 6 probetas a 28 días de curado, los especímenes son colocados en la máquina, figura N°10 y la presión que se somete es constante durante 72 horas, luego de ello se establece si el agua atravesó el interior de la muestra, caso contrario si el agua no atraviesa en su totalidad la muestra se realiza un corte para medir la profundidad de penetración. Finalmente, se corta el espécimen y se observa la velocidad de flujo relacionado con el volumen, hallando el coeficiente de permeabilidad.



*Figura 10. Equipo para ensayo de permeabilidad bajo presión de agua.  
Adaptado de Laboratorio de la Universidad Nacional de Ingeniería*

## 2.1.4 Ataques al concreto

### 2.1.4.1 Ataques Físicos

#### 2.1.4.1.1 Congelación y Deshielo

El concreto húmedo es perjudicado cuando está expuesto a la congelación y deshielo. El agua dentro del concreto, tiende a congelarse, lo que conlleva a que se expande y aumente de volumen, originando microgrietas en el concreto, o el despostillamiento superficial de la estructura.

#### 2.1.4.1.2 Cambios de Temperatura

Debido a la conductividad térmica que se da en el concreto, el calor se disipa en las propiedades del concreto y así se produce con lentitud el proceso de hidratación. Por otro lado, cuando se presenta humedades con porcentajes relativamente altos se presentan dificultades en las propiedades del concreto como la eflorescencia, provocando una imagen de la edificación anti estético.

#### 2.1.4.1.3 Fuego

La resistencia al ataque de fuego depende de tres factores por los agregados, el tipo de cemento y el espesor del elemento de concreto. Cuando el concreto está sometido a la presencia de fuego, su estructura empieza a separarse y descascararse y así se produce la formación de grietas perdiendo resistencia o en el peor de los casos, ocurra un derrumbe de la edificación.

#### 2.1.4.1.4 Abrasión

Es la capacidad de una superficie, de resistir el desgaste por la fricción de dos o más cuerpos, ejemplo de ello es el desgaste sobre los pisos de concreto que ocurre a menudo por el tránsito

de las personas. También se encuentra el desgaste en las superficies de las carreteras o pavimentos debido al transporte de movi­lidades y el desgaste en construcciones subacuáticas, ocasionado por el movimiento del agua.

#### 2.1.4.2 Ataque Químico

Se busca que el concreto se comporte satisfactoriamente bajo a exposiciones de agente químicos ya sea directa o indirectamente. Pero en algunos casos estos entornos pueden perjudicar su durabilidad y resistencia, para ello se busca tomar nuevas medidas para evitar estas situaciones. Hay diferentes tipos de ataques químicos que se dan en el concreto como se muestra en la siguiente tabla N° 11.

Tabla 11. Agentes químicos que perjudican al concreto

Velocidad del ataque a temperatura ambiente	Ácidos inorgánicos	Ácidos orgánicos	Soluciones alcalinas	Soluciones salinas	Otros
Rápida	Clorhídrico Nítrico Sulfúrico	Acético Fórmico Láctico	-	Cloruro de aluminio	-
Moderada	Fosfórico	Tánico	Hidróxido de sodio* >20%	Nitrato de amonio Sulfato de amonio Sulfato de sodio Sulfato de magnesio Sulfato de calcio	Bromo (gaseoso) Licor de sulfato
Lenta	Carbónico	-	Hidróxido de sodio* 10 a 20%	Cloruro de amonio Cloruro de magnesio Cianuro de sodio	Cloro (gaseoso) Agua de mar Agua blanda
Despreciable	-	Oxálico Tartárico	Hidróxido de sodio* <10% Hipoclorito de sodio Hidróxido de amonio	Cloruro de calcio Cloruro de sodio Nitrato de cine Cromato de sodio	Amoniaco (líquido)

Adaptado ACI 201.2R -01

Por otro lado, los agentes químicos, perjudican directamente, cuando la estructura está expuesta a factores que aceleran su proceso de deterioro. La elevada porosidad, contenidos de vacíos, fisuras, microgrietas, lixiviación y penetración de líquidos, son algunas de las causas que conllevan a la modificación de las propiedades internas del concreto. En la tabla N° 12, se plasma los principales factores y su mitigación según la norma ASTM ACI 201.2R-01.

Tabla 12. Factores que aceleran el ataque de los agentes químicos y formas de mitigación

Factores que aceleran o agravan el ataque	Factores que mitigan o demoran el ataque
1. Elevada porosidad debida a: i. Elevada absorción de agua ii. Permeabilidad iii. Vacíos	1. Hórmigon denso obtenido mediante i. Correcta dosificación de la mezcla ii. Contenido unitario de agua reducido iii. Mayor contenido de material cementicio iv. Incorporación de aire v. Compactación adecuada vi. Curado efectivo
2. Fisuras y separaciones debidas a: i. Concentración de tensiones ii. Choque térmico	2. Tensiones de tracción reducidas en el hórmigon atribuibles a: i. Uso de armadura de tracción de tamaño adecuado y correctamente ubicado ii. Inclusión de puzolana (para reducir el aumento de temperatura) iii. Colocación de materiales adecuados en las juntas de contracción
3. Lixiviación y penetración de líquidos debido a : i. Flujo de líquidos ii. Formación de charcos iii. Presión hidráulica	3. Diseño estructural i. Minimizar las áreas de contacto y turbulencia ii. Proveer membranas y sistemas con barreras protectoras para reducir la penetración.

Adaptado ACI 201.2R -01

#### 2.1.4.2.1 Ataque por sulfatos

Los sulfatos son sustancias que pueden llegar a deteriorar las estructuras de concreto. Originalmente provienen de forma natural, biológica o industrial. Uno de las principales fuentes es el agua de mar, y en algunos casos en el suelo, pero con menor concentración. La reacción que se produce entre los iones de sulfato del agua cuando está en contacto con el concreto, produce la deposición de sulfatos en los poros del concreto como consecuencia de la evaporación. El crecimiento de estos cristales conlleva a la expansión en el concreto causando fisuras y comprometiendo la estructura.

Además, de acuerdo a la exposición en la que nos encontramos, para la propuesta de investigación y con los estudios realizados dentro de la zona a desarrollar, se determina que la severidad es moderada (S1). Por ende, de acuerdo a los requisitos del concreto según su exposición la relación agua cemento será de 0.50, el cemento que se empleará son IP, MS o IS ACI (318-S, 2014) y a partir de estos parámetros se desarrolla el diseño de mezcla que se utilizará posteriormente. Mayor detalle en la tabla N°13.

Tabla 13. Requisitos para el concreto según su clase de exposición

			Tipos de material cementante			Aditivo cloruro de calcio
			ASTM C150	ASTM C595	ASTM C1557	
S0	N/A	17	Sin restricciones en el tipo	Sin restricciones en el tipo	Sin restricciones en el tipo	Sin restricción
S1	0,50	28	II	Tipos I, IS o IT con designación (MS)	MS	Sin restricción
S2	0,45	31	V	Tipos I, IS o IT con designación (HS)	HS	No se permite
S3	0,45	31	V más puzolanas o cemento de escoria	Tipos I, IS o IT con designación (HS) más puzolana o escoria	HS más puzolana o escoria	No se permite

Adaptado de ACI 318.S-14

#### 2.1.4.2.2 Ataques por Sales

Generalmente este ataque físico se da por el contacto del concreto con superficies que contienen sales que son perjudiciales para el concreto. Una vez en contacto con los iones de sodio se transportan alrededor del concreto, perjudicando el lado en contacto. Los daños ocasionados conllevan a que el concreto se desintegre y pierda resistencia. También conlleva a que perjudique las estructuras alrededor del concreto como el acero, originando la corrosión y desprendimiento del concreto, debilitando la estructura.

Por otro lado, el concreto que se realiza se pretende que tenga baja permeabilidad por ende según la norma peruana E.060 concreto armado, la relación mínima de agua/cemento es de 0.50 y su  $f'c$  mínimo en MPa es de 28, detallado en la tabla N° 14.

Tabla 14. Requisitos para condiciones especiales de exposición

Condición de la exposición	Relación máxima de agua-material cementante (en peso) para concretos de peso normal	$f'c$ mínimo (MPa) para concretos de peso normal o con agregados ligeros
Concreto que se pretende tenga baja permeabilidad en exposición al agua	0.50	28

Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo en condición húmeda o a productos químicos descongelantes	0.45	31
Para proteger de la corrosión el refuerzo de acero cuando el concreto está expuesto a cloruros provenientes de productos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o a salpicaduras del mismo origen	0.40	35

*Adaptado de Norma E.060 Concreto Armado*

## 2.2 Durabilidad

Se define como la capacidad del concreto para resistir la acción del medio ambiente, ataques químicos, abrasión y otras condiciones a la que estaría expuesto el concreto, y que de esta forma conserve sus propiedades iniciales y perdure en el tiempo.

La durabilidad del concreto es tan importante como la resistencia, depende de las condiciones de los materiales y su manejabilidad, pero también de las condiciones a las que está expuesta la estructura de concreto. Las condiciones medioambientales son un factor que perjudica generalmente al concreto y se da por ataque físico y químico.

## 2.3 Adiciones

Materiales inorgánicos puzolánicos finamente divididos, los cuales pueden ser añadidos al hormigón con el fin de mejorar las propiedades del concreto en su estado fresco y endurecido. Permite que en el diseño de mezcla sea modificado y así se tenga un concreto deseado. En su estado fresco, las adiciones mejoran la consistencia y su trabajabilidad, por otro lado, en cuanto a su resistencia de acuerdo a las dosificaciones se puede realizar un diseño de mezcla para producir una resistencia y velocidad requerida. En cuanto a su durabilidad pueden ser usados para reducir el calor relacionado con la hidratación del cemento, además de mitigar el ataque de sulfatos o agentes externos como agua o sales, y así evitar la corrosión del acero de refuerzo y de la estructura en general. Reducir la

permeabilidad del concreto, o minimizar la aparición de eflorescencia, ubicada en la cal hidratada.

Dentro de las adiciones más utilizadas se encuentra las escorias, las puzolanas naturales y artificiales, donde se encuentra las cenizas volantes y micro sílice, estas adiciones debido a su gran fineza son utilizadas para la preparación de concretos no permeables y resistentes.

### 2.3.1 Puzolanas

#### 2.3.1.1 Definición

Material silíceo y aluminoso que tiene poco valor o ningún valor cementicio, sin embargo, cuando esta finamente dividido y junto con la presencia de humedad reacciona químicamente con el hidróxido de calcio, a temperaturas comunes para desarrollar compuestos que poseen propiedades cementicios. Se divide en dos grupos, puzolanas naturales y artificiales.

- Puzolanas Naturales: Son denominados de esa manera ya que pueden tener dos diferentes orígenes, uno puramente natural y otro por ser orgánico. Estas puzolanas naturales de origen mineral son el resultado de la transformación del polvo y cenizas volcánicas.
- Puzolanas Artificiales: Son denominadas así por tener un tratamiento térmico adecuado. Se encuentran dos grupos, uno formado por materiales naturales silicatados de origen arcilloso, que reciben la condición puzolánica por someterse a procesos térmicos, y por otro lado el conformado por subproductos de determinadas operaciones industriales.

### 2.4 Índice de Actividad Puzolánica con el Cemento

Dentro de una de las propiedades físicas de los materiales, se encuentra la evaluación y caracterización de la actividad puzolánica de la adición que se utilizará. Para esta evaluación, existen diferentes métodos, ya sea bajo ensayos de compresión, ensayos de penetración de cloruros, conductividad eléctrica o carbonatación. Unos de los ensayos para evaluar si el material es puzolánico es el Método de Índice de Actividad Puzolánica ASTM C 311, esta prueba consta de la preparación de cubos de mortero de 5x5cm, en los cuales la proporción de mezcla es de 80/20, es decir 80% de cemento y 20% de la adición a utilizar. Con el fin de determinar la puzolanidad del material, se debe cumplir bajo la normativa, que a los 28 días de curado la resistencia con la adición debe ser igual o superior a 75% de la resistencia del



cubo que contienen solo cemento y que tiene la misma edad de curado. Además, conjuntamente con la resistencia, también se observa el comportamiento que posee el cemento junto con la adición, si se unifican los dos materiales se puede trabajar posteriormente dentro de la mezcla.

## 2.5 Ladrillos de arcilla

Considerado una piedra artificial, ya que se origina por un proceso de cocción de arcillas y otros componentes naturales, dependiendo del lugar en donde se encuentra. Estas unidades pueden ser sólidas, huecas o tubulares las cuales pueden ser fabricadas de manera artesanal o industrial. Uno de los más empleados en la construcción son los ladrillos de arcilla, un agregado mineral terroso que contiene dentro de su composición dióxido de sílice, óxido de aluminio, de sodio entre otros como se observa en la siguiente tabla. Además, al observar su composición se puede considerar que es un material puzolánico, por ello dentro de la propuesta y de acuerdo a los ensayos a probar, se busca demostrar que este material puede ayudar a reducir la permeabilidad en el concreto.

Tabla 15.. Composición química del ladrillo de arcilla

Nombre del compuesto	Fórmula química	% en peso
Dióxido de sílice	SiO <sub>2</sub>	73
Óxido de aluminio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16
Óxido de hierro	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9
Óxido de Sodio	Na <sub>2</sub> O	0
Óxido de Calcio	CaO	1
Trióxido de azufre	SO <sub>3</sub>	1
Suma		100
Pérdida al fuego		2.8
Contenido de humedad		1.3

Adaptado de *International Journal of Engineering Research & Technology*

### 3 METODOLOGÍA

De acuerdo a las investigaciones para comprobar la hipótesis, se enfocará en una metodología descriptiva- cuantitativa, es decir, comenzamos con la definición de hipótesis y objetivos previamente expuestos, luego de ello delimitamos los procedimientos que se realizarán con el fin de demostrar la eficiencia del polvo de ladrillo de arcilla en la composición del concreto, para reducir la permeabilidad y mitigar los ataques de sulfatos.

Para ello comenzaremos por observar y analizar el comportamiento del polvo de ladrillo de arcilla conjuntamente con el cemento, mediante la prueba de índice de actividad puzolánica, luego de ello se evalúa las propiedades físicas del polvo, piedra y arena que se emplearán dentro del diseño de mezcla. Junto con los resultados obtenidos, se realiza el diseño de mezcla con las dosificaciones de 5%, 15%, 25% y 30%, además de un concreto patrón, sin ninguna adición.

Se realizan las propiedades del concreto en estado fresco (temperatura, trabajabilidad y asentamiento) y en estado endurecido (resistencia, contenido de volumen de vacíos y permeabilidad bajo presión de agua).

Con la observación y el registro de datos obtenidos cuantitativamente se realiza el análisis de resultados sobre los diferentes comportamientos mostrados, realizando comparaciones de las dosificaciones empleadas y el concreto patrón.

En relación con el proceso de la elaboración y análisis del concreto propuesto, se hizo uso de materiales como el cemento Portland tipo HS, agregado grueso y fino, compuesto por piedra chancada y arena gruesa respectivamente, polvo de ladrillo de arcilla, superplastificante y agua.

#### 3.1 Método de Ensayo Índice de actividad puzolánica en el cemento

Se realiza esta prueba con el fin de determinar la calidad de las adiciones minerales, y el efecto de reemplazar parcialmente el cemento con un porcentaje de adición, como es en este caso el polvo de ladrillo de arcilla, asimismo, evidenciar su comportamiento junto con el cemento. Este método se realiza bajo la norma ASTM C311. Dentro del diseño de mezcla se debe considerar una proporción de 80% de cemento y 20% de la adición, en este caso el polvo de ladrillo de arcilla. Para el cálculo de índice de actividad puzolánica se emplea la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de Actividad Puzolánica} = A \times 100/B$$

Donde:

A: Promedio de Resistencia a la compresión de cubos de mortero con reemplazo de puzolana (MPa)

B: Promedio de resistencia a compresión de cubos de mortero con cemento puro (MPa)

*Ecuación 1. Cálculo de Índice de actividad puzolánica.*

Se realizaron dos pruebas, es decir, cubos de mortero de 5cm x5 cm, M0 contiene solo cemento, agua y arena, mientras que M1 contiene la adición de polvo, arena, cemento y agua.

Tabla N°16.

*Tabla 16. Proporción de mezcla para cubos de mortero del ensayo de Actividad Puzolánica*

PRUEBA	Cemento (g)	Ladrillo (g)	Arena (g)	Agua (ml)
M0	225	-	450	112.5
M1(20%)	168.75	56.25	450	112.5

*Adaptación propia*

Para este proceso se pesa los materiales, incorporamos los materiales dentro de la mezcladora de mortero, siguiendo la secuencia de primero uniformizar la arena con el cemento y finalmente el agua. Una vez hecha la mezcla se coloca dentro de los moldes de mortero en dos capas, y con la ayuda de un rectángulo de goma se procede a compactar cuatro veces cada lado. Finalmente se limpia y se deja reposar por 24hr.

Luego de 24hr los cubos de mortero son desmoldados y curados a la edad de 7 y 28 días. Después del curado se procede a realizar ensayos de compresión. Para que cumpla la actividad puzolánica se debe cumplir que la resistencia obtenida debe ser igual o mayor que 75% del cubo de mortero que contiene solo el cemento.



Figura 11. Mezcla con cemento y arena  
*Adaptación propia*



Figura 12. Curado de cubos de mortero  
*Adaptación propia*

### 3.2 Agregados

Se realiza el análisis granulométrico para el agregado grueso y fino, compuesto por piedra chancada y arena gruesa respectivamente (NTP 400.012 - ASTM C.136), en donde se utilizó diferentes tamices para obtener los resultados y que se encuentre dentro de los parámetros establecidos en norma. Por otro lado, se realizó los ensayos de peso unitario suelto y compactado medido con la norma (NTP 400-017- ASTM C-29), en la cual se pesó el material y se compacto por medio del relleno del recipiente por capas y varillados para tener un relleno uniforme y nuevamente ser pesado y analizar los resultados. Luego se procedió a realizar el peso específico y la capacidad de absorción tanto del agregado fino mediante la norma (NTP 400-021- ASTM C-127) y para el agregado fino con la norma (NTP 400-022- ASTM C-128), los dos procedimientos se desarrollaron de manera distintas y con herramientas diferentes, cumpliendo con lo dictado en la norma respecto de los pesos y tiempos establecidos. Por último, se realizó el porcentaje de contenido de humedad mediante la norma (NTP 339.185- ASTM D2216), en la cual se pesó y se secó mediante el uso de una estufa los materiales para obtener finalmente el porcentaje.

### 3.2.1 Obtención de polvo de ladrillo de arcilla

Para obtener el polvo de ladrillo, que será usado posteriormente dentro de las mezclas, se empleó la maquina Molino de Bolas 14"x17", capacidad de 15kg.



*Figura 13. Molino de Bola 14"x17"  
Adaptación propia, Fábrica de Metasil*



*Figura 14. Bolas de acero en el recipiente de la máquina de  
Molino de Bola  
Adaptación propia, Fábrica de Metasil*

Primero se tritura en la máquina de chancadora de quijadas, la cual permite reducir el ladrillo a una granulometría de 100% malla 10. Posteriormente es llevada al molino de bolas para reducir su tamaño a 74 micras por medio del movimiento de las bolas de acero dentro del recipiente, figura N°14. El tiempo de la molienda promedio es de tres horas, aproximadamente para llegar al tamaño deseado.

En la figura N°15, se muestra el polvo de ladrillo de arcilla, del mismo tamaño del cemento, en micras.



*Figura 15. Polvo de ladrillo de arcilla 45 micras  
Adaptación propia*

Al tener el polvo de ladrillo, se debe tener en cuenta su porcentaje de absorción ya que, al ser un material arcilloso demanda mayor cantidad de agua la cual se debe considerar dentro del diseño de mezcla. Para ello se realiza el ensayo de peso específico aplicada a la arena gruesa, respetando la normativa de la (NTP 400.022- ASTM C-128). Se efectúa comenzando por cumplir con las 3S, saturado superficialmente seco, para comprobar ello se deja la muestra 24h antes, y se procede a usar el molde cónico, se echa la muestra de ladrillo, luego se varilla con 25 golpes, después se procede a levantar el cono, si la muestra se derrumba quiere decir que cumple con las 3S y no tiene humedad en su interior. Inmediatamente se coloca en el picnómetro previamente tarado, se le añade por medio de un embudo los 100 gramos de polvo de ladrillo, y agua. Se realiza algunos movimientos para eliminar el aire atrapado. Se espera aproximadamente una hora hasta que la muestra asiente y luego de ello se procede a secar y finalmente a pesa y obtener los resultados.

### 3.2.2 Agregado Grueso

#### 3.2.2.1 Análisis granulométrico en agregados gruesos

Se realizó el ensayo de análisis granulométrico para agregado grueso (NTP 400.12 – ASTM C.136), en el cual se determina si el agregado grueso que se utilizara cumple con las especificaciones, para luego ser usado en el diseño de mezcla. Para ello se procede a pesar la muestra, se utiliza un tamaño nominal de  $\frac{3}{4}$ , guiándonos de la tabla N°17, se establece que la masa de la muestra es de 3000 gramos.

Tabla 17. Masa mínima de muestra de ensayo para Tamaño Máximo nominal

Tamaño máximo nominal mm (pulg.)	Masa mínima de muestra de ensayo kg (lb)
12,5 (1/2)	2 (4,4)
19,0 (3/4)	3 (6,6)
25,0 (1)	4 (8,8)
37,5 (1 1/2)	5 (11)
50 (2)	8 (18)
63 (2 1/2)	12 (26)
75 (3)	18 (40)
90 (3 1/2)	25 (55)
100 (4)	40 (88)
125 (5)	75 (165)

Adaptado de NTP 400.012

Luego será llevado a la estufa y/o horno para luego ser tamizado por 1.5 a 2 min, con lo retenido en cada tamiz se procede a pesar cada restante. Para saber si la muestra ensayada está dentro de los parámetros, primero se calcula los porcentajes retenidos en cada tamiz con la siguiente formula.

$$MF = \frac{\sum \% \text{Retenido Acumulado (1", 1/2", 1 \frac{1}{2}" , \frac{3}{4}" , N^{\circ}4)}{100}$$

Ecuación 2. Cálculo de Módulo de Fineza agregado grueso

Con los datos obtenidos en los ensayos, se grafica la curva y se comprueba si está dentro de los requisitos granulométricos del agregado grueso, según la norma NTP 400.037.

### 3.2.2.2 Contenido de humedad en agregado grueso

Se realizó el ensayo de contenido de humedad (NTP 339.185- ASTM D2216), en este ensayo la muestra es secada previamente, cuando este lo suficientemente seca y enfriado se coloca en la balanza para determinar su peso, y con lo calculado se colocará en la siguiente ecuación

$$\%H = \frac{\text{Peso muestra húmeda} - \text{Peso muestra seca}}{\text{Peso muestra seca}} \cdot 100\%$$

Ecuación 3. Cálculo de porcentaje de humedad

### 3.2.2.3 Peso Unitario suelto para agregado gruesos y finos

Se realizó el ensayo peso unitario suelto y compactado para agregado grueso y fino (NTP 400.17 – ASTM C.29). Este ensayo se realiza para determinar el peso unitario del agregado

grueso, previamente la muestra es secada, con ello se llena en el recipiente hasta el reboce, para no tener segregación de los materiales nivelar la superficie con los dedos o pala, luego de ello la muestra es pesada junto con el recipiente. Los datos obtenidos son llenados en la siguiente ecuación.

$$PU = \frac{\text{Peso(muestra + recipiente)} - \text{Peso(recipiente)}}{\text{Volumen interno del recipiente}}$$

*Ecuación 4. Cálculo de peso unitario suelto*

#### 3.2.2.4 Peso Unitario compactado para gruesos y finos

Se realizó el ensayo peso unitario suelto y compactado para agregado grueso y fino (NTP 400.17 – ASTM C.29). Este ensayo se realiza para determinar el peso del agregado fino y grueso pero sometido a compactación, surge el acomodamiento de las partículas y durante su desarrollo se busca tener uniformidad en la muestra. Para ello en el procedimiento, se usa el agregado grueso seco, que luego será pesado y agregado en el recipiente, en tres capas y compactado con la varilla con 25 golpes distribuidos uniformemente y 15 golpes con el martillo de goma, finalmente se llena hasta rebosar y lo restante se elimina usando la barra compactadora como regla. Para calcular el peso unitario compactado se utiliza la siguiente ecuación.

$$PU = \frac{\text{Peso(muestra + recipiente)} - \text{Peso(recipiente)}}{\text{Volumen interno del recipiente}}$$

*Ecuación 5. Cálculo de Peso Unitario Compactado*

#### 3.2.2.5 Peso específico para agregado grueso

Se realizó el ensayo de peso específico para agregado grueso cumpliendo con las especificaciones de la (NTP 400.021- ASTM C-127), para ello la muestra elegida depende del tamaño nominal del agregado, para el ensayo se utilizará de ¾”, es decir según la Tabla 19, una muestra de masa de 3kg. La muestra será saturada por 24h, luego de ello será limpiado con un paño para eliminar las partículas visibles de agua, y con ello se pesa, luego de la determinación del peso al aire. Posteriormente la muestra es colocada en la rejilla, se mide el peso cuando está sumergido y cuando se encuentra al aire. Finalmente es secado y pesado nuevamente. Para obtener el peso compactado se utiliza las siguientes ecuaciones.

$$PE \text{ (peso específico de masa)} = \frac{A}{B - C}$$



$$PESS(\text{peso específico de masa superficialmente seco}) = \frac{B}{B - C}$$

$$PEA(\text{peso específico aparente}) = \frac{A}{A - C}$$

A: masa de la muestra seca al horno

B= masa de la muestra de ensayo de superficie saturada seca en aire

C= masa aparente de la muestra de ensayo

*Ecuación 6. Cálculo peso específico*

### 3.2.3 Agregado Fino

#### 3.2.3.1 Análisis granulométrico de agregados finos

Se realizó el ensayo de análisis granulométrico tanto para agregado grueso y fino (NTP 400.12 – ASTM C.136), al igual que el agregado grueso, para el agregado fino se realiza el mismo procedimiento de secar la muestra y tamizarlo.

Para saber si la muestra ensayada está dentro de los parámetros, se calcula los porcentajes retenidos en cada tamiz con la siguiente formula.

$$MF = \frac{\sum \% \text{Retenido Acumulado} (1 \frac{1}{2}, 3/4", 3/8", N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100}$$

*Ecuación 7. Cálculo de módulo de fineza de agregado fino.*

Con los datos obtenidos en los ensayos, se grafica la curva y se comprueba si está dentro de los límites especificados según la norma NTP 400.037.

#### 3.2.3.2 Peso específico agregado fino

Se realizó el ensayo de peso específico para agregado fino cumpliendo con las especificaciones de la (NTP 400.022- ASTM C-128), para ello primero se comprueba que la muestra cumpla con las 3S (Saturado superficialmente seco), si la muestra no cumple con lo estimado y se observa que aun contiene humedad, se deja la mezcla a temperatura media para luego proceder a usarla. Sin embargo, si la mezcla cumple entonces se procede a secar la mezcla en la estufa y con ello ser usada dentro de la fiola que será pesada previamente, luego de ello se rellena con agua y se espera a tener una mezcla uniforme y sin contenido de vacíos. Finalmente, esta muestra será pesada y secada para obtener los valores.

### 3.3 Diseño de Mezcla

Una vez realizado los ensayos de calidad a los agregados, se procede a realizar la mezcla para la elaboración del concreto teniendo en cuenta las diferentes proporciones de reemplazo de 0%, 5%, 15%, 25% y 30% de polvo de ladrillo de arcilla. Para el diseño de mezcla se realizó bajo la metodología propuesta por el ACI 211.

Para las propuestas de diseño de mezcla se estableció 5 pruebas en las cuales se usó agua, cemento Ultra HS, polvo de ladrillo de arcilla, aditivo superplastificante, piedra y arena.

Se comienza por juntar y echar todos los insumos de la mezcla en baldes para luego ser pesados en la balanza y tenerlo listo para comenzar el proceso de verterlo en el trompo.

Una vez realizado el proceso, se prosigue a lavar con una manguera, el trompo para eliminar restos que hayan quedado de mezclas anteriores. Se procede a encender el trompo y comenzar a vaciar primero la mitad del agua, luego todo el agregado grueso, posteriormente el fino, una vez mezclado y moviendo constantemente el trompo para tener una consistencia pareja se procede a echar el cemento y la proporción correspondiente del polvo de ladrillo de arcilla. Después cuando la mezcla este unánime se procede a colocar el aditivo superplastificante para una mayor trabajabilidad de la mezcla. Finalmente, con la ayuda de una jarra se vacía lo restante del agua alrededor del trompo para evitar que la mezcla se pegue en los lados interiores. El tiempo estimado en la cual la mezcla debe estar girando dentro del trompo es cinco minutos desde el prendido, figura N°16.



*Figura 16. Movimiento de trompo de mezcla  
Adaptación propia*

### 3.4 Ensayos de concreto en estado fresco

#### 3.4.1 Ensayos de temperatura (ASTM C 1064 - NTP 339.184)

Una vez terminado la mezcla, se echa toda la mezcla dentro del buggy, para medir mediante el termómetro la temperatura de la mezcla y así determinar si la mezcla cumple con los parámetros, no menor a 10°C ni mayor a 32 °C.

#### 3.4.2 Ensayos de Slump -Asentamiento (ASTM C 143 -NTP 339.035)

Una vez tomada la temperatura del concreto, se procede a realizar el Ensayo de Slump, la cual consiste en el uso de Cono de Abrams. Primero colocamos la parte inferior en el suelo y el cono sobre la superficie y con ayuda de los pies se pisa el cono y se vierte en tres capas con 25 varilladas cada una el concreto. Luego de ello se limpia los alrededores de la superficie y se procede a levantar los pies y levantar el cono, de esa manera se observa el asentamiento, Colocamos el cono boca arriba y con la ayuda de la varilla y la cintra métrica se procede a medir el asentamiento, figura N°17.



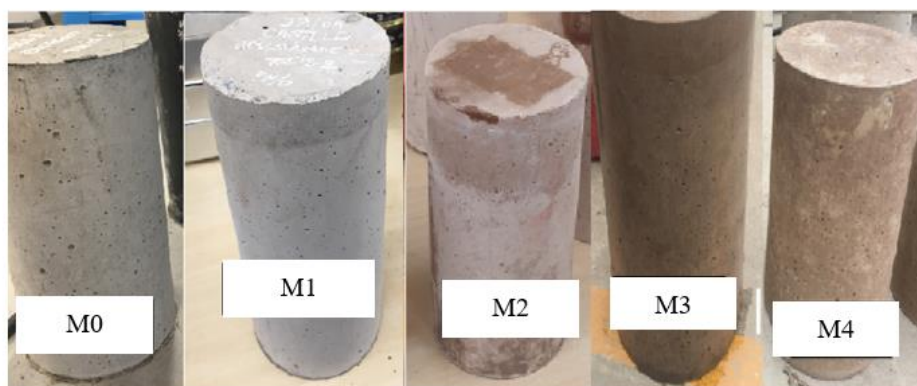
*Figura 17. Medida de asentamiento  
Adaptación propia*

A la par de este proceso, y con la mezcla realizada con las proporciones dadas se vierten en las probetas cilíndricas normalizadas (ASTM C-31/ NTP.339.033) que constan de dimensiones de 6" x 12" de diámetros interiores y altura, además se hace uso de una varilla compactadora de 60 cm de longitud, conformado por acero liso de 5/8" de diámetro de punta de bala y un martillo de goma. Su proceso consta de llenar el molde en tres capas y con

ayuda del acero liso, se compacta a razón de 25 varilladas en forma de espiral teniendo en cuenta que debe de penetrar 1'' por cada capa, luego con ayuda del martillo de goma se procede a golpear la probeta de 10 a 15 golpes en el exterior en tres partes diferentes con el fin de cerrar los vacíos que pueda presentar la muestra. Seguidamente, estas pasan a ser curadas sumergiéndolas en agua, a los 7,14 y 28 de su curado.

### 3.5 Desmoldado y curado de probetas

Para los ensayos respectivos en concreto endurecido, las muestras son secadas a temperatura ambiente, luego de 24h con la ayuda de pistón de aire, se procede a desmoldar las probetas figura N°18. Una vez obtenidas las probetas, se identifica y se procede a colocarlos dentro del pozo que cumpla con los estándares de la Norma ASTM C511. Una vez realizado este proceso se espera los días respectivos de ensayo, 7,14 y 28 días dependiendo el tiempo del tipo de ensayo.



*Figura 18. Probetas curadas, con su denominación  
Adaptación propia*

### 3.6 Ensayos de concreto en estado endurecido

#### 3.6.1 Ensayo de Compresión

Para los ensayos de compresión, nos basamos en la Norma NTP 339.034, en la cual las probetas deben permanecer sumergidas hasta seis horas antes de su respectiva prueba, luego son secadas y se procede a realizar el ensayo. Las muestras a ensayar se colocan dentro de la Prensa Digital Motorizada, máquina que permite transmitir energía por medio de un sistema hidráulico. Se realiza ensayos dentro de 7, 14 y 28 días de cada diseño propuesto.

### 3.6.2 Ensayo de Densidad, Absorción y Vacíos en el concreto endurecido

Para el siguiente ensayo se realizan probetas cilíndricas de 15cm x 30cm, y su volumen aproximadamente debe ser de 350 cm<sup>3</sup> o 800 g y cada una debe ser correctamente compactada y varillada para evitar generar fisuras o extremos dañados según la normativa de ASTM C642. La muestra es secada por 24h a temperatura ambiente, luego es puesta en el horno y se procede a registrar la masa seca (1), después se sumerge la muestra en agua a 21°C por 48h. Posteriormente, se seca la superficie y se determina la masa por un periodo de 24h. Con ello se determina la masa saturada después de ser sumergida (2). Luego la muestra es colocada en un recipiente y es llenado con agua y con ello se procede a calentar para después ser enfriado a temperatura ambiente, a posteriori se registra la masa saturada después de ebullición (3). Finalmente se sumerge en agua y se determina la masa aproximadamente (4). Todos los datos registrados son llevados a la siguiente ecuación.

$$\text{Volumen de Vacios} = \frac{(2) - (1)}{(2) - (4)} \times 100$$

*Ecuación 8. Cálculo de volumen de vacíos*



*Figura 19. Ensayo de Densidad, absorción y vacíos en el concreto endurecido  
Adaptado de Laboratorio UNI*

### 3.6.3 Ensayo de Permeabilidad bajo presión de agua

De acuerdo al ensayo se comienza por realizar las pruebas en probetas de 30x15 cm después de 28 días de curado, primero se desgasta las caras de la muestra y se traza una circunferencia

de 75mm de diámetro con la ayuda de una base de neopreno centrada en la base de la muestra, y así evitar la toma de datos errónea. Luego la muestra es secada a una temperatura de 80°C dentro de la estufa, luego se procede a impermeabilizar la superficie lateral de cada una de las muestras a ensayar, mediante una pintura impermeabilizante, figura N°20.

Después se colocan las muestras en el equipo y se aplicara una fuerza de 0.5 MPa, y esta se deja por 4 días hasta que se den las siguientes opciones: primera opción cuando el agua atraviesa la muestra y se mida el flujo de agua o la opción dos, cuando el agua no atraviesa la probeta y esta tiene que ser cortada para ver la profundidad de penetración, figura N°21.



Figura 20. Probetas cortadas con la aplicación de barniz  
Adaptado de Laboratorio UNI



Figura 21. Equipo de permeabilidad bajo presión de agua  
Adaptado de Laboratorio UNI

Si se presenta la primera opción, es decir el agua se observa en el lado opuesto de la presión, se determina el volumen de agua que atraviesa la probeta, para ello se puede usar la siguiente ecuación para calcular el coeficiente de permeabilidad.

$$K = \frac{\rho g L Q}{P A}$$

Donde:

K: Coeficiente de permeabilidad (m/s)

- ρ: Densidad de agua (kg/m<sup>3</sup>)
- g: Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)
- L: Longitud del espécimen
- Q: Caudal de agua (m<sup>3</sup>/s)
- P: Presión de agua (N/m<sup>2</sup>)
- A: Área transversal del espécimen (m<sup>2</sup>)

*Ecuación 9. Cálculo de coeficiente de permeabilidad cuando se observa penetración de agua.*

Por el contrario, si se presenta la opción dos, es decir luego de los 4 días no se observa un flujo constante se parte la probeta perpendicularmente al lado donde se aplicó la presión del agua, se procede a usar la Norma ASTM C 498, tracción indirecta para hallar la profundidad de penetración, además se utiliza la siguiente formula.

$$K = \frac{D^2v}{2Th}$$

Donde:

- K: Coeficiente de permeabilidad (m/s)
- D: Profundidad de Penetración (m)
- v: Porosidad, determinada ASTM C642
- T: Tiempo de penetración la profundidad D (s)
- h: Carga de presión de agua (m)

*Ecuación 10. Cálculo de coeficiente de permeabilidad cuando no hay agua en la superficie de la muestra*

Finalmente, con los datos obtenidos, se realiza el análisis en relación de la permeabilidad del concreto con el coeficiente de permeabilidad y la profundidad de penetración, adjuntos en la tabla N°18.

*Tabla 18. Relación de permeabilidad del concreto con el coeficiente de permeabilidad y la profundidad de penetración*

Determinación	Unidades	Permeabilidad		
		Baja	Media	Alta
Coeficiente de permeabilidad al agua	m/s	< 10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-12</sup> a 10 <sup>-10</sup>	> 10 <sup>-10</sup>
Profundidad de penetración	mm	< 30	30 a 60	> 60

*Adaptación de UNE-EN 196-5*

#### 4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo a lo realizado en el laboratorio, se expone los resultados de los ensayos respecto de las propiedades físicas de los agregados, ensayo en estado fresco y endurecido en el concreto.

##### 4.1 Índice de actividad puzolánica con el cemento

Se presenta, en la tabla N°19 los resultados respectivos de resistencia a la compresión (MPa) efectuados a los cubos de mortero, seguido de ello en la tabla N°20, se plasma el porcentaje del índice de actividad puzolánica del cemento junto con la adición, y en la figura N°22.

Tabla 19. Resultado de Ensayo de Resistencia a los cubos de mortero

PRUEBA	DÍAS	DIÁMETRO (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA AXIAL (Kg)	ESFUERZO DE COMPRESIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO DE COMPRESIÓN (MPa)
M0	7	5	25	5070	202.8	19.888
	28			10128	405.12	39.729
M1 (20%)	7			3946	157.84	15.479
	28			17327	693.08	67.968

Adaptación propia

Tabla 20. Índice de actividad puzolánica

TIEMPO DE CURADO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa)		ÍNDICE DE ACTIVIDAD PUZOLÁNICA (%)
	MPLA-0	MPLA-20	
7	19.888	39.729	77.83
28	15.479	67.968	171.08

Adaptación propia



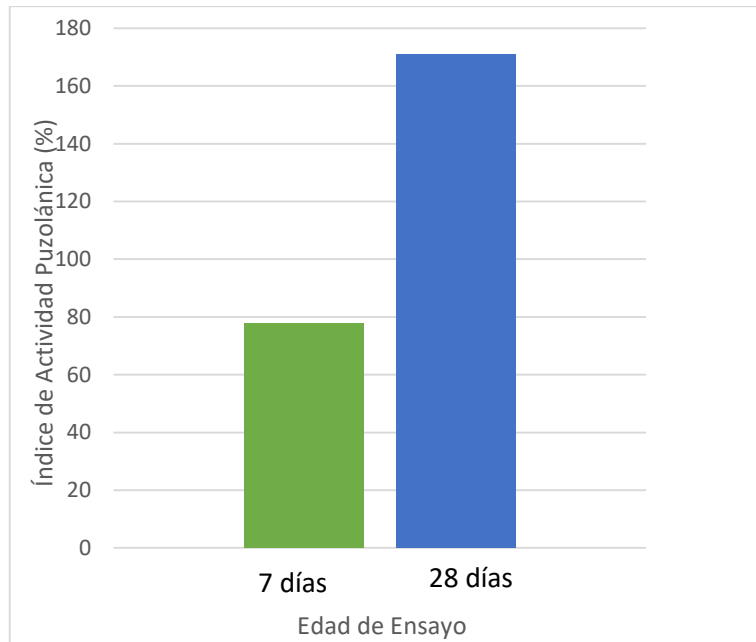


Figura 22. Índice de Actividad Puzolánica ASTM C 311  
Adaptación propia

En la tabla N°20, luego de hallar el promedio de los cubos de mortero, tanto de los cubos de mortero de cemento, como de los cubos con el reemplazo del polvo de ladrillo de arcilla, se muestra el efecto de este último en la resistencia a la compresión, para 7 y 28 días de curado. Se aprecia que la resistencia a la compresión crece con la edad de ensayo, alcanzando el valor de 67 MPa a los 28 días para la muestra MPLA-20, que representa un 41.5% más contra el 39.73 MPa de la muestra del concreto patrón. De acuerdo a los resultados para 7 y 28 días su índice excede los 75%, concluyendo que la adición de ladrillo de arcilla es un elemento puzolánico. Asimismo, se tiene en cuenta la conducta del cemento con la adición de polvo de ladrillo para ser usado posteriormente en la mezcla por tener un comportamiento uniforme.



Figura 23. Rotura de cubos de mortero para el ensayo de índice de Actividad Puzolánica  
Adaptación propia

## 4.2 Ensayos de Calidad en los agregados

### 4.2.1 Peso específico de polvo de ladrillo de arcilla

En la siguiente tabla N°21, se muestra las propiedades físicas del polvo de ladrillo de arcilla, a considerar posteriormente para el cálculo del diseño de mezcla.

Tabla 21. Propiedades físicas del polvo de ladrillo de arcilla

PESO ESPECÍFICO DEL LADRILLO		
PESO RECIPIENTE	148.400	gr
PESO RECIPIENTE +MUESTRA SECA	562.000	gr
PESO MUESTRA SECA	413.600	gr
VOLUMEN DEL FRASCO	500.000	cm <sup>3</sup>
PESO DEL AGUA	243.200	gr
<b>PESO ESPECIFICO SECO</b>	<b>1610.592</b>	<b>kg/cm<sup>3</sup></b>
<b>%ABSORCION</b>	<b>20.89</b>	

Adaptación propia

Para los resultados obtenidos, se analiza que el polvo de ladrillo de arcilla tiene una considerable absorción, lo cual demanda una cantidad de agua adicional respecto al diseño de mezcla. Como bien se sabe al adicionarle mayor cantidad de agua dentro de la mezcla, se crea segregación, mayor contenido de vacíos, como consecuencia hay una notable reducción en la resistencia, por ello se busca tener un control que no afecte las propiedades del concreto, se efectúa el uso de superplastificante, para darle mayor trabajabilidad a la mezcla.

#### 4.2.2 Granulometría de agregado grueso

De acuerdo al ensayo de granulometría realizado en el agregado grueso, se demuestra que la piedra está dentro de los parámetros, que se puede observar en la Fig.24. Con ello este agregado se puede utilizar para el diseño de mezcla, para la propuesta se utilizará piedra de tamiz  $\frac{3}{4}$ ".

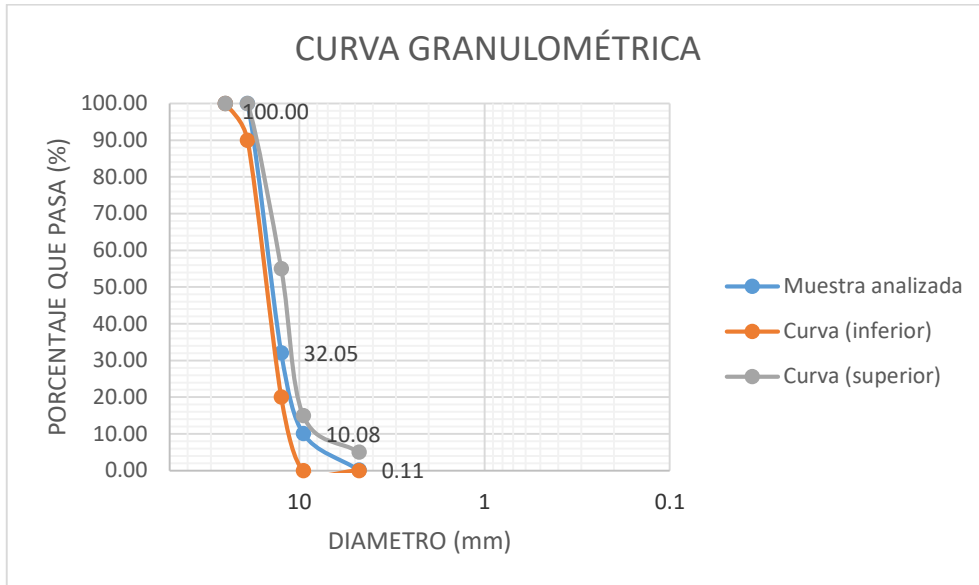


Figura 24. Curva Granulométrica en agregado grueso  
Adaptación propia

#### 4.2.3 Granulometría de agregados finos

Se realizó la granulometría en la arena gruesa dando como resultado que cumple dentro de los parámetros, y así este agregado pueda ser utilizado dentro de diseño de mezcla.

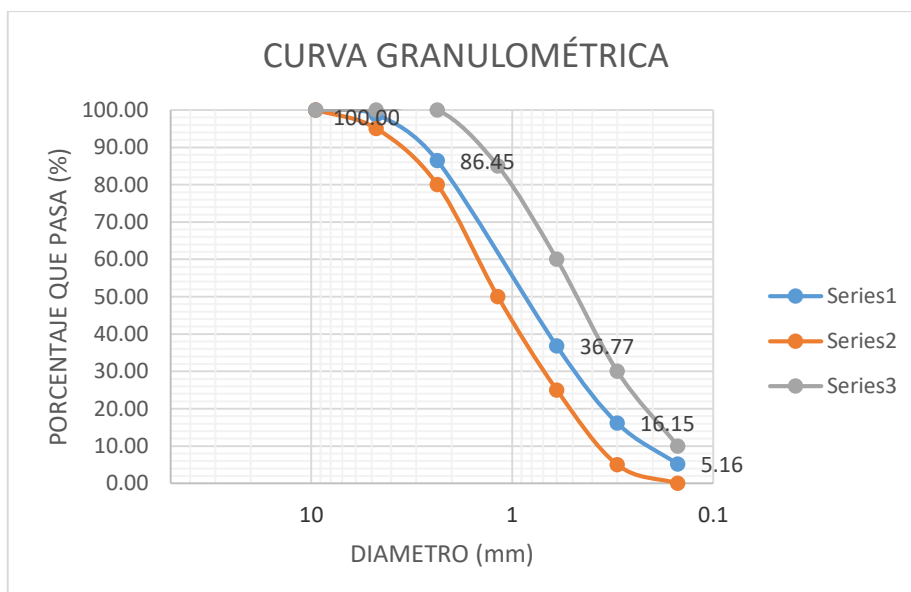


Figura 25. Curva granulométrica en agregado grueso  
Adaptación propia

#### 4.2.4 Contenido de humedad agregado fino y grueso

Tabla 22. Porcentaje de humedad agregado grueso

<b>ENSAYO DE HUMEDAD NTP 339.185 AGREGADO GRUESO</b>		
PESO RECIPIENTE	676.400	gr
PESO RECIPIENTE + MATERIAL HUM	3252.000	gr
PESO MATERIAL HUMEDO	2575.600	gr
PESO RECIPIENTE + MATERIAL SECO	3243.500	gr
PESO MATERIAL SECO	2567.100	gr
PESO AGUA	8.500	gr
<b>% HUMEDAD</b>	<b>0.331</b>	

Adaptación propia

Tabla 23. Porcentaje de humedad de agregado fino

<b>ENSAYO DE HUMEDAD NTP 339.185 AGREGADO FINO</b>		
PESO RECIPIENTE	148.300	gr
PESO RECIPIENTE + MATERIAL HUM	651.400	gr
PESO MATERIAL HUMEDO	503.100	gr
PESO RECIPIENTE + MATERIAL SECO	644.900	gr
PESO MATERIAL SECO	496.600	gr
PESO AGUA	6.500	gr
<b>% HUMEDAD</b>	<b>1.309</b>	

Adaptación propia

#### 4.2.5 Peso unitario suelto agregado grueso y fino

Tabla 24. Peso unitario suelto agregado grueso

<b>PESO UNITARIO SUELTO NTP 400.017 AGREGADO GRUESO</b>		
PESO RECIPIENTE	5.790	kg
PESO MUESTRA 1 + RECIPIENTE	25.241	kg
PESO MUESTRA 2 + RECIPIENTE	25.140	kg
PESO MUESTRA 3 + RECIPIENTE	25.152	kg
PESO MUESTRA PROMEDIO	25.178	kg
VOLUMEN DEL RECIPIENTE	13975.800	cm <sup>3</sup>
<b>PU SUELTO</b>	<b>1801.519</b>	<b>kg/cm<sup>3</sup></b>

Adaptación propia

Tabla 25. Peso unitario suelto agregado fino

<b>PESO UNITARIO SUELTO NTP 400.017 AGREGADO FINO</b>		
PESO RECIPIENTE	1.610	kg
PESO MUESTRA 1 + RECIPIENTE	5.976	kg
PESO MUESTRA 2 + RECIPIENTE	5.817	kg
PESO MUESTRA 3 + RECIPIENTE	5.961	kg
PESO MUESTRA PROMEDIO	5.918	kg
VOLUMEN DEL RECIPIENTE	2831.300	cm <sup>3</sup>
<b>PU SUELTO</b>	<b>2090.21</b>	<b>kg/cm<sup>3</sup></b>

Adaptación propia

#### 4.2.6 Peso unitario compactado agregado grueso y fino

Tabla 26. Peso unitario compactado agregado grueso

<b>PESO UNITARIO COMPACTADO NTP 400.017 AGREGADO GRUESO</b>		
PESO RECIPIENTE	5.780	kg
PESO MUESTRA 1 + RECIPIENTE	27.541	kg
PESO MUESTRA 2 + RECIPIENTE	27.614	kg
PESO MUESTRA 3 + RECIPIENTE	27.751	kg
PESO MUESTRA PROMEDIO	27.635	kg
VOLUMEN DEL RECIPIENTE	13975.800	cm <sup>3</sup>
<b>PU COMPACTADO</b>	<b>1977.370</b>	<b>kg/cm<sup>3</sup></b>

Adaptación propia

Tabla 27. Peso unitario compactado agregado fino

<b>PESO UNITARIO COMPACTADO NTP 400.017 AGREGADO FINO</b>		
PESO RECIPIENTE	1.610	kg
PESO MUESTRA 1 + RECIPIENTE	6.710	kg
PESO MUESTRA 2 + RECIPIENTE	6.841	kg
PESO MUESTRA 3 + RECIPIENTE	6.742	kg
PESO MUESTRA PROMEDIO	6.764	kg
VOLUMEN DEL RECIPIENTE	2831.300	cm <sup>3</sup>
<b>PU COMPACTADO</b>	<b>2389.13</b>	<b>kg/cm<sup>3</sup></b>

Adaptación propia

#### 4.2.7 Peso específico agregado grueso y fino

Tabla 28. *Peso específico agregado grueso*

<b>PESO ESPECÍFICO NTP 400.021 AGREGADO GRUESO</b>		
PESO RECIPIENTE	914.900	gr
PESO RECIPIENTE+ PESO MUESTRA SAT SUP.SEC	5374.900	gr
PESO MUESTRA SATURADA SUP. SECO	4460.000	gr
PESO( MUESTRA+CANASTILLA) SUMERGIDA	4321.400	gr
PESO CANASTILLA SUMERGIDA	1579.300	gr
PESO MUESTRA SECA	4408.600	gr
PESO MUESTRA SUMERGIDA	2742.100	gr
VOLUMEN DE LA MUESTRA	1717.900	cm3
<b>PESO ESPECIFICO SECO</b>	<b>2566.273</b>	<b>kg/cm3</b>
<b>%ABSORCION</b>	<b>1.166</b>	

*Adaptación propia*

Tabla 29. *Peso específico agregado fino*

<b>PESO ESPECÍFICO NTP 400.022 AGREGADO FINO</b>		
PESO RECIPIENTE	148.364	gr
PESO RECIPIENTE +MUESTRA SECA	645.172	gr
PESO MUESTRA SECA	496.808	gr
VOLUMEN DEL FRASCO	500.000	cm3
PESO DEL AGUA	312.530	gr
<b>PESO ESPECIFICO SECO</b>	<b>2650.067</b>	<b>kg/cm3</b>
<b>%ABSORCION</b>	<b>0.643</b>	

*Adaptación propia*

Todos los parámetros obtenidos y expuestos en las tablas, se tienen en consideración dentro del diseño de mezcla, por el método de ACI 211 y la corrección por módulo de fineza. Con lo obtenido dentro de los cálculos se procede a preparar la mezcla correspondiente.

#### 4.3 Diseño de mezcla

En una primera instancia se realizó el diseño de mezcla con un  $f'c$  245 kg/cm<sup>2</sup>, en los cuales se encuentran las muestras de M0 al M5, tal y como se muestra en la tabla N°30, donde se define el concreto patrón sin adiciones y las pruebas con la adición del polvo de ladrillo de arcilla, bajo la normativa ACI 211, y los requisitos para el concreto de acuerdo a su clase de exposición, de acuerdo a la norma ACI 318.S-14.

Tabla 30. Diseño de mezcla F'c 245 kg/cm<sup>3</sup>

INSUMOS	M0		M1		M2		M3		M4	
	DOSIS	PESO KG/M3	DOSIS	PESO KG/M3	DOSIS	PESO KG/M3	DOSIS	PESO KG/M3	DOSIS	PESO KG/M3
AGUA		264.913		262.566		236.091		222.854		209.617
CEMENTO	100%	441.242	95.00%	419.179	85.00%	375.055	80%	352.993	75%	330.931
REEMPLAZO DE LADRILLO	0.00%	0.000	5.00%	32.062	15.00%	76.186	20%	98.248	25%	120.310
ADITIVO SUP PLASTI	1.00%	0.044	1.10%	0.046	1.30%	0.049	1.40%	0.049	1.50%	0.050
AIRE		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000
PIEDRA	50%	800.862	50%	792.270	50%	775.088	50%	766.497	50%	757.907
ARENA	50%	827.979	50%	819.106	50%	800.385	50%	791.514	50%	782.644
<b>TOTAL</b>		2335.039		2325.230		2262.855		2232.157		2201.459
<b>AGUA/CEMENTO</b>		0.600		0.626		0.629		0.631		0.633

Adaptación propia

A partir del análisis, se presenta una relación agua/ cemento 0.6, lo cual indica la estimación alta de agua que se tendrá que usar en el diseño de mezcla, por otro lado, se tiene en cuenta los requisitos para el concreto según su clase de exposición, para el ataque de sulfatos que empleamos en la presente investigación su máxima relación agua cemento es de 0.50. Con todo ello se realiza un reajuste en el diseño de mezcla, cambiando el factor de resistencia a f'c 300 kg/cm<sup>3</sup>.

Una vez realizado el análisis, se presenta la tabla N°31, donde se percibe el diseño de mezcla con un f'c 300 kg/cm<sup>3</sup>, en los cuales se encuentran las muestras de M0 (concreto patrón), sin adiciones y M1-M4 con adiciones de 5%, 15%, 25% y 30% de polvo de ladrillo de arcilla respectivamente.

Tabla 31. Diseño de mezcla F'c 300 kg/cm<sup>3</sup>

INSUMOS	M0		M1		M2		M3		M4	
	DOSIS	PESO KG/M3	DOSIS	PESO KG/M3	DOSIS	PESO KG/M3	DOSIS	PESO KG/M3	DOSIS	PESO KG/M3
AGUA		220.789		220.648		198.586		176.524		165.493
CEMENTO	100%	441.242	95.00%	419.179	85.00%	375.055	75%	330.931	70%	308.869
REEMPLAZO DE LADRILLO	0.00%	0.000	5.00%	32.062	15.00%	76.186	25%	120.310	30%	142.372
ADITIVO SUP PLASTIFICANTE	1.00%	0.04412	1.20%	0.05030	1.60%	0.06001	2.00%	0.06619	2.20%	0.06795
AIRE		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000
PIEDRA	52%	832.883	52%	823.943	52%	806.065	52%	788.192	52%	779.257
ARENA	48%	794.912	48%	786.390	48%	768.371	48%	751.333	48%	742.816
<b>TOTAL</b>		2289.87		2282.27		2224.32		2167.36		2138.87
<b>AGUA/CEMENTO</b>		0.50		0.50		0.50		0.50		0.50

Adaptación propia

#### 4.4 Ensayos en concreto fresco

##### 4.4.1 Ensayo de temperatura

Para las diferentes muestras realizadas en el laboratorio, es decir el concreto convencional y los concretos con las diferentes dosificaciones expuestas previamente, se midió la temperatura mostrada en la tabla N°32. Se muestra que las temperaturas se encuentran dentro del rango de no menor a 10°C y no mayor a 32°C.

Tabla 32. Resultados temperatura para las muestras M0-M4

PRUEBA	TIEMPO (min )	TEMPERATURA (°C)
M0	0	23.00
	30	23.09
	60	23.20
	90	23.35
	120	23.40
M1 (5%)	0	24.20
	30	24.20
	60	24.50
	90	24.40
	120	25.00
M2 (15%)	0	22.00
	30	22.00
	60	22.40
	90	22.40
	120	22.50
M3 (25%)	0	21.00
	30	21.15
	60	21.30
	90	21.40
	120	21.40
M4 (30%)	0	20.00
	30	20.00
	60	20.10
	90	20.40
	120	20.40

*Adaptación propia*

##### 4.4.2 Ensayo de Slump – Pérdida de asentamiento

Con respecto al comportamiento del Slump para los diferentes tipos de diseño, se observó que de acuerdo al diseño de mezcla expuesto en la tesis se debe obtener valores dentro del



rango de 6” a 8”, para el tipo de concreto que estamos realizando. De acuerdo a lo visto en campo se muestra que las mezclas realizadas cumplen con ello, tabla N° 33. Además, que se plasma la pérdida de slump hasta dos horas, medida cada 30 minutos en la tabla N°34.

Tabla 33. Ensayo de Slump – Asentamiento

PRUEBA	SLUMP (pulg)
M0	6.50
M1 (5%)	6.00
M2 (15%)	6.50
M3 (25%)	6.50
M4 (30%)	5.40

Adaptación propia

Tabla 34. Pérdida de Slump M0-M4

	TIEMPO (min )	SLUMP (pulg)
M0	0	6.50
	30	5.50
	60	4.45
	90	3.80
	120	2.60
M1 (5%)	0	6.00
	30	5.30
	60	4.30
	90	3.70
	120	2.40
M2 (15%)	0	6.50
	30	5.30
	60	4.20
	90	3.65
	120	2.30
M3 (25%)	0	6.50
	30	5.20
	60	3.80
	90	3.50
	120	2.30
M4 (30%)	0	5.40
	30	4.75
	60	3.30
	90	3.10
	120	2.20

Adaptación propia

Adicional a ello, se realiza una evaluación asentamiento vs temperatura para la mezcla patrón y la mezcla con adición de 25% de polvo de ladrillo de arcilla, mostrada en la figura N° 26 y N°27.

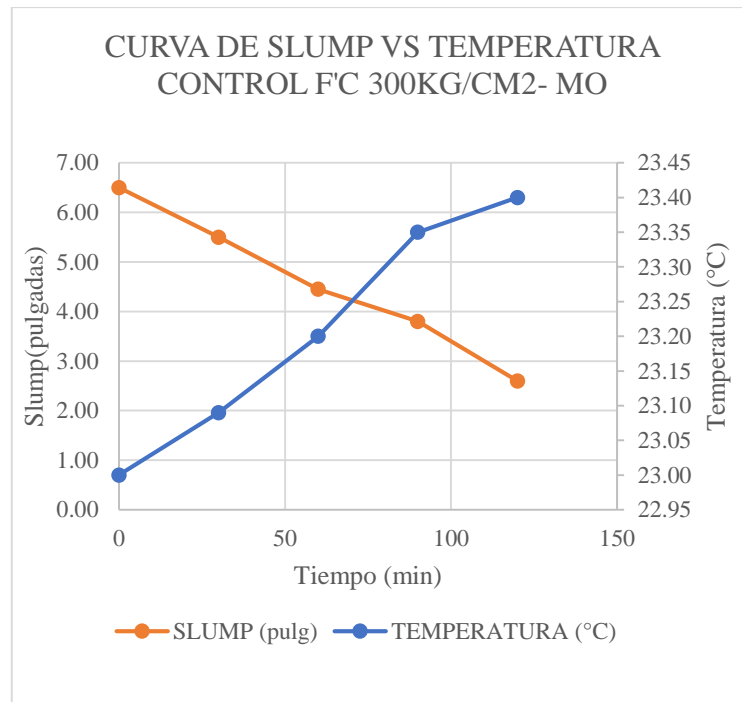


Figura 26. Curva de Slump vs Temperatura muestra patrón M0  
Adaptación propia

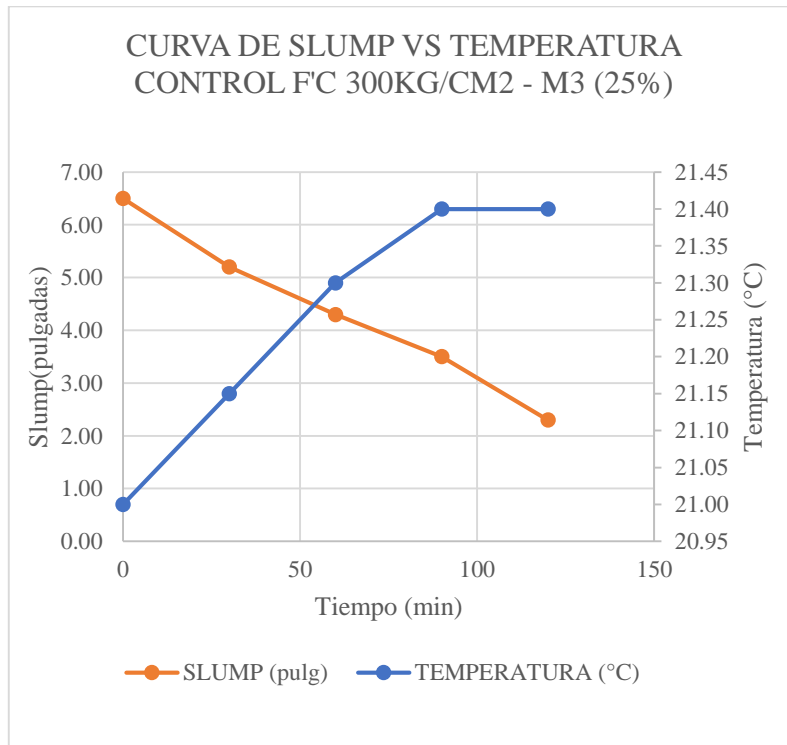


Figura 27. Curva de Slump vs Temperatura, muestra óptima 25% (M3)  
Adaptación propia

## 4.5 Ensayos en concreto endurecido

### 4.5.1 Ensayos de Compresión

De acuerdo con los resultados obtenidos en la prensa digital, obtenemos la carga máxima, luego con el diámetro hallado previamente, se procede hallar el máximo esfuerzo de compresión de la probeta ensayada. Se utilizaron dos especímenes para cada día de ensayo. Con el promedio del esfuerzo a la compresión, se plasmó las diferencias de resistencia para las edades de 7, 14 y 28 días.

Tabla 35. Resistencia a la compresión a las edades de 7, 14, 28 días

PRUEBA	TIEMPO (días)	DIÁMETRO (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA AXIAL (Kg)	ESFUERZO DE COMPRESIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO DE COMPRESIÓN (MPa)	ESFUERZO DE COMPRESIÓN (MPa)
M0	7	15.23	182.06	38300	210.38	20.63	<b>20.63</b>
		15.20	181.46	38154	210.26	20.62	
	14	14.91	174.48	43030	246.61	24.18	<b>24.18</b>
		14.92	174.83	43102	246.53	24.18	
	28	15.22	181.94	52584	289.02	28.34	<b>28.35</b>
		15.24	182.41	52750	289.18	28.36	
M1 (5%)	7	14.99	176.38	27976	158.61	15.55	<b>15.54</b>
		15.00	176.71	27987	158.37	15.53	
	14	15.05	177.89	42368	238.16	23.36	<b>23.35</b>
		15.09	178.84	42579	238.08	23.35	
	28	15.15	180.27	56267	312.13	30.61	<b>30.57</b>
		15.20	181.46	56502	311.38	30.54	
M2 (15%)	7	15.11	179.32	34533	192.58	18.89	<b>18.94</b>
		15.09	178.84	34632	193.65	18.99	
	14	15.45	187.48	51600	275.23	26.99	<b>27.00</b>
		15.40	186.27	51310	275.47	27.01	
	28	15.28	183.33	62795	342.53	33.59	<b>33.59</b>
		15.28	183.37	62805	342.50	33.59	
M3 (25%)	7	15.15	180.27	38440	213.24	20.91	<b>20.92</b>
		15.20	181.46	38740	213.49	20.94	
	14	15.25	182.65	53775	294.41	28.87	<b>28.94</b>
		15.20	181.46	53673	295.79	29.01	
	28	15.20	181.46	67099	369.78	36.26	<b>36.40</b>
		15.15	180.27	67181	372.68	36.55	
M4 (30%)	7	15.40	186.27	14045	75.40	7.39	<b>7.45</b>
		15.30	183.85	14080	76.58	7.51	
	14	15.04	177.66	20195	113.67	11.15	<b>11.14</b>
		15.07	178.37	20250	113.53	11.13	
	28	15.12	179.55	26379	146.91	14.41	<b>14.53</b>
		15.11	179.32	26779	149.34	14.65	

Adaptación propia

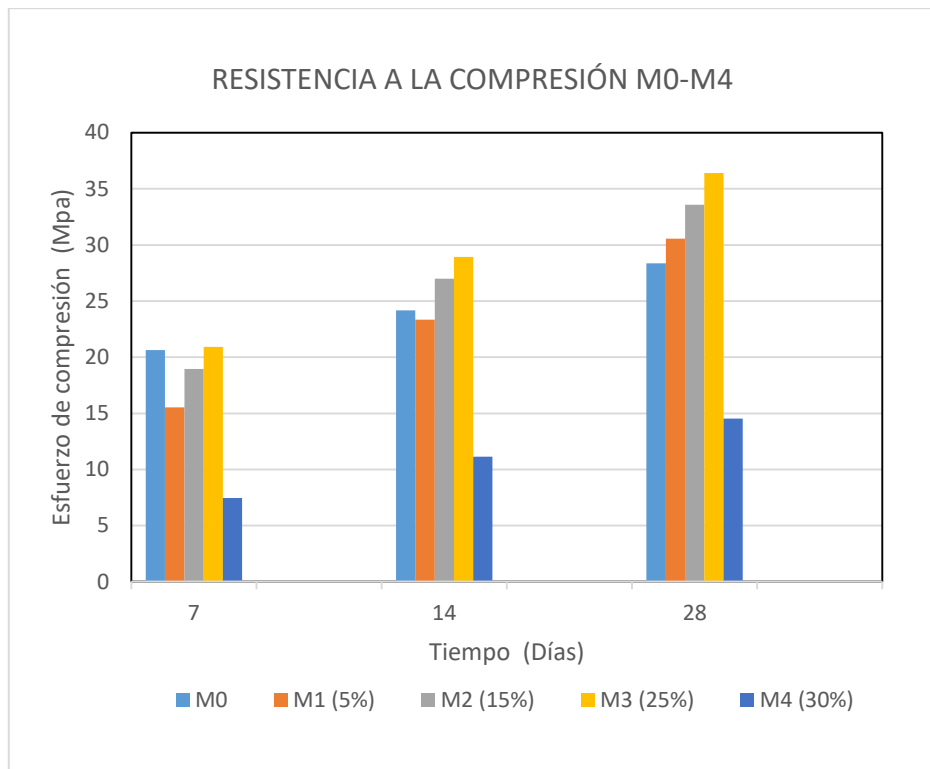


Figura 28. Gráfico de barras de resistencia a la compresión de los diseños M0-M4  
Adaptación propia

La figura N°28, muestra el efecto de la edad de ensayo sobre la resistencia a la compresión para diferentes porcentajes de adición del polvo de ladrillo de arcilla. Se observa que la resistencia a la compresión crece con la edad de ensayo, obteniéndose un valor máximo de resistencia a los 28 días de 36.40 MPa para un 25% de polvo de ladrillo de arcilla, representando un 22.112% de aumento con respecto a la muestra patrón; sin embargo, para el reemplazo de un 30% de polvo de ladrillo de arcilla existe una disminución del 48.761% que pertenece al valor de 14.53 MPa.

Se observa que el comportamiento de las muestras M1, M2 Y M3 a los 7 días de edad tiene menor esfuerzo de compresión en comparación al convencional. Sin embargo, para las siguientes edades de 14 y 28 días, estos diseños aumentan en resistencia, lo cual según los estudios se comprueba que, a mayores días de curado, la resistencia puede seguir aumentando, esto ocasionado por la hidratación tardía del cemento junto con el polvo de ladrillo de arcilla.

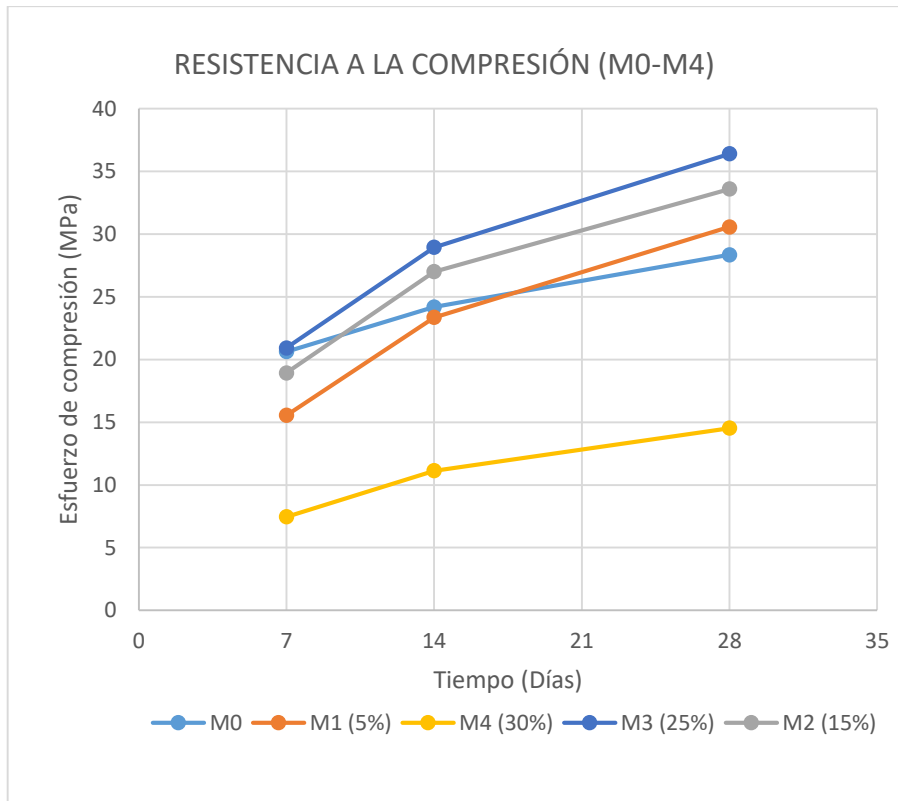


Figura 29. Línea de tendencia de Resistencia a la compresión de los diseños M0-M4  
Adaptación propia



Figura 30. Rotura de probetas a los 7 días de curado  
Adaptación propia

#### 4.5.2 Ensayo de Contenido de vacíos en el concreto endurecido

Tabla 36. Resultado Ensayo de la densidad, absorción de agua y vacíos en el concreto

Especímenes	% Volumen de Vacíos (Espacio de poros permeables)
M0	5.02
M1 (5%)	4.90
M2 (15%)	4.72
M3 (25%)	4.55
M4 (30%)	5.30

*Adaptación propia*

De acuerdo a lo expuesto en la tabla N°36, se muestra que el concreto patrón tiene una alta porosidad en comparación con M1, M2 y M3, este comportamiento se debe a que el polvo de ladrillo de arcilla rellena los espacios dentro de la mezcla y así el concreto resultante es menos poroso. Sin embargo, en M4 el polvo de ladrillo genera un comportamiento negativo aumentando la permeabilidad de la muestra, superando los límites del polvo de ladrillo de arcilla. El porcentaje de Volumen de Vacíos es reemplazado en la ecuación del ensayo de permeabilidad.

#### 4.5.3 Ensayo de Permeabilidad bajo presión de agua

Tabla 37. Resultado ensayo de Permeabilidad bajo presión de agua

PROBETA N°	Profundidad media (cm)	Coefficiente de permeabilidad (m/s)	Permeabilidad
M0	5.67	4.23E-12	MEDIA
M1 (5%)	5.10	3.06E-12	MEDIA
M2 (15%)	4.85	2.73E-12	MEDIA
M3 (25%)	4.50	2.66E-12	MEDIA
M4 (30%)	6.15	5.07E-10	ALTA

*Adaptación propia*

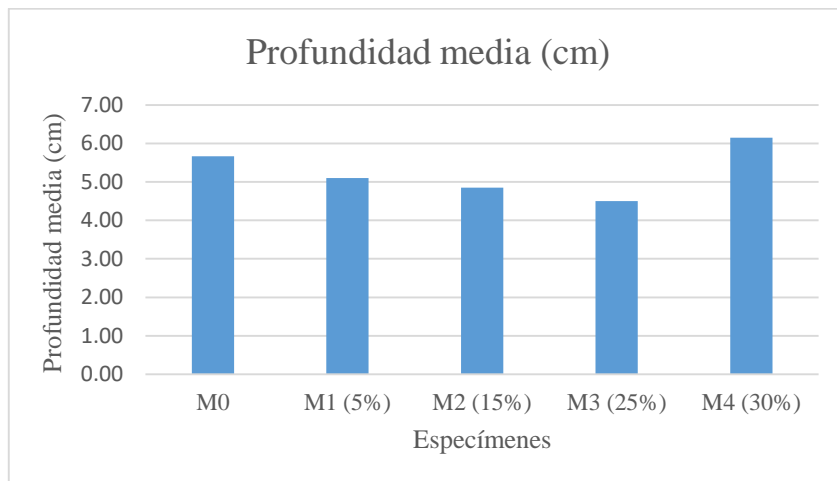


Figura 31. Profundidad media, ensayo de permeabilidad bajo presión de agua de los especímenes  
Adaptación propia



Figura 32. Muestras partidas diametralmente para medir la profundidad de penetración  
Adaptación de Laboratorio Uni

De acuerdo a lo expuesto en la tabla N°37, los datos obtenidos mediante el ensayo de permeabilidad realizado en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ingeniería, muestran

la profundidad media, el coeficiente de permeabilidad y la permeabilidad clasificada por la norma técnica colombiana NTC 4883.

De la muestra M0 hasta la muestra M3, representa una permeabilidad media, es decir, a medida que aumenta el porcentaje de adición, el coeficiente de permeabilidad disminuye en 25,30%, 35.46% y 37,12% respectivamente para las mezclas M1, M2 y M3, en comparación a la mezcla M0. Por otro lado, se tiene muestra una gran diferencia en cuanto la muestra M4, debido a su mayor contenido de adición de polvo de ladrillo, tiende a aumentar la cantidad de poros. Por ende, tendrá una mayor facilidad de ser atacado por agentes externos, en este caso por el ataque a los sulfatos. En la figura N° 31 se observa un panorama amplio del comportamiento de la permeabilidad, mostrando la profundidad en cm, de acuerdo la norma NTC 4883. En la figura N°32 se contempla algunas de las probetas partidas diametralmente para medir la profundidad a la penetración.

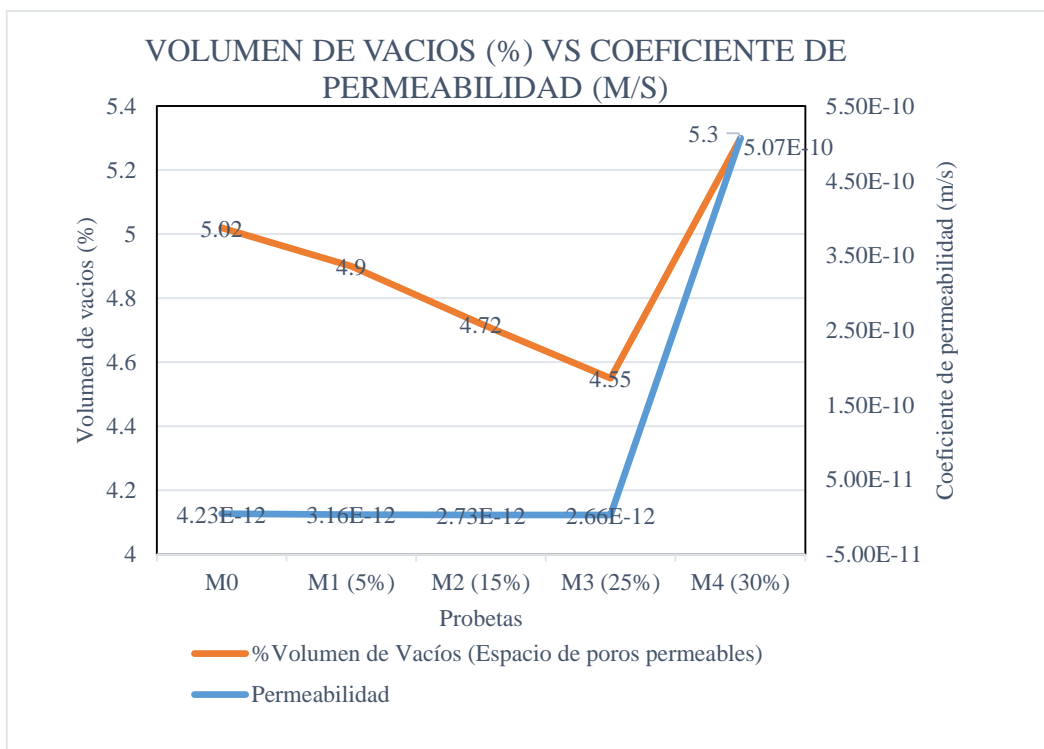


Figura 33. Líneas de tendencia del porcentaje de volumen de vacíos y coeficientes de permeabilidad de los especímenes

Adaptación propia



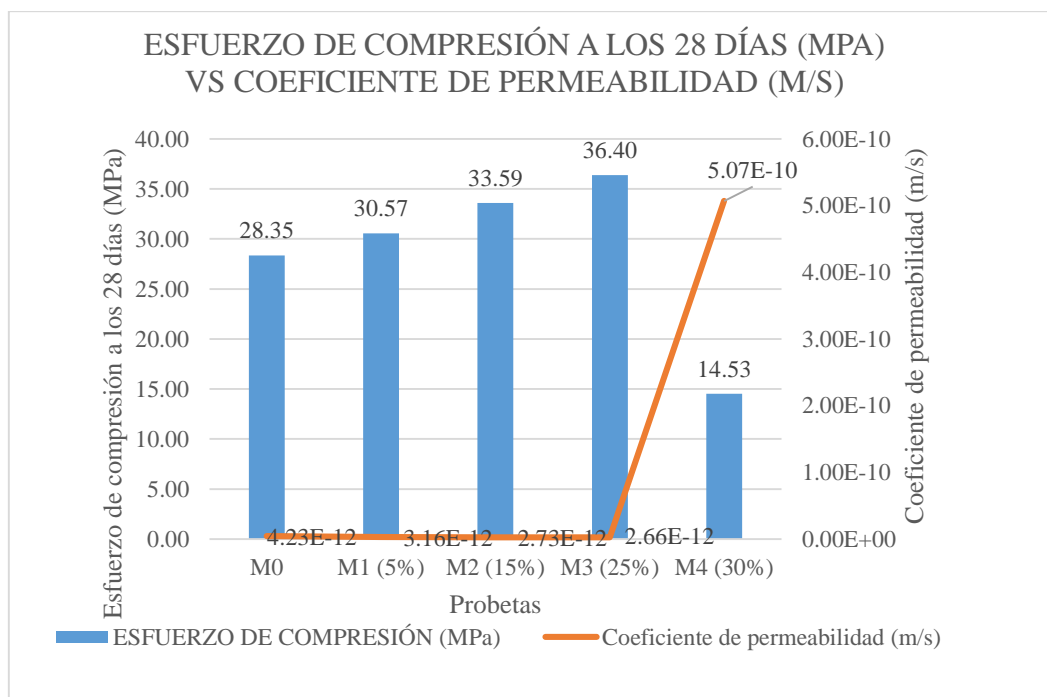


Figura 34. Gráfico de barras de resistencia a la compresión a 28 días y línea de tendencia de los coeficientes de permeabilidad de los especímenes

Adaptación propia

En la figura N°33 se observa el comportamiento de las muestras respecto a su volumen de vacíos y permeabilidad, el cual forma una relación directamente proporcional debido al volumen de vacíos en el concreto, originando la disminución del paso de agentes externos y reduciendo su permeabilidad. Por otro lado, en la figura N°34 se observa el panorama completo de la relación inversamente proporcional que existe entre la de resistencia a la compresión y permeabilidad para cada muestra, es decir, a mayor resistencia, menor cantidad de vacíos y viceversa.

## 5 ANÁLISIS ECONÓMICO

En la tabla N°38, se adjunta análisis de precios unitarios por m<sup>3</sup> del concreto, para un concreto convencional M0 (0%), sin adiciones, y por otro lado se tiene la muestra óptima según los resultados reflejados líneas arriba M3 (25%), con adición de polvo de ladrillo de arcilla.

Tabla 38. Análisis económico de precios unitarios por m3 de concreto de M0-M3(25%)

MATERIALES	CONCRETO CONVENCIONAL (0%)				CONCRETO CON ADICIÓN (25%)			
	UND	METRADO	P.U (S/.)	PARCIAL (S/.)	UND	METRADO	P.U (S/.)	PARCIAL (S/.)
Cemento	kg	220.789	0.57	125.85	kg	176.524	0.57	100.62
Agua	m3	441.242	0.03	13.24	m3	330.931	0.03	9.93
Arena	kg	832.883	0.15	124.93	kg	788.192	0.15	118.23
Piedra	kg	794.912	0.14	111.29	kg	751.333	0.14	105.19
Polvo de ladrillo de arcilla	kg	-	-	-	kg	120.31	0.07	8.42
Aditivo	Lt	0.04412	6.50	0.29	Lt	0.06619	6.50	0.43
Total				<b>375.59</b>				<b>342.81</b>

Adaptación propia

Según los resultados, se observa que la muestra óptima M3 con un reemplazo de 25% de polvo de ladrillo de arcilla, ha obtenido una reducción económica de 8.72% con respecto al concreto convencional sin adición, empleada usualmente en obra. A parte de ser una mezcla óptima en cuanto a trabajabilidad, resistencia y permeabilidad, también aporta en el beneficio de ahorro para su empleo en obra.

## 6 CONCLUSIONES

- Un diseño de concreto de baja permeabilidad con contenido de cemento 331 Kg/m3 y 25 % de polvo de ladrillo de arcilla fue factible elaborar con resultados f'c aceptables.
- El diseño con reemplazo de 25%, ha superado las expectativas en cuanto a desempeño de pérdida de fluidez.
- La evolución de resistencia para el diseño óptimo muestra que el crecimiento de la resistencia a edades tempranas es lento. Sin embargo, esta supera a los 28 días respecto a la obtenida en el concreto patrón.
- Se obtuvo una disminución del 47% en el contenido de vacíos para una incorporación de 25% de polvo de ladrillo de arcilla.
- El coeficiente de permeabilidad de las muestras de M1, M2 y M3 disminuyen en relación al porcentaje de adición de ladrillo de arcilla. La influencia del polvo para la prueba M4 con un porcentaje de 30% tiene mayor coeficiente de permeabilidad.

- El análisis económico, empleando el 25% de adición de polvo de ladrillo de arcilla, muestra un costo beneficio para el empleo en obras.

## 7 RECOMENDACIONES

- Se recomienda el curado y ensayo de probetas a edades de 90, 180 y 365 días para continuar monitoreando la disminución de la permeabilidad, al ser un parámetro fundamental para la durabilidad del concreto.
- Probar el polvo de ladrillo en mezclas de resistencia  $f'c$  245 y 280 kg/cm<sup>2</sup> para encontrar un valor intermedio de empleo en el sector construcción de viviendas.
- Debido a la coloración que presenta el concreto a causa de la adición del polvo de ladrillo de arcilla, es considerable su uso como acabado caravista para las edificaciones.
- Se debe de tomar en consideración experimentar con tamaños de partículas cercanas a 75 micras o menores que la malla 200, con el fin de evaluar el desempeño del polvo de ladrillo de arcilla.
- Evaluar la compatibilidad del polvo de ladrillo con los cementos aficionados y súper plastificantes, afín de propiciar su empleo masivo en toda la región costera

## 8 REFERENCIAS

- ACI 201.2R, (2008). Guide To Durable Concrete, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, U.S.A.*
- ACI Committee 318-S, (2014). Building Code Requirements for Structural Concrete, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, U.S.A*
- ASTM C511 (2019). Standard Specification for Mixing Rooms, Moist Cabinets, Moist Rooms, and Water Storage Tanks Used in the Testing of Hydraulic Cements and Concretes, ASTM International.*
- ASTM C 642 (2004). Standard test method for density, absorption of water by hidraulic-cement concretes. ASTM International.*
- ASTM D-2216 (2019). Método de Prueba Estándar para la Determinación En laboratorio del Contenido de Agua (Humedad) De Suelos y Rocas por Masa. ASTM International.*

- ASTM C31. Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Ensayo de Concreto en la Obra. ASTM International.*
- Bediako, M. (2018). Pozzolanic potentials and hydration behavior of ground waste clay brick obtained from clamp-firing technology. Case Studies in Construction Materials 8, 1-7.*
- Bolouri Bazaz, J. &. (2012). Properties and performance of concrete made with recycled low-quality crushed brick. Journal of Materials in Civil Engineering, 330-338.*
- Bustamante, I. G. (2017). Estudio de la correlación entre la relación agua/cemento y la permeabilidad al agua de concretos usuales en Perú. Pontifica Universidad Católica del Perú.*
- Cheng, H. (2016). Reuse Research Progress on Waste Clay Brick. Proedia Environmental Sciences, 218-226.*
- Dorronsoro, C. (2020). Edafología y los suelos. Retrieved from Edafología. net: <http://www.edafologia.net/>*
- Li, L. ,. (2020). Reutilizing clay brick dust as paste substitution to produce environment-friendly durable mortar. Journal of Cleaner Production, 274.*
- M. Usha Rani, J. M. (2016). Mechanical Properties of Concrete with Partial Replacement of Portland Cement by Clay Brick Powder. International Journal of Engineering Research & Technology, 63-67.*
- Moreno, A. (2015). Implementación del método de presión para medir la permeabilidad en el concreto. Laboratorio de Ensayo de Materiales.*
- NTC 4483 (1998). Método de ensayo para determinar la permeabilidad del concreto en agua. Colombia*
- NTP 400.012 (2001). AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. Lima, Perú: Indecopi.*

*NTP 400.014 (2008). HORMIGÓN (concreto). Método de ensayo para determinar cualitativa de cloruros y sulfatos. Lima, Perú: Indecopi.*

*NTP 400.017 (1999). Agregados. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado. Norma Técnica Peruana.*

*NTP 400.021 (2002). Agregados. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso. Norma Técnica Peruana.*

*NTP 400.022 (2002). Agregados. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino. Norma Técnica Peruana.*

*NTP 339.184 (2013). HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de hormigón (concreto). Lima, Perú: Indecopi.*

*NTP 339.185. (2002). Agregados. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.*

*NTP 339.035 (2009). HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para la medición del asentamiento del hormigón con el cono de Abrams. Lima, Perú: Indecopi.*

*NTP 339.034 (2008). HORMIGÓN. Método de ensayo para el esfuerzo a la compresión de muestras cilíndricas de concreto. Lima, Perú: Indecopi.*

*NTP 339.034 (2008). HORMIGÓN (concreto). Método de ensayo para determinar la densidad y el contenido de vacío del concreto permeable fresco. Lima, Perú: Indecopi.*

*NTP 339.046 (2008). Hormigón (Concreto). Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto). Norma Técnica Peruana.*

*Ordoñez, L. ., (2002). Estudio mapa de peligros plan de usos del suelo y medidas de mitigación UNICA-INDECI. Programa de ciudades sostenibles primera etapa.*

Song, H. (2016). *An Internal Expansive Stress Model of Concrete under Sulfate Attack*. *Acta Mechanica Solida Sinica*, 610-619.

Sotomayor, M. S. (2018). *Mecanismo de deterioro en las estructuras de concreto armado y recomendaciones de prevención*. In C. P. *Concreto, Diagnóstico y reparación de estructuras de concreto armado atacadas por corrosión* (pp. 7-41). Lima: Capítulo Peruano del Instituto Americano del Concreto.

UNE -EN 12390 "Testing hardened Concrete-Part 8: Depth of penetration of water under pressure". English version of DIN EN 12390-8: 2009-07.

## 9 ANEXOS

### ANEXO 1. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

2.5kg	
	<b>PIEDRA</b>
<b>PESO TOTAL</b>	<b>2500 gr</b>

ANALISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO						
TAMAÑO TAMIZ N.	ABERT. (mm)	PESO.RET. Acumul.(gr)	% Retenido Parcial.	% Retenido Acumul.	% Que Pasa Acumul.	% Que Pasa Norma.
1"	25.000	0.00	0.00	0.00	100.00	100
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00	90-100
1/2"	12.500	1693.80	67.75	67.75	32.25	20-55
3/8"	9.500	547.70	21.91	89.66	10.34	0-15
#04	4.750	248.50	9.94	99.60	0.40	0-5
#08	2.360	0.00	0.00	99.60	0.40	
#16	1.180	0.00	0.00	99.60	0.40	
#30	0.600	0.00	0.00	99.60	0.40	
#50	0.300	0.00	0.00	99.60	0.40	
#100	0.150	0.00	0.00	99.60	0.40	
Fondo		10.00	0.40	100.00	0.00	
		<b>2500.00</b>		<b>687.26</b>		

LIMITES NORMA			
TAMAÑO TAMIZ N.	ABERT. (mm)	Menos (%) Norma.	Mas (%) Norma.

1"	25.000	100.000	100.00
3/4"	19.000	90.000	100.00
1/2"	12.500	20.000	55.00
3/8"	9.500	0.000	15.00
#04	4.750	0.000	5.00

<b>MF</b>	<b>6.87</b>
-----------	-------------

	<b>ARENA</b>
--	--------------

**PESO**  
**TOTAL            600            gr**

<b>ANALISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO</b>						
<b>TAMAÑO O TAMIZ N.</b>	<b>ABERT . (mm)</b>	<b>PESO.RET. Acumul.(gr)</b>	<b>% Retenid o Parcial.</b>	<b>% Retenido Acumul.</b>	<b>% Que Pasa Acumul.</b>	<b>% Que Pasa Norma.</b>
1"	25.000	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00	
1/2"	12.500	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00	100
#04	4.750	21.99	3.67	3.67	96.33	95-100
#08	2.360	78.10	13.02	16.68	83.32	80-100
#30	0.600	271.30	45.22	61.90	38.10	25-60
#50	0.300	112.60	18.77	80.67	19.33	5-30
#100	0.150	74.07	12.34	93.01	6.99	0-10
Fondo		41.94	6.99	100.00	0.00	
		<b>600.000</b>		<b>255.92</b>		

<b>LIMITES NORMA</b>			
<b>TAMAÑO O TAMIZ N.</b>	<b>ABERT . (mm)</b>	<b>Menos (%) Norma.</b>	<b>Mas (%) Norma.</b>
3/8"	9.500	100.000	100.000
#04	4.750	95.000	100.000
#08	2.360	80.000	100.000
#16	1.180	50.000	85.000
#30	0.600	25.000	60.000

#50	0.300	5.000	30.000
#100	0.150	0.000	10.000

<b>MF</b>	<b>2.56</b>
-----------	-------------



*Imagen 1. Tamizado de Agregado Grueso  
Fuente propia*



*Imagen 2. Tamizado Agregado Fino  
Fuente propia*





*Imagen 3. Compactado de Agregado grueso  
Fuente propia*



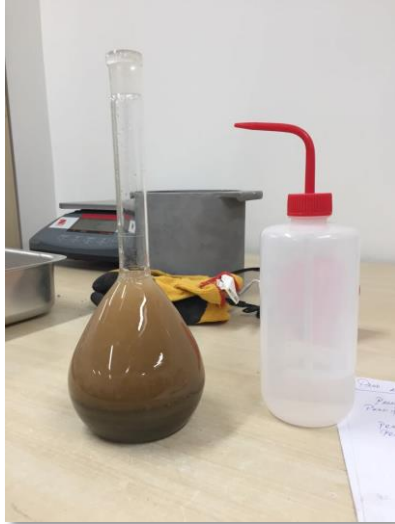
*Imagen 4. Saturación del Agregado grueso 24h  
Fuente propia*



*Imagen 5. Peso sumergido de la muestra de agregado grueso  
Fuente propia*



*Imagen 6. Peso en seco de agregado grueso  
Fuente propia*



*Imagen 7. Fiola con agregado fino para peso específico  
Fuente propia*

## ANEXO 2. PREPARACIÓN Y ENSAYOS EN ESTADO FRESCO



*Imagen 8. Baldes con contenido de cemento y polvo de ladrillo de arcilla  
Fuente propia*



*Imagen 7. Temperatura de mezcla  
Fuente propia*



*Imagen 8. Temperatura de mezcla  
Fuente propia*



*Imagen 11. Ensayo de Asentamiento*  
*Fuente propia*



*Imagen 12. Desmoldado de Probetas para curar*  
*Fuente propia*



*Imagen 13. Probetas a ensayar por resistencia a la compresión*  
*Fuente propia*

ANEXO 3. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

ENSAYO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN							
PRUEBA	TIEMPO (días)	DIÁMETRO (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA AXIAL (Kg)	ESFUERZO DE COMPRESIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO DE COMPRESIÓN (MPa)	ESFUERZO DE COMPRESIÓN (MPa)
M0	7	15.23	182.06	38300	210.38	20.63	<b>20.63</b>
		15.20	181.46	38154	210.26	20.62	
	14	14.91	174.48	43030	246.61	24.18	<b>24.18</b>
		14.92	174.83	43102	246.53	24.18	
	28	15.22	181.94	52584	289.02	28.34	<b>28.35</b>
		15.24	182.41	52750	289.18	28.36	
M1 (5%)	7	14.99	176.38	27976	158.61	15.55	<b>15.54</b>
		15.00	176.71	27987	158.37	15.53	
	14	15.05	177.89	42368	238.16	23.36	<b>23.35</b>
		15.09	178.84	42579	238.08	23.35	
	28	15.15	180.27	56267	312.13	30.61	<b>30.57</b>
		15.20	181.46	56502	311.38	30.54	
M2 (15%)	7	15.11	179.32	34533	192.58	18.89	<b>18.94</b>
		15.09	178.84	34632	193.65	18.99	
	14	15.45	187.48	51600	275.23	26.99	<b>27.00</b>
		15.40	186.27	51310	275.47	27.01	
	28	15.28	183.33	62795	342.53	33.59	<b>33.59</b>
		15.28	183.37	62805	342.50	33.59	
M3 (25%)	7	15.15	180.27	38440	213.24	20.91	<b>20.92</b>
		15.20	181.46	38740	213.49	20.94	
	14	15.25	182.65	53775	294.41	28.87	<b>28.94</b>
		15.20	181.46	53673	295.79	29.01	
	28	15.20	181.46	67099	369.78	36.26	<b>36.40</b>
		15.15	180.27	67181	372.68	36.55	
M4 (30%)	7	15.40	186.27	14045	75.40	7.39	<b>7.45</b>
		15.30	183.85	14080	76.58	7.51	
	14	15.04	177.66	20195	113.67	11.15	<b>11.14</b>
		15.07	178.37	20250	113.53	11.13	
	28	15.12	179.55	26379	146.91	14.41	<b>14.53</b>
		15.11	179.32	26779	149.34	14.65	



*Imagen 12. Rotura de probeta convencional*

*Fuente propia*

**ANEXO 4. ENSAYO DE DENSIDAD, ABSORCIÓN Y VOLUMEN DE VACÍOS**

ESPECÍMENES	ABSORCIÓN DESPUES DE INMERSIÓN (%)	ABSORCIÓN DESPUES DE INMERSIÓN Y EBULLICIÓN (%)	DENSIDAD GLOBAL (BRUTA) SECA	DENSIDAD GLOBAL (BRUTA) DESPUÉS DE INMERSIÓN	DENSIDAD GLOBAL (BRUTA) DESPUÉS DE INMERSIÓN Y EBULLICIÓN	DENSIDAD APARENTE	% VOLUMEN DE VACIOS (ESPACIOS DE POROS PERMEABLES)
M0	1.9	2.08	2.31	2.4	2.4	2.75	5.10
M1 (5%)	1.87	2.05	2.29	2.36	2.36	2.64	4.90
M2 (15%)	1.84	2.03	2.27	2.33	2.33	2.46	4.72
M3 (25%)	1.82	2.01	2.26	2.30	2.30	2.37	4.55
M4 (30%)	2.0	2.10	2.35	2.44	2.43	3.14	5.30

ENSAYO 5. ENSAYO DE PERMEABILIDAD BAJO PRESIÓN DE AGUA

<b>DETERMINACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN DE AGUA BAJO PRESIÓN. UNE-EN 195-5</b>		
<b>CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO</b>		
Concreto tipo	M0-M1-M2-M3-M4	
Cemento tipo	Tipo V	
Dosificación de cemento kg/m <sup>3</sup>	441.2,419.1,375,330.9,308.8	
Relación A/C	0.5	
n° albarán planta		
Tamaño max. Del árido mm	20	
Aditivo	Superplastificante	
Hora de realización		
Hora de cargo en planta		
<b>CONDICIONES DE ENSAYO</b>		
Conservación	Conservación en cámara húmeda (20±2°C) Humedad >90%	
Secado previo	horas	72
	s	259200
Carga aplicada	KPa	500
	m	50.985
Dirección de aplicación de presión de agua	Puntual en la dirección perpendicular a la base	
Tipo de agua	Red de abastecimiento	

<b>PROBETA N°</b>	<b>Profundidad media (cm)</b>	<b>Coefficiente de permeabilidad (m/s)</b>	<b>Permeabilidad</b>
M0	5.67	4.23E-12	MEDIA
M1 (5%)	5.10	3.16E-12	MEDIA
M2 (15%)	4.85	2.73E-12	MEDIA
M3 (25%)	4.50	2.66E-12	MEDIA
M4 (30%)	6.15	5.07E-10	ALTA





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**Facultad de Ingeniería Civil**

**LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"**



**4.2. Ensayo de permeabilidad**

Presión del agua : 0.5 MPa  
 Porosidad : 4.55 %

IDENTIFICACIÓN	Fecha de inicio de ensayo	Fecha de fin del ensayo	Profundidad Media (cm)	Coef Permeabilidad (ml/s)	Permeabilidad
M1	21/11/2019	04/11/2019	4.50	2.66E-12	media
M2	22/11/2019	05/11/2019	5.67	4.29E-12	media

**5. Panel fotográfico** : Muestras partidas diametralmente para medir la profundidad de penetración.

**5.1. Probeta M1**



**5.2. Probeta M2**



**6. OBSERVACIONES:** 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por : Ing. M. A. Tejada S.  
 Técnico : Sr. E.G.V.

MSc. Ing. Isabel Moromi Nakata  
 Jefe (a) del laboratorio

**NOTAS**

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
- 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.

ANEXO 6. ANÁLISIS DE COSTO POR PRECIO UNITARIO M3 DE LAS MEZCLAS

MEZCLAS	Costo	AGUA	CEMENTO	PIEDRA	ARENA	REEMPLAZO DE LADRILLO	ADITIVO SUP PLASTIFICANTE	TOTAL (S/.)
	P.U (S/.)	Lt	Kg	kg	Kg	Kg	Lt	
		0.57	0.03	0.15	0.14	0.07	6.50	
<b>M0 (0%)</b>	Peso	220.789	441.242	832.883	794.912	-	0.04412	<b>375.59</b>
	Monto Parcial	125.84973	13.23726	124.93245	111.28768	-	0.28678	
<b>M1 (5%)</b>	Peso	220.648	419.179	823.943	786.39	32.062	0.0503	<b>374.60</b>
	Monto Parcial	125.76936	12.57537	123.59145	110.0946	2.24434	0.32695	
<b>M2 (15%)</b>	Peso	198.586	375.055	806.065	768.371	76.186	0.06001	<b>358.65</b>
	Monto Parcial	113.19402	11.25165	120.90975	107.57194	5.33302	0.390065	
<b>M3 (25%)</b>	Peso	176.524	330.931	788.192	751.333	120.31	0.06619	<b>342.81</b>
	Monto Parcial	100.6186	9.92793	118.2288	105.18662	8.4217	0.430235	
<b>M4 (30%)</b>	Peso	165.493	308.869	779.257	742.816	142.372	0.06795	<b>334.89</b>
	Monto Parcial	94.33101	9.26607	116.88855	103.99424	9.96604	0.441675	