

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Evaluación de la resistencia mecánica de un concreto permeable ordinario frente a concretos permeables elaborados con un aditivo superplastificante y relaciones a/c menores, para su uso en pavimentos urbanos; Arequipa - 2021**

Fernando Hipólito Cruz Díaz  
Clever Frank Arana Pari

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Civil

Arequipa, 2021

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## AGRADECIMIENTOS A:

- Mg. Ing. John Elvis La Torre Esquivel : Asesor de Tesis (UC)
- Ing. Juan Antonio Charca Chura : Gerente de ECOCRET S.A.
- Ing. Juan Carlos Zevallos Aroni : Jefe de Laboratorio de CEDIICON

por el apoyo brindado para poder desarrollar y culminar el presente trabajo de investigación.

*Agradezco a mi familia y amigos, que de alguna manera colaboraron en la realización de este trabajo; en especial a mi madre, Gleni, y a mis hermanas, Yajaira y Esteysi, por su comprensión y apoyo incondicional.*

**Fernando Hipólito Cruz Díaz**

*Agradezco a mi padre, Aguilar Arana; mi madre, Maribel Pari, y a mi familia, por su amor, paciencia, apoyo y optimismo excepcional. Este trabajo de investigación lo logre gracias a su arduo trabajo en educarme.*

**Clever Frank Arana Pari**

## DEDICATORIAS

*Dedico el presente trabajo a mi madre, Gleni Díaz, por enseñarme a ser una persona de bien y motivarme para no rendirme hasta alcanzar todas mis metas y objetivos.*

**Fernando Hipólito Cruz Díaz**

*Dedico el presente trabajo a mi padre, Aguilar Arana; mi madre, Maribel Pari; mi esposa, Katia Gonzales, mi hermano, Albert Arana; y a mi hijo, Yannick Arana, por ser el pilar para mis metas y objetivos.*

**Clever Frank Arana Pari**

## ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	I
DEDICATORIAS.....	II
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
RESUMEN .....	X
ABSTRACT .....	XI
INTRODUCCIÓN.....	XII
<b>1. CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....</b>	<b>1</b>
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	1
1.1.1. Problema general.....	1
1.1.2. Problemas secundarios.....	1
1.2. Objetivos .....	1
1.2.1. Objetivo general.....	1
1.2.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. Justificación de la investigación.....	2
1.4. Hipótesis y descripción de variables.....	3
1.4.1. Hipótesis.....	3
1.4.1.1. Hipótesis general.....	3
1.4.1.2. Hipótesis específicas.....	3
1.4.2. Descripción de variables.....	4
1.4.2.1. Variable independiente.....	4
1.4.2.2. Variables dependientes.....	4
<b>2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
2.1. Antecedentes del problema.....	5
2.1.1. Antecedentes nacionales.....	5
2.1.2. Antecedentes internacionales.....	5
2.2. Bases teóricas.....	7
2.2.1. Concreto permeable.....	7
2.2.2. Composición del concreto permeable.....	11
2.2.2.1. Agregado grueso.....	12

2.2.2.1.1. Propiedades del agregado grueso.....	13
2.2.2.2. Cemento. ....	14
2.2.2.3. Agua. ....	15
2.2.2.4. Aditivos. ....	15
2.2.2.5. Aditivos reductores de agua de alto rango (superplastificantes).....	16
2.2.3. Propiedades del concreto permeable. ....	17
2.2.3.1. Asentamiento - Consistencia (ASTM C143 - NTP 339.035). ....	17
2.2.3.2. Densidad (peso unitario) y contenido de vacíos. ....	19
2.2.3.2.1. Densidad y contenido de vacíos del concreto permeable fresco (ASTM C 1688 - NTP 339.230).....	19
2.2.3.2.2. Densidad y contenido de vacíos del concreto permeable endurecido (ASTM C 1754 - NTP 339.238).....	20
2.2.3.3. Resistencia del concreto. ....	21
2.2.3.3.1. Resistencia a la compresión (ASTM C39 - NTP 339.034).....	21
2.2.3.3.2. Resistencia a la flexotracción o módulo de rotura (ASTM C78 - NTP 339.078).....	24
2.2.3.4. Permeabilidad (ACI 522R-10). ....	27
2.2.4. Diseño de mezclas de concreto permeable de acuerdo al ACI 522R-10. .	29
2.2.4.1. Determinar el peso del agregado. ....	31
2.2.4.2. Ajustar el peso del agregado a la condición de SSS. ....	32
2.2.4.3. Determinación del contenido de pasta. ....	32
2.2.4.4. Determinar el peso del cemento.....	33
2.2.4.5. Determinar el peso del agua. ....	34
2.2.4.6. Determinar el volumen sólido. ....	34
2.2.4.7. Verificar el contenido de vacíos.....	35
2.2.5. Definición de términos básicos. ....	35
<b>3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....</b>	<b>38</b>
3.1. Método y alcance de la investigación .....	38
3.2. Diseño de la investigación.....	38
3.3. Población y muestra.....	39
3.3.1. Población. ....	39
3.3.2. Muestra. ....	40
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	40
3.4.1. Técnicas de recolección de datos. ....	40
3.4.2. Instrumentos de recolección de datos. ....	41

<b>4. CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>42</b>
4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información.....	42
4.1.1. Diseño y elaboración de las mezclas de concreto permeable.....	42
4.1.1.1. Materiales usados para la preparación de las mezclas. ....	42
4.1.1.1.1. Agregado grueso. ....	42
4.1.1.1.2. Cemento. ....	43
4.1.1.1.3. Agua. ....	43
4.1.1.1.4. Aditivo superplastificante. ....	44
4.1.1.2. Consideraciones iniciales para el diseño de mezclas.....	44
4.1.1.2.1. Contenido de vacíos. ....	44
4.1.1.2.2. Relación a/c.....	44
4.1.1.2.3. Dosis de aditivo superplastificante. ....	45
4.1.1.3. Resumen de los diseños de mezcla de concreto permeable.....	48
4.1.1.4. Ensayos al concreto permeable en estado fresco. ....	51
4.1.1.4.1. Asentamiento – Slump (ASTM C143 o NTP 339.035).....	51
4.1.1.4.2. Densidad (peso unitario) y contenido de vacíos del concreto permeable fresco (ASTM C1688 o NTP 339.230). ....	54
4.1.1.4.3. Elaboración de las probetas de concreto permeable.....	56
4.1.2. Resistencia a la compresión y módulo de rotura del concreto permeable.....	59
4.1.2.1. Resistencia a la compresión (ASTM C39 o NTP 339.034). ....	59
4.1.2.2. Resistencia a la tracción por flexión (ASTM C78 o NTP 339.078).....	64
4.1.2.3. Comparativa de los resultados de resistencia del concreto permeable....	67
4.1.3. Permeabilidad y contenido de vacíos .....	68
4.1.3.1. Tasa de infiltración o permeabilidad (ACI 522R-10). ....	68
4.1.3.2. Peso unitario y contenido de vacíos del concreto permeable endurecido (ASTM C 1754 o NTP 339.238).....	73
4.1.4. Costo del concreto permeable.....	75
4.2. Comprobación de la hipótesis .....	77
4.2.1. Comprobación de hipótesis para la resistencia a la compresión.....	78
4.2.2. Comprobación de hipótesis para el módulo de rotura.....	80
4.2.3. Comprobación de hipótesis para la tasa de infiltración. ....	82
4.3. Discusión de resultados .....	83
4.3.1. Diseño y elaboración de las mezclas de concreto permeable.....	83

4.3.2. Resistencia a la compresión y módulo de rotura del concreto permeable. .....	85
4.3.2.1. Resistencia a la compresión. ....	85
4.3.2.2. Resistencia a la tracción por flexión. ....	86
4.3.3. Tasa de infiltración o permeabilidad. ....	87
4.3.4. Costo del concreto permeable.....	87
CONCLUSIONES .....	89
RECOMENDACIONES.....	91
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92
ANEXOS .....	96

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Normas para determinar propiedades del agregado grueso .....	14
<b>Tabla 2.</b>	Medidas de consistencia para asentamiento .....	18
<b>Tabla 3.</b>	Rangos típicos de proporciones usadas para la elaboración de concreto permeable .....	31
<b>Tabla 4.</b>	Valores efectivos $b/b_0$ .....	31
<b>Tabla 5.</b>	Cantidad de probetas usadas en la presente investigación .....	40
<b>Tabla 6.</b>	Características físicas del agregado grueso de la cantera “Elena de Troya III” ...	43
<b>Tabla 7.</b>	Relación $a/c$ correspondiente a cada diseño de mezcla.....	45
<b>Tabla 8.</b>	Determinación de la dosis de aditivo superplastificante para cada diseño .....	47
<b>Tabla 9.</b>	Resumen de los diseños de mezclas.....	49
<b>Tabla 10.</b>	Rango de materiales usados para elaborar el concreto .....	49
<b>Tabla 11.</b>	Valores de asentamiento de cada diseño de mezcla .....	52
<b>Tabla 12.</b>	Peso unitario del concreto permeable en estado fresco.....	55
<b>Tabla 13.</b>	Resistencia a la compresión promedio del concreto permeable .....	61
<b>Tabla 14.</b>	Normas de control de concreto para $f_c \leq 35$ MPa .....	61
<b>Tabla 15.</b>	Resultados de módulo de rotura promedio del concreto permeable.....	66
<b>Tabla 16.</b>	Comparación de los resultados de resistencia obtenidos.....	68
<b>Tabla 17.</b>	Resultados de la prueba de permeabilidad.....	72
<b>Tabla 18.</b>	Resultados del ensayo de peso unitario y contenido de vacíos del concreto permeable endurecido .....	74
<b>Tabla 19.</b>	Prueba t para la resistencia a la compresión de los diseños con el aditivo superplastificante frente a la del diseño patrón.....	79
<b>Tabla 20.</b>	Prueba t para la resistencia a la compresión del diseño patrón y los diseños con el aditivo superplastificante frente a la requerida por la Norma CE.010.....	80
<b>Tabla 21.</b>	Prueba t para los módulos de rotura de los diseños con el aditivo superplastificante frente al del diseño patrón.....	81
<b>Tabla 22.</b>	Prueba t para el módulo de rotura del diseño patrón y los diseños con el aditivo superplastificante frente a la resistencia requerida por la Norma CE.010 .....	82
<b>Tabla 23.</b>	Prueba t para la tasa de infiltración de todos los diseños frente a la tasa mínima que menciona el ACI 522R-10.....	83

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Muestra de concreto permeable .....	8
<b>Figura 2.</b>	Inundaciones provocadas por fuertes precipitaciones en la ciudad de Arequipa en enero del 2021.....	9
<b>Figura 3.</b>	Estructura típica de un pavimento de concreto permeable.....	10
<b>Figura 4.</b>	Muestras de concreto permeable con cantidad excesiva de agua (izquierda) y con una cantidad adecuada de agua (derecha) .....	11
<b>Figura 5.</b>	Construcción de una acera de concreto permeable .....	12
<b>Figura 6.</b>	Ensayo de asentamiento – Slump del concreto .....	18
<b>Figura 7.</b>	Ensayo de resistencia a la compresión de una probeta cilíndrica .....	22
<b>Figura 8.</b>	Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la compresión a los 28 días para el agregado de tamaño No. 67 y No. 8. ....	23
<b>Figura 9.</b>	Requisitos mínimos de los elementos de pavimentos especiales .....	24
<b>Figura 10.</b>	Representación del ensayo de flexión de vigas cargadas en los tercios. ...	25
<b>Figura 11.</b>	Relación entre el contenido de aire (porcentaje) y la resistencia a la flexión de vigas.....	26
<b>Figura 12.</b>	Requisitos mínimos para los pavimentos de vías urbanas. ....	27
<b>Figura 13.</b>	Permeámetro de cabeza descendente.....	28
<b>Figura 14.</b>	Relación entre el contenido de vacíos y la permeabilidad .....	29
<b>Figura 15.</b>	Relación entre el contenido de pasta y el contenido de vacíos para agregado de Tamaño No. 8. ....	33
<b>Figura 16.</b>	Ingreso a la cantera Elena de Troya III.....	42
<b>Figura 17.</b>	Probetas de prueba con pasta de cemento inadecuada (3, 4 y 5).....	46
<b>Figura 18.</b>	Probetas de prueba con pasta de cemento adecuada.....	46
<b>Figura 19.</b>	Dosis de aditivo supuesta y dosis usada correspondiente a cada reducción de agua .....	48
<b>Figura 20.</b>	Proporciones de agregado grueso, pasta de cemento y contenido de vacíos de los diseños de concreto permeable .....	50
<b>Figura 21.</b>	Proporciones de los materiales que componen la pasta de cemento de cada diseño de mezclas de concreto permeable .....	51
<b>Figura 22.</b>	Realización del ensayo de asentamiento - Slump .....	52
<b>Figura 23.</b>	Desmoronamiento del concreto permeable correspondiente al diseño D 05 ...	53
<b>Figura 24.</b>	Realización del ensayo de peso unitario en estado fresco .....	54

<b>Figura 25.</b> Comparación del peso unitario en estado fresco y el peso unitario teórico ....	56
<b>Figura 26.</b> Pruebas previas para determinar la compactación de cilindros y vigas.....	57
<b>Figura 27.</b> Protección de probetas para disminuir la pérdida de agua. ....	58
<b>Figura 28.</b> Colocación de las probetas en las pozas de curado.....	59
<b>Figura 29.</b> Realización del ensayo de resistencia a la compresión del concreto permeable .....	60
<b>Figura 30.</b> Evolución de la resistencia a la compresión del concreto permeable .....	63
<b>Figura 31.</b> Resistencia a la compresión a los 28 días.....	64
<b>Figura 32.</b> Realización del ensayo de resistencia a la tracción por flexión - módulo de rotura .....	65
<b>Figura 33.</b> Módulo de rotura a la edad de 28 días .....	67
<b>Figura 34.</b> Permeámetro de cabeza descendente construido para la prueba de permeabilidad .....	69
<b>Figura 35.</b> Marcado de probetas previo al corte de las mismas.....	70
<b>Figura 36.</b> Cortado de probetas para la prueba de permeabilidad.....	70
<b>Figura 37.</b> Preparación y medición de las probetas de concreto permeable para la prueba de permeabilidad .....	71
<b>Figura 38.</b> Configuración del permeámetro y prueba de permeabilidad .....	72
<b>Figura 39.</b> Ensayo de peso unitario y contenido de vacíos del concreto permeable endurecido.....	73
<b>Figura 40.</b> Permeabilidad en función al contenido de vacíos.....	75
<b>Figura 41.</b> Costos de la elaboración de concreto permeable por cada diseño.....	76
<b>Figura 42.</b> Fragmento de la Tabla t-Student.....	77

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la variación de la resistencia mecánica de un concreto permeable ordinario en comparación con concretos permeables con un aditivo superplastificante y una menor relación a/c. Se elaboraron y compararon cinco diseños de mezclas de concreto permeable, que incluían al diseño patrón (sin aditivo), basados en la metodología brindada por el ACI 522R-10; cada diseño corresponde a una distinta relación a/c y dosis de aditivo, consiguiendo relaciones a/c en el rango de 0.266 a 0.380. Se elaboró, además, un mismo número de probetas cilíndricas y prismáticas para cada diseño, y se determinó su resistencia a la compresión, módulo de rotura, permeabilidad, peso unitario y contenido de vacíos. Los concretos elaborados con el aditivo superplastificante alcanzaron resistencias a la compresión en el rango de 21.3 a 25.5 MPa y módulos de rotura en el rango de 3.95 a 5.15 MPa, resultados que, en su mayoría, fueron superiores a los obtenidos por el concreto permeable sin aditivo y al mismo tiempo fueron superiores a los requisitos mínimos de resistencia de la Norma CE.010. Las tasas de infiltración obtenidas oscilaron entre 2.94 y 3.97 mm/s, las cuales se encuentran en el rango de permeabilidad que menciona el ACI 522R-10. Se concluyó que el uso del aditivo superplastificante reduce la relación a/c del concreto permeable y con ello se obtiene resistencias mecánicas superiores a las alcanzadas por el concreto permeable sin aditivo y a las requeridas por la Norma CE.010.

**Palabras Clave:** Concreto permeable, aditivo superplastificante, relación a/c, resistencia a la compresión, módulo de rotura, tasa de infiltración o permeabilidad, contenido de vacíos.

## ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the variation of the mechanical resistance of an ordinary pervious concrete compared to permeable concretes with a superplasticizer additive and a lower w / c ratio. Five pervious concrete mix designs were prepared and compared, which included the standard design (without additive), which were carried out based on the methodology provided by ACI 522R-10; each design corresponds to a different a/c ratio and additive dose, achieving a/c ratios in the range of 0.266 to 0.380. The same number of cylindrical and prismatic specimens were made for each design, and their compressive strength, modulus of rupture, permeability, unit weight and void content were determined. The concretes made with the superplasticizer additive reached compressive strengths in the range of 21.3 to 25.5 MPa and Modulus of Rupture in the range of 3.95 to 5.15 MPa, results that, for the most part, were higher than those obtained by pervious concrete without additive and at the same time were higher than the minimum resistance requirements of Standard CE.010. The infiltration rates obtained ranged between 2.94 and 3.97 mm/s, which are in the permeability range mentioned by ACI 522R-10. It was concluded that the use of the superplasticizer additive allows to reduce the a/c ratio of pervious concrete and thus obtain mechanical strengths superior to those achieved by pervious concrete without additive and to those required by Standard CE.010.

**Key Words:** Pervious concrete, superplasticizer additive, w/c ratio, compressive strength, Modulus of rupture, infiltration or permeability rate, void content.

## INTRODUCCIÓN

La resistencia del concreto está ligada a la relación agua/cemento (en adelante *a/c*) debido a que existe una correspondencia inversa entre ellas, es decir, con una menor relación *a/c* se podrían alcanzar valores mayores de resistencia. El concreto permeable es elaborado con un alto contenido de vacíos (por encima del 15%), lo cual conduce a obtener menores resistencias a comparación de un concreto convencional. Debido a que el concreto permeable se elabora con una relación *a/c* muy baja, en la presente investigación se decidió elaborar un concreto permeable sin aditivo (diseño patrón) y 04 concretos permeables con un aditivo superplastificante (reductor de agua de alto rango) y con reducciones del agua de mezcla en el rango del 12% al 30%, para luego evaluar si se obtienen mejores resultados de resistencia a los obtenidos por el concreto permeable sin aditivo (patrón) y a los valores mínimos requeridos por la Norma CE.010 para el uso de concreto en pavimentos urbanos; además, se determinaría si los resultados de permeabilidad de los concretos elaborados se encuentran en el rango mencionado por el ACI 522R-10. La hipótesis planteada fue que, al añadir el aditivo superplastificante en distintas dosis, se reduciría la relación *a/c* del concreto permeable y se obtendrían mayores valores de resistencia a comparación del concreto permeable elaborado sin el aditivo, y al mismo tiempo mayores a los requeridos por la norma CE.010, con valores de permeabilidad dentro del rango mencionado por el ACI 522R-10.

Es importante brindar alternativas de solución ante el problema de la baja resistencia del concreto permeable, para que con ello se puedan ampliar los usos o aplicaciones que se le puedan dar al mismo. Al obtener resultados de resistencia a la compresión y módulos de rotura superiores a los exigidos por la Norma CE.010 - Pavimentos Urbanos,

para el uso de concreto en pavimentos urbanos y al mismo tiempo valores de permeabilidad en el rango que menciona el ACI 522R-10 – Reporte sobre Concreto Permeable, se podría motivar a la construcción de pavimentos permeables y mejorar el manejo del agua de escorrentía generada por fuertes precipitaciones, de esta manera se evitarían los encharcamientos e inundaciones que dañan la estructura de los pavimentos convencionales y a la población en general. Es importante ampliar el conocimiento actual sobre el concreto permeable y la relación existente entre las variables influyentes en su diseño, evaluando el efecto que estas tienen sobre sus características o propiedades finales, ya que con ello se podrá facilitar la obtención de mezclas de concreto permeable con resistencia suficiente para su uso en proyectos de pavimentación urbana.

# CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

## 1.1. Planteamiento y formulación del problema

### 1.1.1. Problema general

¿Cómo varía la resistencia mecánica (compresión y módulo de rotura) de un concreto permeable ordinario frente a concretos permeables elaborados con un aditivo superplastificante y relaciones a/c menores, para su uso en pavimentos urbanos?

### 1.1.2. Problemas secundarios

¿Puede usarse aditivo superplastificante para realizar reducciones de la cantidad de agua de mezcla en el rango de 12% a 30% y elaborar concretos permeables con relaciones a/c menores a la de un concreto permeable ordinario (patrón)?

¿Los concretos permeables con el aditivo alcanzan resistencias a la compresión y módulos de rotura mayores a los del concreto permeable patrón, y al mismo tiempo superiores a 17.5 y 3.4 MPa (175 y 34 kgf/cm<sup>2</sup>), respectivamente, para su uso en pavimentos urbanos de acuerdo a los requisitos de la Norma CE.010 – Pavimentos Urbanos?

¿Las tasas de infiltración alcanzadas por el concreto permeable patrón y los concretos permeables con el aditivo se encuentran en el rango de 0.14 a 1.22 cm/s mencionado por el ACI 522R-10 – Reporte sobre Concreto Permeable?

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo general

Determinar y evaluar la variación de la resistencia mecánica (Compresión y Módulo de Rotura) de un concreto permeable ordinario frente a concretos

permeables con un aditivo superplastificante y relaciones a/c menores, para su uso en pavimentos urbanos.

### **1.2.2. Objetivos específicos.**

Elaborar concretos permeables con aditivo superplastificante y relaciones a/c menores a la de un concreto permeable ordinario (patrón), llevando a cabo reducciones de la cantidad de agua de mezcla en el rango de 12% a 30%.

Determinar si los concretos permeables con el aditivo alcanzan resistencias a la compresión y módulos de rotura mayores a los del concreto permeable patrón, y al mismo tiempo superiores a 17.5 y 3.4 MPa (175 y 34 kgf/cm<sup>2</sup>), respectivamente, para su uso en pavimentos urbanos, de acuerdo a los requisitos de la Norma CE.010 - Pavimentos Urbanos.

Determinar si las tasas de infiltración alcanzadas por el concreto permeable patrón y los concretos permeables con el aditivo, se encuentran en el rango de 0.14 a 1.22 cm/s, mencionado por el ACI 522R-10 – Reporte sobre Concreto Permeable.

### **1.3. Justificación de la investigación**

La presente investigación es conveniente, ya que brinda una alternativa ante el problema de la baja resistencia del concreto permeable, y amplía los usos o aplicaciones que se le puedan dar al mismo.

Al obtener resultados de resistencia a la compresión y Módulo de Rotura (MR) suficientes, basándonos en los requisitos de resistencia exigidos por la Norma CE.010 - Pavimentos Urbanos (1) para el uso de concreto en pavimentos especiales y vías urbanas, y al mismo tiempo valores de permeabilidad en el rango que menciona el ACI 522R-10 – Reporte sobre Concreto Permeable (2), se podría motivar a la construcción de pavimentos permeables para mejorar el manejo del agua de escorrentía generada por fuertes precipitaciones y así evitar

los encharcamientos e inundaciones, ya que estos últimos afectan negativamente la vida útil de los pavimentos convencionales y a la población en general que los transita.

Es importante ampliar el conocimiento actual sobre el concreto permeable y la relación existente entre las variables de diseño y el efecto que estas tienen sobre sus características finales, ya que con ello se podrá facilitar la obtención de mezclas de concreto permeable con resistencias suficientes para su uso en proyectos de pavimentación urbana.

#### **1.4. Hipótesis y descripción de variables**

##### **1.4.1. Hipótesis**

###### **1.4.1.1. Hipótesis general**

El concreto permeable elaborado con un aditivo superplastificante y menor relación a/c que la del concreto permeable ordinario, alcanza mayores resistencias mecánicas (compresión y módulo de rotura) frente a las de este último, haciendo posible su uso en pavimentos urbanos.

###### **1.4.1.2. Hipótesis específicas**

Al usar un aditivo superplastificante se puede reducir la cantidad del agua de mezcla en el rango de 12 a 30% y elaborar concretos permeables con relaciones a/c menores a la de un concreto permeable ordinario (patrón).

En algunos casos, los concretos con el aditivo alcanzan resistencias a la compresión y Módulos de Rotura mayores a los del concreto permeable patrón y a los 17.5 y 3.4 MPa (175 y 34 kgf/cm<sup>2</sup>) respectivamente, requeridos por la Norma CE.010 - Pavimentos Urbanos.

Las tasas de infiltración del concreto permeable patrón y los concretos permeables con el aditivo si se encuentran en el rango de 0.14 a 1.22 cm/s que menciona el ACI 522R-10 – Reporte sobre Concreto Permeable.

#### **1.4.2. Descripción de variables**

##### **1.4.2.1. Variable independiente**

Cantidad de aditivo superplastificante, ya que se usarán distintas medidas del mismo para reducir la cantidad de agua para el diseño y elaboración de concreto permeable.

##### **1.4.2.2. Variables Dependientes**

Relación a/c, la cual variará con la cantidad de aditivo superplastificante usada.

Resistencia mecánica del concreto, se evaluará la resistencia a la compresión y el Módulo de Rotura, afectada por la inclusión del aditivo y la variación de la relación a/c.

Permeabilidad, afectada por la fluidez de la pasta de cemento al incluir el aditivo.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes del problema**

##### **2.1.1. Antecedentes nacionales**

Villanueva, 2020 (3), "Influencia de diferentes porcentajes del agregado fino en las propiedades mecánicas e hidráulicas de un concreto permeable, en Trujillo 2020", tesis para optar el título profesional de ingeniero civil. De los resultados obtenidos, alcanzó una resistencia a la tracción por flexión de 3.25 MPa (32.5 kgf/cm<sup>2</sup>), usando 15% de agregado fino en la mezcla de concreto, dicha resistencia es adecuada para pavimentos especiales; los resultados se encontraron en el rango del ACI 522R, y se determinó que con 15% de agregado fino se obtienen mejores propiedades mecánicas; sin embargo, la permeabilidad se reduce al valor de 2.18 mm/s.

Salis, 2016 (4), "Influencia del contenido de aire en concretos porosos con agregados de la cantera Yanag - Huánuco, 2016", tesis para optar el título profesional de ingeniero civil. Se estudió y analizó la influencia del contenido de aire en el concreto permeable, elaborando concretos con 15% a 20% de contenido de aire. De los resultados obtenidos, concluyó que la resistencia a la compresión varió entre 26.1 y 14.9 MPa (261 y 149 kgf/cm<sup>2</sup>), y la permeabilidad se encontró entre 0.49 cm/s y 2.32 cm/s para contenidos de vacíos de 15% y 20%, respectivamente.

##### **2.1.2. Antecedentes internacionales**

Manan et al, 2018 (5), "Investigación experimental de la resistencia a la compresión y la tasa de infiltración del concreto permeable mediante la reducción total de arena", artículo. El objetivo de su estudio fue investigar la resistencia a

la compresión del concreto permeable al reducir el agregado fino desde 0% a 100%. La resistencia a la compresión obtenida indicó que una mayor reducción de la arena lleva a una menor resistencia a la compresión, con casi 50% de disminución al quitar el 100% de arena de la mezcla de control. Se determinó que la reducción de agregado fino entre 0% y 40% no permite la infiltración del agua, y cuando se retiró el 100% de arena de la mezcla de control, la tasa de infiltración fue 273% más alta. La máxima resistencia a la compresión fue de 19.6 MPa (196 kgf/cm<sup>2</sup>) con una permeabilidad de 2.46 mm/s.

Kováč & Sičáková, 2018 (6), "Hormigón permeable como solución ambiental para pavimentos: enfoque en propiedades clave", artículo. Elaboraron mezclas de concreto permeable con relaciones a/c de 0.35, 0.30 y 0.25, y, evaluaron su resistencia a la compresión, resistencia a la tracción por compresión diametral, peso unitario, contenido de vacíos y permeabilidad. Para las relaciones a/c de 0.35, 0.30 y 0.25, las resistencias a la compresión obtenidas fueron de 14.5, 16.0 y 17.5 MPa (145, 160 y 175 kgf/cm<sup>2</sup>), permeabilidades de 8.6, 7.5 y 10.2 mm/s para contenidos de vacíos de 23, 23% y 26% respectivamente. Mencionan que la optimización del tipo y dosis de los aditivos químicos son necesarios para la producción de concreto permeable con una relación a/c muy baja.

Pereira, Lorenzi, Haselbach & Silva, 2018 (7), "Mejores prácticas para el diseño de mezclas de concreto permeable y pruebas de laboratorio", artículo. Obtuvieron dos tipos diferentes de muestras (moldeadas y extraídas) y métodos de compactación (Próctor y rodillo). La densidad de cada muestra se controló para obtener la misma densidad calculada. Se realizaron ensayos para comparar las siguientes variables: densidad, porosidad, tasa de infiltración, permeabilidad y resistencia a la compresión. Además, se evaluaron los efectos del tipo de refrentado (con mortero y caucho de neopreno) de las probetas sometidas al ensayo de compresión. El método de dosificación, con estricto control de

densidad, resultó eficiente para obtener la porosidad deseada, principalmente para las probetas moldeadas.

Joshi & Dave, 2016 (8), "Evaluación de la resistencia, la permeabilidad y la relación de vacíos del concreto permeable con cambios en la relación a/c y el tamaño del agregado", artículo. Mencionan que en el concreto permeable se usa una cantidad cuidadosamente controlada de agua y materiales cementosos para crear una pasta que forma una capa gruesa alrededor de las partículas de agregado; la mezcla contiene poca o ninguna arena, lo cual crea un contenido esencial de huecos en ella. Concluyeron que un agregado de mayor tamaño reduce la resistencia a la compresión del concreto permeable, la máxima resistencia a la compresión fue de 14.1 MPa (141 kgf/cm<sup>2</sup>), con una permeabilidad de 12.14 mm/s usando una relación a/c de 0.40 para un contenido de vacíos de 28.50%.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Concreto permeable**

El concreto permeable es especial debido a su estructura porosa por su alto contenido de vacíos; su composición es parecida a la del concreto convencional, ya que se basa en la combinación de agregado grueso, cemento, agua y opcionalmente aditivos, aunque se le puede adicionar una pequeña cantidad de agregado fino, lo cual podría traer consigo una mejora en su resistencia a la compresión, pero al mismo tiempo disminuir la permeabilidad del concreto. Según el Reporte ACI 522R-10 (2) el concreto permeable alcanza generalmente resistencias a la compresión en el rango de 2.8 a 28 MPa (28 a 280 kgf/cm<sup>2</sup>) (p. 1). La ausencia de agregado fino hace posible alcanzar porcentajes de vacíos entre los 15% y 35 %, con lo cual, como se puede apreciar en la Figura 1, y a comparación de un concreto convencional, el agua logrará pasar rápidamente

por su interior y de esta manera el concreto alcanzará valores de permeabilidad en el rango de 1.4 a 12.2 mm/s.

### **Figura 1**

*Muestra de concreto permeable*



**Fuente:** Recuperada del sitio web de “Southeast Cement Promotion Association”, <https://secement.org/wp-content/gallery/pervious-2015/photo1.jpg>

Se debe tener especial cuidado al determinar la cantidad de agua usada en la mezcla de concreto permeable, es decir, a la relación a/c, ya que este tipo de concreto es muy sensible a dicha cantidad en su elaboración; si se agrega agua en exceso la pasta de cemento podría ser muy fluida y sellaría los poros en la parte inferior de la mezcla, luego de que esta haya sido colocada, y ello ocasionaría una pérdida de permeabilidad, o, que el concreto no alcance los valores de permeabilidad deseados.

Algunas ventajas que se pueden obtener con el uso de pavimentos permeables respecto a pavimentos convencionales de concreto, son las siguientes:

- Disminuir los encharcamientos o inundaciones, los cuales suelen presentarse año tras año en ciudades con altas precipitaciones pluviales, similares a lo que puede apreciarse en la Figura 2.

## Figura 2

*Inundaciones provocadas por fuertes precipitaciones en la ciudad de Arequipa en enero del 2021*

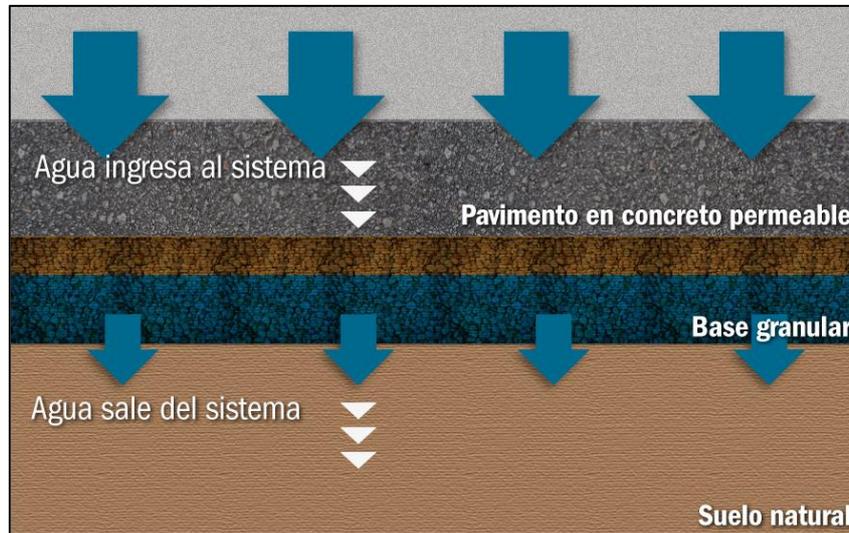


**Fuente:** Fotografía obtenida de la página de Internet <https://elbuho.pe/wp-content/uploads/2021/01/Lluvias-intensas3.png> .

- Mejor control del agua de escorrentía, evitando el encharcamiento de agua al conducirla a sistemas de alcantarillado adyacentes o minimizando el uso de estos últimos al permitir que el agua se infiltre al suelo, como se muestra en la Figura 3.

**Figura 3**

*Estructura típica de un pavimento de concreto permeable.*



**Fuente:** Recuperada del sitio web “360 EN CONCRETO”,  
<https://www.360enconcreto.com/Portals/%5BComunidad360%5D/concreto-permeable-grafic.png>.

- Menor riesgo de hidroplaneo al eliminar el agua de la superficie de los pavimentos.
- Menor riesgo de deslumbramiento en las superficies de los pavimentos, especialmente cuando está mojado por la noche.

Entre las principales desventajas de los pavimentos permeables, tenemos a las siguientes:

- Sensibilidad al contenido de agua durante la preparación de las mezclas, ya que se debe obtener una pasta de cemento que no fluya a la parte inferior del concreto cuando este se haya colocado, como el ejemplo que se muestra en la Figura 4.
- Uso limitado en áreas de tráfico de vehículos pesados, debido a su resistencia inferior a la que puede ser alcanzada por el concreto convencional.

- Prácticas de construcción especializadas para su preparación y colocación en campo, ya que no se pueden aplicar los métodos convencionales de compactación y acabado.

**Figura 4**

*Muestras de concreto permeable con cantidad excesiva de agua (izquierda) y con una cantidad adecuada de agua (derecha)*



**Fuente:** Propia, imagen tomada en agosto del 2019.

**2.2.2. Composición del concreto permeable**

Las mezclas de concreto permeable son similares a las de concreto convencional, con la diferencia de que el uso de agregado fino es limitado en la elaboración del concreto permeable, debido a que puede comprometer el sistema de poros interconectados; por lo tanto, los materiales que típicamente componen la mezcla de concreto permeable son: agregado grueso, cemento, agua, y opcionalmente aditivos y/o adiciones; al mezclar todos los materiales, el agregado grueso quedará cubierto por la pasta de cemento; y al ser colocado, la textura del mismo será similar a la que se muestra en la Figura 5.

## Figura 5

*Construcción de una acera de concreto permeable*



**Fuente:** Recuperada de la página de internet <https://www.baltimoresun.com/business/bs-md-porous-pavement-20140707-story.html> .

### **2.2.2.1. Agregado grueso**

El agregado grueso es el material que puede ser obtenido de partículas de roca triturada o grava natural que son retenidas en el tamiz N° 4 (4.75 mm). Es uno de los principales componentes del concreto, ya que ocupa el mayor volumen del mismo, y su calidad será elemental para obtener resultados óptimos en las estructuras de concreto.

De acuerdo al ACI 522R-10 (2), las gradaciones más comunes de agregado grueso usadas en la elaboración de concreto permeable son de los husos 7 (1/2". A No. 4), 8 (3/8" a No. 8), 67 (3/4" a No. 4), y 89 (3/8" a No. 16). Será necesario verificar la humedad y absorción del agregado al momento de elaborar las mezclas, ya que se debe corregir la cantidad de agua para conseguir la condición saturada superficialmente seca (SSS) del mismo, de no ser así, un agregado seco podría conducir a una mezcla sin la manejabilidad necesaria para su

colocación y compactación; en el caso contrario, los agregados con demasiada agua podrían ocasionar el drenaje de la pasta.

#### **2.2.2.1.1. Propiedades del agregado grueso**

Entre las propiedades del agregado grueso, necesarias para el diseño de mezclas de concreto permeable, tenemos las siguientes:

Contenido de humedad: se expresa como porcentaje, y es la relación entre el peso del agua en el agregado y la masa seca del mismo; dicho valor es importante, ya que determinará si el agregado aportará o quitará agua a la mezcla de concreto.

Granulometría: de acuerdo a la Norma NTP 400.011 (9), representa la distribución de los distintos tamaños del agregado, la Norma NTP 400.012 indica el procedimiento para su distribución por el método de tamizado. (p. 6)

Tamaño máximo: la Norma NTP 400.011 (9) indica que es la abertura del menor tamiz por la cual pasa toda la muestra de agregado. (p. 7)

Tamaño máximo nominal: de acuerdo a la Norma NTP 400.011 (9), es el volumen del menor tamiz de la serie en el cual se da lugar al primer retenido. (p. 7)

Densidad de masa (peso unitario): la Norma NTP 400.017 (10) la define como la masa de una unidad de volumen del agregado, incluyendo el volumen de las partículas y el volumen de vacíos entre ellas, se expresa en kg/m<sup>3</sup>. Para obtenerla se lleva a cabo los métodos de paleo y de varillado, de esta manera consiguen la densidad suelta y la densidad compactada, respectivamente. La densidad suelta se utilizará durante el transporte y almacenamiento del agregado, ya que en estos casos el agregado se encontrará en estado manejable; mientras que, la densidad compactada será usada en los cálculos de la dosificación o diseños de mezclas de concreto.

Peso específico: según la Norma NTP 400.021 (11), es la relación entre la masa de un volumen unitario de material y la masa del agua para el mismo volumen. Su valor es adimensional. (p. 3)

Absorción: La Norma NTP 400.021 (11), indica que es la cantidad de agua que ha absorbido el agregado luego sumergirse por 24 horas en ella, su valor es expresado como un porcentaje del peso seco. (p. 3)

En la Tabla 1 se muestran los ensayos y las normas de referencia para la determinación de las propiedades necesarias para el diseño de mezclas de concreto.

**Tabla 1**

*Normas para determinar propiedades del agregado grueso*

Descripción	Norma	
	ASTM	NTP
Contenido de Humedad	C 566	339.185
Granulometría	C 136	400.012
Peso Unitario Suelto y Varillado	C 29	400.017
Peso Específico y Absorción	C 127	400.021

**Fuente:** Elaboración propia.

#### **2.2.2.2. Cemento**

Rivva (12) indica que los cementos son materiales pulverizados que, al ser mezclados con una cantidad conveniente de agua forman una pasta capaz de endurecer en el agua o en el aire (p. 30). La producción de cemento puede resumirse en los siguientes pasos: moler el material calizo y material arcilloso, mezclarlo en ciertas proporciones y calcinarlos a alta temperatura, de esta manera el material se funde parcialmente formando bolas llamadas clinker, el cual al enfriarse se adiciona yeso, luego se tritura hasta obtener un polvo fino, y

el producto final es el denominado Portland, utilizado en gran medida alrededor del mundo.

De acuerdo al ACI 522R-10 (2), el cemento Portland conforme a ASTM C150/C150M, C595/C595M, o C1157/C1157M es utilizado como aglutinante principal en la elaboración del concreto permeable; además recomienda realizar ensayos para verificar que la compatibilidad del cemento y el aditivo no sea un problema, y el desarrollo de resistencia, porosidad y permeabilidad, sean los adecuados para las condiciones de colocación y de servicio previstas.

#### **2.2.2.3. Agua**

Se suele hacer referencia al papel que tiene la cantidad de agua en la elaboración del concreto cuando se habla de la relación a/c, la cual determinará si se obtendrán las solicitaciones de maleabilidad y resistencia requeridas. La cantidad de agua en la mezcla de concreto tendrá que brindar la suficiente trabajabilidad para que su manipulación y colocación en los encofrados o moldes sea óptima; mientras que, en estado endurecido, la dosis de agua deberá otorgar al concreto las características para las que ha sido diseñado.

El ACI 522R-10 (2) indica que el concreto permeable se dosifica con una relación a/c baja, la cual puede hallarse en el rango de 0.26 a 0.40, ya que demasiada agua conducirá al drenaje de la pasta y, consecuentemente, a la obstrucción del sistema de poros (p. 6); además, una relación a/c muy baja podría generar la formación de bolas dentro de la mezcladora, dando como resultado una mezcla poco homogénea, y una dificultad durante el mezclado de la misma.

#### **2.2.2.4. Aditivos**

La NTP 339.047 (13) refiere que es un producto químico que, al añadirse en cantidades pequeñas, permite obtener mejoras en algunas propiedades del concreto, tanto en su estado fresco como endurecido (p. 2). La Norma NTP

334.088 (14) menciona ocho tipos de aditivos químicos que son adicionados a las mezclas de concreto de cemento Portland para los propósitos que se indican a continuación:

Tipo A: reductores de agua

Tipo B: retardadores

Tipo C: aceleradores

Tipo D: reductores de agua y retardadores

Tipo E: reductores de agua y aceleradores

Tipo F: reductores de Agua de Alto Rango

Tipo G: reductores de agua de alto rango y retardadores

Tipo S: de desempeño específico

#### **2.2.2.5. Aditivos reductores de agua de alto rango (superplastificantes)**

La Norma NTP 339.047 (13) los define como aquellos que reducen en 12%, o más, la cantidad de agua utilizada para producir concreto con una consistencia adecuada (p. 3).

Al reducir la relación a/c se pueden alcanzar mayores valores de resistencia en el concreto endurecido, estos aditivos también se usan en la elaboración de concretos con una relación a/c muy baja, ya que pueden otorgarles mayor fluidez, haciéndolos trabajables sin la necesidad de adicionar agua.

Ferraz (15) dice:

La función de los aditivos reductores de agua es dispersar las partículas de cemento en hidratación, liberando el agua retenida entre los granos de cemento, aumentando la fluidez de la mezcla. Los reductores de agua se adsorben en la superficie de las partículas de cemento en hidratación, produciendo repulsión entre los granos adyacentes del cemento debido a una combinación de fuerzas electrostáticas, resultando en defloculación,

consecuentemente, el agua retenida entre los granos es liberada, aumentando la plasticidad de la mezcla. (p. 23)

### **2.2.3. Propiedades del concreto permeable**

Las características que presenta el concreto permeable son distintas a las del concreto convencional, esto se debe a la baja relación a/c usada en la elaboración de las mezclas y al elevado contenido de vacíos con el cual se diseñan las mismas.

Entre las propiedades del concreto permeable tenemos: asentamiento, peso unitario fresco, peso unitario endurecido, contenido de vacíos, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y la permeabilidad.

#### **2.2.3.1. Asentamiento - consistencia (ASTM C143 - NTP 339.035)**

Según Rivva (12), la consistencia define la humedad de una mezcla por el grado de fluidez de la misma, por lo que, cuanto más húmeda es la mezcla, mayor será la facilidad con la que el concreto fluirá durante su colocación (p. 208). El método más usado para determinar la consistencia es la prueba del Cono de Abrams, o también conocido como prueba de asentamiento – Slump, el cual consiste en colocar y compactar el concreto en un molde en forma de cono trunco, luego retirar el molde y medir la distancia desde la parte superior del molde (usada como referencia para la posición inicial del concreto) hasta la nueva altura en la cara superior del concreto, así como se observa en la Figura 6.

## Figura 6

### Ensayo de Asentamiento – Slump del Concreto



**Fuente:** Recuperada del sitio web “360 EN CONCRETO”,  
<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/ensayo-de-asentamiento-del-concreto>

El concreto permeable, al ser una mezcla rígida, es conocido como concreto sin asentamiento, ya que normalmente presenta asentamientos iguales a cero o menores a 25 mm. En la Tabla 2 se muestran las distintas medidas de consistencia para el concreto, proporcionadas por el ACI 211.3R-02 (2002) (16).

### Tabla 2

#### Medidas de consistencia para asentamiento

Consistencia	Slump (mm)
Extremadamente seco	---
Muy Rígido	---
Rígido	0 a 25
Plástico Rígido	25 a 75
Plástico	75 a 125
Muy Plástico	125 a 190

**Fuente:** Recuperada y adaptada de ACI 211.3R-02 – Guía para la selección de proporciones para concreto sin asentamiento – Instituto Americano del Concreto (ACI), (2002).

### **2.2.3.2. Densidad (peso unitario) y contenido de vacíos**

La densidad del concreto permeable se relaciona con las propiedades y las cantidades de los materiales que conforman la mezcla, además de los métodos de compactación empleados para su colocación; un agregado con mayor peso específico conducirá a un mayor peso unitario del concreto, a comparación de una mezcla con un agregado más liviano.

En base al ACI 522R-10 (2), el esfuerzo de compactación tendrá influencia sobre el contenido de vacíos, la porosidad y la densidad de las mezclas de concreto permeable.

Usando distintos tipos de compactación, Meininger (17) obtuvo pesos unitarios que variaron desde 1682 kg/m<sup>3</sup> (sin compactación) hasta, aproximadamente, 1922 kg/m<sup>3</sup> (varillado según ASTM C 31); menciona también que una compactación excesiva podría reducir el contenido de vacíos por debajo del 15%, y una compactación muy baja conducirá a una estructura con un contenido de vacíos muy alto, y al mismo tiempo una resistencia baja.

#### **2.2.3.2.1. Densidad y contenido de vacíos del concreto permeable fresco (ASTM C 1688 - NTP 339.230).**

El procedimiento de ensayo indicado por la Norma NTP 339.230 (18) consiste en colocar una muestra de concreto en capas en un recipiente de medida y compactar cada capa con un número determinado de golpes, se puede usar un martillo Próctor estándar o un martillo Marshall; la densidad y el contenido de vacíos se calculan según el volumen del recipiente, y la masa de la mezcla de concreto dentro del mismo. Los resultados se obtienen al reemplazar los datos en las siguientes fórmulas:

Para la densidad:

$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m}$$

Donde:

D : densidad (peso unitario)

M<sub>c</sub> : masa del recipiente con concreto

M<sub>m</sub> : masa del recipiente

V<sub>m</sub> : volumen del recipiente de medida

Para la densidad teórica:

$$T = \frac{M_s}{V_s}$$

Donde:

M<sub>s</sub> : masa de los sólidos

V<sub>s</sub> : volumen de los sólidos

Para el contenido de vacíos:

$$U = \frac{T - D}{T} \times 100$$

Donde:

U : Contenido de vacíos

#### **2.2.3.2.2. Densidad y contenido de vacíos del concreto permeable endurecido (ASTM C 1754 - NTP 339.238)**

El procedimiento de ensayo de la Norma NTP 339.238 (19) consiste en obtener las dimensiones de la probeta de concreto, secarla hasta masa constante, registrar su masa en el aire y posteriormente determinarla dentro del agua para obtener el volumen que es ocupado por los sólidos. El contenido de vacíos es la

diferencia entre el volumen total de la probeta (por sus dimensiones) y el volumen que es desplazado cuando se sumerge en el agua (volumen de los sólidos). El cálculo de los resultados se realiza usando las siguientes fórmulas:

Para la densidad:

$$Densidad = \frac{K \times A}{D^2 \times L}$$

Donde:

A : masa seca de la probeta, gr

D : diámetro promedio de la probeta, mm

L : longitud promedio de la probeta, mm

K : 1 273 240 en unidades SI

Para el contenido de vacíos:

$$Contenido\ de\ vacíos = \left[ 1 - \left( \frac{K \times (A - B)}{\rho_w \times D^2 \times L} \right) \right] \times 100$$

Donde:

B : masa de la probeta sumergida en agua, gr

$\rho_w$  : densidad del agua, kg/m<sup>3</sup>

### **2.2.3.3. Resistencia del concreto.**

#### **2.2.3.3.1. Resistencia a la compresión (ASTM C39 - NTP 339.034).**

La medida de desempeño más utilizada para realizar el diseño y control de estructuras de concreto es la resistencia a la compresión, puede determinarse llevando a cabo la rotura de probetas cilíndricas en una prensa, de acuerdo a la Norma NTP 339.034 (20), tal como se puede apreciar en la Figura 7, ensayadas a una edad específica, que para motivos de aceptación se considera los 28 días.

El resultado del ensayo generalmente se expresa en  $\text{kgf/cm}^2$ , y se calcula usando la siguiente fórmula:

$$f'c = \frac{F}{A}$$

Donde:

$f'c$  : resistencia a la compresión

F : carga máxima aplicada

A : área de la probeta

### Figura 7

*Ensayo de resistencia a la compresión de una probeta cilíndrica*

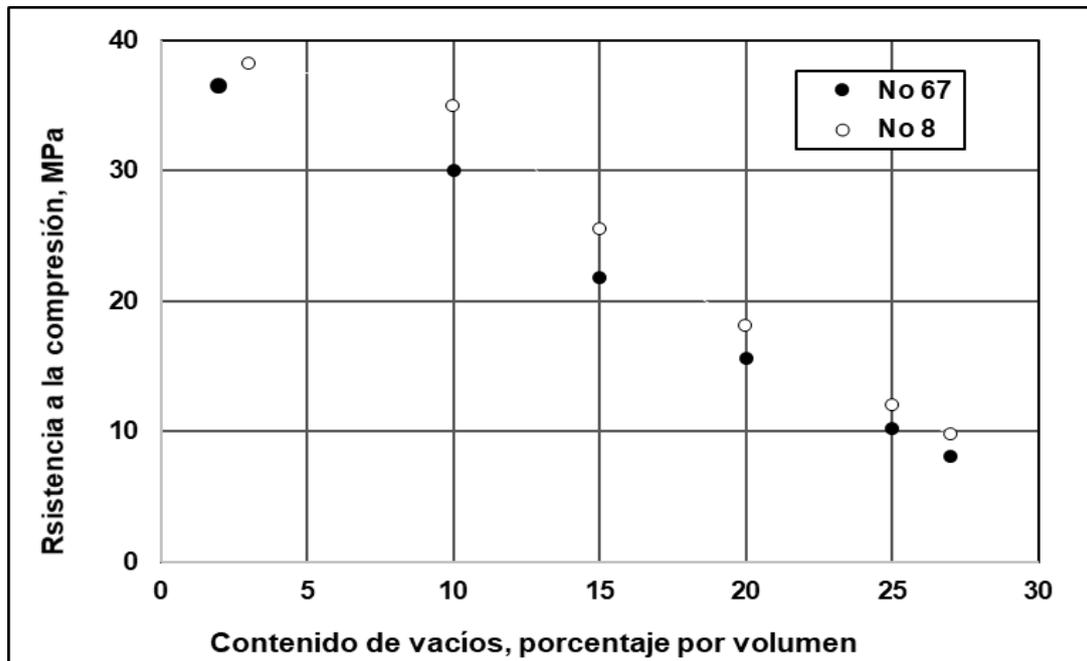


**Fuente:** Propia, tomada en el laboratorio de Ingeniería Civil de la UCSP de Arequipa en diciembre del 2019.

En la Figura 8 se observa que un menor contenido de vacíos y el uso de un agregado grueso de menor tamaño permitirían obtener una resistencia mayor a la compresión.

**Figura 8**

*Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la compresión a los 28 días para el agregado de tamaños No. 67 y No. 8.*



**Fuente:** Recuperada y adaptada de ACI 522R-10 – Reporte sobre Concreto Permeable – Instituto Americano del Concreto (ACI), 2010.

La Norma CE.010 (1) considera como pavimentos especiales a: aceras o veredas, pasajes peatonales y ciclovías; además indica los requisitos mínimos de los elementos que los componen, los cuales se muestran en la Figura 9, en ella se aprecia que el concreto debe tener una resistencia a la compresión igual o mayor a 17.5 MPa (175 kgf/cm<sup>2</sup>) para ser usado en la capa de rodadura de dichos pavimentos.

**Figura 9**

*Requisitos mínimos de los elementos de pavimentos especiales*

Elemento		Tipo de Pavimento		Aceras o Veredas	Pasajes Peatonales	Ciclo vías
Sub-rasante		95 % de compactación: Suelos Granulares - Proctor Modificado Suelos Cohesivos - Proctor Estándar				
		Espesor compactado: $\geq 150$ mm				
Base		CBR $\geq 30$ %			CBR $\geq 60$ %	
Espesor de la capa de rodadura	Asfáltico	$\geq 30$ mm				
	Concreto de cemento Portland	$\geq 100$ mm				
	Adoquines	$\geq 40$ mm (Se deberán apoyar sobre una cama de arena fina , de espesor comprendido entre 25 y 40 mm)				
Material	Asfáltico	Concreto asfáltico*				
	Concreto de cemento Portland	$f_c \geq 17,5$ MPa (175 kg/cm <sup>2</sup> )				
	Adoquines	$f_c \geq 32$ MPa (320 kg/cm <sup>2</sup> )			N.R. **	

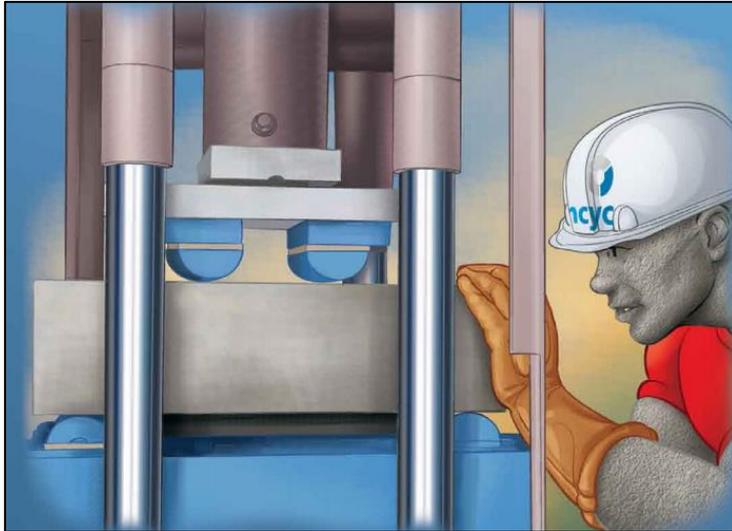
**Fuente:** Recuperada de la Norma CE.010 – Pavimentos Urbanos, Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), 2010.

### 2.2.3.3.2. Resistencia a la Flexotracción o Módulo de Rotura (ASTM C78 - NTP 339.078)

La Norma CE.010 (1) indica que el Módulo de Rotura es una medida de la Resistencia a la tracción por flexión del concreto y se determina mediante el ensayo ASTM C78 de la viga cargada en los tercios (p. 37), o su equivalente la Norma Técnica Peruana NTP 339.078 (21). En la Figura 10 se muestra una representación del ensayo.

## Figura 10

*Representación del ensayo de flexión de vigas cargadas en los tercios*



**Fuente:** Recuperada de “Determinación de la resistencia a la flexión del concreto”,  
Revista Construcción y Tecnología,  
<http://www.imcyc.com/ct2008/dic08/dic08/images/pdf/PROBLEMAS.pdf>

Si la falla ocurre en el tercio central, de acuerdo a la Norma NTP 339.078 (21),  
el módulo de rotura se calcula con la siguiente fórmula:

$$MR = \frac{P L}{b \times h^2}$$

Donde:

MR : módulo de rotura, en kgf/cm<sup>2</sup>

P : carga máxima de rotura, en kg

L : luz libre entre apoyos, en cm

b : ancho promedio de la viga en la sección de falla, en cm

h : altura promedio de la viga en la sección de falla, en cm

Si la falla ocurre fuera del tercio medio y a una distancia de este, no mayor a 5%  
de la luz libre, de acuerdo a la Norma NTP 339.078 (21), el módulo de rotura se  
calcula con la siguiente fórmula:

$$MR = \frac{3 P a}{b x h^2}$$

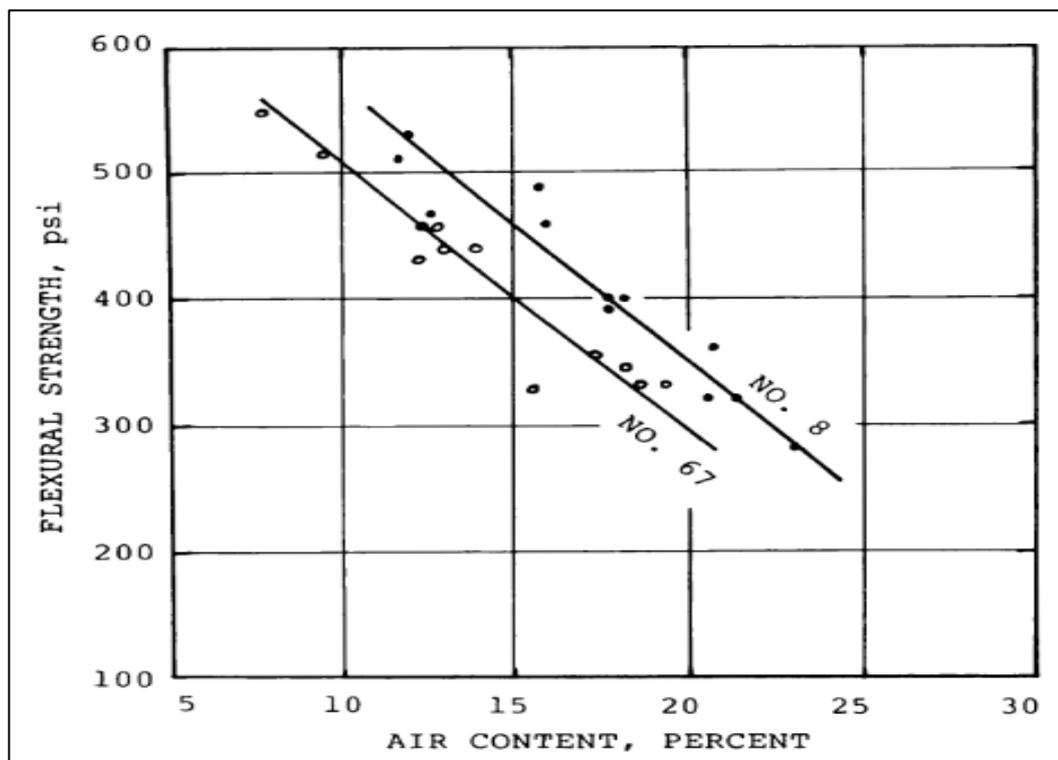
Donde:

a : Distancia entre la línea de falla y el apoyo más cercano, medida a lo largo de la línea central de la superficie inferior de la viga, en mm.

En la Figura 11 se observa que, al igual que para la resistencia a la compresión, un menor contenido de vacíos y el uso de agregado grueso de menor tamaño, le otorgará al concreto una mayor resistencia a la flexión.

**Figura 11**

*Relación entre el contenido de aire (porcentaje) y la resistencia a la flexión de vigas*



**Fuente:** Recuperada de "No-Fines Pervious Concret for Paving", Meininger, 1988.

La Norma CE.010 (1) considera como vías urbanas a vías: locales, colectoras, arteriales y expresas; e indica los requisitos mínimos de los elementos que las componen, los cuales se muestran en la Figura 12. Se aprecia que el concreto debe tener un módulo de rotura igual o superior a 3.4 MPa (34 kgf/cm<sup>2</sup>) para que sea usado en la capa de rodadura de dichos pavimentos.

**Figura 12**

*Requisitos mínimos para los pavimentos de vías urbanas.*

Elemento		Tipo de Pavimento	
		Flexible	Rígido
Sub-rasante		95 % de compactación: Suelos Granulares - Proctor Modificado Suelos Cohesivos - Proctor Estándar	
		Espesor compactado: ≥ 250 mm – Vías locales y colectoras ≥ 300 mm – Vías arteriales y expresas	
Sub-base		CBR ≥ 40 % 100% Compactación Proctor Modificado	CBR ≥ 30 % 100% compactación Proctor Modificado
Base		CBR ≥ 80 % 100% Compactación Proctor Modificado	N.A.*
Imprimación/capa de apoyo		Penetración de la Imprimación ≥ 5 mm	N.A.*
Espesor de la capa de rodadura	Vías locales	≥ 50 mm	≥ 150 mm
	Vías colectoras	≥ 60 mm	
	Vías arteriales	≥ 70 mm	
	Vías expresas	≥ 80 mm	
Material	Vías locales	Concreto asfáltico ***	MR ≥ 3,4 MPa (34 kg/cm <sup>2</sup> )
	Vías colectoras		
	Vías arteriales		
	Vías expresas		
			Cama de arena fina, de espesor comprendido entre 25 y 40 mm.
			≥ 60 mm
			≥ 80 mm
			NR**
			NR**
			f <sub>c</sub> ≥ 38 MPa (380 kg/cm <sup>2</sup> )

**Fuente:** Recuperada de la “Norma CE.010 – Pavimentos Urbanos”, Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), 2010.

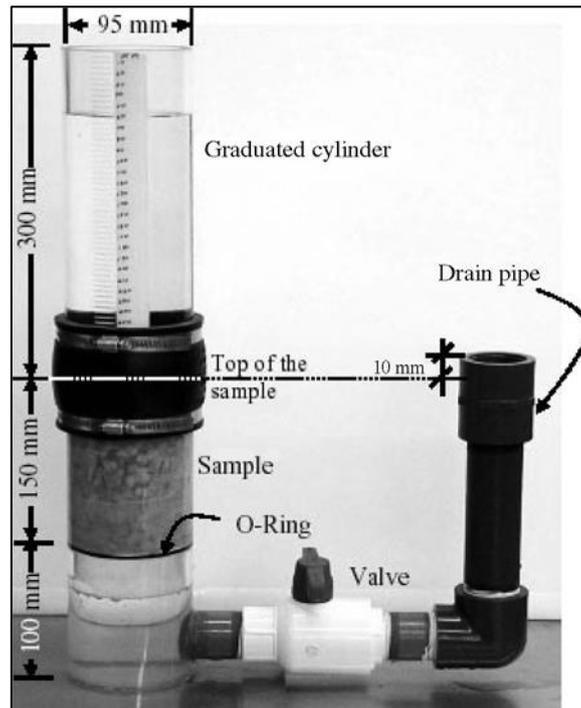
#### 2.2.3.4. Permeabilidad (ACI 522R-10)

Es la capacidad que tendrá el concreto para dejar pasar el agua por su interior, se relaciona con el contenido de vacíos del mismo. El ACI 522R-10 (2) apunta: “La tasa de infiltración del pavimento permeable variará con el tamaño del agregado y la densidad de la mezcla, pero generalmente se ubicará en el rango

de [...] 0.14 a 1.22 cm/s.” (p.1); además indica que la permeabilidad puede medirse con un simple Permeámetro de Cabeza Descendente, como el que se aprecia en la Figura 13.

**Figura 13**

*Permeámetro de Cabeza Descendente*



**Fuente:** Recuperada de “ACI 522R-10 – Reporte sobre Concreto Permeable”, Instituto Americano del Concreto (ACI), 2010.

La fórmula que se usa para calcular la permeabilidad usando un permeámetro de carga variable es la siguiente:

$$\text{Permeabilidad} = \frac{L}{t} \times \frac{a}{A} \times \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

Donde:

L : longitud de la probeta de concreto permeable

t : tiempo que demora el agua en llegar de h1 hasta h2

a : área de la probeta de concreto permeable

A : área del tubo de acrílico

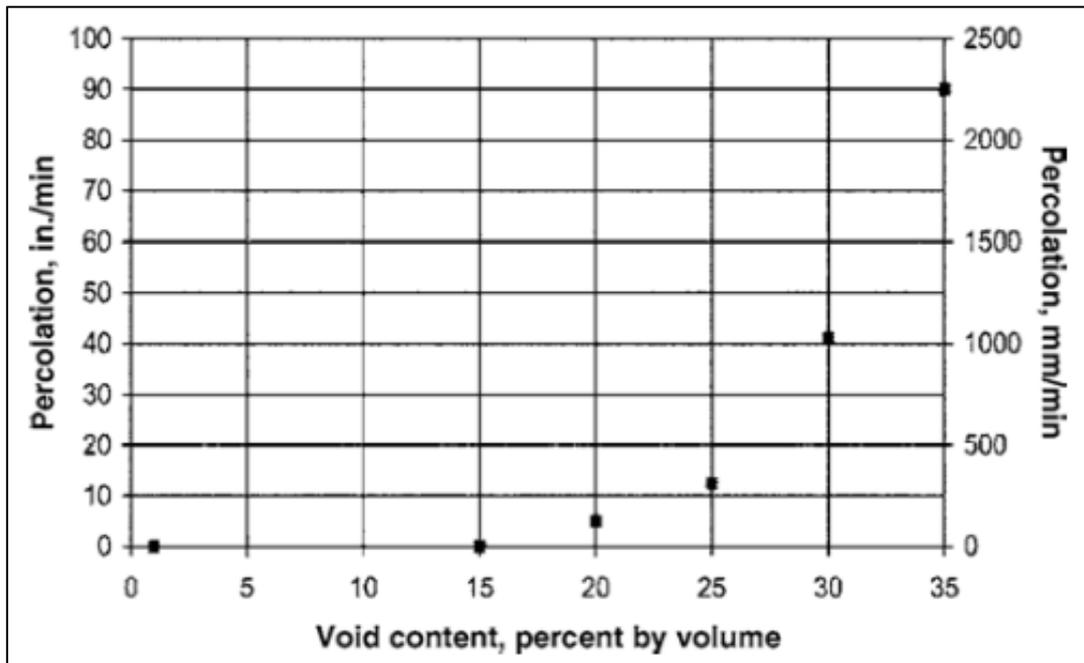
h 1 : altura inicial del agua

h 2 : altura final del agua

En la Figura 14 se aprecia que, a medida que se incrementa el contenido de vacíos, pueden obtenerse mayores valores de permeabilidad; además, de acuerdo al ACI 522R-10, un contenido de vacíos inferior al 15% no permite una rápida filtración a través del concreto.

**Figura 14**

*Relación entre el contenido de vacíos y la permeabilidad*



**Fuente:** Recuperada de “ACI 522R-10 – Reporte sobre Concreto Permeable”, Instituto Americano del Concreto (ACI), 2010.

#### **2.2.4. Diseño de mezclas de concreto permeable de acuerdo al ACI 522R-10.**

Antes de realizar el diseño de mezclas, será necesario haber definido el contenido de vacíos y la relación a/c que será usada en la preparación de las mezclas de concreto permeable.

El contenido de vacíos se define en función de la resistencia deseada o la permeabilidad requeridas en el proyecto; como se pudo apreciar en las Figuras 8 y 11, con un menor contenido de vacíos pueden obtenerse mayores valores de resistencia, pero sucede lo contrario cuando se trata de la permeabilidad, tal como se observó en la Figura 14.

En el caso del concreto permeable, la elección de la relación a/c dependerá de la estabilidad de la pasta de cemento, tal como se mostró en la Figura 4. Es importante obtener una pasta de cemento estable para evitar que fluya hacia la parte inferior del concreto cuando este sea colocado, asegurando que se obtendrá una estructura porosa, a diferencia del concreto convencional, para el cual la relación a/c se determina en función a la resistencia esperada, o la trabajabilidad necesaria para la colocación del concreto.

El ACI 522R-10 nos proporciona una metodología sencilla para poder diseñar las mezclas de concreto permeable, la misma que consiste en los pasos que se mencionan a continuación:

- Determinar el peso del agregado
- Ajustar el peso del agregado a la condición de SSS.
- Determinación del contenido de pasta
- Determinar el peso del cemento
- Determinar el peso del agua
- Determinar el volumen sólido
- Verificar el contenido de vacíos

En la Tabla 3 se pueden apreciar las proporciones típicas usadas en la elaboración del concreto permeable.

**Tabla 3**

*Rangos típicos de proporciones usadas para la elaboración de concreto permeable*

<b>Descripción</b>	<b>Proporción kg/m3</b>
Material cementante	270 a 415
Agregado	1190 a 1480
w/cm (relación a/c), por masa	0.27 a 0.34
Relación agregado:cemento, por masa	4 a 4.5:1
Relación finos:agregado grueso, por masa	0 a 1:1

**Fuente:** Recuperada y adaptada de “ACI 522R-10 – Reporte sobre Concreto Permeable”, Instituto Americano del Concreto (ACI), 2010.

Es necesario realizar pruebas al concreto antes de que este sea usado en un proyecto, para asegurar que cumplirá con las solicitudes del mismo.

#### **2.2.4.1. Determinar el peso del agregado**

Se hará uso del peso unitario varillado del agregado, el cual será multiplicado por el factor  $b/b_0$ , este último se obtiene de la Tabla 4, en la cual se usa el contenido de agregado fino y el tamaño del agregado grueso.

**Tabla 4**

*Valores Efectivos  $b/b_0$*

<b>Porcentaje de Agregado Fino</b>	<b><math>b/b_0</math></b>	
	<b>ASTM C33/C33M Tamaño No. 8</b>	<b>ASTM C33/C33M Tamaño No. 67</b>
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

**Fuente:** Recuperada y Adaptada de “ACI 522R-10 – Reporte sobre Concreto Permeable”, Instituto Americano del Concreto (ACI), 2010.

Seguidamente se utiliza la siguiente fórmula para obtener el peso del agregado grueso:

$$\text{Peso del agregado grueso seco} = (P.U.Var.) \times (b/b_0)$$

Donde:

P.U. Var.: peso unitario varillado

#### **2.2.4.2. Ajustar el peso del agregado a la condición de SSS.**

Para ajustar el peso del agregado a la condición de SSS (Saturado Superficialmente Seco) se le adicionará el resultado de multiplicar el peso del agregado por el porcentaje de absorción del mismo, para ello se hará uso de la siguiente fórmula:

$$\text{Peso del agregado grueso SSS} = \text{Peso del agregado grueso seco} \times \left(1 + \frac{\% \text{ Abs}}{100}\right)$$

Donde:

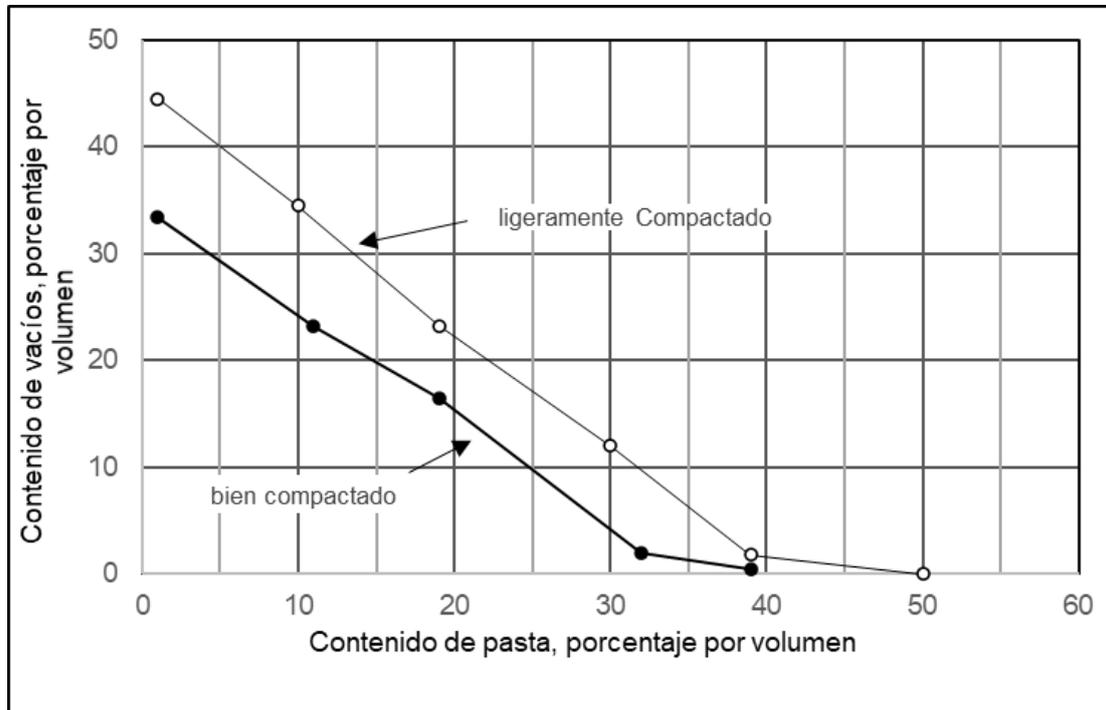
% Abs : porcentaje de absorción del agregado grueso

#### **2.2.4.3. Determinación del contenido de pasta**

El contenido aproximado de la pasta de cemento puede determinarse inicialmente de la Figura 15, en función del contenido de vacíos y el nivel de compactación. En el gráfico se ubica el contenido de vacíos en el eje vertical, luego se proyecta dicho valor hasta la curva correspondiente al nivel de compactación elegido (ligera o bien compactado) y el punto en el que se intercepten se vuelve a proyectar hacia el eje horizontal, el cual corresponde al contenido de pasta, expresado como porcentaje del volumen de concreto.

**Figura 15**

*Relación entre el contenido de pasta y el contenido de vacíos para agregado de Tamaño No. 8.*



**Fuente:** Recuperada y Adaptada de “ACI 522R-10 – Reporte sobre Concreto Permeable”, Instituto Americano del Concreto (ACI), 2010.

Respecto a la compactación, Meininger (17) menciona que los niveles “ligeramente compactado” y “bien compactado”, correspondían a 5 golpes con un apisonador y al varillado, de acuerdo a la Norma ASTM C31, respectivamente.

#### **2.2.4.4. Determinar el peso del cemento**

La pasta de cemento estará compuesta por el cemento, el agua de mezcla y la dosis de aditivo; por lo tanto, al conocer el contenido de pasta, la relación a/c, dosis de aditivo y las propiedades físicas de los materiales, puede determinarse el peso del cemento usando la siguiente fórmula:

$$c = (Vp * \rho a) / [(1 / GE c) + (a/c) + (\% ad / (100 * GE ad))]$$

Donde:

$c$  : peso del cemento

$V_p$  : volumen de la pasta

$\rho_a$  : densidad del agua

$GE_c$  : gravedad específica del cemento

$a/c$  : relación agua/cemento

$\% ad$  : dosis de aditivo

$GE_{ad}$  : gravedad específica del aditivo

La fórmula presentada fue adaptada del ACI 522R-10 (2), ya que en dicho reporte no se considera el uso del aditivo; la dosis de aditivo se deberá definir previamente realizando pruebas con el cemento y el agua, similar a las que se realizan para determinar la relación  $a/c$ , pues un aditivo superplastificante puede conducir a una mayor fluidez de la pasta de cemento y, consecuentemente, a que esta fluya hacia la parte inferior del concreto.

#### **2.2.4.5. Determinar el peso del agua**

Al conocer el peso del cemento y la relación  $a/c$ , podemos determinar el peso del agua, para ello usamos la siguiente fórmula:

$$a = ( a/c ) c$$

Donde:

$a$  : peso del agua

#### **2.2.4.6. Determinar el volumen sólido**

Se obtiene sumando los volúmenes totales de cada material, los cuales se consiguen en función de los pesos obtenidos anteriormente y las relaciones

existentes entre sus propiedades físicas; por lo tanto, el volumen sólido se representa con la siguiente expresión:

$$V_s = V_{ag} + V_c + V_{ad} + V_a$$

Donde:

$V_s$  : volumen sólido

$V_{ag}$  : volumen de agregado grueso

$V_c$  : volumen de cemento

$V_a$  : volumen de agua

$V_{ad}$  : volumen de aditivo

#### **2.2.4.7. Verificar el contenido de vacíos**

Luego de obtener el volumen sólido, se calcula el contenido de vacíos alcanzado en el diseño y expresado como porcentaje. El volumen de vacíos será la diferencia entre el volumen por unidad cúbica y el volumen sólido en la misma.

Para su cálculo se usa la siguiente fórmula:

$$\text{Contenido de vacíos (\%)} = (V_t - V_s) / (V_t) * 100$$

Donde:

$V_s$  : Volumen Sólido

$V_t$  : Volumen total (unidad cúbica)

#### **2.2.5. Definición de términos básicos**

Aditivo: la Norma NTP 339.047 (13) define que es un producto químico que, al añadirse en pequeñas proporciones, contribuye a mejorar las propiedades del concreto. (p. 2)

Aditivo superplastificante: también denominado reductor de agua de alto rango. Es aquel aditivo que permite la reducción del agua de mezcla en rangos iguales o superiores al 12%.

Agregado grueso: según la Norma NTP 400.011 (9), es el agregado que se retiene en la malla N.º 4 y que cumple los límites de la Norma NTP 400.037. (p. 4)

Cemento Pórtland: de acuerdo al ACI 116R (22) es el “cemento hidráulico que se produce pulverizando clinker de cemento [...] y que generalmente contiene sulfato de calcio” (p. 12).

Concreto: el ACI 116R (22) menciona que es el material que se compone por un medio ligante, en cuyo interior se encuentra generalmente una combinación de agregado fino y agregado grueso; en el concreto de cemento Pórtland el ligante es la mezcla de cemento Pórtland y agua. (p. 15)

Concreto permeable: de acuerdo al ACI 522R-10 (2), es el concreto con los suficientes vacíos interconectados que da como resultado un material altamente permeable y, por consiguiente, permite el paso del agua (p. 3).

Contenido de vacíos: de acuerdo al ACI 522R-10 (2): “Es la relación entre el volumen de vacíos, incluido el aire atrapado y el aire retenido, con respecto al volumen total expresado como porcentaje” (p. 3).

Módulo de rotura (MR): la Norma CE.010 (1) indica que: “Es una medida de la resistencia a la tracción por flexión del concreto y se determina por medio del ensayo ASTM C78 de la viga cargada en los tercios” (p. 43).

Pavimento: la Norma CE.010 (1) lo define como la “estructura compuesta por capas que se apoya en toda su superficie sobre el terreno preparado para soportarla durante un lapso denominado Período de Diseño y dentro de un rango de Serviciabilidad” (p. 43); además menciona que se incluye en esta definición a pistas, estacionamientos, aceras o veredas, pasajes peatonales y ciclovías.

Relación agua/cemento (a/c): es la relación existente entre la masa de agua y la del cemento, para el concreto permeable, de acuerdo al ACI 522R-10 (2), los valores típicos se encuentran en el rango de 0.27 a 0.34.

Resistencia: el ACI 116R (22) menciona es “un término genérico para la capacidad de un material para resistir la tensión o ruptura inducida por fuerzas externas” (p. 63).

Resistencia a la compresión: de acuerdo con el ACI 116R (22), es “la resistencia máxima de una muestra de concreto o mortero a la carga de compresión axial; expresada como fuerza por unidad de área de sección transversal; o la resistencia especificada utilizada en los cálculos de diseño” (p. 63).

Resistencia a la flexión: el ACI 116R (22) indica que en el caso del concreto no reforzado, es “la tensión a la que la resistencia a la tracción del concreto alcanza el módulo de rotura” (p. 64).

Tasa de infiltración (permeabilidad): el ACI 522R-10 (2) menciona que es la tasa a la cual el agua se mueve a través del concreto permeable (p. 3).

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Método y alcance de la investigación**

El método a emplear es científico, con un enfoque de tipo aplicada y nivel correlacional. Se realizarán ensayos de laboratorio para conocer el efecto que tiene el uso de un aditivo superplastificante y la respectiva reducción de la relación a/c, sobre la resistencia a la compresión, el módulo de rotura y la permeabilidad del concreto permeable.

#### **3.2. Diseño de la investigación**

Se considera que la presente investigación es de tipo experimental – cuasi experimental. Hernández, Fernández & Baptista (2014) (23), indican que: “En un experimento, la variable independiente resulta de interés para el investigador, ya que hipotéticamente será una de las causas que producen el efecto supuesto. Para obtener evidencia de esta supuesta relación causal, el investigador manipula la variable independiente y observa si la dependiente varía o no. Aquí, manipular es sinónimo de hacer variar o asignar distintos valores a la variable independiente”. (p.130)

En la presente investigación se usarán distintas cantidades de aditivo superplastificante para conseguir reducciones de la relación a/c frente a las de un concreto permeable ordinario (sin el aditivo) y se evaluarán las propiedades finales de estos concretos en estado endurecido.

La investigación se llevará a cabo de la siguiente manera: se obtendrán los materiales necesarios y sus características correspondientes, se determinarán las relaciones a/c respectivas y se realizan 05 diseños de mezclas; el primer

diseño corresponderá al concreto permeable ordinario (patrón) y los 04 diseños restantes incluirán el aditivo superplastificante con reducción de la relación a/c. Se prepararán las mezclas y se llevarán a cabo los ensayos de: asentamiento-Slump, peso unitario y contenido de vacíos al concreto en estado fresco; seguidamente se moldearán las probetas cilíndricas de 10x20 cm y prismáticas de 15x15x50 cm, necesarias para determinar las características del concreto en estado endurecido.

Se llevarán a cabo los ensayos de resistencia a la compresión del concreto a la edad de 3, 7, 14, 21 y 28 días, y de resistencia a la tracción por flexión para obtener el Módulo de Rotura del concreto a la edad de 28 días; se compararán los resultados obtenidos entre diseños y también serán comparados con la resistencia a la compresión y el Módulo de Rotura requeridos por la Norma CE.010 (1) para el uso del concreto en pavimentos especiales y en vías urbanas. Se determinará la permeabilidad del concreto usando con un permeámetro de cabeza descendente, similar al mostrado en el ACI 522R-10 (2), y se determinará si los valores obtenidos se encuentren dentro el rango que se menciona en dicho reporte.

Adicionalmente se obtendrá el peso unitario y contenido de vacíos del concreto permeable en estado endurecido, los resultados serán comparados y se determinará la variación existente respecto a los valores teóricos obtenidos en el diseño de mezclas.

### **3.3. Población y muestra**

#### **3.3.1. Población**

Se considera como población a las mezclas de concreto permeable ordinario o con aditivo superplastificante similares a los de la presente investigación.

### 3.3.2. Muestra

La muestra estará constituida por un total de 120 probetas cilíndricas y 20 probetas prismáticas, las cuales corresponderán a cinco diseños de mezclas que incluyen un diseño de concreto permeable ordinario (sin finos, aditivos ni adiciones) y 04 diseños de concreto permeable con el aditivo superplastificante y la reducción respectiva de la relación a/c. En la Tabla 5 se muestra en detalle del número de probetas y el uso respectivo que se le dará a las mismas.

**Tabla 5**

*Cantidad de probetas usadas en la presente investigación*

Descripción	Tipo de Probeta	Dimensiones	Edad (días)	Cantidad	Diseños	Total
Densidad y Contenido de Vacíos	Cilindro	10 x 20 cm	28	3	5	15
Resistencia a la Compresión	Cilindro	10 x 20 cm	3	3	5	15
Resistencia a la Compresión	Cilindro	10 x 20 cm	7	3	5	15
Resistencia a la Compresión	Cilindro	10 x 20 cm	14	3	5	15
Resistencia a la Compresión	Cilindro	10 x 20 cm	21	3	5	15
Resistencia a la Compresión	Cilindro	10 x 20 cm	28	6	5	30
Resistencia a la Tracción por Flexión (Módulo de Rotura)	Prisma	15x15x50 cm	28	4	5	20
Permeabilidad	Cilindro	10 x 15 cm	28	3	5	15

**Fuente:** Elaboración Propia.

### 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### 3.4.1. Técnicas de recolección de datos

En la presente investigación, las técnicas para recolectar los datos serán la observación y la realización de ensayos o pruebas en el laboratorio. Estos últimos servirán para determinar las propiedades del agregado necesarias para realizar los diseños de mezclas y las propiedades de los especímenes de concreto permeable elaborados por cada diseño.

### **3.4.2. Instrumentos de recolección de datos**

Serán utilizados formatos para cada prueba o ensayo, los cuales estarán basados en normas nacionales o internacionales, y en ellos se registrarán los datos obtenidos que serán procesados en hojas de cálculo y se obtendrán los resultados de la investigación.

Para el agregado grueso se llevarán a cabo los ensayos de Granulometría (ASTM C 136 o NTP 400.012), Contenido de Humedad (ASTM C 566 o NTP 339.185), Peso Unitario Suelto y Varillado (ASTM C 29 o NTP 400.017) y Peso Específico y Absorción (ASTM C 127 o NTP 400.021).

En el caso del concreto, se realizarán los ensayos de Asentamiento (ASTM C143 o NTP 339.035), Densidad y Contenido de Vacíos del Concreto Permeable Fresco (ASTM C 1688 o NTP 339.230), Densidad y Contenido de Vacíos del Concreto Permeable Endurecido (ASTM C 1754 o NTP 339.238), Resistencia a la Compresión (ASTM C39 o NTP 339.034), Resistencia a la Flexotracción o Módulo de Rotura (ASTM C78 o NTP 339.078) y Permeabilidad (ACI 522R-10).

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

##### 4.1.1. Diseño y elaboración de las mezclas de concreto permeable

##### 4.1.1.1. Materiales usados para la preparación de las mezclas

##### 4.1.1.1.1. Agregado grueso

Debido a que se busca obtener mejores resultados de resistencia, y según las figuras 8 y 11, se consideró conveniente utilizar agregado grueso de Tamaño No. 8, además de que se podría obtener un mejor acabado superficial con dicho agregado; por lo tanto, se usó agregado grueso de Tamaño No. 8 (TMN 3/8”) obtenido de la cantera Elena de Troya III, ubicada en el Km 976 de la carretera Panamericana Sur - La Joya - Arequipa, en la Figura 16 se muestra el ingreso a la misma.

#### Figura 16

*Ingreso a la cantera Elena de Troya III*



**Fuente:** Propia, tomada en la “Cantera Elena de Troya III” al realizar la adquisición del agregado grueso, el 10 de marzo del 2021.

El resumen de las características físicas del agregado grueso se muestra en la Tabla 6, los datos obtenidos y cálculos son presentados con mayor detalle en el Anexo 03.

**Tabla 6**

*Características físicas del agregado grueso de la cantera “Elena de Troya III”*

<b>Descripción</b>		<b>Unidad</b>
Tamaño Máximo Nominal	3/8	pulgada
Huso Granulométrico	No 8	
Contenido de Humedad	0.08	%
Peso Unitario Varillado	1551	kg/m <sup>3</sup>
Peso Unitario Suelto	1457	kg/m <sup>3</sup>
Peso Específico (SSS)	2.62	gr/cm <sup>3</sup>
Absorción	1.71	%

**Fuente:** Elaboración Propia.

#### **4.1.1.1.2. Cemento**

Se utilizó cemento Tipo HE de la marca YURA, que es un cemento de alta resistencia inicial, y debido a que se proyecta el uso del concreto permeable en pavimento, se consideró conveniente obtener buenas resistencias a edades tempranas, pues con ello se podría tener la confianza de que el concreto no se fisurará a edades tempranas por el tránsito parcial de vehículos; este cemento cumple con las especificaciones de la Norma NTP 334.082 (24), sus principales características se encuentran en la ficha técnica brindada por el fabricante, la cual se adjunta en el Anexo 15; su peso específico se encuentra en el rango de 2.90 a 2.98 gr/cm<sup>3</sup> por lo que, para realizar los diseños de mezclas, se consideró un valor promedio de 2.94 gr/cm<sup>3</sup>.

#### **4.1.1.1.3. Agua**

Se utilizó el agua potable del laboratorio para el diseño y en la preparación de las mezclas de concreto permeable de la presente investigación.

#### **4.1.1.1.4. Aditivo Superplastificante**

Se utilizó el aditivo MasterRheobuild 1003 de la marca BASF, el cual es un aditivo superplastificante que permite una reducción de agua de hasta 30% y se clasifica como tipo F según ASTM C494 (25). Al hacer uso de este aditivo se logró reducir la cantidad de agua para la elaboración del concreto permeable y al mismo tiempo se consiguieron pastas de cemento estables; en el Anexo 16 se adjunta la ficha técnica del aditivo.

#### **4.1.1.2. Consideraciones iniciales para el diseño de mezclas**

##### **4.1.1.2.1. Contenido de vacíos**

El contenido de vacíos se determinó en base a las figuras 8 y 11, las cuales muestran que con la disminución del contenido de vacíos se podría conseguir incrementos en la resistencia del concreto; y considerando que para obtener una adecuada permeabilidad se necesita de al menos 15% de vacíos, se decidió usar dicho porcentaje para el desarrollo de los diseños de mezclas de la investigación.

##### **4.1.1.2.2. Relación a/c**

Para determinar la relación a/c inicial adecuada para el concreto patrón, se realizaron pruebas con distintas cantidades de cemento y agua, para obtener a una relación a/c con la cual se consiga una pasta de cemento estable, es decir, que no fluya hacia la parte inferior del concreto.

Para los 04 diseños de concreto permeable con el aditivo superplastificante, se determinó la relación a/c realizando la reducción de la cantidad de agua del diseño patrón en el rango de 12% a 30% con intervalos de 6%; finalmente se determinaron las relaciones a/c para cada diseño de mezclas, las cuales se muestran en la Tabla 7.

**Tabla 7**

*Relación a/c Correspondiente a cada Diseño de Mezcla.*

<b>Diseño</b>	<b>Red. Agua %</b>	<b>Relación a/c</b>
D 01 (Patrón)	---	0.380
D 02	12	0.334
D 03	18	0.312
D 04	24	0.289
D 05	30	0.266

**Fuente:** Elaboración Propia.

#### **4.1.1.2.3. Dosis de aditivo superplastificante**

De manera similar a la que se determinó la relación a/c del concreto patrón, se llevaron a cabo las pruebas con cemento, agua y distintas cantidades del aditivo superplastificante hasta determinar la cantidad correspondiente a cada relación a/c de los concretos experimentales, iniciando con valores supuestos que fueron incrementando gradualmente para cada reducción de la cantidad de agua, es decir, en el rango de 0.79% a 1.90% del peso de cemento en intervalos de 0.37%, los cuales se fueron reduciendo conforme se realizaban las pruebas.

A medida que se obtenían valores tentativos del porcentaje de aditivo superplastificante correspondiente a cada relación a/c, se elaboraban probetas y se evaluaba si la pasta de cemento era adecuada. En la Figura 17 se muestran las probetas de prueba iniciales, las cuales se colocaron en posición inversa a la de moldeado, la cantidad de aditivo de las probetas 3, 4 y 5 tuvo que ser corregida, ya que se observaron pastas de cemento inadecuadas, sobre todo en la probeta 5 en la cual se pudo apreciar que ocurrió algo similar a lo que se muestra en la Figura 4 para una pasta de cemento inadecuada.

**Figura 17**

*Probetas de prueba con pasta de cemento inadecuada (3, 4 y 5)*



**Fuente:** Propia, tomada en el Laboratorio CEDIICON en marzo del 2021.

Luego de corregir las cantidades de aditivo, se obtuvieron probetas sin problemas de fluidez de la pasta de cemento, como se puede apreciar en la Figura 18.

**Figura 18**

*Probetas de prueba con pasta de cemento adecuada*



**Fuente:** Propia, tomada en el Laboratorio CEDIICON en marzo del 2021.

Los resultados de las pruebas se muestran en la Tabla 8, en ella se observan algunas de las cantidades de aditivo usadas, las cantidades finales y la dosis correspondiente a cada diseño.

**Tabla 8**

*Determinación de la dosis de aditivo superplastificante para cada diseño*

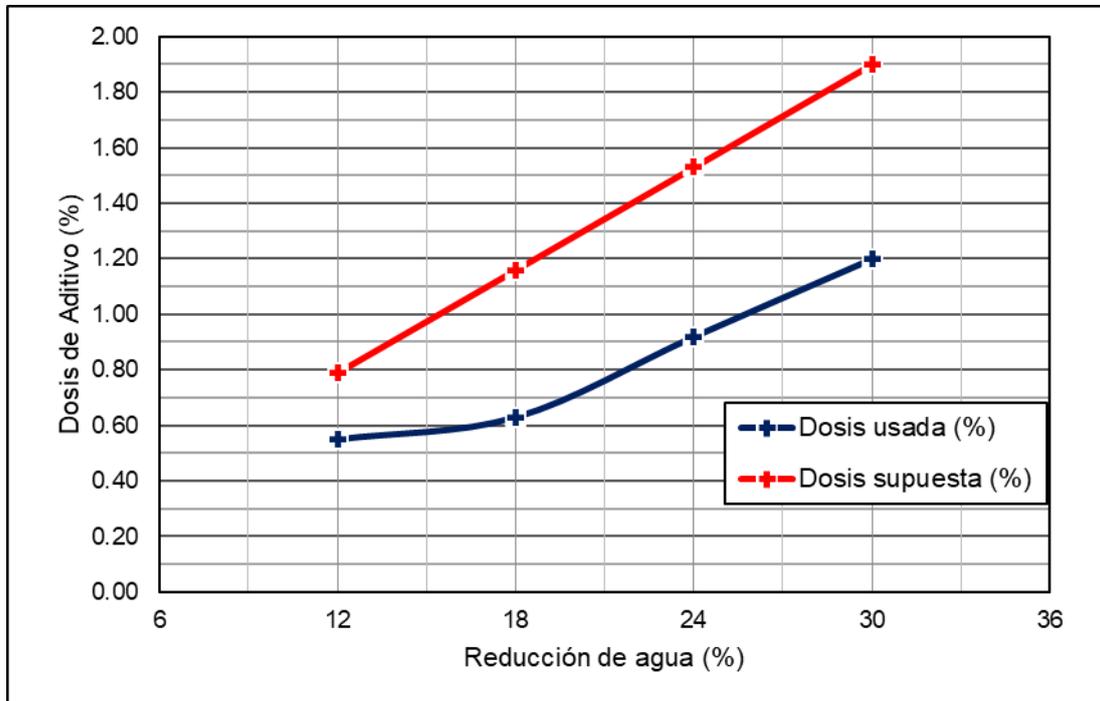
Diseño	Cemento (gr)	Relación a/c	agua (gr)	aditivo (gr)	¿Aumentar o quitar aditivo?	Dosis de Aditivo (%)	Dosis final (%)
D 02	300.00	0.334	100.32	2.37	quitar	0.79%	0.55
				1.80	quitar	0.60%	
				1.65		0.55%	
D 03	300.00	0.312	93.48	3.48	quitar	1.16%	0.63
				2.10	quitar	0.70%	
				1.90		0.63%	
D 04	300.00	0.289	86.64	4.59	quitar	1.53%	0.92
				3.00	quitar	1.00%	
				2.75		0.92%	
D 05	300.00	0.266	79.80	5.70	quitar	1.90%	1.20
				4.90	quitar	1.63%	
				3.60		1.20%	

**Fuente:** Elaboración propia.

En la Figura 19 se aprecia que la dosis de aditivo supuesta para cada reducción de agua, es superior a la dosis real determinada luego de las mezclas de prueba, la cual fue usada para realizar los diseños de mezclas de concreto permeable; lo anterior indica que el aditivo podría alcanzar un mayor rango de reducción de agua, es decir, una reducción del agua de mezcla superior al 30%.

**Figura 19**

*Dosis de aditivo supuesta y dosis usada correspondiente a cada reducción de agua*



**Fuente:** Elaboración propia.

#### **4.1.1.3. Resumen de los diseños de mezcla de concreto permeable**

Reducir la relación a/c significa quitar agua al concreto, y, para conservar el mismo volumen de la pasta, es necesario modificar la composición de la misma, lo que da lugar al incremento de las cantidades de los demás materiales que la componen, esto quiere decir que a mayor reducción de la relación a/c, mayor será el consumo de cemento y de aditivo. El desarrollo detallado de los diseños de mezclas para cada relación a/c se encuentra en el Anexo 04.

Al realizar los diseños de mezclas de concreto permeable se obtiene la cantidad de materiales y también el peso unitario y la densidad teórica correspondiente a cada diseño, los cuales se muestran en la Tabla 9.

**Tabla 9***Resumen de los diseños de mezclas*

<b>Diseño</b>	<b>Relación a/c</b>	<b>Dosis de Aditivo (%)</b>	<b>A.G. SSS (kg)</b>	<b>Cemento (kg)</b>	<b>Agua (kg)</b>	<b>Aditivo (kg)</b>	<b>Peso Unitario (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad Teórica (kg/m<sup>3</sup>)</b>
D 01 (Patrón)	0.380	0.00	1562.0	352.4	133.9	0.00	2048	2410
D 02	0.334	0.55	1562.0	373.7	125.0	2.06	2063	2427
D 03	0.312	0.63	1562.0	386.3	120.4	2.43	2071	2437
D 04	0.289	0.92	1562.0	398.7	115.1	3.67	2080	2447
D 05	0.266	1.20	1562.0	412.0	109.6	4.94	2089	2457

**Fuente:** Elaboración propia.

En la Tabla 10 se muestran los rangos de los materiales usados para elaborar las mezclas de concreto permeable de la presente investigación; se aprecia que los valores son cercanos o dentro del rango de cantidades típicas proporcionado por el ACI 522R-10 (2) y que se muestran en la Tabla 3.

**Tabla 10***Rango de materiales usados para elaborar el concreto*

<b>Descripción</b>	<b>Proporción kg/m<sup>3</sup></b>
Material cementante	352 a 412
Agregado	1562
w/cm (relación a/c), por masa	0.266 a 0.380
Relación agregado:cemento, por masa	3.8 a 4.4:1
Relación finos:agregado grueso, por masa	0
Aditivo Superplastificante	2.1 a 4.9

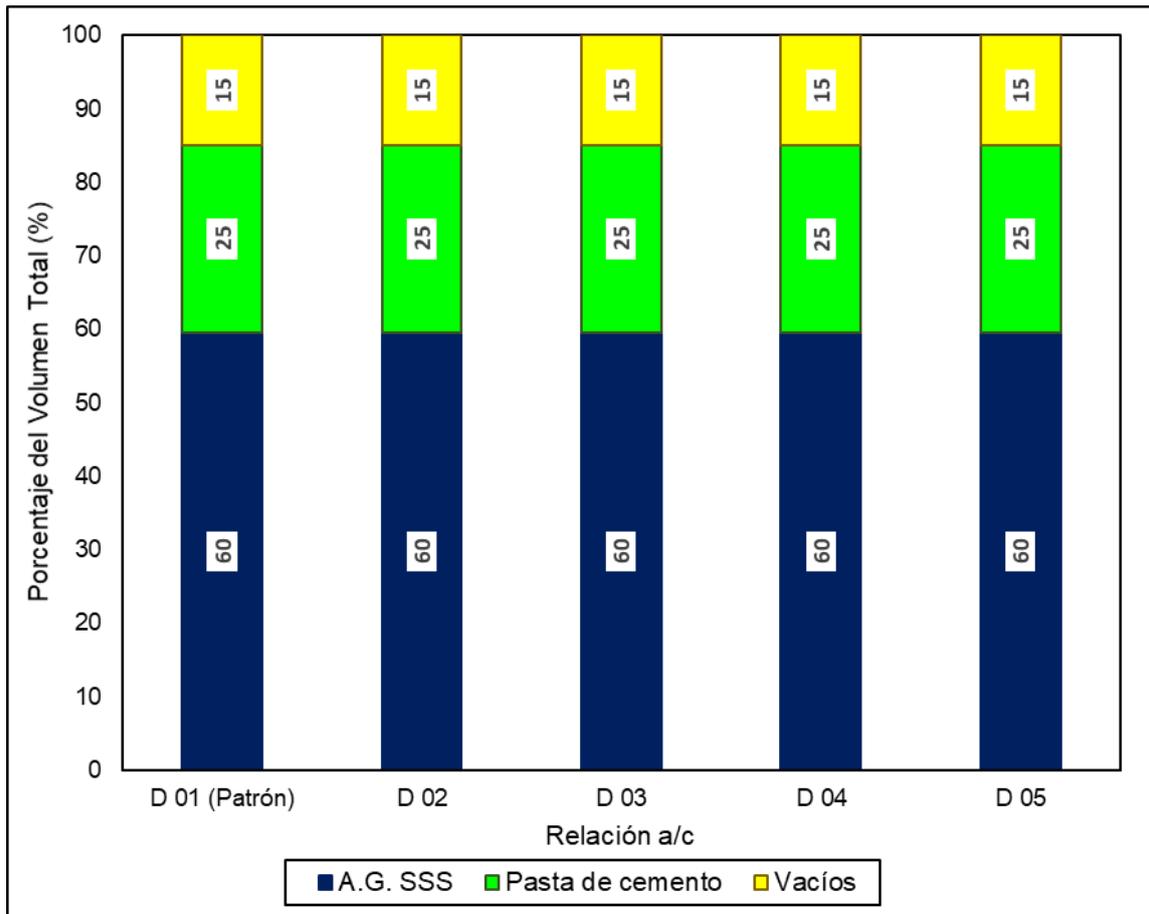
**Fuente:** Elaboración propia.

En la Figura 20 se observa que el volumen ocupado por el agregado grueso y por la pasta de cemento es el mismo para todos los diseños de mezclas; por lo tanto, la reducción de la relación a/c usando el aditivo superplastificante, conduce

a modificar únicamente la composición de la pasta de cemento en el concreto permeable.

**Figura 20**

*Proporciones de agregado grueso, pasta de cemento y contenido de vacíos de los diseños de concreto permeable*



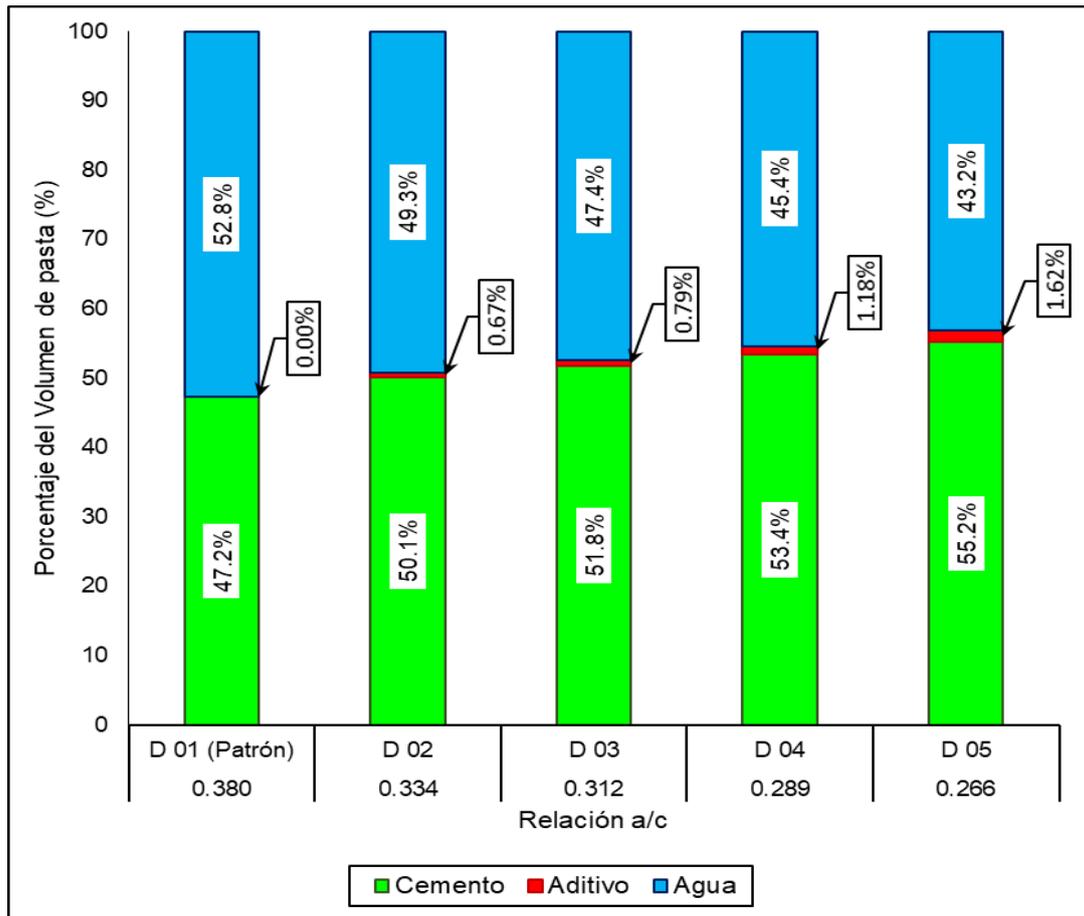
**Fuente:** Elaboración propia.

En la Figura 21 se muestra la composición de la pasta de cemento correspondiente a cada relación a/c utilizada en la presente investigación, se puede apreciar que al reducir la relación a/c, y consecuentemente la cantidad de agua de mezcla, el contenido de cemento y la dosis de aditivo irán

incrementando progresivamente para obtener la misma cantidad de pasta de cemento en todos los diseños de mezclas elaborados.

**Figura 21**

*Proporciones de los materiales que componen la pasta de cemento de cada diseño de mezclas de concreto permeable*



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.1.4. Ensayos al concreto permeable en estado fresco

##### 4.1.1.4.1. Asentamiento – Slump (ASTM C143 o NTP 339.035)

Se llevó a cabo la prueba de asentamiento de acuerdo a la Norma NTP 339.035 (26) para todos los diseños de mezcla, obteniéndose los valores que se muestran en la Tabla 11.

**Tabla 11**

*Valores de asentamiento de cada diseño de mezcla*

<i>Diseño</i>	<i>Asentamiento (mm)</i>
D 01 (Patrón)	0
D 02	0
D 03	4
D 04	0
D 05	---

**Fuente:** Propia.

Los diseños de mezclas D 01 a D 04 obtuvieron valores de asentamiento iguales o muy cercanos a cero, los cuales se encuentran en el rango para concretos de consistencia rígida de acuerdo a la Tabla 2. En la Figura 22 se muestra una prueba de asentamiento realizada en la presente investigación, como se puede apreciar, el concreto mantiene la forma del cono luego de que este fue levantado.

**Figura 22**

*Realización del Ensayo de Asentamiento - Slump*



**Fuente:** Propia. Imágenes tomadas antes de la elaboración de las probetas de concreto permeable en el Laboratorio CEDIICON, entre el 05 y el 08 de abril del 2021.

En el caso del diseño D 05, el concreto se desmoronó al momento de levantar el cono, como se puede apreciar en la Figura 23, impidiendo la medición del asentamiento, sin embargo, no se observó que la pasta de cemento fluyera luego de la elaboración de las probetas.

### **Figura 23**

*Desmoronamiento del concreto permeable correspondiente al diseño D 05*



**Fuente:** Propia. Imagen tomada antes de la elaboración de las probetas de concreto permeable en el Laboratorio CEDIICON, el 09 de abril del 2021.

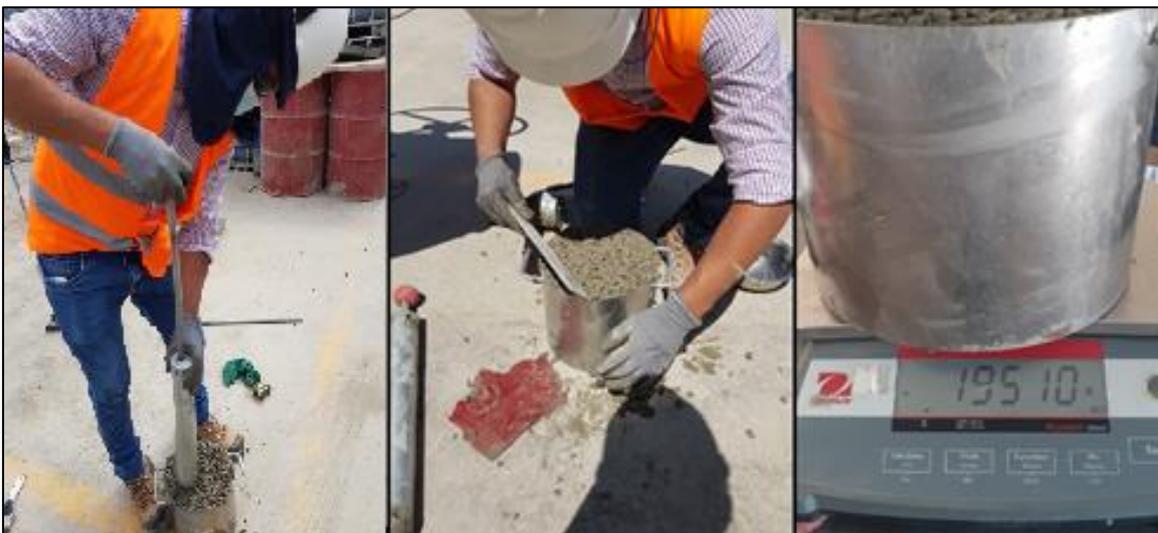
Se considera que lo anterior se debe a que este diseño contenía la mayor dosis de aditivo superplastificante, lo que dio como resultado un concreto permeable más fluido, pero sin efectos negativos en la estabilidad de la pasta de cemento luego de la elaboración de las probetas.

#### 4.1.1.4.2. Densidad (peso unitario) y contenido de vacíos del concreto permeable fresco (ASTM C1688 O NTP 339.230).

Para el ensayo se utilizó el martillo Próctor estándar, por lo tanto, se compactó con 20 golpes distribuidos en dos capas de igual altura; en la Figura 24 se muestra la realización del ensayo.

**Figura 24**

*Realización del ensayo de peso unitario en estado fresco*



**Fuente:** Propia. Imágenes tomadas antes de la elaboración de las probetas de concreto permeable en el Laboratorio CEDIICON, entre el 05 y el 09 de abril del 2021.

En la Tabla 12 se muestra el resumen de los resultados del ensayo, los datos obtenidos y el procesamiento de los mismos se presentan en el Anexo 05.

**Tabla 12***Peso unitario del concreto permeable en estado fresco*

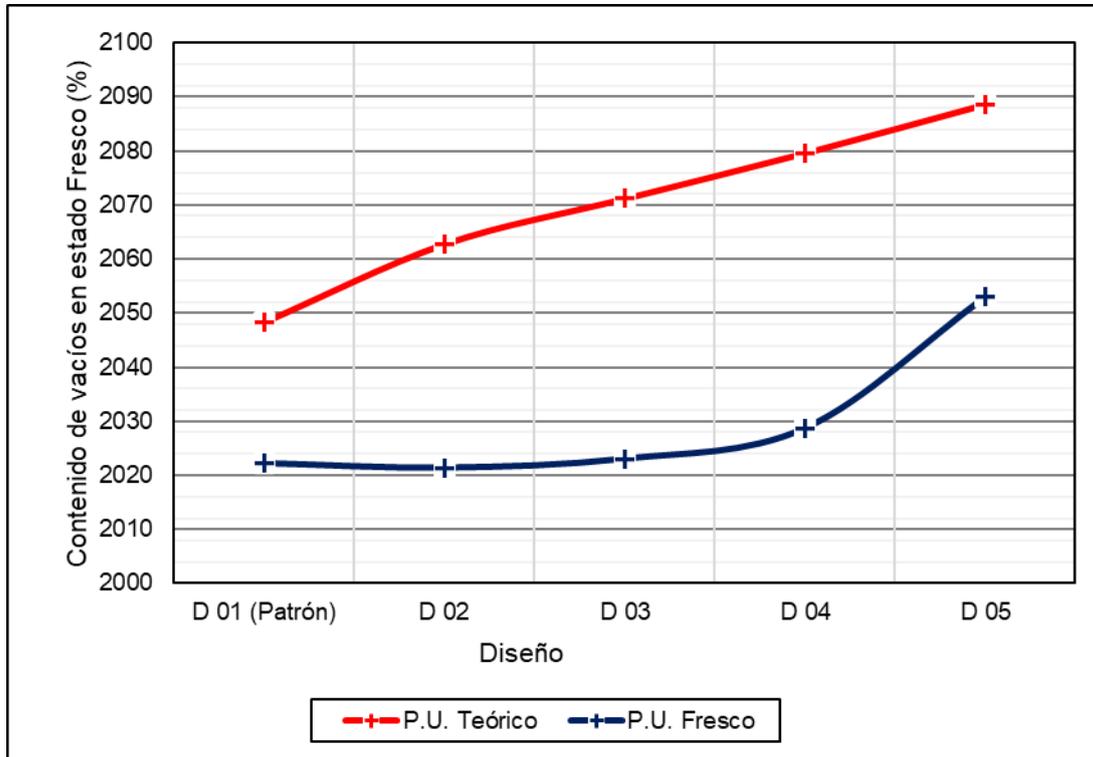
<i>Diseño</i>	<i>Vol. del molde Vm (m3)</i>	<i>Masa del molde (kg)</i>	<i>Masa del molde + concreto (kg)</i>	<i>Masa del concreto (kg)</i>	<i>Densidad P.U. (kg/m3)</i>	<i>Cont. de Vacíos (%)</i>
D 01 (Patrón)	0.00721	4.883	19.463	14.580	<b>2022</b>	<b>16.1</b>
D 02	0.00721	4.883	19.457	14.574	<b>2021</b>	<b>16.7</b>
D 03	0.00721	4.883	19.469	14.586	<b>2023</b>	<b>17.0</b>
D 04	0.00721	4.883	19.510	14.627	<b>2029</b>	<b>17.1</b>
D 05	0.00721	4.883	19.686	14.803	<b>2053</b>	<b>16.4</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la Figura 25, el peso unitario en estado fresco es inferior al valor teórico que se mostró en la Tabla 9, lo cual condujo al aumento del contenido de vacíos mostrado en la Tabla 12, respecto al valor teórico de 15%, ya que existe una relación inversa entre estas dos características del concreto permeable en estado fresco.

**Figura 25**

*Comparación del peso unitario en estado fresco y el peso unitario teórico*



**Fuente:** Elaboración propia.

#### **4.1.1.4.3. Elaboración de las probetas de concreto permeable**

Como se puede apreciar en la Figura 26, la elaboración de las probetas se realizó de manera similar a lo realizado por Pereira et al (2018) (7) y por Calderón y Charca (2013) (27), para ello se usó un martillo Próctor estándar para la elaboración de los cilindros (izquierda) y un martillo Marshal para elaboración de las vigas (derecha); previamente se realizaron pruebas con distintos números de golpes y capas para determinar con qué número de golpes se obtenía pesos unitarios similares a los del diseño de mezclas, y se llegó a la conclusión de que para la elaboración de las probetas cilíndricas se necesitaban 9 golpes distribuidos en 3 capas, y para las vigas 24 golpes distribuidos en 3 capas; cabe mencionar que para la elaboración de las vigas se colocó una pequeña plancha

metálica en la base del martillo Marshall, con el fin de distribuir mejor la compactación y que al momento de compactar no quedarán partes sin compactar en las esquinas y de los moldes.

### **Figura 26**

*Pruebas previas para determinar la compactación de cilindros y vigas*



**Fuente:** Propia. Imágenes tomadas en el Laboratorio CEDIICON en marzo del 2021.

Al momento de la preparación de las mezclas, primero se colocó el agregado grueso en la mezcladora, luego se añadió el agua de corrección por humedad y absorción; seguidamente se agregó el cemento y luego de un minuto de mezclado, se añadió el agua combinada con el aditivo superplastificante; se dejó mezclar todos los materiales por un lapso de 3 minutos, luego se detuvo la mezcladora por 3 minutos y finalmente se mezcló nuevamente por 2 minutos.

Posterior a la elaboración de las probetas, con el fin de reducir o evitar la pérdida de agua por evaporación hasta el momento del desmoldado de las mismas, estas fueron envueltas con un plástico, como se aprecia en la Figura 27.

## Figura 27

*Protección de probetas para disminuir la pérdida de agua.*



**Fuente:** Propia, tomada en el Laboratorio CEDIICON entre el 05 y 09 de abril del 2021.

Se desmoldaron las probetas al día siguiente de su elaboración y fueron colocadas en las pozas de curado hasta que cumplan las edades de ensayo, como se aprecia en la Figura 28.

## Figura 28

*Colocación de las probetas en las pozas de curado.*



**Fuente:** Propia. Imagen tomada en el Laboratorio CEDIICON entre el 06 y el 10 de abril del 2021.

### **4.1.2. Resistencia a la compresión y módulo de rotura del concreto permeable**

#### **4.1.2.1. Resistencia a la compresión (ASTM C39 o NTP 339.034).**

Se ensayaron 3 cilindros de concreto permeable a las edades de 3, 7, 14 y 21 días, con el fin de determinar la evolución de la resistencia del mismo, y un juego de 6 cilindros a la edad de 28 días para determinar la resistencia potencial de los concretos elaborados. Se colocaron almohadillas de neopreno antes de colocar los cilindros en la prensa, con el fin de corregir imperfecciones superficiales en las caras de los mismos. En la Figura 29 se muestra el proceso de ensayo para la rotura de una probeta de concreto permeable en la prensa; además, luego de la rotura se observó que la falla se produjo tanto en la pasta como en los agregados, lo cual indicaría una correcta unión o adherencia entre los mismos.

## Figura 29

*Realización del ensayo de resistencia a la compresión del concreto permeable.*



**Fuente:** Propia. Imágenes tomadas en el Laboratorio CEDIICON entre el 08 de abril y 07 de mayo del 2021.

Los datos obtenidos y el procesamiento de los mismos se encuentran en los anexos 06, 07, 08, 09 y 10; en la Tabla 13 se muestra el resultado de resistencia a la compresión promedio a las distintas edades de ensayo, la desviación estándar (S) y coeficiente de variación (CV) para los ensayos a la edad de 28 días. La Tabla 14 muestra valores brindados por el ACI 214R-11 (28) para el control de los resultados de resistencia a la compresión, los cuales serán tomados como referencia para el control de los concretos permeables elaborados.

**Tabla 13***Resistencia a la compresión promedio del concreto permeable*

Diseño	f'c promedio (MPa) [kgf/cm <sup>2</sup> ]					S (MPa)	CV (%)
	3 días	7 días	14 días	21 días	28 días		
D 01 (Patrón)	12.0 [120]	14.1 [141]	13.8 [138]	16.2 [162]	17.5 [175]	0.8	4.5
D 02	13.6 [136]	16.3 [163]	17.7 [177]	18.1 [181]	21.3 [213]	1.4	6.7
D 03	14.7 [147]	17.7 [177]	17.8 [178]	18.2 [182]	22.3 [223]	0.7	3.1
D 04	17.5 [175]	20.8 [208]	20.8 [208]	19.8 [198]	23.1 [231]	2.4	10.4
D 05	19.1 [191]	23.3 [233]	25.0 [250]	24.6 [246]	25.5 [255]	1.5	5.9

**Fuente:** Elaboración propia**Tabla 14***Normas de control de concreto para f'c ≤ 35 MPa*

Variación general					
Clase de operación	Desviación estándar para diferentes estándares de control, (MPa)				
	Excelente	Muy Bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Pruebas en la Construcción	2.8	2.8 a 3.4	3.4 a 4.1	4.1 a 4.8	sobre 4.8
Lotes de prueba de laboratorio	1.4	1.4 a 1.7	1.7 a 2.1	2.1 a 2.4	sobre 2.4
Variación dentro del lote					
Clase de operación	Coeficiente de variación para diferentes estándares de control, %				
	Excelente	Muy Bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Pruebas de control de campo	debajo de 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	5.0 a 6.0	sobre 6.0
Lotes de prueba de laboratorio	debajo de 2.0	2.0 a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	sobre 5.0

**Fuente:** Recuperada y adaptada de ACI 214R-11 – Guía para la evaluación de los resultados de las pruebas de resistencia del concreto – Instituto Americano del Concreto (ACI), 2011.

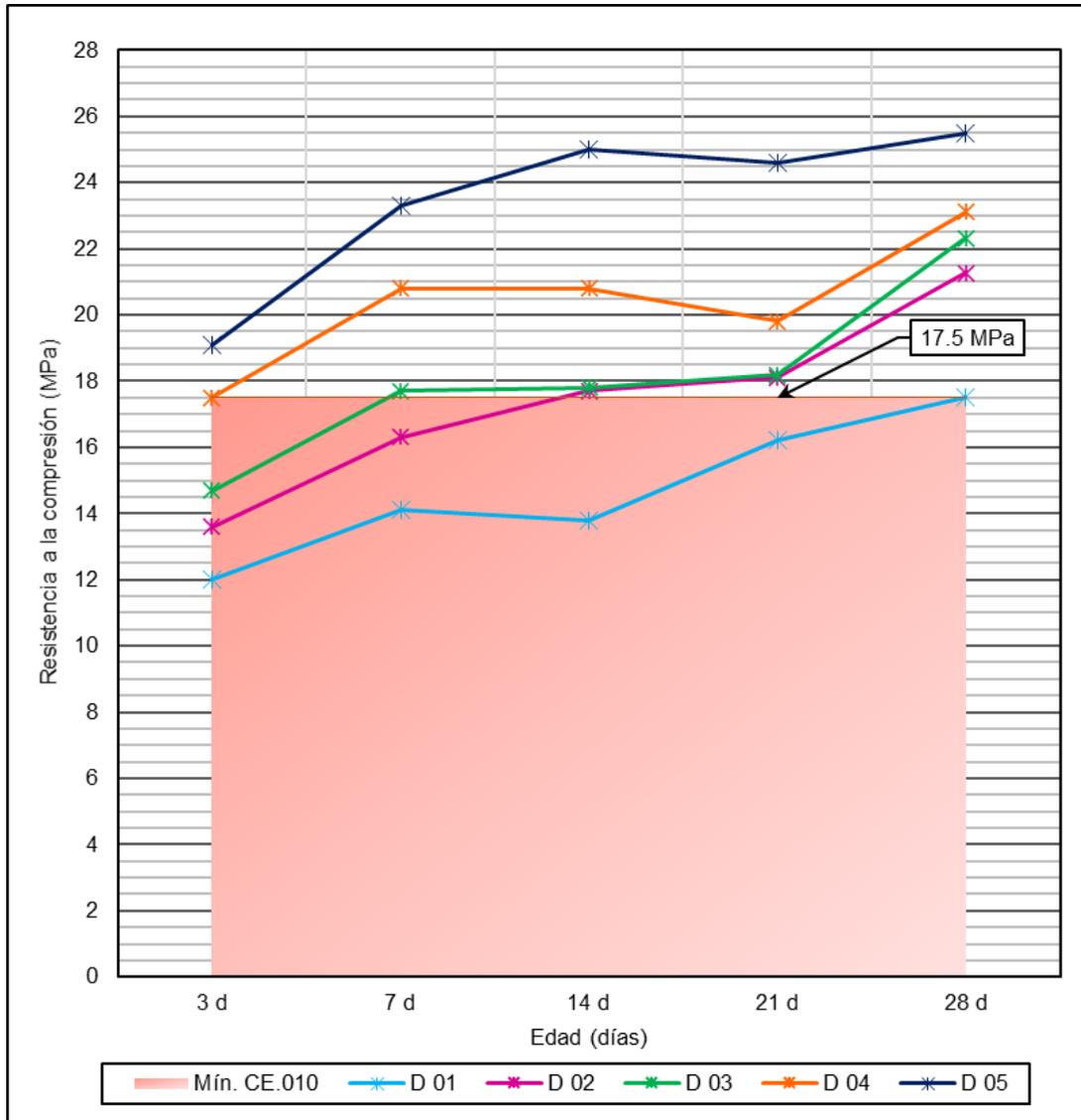
A partir de los valores de desviación estándar que se muestran en la Tabla 13, y de acuerdo a los rangos de la Tabla 14, para los diseños D 01, D 02 y D 03, el concreto elaborado se encuentra en un rango de control Excelente; los diseños

D 04 y D 05 se encuentran en un rango de control Suficiente y Muy Bueno, respectivamente. De manera similar a lo que se hizo para la desviación estándar, al ubicar los resultados de coeficiente de variación en la Tabla 14, de acuerdo a los rangos mostrados el diseño D01 se encuentra en un rango de control Suficiente, el diseño D 03 se encuentra en el rango de control Bueno, y los diseños D02, D04 y D05 se encuentran en un rango de control Deficiente.

En la Figura 30 se puede apreciar de mejor manera la evolución de la resistencia a la compresión de cada diseño de mezclas, además se aprecia que a la edad de 3 días la resistencia alcanzada por el diseño D 05 fue superior a la resistencia mínima de 17.5 MPa (175 kgf/cm<sup>2</sup>), requerida por la Norma CE.010 (1) para el uso del concreto en pavimentos especiales.

**Figura 30**

*Evolución de la resistencia a la compresión del concreto permeable*



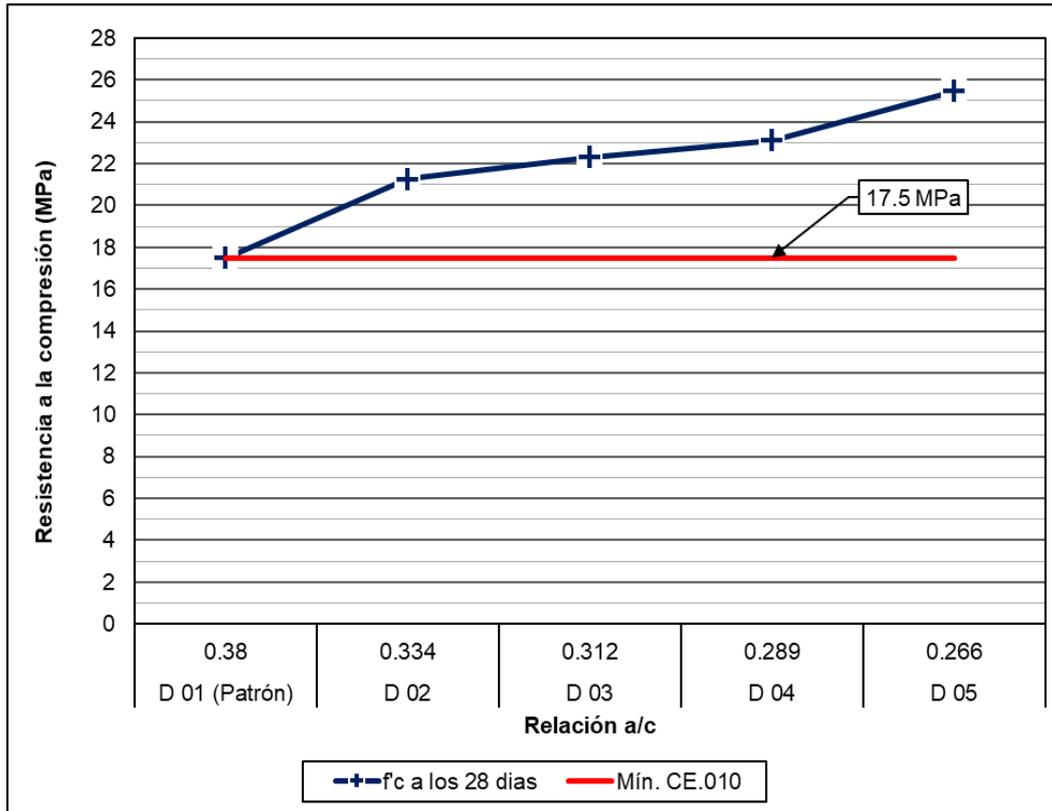
**Fuente:** Elaboración propia.

En la Figura 31 se muestra la resistencia a la compresión a los 28 días de acuerdo a la relación a/c correspondiente a cada diseño; se puede observar que la resistencia tiende a incrementar conforme se reduce la relación a/c, además el concreto patrón alcanzó la resistencia mínima de 17.5 MPa (175 kgf/cm<sup>2</sup>) requerida por la Norma CE.010 (1) para el uso del concreto en pavimentos

especiales; todos los diseños con aditivo superplastificante obtuvieron mejores resultados de resistencia a la compresión que el concreto sin aditivo y cumplen con la resistencia mínima de la Norma CE.010 (1).

**Figura 31**

*Resistencia a la compresión a los 28 días*



**Fuente:** Elaboración propia.

**4.1.2.2. Resistencia a la tracción por flexión (ASTM C78 o NTP 339.078).**

Se ensayó 4 vigas de concreto permeable a la edad de 28 días para determinar la resistencia potencial de las mezclas elaborados. Se colocaron tiras de neopreno entre los apoyos y las vigas al momento de colocar las mismas en la prensa, con el fin de corregir imperfecciones superficiales.

En la Figura 32 se muestra el proceso de ensayo para la rotura de una viga de concreto permeable en la prensa; además, luego de la rotura se observó que la

falla se produjo tanto en la pasta como en los agregados, lo cual indicaría una correcta adherencia entre los mismos; además, las fallas se ubicaron en el tercio central del tramo libre.

### Figura 32

*Realización del ensayo de resistencia a la tracción por flexión - módulo de rotura*



**Fuente:** Propia. Imágenes tomadas en el Laboratorio CEDIICON entre el 03 y el 07 de mayo del 2021.

Los datos obtenidos y el procesamiento de los mismos se encuentran en el Anexo 11, los resultados de módulo de rotura promedio son mostrados en la Tabla 15; además, se muestra el coeficiente de variación del grupo de probetas ensayadas y el porcentaje que representa el Módulo de Rotura respecto a la Resistencia a la Compresión alcanzada por el concreto a los 28 días, donde se aprecia que dichos valores serían cercanos al 20%.

**Tabla 15***Resultados de módulo de rotura promedio del concreto permeable*

Diseño	MR promedio (MPa) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	CV (%)	MR como % de f'c
D 01 (Patrón)	4.00 [40.0]	3.4	23%
D 02	3.95 [39.5]	3.8	19%
D 03	4.00 [40.0]	10.3	18%
D 04	4.35 [43.5]	7.8	19%
D 05	5.15 [51.5]	6.9	20%

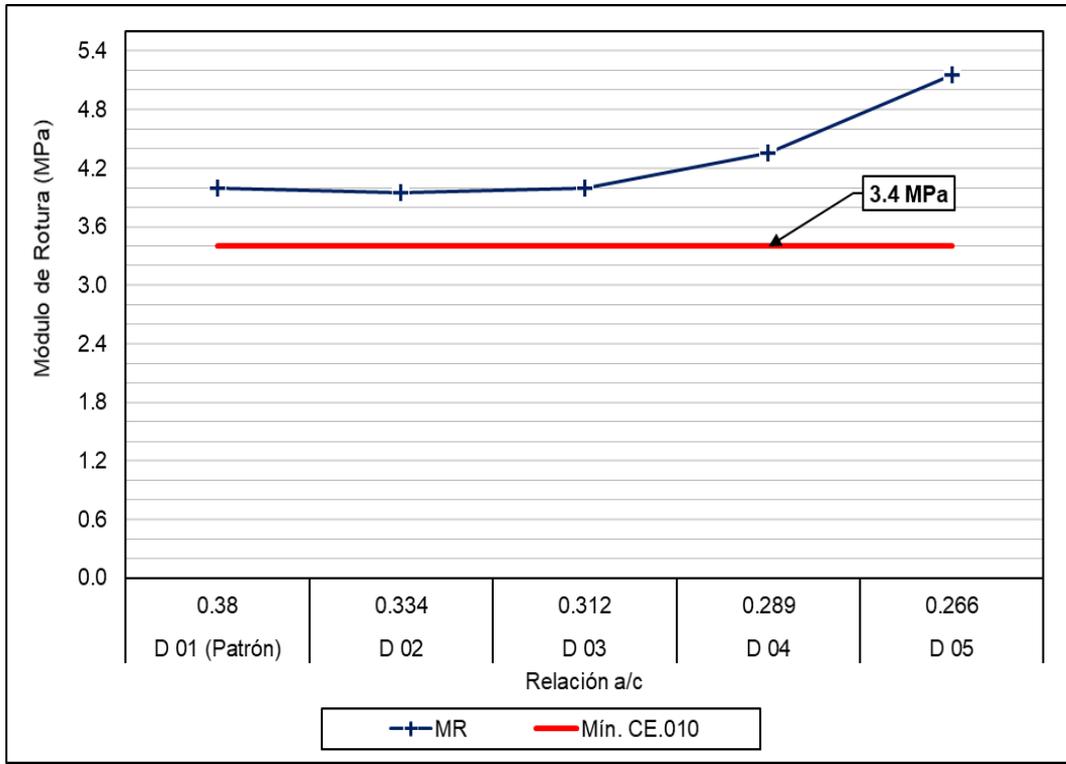
**Fuente:** Elaboración propia.

La Norma NTP 339.078 (21) menciona que el coeficiente de variación para un operador simple es de 5.7%, y de los resultados mostrados en la Tabla 15, los diseños D 01 y D 02 muestran coeficientes de variación menores al valor de la norma, sin embargo los diseños D 03, D 04 y D 05 superan con dicho valor.

En la Figura 33 se observa que el módulo de rotura de todos los diseños es superior al valor mínimo de 3.4 MPa (34 kgf/cm<sup>2</sup>) requerido por la Norma CE.010 (1) para el concreto de vías urbanas; además se aprecia que los valores más altos corresponden a los diseños con la mayor reducción de la relación a/c, es decir, los diseños D 04 y D 05, esto indica que de manera similar a lo que ocurrió con la resistencia a la compresión, el módulo de rotura podría incrementar a medida que se reduce la relación a/c del concreto permeable.

**Figura 33**

*Módulo de rotura a la edad de 28 días*



**Fuente:** Elaboración propia.

#### **4.1.2.3. Comparativa de los resultados de resistencia del concreto permeable**

En la Tabla 16 se muestra la variación de la resistencia, expresada en porcentajes, entre los diseños de concreto permeable con el aditivo superplastificante y menor relación a/c frente a los valores obtenidos por el concreto permeable ordinario.

**Tabla 16***Comparación de los resultados de resistencia obtenidos*

Diseño	f'c (MPa) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	MR (MPa) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	f'c C°+Ad.S vs C° Patrón	MR C°+Ad.S vs C° Patrón
D 01 (Patrón)	17.5 [175.0]	4.0 [40.0]	---	---
D 02	21.27 [212.7]	3.95 [39.5]	+ 22%	-1%
D 03	22.32 [223.2]	4.00 [40.0]	+ 28%	+ 0%
D 04	23.12 [231.2]	4.35 [43.5]	+ 32%	+ 9%
D 05	25.47 [254.7]	5.15 [51.5]	+ 46%	+ 29%

**Fuente:** Elaboración propia.

En la Tabla 16 se puede apreciar que los diseños de concreto permeable con aditivo superplastificante (C°P + AS) obtuvieron mejoras en cuanto a la resistencia a la compresión y el módulo de rotura de hasta 46% y 29%, respectivamente, respecto al concreto patrón (sin aditivo); además los mejores resultados corresponden a los diseños D 04 y D 05, los cuales tuvieron las menores relaciones a/c.

#### 4.1.3. Permeabilidad y contenido de vacíos

##### 4.1.3.1. Tasa de infiltración o permeabilidad (ACI 522R-10)

Para realizar la prueba se construyó un permeámetro con una configuración similar al permeámetro que se muestra en la Figura 13; para la construcción del mismo se utilizaron tubos y accesorios de PVC, y un tubo de acrílico transparente al que se le colocó una cinta métrica para poder medir el nivel del agua al momento de realizar las pruebas correspondientes. En la Figura 34 se muestra

el permeámetro construido, al cual, al momento de la prueba, se le colocó un accesorio ubicado en la salida del agua para evitar que esta se derrame al suelo.

**Figura 34**

*Permeámetro de cabeza descendente construido para la prueba de permeabilidad*



**Fuente:** Propia. Imagen tomada en el Laboratorio CEDIICON el 07 de mayo del 2021.

Las probetas de concreto permeable endurecido fueron marcadas e identificadas, como se muestra en la Figura 35, para posteriormente ser cortadas por ambos extremos y obtener una altura promedio de 15 cm.

### Figura 35

*Marcado de probetas previo al corte de las mismas*



**Fuente:** Propia. Imagen tomada en el Laboratorio CEDIICON el 06 de mayo del 2021.

Luego de marcar las probetas, estas fueron cortadas con una máquina con disco giratorio, como se aprecia en la Figura 36.

### Figura 36

*Cortado de probetas para la prueba de permeabilidad*



**Fuente:** Propia. Imagen tomada en una empresa de piedras y lajas en la ciudad de Arequipa, el 06 de mayo del 2021.

Previamente a la realización de la prueba se tuvieron que preparar las probetas, colocando una membrana plástica y unos anillos en las partes superior e inferior de las probetas para que se puedan unir con las otras partes del permeámetro, como se aprecia en la Figura 37, de manera que se evite la salida del agua por los costados de las probetas al momento de unir las con las otras partes del permeámetro durante la prueba.

### **Figura 37**

*Preparación y medición de las probetas de concreto permeable para la prueba de permeabilidad*



**Fuente:** Propia. Imágenes tomadas en el Laboratorio CEDIICON el 07 de mayo del 2021.

En la Figura 38 se muestra la configuración del permeámetro con la probeta y la prueba de permeabilidad.

**Figura 38**

*Configuración del permeámetro y prueba de permeabilidad*



**Fuente:** Propia. Imágenes tomadas en el Laboratorio CEDIICON el 07 de mayo del 2021.

Los datos obtenidos y el procesamiento de los mismos se encuentran en el Anexo 12. En la Tabla 17 se puede apreciar la permeabilidad promedio para cada diseño de mezcla elaborado; se observa que los valores obtenidos son superiores a 1.40 mm/s, el cual es al valor mínimo de del rango que menciona el ACI 522R-10 (2), por lo tanto, en base a lo mencionado, podemos considerar que todos los concretos elaborados en la presente investigación son permeables dentro del rango mencionado por el ACI 522R-10 (2).

**Tabla 17**

*Resultados de la prueba de permeabilidad*

Diseño	Permeabilidad promedio (mm/s)
D 01 (Patrón)	3.97
D 02	3.19
D 03	2.94
D 04	3.74
D 05	3.30

**Fuente:** Elaboración Propia.

#### 4.1.3.2. Peso unitario y contenido de vacíos del concreto permeable endurecido (ASTM C 1754 o NTP 339.238).

El ensayo se realizó usando el método de secado B de la norma NTP 339.238 (19), que consiste en secar en un horno a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ$  durante  $24 \pm 1$  horas o hasta masa constante. En la Figura 39 se muestra el proceso de realización del ensayo.

#### Figura 39

*Ensayo de peso unitario y contenido de vacíos del concreto permeable endurecido*



**Fuente:** Propia. Imágenes tomadas en el Laboratorio CEDIICON entre el 03 y el 07 de mayo del 2021.

Los pesos unitarios promedio y contenido de vacíos son mostrados en la Tabla 18, los datos obtenidos y el procesamiento de los mismos se presentan en el Anexo 13.

**Tabla 18**

*Resultados del ensayo de peso unitario y contenido de vacíos del concreto permeable endurecido*

<b>Diseño</b>	<b>P.U. promedio (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Coef. Variación P.U. (%)</b>	<b>Contenido de Vacíos (%)</b>	<b>Coef. Variación % de Vacíos (%)</b>
D 01 (Patrón)	1839	0.89	25.3	5.09
D 02	1892	1.20	22.9	4.79
D 03	1971	1.08	19.8	5.26
D 04	1910	0.44	24.6	1.56
D 05	1944	1.42	20.5	2.52

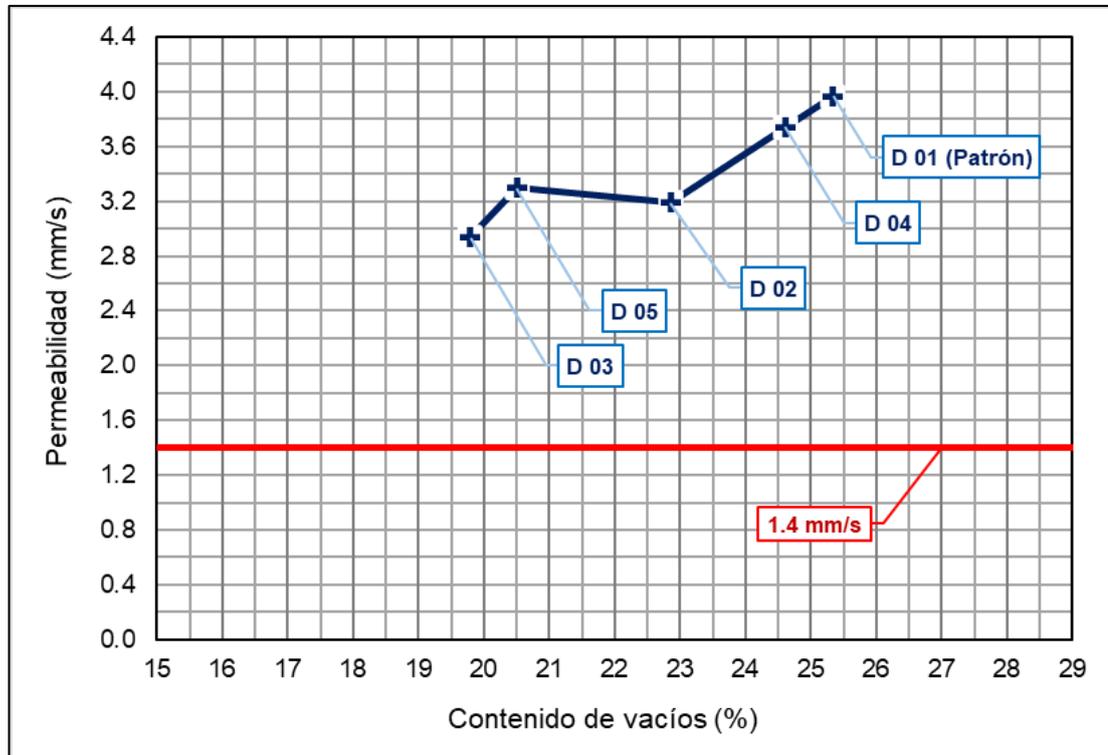
**Fuente:** Elaboración propia.

De acuerdo a la Norma NTP 339.238 (19), el coeficiente de variación para el peso unitario, usando el método de secado B, es de 1.76%, y para el contenido de vacíos es de 5.82%; en todos los casos, los valores de coeficientes de variación mostrados en la Tabla 18 son inferiores a los mencionados por dicha norma, por lo tanto se encuentran dentro de dichos rangos.

Al ordenar los valores de peso unitario de menor a mayor, como se muestra en la Figura 40, se aprecia que, tal como se mencionaba en la teoría, la permeabilidad está relacionada con el contenido de vacíos, de manera que, al tener un mayor contenido de vacíos será posible obtener mayores valores de permeabilidad.

**Figura 40**

*Permeabilidad en función al contenido de vacíos*



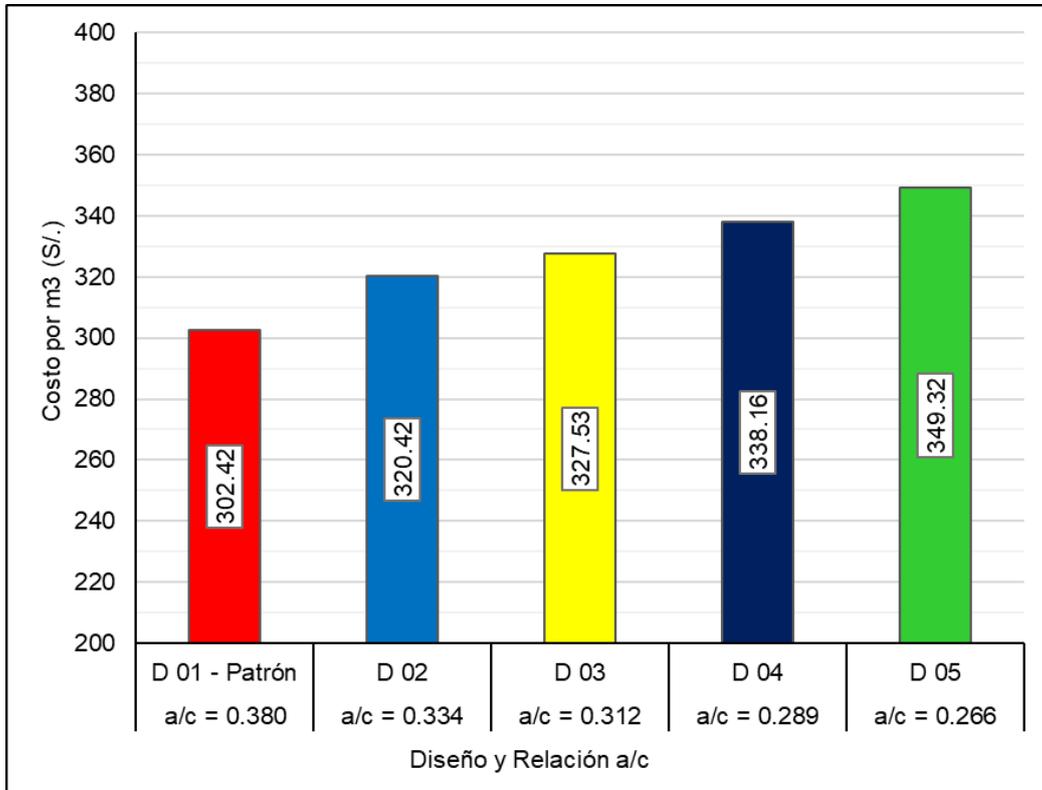
**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.1.4. Costo del concreto permeable

Se llevó a cabo una comparación de los costos que tendría la elaboración de las mezclas de concreto permeable en obra, el resumen de los costos correspondientes a cada diseño en el mes de mayo del presente año se muestra en la Figura 41, y el detalle de los mismos que se muestran en el Anexo 14.

**Figura 41**

*Costos de la elaboración de concreto permeable por cada diseño*



**Fuente:** Elaboración propia

Como se puede apreciar en la Figura 41, el costo de la elaboración del concreto permeable incrementa a medida que se reduce la relación a/c, esto se debe a que al reducir la relación se incrementa la dosis de aditivo, además de la cantidad de cemento usada por unidad cubica de concreto, como se apreció en la Figura 21. Lo anterior conduce al incremento en el costo de los materiales y, consecuentemente, de la producción del concreto permeable.

## 4.2. Comprobación de la hipótesis

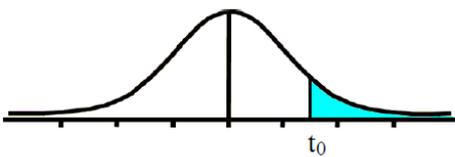
Se llevará a cabo mediante la realización de la Prueba t, la cual, de acuerdo a Hernández et al (2014) (23): “Es una prueba estadística para evaluar si dos grupos difieren entre sí de manera significativa respecto a sus medias en una variable [...]. Si hay diferentes variables, se efectuarán varias pruebas t (una por cada variable)” (p. 310).

Para la prueba primeramente se debe calcular el valor de t, luego, dicho valor se compara con el valor  $t_{\text{tabla}}$  obtenido de la tabla de t-Student mostrada en la Figura 42 (se determinada de acuerdo a los grados de libertad y el nivel de significancia) y, si el valor de t es igual o mayor al  $t_{\text{tabla}}$ , se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y, por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna ( $H_1$ ).

**Figura 42**

*Fragmento de la Tabla t-Student*

Tabla t-Student



Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693

**Fuente:** Recuperada de internet,  
[https://cms.dm.uba.ar/academico/materias/1ercuat2015/probabilidades\\_y\\_estadistica\\_C/tabla\\_tstudent.pdf](https://cms.dm.uba.ar/academico/materias/1ercuat2015/probabilidades_y_estadistica_C/tabla_tstudent.pdf)

La fórmula extraída del Centro de Recursos en Línea de Hernández et al (2014) (23) nos permite calcular el valor de t para dos muestras, siendo esta la siguiente:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)}}$$

Donde:

$\bar{X}_1$  : media de la muestra 1

$\bar{X}_2$  : media de la muestra 2

$s_1^2$  : desviación estándar de la primera muestra elevada al cuadrado

$s_2^2$  : desviación estándar de la segunda muestra elevada al cuadrado

$n_1$  : tamaño de la muestra 1

$n_2$  : tamaño de la muestra 2

Para una muestra y una media poblacional, el valor de t se calcula con la siguiente fórmula:

$$t = \frac{X - m}{S/\sqrt{n}}$$

Donde:

$\bar{X}$  : media de la muestra

$m$  : media poblacional

$S$  : desviación estándar de la muestra

$n$  : tamaño de la muestra

#### **4.2.1. Comprobación de hipótesis para la resistencia a la compresión**

En la Tabla 19 se muestran los datos y resultados obtenidos en la realización de la prueba de t para cada uno de los diseños de mezclas con aditivo superplastificante frente al diseño patrón; para ello se usa la fórmula para dos muestras, y se considera:

$H_0$  : En ningún caso los concretos con el aditivo alcanzan resistencias a la compresión mayores a los del concreto permeable patrón.

$H_1$  : En algunos casos los concretos con el aditivo alcanzan resistencias a la compresión mayores a los del concreto permeable patrón.

Además,  $\alpha= 0.05$ ;  $GL= 10$ ;  $t_{\text{tabla}}= 1.8125$

### Tabla 19

*Prueba t para la resistencia a la compresión de los diseños con el aditivo superplastificante frente a la del diseño patrón*

Diseño	$f'c_{\text{promedio}}$	S	n	t	Conclusión
D 01 (Patrón)	17.5	0.8	6		
D 02	21.3	1.4	6	5.7282	Se rechaza $H_0$
D 03	22.3	0.7	6	11.2094	Se rechaza $H_0$
D 04	23.1	2.4	6	5.4086	Se rechaza $H_0$
D 05	25.5	1.5	6	11.4988	Se rechaza $H_0$

**Fuente:** Elaboración propia

Se concluye que, en todos los casos, los concretos con el aditivo alcanzan resistencias a la compresión mayores a los del concreto permeable patrón.

De manera similar, en la Tabla 20 se muestran los datos y resultados obtenidos en la realización de la prueba de t para cada uno de los diseños de mezclas frente a la resistencia requerida por la Norma CE.010; para ello se usa la fórmula para una muestra y una media poblacional, y se considera:

$H_0$  : En ningún caso, los concretos con el aditivo alcanzan resistencias a la compresión mayores a los 17.5 MPa requeridos por la Norma CE.010 - Pavimentos Urbanos.

$H_1$  : En algunos casos, los concretos con el aditivo alcanzan resistencias a la compresión mayores a los 17.5 MPa requeridos por la Norma CE.010 - Pavimentos Urbanos.

Además,  $\alpha = 0.05$ ;  $GL = 5$ ;  $t_{\text{tabla}} = 2.0150$

## Tabla 20

*Prueba t para la resistencia a la compresión del diseño patrón y los diseños con el aditivo superplastificante frente a la requerida por la Norma CE.010*

Diseño	$f'c_{\text{promedio}}$	$f'c_{\text{CE.010}}$	S	n	t	Conclusión
D 01 (Patrón)	17.5	17.5	0.8	6	0.0000	Se acepta Ho
D 02	21.3	17.5	1.4	6	6.5550	Se rechaza Ho
D 03	22.3	17.5	0.7	6	17.0399	Se rechaza Ho
D 04	23.1	17.5	2.4	6	5.6918	Se rechaza Ho
D 05	25.5	17.5	1.5	6	12.9774	Se rechaza Ho

**Fuente:** Elaboración propia

Se concluye que, en todos los casos, los concretos con el aditivo alcanzan resistencias a la compresión mayores a los 17.5 MPa requeridos por la Norma CE.010 - Pavimentos Urbanos.

Adicionalmente, en la Tabla 20 se aprecia que el concreto patrón no alcanza una resistencia a la compresión mayor a los 17.5 MPa requeridos por la Norma CE.010 - Pavimentos Urbanos.

### 4.2.2. Comprobación de hipótesis para el módulo de rotura

De manera similar a lo realizado para la resistencia a la compresión, se lleva a cabo la prueba t para los resultados de módulo de rotura.

En la Tabla 21 se muestran los datos y resultados obtenidos en la realización de la prueba de t para cada uno de los diseños de mezclas con aditivo superplastificante frente al diseño patrón, para ello se usa la fórmula para dos muestras y se considera:

H0 : En ningún caso, los concretos con el aditivo alcanzan Módulos de Rotura mayores a los del concreto permeable patrón.

H1 : En algunos casos, los concretos con el aditivo alcanzan Módulos de Rotura mayores a los del concreto permeable patrón.

Además,  $\alpha = 0.05$ ;  $GL = 6$ ;  $t_{\text{tabla}} = 1.9432$

### Tabla 21

*Prueba t para los módulos de rotura de los diseños con el aditivo superplastificante frente al del diseño patrón*

Diseño	MR promedio	S	n	t	Conclusión
D 01 (Patrón)	4.0	0.14	4		
D 02	4.0	0.15	4	-0.4924	Se acepta Ho
D 03	4.0	0.41	4	0.0000	Se acepta Ho
D 04	4.4	0.34	4	1.9066	Se acepta Ho
D 05	5.2	0.35	4	6.0488	Se rechaza Ho

**Fuente:** Elaboración propia

Se concluye que, en algunos casos (D 05), el concreto con el aditivo alcanza Módulos de Rotura mayores a los del concreto permeable patrón.

De similar manera, en la Tabla 22 se muestran los datos y resultados obtenidos en la realización de la prueba de t para cada uno de los diseños de mezclas frente al Módulo de Rotura requerido por la Norma CE.010; para ello se usa la fórmula para una muestra y una media poblacional, y se considera:

H0 : En ningún caso los concretos con el aditivo alcanzan módulos de rotura mayores a los 3.4 MPa requeridos por la Norma CE.010 - Pavimentos Urbanos.

H1 : En algunos casos, los concretos con el aditivo alcanzan módulos de rotura mayores a los 3.4 MPa requeridos por la Norma CE.010 - Pavimentos Urbanos.

Además,  $\alpha = 0.05$ ;  $GL = 3$ ;  $t_{\text{tabla}} = 2.3534$

**Tabla 22**

*Prueba t para el módulo de rotura del diseño patrón y los diseños con el aditivo superplastificante frente a la resistencia requerida por la Norma CE.010*

Diseño	MR promedio	MR CE.010	S	n	t	Conclusión
D 01 (Patrón)	4.0	3.40	0.14	4	8.7153	Se rechaza Ho
D 02	4.0	3.40	0.15	4	7.3675	Se rechaza Ho
D 03	4.0	3.40	0.41	4	2.9033	Se rechaza Ho
D 04	4.4	3.40	0.34	4	5.5826	Se rechaza Ho
D 05	5.2	3.40	0.35	4	9.8748	Se rechaza Ho

**Fuente:** Elaboración Propia

Se concluye que, en todos los casos, los concretos con el aditivo alcanzan módulos de rotura mayores a los 3.4 MPa requeridos por la Norma CE.010 - Pavimentos Urbanos.

Adicionalmente, en la Tabla 22 se aprecia que el concreto patrón alcanza un módulo de rotura mayor a los 3.4 MPa requeridos por la Norma CE.010 - Pavimentos Urbanos.

#### **4.2.3. Comprobación de hipótesis para la tasa de infiltración**

En la Tabla 23 se muestran los datos y resultados obtenidos en la realización de la prueba de t para cada uno de los diseños de mezclas frente a la tasa de infiltración mínima del rango que menciona el ACI 52R-10; para ello se usa la fórmula para una muestra y una media poblacional, y se considera:

H0 : Las tasas de infiltración del concreto permeable patrón y los concretos permeables con el aditivo son menores al valor mínimo de 1.40 mm/s que menciona el ACI 522R-10 – Reporte sobre Concreto Permeable.

H1 : Las tasas de infiltración del concreto permeable patrón y los concretos permeables con el aditivo son mayores al valor mínimo de 1.40 mm/s, que menciona el ACI 522R-10 – Reporte sobre Concreto Permeable.

Además,  $\alpha = 0.05$ ;  $GL = 2$ ;  $t_{\text{tabla}} = 2.9200$

### Tabla 23

*Prueba t para la tasa de infiltración de todos los diseños frente a la tasa mínima que menciona el ACI 522R-10.*

Diseño	K promedio	K ACI522R-10	S	n	t	Conclusión
D 01 (Patrón)	4.0	1.40	0.41	3	10.8723	Se rechaza Ho
D 02	3.2	1.40	0.38	3	8.1561	Se rechaza Ho
D 03	2.9	1.40	0.44	3	6.0301	Se rechaza Ho
D 04	3.7	1.40	0.38	3	10.5475	Se rechaza Ho
D 05	3.3	1.40	0.70	3	4.6736	Se rechaza Ho

**Fuente:** Elaboración propia

Se concluye que las tasas de infiltración del concreto permeable patrón y los concretos permeables con el aditivo son mayores al valor mínimo de 1.40 mm/s que menciona el ACI 522R-10 – Reporte sobre Concreto Permeable.

## 4.3. Discusión de resultados

### 4.3.1. Diseño y elaboración de las mezclas de concreto permeable

Para determinar la relación a/c que será usada en el diseño de mezclas, es necesario elaborar probetas de prueba y confirmar que la pasta de cemento no fluye luego de que el concreto es colocado en los moldes; si no se realiza esto, probablemente se obtengan concretos con poros cerrados en la parte inferior de la probeta o del elemento vaciado.

Para obtener la dosis de aditivo superplastificante correspondiente a cada reducción de agua, si se desea obtener consistencias similares o una pasta de cemento estable, será necesario que se realicen pruebas con cemento, agua y aditivo, ya que la dosis correspondiente a cada reducción de agua no viene especificada en la ficha técnica de aditivos, y además dependerá del tipo de cemento que se desee usar en la preparación de las mezclas. La dosis máxima

de aditivo que fue usada en la presente investigación fue muy inferior a la dosis máxima recomendada por el fabricante del mismo; esto indicaría un mayor efecto reductor de agua, y que, al usar la dosis máxima recomendada, la reducción de agua sería superior al 30%.

El asentamiento del diseño D 05, correspondiente a la mayor dosis de aditivo superplastificante, no pudo ser medido, ya que aparentemente el concreto era muy fluido cuando no estaba confinado, es decir, al levantar el molde que lo contenía el concreto se desmoronó y perdió la forma de cono, esto se debe a la dosis alta de aditivo superplastificante y a que, como se mencionó anteriormente, el aditivo tuvo un mayor efecto reductor de agua del que se esperaba; sin embargo, al no presentarse problemas en la estabilidad de la pasta de cemento, se procedió a la elaboración de probetas y se confirmó que la pasta no fluía a la parte inferior de las mismas, por lo que no fue considerado como un punto negativo o una mezcla inadecuada.

Debido a que no se tiene un estándar para la elaboración de probetas (testigos) de concreto permeable, estos fueron elaborados en base a estudios realizados anteriormente, como son el de Calderón y Charca (2013) (27), y el de Pereira et al (2018) (7), este último menciona que para densidades superiores a  $2000 \text{ kg/m}^3$  una compactación en 2 capas con 20 golpes del martillo Próctor estándar cada una, puede no ser suficiente para alcanzar la densidad deseada; por lo tanto, ya que las densidades de los diseños de mezcla elaborados fueron superiores al valor mencionado, se realizaron pruebas con el martillo Próctor para cilindros y con el martillo Marshall para vigas, en las cuales se controló el peso del concreto en los moldes y se determinó el número de golpes y capas necesarias para elaborar las probetas de concreto permeable de la presente investigación.

## **4.3.2. Resistencia a la compresión y módulo de rotura del concreto permeable**

### **4.3.2.1. Resistencia a la compresión**

La disminución de la evolución de la resistencia de las probetas de concreto permeable a ciertas edades podría haber sido causada por una disminución temporal del nivel del agua en la poza de curado, ya que hubo momentos en que se retiró gran cantidad de probetas de la misma y eso pudo ocasionar que algunas de las probetas de concreto permeable, que estaban cerca de la superficie, quedaran expuestas parcialmente al aire hasta que se logró llenar nuevamente el nivel de agua en la poza, ello pudo crear zonas menos resistentes a las que estuvieron todo el tiempo sumergidas en el agua.

Se considera que los valores de referencia para el control de calidad del concreto, mostrados en la Tabla 14, son valores obtenidos a partir de cilindros de concreto normal y contenidos de vacíos muy inferiores a los obtenidos por los concretos permeables de la presente investigación; debido a que la estructura porosa del concreto permeable conlleva a que la distribución de las fuerzas se produzca a través de los puntos de contacto entre los agregados cubiertos por una delgada capa de pasta de cemento, las variaciones que pudieran existir en la distribución interna de los poros entre el agregado y la interconexión entre los mismos aumentarían la variación o dispersión de las resistencias obtenidas en los ensayos, esto conlleva a obtener un mayor coeficiente de variación y, en algunos casos, a superar los valores establecidos por el ACI 214R-11 (28) para el control de los resultados de resistencia a la compresión concreto.

La resistencia a los 28 días tiene un patrón creciente, con un valor máximo ligeramente inferior al alcanzado por Salis (2016) (4) para un menor contenido de vacíos, valores superiores a los alcanzados por Manan et al (2018) (5) con inclusión de agregado fino, Joshi & Dave (2016) (8) con un mayor contenido de

vacíos y por Kováč & Sičáková (2018) (6) con relaciones a/c y contenidos de vacíos cercanos a los obtenidos en la presente investigación.

El diseño D 01 (Patrón) presentó la menor resistencia a la compresión, con un valor promedio igual al mínimo de 17.5 MPa (175 kgf/cm<sup>2</sup>) requerido por la Norma CE.010 (1), lo cual pudo deberse a que este diseño presentó el mayor contenido de vacíos en estado endurecido; lo anterior podría indicar que, con un menor contenido de vacíos, dicho diseño sería capaz de obtener una resistencia mayor a la mínima requerida en la norma mencionada para su uso en pavimentos especiales.

#### **4.3.2.2. Resistencia a la tracción por flexión**

Se considera que el módulo de rotura alcanzado por las vigas a los 28 días tiene un patrón creciente, y todos los valores obtenidos fueron superiores al valor mínimo de 3.4 MPa (34 kgf/cm<sup>2</sup>) requerido por la Norma CE.010 para el uso del concreto en vías urbanas; además los resultados fueron superiores a los alcanzados por Villanueva (2020) (3) con inclusión de agregado fino, y considerando que de acuerdo al ACI 522R-10 (2) la resistencia del concreto permeable aumenta al incluir agregado fino, sería posible obtener Módulos de Rotura superiores a los obtenidos en la presente investigación si se incluyera agregado fino en el diseño y elaboración de las mezclas.

Similar a lo sucedido con las probetas para los ensayos de resistencia a la compresión, las variaciones que pudieron existir en la distribución interna de los poros entre el agregado y la interconexión entre los mismos, incrementan la variación o dispersión de los resultados de resistencia obtenidas en los ensayos de tracción por flexión, conduciendo a mayores coeficientes de variación y que en algunos casos superaron el valor que indica la Norma NTP 339.078 (21).

Los módulos de rotura obtenidos representan porcentajes alrededor del 20% de la resistencia a la compresión alcanzada por las probetas de concreto permeable a la edad de 28 días, esto indicaría que el rango de resistencia a la tracción por flexión del concreto permeable es superior al esperado para el concreto convencional, el cual se suele considerar entre el 10% y 20% de la resistencia a la compresión del mismo.

#### **4.3.3. Tasa de infiltración o permeabilidad**

La permeabilidad de las probetas elaboradas no tuvo un patrón creciente como se presentó en los ensayos de resistencia a la compresión y a la tracción por flexión, esto se debe a que la permeabilidad está relacionada al contenido de vacíos y no a la composición de la pasta de cemento, por ello se realizó el ensayo de contenido de vacíos en estado endurecido, posteriormente se ordenaron los valores obtenidos en función de este último y se pudo apreciar que efectivamente existe dicha relación, ya que los resultados obtenidos tienen un patrón creciente para los mayores valores de contenido de vacíos, siendo el mayor contenido de vacíos el correspondiente al diseño D 01 (Patrón) con una permeabilidad de 3.97 mm/s.

Los resultados obtenidos fueron superiores al valor mínimo de 1.34 mm/s del rango mencionado en el ACI 522R-10 (2), debido a que se consideraba dicho valor mínimo para un contenido de vacíos de 15%, pero los contenidos de vacíos de los concretos elaborados se encontraron por encima de dicho valor.

#### **4.3.4. Costo del concreto permeable**

Al llevar a cabo el análisis de costos unitarios se apreció que este incrementa a medida que se reduce la relación a/c, esto se debe a que al disminuir la relación a/c se incrementa el consumo de cemento para conseguir un mismo volumen de pasta en todos los diseños; sin embargo, el aumento del costo podría justificarse

con las mejoras obtenidas en la resistencia mecánica del concreto, como pudo apreciarse para el diseño D 05, que con un costo de S/ 349.32 por metro cúbico, alcanza una Resistencia a la Compresión y Módulo de Rotura superiores en 46% y 29%, respectivamente, a los del concreto sin aditivo.

## CONCLUSIONES

### GENERAL

La resistencia mecánica del concreto permeable al incluirle el aditivo superplastificante es afectada de forma positiva, ya que el concreto logró alcanzar resistencias a la compresión promedio mayores a la obtenida por el concreto permeable sin aditivo, y, el Módulo de Rotura promedio en algunos casos, es superior al alcanzado por el concreto sin el aditivo; todos los diseños elaborados (incluido el diseño sin aditivo) alcanzaron módulos de rotura superiores a 3.4 MPa, lo que haría posible su uso en pavimentos urbanos.

### ESPECÍFICAS

**Primera.** - Se logró usar el aditivo superplastificante para elaborar concretos permeables con menores relaciones a/c que la del concreto permeable Patrón, realizando la reducción de agua en el rango de 12% al 30%; las dosis de aditivo superplastificante adecuadas para el diseño y elaboración del concreto permeable deben determinarse a través de pruebas previas y mediante la elaboración de probetas de prueba, a fin de verificar la estabilidad de la pasta. Adicionalmente, el aditivo MasterRheobuild 1003 presentó un buen efecto reductor de agua, ya que se usaron dosis inferiores a la dosis máxima recomendada, por lo tanto, podría alcanzar un rango de reducción de agua superior a 30%.

**Segunda.** - Los concretos permeables elaborados con el aditivo superplastificante alcanzaron resistencias a la compresión promedio en el rango de 21.3 a 25.5 MPa (213 a 255 kgf/cm<sup>2</sup>), siendo superiores a los 17.5 MPa (175 kgf/cm<sup>2</sup>) alcanzados por el concreto permeable Patrón; a su vez, se comprobó que los concretos permeables con el aditivo superplastificante cumplen con el requisito mínimo de 17.5 MPa (175 kgf/cm<sup>2</sup>)

de la Norma CE.010 para su uso en pavimentos especiales. Los módulos de rotura promedio alcanzados por los concretos con aditivo estuvieron en el rango de 3.95 a 5.15 MPa (39.5 a 51.5 kgf/cm<sup>2</sup>), de los cuales, se comprobó que el diseño D 05 alcanza módulos de rotura superiores a los 4.0 MPa (40.0 kgf/cm<sup>2</sup>) obtenidos por el concreto permeable Patrón; además, se comprobó que todos los diseños cumplen con el requisito mínimo de 3.4 MPa (34 kgf/cm<sup>2</sup>) de la Norma CE.010 para su uso en vías urbanas. Los valores máximos de resistencia a la compresión y a la tracción por flexión fueron alcanzados por el diseño D 05, con resultados promedio de 25.5 y 5.15 MPa (255 y 51.5 kgf/cm<sup>2</sup>), respectivamente, dichos valores serían superiores en 46% y 29% a los del concreto sin aditivo.

**Tercera.** - Las tasas de infiltración promedio alcanzadas por el concreto permeable Patrón y los concretos permeables con el aditivo superplastificante se encuentran en el rango de 2.94 a 3.97 mm/s, y se comprobó que, para todos los diseños elaborados, las tasas de infiltración obtenidas son superiores al valor mínimo de 1.4 mm/s del rango que menciona el Reporte ACI 522R-10.

## RECOMENDACIONES

**Primera.**- Ya que el concreto permeable es muy sensible al contenido de agua, y la pasta de cemento podría fluir hacia la parte inferior de los moldes, se recomienda realizar pruebas previas para determinar la relación a/c adecuada; para ello debe usarse de manera iterativa distintas cantidades de cemento, agua, y, de ser el caso, aditivo superplastificante, hasta obtener pastas de cemento adecuadas para el proceso de diseño, elaboración y colocación del concreto permeable en los respectivos moldes.

**Segunda.** - Debido a que, en algunos casos, se obtuvieron coeficientes de variación superiores a lo indicado por los estándares correspondientes, tanto para la resistencia a la compresión como para la resistencia a la tracción por flexión, se recomienda ensayar un mayor número de probetas o especímenes cilíndricos y prismáticos por cada diseño de mezclas, ya que con ello se podría disminuir el coeficiente de variación y obtener un mayor grado de control o precisión en los resultados.

**Tercera.** - Se recomienda seguir investigando el tema, especialmente el comportamiento del concreto permeable, usando materiales distintos a los usados en la presente investigación, determinando también los costos y beneficios entre las distintas dosificaciones, para así brindar una mayor base de datos o información, para que los futuros estudios consigan optimizar el costo de los materiales necesarios para la producción del concreto permeable.

**Cuarta.** - Con la finalidad de disminuir el consumo de cemento al reducir la relación a/c del concreto permeable, se recomienda que en futuras investigaciones se incorpore agregado fino en las mezclas y se determine su influencia sobre las características finales del concreto, de esta manera se podrían conseguir menores costos de los materiales necesarios para la producción de concreto permeable.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Reglamento Nacional de Edificaciones - RNE.** Norma Técnica de Edificación CE.010 Pavimentos Urbanos. 2010.
2. **American Concrete Institute (ACI).** ACI 522R-10 Report on Pervious Concrete. 2010.
3. **Villanueva Quispe, Kenhy Johel.** Influencia de diferentes porcentajes del agregado fino en las propiedades mecánicas e hidráulicas de un concreto permeable, en Trujillo 2020. Trujillo, Perú : Universidad Privada del Norte, 2020.
4. **Salis Valverde, Bequer.** Influencia del contenido de aire en concretos porosos con agregados de la cantera Yanag - Huánuco, 2016. Huánuco, Perú: Universidad Nacional Hermilio Valdizán, 2016.
5. *Experimental Investigation of Compressive Strength and Infiltration Rate of Pervious Concrete by Fully Reduction of Sand.* **Manan, Aneel, et al.** 4, Peshawar: Civil Engineering Journal, 2018, Vol. 4.
6. *Pervious Concrete as an Environmental Solution for Pavements: Focus on Key Properties.* **Kováč, Marek y Sičáková, Alena.** 1, Slovakia : s.n., 2018, Environments, Vol. 5.
7. *Best practices for pervious concrete mix design and laboratory tests.* **Pereira da Costa, Fernanda Bianchi, y otros.** 5, São Paulo : IBRACON de Estruturas e Materiais, 2018, Vol. 11. 1983-4195.
8. *Evaluation of strength, permeability and void ratio of Pervious concrete with changing W/C ratio and aggregate size.* **Joshi, Tejas y Dave, Urmil.** Ahmedabad: International Journal of Civil Engineering and Technology, 2016, Vol. 7. 0976-6316.
9. **Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales No Arancelarias - INDECOPI.** NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.011.

- AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos). 2 Lima, Perú: s.n., 2008.
10. NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.017. AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (peso unitario) y los vacíos en los agregados. 3 Lima, Perú: s.n., 2011.
  11. **Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI.** NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.021. AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso. 2 Lima, Perú : s.n., 2002.
  12. **Rivva López, Enrique.** *Naturaleza y Materiales del Concreto*. 1. Lima : CAPÍTULO PERUANO ACI, 2000.
  13. **Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI.** NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.047. HORMIGÓN (CONCRETO). Definiciones y terminología relativas al hormigón y agregados. 2 Lima, Perú : s.n., 2006.
  14. **Dirección de Normalización - INACAL.** NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 334.088. CEMENTOS. Aditivos químicos en pastas, morteros y concreto. Especificaciones. 3 Lima, Perú: s.n., 2015.
  15. *ADITIVOS REDUCTORES DE AGUA PARA CONCRETO PREMEZCLADO.* **Ferraz, Daniela Fabiane.** MAYO de 2016, CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA EN CONCRETO, págs. 22-23.
  16. **American Concrete Institute (ACI).** ACI 211.3R-02 - Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete. 2002.
  17. *No-Fines Pervious Concrete for Paving.* **Meininger, Richard C.** 1998, Concrete International, Vol. 10, págs. 20-27.
  18. **Dirección de Normalización - INACAL.** NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.230. CONCRETO. Método de ensayo normalizado para determinar la densidad y el contenido de vacío del concreto permeable fresco. 2 Lima, Perú: s.n., 2018.

19. NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.238. CONCRETO. Método de ensayo normalizado para determinar la densidad y contenido de vacíos del concreto permeable endurecido. 1 Lima, Perú : s.n., 2013.
20. **Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI.** NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.034 - HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas. 3 Lima, Perú : s.n., 2008.
21. **Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias - INDECOPI.** NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.078 - CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo. 3 Lima, Perú : s.n., 2012.
22. **American Concrete Institute (ACI).** ACI 116R - Terminología del cemento y el hormigón. 2000.
23. **Hernández Sampieri, Roberto; Fernández Collado, Carlos; y Baptista Lucio, Maria del Pilar.** *Metodología de la Investigación.* 6. s.l. : Mc Graw Hill Education, 2014.
24. **Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales No Arancelarias - INDECOPI.** NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 334.082 - CEMENTOS. Cementos Portland. Especificación de la performance. 3 Lima, Perú : s.n., 2008.
25. **ASTM INTERNATIONAL.** ASTM C494/C494M - Standar Specification for Chemical Admixtures for Concrete. 2011.
26. **Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales No Arancelarias - INDECOPI.** NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.035 - HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland. 3 Lima, Perú : s.n., 2009.

27. **Calderón Colca, Yaneth Verónica; y Charca Chura, Juan Antonio.** Análisis y Diseño de Pavimentos Permeables de Concreto Poroso. Arequipa, Perú: Universidad Nacional de San Agustín, 2013.
28. **American Concrete Institute (ACI).** ACI 214R-11 – Guía para la evaluación de los resultados de las pruebas de resistencia del concreto. 2011.

# **ANEXOS**

## ANEXO 01: Matriz de Consistencia

“Evaluación de la resistencia mecánica de un concreto permeable ordinario frente a concretos permeables elaborados con un aditivo superplastificante y relaciones a/c menores, para su uso en pavimentos urbanos; Arequipa – 2021”

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADOR
<b>GENERAL</b>			<b>Independiente</b>		
¿Cómo varía la resistencia mecánica (compresión y módulo de rotura) de un concreto permeable ordinario frente a concretos permeables elaborados con un aditivo superplastificante y relaciones a/c menores, para su uso en pavimentos urbanos?	Determinar y evaluar la variación de la resistencia mecánica (compresión y módulo de rotura) de un concreto permeable ordinario frente a concretos permeables con un aditivo superplastificante y relaciones a/c menores, para su uso en pavimentos urbanos.	El concreto permeable elaborado con un aditivo superplastificante y menor relación a/c que la del concreto permeable ordinario, alcanza mayores resistencias mecánicas (compresión y módulo de rotura) frente a las de este último, haciendo posible su uso en pavimentos urbanos.	Cantidad de aditivo superplastificante	Dosis de aditivo en función al peso del cemento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consistencia del concreto</li> <li>• Estabilidad de la pasta de cemento</li> <li>• Disminución de agua deseada</li> <li>• Peso del aditivo</li> <li>• Peso del cemento</li> </ul>
<b>ESPECÍFICOS</b>			<b>Dependiente</b>		
• ¿Puede usarse aditivo superplastificante para realizar reducciones de la cantidad de agua de mezcla en el rango de 12 a 30% y elaborar concretos permeables con relaciones a/c menores a la de un concreto permeable ordinario (patrón)?	• Elaborar concretos permeables con aditivo superplastificante y relaciones a/c menores a la de un concreto permeable ordinario (patrón), llevando a cabo reducciones de la cantidad de agua de mezcla en el rango de 12 a 30%.	• Al usar un aditivo superplastificante se puede reducir la cantidad del agua de mezcla en el rango de 12 a 30% y elaborar concretos permeables con relaciones a/c menores a la de un concreto permeable ordinario (patrón).	Relación a/c	a/c	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cantidad de aditivo superplastificante</li> <li>• Consistencia del concreto</li> <li>• Estabilidad de la pasta de cemento</li> <li>• Peso del agua</li> <li>• Peso del cemento</li> </ul>
• ¿Los concretos permeables con el aditivo alcanzan resistencias a la compresión y módulos de rotura mayores a los del concreto permeable patrón, y al mismo tiempo superiores a 17.5 y 3.4 MPa (175 y 34 kgf/cm <sup>2</sup> ), respectivamente, para su uso en pavimentos urbanos de acuerdo a los requisitos de la Norma CE.010 – Pavimentos Urbanos?	• Determinar si los concretos permeables con el aditivo alcanzan resistencias a la compresión y módulos de rotura mayores a los del concreto permeable patrón, y al mismo tiempo superiores a 17.5 y 3.4 MPa (175 y 34 kgf/cm <sup>2</sup> ) respectivamente, para su uso en pavimentos urbanos de acuerdo a los requisitos de la Norma CE.010 - Pavimentos Urbanos.	• En algunos casos, los concretos con el aditivo alcanzan resistencias a la compresión y módulos de rotura mayores a los del concreto permeable patrón y a los 17.5 y 3.4 MPa (175 y 34 kgf/cm <sup>2</sup> ) respectivamente, requeridos por la Norma CE.010 - Pavimentos Urbanos.	Resistencia mecánica del concreto	Resistencia a la Compresión (f'c)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contenido de vacíos</li> <li>• Relación a/c</li> <li>• Ensayo de compresión axial</li> </ul>
				Módulo de rotura (MR) o resistencia a la tracción por flexión	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contenido de Vacíos</li> <li>• Relación a/c</li> <li>• Ensayo de Tracción por Flexión</li> </ul>
• ¿Las tasas de infiltración alcanzadas por el concreto permeable patrón y los concretos permeables con el aditivo se encuentran en el rango de 0.14 a 1.22 cm/s mencionado por el ACI 522R-10 – Reporte sobre Concreto Permeable?	• Determinar si las tasas de infiltración alcanzadas por el concreto permeable patrón y los concretos permeables con el aditivo se encuentran en el rango de 0.14 a 1.22 cm/s mencionado por el ACI 522R-10 – Reporte sobre Concreto Permeable.	• Las tasas de infiltración del concreto permeable patrón y los concretos permeables con el aditivo si se encuentran en el rango de 0.14 a 1.22 cm/s que menciona el ACI 522R-10 – Reporte sobre Concreto Permeable.	Permeabilidad	Permeabilidad (k)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estabilidad de la pasta de cemento</li> <li>• Contenido de Vacíos</li> <li>• Prueba de Permeabilidad</li> </ul>

## ANEXO 02: Constancia de realización de ensayos de laboratorio



# CONSTANCIA DE REALIZACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Mediante la presente, se hace constar que los tesisistas en Ingeniería Civil de la Universidad Continental filial Arequipa, el Sr. FERNANDO HIPÓLITO CRUZ DÍAZ con DNI N° 71619252 y el Sr. CLEVER FRANK ARANA PARI con DNI N° 72941768, realizaron en el laboratorio CEDIICON (Centro de Desarrollo, Innovación e Investigación para la Construcción), de la empresa ECOCRET SA; los ensayos necesarios para el desarrollo de su trabajo de tesis titulada **“EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DE UN CONCRETO PERMEABLE ORDINARIO FRENTE A CONCRETOS PERMEABLES ELABORADOS CON UN ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y RELACIONES A/C MENORES, PARA SU USO EN PAVIMENTOS URBANOS; AREQUIPA – 2021”**; desde el 15/03/2021 hasta el 07/05/2021; los ensayos desarrollados, se detallan a continuación:

- Caracterización física del agregado grueso:
  - Granulometría
  - Contenido de Humedad
  - Peso Unitario Suelto y Varillado
  - Peso Específico y Absorción
- Características del concreto permeable en estado fresco:
  - Asentamiento – Slump
  - Peso Unitario y contenido de vacíos
- Elaboración de probetas cilíndricas y prismáticas de concreto permeable.
- Características del concreto permeable en estado endurecido:
  - Resistencia a la compresión axial
  - Resistencia a la tracción por flexión
  - Peso Unitario y contenido de vacíos

Se expide esta constancia a solicitud de los interesados, para los fines que vean convenientes.

Juan Antonio Chaves Chaves  
GERENTE GENERAL  
ECOCRET S.A

Arequipa, 04 de junio del 2021.

### ECOCRET S.A

AV. BRASIL MZ D LT 13 ASC. APTASA  
PARQUE INDUSTRIAL DE RIO SECO - AREQUIPA

## Resumen de las actividades realizadas por los tesisistas

Ensayos para la caracterización física del agregado grueso:

- i. Análisis Granulométrico - Densidad de masa suelta
- ii. Contenido de Humedad - Densidad de masa varillada
- iii. Densidad de masa y vacíos
- iv. Peso específico y absorción

Determinación de la relación a/c inicial para el concreto patrón y las dosis de aditivo para las relaciones a/c correspondientes a los demás diseños de mezclas.

Diseño de mezclas de concreto permeable:

- i. Diseño D 01 (Patrón) – relación a/c = 0.38
- ii. Diseño D 02 – relación a/c = 0.334
- iii. Diseño D 03 – relación a/c = 0.312
- iv. Diseño D 04 – relación a/c = 0.289
- v. Diseño D 05 – relación a/c = 0.266

Pruebas para determinar el tipo de compactación para la elaboración de las probetas cilíndricas y prismáticas de concreto permeable.

Preparación de mezclas.

Ensayos al concreto permeable en estado fresco:

- i. Asentamiento – Slump
- ii. Peso unitario y contenido de vacíos en estado fresco

Elaboración de probetas cilíndricas y prismáticas.

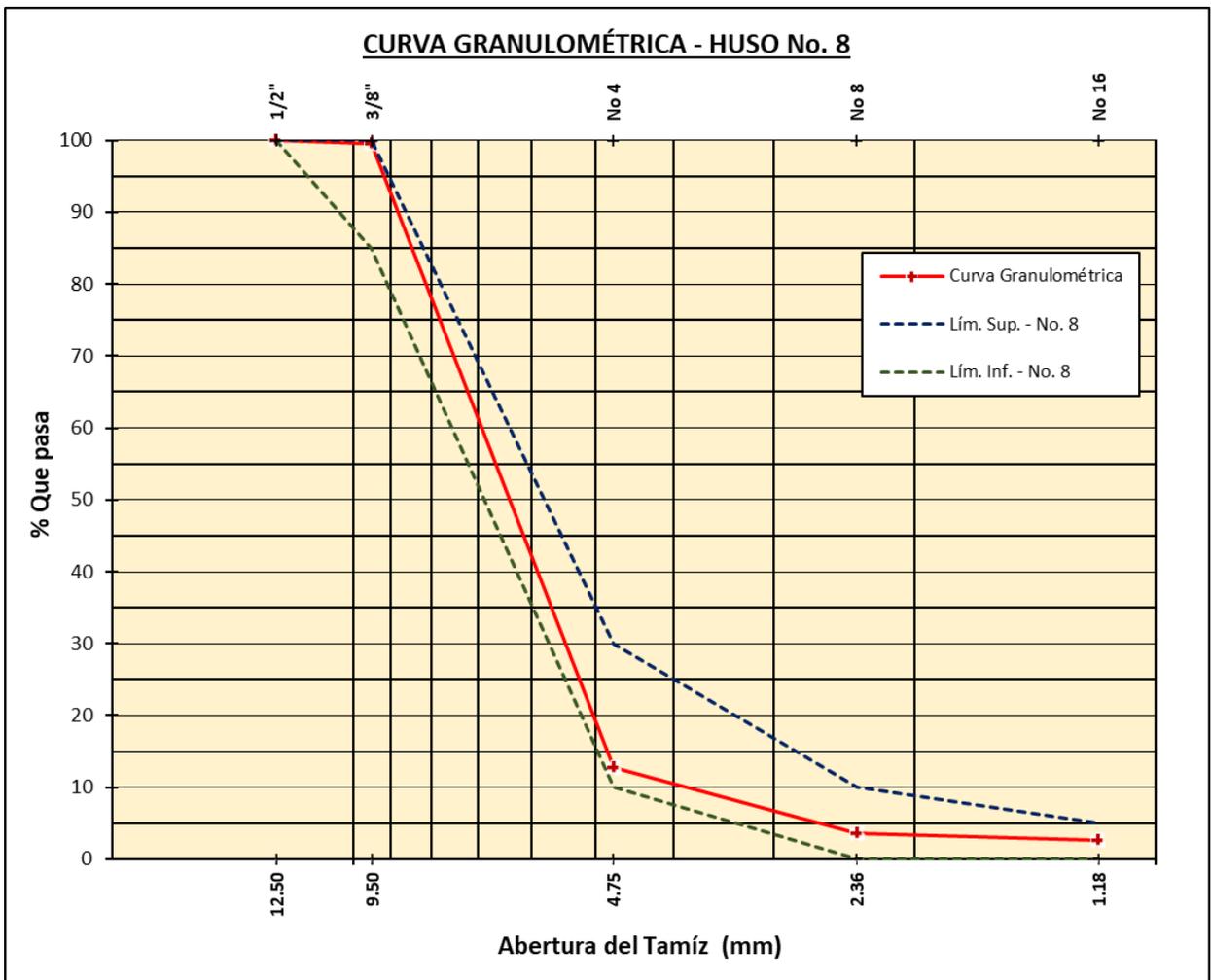
Ensayos al concreto permeable en estado endurecido:

- i. Resistencia a la compresión axial
- ii. Resistencia a la tracción por flexión
- iii. Prueba de permeabilidad
- iv. Peso unitario y contenido de vacíos en estado endurecido

### ANEXO 03: Características físicas del agregado grueso

#### i. Análisis granulométrico

Tamiz	Abertura (mm)	Peso del Tamiz (gr)	Peso del Tamiz + Muestra (gr)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Que pasa
1/2"	12.50	527.3	527.3				100.0
3/8"	9.50	523.3	528.0	4.68	0.4	0.4	99.6
No 4	4.75	1191.6	2170.5	978.94	86.9	87.3	12.7
No 8	2.36	473.0	576.7	103.63	9.2	96.5	3.5
No 16	1.18	405.1	415.7	10.62	0.9	97.4	2.6
No 50	0.30	739.4	745.8	6.37	0.6	98.0	2.0
Fondo		807.6	830.4	22.80	2.0	100.0	
<b>TOTAL</b>				<b>1127.04</b>			



ii. **Contenido de humedad**

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
MASA DEL RECIPIENTE	524.5	505.0	525.5
MASA DE LA MUESTRA HÚMEDA + RECIP. (gr)	5668.0	5699.5	5506.5
MASA DE LA MUESTRA HÚMEDA (gr)	5143.5	5194.5	4981.0
MASA SECA DE LA MUESTRA + RECIPIENTE (gr)	5665.5	5694.0	5502.5
MASA SECA DE LA MUESTRA (gr)	5141.0	5189.0	4977.0
MASA DEL AGUA (gr)	2.5	5.5	4.0
CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD EVAPORABLE (%)	0.05	0.11	0.08
<b>CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD EVAPORABLE (%)</b>	<b>0.08 %</b>		

iii. **Densidad de masa y vacíos en los agregados**

a. **Densidad de masa por apisonado**

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
MASA DEL RECIPIENTE (gr)	0.0	0.0	0.0
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (m3)	0.00721	0.00721	0.00721
MASA DE LA MUESTRA + RECIPIENTE (gr)	11134.0	11202.0	11219.5
MASA DE LA MUESTRA (gr)	11134.0	11202.0	11219.5
DENSIDAD DE MASA (P.U.) SUELTA (kg/m3)	1544.2	1553.7	1556.1
DENSIDAD DE MASA (P.U.) POR APISONADO (kg/m3)		<b>1551.3</b>	
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE MASA DEL AGREGADO		2.58	
% DE VACÍOS EN EL AG. COMPACTADO POR APISONADO		<b>40 %</b>	

b. **Densidad de masa suelta**

	<b>1</b>	<b>2</b>
MASA DEL RECIPIENTE (gr)		
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (m3)	0.00721	0.00721
MASA DE LA MUESTRA + RECIPIENTE (gr)	10500.5	10512.0
MASA DE LA MUESTRA (gr)	10500.5	10512.0
DENSIDAD DE MASA (P.U.) SUELTA (kg/m3)	1456.4	1458.0
<b>DENSIDAD DE MASA (P.U.) SUELTA (kg/m3)</b>	<b>1457.2</b>	
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE MASA DEL AGREGADO	2.58	
<b>% DE VACÍOS EN EL AG. COMPACTADO POR APISONADO</b>	<b>44 %</b>	

iv. **Peso específico y absorción**

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
MASA DEL RECIPIENTE (gr)	252.0	252.0	252.0
MASA DE LA MUESTRA SSS + RECIP. EN EL AIRE (gr)	2841.0	2789.5	2643.0
MASA DE LA MUESTRA SSS EN EL AIRE (gr)	2589.0	2537.5	2391.0
MASA DEL CONTENEDOR EN EL AGUA (gr)	242.0	242.0	242.0
MASA DE LA MUESTRA SSS + CONTEN. EN EL AGUA (gr)	1842.5	1813.5	1721.5
MASA DE LA MUESTRA SSS EN EL AGUA (gr)	1600.5	1571.5	1479.5
MASA DEL RECIPIENTE (gr)	0.0	0.0	0.0
MASA DE LA MUESTRA SECA + RECIP. EN EL AIRE (gr)	2544.5	2496.0	2350.5
MASA DE LA MUESTRA SECA EN EL AIRE (gr)	2544.5	2496.0	2350.5
VOLUMEN DE MASA + VOLUMEN DE VACÍOS	988.5	966.0	911.5
VOLUMEN DE MASA	944.0	924.5	871.0
PESO ESPECÍFICO DE MASA (Pem)	2.57	2.58	2.58
<b>PESO ESPECÍFICO DE MASA (Pem)</b>	<b>2.58</b>		
PESO ESPECÍFICO DE MASA SSS (PeSSS)	2.62	2.63	2.62
<b>PESO ESPECÍFICO DE MASA SSS (PeSSS)</b>	<b>2.62</b>		
PESO ESPECÍFICO APARENTE (Pea)	2.70	2.70	2.70
<b>PESO ESPECÍFICO APARENTE (Pea)</b>	<b>2.70</b>		
ABSORCIÓN % (Ab)	1.75	1.66	1.72
<b>ABSORCIÓN % (Ab)</b>	<b>1.71</b>		

## ANEXO 04: Diseños de mezclas de concreto permeable

### i. Diseño D 01 (Patrón) – relación a/c = 0.38

<b>Diseño :</b>	Concreto Permeable Ordinario (Patrón), Relación a/c = 0.380
-----------------	---

Descripción	Unidad	Cantidad				
<b><u>Concreto Permeable</u></b>						
Contenido de Vacíos	%	15				
Relación a/c		<b>0.380</b>				
Contenido de Agregado Fino	% masa del AG	0				
Nivel de Compactación		<b>Bien compactado</b>				
<b><u>Agregado Grueso</u></b>						
Peso Unitario Varillado	kg/m3	1551.3				
Peso específico de masa (SSS)	gr/cm3	2.62				
Porcentaje de Absorción	%	1.71				
Contenido de Humedad	%	0.08				
Tamaño Máximo Nominal	pulg	3/8				
Huso Granulométrico	#	8				
<b><u>Cemento</u></b>						
Tipo		Portland HE				
Gravedad Específica Promedio		2.94				
<b><u>Agua</u></b>						
Densidad	kg/m3	1000				
<b><u>Aditivo</u></b>						
Tipo		F - Reductor de Agua de Alto Rango				
Densidad	kg/l	1.21				
Rango de dosis recomendada	%	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;"><i>Min.</i></td> <td style="width: 50%; text-align: center;"><i>Max.</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0.79</td> <td style="text-align: center;">1.90</td> </tr> </table>	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>	0.79	1.90
<i>Min.</i>	<i>Max.</i>					
0.79	1.90					
Dosis de aditivo (% Peso del cemento)	%	0.00				
Rango de Reducción de agua supuesto	%	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;"><i>Min.</i></td> <td style="width: 50%; text-align: center;"><i>Max.</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">12</td> <td style="text-align: center;">30</td> </tr> </table>	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>	12	30
<i>Min.</i>	<i>Max.</i>					
12	30					
Relación a/c sin el uso de aditivo (Concreto Patrón)		0.380				
Reducción de agua	%	0				

**P 1.- Determinar el peso del agregado**

Valores Efectivos  $b/b_0$

Porcentaje de Agregado Fino	$b/b_0$	
	ASTM C33/C33M Tamaño No. 8	ASTM C33/C33M Tamaño No. 67
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

Fuente: Aci 522R-10 - Reporte sobre Concreto Permeable

Peso Unitario Varillado	=	1551.3	kg/m <sup>3</sup>
Contenido de Agregado Fino	=	0	% A.G.
Huso Granulométrico	=	#	8
$b/b_0$	=	0.99	%
<b>Peso de Agregado Grueso (Seco)</b>	=	<b>1535.79</b>	<b>Kg</b>

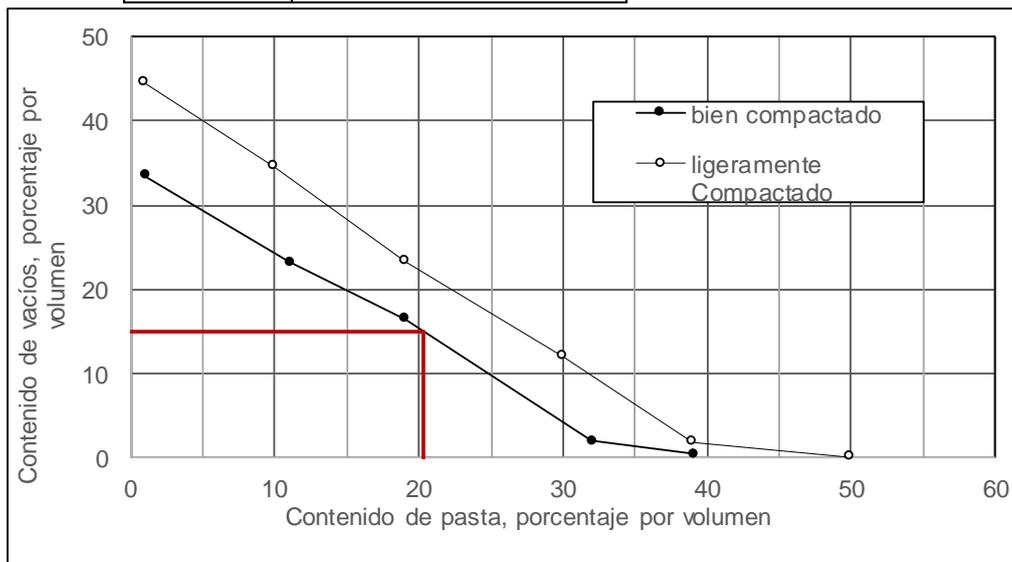
**P 2.- Ajuste al peso Saturado Superficialmente Seco (SSS)**

Porcentaje de Absorción	=	1.71	%
Peso de Agregado Grueso (Seco)	=	1535.79	Kg
<b>Peso de Agregado Grueso SSS</b>	=	<b>1562.05</b>	<b>Kg</b>

**P 3.- Determinar el volumen de la pasta**

Contenido de Vacíos	=	15	%
Tipo de Compactación :			

<b>X</b>	<b>Bien compactado</b>
	<b>Ligeramente compactado</b>



Fuente: Aci 522R-10 - Reporte sobre Concreto Permeable

Contenido de Pasta	=	20.25	%
<b>Volumen de Pasta</b>	=	<b>0.2025</b>	<b>m3</b>

#### P 4.- Determinar el contenido de cemento

$V_p$	=	$V_c + V_{\text{agua de mezcla}}$
$V_p$	=	$V_c + (V_a + V_{ad})$
$V_p$	=	$c / (GE_c * \rho_a) + a / (\rho_a) + ad / (GE_{ad} * \rho_a)$
$a$	=	$(a/c) c$
$ad$	=	$c * (\% ad) / 100$
$V_p$	=	$c / (GE_c * \rho_a) + (a/c) c / (\rho_a) + c * (\% ad) / 100 / (GE_{ad} * \rho_a)$
$V_p$	=	$(c / \rho_a) * [(1 / GE_c) + (a/c) + (\% ad) / (100 * GE_{ad})]$
$c$	=	$(V_p * \rho_a) / [(1 / GE_c) + (a/c) + (\% ad) / (100 * GE_{ad})]$

Gravedad específica del cemento	=	2.94	
Dosis de Aditivo	=	0.00	%
Densidad del Aditivo	=	1.21	kg/l
Densidad del Agua	=	1000	kg/m3
Relación a/c	=	0.380	
Volumen de Pasta	=	0.2025	m3
<b>Peso del Cemento</b>	=	<b>281.20</b>	<b>kg</b>

#### P 5.- Determinar el contenido de agua

$$a = (a/c) c$$

Relación a/c	=	0.38	
Peso del Cemento	=	281.20	kg
<b>Peso del Agua</b>	=	<b>106.85</b>	<b>kg</b>

#### P 6.- Determinar el volumen sólido

<i>Peso de Agregado Grueso (SSS)</i>	=	1562.05	Kg
Peso específico de masa del A.G. (SSS)	=	2.62	gr/cm3
<b>Volumen de Agregado Grueso</b>	=	<b>0.5962</b>	<b>m3</b>
Peso del Cemento	=	281.20	kg
Gravedad específica del cemento	=	2.94	gr/cm3
<b>Volumen de Cemento</b>	=	<b>0.0956</b>	<b>m3</b>
Peso del Agua	=	106.85	kg
Densidad del Agua	=	1000	kg/m3
<b>Volumen de Agua</b>	=	<b>0.1069</b>	<b>m3</b>
Dosis de Aditivo	=	0.00	%
Peso del Aditivo	=	0.000	kg
Densidad del Aditivo	=	1.21	kg/l

Volumen de Aditivo	=	0.0000	m3
Volumen Sólido total	=	0.7987	m3

#### P 7.- Determinar el porcentaje de vacíos

$$\text{Porcentaje de vacíos} = (\text{V total} - \text{V sólido}) / (\text{V total}) * 100$$

Volumen Total	=	1.0000	m3
Volumen Sólido	=	0.7987	m3
<b>Porcentaje de vacíos Teórico</b>	=	<b>20.13</b>	<b>%</b>
Porcentaje de Vacíos Esperado	=	15.00	%
<b>Δ Porcentaje de Vacíos</b>	=	<b>5.13 %</b>	<b>X</b>

#### **AJUSTE DEL VOLUMEN DE PASTA PARA ALCANZAR EL PORCENTAJE DE VACÍOS REQUERIDO**

Contenido de Pasta faltante	=	5.13	%
<b>Volumen de Pasta faltante</b>	=	<b>0.0513</b>	<b>m3</b>

#### A- P 4.- Determinar el contenido de cemento

$$\begin{aligned} V_p &= V_c + V_{\text{agua de mezcla}} \\ V_p &= V_c + (V_a + V_{ad}) \\ V_p &= c / (GE_c * \rho_a) + a / (\rho_a) + ad / (GE_{ad} * \rho_a) \\ a &= (a/c) c \\ ad &= c * (\% ad) / 100 \\ V_p &= c / (GE_c * \rho_a) + (a/c) c / (\rho_a) + c * (\% ad) / 100 / (GE_{ad} * \rho_a) \\ V_p &= (c / \rho_a) * [(1 / GE_c) + (a/c) + (\% ad) / (100 * GE_{ad})] \\ c &= (V_p * \rho_a) / [(1 / GE_c) + (a/c) + (\% ad) / (100 * GE_{ad})] \end{aligned}$$

Gravedad específica del cemento	=	2.94	gr/cm3
Dosis de Aditivo	=	0.00	%
Densidad del Aditivo	=	1.21	kg/l
Densidad del Agua	=	1000	kg/m3
Relación a/c	=	0.38	
Volumen de Pasta	=	0.0513	m3
<b>Peso del Cemento</b>	=	<b>71.23</b>	<b>kg</b>

#### A- P 5.- Determinar el contenido de agua

$$a = (a/c) c$$

Relación a/c	=	0.38	
Peso del Cemento	=	71.23	kg

<b>Peso del Agua</b>	=	<b>27.07</b>	<b>kg</b>
----------------------	---	--------------	-----------

**A - P 6.- Determinar el volumen sólido**

<i>Peso de Agregado Grueso (SSS)</i>	=	1562.05	Kg
<i>Peso específico de masa del A.G. (SSS)</i>	=	2.62	gr/cm3
<b>Volumen de Agregado Grueso</b>	=	<b>0.5962</b>	<b>m3</b>
<i>Peso del Cemento</i>	=	352.43	kg
<i>Gravedad específica del cemento</i>	=	2.94	gr/cm3
<b>Volumen de Cemento- corregido</b>	=	<b>0.1199</b>	<b>m3</b>
<i>Peso del Agua</i>	=	133.92	kg
<i>Densidad del Agua</i>	=	1000	kg/m3
<b>Volumen de Agua - corregido</b>	=	<b>0.1339</b>	<b>m3</b>
<i>Dosis de Aditivo</i>	=	0.00	%
<i>Peso del Aditivo</i>	=	0.000	kg
<i>Densidad del Aditivo</i>	=	1.21	kg/l
<b>Volumen de Aditivo - corregido</b>	=	<b>0.0000</b>	<b>m3</b>
<b>Volumen Sólido Total - corregido</b>	=	<b>0.8500</b>	<b>m3</b>

**A - P 7.- Determinar el porcentaje de vacíos**

Porcentaje de vacíos =  $(V \text{ total} - V \text{ sólido}) / (V \text{ total}) * 100$

Volumen Total	=	1.0000	m3
Volumen Sólido	=	0.8500	m3
<b>Porcentaje de vacíos Teórico</b>	=	<b>15.00</b>	<b>%</b>
Porcentaje de Vacíos Esperado	=	15.00	%
<b>Δ Porcentaje de Vacíos</b>	=	<b>0.00 %</b>	

**CANTIDAD DE MATERIALES**

Peso de Agregado Grueso (SSS)	=	1562.05	Kg
Peso de Cemento	=	352.43	Kg
Peso de Agua	=	133.92	Kg
Peso de Aditivo	=	0.000	Kg
<b>Peso Total</b>	=	<b>2048.403</b>	<b>Kg</b>

<b>Densidad del Concreto Permeable</b>	=	<b>2048.4</b>	<b>Kg/m3</b>
<b>Densidad Teórica</b>	=	<b>2409.9</b>	<b>Kg/m3</b>

**Ajuste de la cantidad de agua por humedad y absorción del agregado en condición natural**

Porcentaje de Absorción	=	1.71	%
Contenido de Humedad	=	0.08	%
Humedad - Absorción	=	-1.63	%
Acción a Realizar	→	Adicionar Agua	
<b>Se debe adicionar</b>	:	<b>25.033</b>	<b>kg</b>

**CANTIDADES FINALES PARA PREPARACIÓN DE LA MEZCLA**

Peso de Agregado Grueso en su condición natural	=	1537.02	Kg
Peso de Cemento	=	352.43	Kg
Peso de Agua	=	133.92	Kg
Peso de Agua de absorción	=	25.03	Kg
Peso de Aditivo	=	0.000	Kg
<b>Peso Total</b>	=	<b>2048.403</b>	<b>Kg</b>
<b>Densidad del Concreto Permeable</b>	=	<b>2048.4</b>	<b>Kg/m3</b>
<b>Densidad Teórica</b>	=	<b>2409.9</b>	<b>Kg/m3</b>

---

ii. **Diseño D 02 – relación a/c = 0.334**

**Diseño : Concreto Permeable con Aditivo Superplastificante y Relación a/c = 0.334**

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	
<b><u>Concreto Permeable</u></b>			
Contenido de Vacíos	%	15	
Relación a/c		<b>0.334</b>	
Contenido de Agregado Fino	% masa del AG	0	
Nivel de Compactación		<b>Bien compactado</b>	
<b><u>Agregado Grueso</u></b>			
Peso Unitario Varillado	kg/m3	1551.3	
Peso específico de masa (SSS)	gr/cm3	2.62	
Porcentaje de Absorción	%	1.71	
Contenido de Humedad	%	0.08	
Tamaño Máximo Nominal	pulg	3/8	
Huso Granulométrico	#	8	
<b><u>Cemento</u></b>			
Tipo		Portland HE	
Gravedad Específica Promedio		2.94	
<b><u>Agua</u></b>			
Densidad	kg/m3	1000	
<b><u>Aditivo</u></b>			
Tipo		F - Reductor de Agua de Alto Rango	
Densidad	kg/l	1.21	
Rango de dosis recomendada	%	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>
		0.79	1.90
Dosis de aditivo (% Peso del cemento)	%	0.55	
Rango de Reducción de agua supuesto	%	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>
		12	30
Relación a/c sin el uso de aditivo (Concreto Patrón)		0.380	
Reducción de agua	%	12	

**P 1.- Determinar el peso del agregado**

Valores Efectivos  $b/b_0$

Porcentaje de Agregado Fino	$b/b_0$	
	ASTM C33/C33M Tamaño No. 8	ASTM C33/C33M Tamaño No. 67
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

Fuente: Aci 522R-10 - Reporte sobre Concreto Permeable

Peso Unitario Varillado	=	1551.3	kg/m <sup>3</sup>
Contenido de Agregado Fino	=	0	% A.G.
Huso Granulométrico	=	#	8
$b/b_0$	=	0.99	%
<b>Peso de Agregado Grueso (Seco)</b>	=	<b>1535.79</b>	<b>Kg</b>

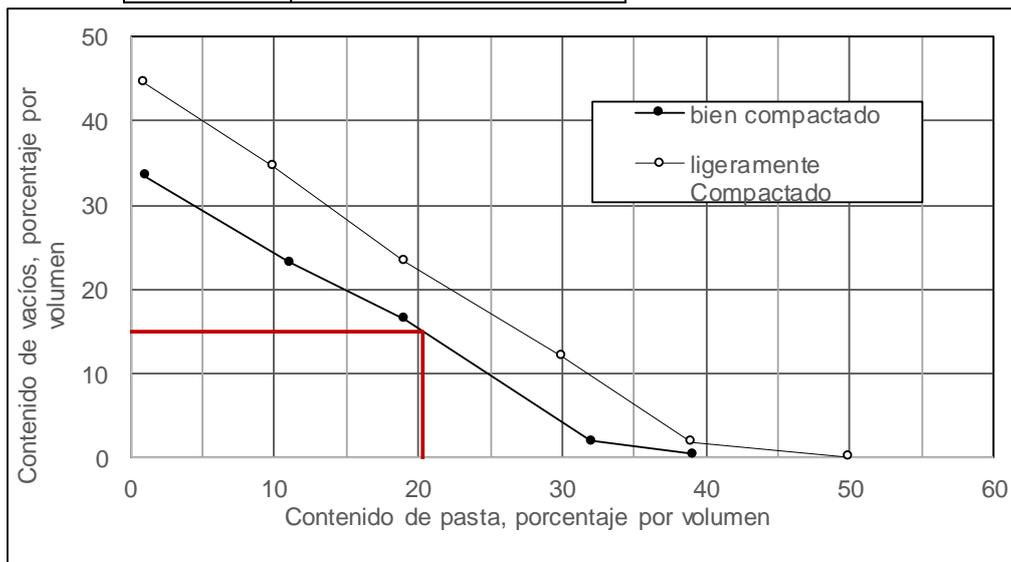
**P 2.- Ajuste al peso Saturado Superficialmente Seco (SSS)**

Porcentaje de Absorción	=	1.71	%
Peso de Agregado Grueso (Seco)	=	1535.79	Kg
<b>Peso de Agregado Grueso SSS</b>	=	<b>1562.05</b>	<b>Kg</b>

**P 3.- Determinar el volumen de la pasta**

Contenido de Vacíos	=	15	%
Tipo de Compactación :			

<b>X</b>	<b>Bien compactado</b>
	<b>Ligeramente compactado</b>



Fuente: Aci 522R-10 - Reporte sobre Concreto Permeable

Contenido de Pasta	=	20.25	%
<b>Volumen de Pasta</b>	=	<b>0.2025</b>	<b>m3</b>

**P 4.- Determinar el contenido de cemento**

Vp	=	Vc + Vagua de mezcla	
Vp	=	Vc + (Va + Vad)	
Vp	=	$c / (GE c * \rho a) + a / (\rho a) + ad / (GE ad * \rho a)$	
a	=	$(a/c) c$	
ad	=	$c * (\% ad) / 100$	
Vp	=	$c / (GE c * \rho a) + (a/c) c / (\rho a) + c * (\% ad) / 100 / (GE ad * \rho a)$	
Vp	=	$(c / \rho a) * [(1 / GE c) + (a/c) + (\% ad) / (100 * GE ad)]$	
c	=	$(Vp * \rho a) / [(1 / GE c) + (a/c) + (\% ad) / (100 * GE ad)]$	

Gravedad específica del cemento	=	2.94	
Dosis de Aditivo	=	0.55	%
Densidad del Aditivo	=	1.21	kg/l
Densidad del Agua	=	1000	kg/m3
Relación a/c	=	0.334	
Volumen de Pasta	=	0.2025	m3
<b>Peso del Cemento</b>	=	<b>298.20</b>	<b>kg</b>

**P 5.- Determinar el contenido de agua**

$$a = (a/c) c$$

Relación a/c	=	0.33	
Peso del Cemento	=	298.20	kg
<b>Peso del Agua</b>	=	<b>99.72</b>	<b>kg</b>

**P 6.- Determinar el volumen sólido**

Peso de Agregado Grueso (SSS)	=	1562.05	Kg
Peso específico de masa del A.G. (SSS)	=	2.62	gr/cm3
<b>Volumen de Agregado Grueso</b>	=	<b>0.5962</b>	<b>m3</b>
Peso del Cemento	=	298.20	kg
Gravedad específica del cemento	=	2.94	gr/cm3
<b>Volumen de Cemento</b>	=	<b>0.1014</b>	<b>m3</b>
Peso del Agua	=	99.72	kg
Densidad del Agua	=	1000	kg/m3
<b>Volumen de Agua</b>	=	<b>0.0997</b>	<b>m3</b>
Dosis de Aditivo	=	0.55	%
Peso del Aditivo	=	1.640	kg
Densidad del Aditivo	=	1.21	kg/l

Volumen de Aditivo	=	0.0014	m3
Volumen Sólido total	=	0.7987	m3

#### P 7.- Determinar el porcentaje de vacíos

$$\text{Porcentaje de vacíos} = (\text{V total} - \text{V sólido}) / (\text{V total}) * 100$$

Volumen Total	=	1.0000	m3
Volumen Sólido	=	0.7987	m3
<b>Porcentaje de vacíos Teórico</b>	=	<b>20.13</b>	%
Porcentaje de Vacíos Esperado	=	15.00	%
<b>Δ Porcentaje de Vacíos</b>	=	<b>5.13 %</b>	<b>X</b>

#### **AJUSTE DEL VOLUMEN DE PASTA PARA ALCANZAR EL PORCENTAJE DE VACÍOS REQUERIDO**

Contenido de Pasta faltante	=	5.13	%
<b>Volumen de Pasta faltante</b>	=	<b>0.0513</b>	<b>m3</b>

#### A - P 4.- Determinar el contenido de cemento

$$\begin{aligned} V_p &= V_c + \text{Vagua de mezcla} \\ V_p &= V_c + (V_a + V_{ad}) \\ V_p &= c / (GE_c * \rho_a) + a / (\rho_a) + ad / (GE_{ad} * \rho_a) \\ a &= (a/c) c \\ ad &= c * (\% ad) / 100 \\ V_p &= c / (GE_c * \rho_a) + (a/c) c / (\rho_a) + c * (\% ad) / 100 / (GE_{ad} * \rho_a) \\ V_p &= (c / \rho_a) * [(1 / GE_c) + (a/c) + (\% ad) / (100 * GE_{ad})] \\ c &= (V_p * \rho_a) / [(1 / GE_c) + (a/c) + (\% ad) / (100 * GE_{ad})] \end{aligned}$$

Gravedad específica del cemento	=	2.94	gr/cm3
Dosis de Aditivo	=	0.55	%
Densidad del Aditivo	=	1.21	kg/l
Densidad del Agua	=	1000	kg/m3
Relación a/c	=	0.33	
Volumen de Pasta	=	0.0513	m3
<b>Peso del Cemento</b>	=	<b>75.54</b>	<b>kg</b>

#### A - P 5.- Determinar el contenido de agua

$$a = (a/c) c$$

Relación a/c	=	0.33	
Peso del Cemento	=	75.54	kg

**Peso del Agua** = **25.26** **kg**

**A - P 6.- Determinar el volumen sólido**

<i>Peso de Agregado Grueso (SSS)</i>	=	1562.05	Kg
<i>Peso específico de masa del A.G. (SSS)</i>	=	2.62	gr/cm3
<b>Volumen de Agregado Grueso</b>	=	<b>0.5962</b>	<b>m3</b>
<i>Peso del Cemento</i>	=	373.74	kg
<i>Gravedad específica del cemento</i>	=	2.94	gr/cm3
<b>Volumen de Cemento- corregido</b>	=	<b>0.1271</b>	<b>m3</b>
<i>Peso del Agua</i>	=	124.98	kg
<i>Densidad del Agua</i>	=	1000	kg/m3
<b>Volumen de Agua - corregido</b>	=	<b>0.1250</b>	<b>m3</b>
<i>Dosis de Aditivo</i>	=	0.55	%
<i>Peso del Aditivo</i>	=	2.056	kg
<i>Densidad del Aditivo</i>	=	1.21	kg/l
<b>Volumen de Aditivo - corregido</b>	=	<b>0.0017</b>	<b>m3</b>
<b>Volumen Sólido Total - corregido</b>	=	<b>0.8500</b>	<b>m3</b>

**A - P 7.- Determinar el porcentaje de vacíos**

Porcentaje de vacíos =  $(V \text{ total} - V \text{ sólido}) / (V \text{ total}) * 100$

Volumen Total	=	1.0000	m3
Volumen Sólido	=	0.8500	m3
<b>Porcentaje de vacíos Teórico</b>	=	<b>15.00</b>	<b>%</b>
Porcentaje de Vacíos Esperado	=	15.00	%
<b>Δ Porcentaje de Vacíos</b>	=	<b>0.00 %</b>	

**CANTIDAD DE MATERIALES**

Peso de Agregado Grueso (SSS)	=	1562.05	Kg
Peso de Cemento	=	373.74	Kg
Peso de Agua	=	124.98	Kg
Peso de Aditivo	=	2.056	Kg
<b>Peso Total</b>	=	<b>2062.820</b>	<b>Kg</b>

<b>Densidad del Concreto Permeable</b>	=	<b>2062.8</b>	<b>Kg/m3</b>
<b>Densidad Teórica</b>	=	<b>2426.8</b>	<b>Kg/m3</b>

**Ajuste de la cantidad de agua por humedad y absorción del agregado en condición natural**

Porcentaje de Absorción	=	1.71	%
Contenido de Humedad	=	0.08	%
Humedad - Absorción	=	-1.63	%
Acción a Realizar	→	Adicionar Agua	
<b>Se debe adicionar</b>	:	<b>25.033</b>	<b>kg</b>

**CANTIDADES FINALES PARA PREPARACIÓN DE LA MEZCLA**

Peso de Agregado Grueso en su condición natural	=	1537.02	Kg
Peso de Cemento	=	373.74	Kg
Peso de Agua	=	124.98	Kg
Peso de Agua de absorción	=	25.03	Kg
Peso de Aditivo	=	2.056	Kg
<b>Peso Total</b>	=	<b>2062.820</b>	<b>Kg</b>
<b>Densidad del Concreto Permeable</b>	=	<b>2062.8</b>	<b>Kg/m3</b>
<b>Densidad Teórica</b>	=	<b>2426.8</b>	<b>Kg/m3</b>

---

iii. **Diseño D 03 – relación a/c = 0.312**

**Diseño : Concreto Permeable con Aditivo Superplastificante y Relación a/c = 0.312**

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	
<b><u>Concreto Permeable</u></b>			
Contenido de Vacíos	%	15	
Relación a/c		<b>0.312</b>	
Contenido de Agregado Fino	% masa del AG	0	
Nivel de Compactación		<b>Bien compactado</b>	
<b><u>Agregado Grueso</u></b>			
Peso Unitario Varillado	kg/m3	1551.3	
Peso específico de masa (SSS)	gr/cm3	2.62	
Porcentaje de Absorción	%	1.71	
Contenido de Humedad	%	0.08	
Tamaño Máximo Nominal	pulg	3/8	
Huso Granulométrico	#	8	
<b><u>Cemento</u></b>			
Tipo		Portland HE	
Gravedad Específica Promedio		2.94	
<b><u>Agua</u></b>			
Densidad	kg/m3	1000	
<b><u>Aditivo</u></b>			
Tipo		F - Reductor de Agua de Alto Rango	
Densidad	kg/l	1.21	
Rango de dosis recomendada	%	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>
		0.79	1.90
Dosis de aditivo (% Peso del cemento)	%	0.63	
Rango de Reducción de agua supuesto	%	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>
		12	30
Relación a/c sin el uso de aditivo (Concreto Patrón)		0.380	
Reducción de agua	%	18	

**P 1.- Determinar el peso del agregado**

Valores Efectivos  $b/b_0$

Porcentaje de Agregado Fino	$b/b_0$	
	ASTM C33/C33M Tamaño No. 8	ASTM C33/C33M Tamaño No. 67
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

Fuente: Aci 522R-10 - Reporte sobre Concreto Permeable

Peso Unitario Varillado	=	1551.3	kg/m <sup>3</sup>
Contenido de Agregado Fino	=	0	% A.G.
Huso Granulométrico	=	#	8
$b/b_0$	=	0.99	%
<b>Peso de Agregado Grueso (Seco)</b>	=	<b>1535.79</b>	<b>Kg</b>

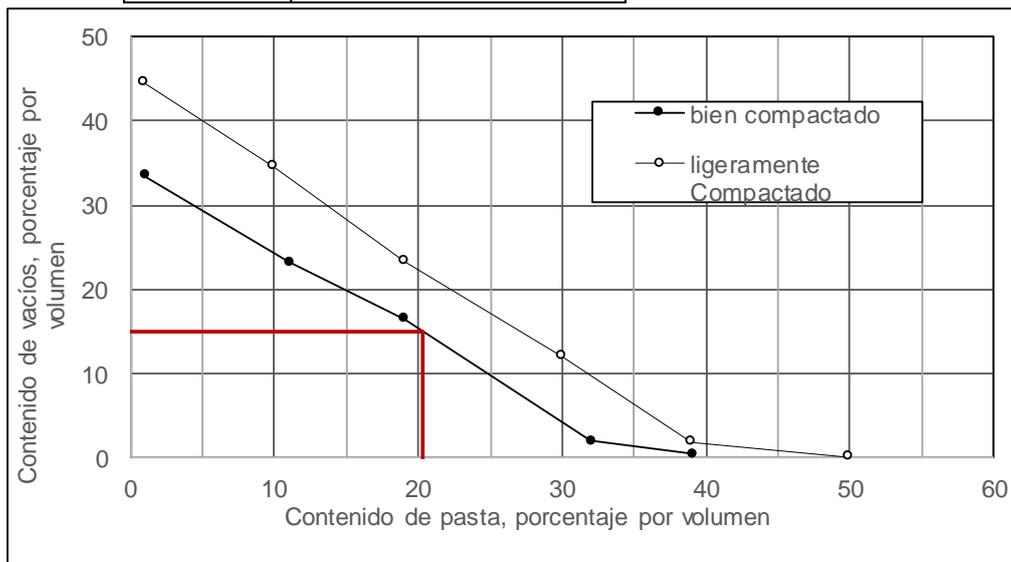
**P 2.- Ajuste al peso Saturado Superficialmente Seco (SSS)**

Porcentaje de Absorción	=	1.71	%
Peso de Agregado Grueso (Seco)	=	1535.79	Kg
<b>Peso de Agregado Grueso SSS</b>	=	<b>1562.05</b>	<b>Kg</b>

**P 3.- Determinar el volumen de la pasta**

Contenido de Vacíos	=	15	%
Tipo de Compactación :			

<b>X</b>	<b>Bien compactado</b>
	<b>Ligeramente compactado</b>



Fuente: Aci 522R-10 - Reporte sobre Concreto Permeable

Contenido de Pasta	=	20.25	%
<b>Volumen de Pasta</b>	=	<b>0.2025</b>	<b>m3</b>

#### P 4.- Determinar el contenido de cemento

$V_p$	=	$V_c + V_{\text{agua de mezcla}}$
$V_p$	=	$V_c + (V_a + V_{ad})$
$V_p$	=	$c / (GE_c * \rho_a) + a / (\rho_a) + ad / (GE_{ad} * \rho_a)$
$a$	=	$(a/c) c$
$ad$	=	$c * (\% ad) / 100$
$V_p$	=	$c / (GE_c * \rho_a) + (a/c) c / (\rho_a) + c * (\% ad) / 100 / (GE_{ad} * \rho_a)$
$V_p$	=	$(c / \rho_a) * [(1 / GE_c) + (a/c) + (\% ad) / (100 * GE_{ad})]$
$c$	=	$(V_p * \rho_a) / [(1 / GE_c) + (a/c) + (\% ad) / (100 * GE_{ad})]$

Gravedad específica del cemento	=	2.94	
Dosis de Aditivo	=	0.63	%
Densidad del Aditivo	=	1.21	kg/l
Densidad del Agua	=	1000	kg/m3
Relación a/c	=	0.312	
Volumen de Pasta	=	0.2025	m3
<b>Peso del Cemento</b>	=	<b>308.25</b>	<b>kg</b>

#### P 5.- Determinar el contenido de agua

$$a = (a/c) c$$

Relación a/c	=	0.31	
Peso del Cemento	=	308.25	kg
<b>Peso del Agua</b>	=	<b>96.05</b>	<b>kg</b>

#### P 6.- Determinar el volumen sólido

<i>Peso de Agregado Grueso (SSS)</i>	=	1562.05	Kg
Peso específico de masa del A.G. (SSS)	=	2.62	gr/cm3
<b>Volumen de Agregado Grueso</b>	=	<b>0.5962</b>	<b>m3</b>
Peso del Cemento	=	308.25	kg
Gravedad específica del cemento	=	2.94	gr/cm3
<b>Volumen de Cemento</b>	=	<b>0.1048</b>	<b>m3</b>
Peso del Agua	=	96.05	kg
Densidad del Agua	=	1000	kg/m3
<b>Volumen de Agua</b>	=	<b>0.0960</b>	<b>m3</b>
Dosis de Aditivo	=	0.63	%
Peso del Aditivo	=	1.942	kg
Densidad del Aditivo	=	1.21	kg/l

Volumen de Aditivo	=	0.0016	m3
Volumen Sólido total	=	0.7987	m3

#### P 7.- Determinar el porcentaje de vacíos

$$\text{Porcentaje de vacíos} = (\text{V total} - \text{V sólido}) / (\text{V total}) * 100$$

Volumen Total	=	1.0000	m3
Volumen Sólido	=	0.7987	m3
<b>Porcentaje de vacíos Teórico</b>	=	<b>20.13</b>	%
Porcentaje de Vacíos Esperado	=	15.00	%
<b>Δ Porcentaje de Vacíos</b>	=	<b>5.13 %</b>	<b>X</b>

#### AJUSTE DEL VOLUMEN DE PASTA PARA ALCANZAR EL PORCENTAJE DE VACÍOS REQUERIDO

Contenido de Pasta faltante	=	5.13	%
<b>Volumen de Pasta faltante</b>	=	<b>0.0513</b>	<b>m3</b>

#### A - P 4.- Determinar el contenido de cemento

$$\begin{aligned} V_p &= V_c + \text{Vagua de mezcla} \\ V_p &= V_c + (V_a + V_{ad}) \\ V_p &= c / (GE_c * \rho_a) + a / (\rho_a) + ad / (GE_{ad} * \rho_a) \\ a &= (a/c) c \\ ad &= c * (\% ad) / 100 \\ V_p &= c / (GE_c * \rho_a) + (a/c) c / (\rho_a) + c * (\% ad) / 100 / (GE_{ad} * \rho_a) \\ V_p &= (c / \rho_a) * [(1 / GE_c) + (a/c) + (\% ad) / (100 * GE_{ad})] \\ c &= (V_p * \rho_a) / [(1 / GE_c) + (a/c) + (\% ad) / (100 * GE_{ad})] \end{aligned}$$

Gravedad específica del cemento	=	2.94	gr/cm3
Dosis de Aditivo	=	0.63	%
Densidad del Aditivo	=	1.21	kg/l
Densidad del Agua	=	1000	kg/m3
Relación a/c	=	0.31	
Volumen de Pasta	=	0.0513	m3
<b>Peso del Cemento</b>	=	<b>78.09</b>	<b>kg</b>

#### A - P 5.- Determinar el contenido de agua

$$a = (a/c) c$$

Relación a/c	=	0.31	
Peso del Cemento	=	78.09	kg

<b>Peso del Agua</b>	=	<b>24.33</b>	<b>kg</b>
----------------------	---	--------------	-----------

**A - P 6.- Determinar el volumen sólido**

<i>Peso de Agregado Grueso (SSS)</i>	=	1562.05	Kg
<i>Peso específico de masa del A.G. (SSS)</i>	=	2.62	gr/cm3
<b>Volumen de Agregado Grueso</b>	=	<b>0.5962</b>	<b>m3</b>
<i>Peso del Cemento</i>	=	386.33	kg
<i>Gravedad específica del cemento</i>	=	2.94	gr/cm3
<b>Volumen de Cemento- corregido</b>	=	<b>0.1314</b>	<b>m3</b>
<i>Peso del Agua</i>	=	120.38	kg
<i>Densidad del Agua</i>	=	1000	kg/m3
<b>Volumen de Agua - corregido</b>	=	<b>0.1204</b>	<b>m3</b>
<i>Dosis de Aditivo</i>	=	0.63	%
<i>Peso del Aditivo</i>	=	2.434	kg
<i>Densidad del Aditivo</i>	=	1.21	kg/l
<b>Volumen de Aditivo - corregido</b>	=	<b>0.0020</b>	<b>m3</b>
<b>Volumen Sólido Total - corregido</b>	=	<b>0.8500</b>	<b>m3</b>

**A - P 7.- Determinar el porcentaje de vacíos**

Porcentaje de vacíos =  $(V \text{ total} - V \text{ sólido}) / (V \text{ total}) * 100$

Volumen Total	=	1.0000	m3
Volumen Sólido	=	0.8500	m3
<b>Porcentaje de vacíos Teórico</b>	=	<b>15.00</b>	<b>%</b>
Porcentaje de Vacíos Esperado	=	15.00	%
<b>Δ Porcentaje de Vacíos</b>	=	<b>0.00 %</b>	

**CANTIDAD DE MATERIALES**

Peso de Agregado Grueso (SSS)	=	1562.05	Kg
Peso de Cemento	=	386.33	Kg
Peso de Agua	=	120.38	Kg
Peso de Aditivo	=	2.434	Kg
<b>Peso Total</b>	=	<b>2071.196</b>	<b>Kg</b>

<b>Densidad del Concreto Permeable</b>	=	<b>2071.2</b>	<b>Kg/m3</b>
<b>Densidad Teórica</b>	=	<b>2436.7</b>	<b>Kg/m3</b>

**Ajuste de la cantidad de agua por humedad y absorción del agregado en condición natural**

Porcentaje de Absorción	=	1.71	%
Contenido de Humedad	=	0.08	%
Humedad - Absorción	=	-1.63	%
Acción a Realizar	→	Adicionar Agua	
<b>Se debe adicionar</b>	:	<b>25.033</b>	<b>kg</b>

**CANTIDADES FINALES PARA PREPARACIÓN DE LA MEZCLA**

Peso de Agregado Grueso en su condición natural	=	1537.02	Kg
Peso de Cemento	=	386.33	Kg
Peso de Agua	=	120.38	Kg
Peso de Agua de absorción	=	25.03	Kg
Peso de Aditivo	=	2.434	Kg
<b>Peso Total</b>	=	<b>2071.196</b>	<b>Kg</b>
<b>Densidad del Concreto Permeable</b>	=	<b>2071.2</b>	<b>Kg/m3</b>
<b>Densidad Teórica</b>	=	<b>2436.7</b>	<b>Kg/m3</b>

---

iv. **Diseño D 04 – relación a/c = 0.289**

**Diseño : Concreto Permeable con Aditivo Superplastificante y Relación a/c = 0.289**

Descripción	Unidad	Cantidad
<b><u>Concreto Permeable</u></b>		
Contenido de Vacíos	%	15
Relación a/c		<b>0.289</b>
Contenido de Agregado Fino	% masa del AG	0
Nivel de Compactación		<b>Bien compactado</b>
<b><u>Agregado Grueso</u></b>		
Peso Unitario Varillado	kg/m3	1551.3
Peso específico de masa (SSS)	gr/cm3	2.62
Porcentaje de Absorción	%	1.71
Contenido de Humedad	%	0.08
Tamaño Máximo Nominal	pulg	3/8
Huso Granulométrico	#	8
<b><u>Cemento</u></b>		
Tipo		Portland HE
Gravedad Específica Promedio		2.94
<b><u>Agua</u></b>		
Densidad	kg/m3	1000
<b><u>Aditivo</u></b>		
Tipo		F - Reductor de Agua de Alto Rango
Densidad	kg/l	1.21
Rango de dosis recomendada	%	<i>Min.</i> 0.79 <i>Max.</i> 1.90
Dosis de aditivo (% Peso del cemento)	%	0.92
Rango de Reducción de agua supuesto	%	<i>Min.</i> 12 <i>Max.</i> 30
Relación a/c sin el uso de aditivo (Concreto Patrón)		0.380
Reducción de agua	%	24

**P 1.- Determinar el peso del agregado**

Valores Efectivos  $b/b_0$

Porcentaje de Agregado Fino	$b/b_0$	
	ASTM C33/C33M Tamaño No. 8	ASTM C33/C33M Tamaño No. 67
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

Fuente: Aci 522R-10 - Reporte sobre Concreto Permeable

Peso Unitario Varillado	=	1551.3	kg/m <sup>3</sup>
Contenido de Agregado Fino	=	0	% A.G.
Huso Granulométrico	=	#	8
$b/b_0$	=	0.99	%
<b>Peso de Agregado Grueso (Seco)</b>	=	<b>1535.79</b>	<b>Kg</b>

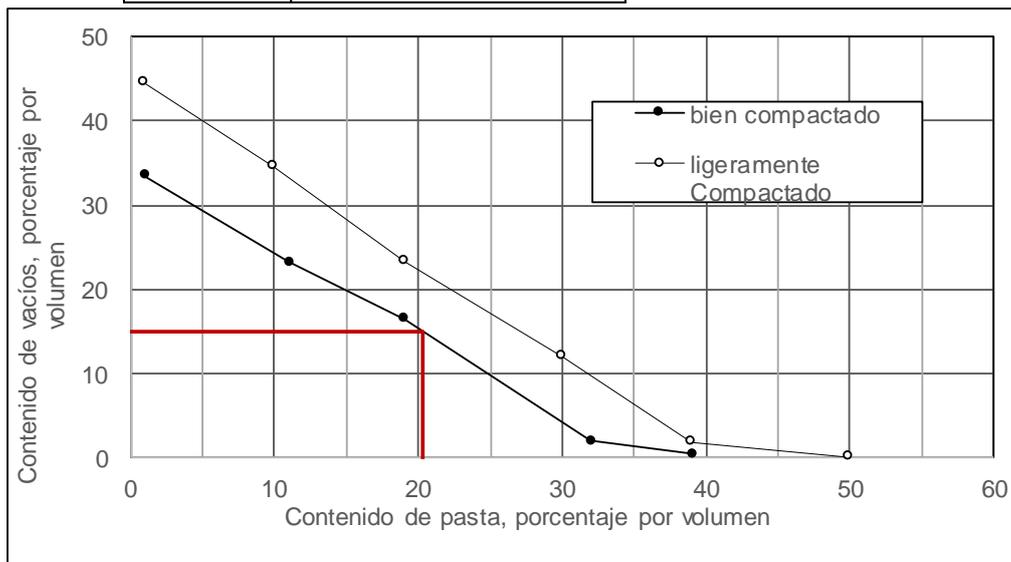
**P 2.- Ajuste al peso Saturado Superficialmente Seco (SSS)**

Porcentaje de Absorción	=	1.71	%
Peso de Agregado Grueso (Seco)	=	1535.79	Kg
<b>Peso de Agregado Grueso SSS</b>	=	<b>1562.05</b>	<b>Kg</b>

**P 3.- Determinar el volumen de la pasta**

Contenido de Vacíos	=	15	%
Tipo de Compactación :			

<b>X</b>	<b>Bien compactado</b>
	<b>Ligeramente compactado</b>



Fuente: Aci 522R-10 - Reporte sobre Concreto Permeable

Contenido de Pasta	=	20.25	%
<b>Volumen de Pasta</b>	=	<b>0.2025</b>	<b>m3</b>

#### P 4.- Determinar el contenido de cemento

$V_p$	=	$V_c + V_{\text{agua de mezcla}}$
$V_p$	=	$V_c + (V_a + V_{ad})$
$V_p$	=	$c / (GE_c * \rho_a) + a / (\rho_a) + ad / (GE_{ad} * \rho_a)$
$a$	=	$(a/c) c$
$ad$	=	$c * (\% ad) / 100$
$V_p$	=	$c / (GE_c * \rho_a) + (a/c) c / (\rho_a) + c * (\% ad) / 100 / (GE_{ad} * \rho_a)$
$V_p$	=	$(c / \rho_a) * [(1 / GE_c) + (a/c) + (\% ad) / (100 * GE_{ad})]$
$c$	=	$(V_p * \rho_a) / [(1 / GE_c) + (a/c) + (\% ad) / (100 * GE_{ad})]$

Gravedad específica del cemento	=	2.94	
Dosis de Aditivo	=	0.92	%
Densidad del Aditivo	=	1.21	kg/l
Densidad del Agua	=	1000	kg/m3
Relación a/c	=	0.289	
Volumen de Pasta	=	0.2025	m3
<b>Peso del Cemento</b>	=	<b>318.13</b>	<b>kg</b>

#### P 5.- Determinar el contenido de agua

$$a = (a/c) c$$

Relación a/c	=	0.29	
Peso del Cemento	=	318.13	kg
<b>Peso del Agua</b>	=	<b>91.87</b>	<b>kg</b>

#### P 6.- Determinar el volumen sólido

<i>Peso de Agregado Grueso (SSS)</i>	=	1562.05	Kg
Peso específico de masa del A.G. (SSS)	=	2.62	gr/cm3
<b>Volumen de Agregado Grueso</b>	=	<b>0.5962</b>	<b>m3</b>
Peso del Cemento	=	318.13	kg
Gravedad específica del cemento	=	2.94	gr/cm3
<b>Volumen de Cemento</b>	=	<b>0.1082</b>	<b>m3</b>
Peso del Agua	=	91.87	kg
Densidad del Agua	=	1000	kg/m3
<b>Volumen de Agua</b>	=	<b>0.0919</b>	<b>m3</b>
Dosis de Aditivo	=	0.92	%
Peso del Aditivo	=	2.927	kg
Densidad del Aditivo	=	1.21	kg/l

Volumen de Aditivo	=	0.0024	m3
Volumen Sólido total	=	0.7987	m3

#### P 7.- Determinar el porcentaje de vacíos

$$\text{Porcentaje de vacíos} = (V \text{ total} - V \text{ sólido}) / (V \text{ total}) * 100$$

Volumen Total	=	1.0000	m3
Volumen Sólido	=	0.7987	m3
<b>Porcentaje de vacíos Teórico</b>	=	<b>20.13</b>	%
Porcentaje de Vacíos Esperado	=	15.00	%
<b>Δ Porcentaje de Vacíos</b>	=	<b>5.13 %</b>	<b>X</b>

#### AJUSTE DEL VOLUMEN DE PASTA PARA ALCANZAR EL PORCENTAJE DE VACÍOS REQUERIDO

Contenido de Pasta faltante	=	5.13	%
<b>Volumen de Pasta faltante</b>	=	<b>0.0513</b>	<b>m3</b>

#### A - P 4.- Determinar el contenido de cemento

$$V_p = V_c + V_{\text{agua de mezcla}}$$

$$V_p = V_c + (V_a + V_{ad})$$

$$V_p = c / (GE_c * \rho_a) + a / (\rho_a) + ad / (GE_{ad} * \rho_a)$$

$$a = (a/c) c$$

$$ad = c * (\% ad) / 100$$

$$V_p = c / (GE_c * \rho_a) + (a/c) c / (\rho_a) + c * (\% ad) / 100 / (GE_{ad} * \rho_a)$$

$$V_p = (c / \rho_a) * [(1 / GE_c) + (a/c) + (\% ad) / (100 * GE_{ad})]$$

$$c = (V_p * \rho_a) / [(1 / GE_c) + (a/c) + (\% ad) / (100 * GE_{ad})]$$

Gravedad específica del cemento	=	2.94	gr/cm3
Dosis de Aditivo	=	0.92	%
Densidad del Aditivo	=	1.21	kg/l
Densidad del Agua	=	1000	kg/m3
Relación a/c	=	0.29	
Volumen de Pasta	=	0.0513	m3
<b>Peso del Cemento</b>	=	<b>80.59</b>	<b>kg</b>

#### A - P 5.- Determinar el contenido de agua

$$a = (a/c) c$$

Relación a/c	=	0.29	
Peso del Cemento	=	80.59	kg

<b>Peso del Agua</b>	=	<b>23.27</b>	<b>kg</b>
----------------------	---	--------------	-----------

**A - P 6.- Determinar el volumen sólido**

<i>Peso de Agregado Grueso (SSS)</i>	=	1562.05	Kg
<i>Peso específico de masa del A.G. (SSS)</i>	=	2.62	gr/cm3
<b>Volumen de Agregado Grueso</b>	=	<b>0.5962</b>	<b>m3</b>
<i>Peso del Cemento</i>	=	398.72	kg
<i>Gravedad específica del cemento</i>	=	2.94	gr/cm3
<b>Volumen de Cemento- corregido</b>	=	<b>0.1356</b>	<b>m3</b>
<i>Peso del Agua</i>	=	115.15	kg
<i>Densidad del Agua</i>	=	1000	kg/m3
<b>Volumen de Agua - corregido</b>	=	<b>0.1151</b>	<b>m3</b>
<i>Dosis de Aditivo</i>	=	0.92	%
<i>Peso del Aditivo</i>	=	3.668	kg
<i>Densidad del Aditivo</i>	=	1.21	kg/l
<b>Volumen de Aditivo - corregido</b>	=	<b>0.0030</b>	<b>m3</b>
<b>Volumen Sólido Total - corregido</b>	=	<b>0.8500</b>	<b>m3</b>

**A - P 7.- Determinar el porcentaje de vacíos**

Porcentaje de vacíos =  $(V \text{ total} - V \text{ sólido}) / (V \text{ total}) * 100$

Volumen Total	=	1.0000	m3
Volumen Sólido	=	0.8500	m3
<b>Porcentaje de vacíos Teórico</b>	=	<b>15.00</b>	<b>%</b>
Porcentaje de Vacíos Esperado	=	15.00	%
<b>Δ Porcentaje de Vacíos</b>	=	<b>0.00 %</b>	

**CANTIDAD DE MATERIALES**

Peso de Agregado Grueso (SSS)	=	1562.05	Kg
Peso de Cemento	=	398.72	Kg
Peso de Agua	=	115.15	Kg
Peso de Aditivo	=	3.668	Kg
<b>Peso Total</b>	=	<b>2079.582</b>	<b>Kg</b>

<b>Densidad del Concreto Permeable</b>	=	<b>2079.6</b>	<b>Kg/m3</b>
<b>Densidad Teórica</b>	=	<b>2446.6</b>	<b>Kg/m3</b>

**Ajuste de la cantidad de agua por humedad y absorción del agregado en condición natural**

Porcentaje de Absorción	=	1.71	%
Contenido de Humedad	=	0.08	%
Humedad - Absorción	=	-1.63	%
Acción a Realizar	→	Adicionar Agua	
<b>Se debe adicionar</b>	:	<b>25.033</b>	<b>kg</b>

**CANTIDADES FINALES PARA PREPARACIÓN DE LA MEZCLA**

Peso de Agregado Grueso en su condición natural	=	1537.02	Kg
Peso de Cemento	=	398.72	Kg
Peso de Agua	=	115.15	Kg
Peso de Agua de absorción	=	25.03	Kg
Peso de Aditivo	=	3.668	Kg
<b>Peso Total</b>	=	<b>2079.582</b>	<b>Kg</b>
<b>Densidad del Concreto Permeable</b>	=	<b>2079.6</b>	<b>Kg/m3</b>
<b>Densidad Teórica</b>	=	<b>2446.6</b>	<b>Kg/m3</b>

---

v. **Diseño D 05 – relación a/c = 0.266**

**Diseño : Concreto Permeable con Aditivo Superplastificante y Relación a/c = 0.266**

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	
<b><u>Concreto Permeable</u></b>			
Contenido de Vacíos	%	15	
Relación a/c		<b>0.266</b>	
Contenido de Agregado Fino	% masa del AG	0	
Nivel de Compactación		<b>Bien compactado</b>	
<b><u>Agregado Grueso</u></b>			
Peso Unitario Varillado	kg/m3	1551.3	
Peso específico de masa (SSS)	gr/cm3	2.62	
Porcentaje de Absorción	%	1.71	
Contenido de Humedad	%	0.08	
Tamaño Máximo Nominal	pulg	3/8	
Huso Granulométrico	#	8	
<b><u>Cemento</u></b>			
Tipo		Portland HE	
Gravedad Específica Promedio		2.94	
<b><u>Agua</u></b>			
Densidad	kg/m3	1000	
<b><u>Aditivo</u></b>			
Tipo		F - Reductor de Agua de Alto Rango	
Densidad	kg/l	1.21	
Rango de dosis recomendada	%	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>
		0.79	1.90
Dosis de aditivo (% Peso del cemento)	%	1.20	
Rango de Reducción de agua supuesto	%	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>
		12	30
Relación a/c sin el uso de aditivo (Concreto Patrón)		0.380	
Reducción de agua	%	30	

**P 1.- Determinar el peso del agregado**

Valores Efectivos  $b/b_0$

Porcentaje de Agregado Fino	$b/b_0$	
	ASTM C33/C33M Tamaño No. 8	ASTM C33/C33M Tamaño No. 67
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

Fuente: Aci 522R-10 - Reporte sobre Concreto Permeable

Peso Unitario Varillado	=	1551.3	kg/m <sup>3</sup>
Contenido de Agregado Fino	=	0	% A.G.
Huso Granulométrico	=	#	8
$b/b_0$	=	0.99	%
<b>Peso de Agregado Grueso (Seco)</b>	=	<b>1535.79</b>	<b>Kg</b>

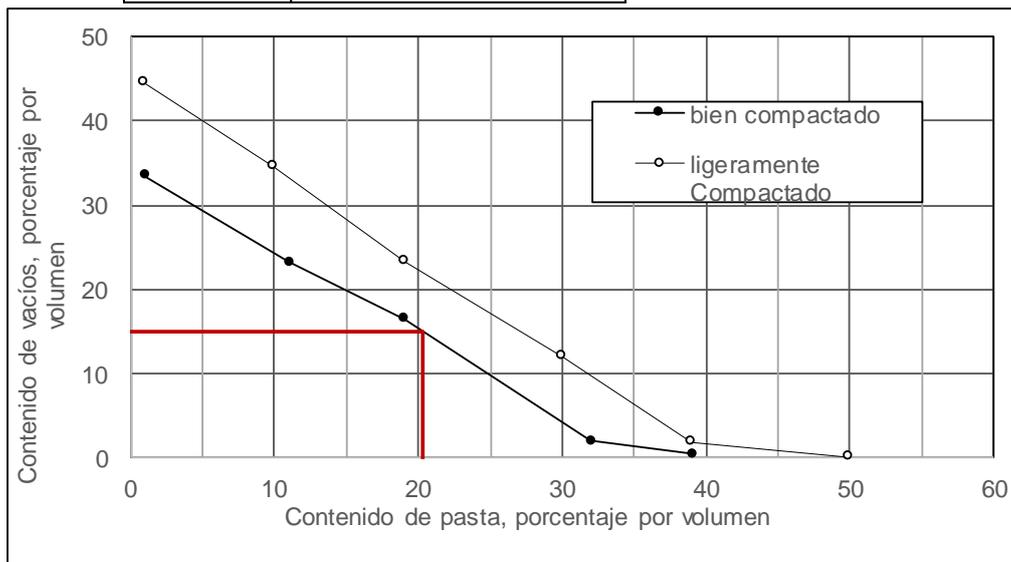
**P 2.- Ajuste al peso Saturado Superficialmente Seco (SSS)**

Porcentaje de Absorción	=	1.71	%
Peso de Agregado Grueso (Seco)	=	1535.79	Kg
<b>Peso de Agregado Grueso SSS</b>	=	<b>1562.05</b>	<b>Kg</b>

**P 3.- Determinar el volumen de la pasta**

Contenido de Vacíos	=	15	%
Tipo de Compactación :			

<b>X</b>	<b>Bien compactado</b>
	<b>Ligeramente compactado</b>



Fuente: Aci 522R-10 - Reporte sobre Concreto Permeable

Contenido de Pasta	=	20.25	%
<b>Volumen de Pasta</b>	=	<b>0.2025</b>	<b>m3</b>

#### P 4.- Determinar el contenido de cemento

$V_p$	=	$V_c + V_{\text{agua de mezcla}}$
$V_p$	=	$V_c + (V_a + V_{ad})$
$V_p$	=	$c / (GE_c * \rho_a) + a / (\rho_a) + ad / (GE_{ad} * \rho_a)$
$a$	=	$(a/c) c$
$ad$	=	$c * (\% ad) / 100$
$V_p$	=	$c / (GE_c * \rho_a) + (a/c) c / (\rho_a) + c * (\% ad) / 100 / (GE_{ad} * \rho_a)$
$V_p$	=	$(c / \rho_a) * [(1 / GE_c) + (a/c) + (\% ad) / (100 * GE_{ad})]$
$c$	=	$(V_p * \rho_a) / [(1 / GE_c) + (a/c) + (\% ad) / (100 * GE_{ad})]$

Gravedad específica del cemento	=	2.94	
Dosis de Aditivo	=	1.20	%
Densidad del Aditivo	=	1.21	kg/l
Densidad del Agua	=	1000	kg/m3
Relación a/c	=	0.266	
Volumen de Pasta	=	0.2025	m3
<b>Peso del Cemento</b>	=	<b>328.71</b>	<b>kg</b>

#### P 5.- Determinar el contenido de agua

$$a = (a/c) c$$

Relación a/c	=	0.27	
Peso del Cemento	=	328.71	kg
<b>Peso del Agua</b>	=	<b>87.44</b>	<b>kg</b>

#### P 6.- Determinar el volumen sólido

<i>Peso de Agregado Grueso (SSS)</i>	=	1562.05	Kg
Peso específico de masa del A.G. (SSS)	=	2.62	gr/cm3
<b>Volumen de Agregado Grueso</b>	=	<b>0.5962</b>	<b>m3</b>
Peso del Cemento	=	328.71	kg
Gravedad específica del cemento	=	2.94	gr/cm3
<b>Volumen de Cemento</b>	=	<b>0.1118</b>	<b>m3</b>
Peso del Agua	=	87.44	kg
Densidad del Agua	=	1000	kg/m3
<b>Volumen de Agua</b>	=	<b>0.0874</b>	<b>m3</b>
Dosis de Aditivo	=	1.20	%
Peso del Aditivo	=	3.944	kg
Densidad del Aditivo	=	1.21	kg/l

Volumen de Aditivo	=	0.0033	m3
Volumen Sólido total	=	0.7987	m3

#### P 7.- Determinar el porcentaje de vacíos

$$\text{Porcentaje de vacíos} = (\text{V total} - \text{V sólido}) / (\text{V total}) * 100$$

Volumen Total	=	1.0000	m3
Volumen Sólido	=	0.7987	m3
<b>Porcentaje de vacíos Teórico</b>	=	<b>20.13</b>	<b>%</b>
Porcentaje de Vacíos Esperado	=	15.00	%
<b>Δ Porcentaje de Vacíos</b>	=	<b>5.13 %</b>	<b>X</b>

#### **AJUSTE DEL VOLUMEN DE PASTA PARA ALCANZAR EL PORCENTAJE DE VACÍOS REQUERIDO**

Contenido de Pasta faltante	=	5.13	%
<b>Volumen de Pasta faltante</b>	=	<b>0.0513</b>	<b>m3</b>

#### A - P 4.- Determinar el contenido de cemento

$$\begin{aligned} V_p &= V_c + \text{Vagua de mezcla} \\ V_p &= V_c + (V_a + V_{ad}) \\ V_p &= c / (GE_c * \rho_a) + a / (\rho_a) + ad / (GE_{ad} * \rho_a) \\ a &= (a/c) c \\ ad &= c * (\% ad) / 100 \\ V_p &= c / (GE_c * \rho_a) + (a/c) c / (\rho_a) + c * (\% ad) / 100 / (GE_{ad} * \rho_a) \\ V_p &= (c / \rho_a) * [(1 / GE_c) + (a/c) + (\% ad) / (100 * GE_{ad})] \\ c &= (V_p * \rho_a) / [(1 / GE_c) + (a/c) + (\% ad) / (100 * GE_{ad})] \end{aligned}$$

Gravedad específica del cemento	=	2.94	gr/cm3
Dosis de Aditivo	=	1.20	%
Densidad del Aditivo	=	1.21	kg/l
Densidad del Agua	=	1000	kg/m3
Relación a/c	=	0.27	
Volumen de Pasta	=	0.0513	m3
<b>Peso del Cemento</b>	=	<b>83.27</b>	<b>kg</b>

#### A - P 5.- Determinar el contenido de agua

$$a = (a/c) c$$

Relación a/c	=	0.27	
Peso del Cemento	=	83.27	kg

<b>Peso del Agua</b>	=	<b>22.15</b>	<b>kg</b>
----------------------	---	--------------	-----------

**A - P 6.- Determinar el volumen sólido**

<i>Peso de Agregado Grueso (SSS)</i>	=	1562.05	Kg
<i>Peso específico de masa del A.G. (SSS)</i>	=	2.62	gr/cm3
<b>Volumen de Agregado Grueso</b>	=	<b>0.5962</b>	<b>m3</b>
<i>Peso del Cemento</i>	=	411.97	kg
<i>Gravedad específica del cemento</i>	=	2.94	gr/cm3
<b>Volumen de Cemento- corregido</b>	=	<b>0.1401</b>	<b>m3</b>
<i>Peso del Agua</i>	=	109.59	kg
<i>Densidad del Agua</i>	=	1000	kg/m3
<b>Volumen de Agua - corregido</b>	=	<b>0.1096</b>	<b>m3</b>
<i>Dosis de Aditivo</i>	=	1.20	%
<i>Peso del Aditivo</i>	=	4.944	kg
<i>Densidad del Aditivo</i>	=	1.21	kg/l
<b>Volumen de Aditivo - corregido</b>	=	<b>0.0041</b>	<b>m3</b>
<b>Volumen Sólido Total - corregido</b>	=	<b>0.8500</b>	<b>m3</b>

**A - P 7.- Determinar el porcentaje de vacíos**

Porcentaje de vacíos =  $(V \text{ total} - V \text{ sólido}) / (V \text{ total}) * 100$

Volumen Total	=	1.0000	m3
Volumen Sólido	=	0.8500	m3
<b>Porcentaje de vacíos Teórico</b>	=	<b>15.00</b>	<b>%</b>
Porcentaje de Vacíos Esperado	=	15.00	%
<b>Δ Porcentaje de Vacíos</b>	=	<b>0.00 %</b>	

**CANTIDAD DE MATERIALES**

Peso de Agregado Grueso (SSS)	=	1562.05	Kg
Peso de Cemento	=	411.97	Kg
Peso de Agua	=	109.59	Kg
Peso de Aditivo	=	4.944	Kg
<b>Peso Total</b>	=	<b>2088.552</b>	<b>Kg</b>

<b>Densidad del Concreto Permeable</b>	=	<b>2088.6</b>	<b>Kg/m3</b>
<b>Densidad Teórica</b>	=	<b>2457.1</b>	<b>Kg/m3</b>

**Ajuste de la cantidad de agua por humedad y absorción del agregado en condición natural**

Porcentaje de Absorción	=	1.71	%
Contenido de Humedad	=	0.08	%
Humedad - Absorción	=	-1.63	%
Acción a Realizar	→	Adicionar Agua	
<b>Se debe adicionar</b>	:	<b>25.033</b>	<b>kg</b>

**CANTIDADES FINALES PARA PREPARACIÓN DE LA MEZCLA**

Peso de Agregado Grueso en su condición natural	=	1537.02	Kg
Peso de Cemento	=	411.97	Kg
Peso de Agua	=	109.59	Kg
Peso de Agua de absorción	=	25.03	Kg
Peso de Aditivo	=	4.944	Kg
<b>Peso Total</b>	=	<b>2088.552</b>	<b>Kg</b>
<b>Densidad del Concreto Permeable</b>	=	<b>2088.6</b>	<b>Kg/m3</b>
<b>Densidad Teórica</b>	=	<b>2457.1</b>	<b>Kg/m3</b>

---

### ANEXO 05: Resultados del ensayo de peso unitario y contenido de vacíos del concreto permeable en estado fresco

Diseño	Relación a/c	Dosis de Aditivo (%)	Vol. del molde Vm (m3)	w molde (kg)	w molde + concreto (kg)	w concreto (kg)	P.U. (kg/m3)	P.U. Teórico (kg/m3)	Densidad Teórica (kg/m3)	% Vacíos Teórico (%)	% Vacíos (%)
<b>D 01 (Patrón)</b>	0.38	0.00	0.00721	4.883	19.463	14.580	<b>2022</b>	2048	2409.9	15.0 %	<b>16.1</b>
<b>D 02</b>	0.334	0.55	0.00721	4.883	19.457	14.574	<b>2021</b>	2063	2426.8	15.0 %	<b>16.7</b>
<b>D 03</b>	0.312	0.63	0.00721	4.883	19.469	14.586	<b>2023</b>	2071	2436.7	15.0 %	<b>17.0</b>
<b>D 04</b>	0.289	0.92	0.00721	4.883	19.510	14.627	<b>2029</b>	2080	2446.6	15.0 %	<b>17.1</b>
<b>D 05</b>	0.266	1.20	0.00721	4.883	19.686	14.803	<b>2053</b>	2089	2457.1	15.0 %	<b>16.4</b>

Fórmulas utilizadas:

- Para la densidad (peso unitario):

$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m}$$

- Para la densidad teórica:

$$T = \frac{M_s}{V_s}$$

- Para el contenido de vacíos:

$$U = \frac{T - D}{T} \times 100$$

Donde:

D : densidad (Peso Unitario)

M<sub>s</sub> : masa de los sólidos

M<sub>c</sub> : masa del recipiente con concreto

V<sub>s</sub> : volumen de los sólidos

M<sub>m</sub> : masa del recipiente

U : contenido de vacíos

V<sub>m</sub> : volumen del recipiente de medida

**ANEXO 06: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión a la edad de 3 días**

<i>Diseño</i>	<i>Relación a/c</i>	<i>Dosis de Aditivo (%)</i>	<i>Probeta</i>	<i>D 1 (cm)</i>	<i>D 2 (cm)</i>	<i>Diámetro Promedio D (mm)</i>	<i>Área del cilindro (cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Fuerza aplicada F (kgf)</i>	<i>f'c (kgf/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>f'c promedio (kgf/cm<sup>2</sup>)</i>
<b>D 01 (Patrón)</b>	0.38	0	C-01	10.07	10.00	100.35	79.09	10122	128	<b>120</b>
			C-02	9.96	9.92	99.40	77.60	8814	114	
			C-03	10.10	10.07	100.85	79.88	9334	117	
<b>D 02</b>	0.334	0.55	C-01	10.05	10.01	100.30	79.01	10200	129	<b>136</b>
			C-02	9.92	9.95	99.35	77.52	10686	138	
			C-03	9.93	9.86	98.95	76.90	10914	142	
<b>D 03</b>	0.312	0.63	C-01	9.95	9.97	99.60	77.91	12803	164	<b>147</b>
			C-02	10.09	10.05	100.70	79.64	11208	141	
			C-03	10.01	10.07	100.40	79.17	10710	135	
<b>D 04</b>	0.289	0.92	C-01	10.03	10.03	100.30	79.01	14001	177	<b>175</b>
			C-02	10.13	10.10	101.15	80.36	13490	168	
			C-03	9.92	9.92	99.20	77.29	13846	179	
<b>D 05</b>	0.266	1.20	C-01	9.83	9.85	98.40	76.05	14215	187	<b>191</b>
			C-02	9.96	9.99	99.75	78.15	14602	187	
			C-03	9.92	9.94	99.30	77.44	15424	199	

Fórmula utilizada:

$$f'c = \frac{F}{A}$$

Donde:

f'c : resistencia a la compresión

F : carga máxima aplicada

A : área de la probeta

**ANEXO 07: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión a la edad de 7 días**

<i>Diseño</i>	<i>Relación a/c</i>	<i>Dosis de Aditivo (%)</i>	<i>Probeta</i>	<i>D 1 (cm)</i>	<i>D 2 (cm)</i>	<i>Diámetro Promedio D (mm)</i>	<i>Área del cilindro (cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Fuerza aplicada F (kgf)</i>	<i>f'c (kgf/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>f'c promedio (kgf/cm<sup>2</sup>)</i>
<b>D 01 (Patrón)</b>	0.38	0	C-01	9.88	9.85	98.65	76.43	11060	145	<b>141</b>
			C-02	9.87	9.90	98.85	76.74	11761	153	
			C-03	10.02	9.99	100.05	78.62	9922	126	
<b>D 02</b>	0.334	0.55	C-01	9.99	10.00	99.95	78.46	12789	163	<b>163</b>
			C-02	10.14	10.16	101.50	80.91	13436	166	
			C-03	10.02	9.99	100.05	78.62	12625	161	
<b>D 03</b>	0.312	0.63	C-01	9.82	9.85	98.35	75.97	13085	172	<b>177</b>
			C-02	9.80	9.82	98.10	75.58	13415	177	
			C-03	9.89	9.90	98.95	76.90	13997	182	
<b>D 04</b>	0.289	0.92	C-01	9.93	9.98	99.55	77.83	15465	199	<b>208</b>
			C-02	9.81	9.82	98.15	75.66	16239	215	
			C-03	9.87	9.88	98.75	76.59	16071	210	
<b>D 05</b>	0.266	1.20	C-01	9.91	9.94	99.25	77.37	17618	228	<b>233</b>
			C-02	9.97	9.94	99.55	77.83	18617	239	
			C-03	9.94	9.92	99.30	77.44	17987	232	

Fórmula utilizada:

$$f'c = \frac{F}{A}$$

Donde:

f'c : resistencia a la compresión

F : carga máxima aplicada

A : área de la probeta

**ANEXO 08: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión a la edad de 14 días**

<b>Diseño</b>	<b>Relación a/c</b>	<b>Dosis de Aditivo (%)</b>	<b>Probeta</b>	<b>D 1 (cm)</b>	<b>D 2 (cm)</b>	<b>Diámetro Promedio D (mm)</b>	<b>Área del cilindro (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Fuerza aplicada F (kgf)</b>	<b>f'c (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>f'c promedio (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>D 01 (Patrón)</b>	0.38	0	C-01	9.94	9.94	99.40	77.60	10542	136	<b>138</b>
			C-02	9.94	9.93	99.33	77.49	11373	147	
			C-03	9.97	10.06	100.15	78.78	10403	132	
<b>D 02</b>	0.334	0.55	C-01	9.99	9.99	99.90	78.38	13630	174	<b>177</b>
			C-02	9.98	9.99	99.85	78.30	13444	172	
			C-03	10.00	10.05	100.25	78.93	14662	186	
<b>D 03</b>	0.312	0.63	C-01	9.90	9.82	98.60	76.36	13089	171	<b>178</b>
			C-02	9.91	9.90	99.05	77.05	13773	179	
			C-03	9.95	9.92	99.35	77.52	14224	183	
<b>D 04</b>	0.289	0.92	C-01	9.99	9.99	99.90	78.38	15546	198	<b>208</b>
			C-02	10.16	10.19	101.75	81.31	16912	208	
			C-03	9.99	10.00	99.95	78.46	17001	217	
<b>D 05</b>	0.266	1.20	C-01	9.96	9.98	99.70	78.07	18143	232	<b>250</b>
			C-02	9.88	9.89	98.85	76.74	20724	270	
			C-03	9.98	9.98	99.80	78.23	19502	249	

Fórmula utilizada:

$$f'c = \frac{F}{A}$$

Donde:

f'c : resistencia a la compresión

F : carga máxima aplicada

A : área de la probeta

**ANEXO 09: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión a la edad de 21 días**

<i>Diseño</i>	<i>Relación a/c</i>	<i>Dosis de Aditivo (%)</i>	<i>Probeta</i>	<i>D 1 (cm)</i>	<i>D 2 (cm)</i>	<i>Diámetro Promedio D (mm)</i>	<i>Área del cilindro (cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Fuerza aplicada F (kgf)</i>	<i>f'c (kgf/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>f'c promedio (kgf/cm<sup>2</sup>)</i>
<b>D 01 (Patrón)</b>	0.38	0	C-01	9.99	9.94	99.65	77.99	12590	161	<b>162</b>
			C-02	10.14	10.08	101.10	80.28	11714	146	
			C-03	9.94	9.95	99.45	77.68	13819	178	
<b>D 02</b>	0.334	0.55	C-01	9.99	10.17	100.80	79.80	14120	177	<b>181</b>
			C-02	10.17	10.19	101.80	81.39	14526	178	
			C-03	10.15	10.18	101.60	81.07	15360	189	
<b>D 03</b>	0.312	0.63	C-01	9.91	9.91	99.10	77.13	15399	200	<b>182</b>
			C-02	9.82	9.83	98.25	75.81	13228	174	
			C-03	9.80	9.81	98.05	75.51	12939	171	
<b>D 04</b>	0.289	0.92	C-01	9.96	9.95	99.55	77.83	16701	215	<b>198</b>
			C-02	9.83	9.82	98.25	75.81	14242	188	
			C-03	9.83	9.81	98.20	75.74	14394	190	
<b>D 05</b>	0.266	1.20	C-01	10.02	10.00	100.10	78.70	19088	243	<b>246</b>
			C-02	10.03	10.04	100.35	79.09	18950	240	
			C-03	9.98	10.00	99.90	78.38	19910	254	

Fórmula utilizada:

$$f'c = \frac{F}{A}$$

Donde:

f'c : resistencia a la compresión

F : carga máxima aplicada

A : área de la probeta

**ANEXO 10: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión a la edad de 28 días**

<b>Diseño</b>	<b>Relación a/c</b>	<b>Dosis de Aditivo (%)</b>	<b>Probeta</b>	<b>D 1 (cm)</b>	<b>D 2 (cm)</b>	<b>Diámetro Promedio D (mm)</b>	<b>Área del cilindro (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Fuerza aplicada F (kgf)</b>	<b>f'c (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>f'c promedio (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>D 01 (Patrón)</b>	0.38	0.00	C-01	9.92	9.93	99.25	77.37	12831	166	<b>175</b>
			C-02	10.02	10.00	100.10	78.70	14229	181	
			C-03	9.93	9.98	99.55	77.83	13090	168	
			C-04	9.89	9.92	99.05	77.05	13004	169	
			C-05	10.01	10.03	100.20	78.85	14612	185	
			C-06	9.92	9.91	99.15	77.21	13742	178	
<b>D 02</b>	0.334	0.55	C-01	10.09	10.07	100.80	79.80	16536	207	<b>213</b>
			C-02	9.85	9.99	99.20	77.29	17643	228	
			C-03	9.90	9.90	99.00	76.98	17523	228	
			C-04	10.03	10.03	100.30	79.01	15429	195	
			C-05	9.93	9.95	99.40	77.60	16941	218	
			C-06	9.99	10.01	100.00	78.54	15671	200	
<b>D 03</b>	0.312	0.63	C-01	9.82	9.81	98.15	75.66	16474	218	<b>223</b>
			C-02	9.97	9.97	99.70	78.07	17116	219	
			C-03	9.95	9.96	99.55	77.83	16975	218	
			C-04	9.94	9.91	99.25	77.37	17931	232	
			C-05	9.97	9.98	99.75	78.15	18116	232	
			C-06	10.03	10.10	100.65	79.56	17489	220	
<b>D 04</b>	0.289	0.92	C-01	9.89	9.86	98.75	76.59	20244	264	<b>231</b>
			C-02	9.86	9.87	98.65	76.43	15423	202	
			C-03	9.97	9.92	99.45	77.68	18927	244	
			C-04	9.82	9.81	98.15	75.66	15609	206	
			C-05	9.97	9.97	99.70	78.07	17704	227	
			C-06	9.89	9.96	99.25	77.37	18840	244	

<b>Diseño</b>	<b>Relación a/c</b>	<b>Dosis de Aditivo (%)</b>	<b>Probeta</b>	<b>D 1 (cm)</b>	<b>D 2 (cm)</b>	<b>Diámetro Promedio D (mm)</b>	<b>Área del cilindro (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Fuerza aplicada F (kgf)</b>	<b>f'c (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>f'c promedio (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>D 05</b>	0.266	1.20	C-01	9.93	9.93	99.28	77.41	19087	247	<b>255</b>
			C-02	9.94	9.92	99.28	77.41	19018	246	
			C-03	10.04	10.11	100.73	79.69	22738	285	
			C-04	9.94	9.89	99.15	77.21	19341	250	
			C-05	10.03	10.02	100.25	78.93	19504	247	
			C-06	10.04	10.05	100.43	79.22	20008	253	

Fórmula utilizada:

$$f'c = \frac{F}{A}$$

Donde:

f'c : resistencia a la compresión

F : carga máxima aplicada

A : área de la probeta

**ANEXO 11: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción por flexión a la edad de 28 días**

<b>Diseño</b>	<b>Relación a/c</b>	<b>Dosis de Aditivo (%)</b>	<b>Probeta</b>	<b>Ancho promedio b (cm)</b>	<b>Altura promedio h (cm)</b>	<b>Longitud promedio L (cm)</b>	<b>Fuerza aplicada F (kgf)</b>	<b>MR (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>MR promedio (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
D 01 (Patrón)	0.38	0.00	V-01	15.3	15.2	44.8	3123	39.5	40.0
			V-02	15.2	15.3	44.8	3243	41.0	
			V-03	15.3	15.2	44.8	3267	41.5	
			V-04	15.3	15.1	44.8	3007	38.5	
D 02	0.334	0.55	V-01	15.3	15.3	44.8	3101	39.0	39.5
			V-02	15.3	15.2	44.8	3141	40.0	
			V-03	15.3	15.3	44.8	3335	41.5	
			V-04	15.2	15	44.8	2902	38.0	
D 03	0.312	0.63	V-01	15.3	15.3	44.8	3646	45.5	40.0
			V-02	15.2	15.1	44.8	3109	40.0	
			V-03	15.1	15	44.8	2766	36.5	
			V-04	15	15.1	44.8	2841	37.0	
D 04	0.289	0.92	V-01	15.2	15.3	44.8	3437	43.5	43.5
			V-02	15.2	15.1	44.8	2970	38.5	
			V-03	15.3	15.3	44.8	3547	44.5	
			V-04	15.3	15.3	44.8	3736	46.5	
D 05	0.266	1.20	V-01	15.2	15	44.8	3600	47.0	51.5
			V-02	15.3	15.1	44.8	4210	54.0	
			V-03	15.3	15.3	44.8	4004	50.0	
			V-04	15.3	15.1	44.8	4263	54.5	

Fórmula utilizada:

$$MR = \frac{P L}{b \times h^2}$$

Donde:

MR : módulo de rotura, en kg/cm<sup>2</sup>  
 P : carga máxima de rotura, en kg  
 L : luz libre entre apoyos, en cm

b : ancho promedio de la viga en la sección de falla, en cm  
 h : altura promedio de la viga en la sección de falla, en cm

**ANEXO 12: Resultados de la prueba de permeabilidad**

<i>Diseño</i>	<i>% AD</i>	<i>Relación a/c</i>	<i>diám. del cil. D1 (cm)</i>	<i>diám. del cil. D2 (cm)</i>	<i>Diámetro promedio cil. (mm)</i>	<i>Diámetro del tubo (mm)</i>	<i>Área del cilindro (mm<sup>2</sup>)</i>	<i>Área del tubo (mm<sup>2</sup>)</i>	<i>L 01</i>	<i>L 02</i>
<b>D 01 (Patrón)</b>	0.38	0.00	9.845	9.820	98.25	98.25	7581	7581	15.220	15.200
			9.870	9.850	98.50	98.25	7620	7581	14.950	15.000
			10.010	10.050	100.25	98.25	7893	7581	14.840	15.050
<b>D 02</b>	0.334	0.55	9.910	9.850	98.75	98.25	7659	7581	14.950	14.935
			9.890	9.900	99.00	98.25	7698	7581	14.970	14.980
			9.825	9.875	98.50	98.25	7620	7581	15.145	15.185
<b>D 03</b>	0.312	0.63	10.060	9.970	100.25	98.25	7893	7581	14.770	14.970
			9.910	9.900	99.00	98.25	7698	7581	14.900	14.980
			10.000	10.040	100.25	98.25	7893	7581	15.000	15.310
<b>D 04</b>	0.289	0.92	10.040	10.020	100.25	98.25	7893	7581	14.890	14.920
			10.065	10.120	101.00	98.25	8012	7581	14.880	14.790
			10.035	9.990	100.25	98.25	7893	7581	15.000	14.940
<b>D 05</b>	0.266	1.20	10.040	9.985	100.25	98.25	7893	7581	14.920	14.900
			9.990	9.960	99.75	98.25	7815	7581	15.080	14.910
			10.020	10.030	100.25	98.25	7893	7581	14.920	15.130

Diseño	% AD	Relación a/c	L 03	Longitud del cilindro (mm)	h1 (mm)	h2 (mm)	Tiempo (seg)	ln (h1/h2)	Permeabilidad (mm/seg)	Permeabilidad promedio (mm/seg)
<b>D 01 (Patrón)</b>	0.38	0.00	15.200	152.00	290	70	61.80	1.42	3.50	<b>3.97</b>
			14.950	149.75	290	70	51.28	1.42	4.17	
			15.040	149.75	290	70	52.36	1.42	4.23	
<b>D 02</b>	0.334	0.55	14.900	149.25	290	70	68.16	1.42	3.14	<b>3.19</b>
			14.900	149.50	290	70	76.19	1.42	2.83	
			15.075	151.25	290	70	60.23	1.42	3.59	
<b>D 03</b>	0.312	0.63	15.050	149.25	290	70	86.88	1.42	2.54	<b>2.94</b>
			14.970	149.50	290	70	63.22	1.42	3.41	
			15.075	151.25	290	70	78.44	1.42	2.85	
<b>D 04</b>	0.289	0.92	14.900	149.00	290	70	52.95	1.42	4.16	<b>3.74</b>
			14.950	148.75	290	70	65.55	1.42	3.41	
			14.730	149.00	290	70	60.27	1.42	3.66	
<b>D 05</b>	0.266	1.20	15.050	149.50	290	70	59.51	1.42	3.72	<b>3.30</b>
			14.900	149.75	290	70	88.25	1.42	2.49	
			14.800	149.50	290	70	59.92	1.42	3.69	

Fórmula utilizada:

$$Permeabilidad = \frac{L}{t} \times \frac{a}{A} \times \ln\left(\frac{h1}{h2}\right)$$

Donde:

L : longitud de la probeta de concreto permeable  
t : tiempo que demora el agua en llegar de h1 hasta h2  
a : área de la probeta de concreto permeable

A : área del tubo de acrílico  
h 1 : altura inicial del agua  
h 2 : altura final del agua

**ANEXO 13: Resultados del ensayo de peso unitario y contenido de vacíos del concreto permeable en estado endurecido**

<i>Diseño</i>	<i>Relación a/c</i>	<i>Dosis de Aditivo (%)</i>	<i>Probeta</i>	<i>D 1 (cm)</i>	<i>D 2 (cm)</i>	<i>Diámetro Promedio D (mm)</i>	<i>Longitud Promedio L (mm)</i>	<i>K (S.I.)</i>	<i>Masa en el aire A (gr)</i>
<b>D 01 (Patrón)</b>	0.38	0.00	C-01	10.030	10.015	100.25	202.50	1273240	2946.0
			C-02	9.875	9.845	98.50	200.00	1273240	2775.0
			C-03	10.045	10.060	100.50	202.75	1273240	2981.0
<b>D 02</b>	0.334	0.55	C-01	9.945	9.980	99.75	201.25	1273240	2950.0
			C-02	9.870	9.845	98.50	200.00	1273240	2922.5
			C-03	9.855	9.795	98.25	201.75	1273240	2878.5
<b>D 03</b>	0.312	0.63	C-01	9.905	9.935	99.25	200.00	1273240	3087.0
			C-02	9.970	9.915	99.50	203.00	1273240	3099.5
			C-03	10.010	10.025	100.25	202.50	1273240	3123.5
<b>D 04</b>	0.289	0.92	C-01	9.930	9.995	99.50	200.00	1273240	2977.5
			C-02	9.970	9.970	99.75	202.75	1273240	3010.5
			C-03	9.980	9.975	99.75	201.00	1273240	3007.0
<b>D 05</b>	0.266	1.20	C-01	9.950	9.940	99.50	200.50	1273240	3050.0
			C-02	9.810	9.820	98.25	201.75	1273240	2924.0
			C-03	9.920	9.890	99.00	201.25	1273240	3040.5

<b>Diseño</b>	<b>Relación a/c</b>	<b>Dosis de Aditivo (%)</b>	<b>Masa en el agua B (gr)</b>	<b>P.U. (kg/m3)</b>	<b>P.U. promedio D (kg/m3)</b>	<b>P.U. Teórico (kg/m3)</b>	<b>Contenido de Vacíos (%)</b>	<b>Contenido de Vacíos promedio U (%)</b>
<b>D 01 (Patrón)</b>	0.38	0.00	1750.0	1843	1839.0	2048.4	25.2	25.3
			1658.0	1821			26.7	
			1761.0	1853			24.1	
<b>D 02</b>	0.334	0.55	1756.5	1876	1892.0	2062.8	24.1	22.9
			1738.5	1918			22.3	
			1687.5	1882			22.1	
<b>D 03</b>	0.312	0.63	1864.5	1995	1971.0	2071.2	21.0	19.8
			1825.5	1964			19.3	
			1830.5	1954			19.1	
<b>D 04</b>	0.289	0.92	1801.5	1915	1910.0	2079.6	24.4	24.6
			1823.0	1900			25.1	
			1819.5	1914			24.4	
<b>D 05</b>	0.266	1.20	1804.5	1956	1944.0	2088.6	20.1	20.5
			1717.0	1912			21.1	
			1806.0	1963			20.3	

Fórmulas utilizadas:

- Para la densidad (peso unitario):

$$Densidad = \frac{K \times A}{D^2 \times L}$$

- Para el contenido de vacíos:

$$Contenido\ de\ vacíos = \left[ 1 - \left( \frac{K \times (A - B)}{\rho_w \times D^2 \times L} \right) \right] \times 100$$

Donde:

A : masa seca de la probeta, gr

D : diámetro promedio de la probeta, mm

L : longitud promedio de la probeta, mm

K : 1 273 240 en unidades SI

B : masa de la probeta sumergida en agua, gr

$\rho_w$  : densidad del agua, kg/m<sup>3</sup>

**ANEXO 14: Análisis de costos unitarios para la elaboración y transporte del  
concreto permeable en obra**

**i. Diseño D 01 (Patrón) – relación a/c = 0.38**

<b>Partida:</b>	Preparación + transporte de Concreto Permeable en obra - rel. a/c = 0.38				<b>Rend:</b>	22.50	M3/DIA
	<b>Descripción Insumo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>	
	<b>Mano de Obra</b>						
	CAPATAZ	HH	0.10	0.0356	25.69	0.91	
	OPERARIO	HH	1.00	0.3556	23.35	8.30	
	OFICIAL	HH	1.00	0.3556	18.45	6.56	
	PEON	HH	8.00	2.8444	16.68	47.45	
						<b>63.22</b>	
	<b>Materiales</b>						
	PIEDRA CHANCADA DE 3/8"	M3		1.1071	68.00	75.28	
	CEMENTO PORTLAND TIPO HE (42.5KG)	KG		370.0515	0.42	155.42	
	AGUA	M3		0.1670	4.70	0.78	
	GASOLINA 90 OCTANOS	GLN		0.1179	11.61	1.37	
						<b>232.85</b>	
	<b>Equipo</b>						
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	63.22	1.90	
	MEZCLADORA DE CONCRETO DE 9-11P3	HM	1.00	0.3556	12.50	4.45	
						<b>6.35</b>	
						<b>Costo Unitario por M3 : 302.42</b>	

**ii. Diseño D 02 – relación a/c = 0.334**

<b>Partida:</b>	Preparación + transporte de Concreto Permeable en obra - rel. a/c = 0.334				<b>Rend:</b>	22.50	M3/DIA
	<b>Descripción Insumo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>	
	<b>Mano de Obra</b>						
	CAPATAZ	HH	0.10	0.0356	25.69	0.91	
	OPERARIO	HH	1.00	0.3556	23.35	8.30	
	OFICIAL	HH	1.00	0.3556	18.45	6.56	
	PEON	HH	8.00	2.8444	16.68	47.45	
						<b>63.22</b>	
	<b>Materiales</b>						
	PIEDRA CHANCADA DE 3/8"	M3		1.1071	68.00	75.28	
	CEMENTO PORTLAND TIPO HE (42.5KG)	KG		392.4270	0.42	164.82	
	ADITIVO MASTERRHEOBUILD 1003	KG		2.1588	4.00	8.64	
	AGUA	M3		0.1575	4.70	0.74	
	GASOLINA 90 OCTANOS	GLN		0.1179	11.61	1.37	
						<b>250.85</b>	
	<b>Equipo</b>						
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	63.22	1.90	
	MEZCLADORA DE CONCRETO DE 9-11P3	HM	1.00	0.3556	12.50	4.45	
						<b>6.35</b>	
						<b>Costo Unitario por M3 : 320.42</b>	

iii. **Diseño D 03 – relación a/c = 0.312**

<b>Partida:</b> Preparación + transporte de Concreto Permeable en obra - rel. a/c = 0.321		<b>Rend:</b> 22.50		<b>M3/DIA</b>	
<b>Descripción Insumo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>
<b>Mano de Obra</b>					
CAPATAZ	HH	0.10	0.0356	25.69	0.91
OPERARIO	HH	1.00	0.3556	23.35	8.30
OFICIAL	HH	1.00	0.3556	18.45	6.56
PEON	HH	8.00	2.8444	16.68	47.45
					<b>63.22</b>
<b>Materiales</b>					
PIEDRA CHANCADA DE 3/8"	M3		1.1071	68.00	75.28
CEMENTO PORTLAND TIPO HE (42.5KG)	KG		405.6465	0.42	170.37
ADITIVO MASTERRHEOBUILD 1003	KG		2.5557	4.00	10.22
AGUA	M3		0.1527	4.70	0.72
GASOLINA 90 OCTANOS	GLN		0.1179	11.61	1.37
					<b>257.96</b>
<b>Equipo</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	63.22	1.90
MEZCLADORA DE CONCRETO DE 9 -11P3	HM	1.00	0.3556	12.50	4.45
					<b>6.35</b>
<b>Costo Unitario por M3 :</b>					<b>327.53</b>

iv. **Diseño D 04 – relación a/c = 0.289**

<b>Partida:</b> Preparación + transporte de Concreto Permeable en obra - rel. a/c = 0.289		<b>Rend:</b> 22.50		<b>M3/DIA</b>	
<b>Descripción Insumo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>
<b>Mano de Obra</b>					
CAPATAZ	HH	0.10	0.0356	25.69	0.91
OPERARIO	HH	1.00	0.3556	23.35	8.30
OFICIAL	HH	1.00	0.3556	18.45	6.56
PEON	HH	8.00	2.8444	16.68	47.45
					<b>63.22</b>
<b>Materiales</b>					
PIEDRA CHANCADA DE 3/8"	M3		1.1071	68.00	75.28
CEMENTO PORTLAND TIPO HE (42.5KG)	KG		418.6560	0.42	175.84
ADITIVO MASTERRHEOBUILD 1003	KG		3.8514	4.00	15.41
AGUA	M3		0.1472	4.70	0.69
GASOLINA 90 OCTANOS	GLN		0.1179	11.61	1.37
					<b>268.59</b>
<b>Equipo</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	63.22	1.90
MEZCLADORA DE CONCRETO DE 9 -11P3	HM	1.00	0.3556	12.50	4.45
					<b>6.35</b>
<b>Costo Unitario por M3 :</b>					<b>338.16</b>

v. **Diseño D 05 – relación a/c = 0.266**

<b>Partida:</b> Preparación + transporte de Concreto Permeable en obra, rel. a/c = 0.266		<b>Rend:</b> 22.50		<b>M3/DIA</b>	
<b>Descripción Insumo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>
<b>Mano de Obra</b>					
CAPATAZ	HH	0.10	0.0356	25.69	0.91
OPERARIO	HH	1.00	0.3556	23.35	8.30
OFICIAL	HH	1.00	0.3556	18.45	6.56
PEON	HH	8.00	2.8444	16.68	47.45
					<b>63.22</b>
<b>Materiales</b>					
PIEDRA CHANCADA DE 3/8"	M3		1.1071	68.00	75.28
CEMENTO PORTLAND TIPO HE (42.5KG)	KG		432.5685	0.42	181.68
ADITIVO MASTERRHEOBUILD 1003	KG		5.1912	4.00	20.76
AGUA	M3		0.1413	4.70	0.66
GASOLINA 90 OCTANOS	GLN		0.1179	11.61	1.37
					<b>279.75</b>
<b>Equipo</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	63.22	1.90
MEZCLADORA DE CONCRETO DE 9 -11P3	HM	1.00	0.3556	12.50	4.45
					<b>6.35</b>
				<b>Costo Unitario por M3 :</b>	<b>349.32</b>

## ANEXO 15: Ficha técnica del cemento YURA HE



### DESCRIPCIÓN

EL CEMENTO INDUSTRIAL DE ULTRA RESISTENCIA INICIAL YURA HE es un cemento portland de última generación, elaborado bajo los más estrictos estándares de la industria cementera, colaborando con el medio ambiente, debido a que en su producción se reduce la emisión de CO<sub>2</sub>, contribuyendo a la reducción de los gases con efecto invernadero.

Es un producto fabricado a base de Clinker de alta calidad, puzolana natural de origen volcánico de alta reactividad y yeso. Esta mezcla es molida industrialmente en molinos de última generación, logrando un alto grado de finura.

La fabricación en controlada bajo un sistema de gestión de calidad certificado con ISO 9001 y de gestión ambiental ISO 14001, asegurando un alto estándar de calidad.

La composición de este producto permite la producción de concretos con requerimientos de altas resistencias iniciales, otorgando propiedades adicionales para lograr alta durabilidad por lo que puede ser utilizado en obras de infraestructura y construcción en general.

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

REQUISITOS FÍSICOS	Requisitos Norma Técnica NTP 334.082 ASTM C 1157		CEMENTO INDUSTRIAL YURA TIPO HE		REQUISITOS NORMA TÉCNICA CEMENTO TIPO I NTP 334.009 / ASTM C 150	
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	-		290 - 298		375 Máximo	
Superficie específica Blaine (cm <sup>2</sup> /gr)	-		4400 - 5100		2600 Mínimo	
Expansión en autoclave (%)	0.80 Máximo		-0.03 - 0.04		0.80 Máximo	
Fraguado Vitcat inicial (minutos)	45 a 420 Mínimo		140 - 190		45 a 375 Mínimo	
Contenido aire Mortero (%)	12 Máximo		3.0 a 5.5		12.00 Máximo	
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	Kg-f/cm <sup>2</sup>	MPa	Kg-f/cm <sup>2</sup>	MPa	Kg-f/cm <sup>2</sup>	MPa
1 día	122	12	130 a 160	12.7 a 15.7	-	-
3 días	245	24	250 a 290	24.5 a 28.4	122	12
7 días	-	-	310 a 380	30.4 a 37.2	194	19
28 días	-	-	400 a 430	39.2 a 42.1	-	-

#### COMPARACIÓN RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN CEMENTO INDUSTRIAL YURA TIPO HE Vs. NTP CEMENTO TIPO I y HE



■ CEMENTO INDUSTRIAL TIPO HE

■ CEMENTO TIPO HE NORMA TÉCNICA NTP 334.082 (ASTM C 1157)

■ CEMENTO TIPO I NORMA TÉCNICA NTP 334.009 (ASTM C 150)

### PROPIEDADES

EL CEMENTO INDUSTRIAL YURA TIPO HE - ULTRA RESISTENCIA INICIAL, por su formulación especial, proporciona al concreto las siguientes propiedades:

- Alta resistencia inicial.
- Aumento de impermeabilidad.
- Moderada resistencia a los sulfatos.
- Menor calor de hidratación.
- Disminuye la reacción nociva alcali-agregado (según grado de reactividad del agregado).
- Mayor plasticidad y trabajabilidad en concretos.

### BENEFICIOS AMBIENTALES

- Menor consumo energético.
- Cemento fabricado con menor emisión de CO<sub>2</sub>.

### RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD

El contacto con este producto provoca irritación cutánea e irritación ocular grave, evite el contacto directo en piel y mucosas.

En caso de contacto con los ojos, lavar con abundante agua limpia.

En caso de contacto con la piel, lavar con agua y jabón.

Para su manipulación es obligatorio el uso de los siguientes elementos de protección:



Botas Impermeables



Protección Respiratoria



Guantes Impermeables



Protección Ocular

### ALMACENAMIENTO

Para mantener el cemento en óptimas condiciones, se recomienda:

- Almacenar en un ambiente seco, separado del suelo y de las paredes.
- Protegerlos contra la humedad o corriente de aire húmedo.
- En caso de almacenamiento prolongado, cubrir el cemento con polietileno.
- No apilar más de 10 bolsas o en 2 pallet de altura.

### PRESENTACIONES DISPONIBLES

Bolsas 42.5 Kg	Ideal para proyectos medianos y pequeños, o con accesos complicados y pocas áreas de almacenamiento.
Big Bag 1.0 TM	Para proyectos de constructoras que tienen planta de concreto. Facilita la manipulación de grandes volúmenes.
Big Bag 1.5 TM	Para proyectos mineros y de gran construcción, requiere la utilización de equipos de carga.
Granel	Abastecido en bombonas para descargar en silos contenedores.

### NORMAS TÉCNICAS

PAIS	NORMA	DENOMINACIÓN	
NORMA TÉCNICA PERUANA	NTP 334.082	Cemento Portland	TIPO HE
NORMA CHILENA OFICIAL	NCH 148 OF68	Cemento Portland Puzolánico	GRADO ALTA RESISTENCIA
NORMA AMERICANA	ASTM C1157	Portland Cement	TIPO HE
NORMA BOLIVIANA	NB-011	Cemento Portlanda Con Puzolana	TIPO IP 40
NORMA ECUATORIANA	NTE INEN 2380	Cemento Hidráulico	TIPO HE
NORMA COLOMBIANA	NTC 121 - 321	Cemento Portland	TIPO 1

### DURACIÓN

Almacenar y consumir de acuerdo a la fecha de producción utilizando el más antiguo. Se recomienda que el cemento sea utilizado antes de 60 días de la fecha de envasado indicada en la bolsa, luego de esa fecha, verifique la calidad del mismo.

## ANEXO 16: Ficha técnica del aditivo MASTERRHEOBUILD 1003



We create chemistry

### MasterRheobuild 1003

#### Antes RHEOBUILD 1060

Aditivo reductor de agua para producir concreto Rheoplástico

#### USOS RECOMENDADOS

- Concreto donde se desea una alta plasticidad características de fraguado normal y desarrollo rápido de resistencias
- Aplicaciones de concreto pretensado, prefabricado y premezclado
- Aplicaciones de construcción subterránea civil y minera: shotcrete por vía húmeda o seca, grouts de alto desempeño, grouts de túneles y suspensiones de inyección

#### DESCRIPCION

MasterRheobuild 1003 es un aditivo reductor de agua de alto rango diseñado para producir concreto rheoplástico. Este concreto fluye fácilmente manteniendo una alta plasticidad por tiempos más prolongados que el concreto superplastificado convencional. El concreto rheoplástico tiene la baja proporción agua: material cementicio del concreto sin asentamiento, dando excelentes propiedades de ingeniería (endurecimiento).

#### VENTAJAS

##### En el concreto plástico

- Rango de plasticidad de 200 a 280 mm (8-11 in)
- Retención prolongada de asentamiento
- Tiempos de fraguado controlados
- Permite mezclas cohesivas sin segregación y mínima exudación de agua.

##### Para concreto endurecido

- Mayores resistencias iniciales en comparación con los superplastificantes convencionales
- Mayor resistencia final a compresión
- Mayor módulo de elasticidad
- Mejor resistencia de adhesión al acero
- Baja permeabilidad y alta durabilidad
- Menor retracción y deformación
- Integridad estructural del elemento terminado altamente confiable

#### Otros

- Cumple con la especificación ASTM C 494 para aditivos reductores de agua tipo A y aditivos reductores de agua de alto-rango Tipo F
- Menos dependencia de energía de consolidación
- Menor costo de mano de obra y mayor productividad
- Permite cambios en las especificaciones de ingeniería ya que es factible aumentar los límites de caída libre del concreto fresco, los espesores de las coladas y temperaturas del concreto, así como ajustes económicos en las mezclas.

#### CARACTERISTICAS DE DESEMPEÑO

##### Velocidad de endurecimiento

MasterRheobuild 1003 ha sido diseñado para producir características normales de fraguado para todo el rango de dosificación que se recomienda. El tiempo de fraguado del concreto depende de la composición física y química de los ingredientes básicos del concreto, la temperatura del concreto y las condiciones ambientales. Deben hacerse mezclas de prueba con los materiales de la obra para determinar la dosificación requerida para el tiempo de fraguado especificado y un requerimiento de resistencia determinado.

##### Manejabilidad

El concreto al que se ha adicionado MasterRheobuild 1003 tiene la capacidad de mantener una condición rheoplástica de 200 a 280 mm (8 a 11 in) de asentamiento si se requiere. La duración precisa para poder trabajar la mezcla no



We create chemistry

## MasterRheobuild 1003

### Antes RHEOBUILD 1060

solo depende de la temperatura, sino también del tipo de cemento, materiales cementicios suplementarios, proporciones de la mezcla, la naturaleza de los agregados, el método de transporte y la dosificación.

#### APLICACION

**Dosificación**  
El rango de dosificación recomendado para el MasterRheobuild 1003 es de 650-1600 ml/100 kg (10-25 oz fl/100 lb) de material cementicio dependiendo de la aplicación y de cuanto se desee incrementar el asentamiento y resistencia.

Las dosificaciones anteriores aplican a la mayoría de las mezclas de concreto que usan ingredientes típicos del concreto. Debido a las variaciones en las condiciones de la obra y de los materiales de concreto como la microsilica, se podrán requerir rangos de dosificación diferentes a los recomendados. En tales casos, contacte a su representante local de BASF.

#### Mezclado

Ya que se incrementa la retención de asentamiento usando el aditivo MasterRheobuild 1003, éste se puede adicionar en la planta de premezclados. También puede adicionarse en la obra si se desea incrementar el asentamiento.

#### RECOMENDACIONES

##### Corrosividad

No corrosivo, no contiene cloruros. MasterRheobuild 1003 no iniciará o promoverá la corrosión del acero reforzado en el concreto, concreto pretensado o concreto colocado en sistemas de pisos y techos de acero galvanizado. No se utilizó cloruro de calcio ni ningún ingrediente a base de cloruros en la manufactura del aditivo MasterRheobuild 1003.

##### Compatibilidad

MasterRheobuild 1003 puede utilizarse en combinación con la mayoría de los aditivos de BASF Construction Chemicals y en todo el concreto de color y arquitectónico. Cuando se usa con otros aditivos, cada aditivo deberá adicionarse a la mezcla en forma separada. MasterRheobuild 1003 no debe usarse con MasterMatrix UW 450, MasterMatrix VMA 358 o MasterMatrix VMA 450 ya que pueden experimentarse comportamientos erráticos en asentamiento, extensión del asentamiento o capacidad de bombeo.

##### Temperatura

Si se llega a congelar el MasterRheobuild 1003, eleve a una temperatura de 7°C (45°F) o mayor y reconstituya el producto por completo con una agitación mecánica ligera. No use aire presurizado para agitar.

#### ALMACENAMIENTO

MasterRheobuild 1003 tiene una vida útil de 18 meses como mínimo. Dependiendo de las condiciones de almacenamiento, la vida útil puede ser mayor.

#### EMPAQUE

MasterRheobuild 1003 se suministra en tambores de 208 l (55 gal), en tanques de 1040 l (275 gal) y a granel.

#### SEGURIDAD

Consulte la Hoja de Datos de Seguridad (MSDS) para este producto. Para información adicional sobre este producto o para su uso en el desarrollo de mezclas de concreto con características especiales de desempeño, consulte a su representante local de BASF Construction Chemicals.



We create chemistry

## MasterRheobuild 1003

---

Antes RHEOBUILD 1060

### Contacto

**BASF Química Colombia S.A.**

Calle 99 # 69C – 32  
Bogotá, D.C. Colombia  
Tel: +57 1 632 20 99  
[www.basf-cc.com.co](http://www.basf-cc.com.co)

**BASF Venezolana S.A.**

Edif. Torreón, Piso 4, Of. 4B  
Av. Veracruz con calle la Guairita,  
Urb. Las Mercedes. Caracas, Venezuela  
Tel : + 58 212 958 6711  
[www.basf-cc.com.ve](http://www.basf-cc.com.ve)

**BASF Ecuatoriana S.A.**

Av. Naciones Unidas 1014  
y Av. Amazonas Edif. La Previsora  
Torre A Piso 2, Quito, Ecuador  
Tel : + 593 2397 9500  
[www.basf-cc.com.ec](http://www.basf-cc.com.ec)

**BASF AS**

Avenida das Nacoes Unidas,  
14.171, Morumbi  
04794-000 Sao Paulo – SP, Brasil  
Tel: +55 11 2718 5507  
[www.basf-cc.com.br](http://www.basf-cc.com.br)

**BASF Construction Chemicals Ltda.**

Rio Palena 9665  
Nucleo Empresarial ENEA  
Santiago de Chile, Chile  
Tel: +56-2 2799 4300  
[www.basf-cc.cl](http://www.basf-cc.cl)

**BASF Construction Chemicals Perú S.A**

Jr. Plácido Jiménez N° 630  
Lima 1,Peru  
Tel: +51-1 219 0630  
[www.basf-cc.com.pe](http://www.basf-cc.com.pe)

**ANEXO 17: Certificado de calibración de la prensa para ensayos de resistencia**



**LABORATORIO DE CALIBRACIÓN LO JUSTO S.A.C.**  
 CALIDAD, PRECISIÓN Y EXACTITUD  
**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**

**Código del certificado**  
**F - 022 - 2020**

1 de 3

**Fecha de calibración:** 2020-06-22  
**Instrumento:** Prensa de Rotura de Probetas  
**Marca:** ELE International  
 ADR Touch Head  
**Part. N°:** 36-3090101  
**Serie de la prensa:** 1796-9-3072  
**Serie del indicador:** 1912-3-0864  
**Identificación:** ECO-1-ELB-20  
**Intervalo indicación:** 0 kg-f a 200000 kg-f \*  
**Resolución:** 1 Kgf  
**Procedencia:** U.K.  
**Solicitante:** ECOCRET S.A.  
**Dirección solicitante:** Av. Brasil Mza. D Lote 13 Asc. Aptasa,  
 Cerro Colorado - Arequipa  
**Expediente:** E920-717B-2020.1  
**Número de páginas:** 03 Pág.  
**Lugar de calibración:** Laboratorio de calidad

Los datos del presente certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y son válidos solo para el instrumento u objeto calibrado, no pudiendo extender sus resultados a ninguna otra unidad o lote que no haya sido calibrado. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad.

Este certificado de calibración es trazable a los patrones de referencia de INACAL. Las frecuencias de calibración son determinadas por el usuario del instrumento. Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de LO JUSTO S.A.C.

LO JUSTO S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

El certificado de calibración es un documento de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles de la materia. Sin perjuicio de lo señalado dicho uso puede configurar por sus efectos una infracción a las normas de protección del consumidor y las que regula la libre competencia.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del Gerente General o Gerente Técnico de LO JUSTO S.A.C. El documento tiene un sello de agua y holograma de seguridad.

**Revisado:**

Arequipa, 23 de Junio de 2020



**José Luis Rosales Saavedra**  
 Supervisor de Operaciones  
 LO JUSTO S.A.C.



Etiqueta de calibración N° 67149

ISO / IEC 17025

S 084057

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN LO JUSTO S.A.C.

<b>Código del certificado</b>
<b>F - 022 - 2020</b>

2 de 3

**Procedimiento de medida:**

- Procedimiento ME- 002 para la calibración de los instrumentos de medida de fuerza del CEM-España.
- Norma ASTM E 74-06 "Standard Practice of Calibration of Force-Measuring Instruments for Verifying the Force Indication of Testing Machines"

**Instrumentos empleados:**

- Transductor de fuerza de 2000 kN con certificado INF - LE 185 18 - A
- Termohigrómetro con certificado de calibración TE-720-2020.

**Condiciones Ambientales**

- Temperatura Ambiente promedio : 23.3 °C ± 0.4 °C
- Humedad Relativa promedio : 35.4 % ± 0.4 %

**RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN**

Indicación Referencia kgf	Indicación del Instrumento					Incertidumbre U (k=2) %
	1° Ascenso kgf	2° Ascenso kgf	3° Ascenso kgf	Promedio kgf	Error %	
0	0	0	0	0	0.00	0.2
1 1000	999	1002	999	1000	0.00	0.2
2 10000	10008	10016	10009	10011	0.11	0.2
3 20000	20026	20025	20019	20023	0.12	0.2
4 30000	30046	30062	30044	30051	0.17	0.2
5 40000	40068	40070	40076	40071	0.18	0.2
6 50000	50091	50088	50089	50089	0.18	0.2
7 80000	80145	80156	80150	80150	0.19	0.2
8 100000	100160	100161	100162	100161	0.16	0.3
9 120000	120165	120164	120166	120165	0.14	0.3

$$\text{Fuerza} = A \cdot \text{Indicación}^2 + B \cdot \text{Indicación} + C$$

**Coefficientes**

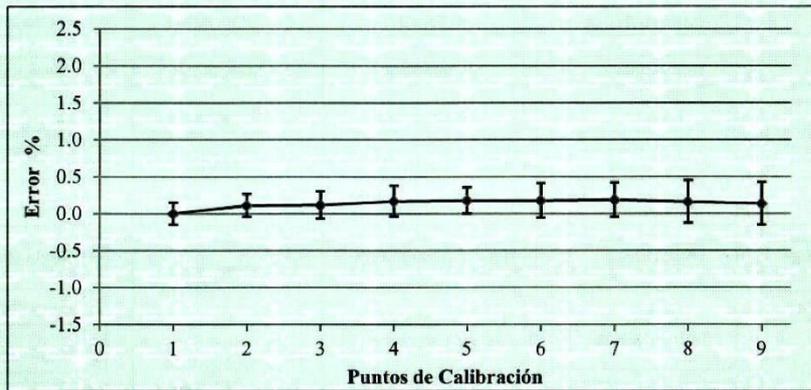
A = 8.060809E-09	B = 9.956577E-01	C = 1.868632E+01	[ kgf ]
A = 7.904953E-08	B = 9.764066E+00	C = 1.832502E+02	[ N ]
A = 1.777105E-08	B = 2.195050E+00	C = 4.119629E+01	[ lbf ]

LO JUSTO S.A.C.  
2020-06-23

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN LO JUSTO S.A.C.

Código del certificado
F - 022 - 2020

3 de 3



**Notas y aclaraciones:**

- La incertidumbre expandida de la medición se obtuvo multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura  $k=2$  que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95 %.
- Este Certificado de calibración cumple con los requisitos establecidos en la Norma ISO/IEC 17025: Requisitos Generales para la competencia de los Laboratorios de Calibración y Ensayo.
- Si por el tipo de uso del instrumento de medición no resulta aconsejable realizar las correcciones de calibración, se puede utilizar una incertidumbre maximizada, que englobaría la máxima corrección encontrada en la calibración, en valor absoluto:  $U = U_i \text{ máx} + |C \text{ máx}|$
- Se colocó al instrumento una etiqueta de color blanco brillante identificada con el N° 67149 en señal de su calibración.

\*\*\* FIN DEL DOCUMENTO \*\*\*

LO JUSTO S.A.C.  
2020-06-23

ISO / IEC 17025

S 084056

**ANEXO 18: Constancia de Registro del PLAN COVID-19 y Autorización para la Operatividad para la Producción de Bienes y Servicios Esenciales de ECOCRET**

**S.A.**

	<b>FORMULARIO</b> <b>CONSTANCIA DE REGISTRO</b>	<b>FOR-CENSOPAS</b> Edición N° 01 Página 1 de 1
 <b>PERÚ</b> <b>Ministerio de Salud</b>	 <b>MINISTERIO DE SALUD</b> <b>INSTITUTO NACIONAL DE SALUD</b>	
<b>CONSTANCIA DE REGISTRO N° 002088-2020</b>		
<p>EL MINISTERIO DE SALUD A TRAVÉS DEL INSTITUTO NACIONAL DE SALUD HACE CONSTAR MEDIANTE LA PRESENTE QUE,</p>		
EMPRESA	<b>ECOCRET SA</b>	
RUC	<b>20600173490</b>	
PROYECTO	<b>Arequipa</b>	
SECTOR	<b>Ministerio de la Producción</b>	
<p>HA REGISTRADO CON FECHA <b>20/05/2020</b> SU PROYECTO DE “<b>PLAN PARA LA VIGILANCIA, PREVENCIÓN Y CONTROL DEL COVID-19 EN EL TRABAJO</b>”. LO CUAL, CUMPLIENDO CON EL PROCESO, SU SOLICITUD DE REGISTRO, HA SIDO ACEPTADA SEGÚN LO ESTABLECIDO EN LA RM 239-2020- MINSA.</p>		
		
cb4e65fc		
Jesús María, 20 de Mayo del 2020		
<p>MINISTERIO DE SALUD INSTITUTO NACIONAL DE SALUD Centro Nacional de Salud Ocupacional y Protección del Ambiente para la salud</p>		
<p>La información consignada en el SICOVID, tiene carácter de declaración jurada y ha sido remitida a las instancias de fiscalización correspondiente.</p>		



PERÚ

Ministerio  
de la Producción

COVID DVMYPE-I

“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”  
“Año de la Universalización de la Salud”

Lima, 16 de Mayo del 2020

**AUTORIZACIÓN PARA LA OPERATIVIDAD PARA LA PRODUCCIÓN DE BIENES Y SERVICIOS ESENCIALES**

**Nº 00001407-2020-PRODUCE/COVID-DVMYPE-I**

El Ministerio de la Producción, al amparo del Decreto Supremo Nº 080-2020-PCM, al encontrarse dentro de las actividades aprobadas y en aplicación de los criterios de focalización utilizados, realiza la aprobación específica de reanudación de actividades, de:

<b>RAZON SOCIAL : ECOCRET SA</b>
<b>REGISTRO UNICO DEL CONTRIBUYENTE: 20600173490</b>
<b>DIRECCIÓN LEGAL: AVENIDA BRASIL APTASA</b>
<b>REPRESENTANTE LEGAL: OCHOA PAREJO, MARIA FERNANDA</b>

La presente autorización faculta el desplazamiento de los trabajadores de la empresa, así como el transporte de los insumos y/o productos ligados a su actividad.

La Policía Nacional del Perú y las Fuerzas Armadas darán las facilidades para el cumplimiento de la presente autorización

Me comprometo a operar dentro de la jurisdicción territorial que me fue autorizada.

Atentamente,

COVID DVMYPE-I

**MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN**



## ANEXO 19: Panel fotográfico



Kilómetro 976 de la carretera Panamericana Sur - La Joya - Arequipa



Ingreso a la cantera Elena de Troya III



Chancadora en la cantera Elena de Troya III



Adquisición del agregado grueso de la cantera Elena de Troya III



Recolección del agregado grueso en la cantera Elena de Troya III



Agregado grueso colocado en sacos con bolsas de polietileno



Esparcido del agregado grueso para realizar el cuarto para los ensayos de propiedades físicas



Cuarqueo del agregado grueso para los ensayos de propiedades físicas



Cuarqueo del agregado grueso para los ensayos de propiedades físicas



Cuarteo del agregado grueso para ensayos de propiedades físicas



Pesado del agregado grueso para ensayos de propiedades físicas



Pesado del agregado grueso para el ensayo de contenido de humedad



Preparación de los tamices para el ensayo de granulometría del agregado grueso



Ensayo de granulometría del agregado grueso



Agregado grueso retenido en tamices



Agregado grueso retenido en tamices



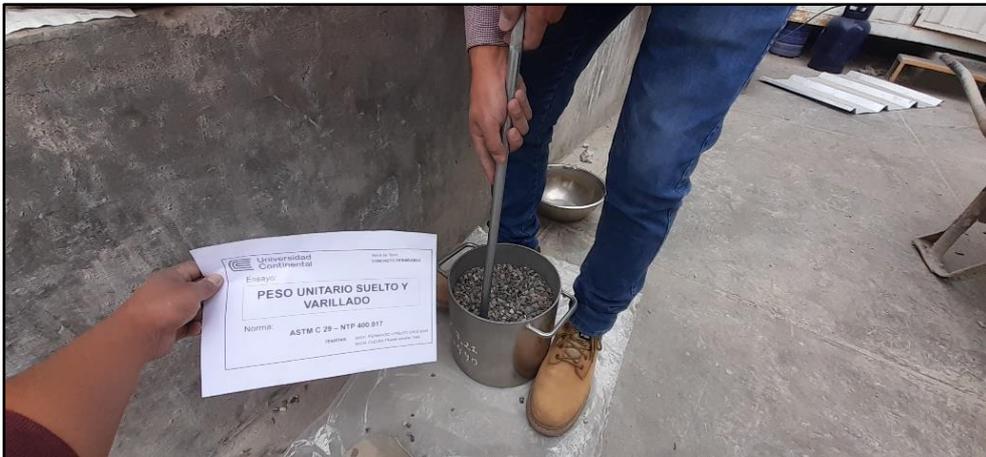
Molde para el ensayo de peso unitario del agregado grueso



Ensayo de peso unitario suelto del agregado grueso



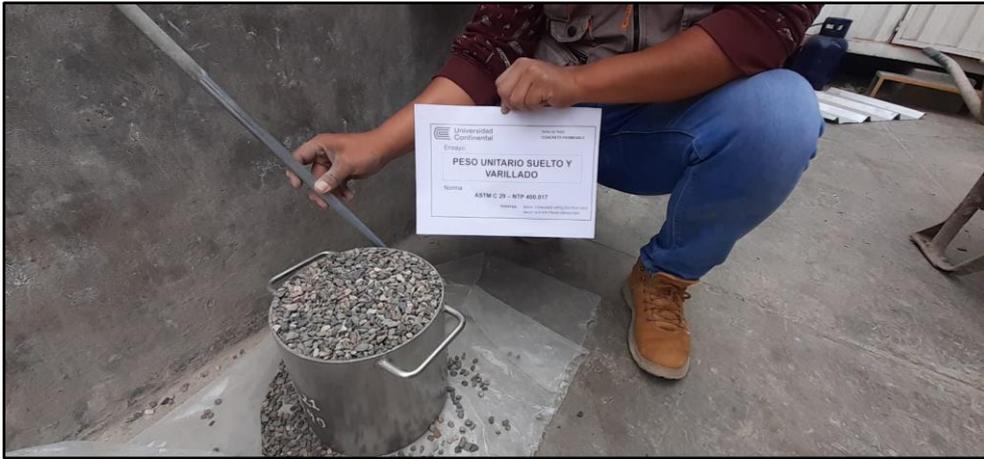
Ensayo de peso unitario suelto del agregado grueso



Ensayo de peso unitario varillado del agregado grueso



Ensayo de peso unitario varillado del agregado grueso



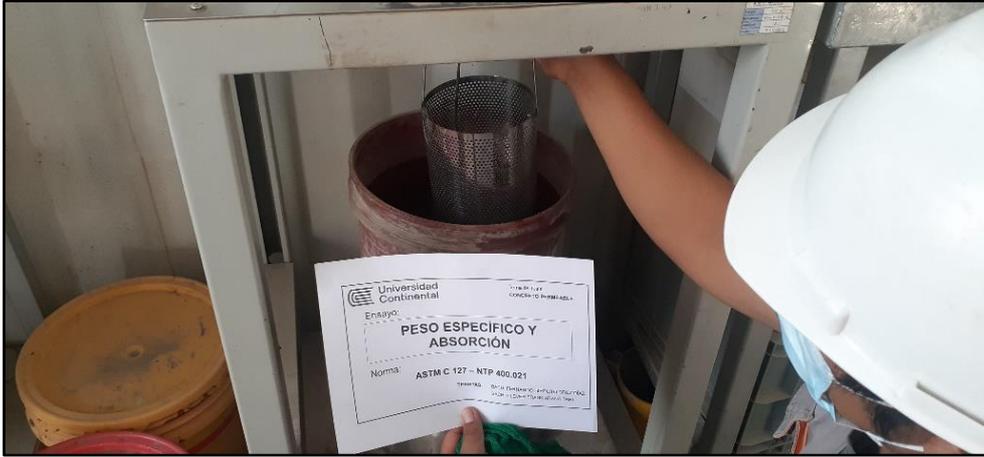
Enrasado del agregado grueso en el molde para el ensayo de peso unitario



Secado superficial del agregado grueso para el ensayo de peso específico y absorción



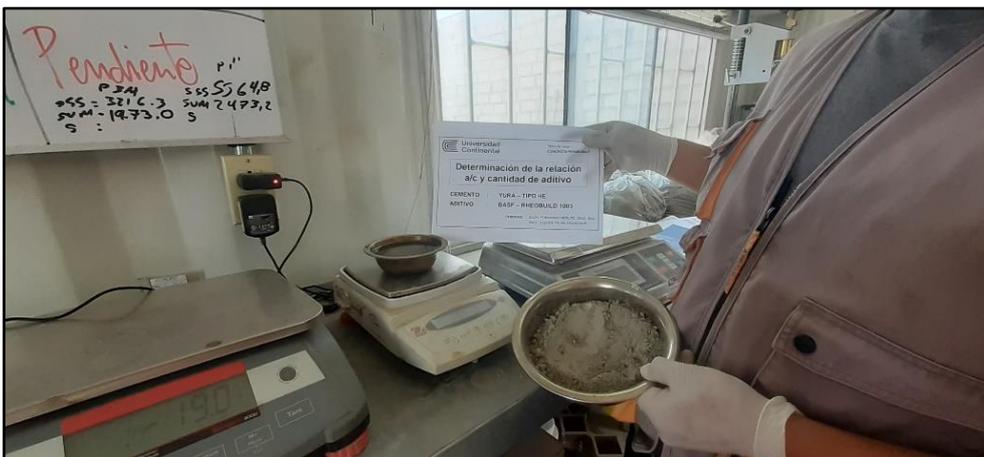
Canasta para el ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso



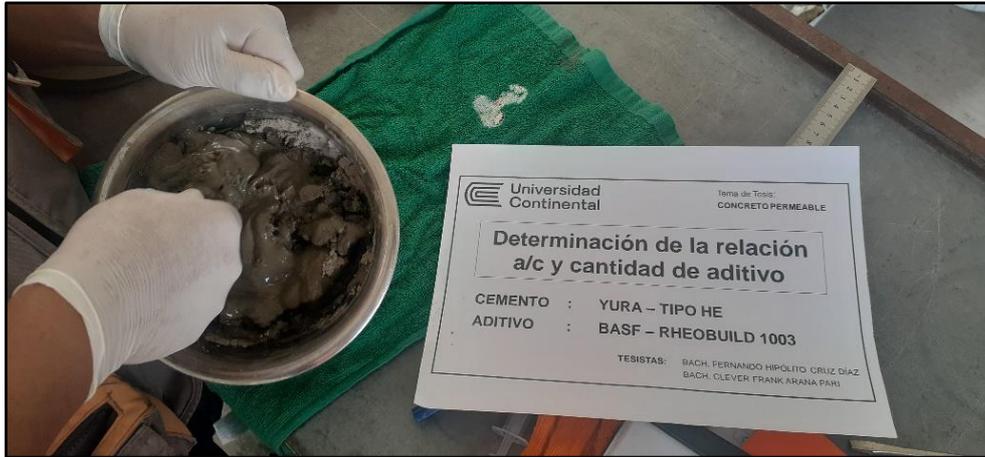
Pesado del agregado grueso en el agua, para el ensayo de peso específico y absorción



Adquisición de cemento



Pruebas con pasta de cemento para determinar la relación a/c y dosis de aditivo para los diseños de mezclas de concreto permeable



Pruebas con pasta de cemento para determinar la relación a/c y dosis de aditivo para los diseños de mezclas de concreto permeable



Pruebas con pasta de cemento para determinar la relación a/c y dosis de aditivo para los diseños de mezclas de concreto permeable



Pruebas con pasta de cemento y agregado para evaluar la estabilidad de la pasta de cemento



Probeta con pasta de cemento inadecuada, ya que fluyó a la parte inferior del concreto



Elaboración de probetas con correcciones en la cantidad de aditivo para evaluar la estabilidad de la pasta de cemento



Pruebas para determinar el número de golpes necesarios para la elaboración de cilindros de concreto permeable



Pruebas para determinar el número de golpes necesarios para la elaboración de vigas de concreto permeable



Pesado de moldes con concreto para determinar el número de golpes necesarios para la elaboración de cilindros y vigas de concreto permeable



Preparación de los moldes para la elaboración de cilindros y vigas de concreto permeable



Preparación de las mezclas de concreto permeable



Preparación de las mezclas de concreto permeable



Preparación de las mezclas de concreto permeable



Ensayo de asentamiento – Slump al concreto permeable fresco



Ensayo de asentamiento – Slump al concreto permeable fresco



Ensayo de asentamiento – Slump al concreto permeable fresco



Ensayo de peso unitario y contenido de vacios del concreto permeable fresco



Ensayo de peso unitario y contenido de vacíos del concreto permeable fresco



Elaboración de cilindros y vigas de concreto permeable



Elaboración de cilindros y vigas de concreto permeable



Colocación de plástico para cubrir los cilindros y vigas de concreto permeable recién moldeados



Desmoldado de cilindros y vigas de concreto permeable



Colocación de cilindros y vigas de concreto permeable en la poza de curado



Medición de los diámetros de las probetas para el ensayo de resistencia a la compresión



Prensa y ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto permeable



Cilindros de concreto permeable luego del ensayo de resistencia a la compresión



Ensayo de resistencia a la tracción por flexión de las vigas de concreto permeable



Viga de concreto permeable luego del ensayo de resistencia a la tracción por flexión



Vigas de concreto permeable luego del ensayo de resistencia a la tracción por flexión



Marcado de cilindros antes de que sean cortados para la prueba de permeabilidad



Marcado de cilindros antes de que sean cortados para la prueba de permeabilidad



Cilindros marcados para que sean cortados antes de la prueba de permeabilidad



Cortado de cilindros para la prueba de permeabilidad



Preparación de cilindros para la prueba de permeabilidad



Toma de medidas de los cilindros para la prueba de permeabilidad



Permeámetro usado para la prueba de permeabilidad de los cilindros de concreto permeable



Prueba de permeabilidad de los cilindros de concreto permeable



Prueba de permeabilidad cilindros de concreto permeable



Cilindros de concreto permeable en el horno, para el ensayo de peso unitario y contenido de vacíos del concreto permeable endurecido



Toma de medidas y pesado de cilindros de concreto permeable para el ensayo de peso unitario y contenido de vacíos del concreto permeable endurecido



Colocacion de cilindros en el contenedor con agua para su saturacion y ensayo de peso unitario y contenido de vacíos del concreto permeable endurecido



Pesado de un cilindro de concreto permeable en el agua para el ensayo de peso unitario y contenido de vacíos del concreto permeable endurecido



Tesistas y personal técnico del laboratorio del CEDIICON haciendo uso de implementos de seguridad y mascarilla para la prevención de contagios de la COVID-19