

**UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**Concreto permeable para el control de aguas pluviales en vías urbanas en la ciudad de Abancay, 2019**

**Presentado por:**

**Carmen Clarinet Arcos Mansilla**

**Para optar el título profesional de Ingeniero Civil**

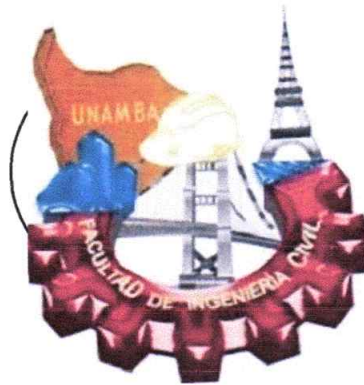
**Abancay, Perú**

**2022**



**UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**"CONCRETO PERMEABLE PARA EL CONTROL DE AGUAS PLUVIALES EN VÍAS  
URBANAS EN LA CIUDAD DE ABANCAY, 2019"**

Presentado por **Carmen Clarinet Arcos Mansilla** para optar el Título de:

**INGENIERO CIVIL**

Sustentado y aprobado el 22 de diciembre del 2021, ante el Jurado Evaluador:

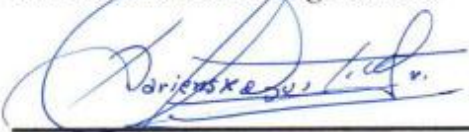
**Presidente:**

  
\_\_\_\_\_  
*Ing. Darwin Duhamel Loayza Encalada*

**Primer Miembro:**

  
\_\_\_\_\_  
*Dr. Pablo Rubén Zuloaga Candia*

**Segundo Miembro:**

  
\_\_\_\_\_  
*Mag. Dariensko Ronald Bustos Villena*

**Asesor:**

  
\_\_\_\_\_  
*Ph. D. Lucy Marisol Guanuchi Orellana*

## **Agradecimiento**

*Estoy muy agradecida con Dios por concederme el regalo de la vida y por permitirme este momento especial para complementar y terminar mi trabajo de tesis de pregrado. Agradezco a mi madre Paulina Mansilla Abarca por ser mi fuente y fortaleza de vida además sabiduría, a mi hermano Rotmer Arcos Mansilla por ser mi ejemplo de padre, a mi hermana Yeqi Arcos Mansilla por su constante preocupación por mi persona y demás hermanos por llenarme de alegría en las diferentes etapas de mi vida.*

*Expreso mi profundo agradecimiento a la Universidad Micaela Bastidas de Apurímac por la oportunidad de brindarme el ser profesional y servir a mi región de Apurímac.*

*Estoy muy agradecida a mi Jurado Evaluador por su interés, motivación y crítica para completar este trabajo.*

*Un especial agradecimiento a la Ph.D. Ing. Lucy Marisol Guanuchi Orellana por su sabia orientación y guiá en la elaboración de este proyecto y trabajo de Tesis.*

*Esta Tesis fue ganadora y financiada parcialmente, por medio del vicerrectorado de investigación de la UNAMBA, mediante el III Concurso de Investigación Científica y Tecnológica de Proyectos de tesis de Pre y Posgrado, financiado con fondos de Canon, Sobre canon y Regalías Mineras, 2019.*



## **Dedicatoria**

*A mi madre Paulina Mansilla Abarca por su inmenso amor, paciencia, apoyo y sacrificio por impulsarme a seguir el camino correcto.*

*A mis hermanos Adela, Eddy, Kady, Marvely, Maribel, Rotmer, Yeqi, Sabino, Consuelo, Dennis, Vianne, Arturo, por su apoyo moral.*



“Concreto permeable para el control de aguas pluviales en vías urbanas en la ciudad de Abancay, 2019”

Línea de investigación: Ingeniería de la construcción

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>RESUMEN</b> .....	2
<b>ABSTRACT</b> .....	3
<b>CAPÍTULO I</b> .....	4
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	4
1.1 Descripción del problema .....	4
1.2 Enunciado del Problema .....	5
1.2.1 Problema general .....	5
1.2.2 Problemas específicos .....	5
1.3 Justificación de la investigación .....	5
<b>CAPÍTULO II</b> .....	6
<b>OBJETIVOS E HIPÓTESIS</b> .....	6
2.1 Objetivos de la investigación .....	6
2.1.1. Objetivo general .....	6
2.1.2. Objetivos específicos .....	6
2.2 Hipótesis de la investigación .....	6
2.2.1. Hipótesis general .....	6
2.2.2. Hipótesis específicas .....	6
2.3 Operacionalización de variables .....	7
<b>CAPÍTULO III</b> .....	9
<b>MARCO TEÓRICO REFERENCIAL</b> .....	9
3.1 Antecedentes .....	9
3.1.1 Antecedentes internacionales .....	9
3.2 Marco Teórico .....	15
3.2.1 El concreto .....	15
3.2.2 El concreto permeable o poroso .....	16
3.2.2.1 Materiales del concreto poroso .....	17
3.2.2.2 Propiedades del concreto permeable .....	22
3.2.2.3 Factores que influyen en las propiedades del concreto permeable .....	28
3.2.2.4 Ventajas del concreto permeable .....	29
3.2.3 Diseño de mezclas del concreto poroso (Método del ACI 211.3R-02) .....	30
3.2.3.1 Introducción .....	30
3.2.3.2 Materiales .....	30
3.2.3.3 Cemento .....	30
3.2.3.4 Agregados .....	31

3.2.3.5	Agua.....	31
3.2.3.6	Aditivos.....	32
3.2.4	Procedimiento de diseño de concreto permeable.....	32
3.2.4.1	Generalidades.....	32
3.2.4.2	Materiales.....	33
3.2.4.3	Relación agua/cemento.....	35
3.2.4.4	Porcentaje de vacíos.....	35
3.2.4.5	Cantidad de agregado grueso.....	36
3.2.5	Ensayos de los agregados.....	36
3.2.5.1	Cantidad de material fino que pasa el tamiz de 75 um (N.º 200) por lavado.....	36
3.2.5.2	Análisis Granulométrico.....	37
3.2.5.3	Peso unitario y vacíos de los agregados.....	38
3.2.5.4	Peso específico y absorción de agregados gruesos.....	39
3.2.5.5	Abrasión los ángeles (l.a.) al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37,5 mm (1 ½”).....	40
3.2.6	Ensayos en estado fresco y endurecido del concreto permeable.....	40
3.2.6.1	Asentamiento del concreto permeable.....	40
3.2.6.2	Peso Volumétrico.....	41
3.2.6.3	Determinación de la densidad y contenido de vacíos.....	41
3.2.6.4	Elaboración y curado de especímenes de hormigón (concreto en el laboratorio).....	43
3.2.6.5	Resistencia a la compresión de testigos cilíndricos.....	44
3.2.6.6	Resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo.....	46
3.2.6.7	Ensayo de permeabilidad.....	46
3.3	Marco conceptual.....	47
<b>CAPÍTULO IV.....</b>		<b>49</b>
<b>METODOLOGÍA.....</b>		<b>49</b>
4.1	Tipo y nivel de investigación.....	49
4.2	Diseño de investigación.....	49
4.3	Descripción de la investigación.....	49
4.4	Población y muestra.....	49
4.5	Procedimiento.....	50
4.6	Técnicas e instrumentos.....	52
4.6.1	Técnicas.....	52
4.6.2	Instrumentos.....	52
4.7	Análisis estadístico.....	54
<b>CAPÍTULO V.....</b>		<b>55</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>		<b>55</b>



5.1	Análisis de resultados .....	55
5.1.1	Procedimiento de proporcionalidad de los diseños de concreto permeable.....	55
5.1.1.1.	Diseño DI 12% .....	55
5.1.1.2.	Diseño DI 17% .....	56
5.1.1.3.	Diseño DI 22% .....	57
5.1.1.4.	Diseño DII 12% .....	58
5.1.1.5.	Diseño DII 17% .....	59
5.1.1.6.	Diseño DII 22% .....	60
5.1.2	Ensayos en estado fresco y endurecido del concreto permeable .....	61
5.1.2.1.	Asentamiento del concreto permeable.....	61
5.1.2.2.	Peso volumétrico .....	62
5.1.2.3.	Elaboración y curado de especímenes de hormigón (concreto en el laboratorio)64	
5.1.2.4.	Comprobación de espacios vacíos .....	67
5.1.2.5.	Resistencia a la compresión de testigos cilíndricos.....	70
5.1.2.6.	Resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo .....	80
5.2.1.6.	Ensayo de permeabilidad.....	84
5.1.3	Análisis de la resistencia a la compresión $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) del concreto permeable	90
5.1.4	Análisis de la comprobación de porcentaje de vacío del concreto permeable....	94
5.1.5	Análisis de la resistencia a la flexión MR (kg/cm <sup>2</sup> ) del concreto permeable.....	97
5.1.6	Análisis de la permeabilidad (cm/seg) del concreto permeable.....	100
5.1.7	Resistencia a la flexión respecto al huso del concreto permeable .....	104
5.1.8	Índice de permeabilidad respecto al huso del concreto permeable.....	105
5.1.9	Resistencia a la compresión respecto al huso del concreto permeable .....	106
<b>CAPITULO VI.....</b>		<b>107</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>107</b>
6.1	Conclusiones .....	107
6.2	Recomendaciones .....	108
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>		<b>110</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>112</b>





## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1</b> — Operacionalización de variables de la investigación .....	7
<b>Tabla 2</b> — Granulometría concreto permeable .....	20
<b>Tabla 3</b> — Requisitos para el agua .....	20
<b>Tabla 4</b> — Valores efectivos de b/bo .....	35
<b>Tabla 5</b> — Número de capas necesarias para la preparación de las muestras .....	44
<b>Tabla 6</b> — Determinación del patrón respecto al aditivo plastificante (huso 8) .....	50
<b>Tabla 7</b> — periodo de experimentación en cada porcentaje de vacío (huso 8) .....	51
<b>Tabla 8</b> — determinación del patrón respecto al aditivo plastificante (huso 8) .....	51
<b>Tabla 9</b> — Periodo de experimentación para cada porcentaje de vacío (huso 67) .....	52
<b>Tabla 10</b> — Ficha de recolección de datos para ensayos .....	53
<b>Tabla 11</b> — Ficha de recolección de datos de acuerdo al porcentaje de aditivo .....	53
<b>Tabla 12</b> — Datos recolectados de ensayos de agregados para el diseño DI 12% .....	55
<b>Tabla 13</b> — Datos recolectados de ensayos de agregados para el diseño DI 17% .....	56
<b>Tabla 14</b> — Datos recolectados de ensayos de agregados para el diseño DI 22% .....	57
<b>Tabla 15</b> — Datos recolectados de ensayos de agregados para el diseño DII 12% .....	58
<b>Tabla 16</b> — Datos recolectados de ensayos de agregados para el diseño DII 17% .....	59
<b>Tabla 17</b> — Datos recolectados de ensayos de agregados para el diseño DII 22% .....	60
<b>Tabla 18</b> — Peso unitario por cada porcentaje de vacíos – DI .....	63
<b>Tabla 19</b> — Peso unitario por cada porcentaje de vacíos - DII .....	64
<b>Tabla 20</b> — Número de capas requeridas en la elaboración de las muestras .....	65
<b>Tabla 21</b> — Comprobación de porcentaje de vacíos de agregado tamaño N.º 8 huso 8 ...	69
<b>Tabla 22</b> — Comprobación de porcentaje de vacíos de agregado tamaño N.º 67 .....	70
<b>Tabla 23</b> — Ensayo de compresión simple 12% – agregado huso 8 .....	75
<b>Tabla 24</b> — Ensayo de compresión simple 17% – agregado huso 8 .....	76
<b>Tabla 25</b> — Ensayo de compresión simple 22% – agregado huso 8 .....	77
<b>Tabla 26</b> — Ensayo de compresión simple 12% – agregado huso 67 .....	78
<b>Tabla 27</b> — Ensayo de compresión simple 17% – agregado huso 67 .....	79
<b>Tabla 28</b> — Ensayo de compresión simple 22% – agregado huso 67 .....	80
<b>Tabla 29</b> — Ensayo de resistencia a la flexión 12, 17 y 22% – agregado huso 67 .....	83
<b>Tabla 30</b> — Ensayo de resistencia a la flexión 12, 17 y 22% – agregado huso 67 .....	83
<b>Tabla 31</b> — Coeficiente de permeabilidad y grado de permeabilidad .....	87
<b>Tabla 32</b> — Ensayo de permeabilidad 12, 17 y 22% – agregado huso 8 .....	88
<b>Tabla 33</b> — Ensayo de permeabilidad 12, 17 y 22% – agregado huso 67 .....	89
<b>Tabla 34</b> — Tratamientos con los porcentajes de vacío y huso respectivo .....	90
<b>Tabla 35</b> — Datos del experimento relacionado a la resistencia a la compresión $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) de los diferentes tratamientos con 3 repeticiones .....	90



<b>Tabla 36</b> — Análisis de varianza del promedio de la resistencia a la compresión $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) de los diferentes tratamientos del concreto permeable.....	92
<b>Tabla 37</b> — Comparación múltiple de Tukey al 95% de confiabilidad de los promedios entre tratamientos de la resistencia a la compresión s. $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) del concreto permeable .....	93
<b>Tabla 38</b> — Datos del experimento relacionado a la comprobación de porcentaje de vacío (%) de los diferentes tratamientos con 3 repeticiones.....	94
<b>Tabla 39</b> — Análisis de varianza del promedio de la comprobación de porcentaje de vacío (%) de los diferentes tratamientos del concreto permeable.....	96
<b>Tabla 40</b> — Comparación múltiple de Tukey al 95% de confiabilidad de los promedios entre tratamientos de la comprobación de porcentaje de vacío (%) del concreto permeable .....	96
<b>Tabla 41</b> — Datos del experimento relacionado a la resistencia a la flexión MR (kg/cm <sup>2</sup> ) de los diferentes tratamientos con 3 repeticiones.....	97
<b>Tabla 42</b> — Análisis de varianza del promedio de resistencia a la flexión MR (kg/cm <sup>2</sup> ) de los diferentes tratamientos del concreto permeable .....	99
<b>Tabla 43</b> — Comparación múltiple de Tukey al 95% de confiabilidad de los promedios entre tratamientos de la resistencia a la flexión MR (kg/cm <sup>2</sup> ) del concreto permeable .....	99
<b>Tabla 44</b> — Datos del experimento relacionado a la permeabilidad (cm/seg) de los diferentes tratamientos con 3 repeticiones .....	100
<b>Tabla 45</b> — Análisis de varianza del promedio de permeabilidad (cm/seg) de los diferentes tratamientos del concreto permeable.....	102
<b>Tabla 46</b> — Comparación múltiple de Tukey al 95% de confiabilidad de los promedios entre tratamientos de permeabilidad (cm/seg) del concreto permeable .....	103
<b>Tabla 47</b> — Promedio de flexión por huso y porcentaje de vacío del concreto permeable	104
<b>Tabla 48</b> — Promedio de permeabilidad por huso y porcentaje de vacío del concreto permeable .....	105
<b>Tabla 49</b> — Promedio de la resistencia por huso y porcentaje de vacío del concreto permeable .....	106
<b>Tabla 50</b> — Presupuesto de bienes y servicios.....	113
<b>Tabla 51</b> — Resumen de presupuesto para la investigación .....	114
<b>Tabla 51</b> — Datos recolectados de ensayos de agregados para el diseño DI 12%.....	117
<b>Tabla 52</b> — Datos recolectados de los ensayos de los agregados para el diseño DI 17% .....	122
<b>Tabla 53</b> — Datos recolectados de los ensayos de los agregados para el diseño DI 22% .....	126
<b>Tabla 54</b> — Datos recolectados de ensayos de agregados para el diseño DII 12% .....	131
<b>Tabla 56</b> — Datos recolectados de los ensayos de los agregados para el diseño DII 17% .....	136
<b>Tabla 56</b> — Datos recolectados de los ensayos de los agregados para el diseño DII 22% .....	140



## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1</b> — Relación entre la resistencia a compresión a 28 días y el contenido de aire para agregado de 3/8" y 3/4" .....	22
<b>Figura 2</b> — Relación entre la resistencia a flexión el contenido de aire con agregados de 3/8" y 3/4" .....	25
<b>Figura 3</b> — Relación entre la resistencia a flexión y la resistencia a compresión para el concreto permeable .....	26
<b>Figura 4</b> — Relación entre la resistencia a flexión el contenido de aire con agregados de 3/8" y 3/4" .....	27
<b>Figura 5</b> — Contenido mínimo de vacíos para la permeabilidad basada en las pruebas NAA-NRMCA y el método de ensayo .....	33
<b>Figura 6</b> — Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la compresión a los 28 días de edad para el tamaño de agregado No. 67 y No. 8. ....	34
<b>Figura 7</b> — Relación entre el contenido de pasta y el contenido de vacíos para las designaciones de tamaño de agregado No. 8.....	34
<b>Figura 8</b> — Esquemas de tipos de falla .....	45
<b>Figura 9</b> — Permeómetro de Neithenalth (2004).....	48
<b>Figura 10</b> — En laboratorio realizando la prueba del cono de Abrams .....	62
<b>Figura 11</b> — En laboratorio realizando la prueba de peso unitario.....	63
<b>Figura 12</b> — Prueba de peso unitario del concreto permeable.....	64
<b>Figura 13</b> — Curado de especímenes de concreto permeable – tamaño N.º 8.....	66
<b>Figura 14</b> — Curado de especímenes de concreto permeable – tamaño N.º 67.....	66
<b>Figura 15</b> — Principio de Arquímedes.....	68
<b>Figura 16</b> — Comprobación de espacios vacíos, huso 8.....	68
<b>Figura 17</b> — Dimensiones de cada espécimen.....	72
<b>Figura 18</b> — Preparación de los especímenes para el ensayo a resistencia a la compresión.....	73
<b>Figura 19</b> — Resistencia a la compresión de testigos cilíndricos – tamaño N.º 8.....	73
<b>Figura 20</b> — Resistencia a la compresión de testigos cilíndricos – tamaño N.º 67.....	74
<b>Figura 21</b> — Resistencia a la flexión del concreto permeable – tamaño N.º 8 .....	81
<b>Figura 22</b> — Resistencia a la flexión del concreto permeable – tamaño N.º 8 .....	82
<b>Figura 23</b> — Equipo de ensayo de permeabilidad recomendado por el ACI 522.R .....	84
<b>Figura 24</b> — El tamaño de los especímenes a utilizar es de 10.0 cm de diámetro y de 15.0 cm de altura .....	85
<b>Figura 25</b> — Ensayo de permeabilidad del concreto permeable .....	86
<b>Figura 26</b> — Gráfico de exploración de datos de la resistencia a la compresión $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) del concreto permeable de los diferentes tratamientos.....	91
<b>Figura 27</b> — Comparación del promedio entre tratamientos de la resistencia a la compresión $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) del concreto permeable.....	92

<b>Figura 28</b> — Gráfico de exploración de datos del comprobación de porcentaje de vacío (%) del concreto permeable de los diferentes tratamientos.....	94
<b>Figura 29</b> — Comparación del promedio entre tratamientos del comprobación de porcentaje de vacío (%) del concreto permeable .....	95
<b>Figura 30</b> — Gráfico de exploración de datos de resistencia a la flexión MR (kg/cm <sup>2</sup> ) del concreto permeable de los diferentes tratamientos .....	98
<b>Figura 31</b> — Comparación del promedio entre tratamientos de la flexión del concreto permeable .....	98
<b>Figura 32</b> — Gráfico de exploración de datos de permeabilidad (cm/seg) del concreto permeable de los diferentes tratamientos .....	101
<b>Figura 33</b> — Comparación del promedio entre tratamientos de permeabilidad (cm/seg) del concreto permeable .....	102
<b>Figura 34</b> — Comportamiento de la flexión del concreto permeable respecto al porcentaje de vacío en los husos 8 y 67 .....	104
<b>Figura 35</b> — Comportamiento de la permeabilidad del concreto permeable respecto al porcentaje de vacío en los husos 8 y 67 .....	105
<b>Figura 36</b> — Comportamiento de la resistencia del concreto permeable respecto al porcentaje de vacío en los husos 8 y 67 .....	107
<b>Figura 37</b> — Ficha técnica del aditivo Ulmen W-84 .....	115
<b>Figura 38</b> — Certificado de calidad aditivo W-84 .....	116
<b>Figura 39</b> — Dosificación de materiales en peso para concreto permeable con agregado de Huso 8 .....	145
<b>Figura 40</b> — Revenimiento del concreto permeable con agregado de Huso 8 .....	145
<b>Figura 41</b> — Especímenes de concreto permeable para el ensayo de permeabilidad con agregado de Huso 8. ....	146
<b>Figura 42</b> — Especímenes de concreto permeable de Huso 8 y 67 .....	146
<b>Figura 13</b> — Especímenes de concreto permeable de huso 8 y 67 .....	147
<b>Figura 44</b> — Moldeado de vigas de concreto permeable con agregado de Huso 8 .....	147
<b>Figura 45</b> — Prueba de compresión simple espécimen de concreto permeable, Huso 8. ....	148
<b>Figura 46</b> — Prueba de compresión simple espécimen de concreto permeable, Huso 67 .....	148
<b>Figura 47</b> — Vista de falla de la viga de concreto permeable, Huso 67 .....	149
<b>Figura 48</b> — Permeabilidad en vigas de concreto permeable .....	149
<b>Figura 49</b> — Prueba de permeabilidad de los especímenes de concreto permeable .....	150
<b>Figura 50</b> — Ensayo de permeabilidad Huso 8 y 67, posterior a su prueba .....	150



## SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ASTM	: American Society for Testing and Materials
NTP	: Normas Tecnicas Peruanas
ACI	: American Concrete Institute
AASHTO officials	: American association of state highway and transportation officials
NAA-NRMCA Concretos Molidos	: Asociación Nacional de Agregados-Asociación Nacional de Concretos Molidos
MTC	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones
NRMCA	: National Ready Mixed Concrete Association
APCA	: Asociación de pavimentos de Concreto
PCA	: Asociación del Cemento Portland
Mpa	: Mega pascales
Gl	: Grado de libertad
Sc	: Suma de cuadrados
Cm	: Cuadrado medio
Fc	: F calculada
Pvalor	: probabilidad de cometer error al rechazar la hipótesis nula
Sig	: Significancia
MR	: Modulo de ruptura
T	: Tratamientos
t	: Tiempo
R	: Repeticiones



## INTRODUCCIÓN

El proyecto de Tesis titulado Concreto Permeable para el Control de Aguas Pluviales en Vías Urbanas en la Ciudad de Abancay, 2019, nace como consecuencia de la preocupación de resolver el problema de la escorrentía de aguas pluviales en las vías urbanas de la ciudad de Abancay. Abancay es un ciudad con un crecimiento territorial constante y en consecuencia la demanda de construir infraestructuras viales también acrecientan, en la actualidad en nuestra ciudad cuando se menciona la utilización de concreto en su mayoría es referente al pavimento no permeable, reduciéndose así las áreas permeables, impidiendo el paso del agua de lluvia al subsuelo y que permita su ciclo natural, todo esto conlleva al colapso del sistema de desagüe trasladando los restos fecales, basura y sedimentos a los sectores mas bajos ocasionando inundaciones y por ende el deterioro de las estructuras existentes, enfermedades y problemas sociales, siendo una constante preocupación para la sociedad afectada; por lo que se plantea determinar las características del concreto permeable para el control de aguas pluviales en las vías urbanas de la ciudad de Abancay, en donde la investigación abarca el segundo semestre académico del año 2019, para ello se usa la siguiente metodología distribuido por etapas: Primera etapa. Se recoge los agregados de la cantera con mejores propiedades de sus agregados del valle de Pachachaca de la ciudad de Abancay el cual sirve como insumo para la elaboración de los especímenes usando para ello el método de diseño de mezclas ACI. Segunda etapa. Para determinar las propiedades del concreto permeable se realizan los siguientes ensayos: comprobación del asentamiento (slum cero en concreto permeable) del concreto según la norma NTP 339.035, ASTM C-143, peso unitario volumétrico según la norma ASTM C1688, ASTM C1688M, ACI 522.R-10, ASTM C-138, comprobación de espacios vacíos (contenido de vacíos), resistencia a la compresión según la norma ACI 325, ACI 330, ACI 522.R-10, NTP 339.034, ASTM C39, AASHTO-93, ASTM C-31, resistencia a la flexión según la norma ASTM C293, NTP 339.079 y ensayo de permeabilidad según la norma ASTM C1701, ACI 211.3R-02, ACI 522R-10 y ACI 522 R-06. Tercera etapa. Obtenida el diseño se procederá a elaborar los cilindros de concreto permeable Cuarta etapa. Se procede al análisis estadístico con ayuda del software Libreoffice V7.2 y Rstudio V1.2. El análisis se efectúa con porcentajes de vació de 12 %, 17% y 22% respecto a los periodos de tiempos se tomá de acuerdo al ensayo realizado, los cuales permitire alcanzar los objetivos planteados.



## RESUMEN

El presente trabajo de investigación nace con la necesidad de responder a la interrogante ¿Cuáles son las propiedades mecánicas y físicas del concreto permeable para el control de aguas pluviales en vías urbanas en la ciudad de Abancay? Para lo cual se ha planteado los siguientes objetivos: Determinar la resistencia a la compresión, el módulo de ruptura (flexión) y evaluar la permeabilidad del concreto poroso para el control de aguas pluviales y siguiendo los procedimientos y tablas de la norma ACI 211.3R-02, para la fabricación de concreto de resistencia a compresión ( $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ) con porcentajes de vacíos del 12%, 17% y 22% se ha llegado a las siguientes conclusiones: El tratamiento T1 con 12% del porcentaje de vacío (% de vacío) del Huso 8 posee mayor resistencia la cual se aproxima al nivel de resistencia requerida para este tipo de concreto y para el tipo de vía, también se ha observado que el huso 67 es menor en la resistencia en cada una de los porcentajes de vacío con respecto al huso 8 por lo tanto el tratamiento T2 es muy importante para el diseño del concreto permeable, el módulo de ruptura de los tratamiento T1 de 12% de porcentaje de vacío y T2 al 17% de vacío del huso 8 no es significativamente diferentes, sin embargo T1 es diferente significativamente a T3 de 22% de porcentaje de vacío del huso 8 y el huso 67 respectivamente, sin embargo en cuanto a flexión no hay motivos para afirmar que son diferentes bajo el mismo porcentaje de vacío. También es importante notar que a mayor porcentaje de vacío se reduce la flexión y respecto a la permeabilidad, se pudo encontrar que el tratamiento adecuado para el control de aguas pluviales en vías urbanas en la ciudad de Abancay dado que permite mayor permeabilidad con buena resistencia este permite un buen drenaje de aguas con buena resistencia por tanto buena duración es el tratamiento T2 con 17% de porcentaje de vacío correspondiente al Huso 8.

**Palabras clave:** *Concreto permeable, Control de aguas pluviales, permeabilidad, aguas pluviales.*



## ABSTRACT

The present research work was born with the need to answer the question: what are the properties of permeable concrete for the control of rainwater in urban roads in the city of Abancay? For which the following objectives have been set: determine the compressive strength, the modulus of rupture (flexure) and evaluate the permeability of porous concrete for the control of rainwater and following the procedures and tables of the ACI 211.3R-02, for the manufacture of concrete with compressive strength ( $f'c = 210\text{kg} / \text{cm}^2$ ) with void percentages of 12%, 17% and 22%, the following conclusions have been reached: treatment T1 with 12% of the percentage of Vacuum (% de vacio) of Spindle 8 has greater resistance which is close to the level of resistance required for this type of concrete and for the type of road, it has also been observed that Spindle 67 is lower in resistance in each of the percentages of vacuum with respect to Spindle 8, therefore the treatment T2 is very important for the design of pervious concrete, the modulus of rupture of the treatments T1 of 12% of vacuum percentage and T2 at 17% of vacuum of spindle 8 is not significantly different, however T1 is significantly different from T3 of 22% vacuum percentage of spindle 8 and spindle 67 respectively, however in terms of bending there is no reason to affirm that they are different under the same vacuum percentage. It is also important to note that the higher the percentage of vacuum the bending is reduced and with respect to the permeability, it was found that the adequate treatment for the control of rainwater in urban roads in the city of Abancay since it allows greater permeability with good resistance to this It allows a good drainage of water with good resistance, therefore, a good duration is the T2 treatment with 17% vacuum percentage corresponding to spindle 8.

**Keywords:** *Pervious concrete, stormwater control, permeability, stormwater.*



## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1 Descripción del problema

En la ciudad de Abancay en los últimos años se ha acrecentado el problema de las inundaciones por la dificultad en la evacuación de las aguas pluviales dentro de la zona urbana, provocando escorrentía, arrastre de materiales sólidos y contaminantes está depositándose en los sectores bajos de la ciudad de Abancay, siendo este una preocupación constante para los pobladores del área afectada.

Por su ubicación geográfica la ciudad de Abancay se encuentra en una zona de muchas precipitaciones, notables en los meses de diciembre a marzo, se encuentra sobre un terreno con declive considerable es decir con una pendiente promedio de 13% aproximadamente, por lo que la zona de la Urbanización Patibamba Baja es la más afectada por la acumulación de aguas en zonas pavimentadas debido a la dificultad para su filtración de las precipitaciones al suelo esto conlleva a que las agua discurren por las calles, incrementando su caudal a medida del paso, en algunas ocasiones se tornan peligrosas para el tránsito vehicular y peatonal debido al gran volumen de agua que discurre por toda la zona, ésta situación es más grave aún en el sector bajo de la ciudad. En vista de la necesidad social por solucionar esta incertidumbre nace la idea de la aplicación del concreto permeable en vías urbanas, cabe indicar que las vías urbanas de la ciudad de Abancay no cuenta con pavimentación de concreto permeable específicamente para controlar la escorrentía de aguas pluviales y tampoco cuenta con estudios sobre las propiedades del concreto permeable elaborada a partir de los agregados de la cantera con mejores propiedades de los mismos del valle de Pachachaca, como alternativa de control de las aguas pluviales que discurren por sus calles, lo que a su vez está ocasionando, que en los días de mayor precipitación colapse el sistema de drenaje y como consecuencia se incremente el flujo de agua por las vías y dañe las estructuras aledañas al paso del agua al mismo tiempo son fuente de vectores de enfermedades, ocasionando con ello cuantiosas pérdidas materiales a las familias de dicha zona; sumando al hecho de que aun algunas casas están construidas con material de adobe, lo que pone en mayor riesgo de sufrir pérdidas económicas a consecuencia de la escorrentía superficial urbana de la zona.

Lo planteado líneas arriba conduce a hacer la siguiente interrogante la cual se hace el enunciado en el siguiente párrafo.

## 1.2 Enunciado del Problema

### 1.2.1 Problema general

¿Cuáles son las Propiedades Mecánicas y Físicas del Concreto Permeable para el Control de Aguas Pluviales en Vías Urbanas en la Ciudad de Abancay, 2019?

### 1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es la Resistencia a Compresión del Concreto Permeable para el Control de Aguas Pluviales en vías Urbanas en la ciudad de Abancay, 2019?
- ¿Cuál es el Módulo de Ruptura (flexión) del Concreto Permeable para el Control de Aguas Pluviales en vías Urbanas en la ciudad de Abancay, 2019?
- ¿Cuál es la Permeabilidad del Concreto poroso para el Control de Aguas Pluviales en vías Urbanas en la ciudad de Abancay, 2019?

## 1.3 Justificación de la investigación

La presente investigación pretende poner a disposición de los municipios, empresas privadas y otras entidades que ejecutan obras de pavimentación y que a la vez requieran de estudios sobre las características que debe poseer el concreto permeable para hacer posible el control de las aguas de origen pluvial en las vías urbanas de la ciudad de Abancay, pero además, optimizar y mejorar la infraestructura de drenaje de aguas de lluvia y que disminuya los efectos negativos del uso de concreto impermeable hacia el medio ambiente. La otra razón por la que es importante este trabajo de investigación es que su costo de pavimento permeable en relación al costo de pavimento convencional es considerablemente menor según refiere trabajos de investigación en este tema, por lo que el uso de este material poroso reduciría los costos. La incorporación de aditivos a los concretos con fines específicos refuerza algunas propiedades del concreto previamente controlado, por lo tanto, el estudio de concreto permeable con dosis de aditivos para mejorar la propiedad de la resistencia y de tracción es muy importante pues con ella se mejorará la durabilidad en el tiempo del pavimento.

## CAPÍTULO II

### OBJETIVOS E HIPÓTESIS

#### 2.1 Objetivos de la investigación

##### 2.1.1. Objetivo general

Evaluar las propiedades mecánicas y físicas del Concreto Permeable para el Control de Aguas Pluviales en Vías Urbanas en la Ciudad de Abancay, 2019.

##### 2.1.2. Objetivos específicos

- Determinar la Resistencia a la Compresión del Concreto Permeable para el Control de Aguas Pluviales en vías Urbanas en la ciudad de Abancay, 2019.
- Encontrar el Módulo de Ruptura (flexión) del Concreto Permeable para el Control de Aguas Pluviales en vías Urbanas en la ciudad de Abancay, 2019.
- Evaluar la Permeabilidad del Concreto poroso para el Control de Aguas Pluviales en vías Urbanas en la ciudad de Abancay, 2019.

#### 2.2 Hipótesis de la investigación

##### 2.2.1. Hipótesis general

Las propiedades mecánicas y físicas del Concreto Permeable para el Control de Aguas Pluviales en Vías Urbanas en la Ciudad de Abancay, 2019 son aceptables según norma ACI 211.3R-02

##### 2.2.2. Hipótesis específicas

- La resistencia a la compresión del Concreto Permeable para el Control de Aguas Pluviales en vías Urbanas en la ciudad de Abancay, 2019 con mayor resistencia corresponde al Huso 8 y es mayor a  $200 \text{ kg/cm}^2$
- El Módulo de Ruptura (flexión) del Concreto Permeable para el Control de Aguas Pluviales en vías Urbanas en la ciudad de Abancay, 2019 tiene su punto máximo con la aplicación del huso 8 y se encuentra por encima de  $50 \text{ kg/cm}^2$

- La Permeabilidad del Concreto poroso para el Control de Aguas Pluviales en vías Urbanas en la ciudad de Abancay, 2019 es correspondiente al huso 8 y se encuentra por encima de 0.15cm/s.

### 2.3 Operacionalización de variables

Tabla 1 — Operacionalización de variables de la investigación

Variables	Dimensión	Indicador	Índice
VI. Permeabilidad del concreto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Porcentaje de vacío en el concreto permeable</li> <li>• Relación agua/cemento en el concreto permeable</li> <li>• Relación agregado grueso/cemento</li> </ul>	Tamaño del Agregado  Cantidad de agua y cantidad de cemento  Volumen de pasta	Pulgada  Litros/Kg  Número
VD. Propiedades físicas y mecánicas del concreto permeable para el control de aguas pluviales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Propiedades mecánicas del concreto permeable</li> <li>• Propiedades físicas del concreto permeable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistencia a compresión del concreto</li> <li>• Resistencia a flexión del concreto</li> <li>• Velocidad de infiltración del agua</li> </ul>	kg/cm <sup>2</sup>  kg/cm <sup>2</sup>  cm/s

- **Porcentaje de vacío en el concreto permeable.** “Con un elevado contenido de vacíos, aumenta la permeabilidad y disminuye la resistencia. Este porcentaje de vacíos está determinado por la energía de compactación entregada, junto con las variables ya mencionadas. Para que una mezcla sea considerada porosa, debe tener como mínimo un 15% de huecos. Se recomienda además que este contenido no supere el 25% por la poca estabilidad de la mezcla. El porcentaje de espacio vacío es parcialmente dependiente del tamaño de agregado utilizado: agregado de 10 mm produce 15 a 25 por ciento de contenido de vacío; roca de 12 mm produce 30 a 40 por ciento de contenido de vacío y una superficie notoriamente más áspera. En el



caso de pavimento permeable el máximo tamaño del agregado está restringido a un tercio del grosor especificado del pavimento. Se puede utilizar agregado más grande, pero la textura es tan áspera que no es adecuado para muchas aplicaciones de pavimentación”. (Cabello Sequera et al. 2015)

- **Relación agua/cemento en el concreto permeable.** “Utilización de bajas relaciones a/c compatibles con la trabajabilidad del concreto. La relación a/c idónea también depende del TM del agregado utilizado, la granulometría, la relación agregado grueso/cemento y el uso de aditivos. Por esta razón, aunque se recomiendan relaciones agua cemento cercanas a 0.30, este valor puede variar ante la influencia de las variables anteriores”. (Fernández Arrieta y Carro. Alejandro 2011)
- **Relación agregado grueso/cemento.** “Teniendo en cuenta que el concreto es una piedra artificial, el agregado grueso es la materia prima para fabricar el concreto. En consecuencia, se debe usar la mayor cantidad posible y del tamaño mayor, teniendo en cuenta los requisitos de colocación y resistencia. Hasta para la resistencia de 250  $\text{kg}/\text{cm}^2$  se debe usar el mayor tamaño posible del agregado grueso; para resistencias mayores investigaciones recientes han demostrado que el menor consumo de concreto para mayor resistencia dada (eficiencia), se obtiene con agregados de menor tamaño. Una adecuada densidad aparente está entre 2.3 y 2.9  $\text{gr}/\text{cm}^3$ . Cuanto mayor es su densidad mejor es su calidad y mejor su absorción, que oscila entre 1 y 5%”. (Anónimo 2018)

## CAPÍTULO III

### MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 3.1 Antecedentes

##### 3.1.1 Antecedentes internacionales

- a) En el trabajo de investigación titulada Diseño y aplicación de concreto poroso para pavimentos presentado por (Castañeda y Moujir 2014), en la Universidad Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería de Colombia plantea como objetivo: “Diseñar un concreto poroso aplicado a estructuras de pavimento rígido, comparando la inclusión o no de agregado finos en la mezcla. Usando la metodología relación entre la cantidad de vacíos disponibles originalmente en el árido y el aumento volumétrico final producto de la inclusión de la pasta a la mezcla. Llegando a la siguiente conclusión: 1. La relación que existe entre la porosidad y la resistencia del concreto son inversamente proporcionales, es decir a mayor cantidad de poros menor es la resistencia del concreto. En esta investigación, pese a que la mezcla Tipo I posee menor cantidad de vacíos, se comporta mejor mecánicamente que la mezcla Tipo II que posee una mayor cantidad de vacíos. 2. El concreto poroso Tipo I, sirve como una alternativa de mitigación ambiental, debido a que permite que el agua lluvia atraviese su estructura, haciendo que los acuíferos se recarguen. Según los resultados de los ensayos realizados y la información que se recolectó para la elaboración del documento, el concreto poroso Tipo I se puede utilizar para una estructura de concreto como capa de rodadura en tráfico ligero o liviano. 3. Para lograr un buen desempeño del concreto poroso Tipo I, en la estructura de un pavimento como capa de rodadura, se debe tener un sistema de drenaje complementario, que disminuya los problemas de colmatación debido a la carencia de finos. El agregado grueso de ½ pulgada en la mezcla del concreto Tipo I, le permite una mejor manejabilidad a la mezcla, de aquí se infiere que para estos concretos lo ideal es utilizar agregados grueso con tamaños máximos inferiores. 4. La resistencia promedio a la compresión y a la flexión de la mezcla Tipo I con Finos, es 7.71% y 3.0 % mayor que la mezcla Tipo II sin finos respectivamente. Por lo que se puede asegurar que la presencia de finos, brinda una mayor cohesión a la pasta que llena los intersticios del agregado grueso, brindándole a las

partículas una mayor superficie de contacto, lo que le permite a la mezcla comportarse mejor frente a los esfuerzos de compresión y flexión. 5. La permeabilidad promedio de mezcla Tipo II sin finos, es mayor que la mezcla Tipo I con Finos, debido a que hay un volumen mayor de vacíos en los intersticios del agregado grueso en la mezcla Tipo I y en la mezcla Tipo II estos vacíos son ocupados por las pasta con finos. El porcentaje de vacíos de la mezcla Tipo II sin finos, es mayor que la mezcla Tipo I con finos, esto se debe a que la pasta de la mezcla tipo I, por efecto de los finos, brinda mayor cohesión entre partículas y disminuye el volumen de vacíos, por el contrario, la pasta de la mezcla Tipo II es más fluida y solo recubre la superficie del agregado grueso, dejando un volumen mayor de vacíos en la estructura de la mezcla. 6. El módulo de rotura de la mezcla tipo I con finos, es 3.0% mayor que la mezcla Tipo II sin finos, de esto se puede inferir que el porcentaje de vacíos disminuye la superficie de contacto entre las partículas y que esto a su vez se ve reflejado en una menor resistencia a los esfuerzo de flexión. El asentamiento de la mezcla tipo I con finos es menor que la mezcla Tipo II sin finos, esto se debe a la fluidez de la pasta y a la cohesión entre las partículas de la mezcla”. (Castañeda y Moujir 2014).

- b) En el trabajo de investigación denominada **Diseño de un concreto permeable para la recuperación de agua** (Cruz Palafox et al. 2012) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo en México, considera para la formulación del concreto permeable, los siguientes materiales: “a) Cemento Portland b) Agregado grueso de 50.8 mm (2 pulgadas) c) Aditivos: cemento, humo de sílice y cenizas volantes (fly ash) d) Agua. Las proporciones de la formulación se basaron en los resultados obtenidos por López-Fernández y Paz-Casas(2014) y cada prueba lo realizó por duplicado. Llegando a las siguiente conclusión: Con base en los resultados anteriores puede concluirse que el humo de sílice es un aditivo adecuado, en comparación con las cenizas volantes, para la elaboración de pavimento con concreto permeable en estaciones de lavado de autos. Con las dosificaciones utilizadas, se demostró que a medida que se aumenta la concentración de humo de sílice aumenta la resistencia del concreto. En estudios posteriores será necesario valorar su proporción óptima y los costos de su

aplicación en comparación con los concretos permeables comerciales”. (Cruz Palafox et al. 2012)

- c) En el trabajo de investigación titulada **Permeabilidad y porosidad en concreto** presentado por (Vélez 2010b) en el Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín Colombia, afirma: “Se preparó concreto poroso, material compuesto por una matriz cementítica y un agregado como refuerzo, con la característica de permitir la infiltración de agua. La permeabilidad de estas mezclas se obtiene usando áridos con un volumen significativo de huecos entre las partículas y con ausencia total de finos. Se estudió la influencia de la permeabilidad del concreto poroso en: el volumen de poros permeables, porcentaje de absorción total, densidad, y propiedades mecánicas resistencia a la compresión y flexo tracción 28 días. Este estudio encontró una dosificación de concreto poroso, la cual permite obtener resistencias altas, manteniendo una excelente permeabilidad del concreto poroso. Se determinó una permeabilidad de 2,342 mm/s, con un porcentaje real de huecos del 11%, cemento en una proporción de 350 kg/m<sup>3</sup>, permitiendo resistencias a flexo tracción y a compresión veintiocho días respectivamente de 3 MPa y 33 MPa utilizando diferentes razones agua/cemento”.
- d) En su trabajo de investigación titulada **Pavimentos porosos utilizados como sistemas alternativos al drenaje urbano (Barahona Añazco et al. 2014)** presentado en la revista científica Construction and Building Materials menciona: “En el presente documento se revisará la adecuada aplicación de concreto poroso para pavimentos. Para lograrlo, el grupo de estudio realizará una serie de pruebas para dos tipos de mezclas de concreto permeable, con y sin agregados finos, para medir su resistencia a compresión y a flexión, permeabilidad, módulo de elasticidad, módulo de rotura, porcentaje de vacíos, entre otros, con el fin de verificar las características del concreto permeable que se debe utilizar en obras de construcción para infraestructura vial”.
- e) En la tesis **Evaluación del concreto permeable como una alternativa para el control de las aguas pluviales en vías locales y pavimentos especiales de la costa noroeste del Perú**, presentado por los bachilleres Agneth Xiomy Guizado Barrios y Elvis Ricardo Piero Curi Grados en la Pontificia Universidad Católica



del Perú en el Perú en el año 2017, Plantean el siguiente, objetivo general: “Contribuir con el estudio del concreto permeable como alternativa para el control de las aguas pluviales en vías locales y pavimentos especiales de la costa norte del Perú y los objetivos específicos son: Elaboración de quince mezclas que cumplan con la definición de concreto permeable utilizando las proporciones de materiales sugeridas por el ACI 522R- 10. Por ello se utilizarán contenido de vacíos de 15%, 17% y 19%; agregado grueso chancado de TMN ¾” (huso 67) y 3/8” (huso 8), y agregado grueso redondeado de TMN 3/8” (huso 8), y relación de a/A de 0.00 y 0.10, Implementar las recientes normas de ensayos correspondientes al concreto permeable en estado fresco (ASTM C1688, 2014) y endurecido (ASTM C1754, 2012 y ACI 522R, 2010), Implementar el ensayo de infiltración del ACI 522R-10 para concreto permeable mediante la construcción del permeómetro de Neithenalth, Evaluar las quince mezclas elaboradas de acuerdo a los requisitos mínimos de resistencia de compresión y tracción por flexión para el uso como capa de rodadura en vías locales y pavimentos especiales según la CE.010 Pavimentos Urbanos y Evaluar las quince mezclas elaboradas respecto a la demanda mínima de permeabilidad para ser usado como drenaje superficial ante precipitaciones ocurridas en El Meganiño de 1997-1998 representado con una intensidad máxima de 119mm/h. (Guisado Barrios y Curi Grados 2017) Las conclusiones mas importantes fueron: 1. El requisito mínimo de resistencia para los pavimentos especiales descritos en la norma C.E 010 Pavimentos Urbanos es de  $f_c = 175 \text{ Kg/cm}^2$ . De acuerdo a los ensayos de compresión, las mezclas M-H8-ang-19.5%-ar, H-H8-ang-21.5%-ar, A- H8-ang-25.2% y D-H8-red 15.0% obtuvieron la resistencia a los 28 días de  $221.5 \text{ kg/cm}^2$ ,  $213 \text{ kg/cm}^2$ ,  $177 \text{ kg/cm}^2$  y  $186 \text{ kg/cm}^2$ , respectivamente. Por lo que estas cuatro mezclas podrían ser utilizadas en el diseño de pavimentos especiales. 2. El requisito mínimo de módulo de rotura para los pavimentos en vías locales descritos en la norma C.E 010 Pavimentos Urbanos es de  $MR = 34 \text{ Kg/cm}^2$ . De acuerdo a los ensayos de tracción por flexión, las mezclas M-H8-ang-19.5%-ar y D- H8-red-15.0% cumplen con este requisito con MR de  $36 \text{ kg/cm}^2$  y  $39 \text{ kg/cm}^2$ , respectivamente. Por ello, las mezclas M y D podrían ser empleadas en el diseño de pavimentos en vías locales”. (Guisado Barrios y Curi Grados 2017)

- f) En el trabajo de tesis **Comportamiento del concreto permeable, utilizando agregados de las canteras la victoria y roca fuerte, aumentando diferentes porcentajes de vacíos**, presentado por **Cerdán Pérez en Cajamarca 2015**, para optar al título profesional de ingeniero civil en la Universidad Privada del Norte. Plantea los siguientes objetivos: “Determinar el comportamiento de concreto permeable utilizando agregados de las canteras La Victoria y Roca Fuerte aumentando diferentes porcentajes de vacíos, Cajamarca 2015, para ello plantea también los siguientes objetivos específicos: Elaborar un diseño de mezcla patrón 15% para un concreto permeable utilizando los agregados de las canteras La Victoria y Roca Fuerte, Elaborar un diseño de mezcla para un concreto permeable aumentando el porcentaje de vacíos en 18%, 20% y 23%, utilizando los agregados de las canteras La Victoria y Roca Fuerte y Comparar el comportamiento del concreto permeable respecto del patrón, utilizando agregados de las canteras La Victoria y Roca Fuerte incorporando diferentes porcentajes de vacíos. (Cerdán Pérez 2015) Llegando a las siguientes conclusiones: 1. El aumento en diferentes porcentajes de vacíos 15%, 18%, 20% y 23%, al concreto permeable disminuye la resistencia a la compresión en un 20.96%, 37.72%, 61.88% y aumenta la permeabilidad en un 35.97%, 80.69% y 158.92% para la cantera La Victoria. 2. Las mezclas del concreto permeable en estado fresco resultaron con una consistencia seca de cero centímetros de revenimiento, el peso volumétrico de las mezclas de 15%, 18%, 20% y 23% de vacíos resultaron 2011.24 kg/m<sup>3</sup>, 1989.61 kg/m<sup>3</sup>, 1977.89 kg/m<sup>3</sup> cantera Roca Fuerte. y 1856.88 kg/m<sup>3</sup> respectivamente para la cantera Roca fuerte. 3. Según las pruebas realizadas al diseño del concreto permeable con 15% de vacíos resultó con una resistencia promedio de 155.03 kg/m<sup>3</sup> siendo la más resistente de la cantera La Victoria y el diseño del concreto permeable con mayor permeabilidad resultó la cantera Roca Fuerte con un coeficiente de 38.03 mm/s con 23% de vacíos. 4. Para que un concreto sea considerado permeable su coeficiente de permeabilidad debe estar entre 0.20 y 0.54 cm/s. Los resultados de las pruebas de permeabilidad de esta investigación están en un promedio de 19.44 mm/s en la cantera La Victoria, permiten concluir que las mezclas con porcentajes de vacíos mayores a 15% cumplen los valores de infiltración requeridas para que las mezclas sean consideradas como permeables”. (Cerdán Pérez 2015)

- g) En el trabajo de investigación titulada **Diseño de mezcla de concreto permeable elaborado con aditivo y adición de fibra de polipropileno para uso en pavimentos, en la ciudad de Cajamarca** presentado por (Díaz Silva 2017) en la Universidad Nacional de Cajamarca en la ciudad de Cajamarca menciona: “El presente trabajo de investigación, tuvo como objetivo diseñar una mezcla de concreto permeable para uso en pavimentos en la ciudad de Cajamarca, utilizando aditivo y adición de fibra de polipropileno para una resistencia a la compresión de  $210 \text{ kg/cm}^2$  y a la flexión de  $42 \text{ kg/cm}^2$ . El programa de ejecución se dividió en tres etapas. En la etapa I, se diseñó el concreto permeable con aditivo plastificante; en la etapa II se incluyó al diseño seleccionado en la etapa I la fibra de polipropileno y finalmente en la etapa III se elaboraron especímenes con el diseño de mezcla óptimo seleccionado en la etapa II, que fueron sometidos a ensayos de compresión, flexión y de permeabilidad. Se elaboraron en total 132 especímenes de concreto permeable, cuyos diseños de mezcla se ajustaron a lo especificado en las normas ACI 211.3R-02 y ACI 522.R-10. El diseño de mezcla de código III-RDBIII-AD1-FPP1-(30), presentó a los 28 días resistencias mecánicas de  $22.35 \text{ MPa}$  ( $227.78 \text{ kg/cm}^2$ ) a compresión, con desviación estándar  $6.29 \text{ kg/cm}^2$  y coeficiente de variación  $2.76\%$  y a flexión  $4.34 \text{ MPa}$  ( $44.21 \text{ kg/cm}^2$ ) con desviación estándar  $1.39 \text{ kg/cm}^2$  y coeficiente de variación  $3.14\%$ . El peso unitario fue  $192.24 \text{ MPa}$  ( $1959.62 \text{ kg/m}^3$ ) y el módulo de elasticidad  $17345.17 \text{ MPa}$  ( $176811.07 \text{ kg/cm}^2$ ). El coeficiente de permeabilidad fue  $0.27 \text{ cm/seg}$  con un contenido de poros de  $17.36\%$ . Finalmente, se concluyó que el diseño de mezcla III-RDBIII-AD1-FPP1-(30), cumple las condiciones estructurales (resistencia a la compresión y resistencia a la flexión) y de permeabilidad para ser usado en pavimentos en la ciudad de Cajamarca”.
- h) En el trabajo de tesis titulada **Diseño de mezcla de concreto permeable con adición de tiras de plástico para pavimentos  $f'c 175 \text{ kg/cm}^2$  en la ciudad de puno**, presentado por Flores Quispe, Cesar Eddy y Pacompia Calcina, Ivan Alexander en la Universidad Nacional del Altiplano en la ciudad de Puno en el año 2009, plantea el siguiente objetivo general: “evaluar la incidencia que tiene la incorporación de tiras de plástico (polipropileno) en las propiedades del concreto permeable  $f_c = 175 \text{ kg/cm}^2$  diseñado para pavimentos en la ciudad de puno. Las conclusiones a las que se ha arribado en esta investigación son: 1. La

incorporación de tiras de polipropileno (3 mm x 30 mm) en el diseño de mezcla de un concreto permeable diseñado para pavimentos  $f_c$  175 kg/cm<sup>2</sup> en la ciudad de Puno, mejora parcialmente las propiedades del mismo, específicamente su resistencia a la compresión. Se ha determinado que la adición de dichas tiras en dos porcentajes (de los tres estudiados), incrementa la resistencia a la compresión del concreto permeable. 2. El contenido de vacíos de diseño del concreto permeable, en todos los casos de estudio es menor comparado con el contenido de vacíos en estado fresco y endurecido. Y la incorporación de tiras de Polipropileno hace que los valores obtenidos del contenido de vacíos en estado fresco tiendan a reducir conforme se incrementa el porcentaje de tiras añadidas; se observa el mismo escenario para el estado endurecido”. (Flores Quispe y Pacompia Calcina 2009)

## 3.2 Marco Teórico

### 3.2.1 El concreto

“El concreto es una mezcla de cemento Portland, agregado fino, agregado grueso, aire y agua en proporciones adecuadas para obtener ciertas propiedades prefijadas, especialmente la resistencia”. (Abanto Castillo 2009)

CONCRETO = CEMENTO PORTLAND + AGREGADOS + AIRE + AGUA

“El cemento y el agua reaccionan químicamente uniendo las partículas de los agregados, constituyendo un material heterogéneo. Algunas veces se añaden ciertas sustancias, llamadas aditivos, que mejoran o modifican algunas propiedades del concreto”. (Abanto Castillo 2009)

“Cemento Portland ordinario es uno de los materiales para la construcción más empleado en la producción de concreto, debido fundamentalmente, a las excelentes propiedades mecánicas que presenta en estado endurecido. La hidratación del cemento es la reacción de uno de sus componentes con el agua, formando lo que se conoce como pasta, la relación agua/cemento oscila en el intervalo 0,3-0,6 afectando la plasticidad, hidratación y propiedad del material hidratado. La pasta del cemento fresco, fragua y gana resistencia posteriormente al endurecimiento. El fraguado significa la pérdida repentina de plasticidad de la pasta original y una conversión a material en estado sólido con escasa resistencia,

y el endurecimiento como el desarrollo de la resistencia que siguen al fraguado de la pasta”. (Vélez 2010a)

### 3.2.2 El concreto permeable o poroso

**Definición 1:** Al concreto permeable se le describe como un material de gradación abierta que está unido por pasta de cemento, cuya estructura permite el paso del agua, sin embargo, proporciona resistencia estructural moderada (ACI 211.3R-02).

**Definición 2:** “El concreto permeable es un concreto hidráulico de asentamiento cero, integrado por componentes que son el cemento portland, agua, aire y agregado grueso, con poco o despreciando al agregado fino. La combinación de los componentes forma una aglomeración de agregado grueso rodeados por una delgada capa de pasta cementante, endurecida en sus puntos de contacto. La estructura del concreto permeable se caracteriza por la existencia de poros entre el agregado grueso que van 14 en tamaño desde 0,08 hasta 0,32 pulgadas (de 2 a 8 mm), que permite el paso del agua por medio de él”. (ACI 522.R-10).

**Definición 3:** “Concreto que posee una gran cantidad de vacíos que permiten el paso del agua a través de la masa de concreto, mientras que ofrecen una superficie resistente para las aplicaciones deseadas. Las diversas propiedades del concreto permeable dependen principalmente de su porosidad (porcentaje de vacíos), que a su vez depende del contenido de cemento, relación agua cemento, el nivel de compactación, y la gradación del agregado y su calidad. El tamaño de los poros en el material también afecta las propiedades de resistencia. Aunque el concreto permeable se ha utilizado para la pavimentación por más de 20 años en los Estados Unidos, sólo unas pocas investigaciones se han realizado para determinar su rendimiento”. (Ghafoori & Dutta, 1995).

**Definición 4:** “Se vuelve de suma importancia la cantidad de agua en la mezcla, ya que es uno de los puntos críticos y más delicados a la hora de realizar las mezclas; se debe tener vigilada la mezcla y saber cuándo se necesita más agua o, por el contrario, cuándo se añadió mucha. Para saber esto se puede realizar una simple prueba donde se toma una pequeña cantidad de concreto y se forma en una pelota, esta debería prácticamente mantener su forma”. (Porras Morales 2017).

**Definición 5:** “El concreto poroso o permeable es un concreto de desempeño fabricado a partir de cantidades controladas de cemento, agregado grueso, aditivos, agua y poca o nada de finos (arena). La combinación de estos ingredientes produce un material endurecido con poros interconectados, cuyo tamaño varía de 2 a 8 mm, lo que permite el paso del agua. El contenido de vacíos puede variar de un 18 a un 35 por ciento, con resistencias a compresión típicas de 2,8 a 28 MPa. Esta mezcla constituye estructura de célula abierta, permitiendo al agua de lluvia infiltrarse al suelo subyacente. De modo que simulando la superficie de tierra natural, el hormigón permeable es excelente para la evacuación de agua de lluvia”. (Cabello Sequera et al. 2015)

“Al concreto permeable también se le conoce como concreto poroso, concreto sin agregados finos, concreto discontinuo y concreto de porosidad incrementada”. (Cabello Sequera et al. 2015)

**Usos:**

“Recomendado especialmente para pavimentos, losas, veredas, como protección de la erosión de finos en el suelo, protección de cimentaciones y/o tuberías enterradas”. (Nava-Pérez et al. [sin fecha])

**Ventajas:**

“Este producto forma parte de los concretos ecológicos debido a su bajo impacto en el medio ambiente, ya que posibilita la recarga de los acuíferos al permitir que el agua de lluvia llegue al suelo en zonas pavimentadas”. (Nava-Pérez et al. [sin fecha])

“Asimismo, evita empozamientos de agua en pavimentos (estacionamientos, pistas y veredas) sujetos a flujos de agua constantes sea por lluvias o regadío” (Nava-Pérez et al. [sin fecha])

**3.2.2.1 Materiales del concreto poroso**

**a) Cemento Portland**

Cemento Portland: El cemento hidráulico producido por proyección de clínker consiste básicamente en silicato de calcio hidráulico, y



generalmente contiene sulfato de calcio y eventualmente caliza, como aditivo durante el proceso de molienda.

El cemento Portland ordinario es uno de los materiales para la construcción más empleado en la producción de concreto, debido fundamentalmente, a las excelentes propiedades mecánicas que presenta en estado endurecido. La hidratación del cemento es la reacción de uno de sus componentes con el agua, formando lo que se conoce como pasta, la relación agua/cemento oscila en el intervalo 0,3-0,6 afectando la plasticidad, hidratación y propiedad del material hidratado. La pasta del cemento fresco, fragua y gana resistencia posteriormente al endurecimiento. El fraguado significa la pérdida repentina de plasticidad de la pasta original y una conversión a material en estado sólido con escasa resistencia, y el endurecimiento como el desarrollo de la resistencia que siguen al fraguado de la pasta”. (Vélez 2010a)

“El cemento Portland para la elaboración del concreto permeable, debe satisfacer las normas NTP 334.001, ASTM C 150, ASTM C 595 O ASTM C 1157, el material cementante tiene como función principal, aglomerar las partículas gruesas”. (Hidrocreto 2015)

“Es importante controlar la cantidad de material cementante agregada a la mezcla, debido a que una mayor dosis de cementante generará un concreto más resistente, pero ocasionará una disminución en el porcentaje de vacíos interconectados dentro del concreto, perdiendo su capacidad de infiltración. Para la correcta dosificación de material cementante es recomendable utilizar una cantidad que oscile entre los 270 a 415 kg/m<sup>3</sup>, según los requisitos de resistencia y permeabilidad”. (ACI 522.R. 2010).

### **Clasificación y uso**

Los tipos de cemento Portland establecidos en NTP 334.001 se clasifican de acuerdo con sus propiedades específicas.

Tipo I: Propósito general, no se requieren otros tipos de atributos especiales.

Tipo II: Para uso general, especialmente en las ocasiones que requieran moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación.

Tipo III: Se utiliza cuando se requiere una alta resistencia inicial.

Tipo IV: Se utiliza cuando se requiere poco calor de hidratación.

Tipo V: Úselo cuando se requiera una alta resistencia a los sulfatos.

### **b) Agregado Grueso**

“Los agregados finos y gruesos ocupan normalmente en un concreto convencional del 60% al 75% del volumen (70% a 85% en peso), en un concreto permeable el mayor constituyente viene a ser el agregado grueso, el agregado fino se limita a un porcentaje máximo de 15%”. (ACI 522.R-10).

“Las graduaciones más comunes de agregado grueso usadas en concreto permeable cumplen con los requisitos de tamices ASTM C 33 de 9.5 a 2.36 mm (Tamaño N° 8), 12.5 a 4,75 mm (tamaño N° 7) y de 19,0 a 4,75 mm (tamaño N° 67). Ocasionalmente, se ha incorporado una pequeña cantidad de agregado fino para aumentar la resistencia a la compresión y reducir la percolación a través del concreto”. (ACI 211.3R-02).

La función del agregado fino o arena en la mezcla es ocupar el espacio vacío, y también actúa como lubricante sobre el que rueda el agregado grueso, dando manejabilidad al hormigón. Sin embargo, el uso de agregados finos en concreto poroso es limitado, ya que una cantidad excesiva de finos requerirá un aumento del contenido de agua, por lo que a medida que aumenta el contenido de arena, se asentará y reducirá la permeabilidad. La mezcla se vuelve viscosa, por lo que se necesita más agua, por lo que es necesario aumentar la cantidad de cemento para mantener una cierta relación agua-cemento.



**Tabla 2 — Granulometría concreto permeable**

TAMIZ		ESPECIFICACIÓN (PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS)			
Pulg.	mm.	N.º 67	N.º 7	N.º 8	N.º 89
1"	25.00	100 - 100			
3/4"	19.00	90 - 100	100 - 100		
1/2"	12.50		90 - 100	100 - 100	100 - 100
3/8"	9.50	20 - 55	40 - 70	85 - 100	90 - 100
Nº 4	4.75	0 - 10	0 - 15	10 - 30	20 - 55
Nº 8	2.36	0 - 5	0 - 5	0 - 10	5 - 30
Nº 16	1.18			0 - 5	0 - 10
Nº 50	0.30				0 - 5

Extraído de Adaptado de NTP 400.037 -2014

### c) El agua

De acuerdo con las normas técnicas de Perú, el agua debe cumplir con los siguientes parámetros permitidos.

**Tabla 3 — Requisitos para el agua**

DESCRIPCIÓN	LÍMITE PERMISIBLE
Sólidos en suspensión	5000 ppm máximo
Materia orgánica	3 ppm máximo
Carbonatos y bicarbonatos alcalinos (Alcalinidad total expresada en NAHCO)	1000 ppm máximo
Sulfatos (ion SO <sub>4</sub> )	600 ppm máximo
Cloruros (ion Cl)	1000 ppm máximo
PH	Entre 5.5 y 8

Extraído de (NTP 339.088 2015)

El agua utilizada en la preparación y curado del hormigón debe ser preferentemente agua potable.

El agua no potable se puede utilizar solo en las siguientes condiciones:

Están limpios y libres de cantidades nocivas de aceites, ácidos, álcalis, sales, sustancias orgánicas y otras sustancias que puedan ser perjudiciales para el hormigón, las barras de acero o los elementos empotrados.

La elección de la proporción de mezcla de hormigón se basa en pruebas realizadas con agua de la fuente de agua seleccionada.

La resistencia a 7 y 28 días de los barriles de mortero de prueba hechos con agua no potable debe ser al menos el 90% de la resistencia de muestras similares hechas con agua potable. Excepto por el agua mezclada preparada y probada según NTP 334.051, la prueba de comparación de resistencia debe realizarse en el mismo mortero.

La sal u otras sustancias nocivas presentes en el agregado y/o aditivos deben agregarse a la sal u otras sustancias nocivas que el agua mezclada pueda proporcionar para evaluar el contenido total de sustancias inconvenientes.

La suma del contenido de iones cloruro en el agua y otros componentes de la mezcla (agregados y aditivos) no debe exceder el valor indicado en la Tabla (3).

No se utilizará en las siguientes situaciones:

- Hormigón armado y pretensado.
- Hormigón con resistencia superior a 17 MPa a los 28 días.
- Hormigón empotrado con elementos de hierro galvanizado o aluminio.

Hormigón con acabado superficial evidente.

El agua que no cumpla con los requisitos anteriores no se utilizará para curar el concreto o limpiar el equipo.

El agua mezclada utilizada para el hormigón pretensado o el hormigón que contiene elementos de aluminio incrustados, incluida la parte del agua mezclada que libera el agua libre del agregado, no debe contener cantidades nocivas de iones cloruro. Concreto armado y preesforzado.

#### **d) Aditivos**

El comité ACI 522 recomienda: "Para los aditivos químicos coagulantes de concreto permeable, agentes reductores de agua de alto rango y plastificantes que deben cumplir con las especificaciones ASTM C 494.



Los plastificantes son productos químicos que se pueden agregar al concreto. Mejorar su desempeño Manejabilidad. La resistencia del hormigón es inversamente proporcional a la cantidad de agua añadida o al coeficiente de relación agua-cemento ( $a/c$ ). Para producir un hormigón más resistente se reduce la cantidad de agua añadida, lo que resulta en una mezcla difícil de manipular, por lo que es necesario utilizar un Aditivos plastificantes o superplastificantes. En el diseño de la presente invención se utiliza un aditivo superplastificante, porque aumenta la trabajabilidad del hormigón permeable sin cambiar la cantidad de agua, y el resultado es un hormigón utilizable con baja tendencia a la segregación, y porque no aumenta su Resistencia al agua.

### 3.2.2.2 Propiedades del concreto permeable

#### a) Resistencia a la compresión

“La máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o mortero a carga axial se le conoce como resistencia a la compresión y se determina de acuerdo a la norma ASTM C39 y se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) a una edad de 28 días y se identifica con la siguiente nomenclatura ( $f'c$ ). Ahora bien, para determinar la resistencia a la compresión, se realizan pruebas de especímenes, mortero y/o de concreto”. (LOPEZ PALACIO 2010)

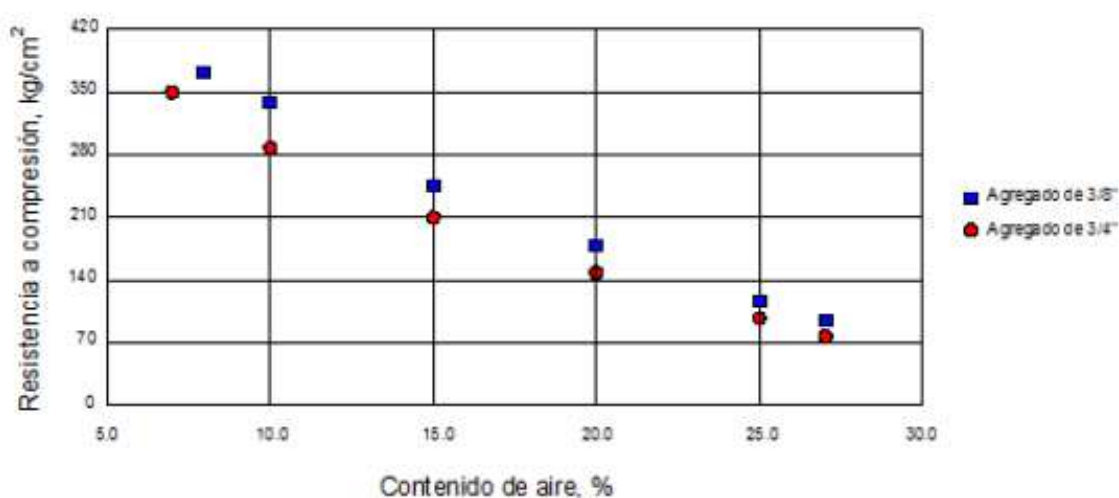


Figura 1— Relación entre la resistencia a compresión a 28 días y el contenido de aire para agregado de 3/8" y 3/4"

“La resistencia del concreto a la compresión es una propiedad física fundamental, y frecuentemente encontramos su empleo en los cálculos para el diseño de puentes, edificios y otras estructuras. La resistencia a la compresión de este tipo de concreto está determinada por la resistencia, cuando se ve afectada por la proporción de la matriz y por el esfuerzo de la compactación durante la colocación, para esto Meininger ilustra la relación entre la resistencia a compresión del concreto permeable y el contenido de los vacíos”. (LOPEZ PALACIO 2010). Fuente: (López Palacio 2010)

“Por otra parte, la relación agua-cemento de la mezcla de concreto permeable es vital para el desarrollo y la sustentabilidad de la resistencia a la compresión y la consolidación de la estructura de huecos, la relación entre agua-cemento y la resistencia a la compresión del concreto convencional no es significativa. Así mismo, es necesario considerar que entre más alta sea la relación agua-cemento, está puede dar como resultado una adherencia reducida entre las partículas del agregado y puede presentar problemas durante su colocación. Para tal caso es necesario considerar los estudios realizados al respecto en la relación agua-cemento en los cuales se ha mostrado que dicha relación debe oscilar entre los 0.26 a 0.45 proporcionando un buen recubrimiento del agregado y estabilidad de la pasta”. (López Palacio 2010)

“El contenido de material cementante de una mezcla de concreto permeable es importante para el desarrollo de la resistencia a la compresión y estructura de huecos. Si en una mezcla de concreto permeable se presenta un alto contenido de pasta dará como resultado una estructura de porosidad baja. Un contenido de material cementante bajo dará como resultado una capa endurecida de pasta envolviendo al agregado y resistencia a la compresión reducida. El contenido óptimo de cementante depende del tamaño y granulometría del agregado”. (López Palacio 2010)

“Las mezclas de concreto permeable ofrecen una resistencia a la compresión entre 35 a 280 kg/cm<sup>2</sup>, ofreciendo una amplia gama de usos. En la práctica los valores más utilizados rondan alrededor de los 17 kg/cm<sup>2</sup>, esto debido a

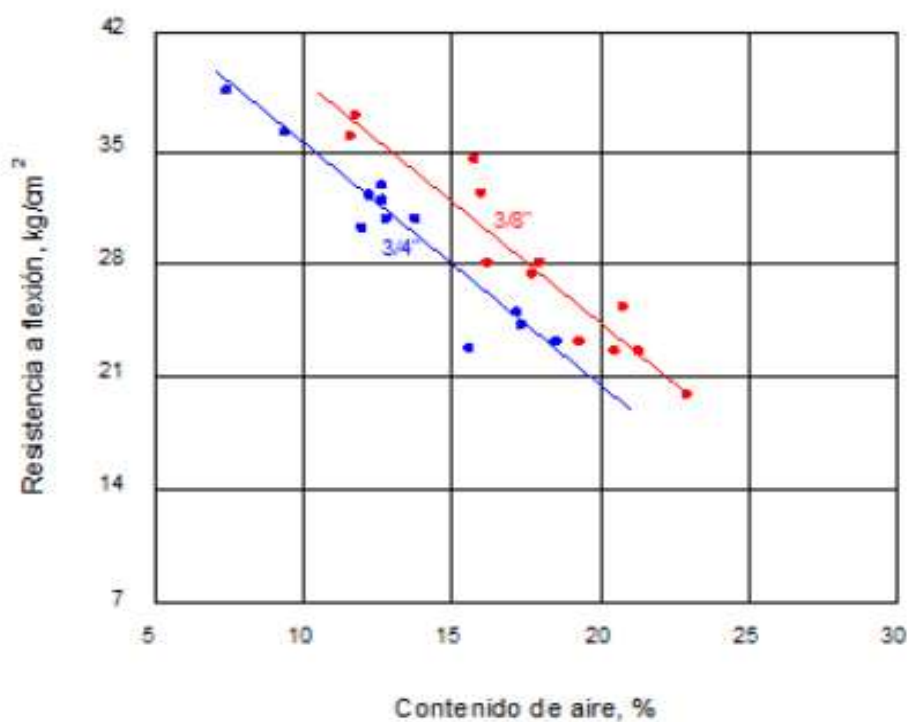
las características y combinaciones de materiales utilizados, así como las técnicas de colocación y condiciones ambientales”. (López Palacio 2010)

#### **b) Resistencia a la flexión**

“La medida de resistencia a la tracción del concreto, se define como resistencia a la flexión del concreto en donde su función principal radica en medir la resistencia de la falla en una viga o losa de concreto no reforzada y se expresa como el módulo de rotura en  $\text{kg/cm}^2$ , se determina mediante los métodos de ensayo ASTM C 78 o ASTM C 293. El módulo de rotura oscila en los parámetros de 10% al 20% de la resistencia a la compresión, dependiendo del tipo, dimensiones y volumen del agregado grueso utilizado, sin embargo, la mejor correlación para los materiales específicos es obtenida mediante ensayos de laboratorio para los materiales obtenidos y el diseño de mezclas”. (López Palacio 2010)

“El módulo de rotura determinado por la viga cargada en los puntos tercios es más bajo que el módulo de rotura determinado por la viga cargada en el punto medio, en algunas ocasiones tanto como en un 15%. La resistencia a la flexión es una de las características técnicas más importantes que presenta el concreto permeable, debido a que su resistencia a la flexión es mejor que la del concreto hidráulico ordinario, comúnmente es 30% de la resistencia a la compresión, relativamente más alta que en el concreto ordinario”. (López Palacio 2010)



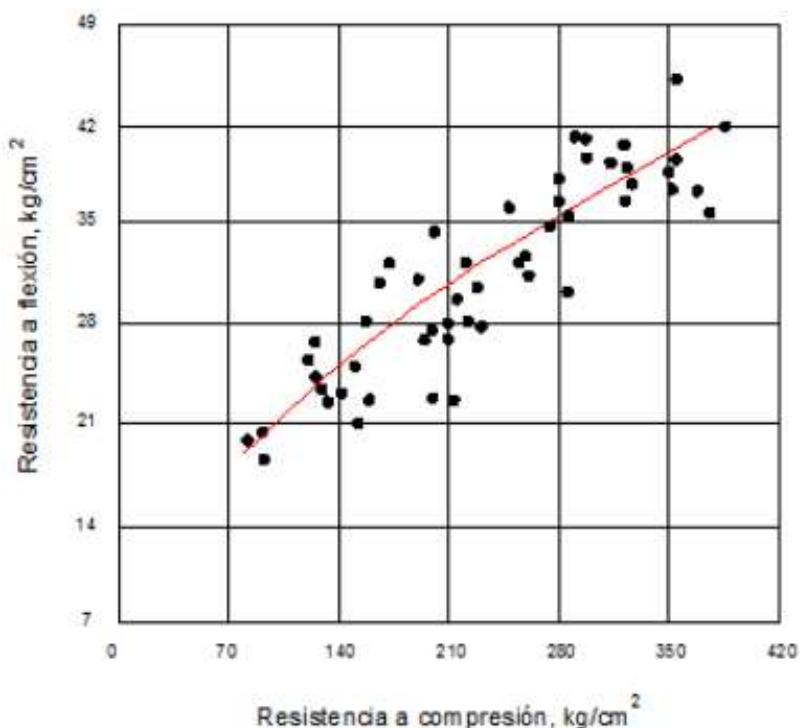


**Figura 2 — Relación entre la resistencia a flexión el contenido de aire con agregados de 3/8” y 3/4”**

Extraído de López Palacio 2010

“La resistencia a la flexión en el concreto permeable generalmente varía entre 10 a 38 kg/cm<sup>2</sup>, dependiendo de múltiples factores, destacando el grado de compactación, porosidad, relación agregado-cemento y relación agua-cemento. Sin embargo, el uso de esta propiedad no es importante para el diseño de mezclas de concreto permeable”. (López Palacio 2010)

La figura (3) ilustra la relación que se presenta entre las resistencias a la compresión y a flexión del concreto permeable para una serie de pruebas de laboratorio.



**Figura 3 — Relación entre la resistencia a flexión y la resistencia a compresión para el concreto permeable**

Extraído de López Palacio 2010

### c) Capacidad de filtración o permeabilidad

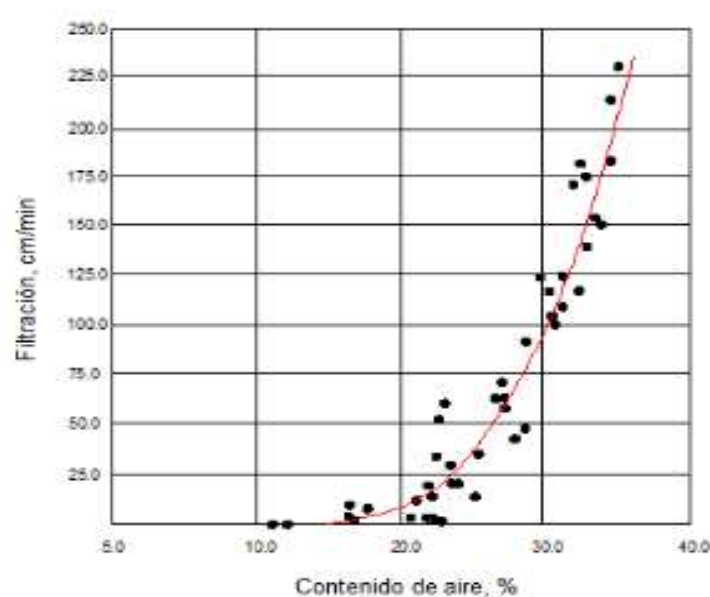
La permeabilidad según (LOPEZ PALACIO 2010) es la capacidad de un material para que un fluido atraviese por él, sin alterar su estructura interna. La capacidad que presenta un material es cuando un fluido lo atraviesa, se conoce como capacidad de filtración o porosidad, sin embargo, es necesario resaltar que al realizar el proceso de filtración la estructura interna del material no se altera y permanece sin ningún cambio en su estructura original. La velocidad con la que el fluido atraviesa el material depende de tres factores básicamente.

1. Porosidad del material
2. Densidad del fluido considerado, afectada por su temperatura
3. Presión que está sometido el fluido

“Para que un material sea poroso debe contener espacios vacíos o poros que permitan la absorción del fluido, a su vez, tales espacios deben estar

interconectados para que el fluido disponga de caminos para pasar a través del material”. (LOPEZ PALACIO 2010)

“En la práctica cotidiana se ha observado que las mediciones no son sensibles al estado del pavimento después de la limpieza, pudiendo los efectos parecer muy pequeños, nulos o negativos, por lo que se ha desarrollado varios tipos de sistemas de medición, entre estos encontramos el permeámetro Zarauz, cuya funcionalidad radica principalmente en dejar caer el agua directamente hacia el pavimento desde una cierta altura, filtrándose libremente sobre este. Algunas de las ventajas que encontramos con este método, es que permite tomar dos tipos de medida; por una parte tiempo total de desaparición del agua de la superficie y por la otra, la máxima distancia recorrida por el agua antes de su penetración. De esta manera podemos decir que los intervalos para el flujo del agua a través del concreto y que más típicamente se encuentran están en el parámetro 0.2 a 0.54 cm/s, para ello la siguiente gráfica 3.5 muestra la relación existente entre la filtración y el contenido de vacíos”. (LOPEZ PALACIO 2010)



**Figura 4 — Relación entre la resistencia a flexión el contenido de aire con agregados de 3/8” y 3/4”**

Extraído de López Palacio 2010



### 3.2.2.3 Factores que influyen en las propiedades del concreto permeable

#### a) Granulometría

“Resulta fundamental en las propiedades que tendrá el hormigón poroso. Se debe utilizar árido chancado con ausencia casi total de finos, pues impermeabilizarían la mezcla; tener un tamaño de grano bastante uniforme para obtener un porcentaje elevado de vacíos (del orden del 40%) y un tamaño máximo de árido de 10 mm para permitir una adecuada terminación superficial”. (Cabello Sequera et al. 2015)

#### b) Dosis de cemento

“Una mayor dosis de cemento generará un hormigón más resistente, pero demasiado cemento disminuirá el porcentaje de vacíos interconectados en el hormigón, perdiendo su capacidad de infiltración. Se ha reportado como recomendable una dosis que fluctúe en el intervalo 350-400 kg/m<sup>3</sup>, según requisitos de resistencia y permeabilidad”. (Cabello Sequera et al. 2015)

#### c) Dosis de agua

“Tiene una gran repercusión en las propiedades de la mezcla. Una cantidad insuficiente de agua, resultará una mezcla sin consistencia y con una baja resistencia. Una cantidad excesiva de agua, generará una pasta que sellará los vacíos de la mezcla y que, además, lavará el cemento desde la superficie del agregado, produciendo una baja resistencia al desgaste superficial”. (Cabello Sequera et al. 2015)

#### d) Relación agua/cemento

“Se ha reportado que la relación agua/cemento es una covariable, determinada por la cantidad y tipo de cemento y por la granulometría empleada. Se suele utilizar como criterio para determinar este valor, el encontrar la cantidad de agua con la cual la pasta adquiere un brillo metálico. Generalmente este valor está en el intervalo de 0,3 a 0,6”. (Cabello Sequera et al. 2015)

#### e) Contenido de vacíos

“Con un elevado contenido de vacíos, aumenta la permeabilidad y disminuye la resistencia. Este porcentaje de vacíos está determinado por la energía de compactación entregada, junto con las variables ya mencionadas. Para que

una mezcla sea considerada porosa, debe tener como mínimo un 15% de huecos. Se recomienda además que este contenido no supere el 25% por la poca estabilidad de la mezcla. El porcentaje de espacio vacío es parcialmente dependiente del tamaño de agregado utilizado: agregado de 10 mm produce 15 a 25 por ciento de contenido de vacío; roca de 12 mm produce 30 a 40 por ciento de contenido de vacío y una superficie notoriamente más áspera. En el caso de pavimento permeable el máximo tamaño del agregado está restringido a un tercio del grosor especificado del pavimento. Se puede utilizar agregado más grande, pero la textura es tan áspera que no es adecuado para muchas aplicaciones de pavimentación”. (Cabello Sequera et al. 2015)

#### 3.2.2.4 Ventajas del concreto permeable

**a) Resistencia al deslizamiento.** “El concreto permeable puede quitar el agua de la lluvia con mayor rapidez que el concreto convencional, debido a su capacidad de absorción y rápida infiltración del agua a través de su estructura. Reduciendo al mínimo el agua sobre la superficie del pavimento, la resistencia al deslizamiento se mejora favorablemente”. (Ortega Moreno 2015)

**b) Escorrentía de aguas pluviales.** “Reducir la escorrentía de las aguas pluviales es una de las principales funciones del concreto permeable. El concreto permeable contiene un tamaño condicionado de agregado grueso al igual que el agregado fino pero en menor proporción, esto con el fin de que haya más espacios de vacíos en la matriz del concreto logrando así almacenar y evacuar el agua a través de su estructura hacia el sistema de drenaje que se ha escogido de acuerdo a la necesidad del proyecto”. (Ortega Moreno 2015)

**c) Recargar mantos acuíferos.** “La sobre explotación de mantos acuíferos han ocasionado pérdidas de ecosistemas, asentamientos y agrietamientos en la superficie, contaminación del agua subterránea, y un incremento en los costos de extracción del agua del subsuelo, los hundimientos en diferentes sectores de algunas ciudades aumenta los riesgos geológicos ya que se están generando grietas en el subsuelo que hacen vulnerables las viviendas ante un sismo, por tal razón es sumamente importante captar el mayor volumen de agua de las precipitaciones e inyectarlo al subsuelo para alimentar los mantos acuíferos de forma natural”. (Ortega Moreno 2015)



“El concreto permeable absorbe el agua de esorrentía conservando así este recurso natural. Este tipo de concreto ayuda directamente a llevar el agua lluvia para ser aprovechada por las plantas y también para que se infiltre libremente al subsuelo”. (Ortega Moreno 2015)

### **3.2.3 Diseño de mezclas del concreto poroso (Método del ACI 211.3R-02)**

#### **3.2.3.1 Introducción**

El concreto permeable también denominado como concreto poroso, concreto sin agregados finos, concreto discontinuo y concreto de porosidad incrementada, se produce en base a una cantidad controlada de cemento, agregado grueso, aditivo, agua y poca o nada de agregado fino, la combinación de estos materiales da como resultado un concreto endurecido con poros interconectados lo que permite el paso del agua. Esta mezcla constituye estructura celular abierta permitiendo al agua de lluvia penetre en el suelo debajo, imitando así al suelo natural.

#### **3.2.3.2 Materiales**

El concreto poroso está compuesto de cemento, agregado grueso y agua. A veces, se agrega una pequeña cantidad de agregado fino para aumentar la resistencia a la compresión y reducir la permeabilidad del concreto. Los grados de agregado grueso más comunes utilizados en el hormigón poroso cumplen con los requisitos del tamaño de tamizado según la ASTM C 33 de 3/8” a N°16 (tamaño número 8), 1/2” a N°8 (tamaño número 7) y 3/4” a N°8 (Tamaño número 67). El cemento Portland debe cumplir con la norma ASTM C 150. El concreto permeable utiliza los mismos materiales que el concreto convencional a diferencia que para este concreto poroso es opcional el uso del agregado fino.

#### **3.2.3.3 Cemento**

El cemento Portland ordinario es uno de los materiales para la construcción más empleado en la producción de concreto, debido fundamentalmente, a las excelentes propiedades mecánicas que presenta en estado endurecido. La hidratación del cemento es la reacción de uno de sus componentes con el agua, formando lo que se conoce como pasta, la relación agua/cemento oscila en el intervalo 0,3-0,6 afectando la plasticidad, hidratación y propiedad del



material hidratado. La pasta del cemento fresco, fragua y gana resistencia posteriormente al endurecimiento. El fraguado significa la pérdida repentina de plasticidad de la pasta original y una conversión a material en estado sólido con escasa resistencia, y el endurecimiento como el desarrollo de la resistencia que siguen al fraguado de la pasta. (Vélez 2010a)

#### 3.2.3.4 Agregados

Llamados también áridos, se consideran como un material inerte disperso en la asta de cemento y utilizados como refuerzo en un material compuesto, se utiliza para brindarse estabilidad, duración y resistencia. Generalmente son materiales pétreos con una condición saturada y superficialmente seca para que el agua contenida en todos los poros ni incida en la reacción química del cemento y pueda considerarse en el diseño de la mezcla como parte del agregado.

Las gradaciones más comunes de agregado grueso usadas en concreto permeable cumplen con los requisitos de tamices ASTM C 33 y NTP 400-037 son de 16 a 3/8” (Tamaño No. 8), tamiz Nro 8 a 1/2” (tamaño N° 7) y de Nro 8 a 3/4” (tamaño N° 67). El cemento Portland debe cumplir con ASTM C 150 o se puede usar una combinación de materiales cementosos que cumplan con las especificaciones ASTM apropiadas.

#### 3.2.3.5 Agua

El agua juega un papel extremadamente importante en la hidratación del cemento Portland a través de reacciones químicas y propósitos de curado.

“Los concretos permeables deben ser proporcionados con una relación agua-cemento(a/c) relativamente baja de 0.27 a 0.34. (Tennis et. Al., 2004) y 0.35 a 0.45 (ACI), debido a que una cantidad excesiva de agua conducirá a drenar la pasta y el atascamiento del sistema de poros”. (ACI 522, 2006).

La adición de agua debe ser muy controlada en el campo, se suele utilizar un criterio para esta acción, se aumenta cantidades de agua hasta alcanzar un brillo metálico en la pasta.

En estos diseños se utiliza la relación agua-cemento de 0.30 debido a los resultados en los lotes del concreto patrón.

### 3.2.3.6 Aditivos

Son insumos que se agregan antes o durante el proceso de mezclado, su dosificación se puede controlar para obtener el resultado deseado, el propósito básico es cambiar convenientemente las propiedades del hormigón fresco. El control de calidad del aditivo Ulmen W-84 se realiza bajo la norma NTP 334.088, esta se basó en la ficha técnica del aditivo proporcionado por el distribuidor, la ficha técnica recomienda utilizar el aditivo en dosis de 0.5% a 2% en peso del cemento.

Para los diseños se hicieron pruebas de con el 1.0, 1.2 y con el 1.5.% de aditivo respecto al peso del cemento, dados los resultados de los concretos patrones se eligió el 1.0% para la aplicación de los diseños ya que con el 1.2% y con el 1.5% las mezclas presentaron demasiada fluidez por consiguiente la pasta llegó a drenarse a la base y por consiguiente se optó por el 1.0% de aditivo superplastificante Ulmen W-84.

## 3.2.4 Procedimiento de diseño de concreto permeable

### 3.2.4.1 Generalidades

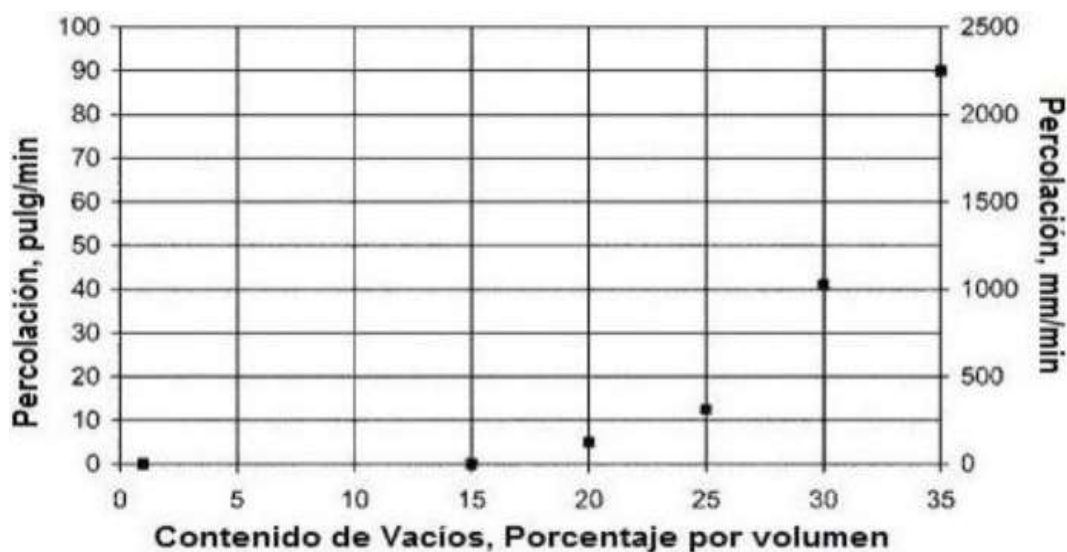
Esta guía está elaborada como un complemento al Comité ACI 211. Presenta un procedimiento para dosificar hormigón que tiene un asentamiento entre cero a 25 mm (1 pulg.) y para agregados de hasta 75 mm (3 pulgadas) de tamaño máximo. Este método proporciona tablas y gráficos que, junto con las pruebas de laboratorio sobre las propiedades físicas del agregado fino y grueso, proporcionan información para obtener proporciones concretas para una mezcla de ensayo.

Esta guía proporciona un método para la dosificación de concreto poroso con cero slump que se utiliza para pavimentos y otras aplicaciones donde el drenaje y la permeabilidad son necesarios. El concreto poroso es un material de grado abierto que se une mediante lechada de cemento. La estructura del material permite el paso de agua, pero proporciona una resistencia estructural moderada.



### 3.2.4.2 Materiales

El concreto poroso está compuesto de cemento, agregado grueso y agua. Ocasionalmente, se ha incorporado una pequeña cantidad de agregado fino para aumentar la resistencia a la compresión y para reducir la permeabilidad a través del concreto. Las gradaciones más comunes de agregados gruesos utilizados en el concreto poroso cumplen los requisitos de los tamaños de tamiz ASTM C 33 de 3/8" a N°16 (tamaño número 8), 1/2" a N°8 (tamaño número 7) y 3/4" a N°8 (Tamaño número 67). El cemento Portland debe cumplir con la norma ASTM C 150.



**Figura 5 — Contenido mínimo de vacíos para la permeabilidad basada en las pruebas NAA-NRMCA y el método de ensayo**

Extraído de ACI 211.3R-02

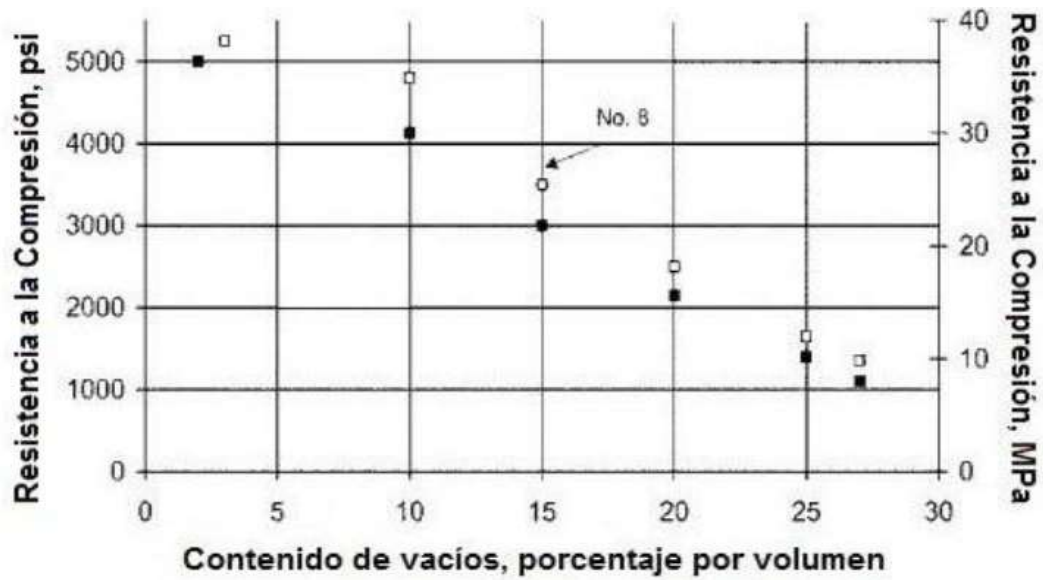


Figura 6 — Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la compresión a los 28 días de edad para el tamaño de agregado N° 67 y N° 8.

Extraído de ACI 211.3R-02

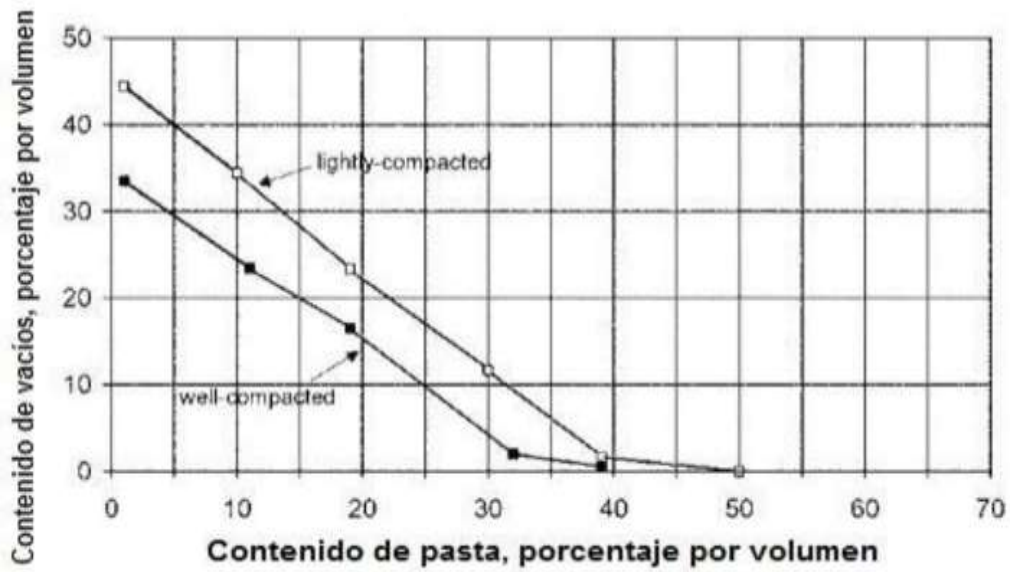


Figura 7 — Relación entre el contenido de pasta y el contenido de vacíos para las designaciones de tamaño de agregado N° 8

Extraído de ACI 211.3R-02

Tabla 4 — Valores efectivos de  $b/b_0$ 

VALORES EFECTIVOS $b/b_0$		
PORCENTAJE DE FINO	$b/b_0$	
	ASTM C-33 N°8	ASTM C-33 N°67
0%	0.99	0.99
10%	0.93	0.93
20%	0.85	0.86

Extraído de ACI 211.3R-02

### 3.2.4.3 Relación agua/cemento

La relación agua/cemento ( $a/c$ ) es una consideración importante para mantener la resistencia del concreto permeable y la estructura vacía del hormigón poroso. Una alta relación agua-cemento  $a/c$  reduce la viscosidad de la pasta al agregado, e incluso si esta ligeramente compactada, hace que la pasta fluya y llene los huecos. Una relación agua-cemento  $a/c$  más bajo tenderá a causar el rozamiento en el mezclador e impedir una distribución uniforme de los materiales. El ACI recomienda una relación  $a/c$  entre 0,35 a 0,45 para proporcionar la mejor estabilidad de revestimiento y pasta en agregado. Los valores más altos de  $a/c$  sólo deben utilizarse si el concreto es ligeramente apisonado o compactado. La relación  $a/c$  frente a resistencia a la compresión, que se utiliza normalmente con el concreto convencional, no es adecuada para el concreto poroso.

### 3.2.4.4 Porcentaje de vacíos

Para asegurar que el agua penetre a través del concreto poroso, la cantidad de vacíos, debe ser 15% o mayor. Cuanto mayor sea el porcentaje de vacíos, mayor será la permeabilidad y menor será la resistencia a la compresión. Cuanto menor es el porcentaje de vacíos, menor es la permeabilidad y mayor es la resistencia a la compresión. Además, la resistencia a la compresión incrementa a medida que disminuye el agregado de tamaño máximo nominal.



### 3.2.4.5 Cantidad de agregado grueso

Los ensayos de densidad seco compactado de agregados gruesos (b/bo) realizados por la Asociación Nacional de Agregados-Asociación Nacional de Concretos Molidos (NAA-NRMCA) muestran que la densidad de agregados gruesos en seco, según la ASTM C 29/C 29M, pueden utilizarse en el proporcionamiento del concreto poroso donde:

$b/bo$  = Volumen seco compactado de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.

$b$  = Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.

$bo$  = Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de agregado grueso.

El valor  $b/bo$  compensa automáticamente los efectos de diferentes formas de partículas gruesas de agregados, clasificación y gravedad específica. Además, los valores de  $b/bo$  de una serie de agregados nominales de tamaño máximo comúnmente utilizados para concretos de 10 a 20 mm (3/8 a 3/4 pulgadas), son muy similares. La tabla (4) muestra los valores de  $b/bo$  para tamaños de agregados gruesos N° 8 y N° 67 para contenidos de agregados finos de 0%, 10% y 20% del agregado total.

NOTA. Los valores  $b/bo$  es adecuado para material con alto grado de compactación. Para material ligeramente compactado, estos valores deben reducirse a 0.07. Además, la cantidad de pasta debe reducirse cuando se utilizan agregados finos.

## 3.2.5 Ensayos de los agregados

### 3.2.5.1 Cantidad de material fino que pasa el tamiz de 75 $\mu$ m (N° 200) por lavado

“El material más fino que el tamiz de 75  $\mu$ m (N° 200) puede ser separado de las partículas mayores de manera más eficiente y completa por el tamizado en húmedo que por el uso de tamizado en seco. Por ello, cuando se desea determinaciones exactas del material más fino que el tamiz de 75  $\mu$ m (N° 200) en un agregado grueso o fino, este ensayo es usado sobre la muestra antes del tamizado en seco de acuerdo con el ensayo MTC E204. Los resultados de este ensayo son incluidos en el cálculo del ensayo MTC E204 y la cantidad total del material más fino que el tamiz de 75  $\mu$ m (N° 200) además del obtenido por tamizado en seco en la misma muestra es reportado con los resultados de



MTC E 204. Usualmente, la cantidad adicional del material más fino que 75  $\mu\text{m}$  obtenido en el proceso de tamizado en seco es una cantidad pequeña. Si ésta es muy grande, la eficiencia de la operación de lavado debe ser chequeada. Esto también puede ser indicativo de degradación del agregado. Además Este ensayo se aplica para determinar la aceptabilidad de agregados finos en lo relacionado al material pasante el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (N° 200)". (MTC 2016)

- Seque la muestra de prueba en un horno a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  hasta un peso constante.
- Coloque la muestra de prueba en el recipiente y agregue suficiente agua para cubrirla.
- Agite la muestra vigorosamente.
- vierta el agua de lavado con el material fino en suspensión sobre el juego de tamices armado
- Añada un poco más de agua a la muestra en el recipiente, agite y decante como antes.
- devuelva todo el material que queda en el juego de tamices através de un flujo de agua a la muestra lavada.
- Secar el agregado lavado a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  hasta obtener un peso constante, y luego determinar el peso.

### 3.2.5.2 Análisis Granulométrico

“Se aplica para determinar la gradación de materiales propuestos para uso como agregados o los que están siendo usados como tales. Los resultados serán usados para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de partículas con los requisitos exigidos en la especificación técnica de la obra y proporcionar datos necesarios para el control de producción de agregados”. (MTC 2016)

“No es posible determinar el material que pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (N° 200) a través de esta prueba. El método de prueba que se utiliza es: Cantidad de material fino que pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (N° 200) por lavado" (MTC E 202). se procede de la siguiente manera”. (MTC 2016)



- Seque una muestra de arena en un horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.
- Elija la serie de tamices del tamaño adecuado para cumplir con las especificaciones del material a ensayar.
- Pese una cantidad adecuada de muestra.
- Limitar la cantidad de material en un tamiz determinado
- La muestra debe colocarse en el tamiz de  $\frac{1}{2}$  pulgada. Cubre la malla y agítala manualmente durante 3 a 5 minutos.
- Superponga las mallas restantes desde el diámetro de abertura mas grande hasta el diámetro de abertura mas pequeño. Vierta la muestra que paso la malla N°16 en la malla superior (antes de confirmar que la parte inferior este en su lugar)
- Coloque las porciones retenidas en cada malla en bandejas y pesar dichas cantidades retenidas.
- Registre los datos en la tabla de resultados.
- Calcule el porcentaje de error de la prueba y verifique que no sea mayor que 2%.

### 3.2.5.3 Peso unitario y vacíos de los agregados

“Determinar el peso unitario suelto o compactado y el porcentaje de los vacíos de los agregados finos, gruesos o una mezcla de ambos. El método se aplica a agregados de tamaño máximo nominal de 150 mm (6”). Se procede de la siguiente forma:”(MTC 2016).

- Llene el recipiente medidor con agua a temperatura ambiente y tape con la placa de vidrio para eliminar burbujas y exceso de agua
- Determine el peso del agua en el recipiente medidor.
- Mida la temperatura del agua y determinar densidad, e interpole según corresponda.
- Calcule el volumen (V) del recipiente de medición dividiendo el peso del agua necesaria para llenarlo entre la densidad del agua. Se utiliza para determinar el peso unitario suelto

- Procedimiento de palear: el recipiente de medida se llena con una pala o cuchara, el agregado se puede descargar desde una altura no mas de 50 mm (2”) hasta que rebose el recipiente.
- Utilice una regla para eliminar el exceso de agregado.
- Determine el peso del recipiente medidor, agregue el peso del contenido y el del recipiente y registre los pesos al 0,05 kg (0,1 lb) mas cercano.

#### **3.2.5.4 Peso específico y absorción de agregados gruesos**

“Una muestra de agregado se sumerge en agua por 24 horas aproximadamente para llenar los poros esencialmente. Luego se retira del agua, se seca el agua de la superficie de las partículas, y se pesa. La muestra se pesa posteriormente mientras es sumergida en agua. Finalmente, la muestra es secada al horno y se pesa una tercera vez. Usando los pesos así obtenidos y fórmulas en este modo operativo, es posible calcular tres tipos de peso específico y de absorción”. (MTC 2016)

- Secar la muestra en un horno a  $110 \pm 5$  °C durante 24 hrs.
- Luego sumerja la muestra en agua durante 24 hrs  $\pm$  4 hrs.
- Retire la muestra de prueba del agua y enróllela con un paño absorbente o franela hasta que se elimine toda la película visible de agua.
- Determinar la cantidad de la masa de la muestra de ensayo en la condiciones de superficie seca saturada (muestra al aire).
- Posterior a determinar la masa al aire, coloque inmediatamente la muestra de ensayo saturada superficialmente seca en el contenedor de la muestra y determine su masa aparente en agua a  $23 \pm 2.0$  °C .
- Seque la muestra de ensayo a peso constante a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C y luego se enfríá al aire a temperatura ambiente durante 1 a 3 horas.

#### **Contenido de humedad (ASTM C 70)**

“Es la cantidad de agua superficial retenida en un momento determinado por las partículas del agregado”. (MTC 2016)

Procedimiento:

- Coger una muestra y pesarlo
- Seque la muestra al horno por un tiempo de 24 hrs a  $110 \pm 5$  °C.
- Pese la muestra
- $\% \text{ humedad} = (\text{peso original de la muestra} - \text{peso seco}) / (\text{peso seco}) * 100$

### **3.2.5.5 Abrasión los ángeles (l.a.) al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37,5 mm (1 ½")**

“Es una medida de la degradación de agregados minerales de gradaciones normalizadas resultantes de una combinación de acciones, las cuales incluyen abrasión o desgaste, impacto y trituración, en un tambor de acero en rotación que contiene un número especificado de esferas de acero, dependiendo de la gradación de la muestra de ensayo. Al rotar el tambor, la muestra y las bolas de acero son recogidas por una pestaña de acero transportándolas hasta que son arrojadas al lado opuesto del tambor, creando un efecto de trituración por impacto. Este ciclo es repetido mientras el tambor gira con su contenido. Luego de un número de revoluciones establecido, el agregado es retirado del tambor y tamizado para medir su degradación como porcentaje de pérdida cuyo procedimiento se da con los siguientes pasos”. (MTC 2016)

- Coloque la muestra de prueba y carguela en la máquina de Los Ángeles y hágalo girar durante 500 revoluciones a una velocidad entre 30 rpm a 33rpm.
- Después del número especificado de revoluciones, descargue el material de la máquina y realizar una separación preliminar de la muestra, sobre el tamiz normalizado de 1,70 mm (N° 12). Tamizar la porción más fina que 1,70 mm conforme al Modo Operativo MTC E 204.
- Lavar el material más grueso que la malla de 1,70 mm y secarlo al horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C, hasta que el peso sea constante para luego determinar la masa con una aproximación a 1 g.

## **3.2.6 Ensayos en estado fresco y endurecido del concreto permeable**

### **3.2.6.1 Asentamiento del concreto permeable**

“El asentamiento (propiedad física del concreto permeable en estado fresco) en general es cero; sin embargo, se han usado valores en el rango de 20 a 50



mm. La prueba de asentamiento, se puede realizar de acuerdo con la ASTM C143, pero no es una prueba que se considera para fines de control de calidad, como en el caso del concreto convencional, sólo se considera como un valor de referencia, debido principalmente a que la mezcla es demasiado rígida y la medición del revenimiento en la mayoría de casos no es aplicable”. (Carlos Aire, 2011).

En la presente investigación, esta prueba se realizó de acuerdo con la norma NTP 339.035 (correspondiente a la ASTM C 143).

### **3.2.6.2 Peso Volumétrico**

“El peso unitario del concreto fresco se determina de acuerdo con la norma ASTM C-138. Este método de prueba cubre la determinación de la densidad del hormigón fresco y señala las fórmulas para calcular el rendimiento, contenido de cemento, y contenido de aire del hormigón fresco”. (MTC 2016)

El peso unitario del concreto poroso oscila entre 1600 a 2000 kg/m<sup>3</sup>, esto depende de la cantidad de vacíos.

El peso unitario se utiliza para controlar la calidad del concreto recién mezclado.

Una masa volumétrica más baja puede indicar:

- Que se ha cambiado los materiales.
- Mayor contenido de aire.
- Mayor contenido de agua.
- Cambios en la proporción de los materiales.
- Haber reducido la cantidad de cemento.

Por el contrario, una masa volumétrica más alta indicará lo contrario de las propiedades del hormigón descritas anteriormente.

### **3.2.6.3 Determinación de la densidad y contenido de vacíos**

Según la norma ASTM C188E (Método de ensayo. Determinación de la densidad del cemento hidráulico), ASTM C127 (Método de ensayo. Determinación de la densidad, densidad relativa y absorción de agua del



agregado grueso), ASTM C231/C231M (Método de ensayo. Determinación del contenido de aire del concreto hidráulico recién mezclado por el método de presión). Estos métodos de ensayos están destinados a cubrir los métodos para determinar la densidad del concreto permeable fresco en condiciones estandarizadas y proporciona fórmulas para calcular el contenido de vacíos del concreto permeable. Los resultados de la prueba no pretenden representar la densidad ni el contenido de vacíos en el sitio. El proceso se da en los siguientes pasos:

Colocar el medidor en una superficie plana y nivelada, libre de vibración. Humedecer el interior del medidor previo a colocar el concreto permeable. Remover cualquier resto de agua estancada en el fondo del contenedor utilizando una esponja humedecida. Colocar el concreto permeable en el medidor en dos capas de aproximadamente igual espesor utilizando la cuchara. Durante el llenado del medidor, mover la cuchara alrededor del perímetro de la abertura para lograr una distribución uniforme del concreto con mínima segregación. Para el procedimiento A, dejar caer el martillo verticalmente 20 veces por capa a la altura completa de caída de 305 mm (12 pulg). Para el procedimiento B, dejar caer el martillo verticalmente 10 veces por capa a la altura completa de caída de 457 mm (18 pulg). Para cada capa, distribuir la posición del sello de una manera que la toda el área superficial del concreto permeable en el medidor sea consolidado de igual manera. Antes de consolidar la capa final, llenar el medidor arriba de su capacidad. Después de completar la consolidación, el medidor debe contener cerca de 3 mm (1/8 pulg) de exceso de concreto permeable rebosado por encima del borde del medidor. Si después de la mitad del número de caídas del martillo especificado en la capa final, pareciera ser que el concreto será insuficiente, agregar una pequeña cantidad de concreto para corregir la deficiencia. Si después de la mitad del número de caídas del martillo especificado en la capa final, pareciera ser que existirá demasiado concreto en el medidor, remover una porción representativa del exceso de concreto con una llana o una cuchara. Completar la consolidación de la capa final.

Enrasado: Después de la consolidación, enrasar la superficie del concreto y dar un acabado plano y liso con la placa enrasadora para que la superficie del concreto sea nivelada con la superficie del medidor. Completar el enrasado

presionando la placa de enrasado en la superficie del medidor para cubrir cerca de dos tercios de la superficie y retirando la placa con un movimiento en sierra para enrasar el área cubierta originalmente. Luego colocar la placa en el borde superior del medidor para cubrir los mismos dos tercios de la superficie y deslizarlo hacia adelante con presión vertical y un movimiento en sierra para cubrir toda la superficie del medidor; continuar avanzando hasta que la placa se deslice completamente afuera del medidor. Varios movimientos finales en forma de sierra con el vértice de la placa, el cual ha sido inclinado en la parte superior del medidor, producirán una superficie con acabado liso.

Limpieza y pesaje: Después de enrasar, limpiar el exceso de concreto del exterior del medidor y determinar la masa de concreto y medir a una aproximación consistente de acuerdo a los requisitos del inciso.

#### **3.2.6.4 Elaboración y curado de especímenes de hormigón (concreto en el laboratorio)**

Se realizará según recomendaciones de las normas: **NTP 339.0183, ASTM C192. (MTC 2016)**

- Mezcla de concreto: La mezcla de concreto debe garantizar que deje un 10% de residuo después de verter la muestra.
- Mezcla con máquina: Antes de que el mezclador empiece a girar, se debe introducir el agregado grueso junto con un poco de agua utilizada en la mezcla y la solución del aditivo, cuando ésta se requiera.
- Mezcla manual: La mezcla se debe hacer con un palustre de albañil en bandeja o recipiente metálico, impermeable, limpio y húmedo.
- Determinación del asentamiento: El asentamiento de cada lote debe medirse de acuerdo con MTC E 705.
- Determinación del contenido de aire: El contenido de aire debe determinarse de acuerdo con MTC E 706. El hormigón utilizado para decantar el contenido de aire debe verterse.
- Vaciado del concreto



- Lugar del moldeo: La muestra debe moldearse lo más cerca posible de su ubicación de almacenamiento para solidificar en 24 horas.
- Colocación: El hormigón debe colocarse en el encofrado mediante palustre o implemento similar. El método de selección de cada pala de hormigón debe representar el lote.
- Compactación: La elección del método de compactación debe basarse en el asentamiento, a menos que el método esté determinado en sus especificaciones de trabajo.
- Apisonado por varillado: Coloque el concreto en el molde con el número de capas requeridas tabla (5) aproximadamente del mismo volumen.
- Vibración: Mantenga el mismo tiempo de vibración para un conjunto particular de concreto, vibrador y molde que se esté utilizando.

**Tabla 5 — Número de capas necesarias para la preparación de las muestras**

Tipo De Tamaño De La Muestra En Mm (Pulgadas)	Método De Compactación	Números De Capas	Altura Aproximada De La Capa En Mm (Pulgadas)
CILINDROS Hasta 300(12) Mayor que 300(12)	Apisonado(varillado) Apisonado(varillado)	3 iguales Las requeridas	100(4)
Hasta 460(18) Mayor que 460(18)	Vibración Vibración	2 iguales 3 ó más	200(4)
PRISMAS Hasta 200(8) Mayor que 200(8)	Apisonado(varillado) Apisonado(varillado)	2 iguales 3 o más	100(4)
Hasta 200(8) Mayor que 200(8)	Vibración Vibración	1 2 o más	200(8) C 172

Extraído de MTC 2016

### 3.2.6.5 Resistencia a la compresión de testigos cilíndricos

Se realizará según las recomendaciones de las normas: ACI 325, ACI 330, ACI 522.R-10, NTP 339.034, ASTM C39, AASHTO-93 y ASTM C-31.

“El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a cilindros moldeados o a núcleos, a una velocidad de carga prescrita, hasta que se presente la falla. La resistencia a la compresión del espécimen se determina dividiendo la carga aplicada durante el ensayo por la sección transversal de éste. Los resultados de este ensayo se pueden usar como base para el control de calidad de las operaciones de dosificación, mezclado y colocación del

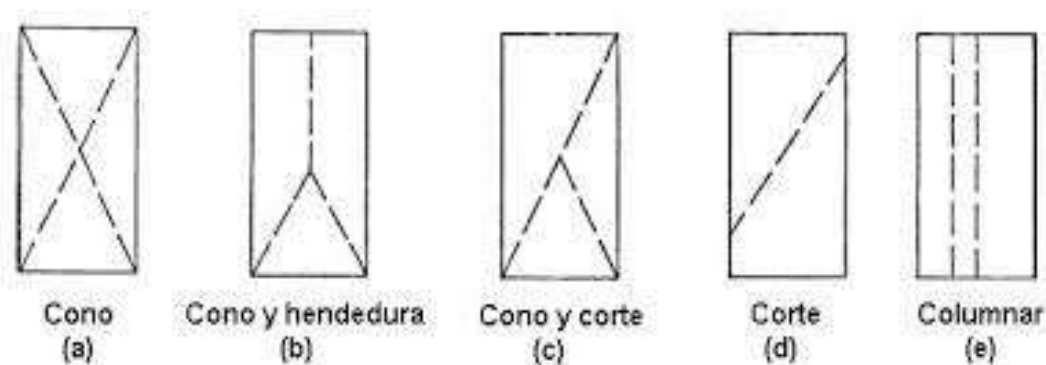


concreto; para el cumplimiento de especificaciones y como control para evaluar la efectividad de aditivos y otros usos similares. Se debe tener cuidado en la interpretación del significado de las determinaciones de la resistencia a la compresión mediante este método de ensayo, por cuanto la resistencia no es una propiedad intrínseca fundamental del concreto elaborado con determinados materiales. Los valores obtenidos dependen del tamaño y forma del espécimen, de la tanda, de los procedimientos de mezclado, de los métodos de muestreo, moldes y fabricación, así como de la edad, temperatura y condiciones de humedad durante el curado”. (MTC 2016)

Procedimiento:

- Las muestras curadas en agua deben someterse a una prueba de compresión inmediatamente después de sacarlas de la posición de curado.
- Durante el período desde el momento en que la muestra se saca del sitio curado hasta la prueba, se debe utilizar cualquier método conveniente para mantener la muestra húmeda. Deben probarse en condiciones húmedas.
- Colocación de la Muestra: Colocación de la muestra: el bloque de carga inferior se coloca en la plataforma del probador, justo debajo del bloque superior.

Velocidad de Carga: Aplicar la carga continuamente sin impacto repentino. Aplique la carga hasta que el indicador indique que comienza a disminuir continuamente y el cilindro muestra un claro modo de falla.



**Figura 8 — Esquemas de tipos de falla**

Extraído de (MTC 2016)

### **3.2.6.6 Resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo**

Se realizará según las recomendaciones de las normas: ASTM C 78, ASTM C293 y NTP 339.078, las cuales establecen el siguiente procedimiento, como señala (MTC 2016):

- Se elaboraron especímenes en forma de vigas de dimensiones 15 cm de ancho, 15 cm de altura y de 53 cm de largo.
- Se mide las dimensiones de cada una de las vigas así también el peso.
- La muestra se gira desde un lado de su posición de moldeo y se centra en el bloque de carga. El sistema de carga está centrado en relación con la fuerza. En el tercer punto entre los apoyos, el bloque de aplicación de la carga se pone en contacto con la superficie de la muestra y se aplica una carga entre el 3% y el 6% de la carga final estimada.
- La carga debe aplicarse continuamente sin impacto, y la velocidad debe estar entre 0,9 MPa / min y 1,2 MPa / min para aumentar la tensión de la última fibra hasta que se produzca la fractura.
- Se toman tres medidas de cada dimensión (una para cada borde y centro) con una precisión de 1.3 mm (0.05 pulgadas) para determinar el ancho promedio, la altura promedio y la ubicación de la línea de ruptura de la muestra. En la parte de la falla.

### **3.2.6.7 Ensayo de permeabilidad**

Se realizará según las recomendaciones de las normas: ASTM C1701, ACI 522R-10 y ACI 522 R-06. (MTC 2016)

- Se elaboraron ejemplares de 10 cm de diámetro y de 15 cm de altura.
- Las muestras de concreto permeable se envuelven en una película de látex para evitar que el agua fluya por los lados de las muestras.
- Agregue agua al cilindro graduado para llenar la celda de la muestra y el tubo de drenaje.
- Cuando la muestra está saturada y se establezca el flujo, tome lectura de altura de columna de agua  $h_1$  en el tubo de ensayo.



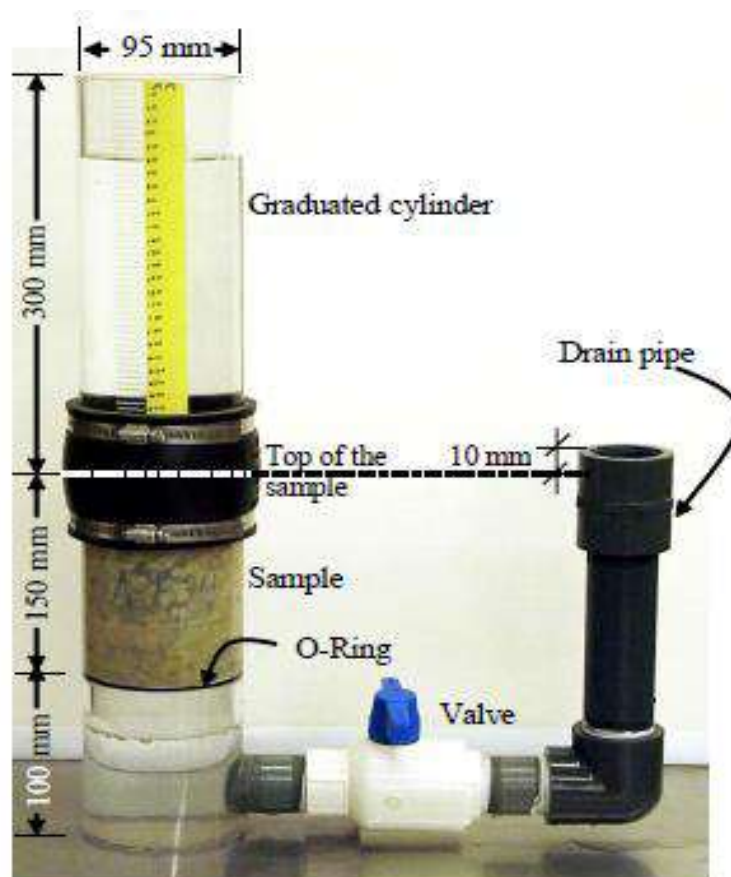
- Marque la altura de inicio y se abre la válvula que conecta a la muestra al tiempo de que se inicia el conteo en el tiempo,  $t_1$ , hasta que el nivel del agua llega a la altura  $h_2$ , en el tiempo final  $t_2$ .
- El diámetro de la muestra utilizada es de 10 cm de diámetro y 15 cm de altura.

### 3.3 Marco conceptual

- **CONCRETO PERMEABLE.** “Generalmente describe un asentamiento cero, materiales con un contenido de cemento Portland, agregado grueso, poco o nada agregado fino, aditivos y agua. La combinación de estos ingredientes producirá un material endurecido con poros conectados, que van en tamaño desde 0,08 hasta 0,32 pulgadas (de 2 a 8 mm), que permiten que el agua pase a través fácilmente. El vacío contenido puede variar de 18 a 35%, con resistencias a la compresión típicos de 400 a 4.000 psi (2,8 a 28 MPa). La velocidad de drenaje de concreto permeable pavimento variará con el tamaño y la densidad de la mezcla de agregados, pero se generalmente se dividen en la gama de 2 a 18 gal./min/ft<sup>2</sup> (81-730 l/min/m<sup>2</sup>)”. (ACI 522R 06)
- **POROSIDAD.** “La porosidad del concreto es la suma del volumen de los huecos capilares y de los huecos de la pasta, y representa el espacio no llenado por los componentes sólidos de la pasta de cemento hidratado. La porosidad del concreto (P) o total de huecos en el material compuesto, se ha modelado como una función de: (a/c) la relación agua/cemento, el grado de hidratación del cemento (h), el volumen de aire atrapado (A), las cantidades de agregados fino (arena, Af) y grueso (grava, Ag), y del cemento (c); y las gravedades específicas de los agregados ( $\rho_f$  y  $\rho_g$ )”. (Yair Felipe, 2004)
- **RESISTENCIA A COMPRESIÓN.** “Según el Concreto Estructural ACI 318S 05 se encuentra una definición muy clara de la resistencia a la compresión del concreto, la cual indica que es la resistencia especificada en el diseño, expresada en mega pascales (MPa) y evaluada a los 28 días por medio de ensayos con cilindros estándar de concretos hechos ya sea en sitio o en el laboratorio. El tipo de espécimen utilizado para la prueba de resistencia a la compresión es el cilindro de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura. Normalmente, la resistencia a la hora de la falla aumenta con la velocidad de carga de la prensa y con la edad del concreto”. (Porrás Morales 2017)



- **RESISTENCIA A FLEXIÓN.** “La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del concreto (hormigón). Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada. Se mide mediante la aplicación de las cargas a vigas de concreto de 6 x 6 pulgadas (150 x 150 mm) de sección transversal y con luz de como mínimo tres veces del espesor. La resistencia a la flexión se expresa como el Módulo de Rutura (MR) en libras por pulgada cuadrada (Mpa) y es determinada mediante los métodos de ensayo ASTM C78 (cargada en los puntos tercios) o ASTM C293 (cargada en el punto medio)”. (NRMCA 2006)
- **PERMEÓMETRO DE NEITHENALATH.** “El diseño y construcción de este se basó en el diseño recomendado por el ACI 522R-10, realizado originalmente por Neithenalath (2004)”. (Cardona Maldonado 2017).



**Figura 9 — Permeómetro de Neithenalath (2004)**

Extraído de Cardona Maldonado 2017

## CAPÍTULO IV

### METODOLOGÍA

#### 4.1 Tipo y nivel de investigación

Este trabajo de investigación satisface esencialmente las condiciones de la investigación de tipo experimental porque las variables independientes serán manipuladas deliberadamente de acuerdo con las instrucciones del diseño.

El nivel de investigación a la que se ajusta este trabajo es básico con enfoque cuantitativo ya que los datos serán recogidos de los experimentos en el laboratorio de concretos.

El método que usaremos es el inductivo ya que a través de la obtención de resultados particulares generalizaremos para obtener resultados generales.

#### 4.2 Diseño de investigación

El diseño correspondiente es DCA (diseño completamente aleatorizado), de un solo factor, es decir, para determinar las características y objetos de la unidad de análisis se ha realizado 3 tratamientos (porcentaje de vacío), en dos Husos (Huso 8 y Huso 67) cada una con 3 repeticiones.

#### 4.3 Descripción de la investigación

El autor de este estudio respeta las reglas de buenas prácticas en la investigación. Además, su formación profesional es acorde con la actitud y los talentos requeridos para ejercer la profesión. Por ello, además de las buenas prácticas de investigación, se ha formado desde el interior de la familia.

#### 4.4 Población y muestra

No contempla una población puesto que es una investigación experimental no probabilística, sin embargo, se va requerir para la determinación del patrón respecto al aditivo plastificante en cada Huso un total de 45 especímenes de cilindros de concreto permeable y para el periodo de experimentación en cada una de los porcentajes de vacío se va requerir 15 especímenes por lo tanto se tiene una muestra de al menos 90 cilindros de concreto poroso.

Para definir el número de especímenes se basó en la Norma Técnica E060 en el cual menciona que existe un factor de corrección para muestras basados en 15 a 30 pruebas consecutivas por cada diseño de mezcla, en nuestro caso se ensayaron 15 especímenes de



15 x 30 cm por cada diseño de mezcla es decir que cae en el rango permisible de la norma, para tener un resultado más acertado.

#### 4.5 Procedimiento

- **Primera etapa.** Se recogió los agregados de la cantera con mejores propiedades de sus agregados del valle de Pachachaca en la ciudad de Abancay para luego efectuar el análisis granulométrico de los agregados según la norma NTP 400.012/ASTM C-136, en seguida se analizará el contenido de humedad según la norma NTP 339.185/ASTM C-566, el Peso Unitario de los agregados según la norma NTP 400.017/ASTM C-29 y el peso específico del agregado según la norma NTP 400.022/ ASTM C-128.
- **Segunda etapa.** Se procederá a realizar el diseño de mezcla de concreto permeable según el procedimiento y tablas de la norma ACI 211.3R-02, para la fabricación de concreto de resistencia a compresión  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  y lograr porcentajes de vacíos del 12%, 17% y 22% para lo cual se usará cemento portland tipo I y aditivo superplastificante a las proporciones de 1, 1.2 y 1.5% respecto del peso del cemento.
- **Tercera etapa.** Obtenida el diseño se procederá a elaborar los cilindros de concreto permeable para cada una de las pruebas y por triplicado para realizar los ensayos en laboratorio según los detalles siguientes: Se elaborarán un concreto patrón para el Huso 8 y el Huso 67 sera elaborada con las proporciones de aditivo plastificante dadas en la tabla y con diseño según el método de ACI, y se indican en los siguientes cuadros:
- **Primero mediante huso 8**

**Tabla 6 — Determinación del patrón respecto al aditivo plastificante (huso 8)**

HUSO 8		
% DE VACÍOS	PROPORCIÓN DE ADITIVO	CANTIDAD DE ESPECÍMENES
12%	1,0	3
	1,2	3
	1,5	3
17%	1	3
	1,2	3
	1,5	3
22%	1,0	3
	1,2	3
	1,5	3

Después de la determinación del patrón mediante el HUSO 8, para cada uno de los porcentajes de vacío (12%, 17% y 22%) en la proporción adecuado de aditivo plastificante se procederá a realizar la experimentación y su respectiva toma de datos en los periodos de tiempo que se detalla en la siguiente tabla (7) además mencionar que para determinar las características de capacidad de carga de las mezclas a 7, 14 y 28 días al aplicar una carga axial. Dado que los especímenes de concreto poroso se realizó para dar a conocer el comportamiento en las mezclas con porcentajes de vacíos diferentes.

**Tabla 7 — Periodo de experimentación en cada porcentaje de vacío (huso 8)**

HUSO 8				
% vacíos	7 días	14 días	28 días	Total
12%	5	5	5	15
17%	5	5	5	15
22%	5	5	5	15

- Segundo mediante huso 67

**Tabla 8 — Determinación del patrón respecto al aditivo plastificante (huso 8)**

HUSO 67		
% DE VACÍOS	PROPORCIÓN DE ADITIVO	CANTIDAD DE ESPECÍMENES
12%	1,0	3
	1,2	3
	1,5	3
17%	1	3
	1,2	3
	1,4	3
22%	1,0	3
	1,2	3
	1,5	3

Después de la determinación del patrón mediante el huso 67, para cada uno de los porcentajes de vacío (12%, 17% y 22%) en la proporción adecuado de aditivo plastificante se procederá a realizar la experimentación y su respectiva toma de datos en los periodos de tiempo que se detalla en la siguiente tabla:



**Tabla 9 — Periodo de experimentación para cada porcentaje de vacío (huso 67)**

<b>HUSO 67</b>				
<b>% vacíos</b>	<b>7 días</b>	<b>14 días</b>	<b>28 días</b>	<b>total</b>
12%	5	5	5	15
17%	5	5	5	15
22%	5	5	5	15

- **Cuarta etapa.** Se procederá al análisis estadístico de cada diseño según corresponda utilizando para ello el software Libreoffice y R con su interface Rstudio V.1.16.

La caracterización del concreto poroso implica la realización de ensayos de resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, permeabilidad y porcentaje de vacíos de acuerdo a las normas NTP y ASTM vigentes.

#### **4.6 Técnicas e instrumentos**

##### **4.6.1 Técnicas**

Dado que este trabajo de investigación es experimental, la recopilación de datos se llevará a cabo mediante la recopilación de los resultados de las pruebas de las muestras enviadas a cada prueba, y los detalles serán registrados manualmente por un técnico con el conocimiento relevante del equipo. Se utilizará en esta investigación.

##### **4.6.2 Instrumentos**

La recolección de datos se basa en las especificaciones técnicas, en el proceso de realización de cada ensayo en la edad relevante de cada muestra, utilizando para la medición la siguiente tabla:

**Tabla 10 — Ficha de recolección de datos para ensayos**

HUSO 67			
ENSAYO: _____			
LABORATORIO _____			
FECHA: _____		RESPONSABLE: _____	
% vacíos	7 días	14 días	28 días
12%			
12%			
12%			
17%			
17%			
17%			
22%			
22%			
22%			

La tabla (10) muestra la ficha de recolección de datos que se utilizó para cada uno de los ensayos que se ha realizado en este trabajo de investigación.

**Tabla 11 — Ficha de recolección de datos de acuerdo al porcentaje de aditivo**

HUSO 67			
ENSAYO: _____			
LABORATORIO: _____			
FECHA: _____		RESPONSABLE: _____	
	% DE VACÍOS		
PROPORCIÓN DE ADITIVO	12%	17%	22%
1.0			
1.0			
1.0			
1.2			
1.2			
1.2			
1.5			
1.5			
1.5			



El procesamiento de datos utilizará la versión 6.4 del software LibreOffice para la clasificación de datos, y luego utilizará esta entrada para utilizar el software Estudio para el análisis de datos en dos partes:

Primero. Se realizará un análisis descriptivo mediante la estadística descriptiva la cual permitirá determinar la media, desviación estándar y sus respectivas representaciones gráficas para su mejor comprensión.

Segundo: Se realizará una parte inferencial para la que se realizará mediante el uso de los estadístico ANOVA, según corresponda con 95% de confiabilidad.

#### **4.7 Análisis estadístico**

Los datos estadísticos que usaremos en este trabajo de investigación son: media, varianza (una medida de tendencia central), y luego inferir mediante análisis de varianza de un solo factor (ANOVA) y la comparación múltiplo de Tukey al 95% de confiabilidad.



## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 5.1 Análisis de resultados

##### 5.1.1 Procedimiento de proporcionalidad de los diseños de concreto permeable

El procedimiento de dosificación para concreto permeable se basa en el volumen de pasta necesario para unir las partículas del agregado mientras se mantiene el contenido de vacío necesario como se muestra en la figura N.º (7). La cantidad de agregado depende de la densidad seco-compactado y los valores de b/bo seleccionados de la Tabla (4). Una vez que el volumen de la pasta se determina a partir de la figura (7) y se selecciona el valor de la relación a/c deseado, las cantidades de cemento y agua se pueden determinar a partir de la relación:

##### 5.1.1.1. Diseño DI 12%

Se tiene en cuenta las consideraciones (obtenidas de ensayos en laboratorio) siguientes para el diseño DI:

**Tabla 12 — Datos recolectados de ensayos de agregados para el diseño DI 12%**

Descripción	Cantidad	Unidad
Peso volumétrico varillado:	1667.382	kg/m <sup>3</sup>
Peso específico aparente sss	2.612	g/cm <sup>3</sup>
Contenido de vacíos	12%	
Relación de agua/cemento	0.30	
Tamaño máximo nominal (TMN)	3/8"	
Peso específico del cemento	3150	kg/m <sup>3</sup>
Peso específico del agua	1000	kg/m <sup>3</sup>

##### Proporcionamiento de materiales

El concreto poroso depende de la relación agregado – cemento y agua – cemento, para que pueda cumplir con la norma ACI 211.3R-02.

##### Proporcionamiento en peso

Cemento : 402.494 kg/m<sup>3</sup>

Agregado : 1650.708 kg/m<sup>3</sup>

Agua efectiva : 120.748 kg/m<sup>3</sup>



$$\frac{402.494}{402.494} : \frac{1650.708}{402.494} : \frac{120.748}{402.494} * 42.5$$

1: 4.10: 12.750Ltltporbolsa

Proporcionamiento en volumen

Cemento : 0.128 m<sup>3</sup>

Agregado : 0.632 m<sup>3</sup>

Agua efectiva : 0.121 m<sup>3</sup>

$$\frac{0.128}{0.128} : \frac{0.632}{0.128} : \frac{0.121}{0.128} * 42.5$$

1: 4.938: 12.750Ltltporbolsa

### 5.1.1.2. Diseño DI 17%

Se tiene en cuenta las consideraciones siguientes para el diseño DI:

**Tabla 13 — Datos recolectados de ensayos de agregados para el diseño DI 17%**

Descripción	Cantidad	Unidad
Peso volumétrico varillado:	1667.382	kg/m <sup>3</sup>
Peso específico aparente sss	2.612	g/cm <sup>3</sup>
Contenido de vacíos	17%	
Relación de agua/cemento	0.30	
Tamaño máximo nominal (TMN)	3/8"	
Peso específico del cemento	3150	kg/m <sup>3</sup>
Peso específico del agua	1000	kg/m <sup>3</sup>

Proporcionamiento de materiales

El concreto poroso depende de la relación agregado – cemento y agua – cemento, para que pueda cumplir con la norma ACI 211.3R-02.

Proporcionamiento en peso

Cemento : 320.517 kg/m<sup>3</sup>

Agregado : 1650.708kg/m<sup>3</sup>

Agua efectiva : 96.155 kg/m<sup>3</sup>

$$\frac{320.517}{320.517} : \frac{1650.708}{320.517} : \frac{96.155}{320.517} * 42.5$$



1: 5.15: 12.750 *Litros por bolsa*

Proporcionamiento en volumen

Cemento : 0.102 m<sup>3</sup>

Agregado : 0.632 m<sup>3</sup>

Agua efectiva : 0.096 m<sup>3</sup>

$$\frac{0.102}{0.102} : \frac{0.632}{0.102} : \frac{0.096}{0.102} * 42.5$$

1: 6.21/12.75 *litros/bolsa*

### 5.1.1.3. Diseño DI 22%

Se tiene en cuenta las consideraciones siguientes para el diseño DI:

**Tabla 14 — Datos recolectados de ensayos de agregados para el diseño DI 22%**

Descripción	Cantidad	Unidad
Peso volumétrico varillado:	1667.382	kg/m <sup>3</sup>
Peso específico aparente sss	2.612	g/cm <sup>3</sup>
Contenido de vacíos	22%	
Relación de agua/cemento	0.30	
Tamaño máximo nominal (TMN)	3/8"	
Peso específico del cemento	3150	kg/m <sup>3</sup>
Peso específico del agua	1000	kg/m <sup>3</sup>

Proporcionamiento de materiales

El concreto poroso depende de la relación agregado – cemento y agua – cemento, para que pueda cumplir con la norma ACI 211.3R-02.

Proporcionamiento en peso

Cemento : 239.540 kg/m<sup>3</sup>

Agregado : 1650.708kg/m<sup>3</sup>

Agua efectiva : 71.862 kg/m<sup>3</sup>

$$\frac{239.540}{239.540} : \frac{1650.708}{239.540} : \frac{71.862}{239.540} * 42.5$$

1: 6.89/12.750 *litros/bolsa*



Proporcionamiento en volumen

Cemento : 0.076m<sup>3</sup>

Agregado : 0.632 m<sup>3</sup>

Agua efectiva : 0.072m<sup>3</sup>

$$\frac{0.076}{0.076} : \frac{0.632}{0.076} : \frac{0.072}{0.076} * 42.5$$

1: 6.21/12.75 *litros/bolsa*

Mezcla de prueba en el laboratorio de diseño I

#### 5.1.1.4. Diseño DII 12%

Se tiene en cuenta las consideraciones siguientes para el diseño DII:

**Tabla 15 — Datos recolectados de ensayos de agregados para el diseño DII 12%**

Descripción	Cantidad	Unidad
Peso volumétrico varillado:	1602.774	kg/m <sup>3</sup>
Peso específico aparente sss	2.639	g/cm <sup>3</sup>
Contenido de vacíos	12%	
Relación de agua/cemento	0.30	
Tamaño máximo nominal (TMN)	3/4"	
Peso específico del cemento	3150	kg/m <sup>3</sup>
Peso específico del agua	1000	kg/m <sup>3</sup>

Proporcionamiento de materiales

El concreto poroso depende de la relación agregado – cemento y agua – cemento, para que pueda cumplir con la norma ACI 211.3R-02.

Proporcionamiento en peso

Cemento : 485.861 kg/m<sup>3</sup>

Agregado grueso : 1490.580 kg/m<sup>3</sup>

Agregado fino : 41.694 kg/m<sup>3</sup>

Agua : 145.758 lt/m<sup>3</sup>

$$\frac{485.861}{485.861} : \frac{1490.580}{485.861} : \frac{41.694}{485.861} : \frac{145.758}{485.861} * 42.5$$

1: 3.07: 0.09/12.750 *litros/bolsa*

Proporcionamiento en volumen

Cemento : 0.154 m<sup>3</sup>

Agregado grueso : 0.565m<sup>3</sup>

Agregado fino : 0.015m<sup>3</sup>

Agua : 0.146m<sup>3</sup>

$$\frac{0.154}{0.154} : \frac{0.565}{0.154} : \frac{0.015}{0.154} : \frac{0.146}{0.154} * 42.5$$

1: 3.66: 0.1/12.75 *litros/bolsa*

#### 5.1.1.5. Diseño DII 17%

Se tiene en cuenta las consideraciones siguientes para el diseño DII:

**Tabla 16 — Datos recolectados de ensayos de agregados para el diseño DII 17%**

Descripción	Cantidad	Unidad
Peso volumétrico varillado:	1602.774	kg/m <sup>3</sup>
Peso específico aparente sss	2.639	g/cm <sup>3</sup>
Contenido de vacíos	17%	
Relación de agua/cemento	0.30	
Tamaño máximo nominal (TMN)	3/4"	
Peso específico del cemento	3150	kg/m <sup>3</sup>
Peso específico del agua	1000	kg/m <sup>3</sup>

Proporcionamiento de materiales

El concreto poroso depende de la relación agregado – cemento y agua – cemento, para que pueda cumplir con la norma ACI 211.3R-02.

Proporcionamiento en peso

Cemento : 404.884 kg/m<sup>3</sup>

Agregado grueso : 1490.580 kg/m<sup>3</sup>

Agregado fino : 41.694 kg/m<sup>3</sup>





Agua : 121.465 lt/m<sup>3</sup>

$$\frac{404.884}{404.884} : \frac{1490.580}{404.884} : \frac{41.694}{404.884} : \frac{121.465}{404.884} * 42.5$$

1: 3.68: 0.10/12.750 litros/bolsa

Proporcionamiento en volumen

Cemento : 0.129 m<sup>3</sup>

Agregado grueso : 0.565m<sup>3</sup>

Agregado fino : 0.015m<sup>3</sup>

Agua : 0.121m<sup>3</sup>

$$\frac{0.129}{0.129} : \frac{0.565}{0.129} : \frac{0.015}{0.129} : \frac{0.121}{0.129} * 42.5$$

#### 5.1.1.6. Diseño DII 22%

Se tiene en cuenta las consideraciones siguientes para el diseño DII 22%:

**Tabla 17 — Datos recolectados de ensayos de agregados para el diseño DII 22%**

Descripción	Cantidad	Unidad
Peso volumétrico varillado:	1602.774	kg/m <sup>3</sup>
Peso específico aparente sss	2.639	g/cm <sup>3</sup>
Contenido de vacíos	12%	
Relación de agua/cemento	0.30	
Tamaño máximo nominal (TMN)	3/4"	
Peso específico del cemento	3150	kg/m <sup>3</sup>
Peso específico del agua	1000	kg/m <sup>3</sup>

Proporcionamiento de materiales

El concreto poroso depende de la relación agregado – cemento y agua – cemento, para que pueda cumplir con la norma ACI 211.3R-02.

Proporcionamiento en peso

Cemento : 323.907kg/m<sup>3</sup>

Agregado grueso : 1490.580 kg/m<sup>3</sup>

Agregado fino : 41.694 kg/m<sup>3</sup>



Agua : 97.172 lt/m<sup>3</sup>

$$\frac{323.907}{323.907} : \frac{1490.580}{323.907} : \frac{41.694}{323.907} : \frac{97.172}{323.907} * 42.5$$

1: 4.60: 0.13/12.750 *litros/bolsa*

Proporcionamiento en volumen

Cemento : 0.103 m<sup>3</sup>

Agregado grueso : 0.565m<sup>3</sup>

Agregado fino : 0.015m<sup>3</sup>

Agua : 0.097m<sup>3</sup>

$$\frac{0.103}{0.103} : \frac{0.565}{0.103} : \frac{0.015}{0.103} : \frac{0.097}{0.103} * 42.5$$

1: 5.49: 0.15/12.75 *litros/bolsa*

## 5.1.2 Ensayos en estado fresco y endurecido del concreto permeable

### 5.1.2.1. Asentamiento del concreto permeable

“El asentamiento (propiedad física del concreto permeable en estado fresco) en general es cero; sin embargo, se han usado valores en el rango de 20 a 50 mm. La prueba de asentamiento, se puede realizar de acuerdo con la ASTM C143, pero no es una prueba que se considera para fines de control de calidad, como en el caso del concreto convencional, sólo se considera como un valor de referencia, debido principalmente a que la mezcla es demasiado rígida y la medición del revenimiento en la mayoría de casos no es aplicable”. (Carlos Aire, 2011).

En la presente investigación, este ensayo se realizó bajo lo establecido en la norma NTP 339.035, en correspondencia a la ASTM C 143.



**Figura 10 — En laboratorio realizando la prueba del cono de Abrams**

#### **5.1.2.2. Peso volumétrico**

“El peso unitario del concreto fresco se determina de acuerdo con la norma ASTM C-138. Este método de prueba cubre la determinación de la densidad del hormigón fresco y señala las fórmulas para calcular el rendimiento, contenido de cemento, y contenido de aire del hormigón fresco”. (MTC, 2016)

Procedimiento de ensayo

El peso unitario del concreto poroso oscila entre 1600 a 2000 kg/m<sup>3</sup>, esto depende de la cantidad de vacíos.

El peso unitario se utiliza para controlar la calidad del concreto recién mezclado.

Una masa volumétrica más baja puede indicar:

- Que los materiales han cambiado.
- Un mayor contenido de aire.
- Un mayor contenido de agua.

- Un cambio en las proporciones de los ingredientes.
- Un menor contenido de cemento.

Inversamente, la masa volumétrica más alta indicara lo contrario de las características del concreto antes mencionadas.



Figura 11 — En laboratorio realizando la prueba de peso unitario

Tabla 18 — Peso unitario por cada porcentaje de vacíos – DI

Ensayo	Contenido De Vacíos (%)	Peso (Kg)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Peso Unitario (Kg/m <sup>3</sup> )
1	12	20.51	0.01	2172.38
2	17	18.55	0.01	1965.47
3	22	15.93	0.01	1687.26



Figura 12 — Prueba de peso unitario del concreto permeable

Tabla 19 — Peso unitario por cada porcentaje de vacíos - DII

Ensayo	Contenido De Vacíos (%)	Peso (Kg)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Peso Unitario (Kg/m <sup>3</sup> )
1	12	19.68	0.01	2084.77
2	17	17.72	0.01	1877.54
3	22	16.51	0.01	1749.45

### 5.1.2.3. Elaboración y curado de especímenes de hormigón (concreto en el laboratorio)

Se realizará según las recomendaciones de las normas: NTP 339.0183, ASTM C192. (MTC, 2016)

#### Procedimiento de ensayo

Mezcla de concreto: La mezcla de concreto debe ser tal, que deje un 10% de residuo después de haber moldeado el espécimen de ensayo.

Mezcla con máquina: Antes que empiece la rotación de la mezcladora se debe introducir el agregado grueso con algo del agua que se use en la mezcla y la solución del aditivo, cuando ésta se requiera.

Mezcla manual: Se debe hacer la mezcla en una bandeja o vasija metálica, impermeable, limpia y húmeda, con un palustre despuntado de albañil.

Determinación del asentamiento: Se debe medir el asentamiento de cada bachada de acuerdo con la norma MTC E 705. Determinación del contenido de aire: Se debe determinar el contenido del aire de acuerdo con la norma MTC E 706. El concreto usado para determinar el contenido de aire se debe decantar.

Vaciado del concreto

Lugar del moldeo: Se deben moldear los especímenes lo más cerca posible al lugar donde se van a guardar para su fraguado en las siguientes 24 horas.

Colocación: El concreto se debe colocar en los moldes utilizando un palustre o utensilio similar. Se debe seleccionar cada palada de concreto de tal manera que sea representativa de la fachada.

Compactación: La selección del método de compactación debe hacerse con base en el asentamiento, a menos que el método sea establecido en las especificaciones bajo las cuales se trabaja. Apisonado por varillado: Se coloca el concreto en el molde con el número de capas requeridas tabla (20) aproximadamente del mismo volumen.

**Tabla 20 — Número de capas requeridas en la elaboración de las muestras**

<b>Tipo De Tamaño De La Muestra En Mm (Pulgadas)</b>	<b>Método De Compactación</b>	<b>Números De Capas</b>	<b>Altura Aproximada De La Capa En Mm (Pulgadas)</b>
CILINDROS Hasta 300(12) Mayor que 300(12)	Apisonado(varillado) Apisonado(varillado)	3 iguales Las requeridas	100(4)
Hasta 460(18) Mayor que 460(18)	Vibración Vibración	2 iguales 3 o más	200(4)
PRISMAS Hasta 200(8) Mayor que 200(8)	Apisonado(varillado) Apisonado(varillado)	2 iguales 3 o más	100(4)
Hasta 200(8) Mayor que 200(8)	Vibración Vibración	1 2 o más	200(8) C 172

Extraído de MTC, 2016

Vibración: Manténgase un mismo tiempo de vibración para un conjunto particular de concreto, vibrador y molde que se esté utilizando.







Figura 13 — Curado de especímenes de concreto permeable – tamaño N.º 8



Figura 14 — Curado de especímenes de concreto permeable – tamaño N.º 67

### Ensayos en estado endurecido del concreto permeable

Es importante conocer el comportamiento del hormigón permeable en estado endurecido para poder obtener información sobre su comportamiento (como el comportamiento de

compresión y flexión) a través de pruebas de laboratorio de muestra. Las pruebas que se deben realizar son las siguientes:

#### **5.1.2.4. Comprobación de espacios vacíos**

La Comprobación de vacíos se resuelve como un porcentaje y esta corrobora el porcentaje de vacíos calculado en el diseño, además está directamente enlazada con el peso unitario de una determinada mezcla de concreto permeable. Además esta depende de los factores como la gradación del agregado, de la relación agua – material cementoso y del esfuerzo de compactación.

El porcentaje de huecos calculado como porcentaje de aire debe ser 15% o mayor, se recomienda que este porcentaje no supere el 25% por la poca estabilidad de la mezcla, cuanto mayor es el porcentaje de huecos mayor es la velocidad de filtración y menor es la resistencia a la compresión, además, la resistencia aumenta a medida que disminuye el agregado de tamaño máximo nominal.

#### **Principio de Arquímedes**

El principio de Arquímedes establece que cada cuerpo humano sumergido en líquido soportará un empuje vertical hacia arriba, que es igual al peso del líquido descargado.

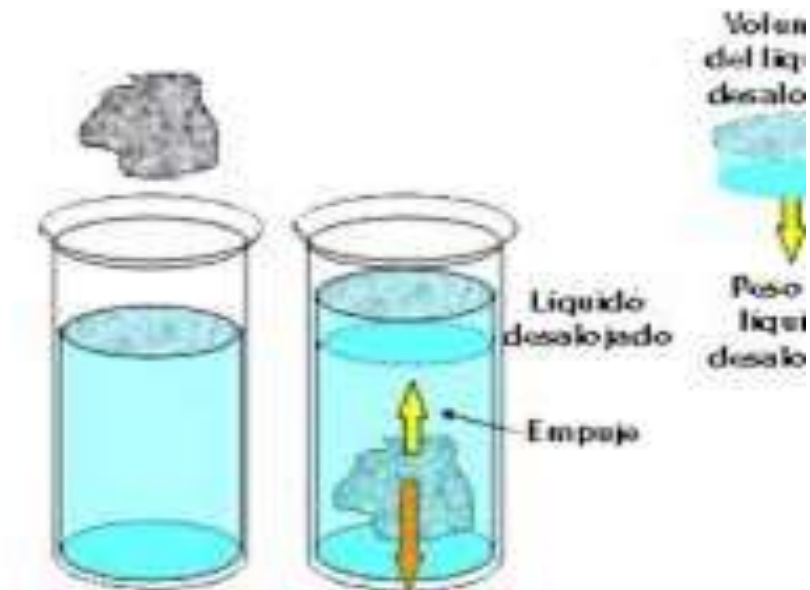
El principio de Arquímedes se basa en dos hechos:

Cuando el fluido está en equilibrio, la presión es la misma en todos los puntos a la misma profundidad.

La presión aplicada en cualquier punto del fluido no se transmitirá a todos los puntos del fluido en todas las direcciones (principio de Pascal).

Cuando se sumerge un objeto en un recipiente lleno de agua se observa un cambio en el nivel de líquido en el líquido. Esto se debe a que el objeto reemplaza una parte del líquido igual al volumen del objeto, por lo que se puede decir que la cantidad de líquido descargado depende del volumen del sumergible.





**Figura 15 — Principio de Arquímedes**

- Anotar las dimensiones de la muestra.
- Sumergir la muestra dentro de un recipiente que contenga agua.
- Medir el agua desplazada.



**Figura 16 — Comprobación de espacios vacíos, huso 8**

### **Cálculo y resultados**

Para realizar el cálculo para la comprobación de porcentaje de vacíos mediante el principio de Arquímedes, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\%vacios = \frac{Vmuestra - Vaguadesplazada}{Vmuestra}$$

Ahora se muestra los resultados de la comprobación de vacíos de los diseños DI12, DI17, DI22, DII12, DII17, DII22, de la cantera Quispe.

**Tabla 21 — Comprobación de porcentaje de vacíos de agregado tamaño N.º 8 huso 8**

Ensayo	Contenido De Vacíos	Volumen Desplazada (Vd) Lts	Diámetro (Cm)	H (Cm)	Volumen De La Muestra (Vm) Lts	Contenido De Vacíos
1	12	4.82	15.1	30.6	5.48	12.04
2		4.73	15	30.5	5.39	12.24
3		4.8	15.1	30.5	5.46	12.12
4		4.78	15.2	30	5.44	12.19
5		4.74	15.1	30.1	5.39	12.06
1	17	4.45	15.1	30	5.37	17.17
2		4.48	15.1	30.2	5.41	17.16
3		4.4	15	30.1	5.32	17.28
4		4.33	14.9	30	5.23	17.22
5		4.34	14.9	30	5.23	17.03
1	22	4.2	15.1	30.2	5.41	22.34
2		4.25	15.2	30.1	5.46	22.19
3		4.18	15	30.3	5.35	21.93
4		4.25	15.2	30.1	5.46	22.19
5		4.16	15	30.2	5.34	22.05

Tabla 22 — Comprobación de porcentaje de vacíos de agregado tamaño N.º 67

Ensayo	Contenido De Vacíos	Volumen Desplazada (Vd) Lts	Diámetro (Cm)	H (Cm)	Volumen De La Muestra (Vm) Lts	Contenido De Vacíos
1	12	4.6	14.9	30	5.23	12.06
2		4.79	15.2	30	5.44	12.01
3		4.84	15.2	30.5	5.53	12.55
4		4.8	15.1	30.5	5.46	12.12
5		4.79	15.2	30.1	5.46	12.3
1	17	4.55	15.2	30.3	5.5	17.25
2		4.58	15.2	30.5	5.53	17.25
3		4.46	15.1	30.1	5.39	17.26
4		4.59	15.3	30.1	5.53	17.06
5		4.54	15.2	30.2	5.48	17.15
1	22	4.24	15.2	30	5.44	22.11
2		4.23	15.2	30.1	5.46	22.55
3		4.22	15.2	30.2	5.48	22.99
4		4.14	15	30.1	5.32	22.17
5		4.24	15.2	30	5.44	22.11

#### 5.1.2.5. Resistencia a la compresión de testigos cilíndricos

Se realiza según las recomendaciones de las normas: ACI 325, ACI 330, ACI 522.R-10, NTP 339.034, ASTM C39, AASHTO-93 y ASTM C-31. “La resistencia a la compresión (propiedad mecánica del concreto permeable en estado endurecido), es la prueba mas común del concreto convencional, que se encuentra relacionado con muchas de sus características como es el caso del modulo de elasticidad. La National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA) y la Asociación de pavimentos de Concreto (APCA) tienen una política de que el ensayo de resistencia a la compresión es el método preferido de aceptación del concreto, los comités ACI 325 y 330 sobre la construcción y diseño de pavimentos de concreto y la Asociación del Cemento Portland (PCA) puntualizan la utilización de los ensayos de resistencia a la compresión como los mas convenientes y confiables”. ( ACI 522.R-10)

“Según el ACI 522.R-10, no se han estandarizado procedimientos de prueba de esfuerzo a compresión para especímenes de concreto permeable, pues reconoce que la aplicación y sus características son diferentes, un hecho

importante es que su propiedad principal es la permeabilidad y es inversamente proporcional a la resistencia a la compresión. Sin embargo, al no existir otro método de prueba de resistencia a la compresión específico para concreto permeable, ésta se obtuvo bajo lo establecido en la norma NTP 339.034, ASTM C 39”. (MTC, 2016)

#### Procedimiento de ensayo

“El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a cilindros moldeados o a núcleos, a una velocidad de carga prescrita, hasta que se presente la falla. La resistencia a la compresión del espécimen se determina dividiendo la carga aplicada durante el ensayo por la sección transversal de éste. Los resultados de este ensayo se pueden usar como base para el control de calidad de las operaciones de dosificación, mezclado y colocación del concreto; para el cumplimiento de especificaciones y como control para evaluar la efectividad de aditivos y otros usos similares. Se debe tener cuidado en la interpretación del significado de las determinaciones de la resistencia a la compresión mediante este método de ensayo, por cuanto la resistencia no es una propiedad intrínseca fundamental del concreto elaborado con determinados materiales. Los valores obtenidos dependen del tamaño y forma del espécimen, de la tanda, de los procedimientos de mezclado, de los métodos de muestreo, moldes y fabricación, así como de la edad, temperatura y condiciones de humedad durante el curado”. (MTC, 2016).

El equipo utilizado es la prensa hidráulica.

La muestra curada en agua debe someterse a una prueba de compresión inmediatamente después de sacarla de la posición de curado

Durante el período desde el momento en que la muestra se saca del sitio curado hasta la prueba, se debe utilizar cualquier método conveniente para mantener la muestra húmeda. Deben probarse en condiciones húmedas.

Colocación de la muestra: Se coloca el bloque de carga inferior sobre la plataforma de la máquina de ensayo, directamente debajo del bloque superior.

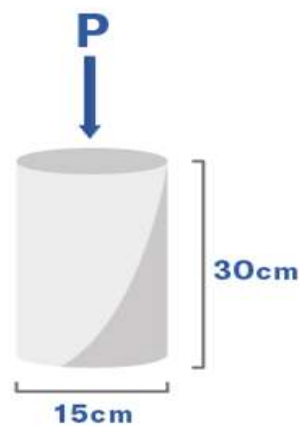
Velocidad de carga: Se aplica la carga continuamente sin golpes bruscos.

La resistencia a la compresión de la muestra debe estar cerca del valor esperado y se obtiene dividiendo la carga de rotura (Kg) por la sección transversal de la muestra ( $\text{cm}^2$ ).

Se aplica la carga hasta que el indicador señale que ella comienza a decrecer de manera continua y el cilindro muestra un patrón de falla bien definido.

Cálculo y resultados

La resistencia a la compresión de la muestra debe estar cerca del valor esperado y se obtiene dividiendo la carga de rotura (Kg) por la sección transversal de la muestra ( $\text{cm}^2$ ).



**Figura 17 — Dimensiones de cada espécimen**



Figura 18 — Preparación de los especímenes para el ensayo a resistencia a la compresión

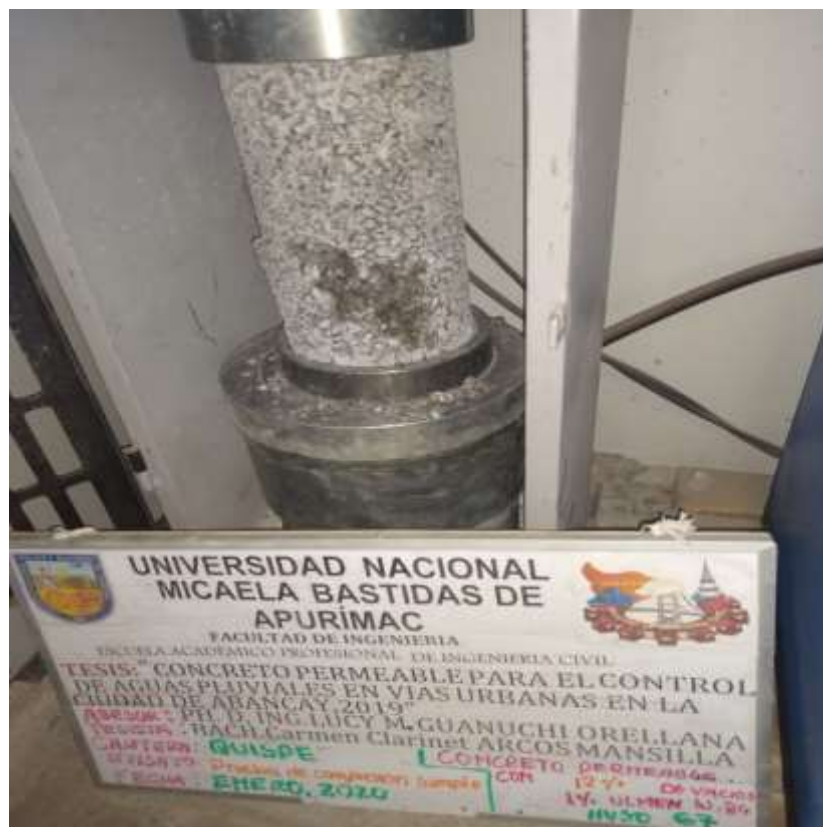


Figura 19 — Resistencia a la compresión de testigos cilíndricos – tamaño N°8



**Figura 20 — Resistencia a la compresión de testigos cilíndricos – tamaño N°67**

A continuación, se muestran los resultados de cada uno de los ensayos de compresión simple tanto de los tamaños de agregado N.º 8 y 67, eh aquí las tablas siguientes:



Tabla 23 — Ensayo de compresión simple 12% – agregado huso 8

Porcentaje De Vacíos: 12%						Huso 8		
Ensayo	Edad	Peso (Kg)	Dm (Cm)	H (Cm)	Área (Cm <sup>2</sup> )	Carga (Kg)	Tipo De Falla	F' C (Kg/Cm <sup>2</sup> )
1	7	10.41	15	30.2	176.71	44836	corte	253.70
2	7	10.54	15	30.2	176.71	45272	corte	256.20
3	7	10.39	15	30	176.71	44849	corte	253.80
4	7	10.25	15	30.1	176.71	43229	corte	244.60
5	7	10.41	15	30.6	176.71	46363	corte	262.40
							<b>PROMEDIO</b>	254.10
<b>Desviación estándar</b>								6.41
1	14	10.5	15	29.9	176.71	45021	Corte Columnar	254.70
2	14	10.49	15	30.1	176.71	46919	Corte	265.50
3	14	10.39	15	30	176.71	45963	Corte	260.10
4	14	10.47	15	30	176.71	44724	Cónica	253.00
5	14	10.12	15	30.1	176.71	45161	Corte	255.60
							<b>PROMEDIO</b>	257.90
<b>Desviación estándar</b>								5.05
1	28	10.22	15	30	176.71	46098	corte	260.80
2	28	10.34	15	30.2	176.71	47979	corte	271.50
3	28	10.35	15	30	176.71	48950	cónica	277.00
4	28	10.31	15	29.9	176.71	49605	corte	280.70
5	28	10.64	15	30	176.71	48224	corte	272.90
							<b>PROMEDIO</b>	272.60
<b>Desviación estándar</b>								7.51



Tabla 24 — Ensayo de compresión simple 17% – agregado huso 8

Porcentaje De Vacíos: 17%						Huso 8		
Ensayo	Edad	Peso (Kg)	Dm (Cm)	H (Cm)	Área (Cm <sup>2</sup> )	Carga (Kg)	Tipo De Falla	F' C (Kg/Cm <sup>2</sup> )
1	7	10.21	15	29.9	176.71	32709	corte	185.10
2	7	10.24	15	30.1	176.71	30546	corte	172.90
3	7	10.29	15	30	176.71	32496	corte	183.90
4	7	10.25	15	30	176.71	31691	corte	179.30
5	7	10.19	15	30.1	176.71	32542	corte	184.20
							<b>PROMEDIO</b>	181.10
<b>Desviación estándar</b>								5.10
1	14	10.26	15	30	176.71	33596	Cono Corte	190.10
2	14	10.21	15	30	176.71	28274	Corte	160.00
3	14	10.19	15	30.1	176.71	34670	Corte	196.20
4	14	10.15	15	30	176.71	36772	Cono Corte	208.10
5	14	10.18	15	30.1	176.71	35330	Corte	199.90
							<b>PROMEDIO</b>	190.90
<b>Desviación estándar</b>								18.44
1	28	10.26	15	30	176.71	37632	Corte	212.40
2	28	10.2	15	30	176.71	36466	Corte	206.40
3	28	10.27	15	30.1	176.71	37862	Corte	214.30
4	28	10.25	15	30.1	176.71	38459	Corte	217.60
5	28	10.16	15	30	176.71	35723	Corte	202.20
							<b>PROMEDIO</b>	210.60
<b>Desviación estándar</b>								6.21

Tabla 25 — Ensayo de compresión simple 22% – agregado huso 8

Porcentaje De Vacíos: 22%						Huso 8		
Ensayo	Edad	Peso (Kg)	Dm (Cm)	H (Cm)	Área (Cm <sup>2</sup> )	Carga (Kg)	Tipo De Falla	F'c (Kg/Cm <sup>2</sup> )
1	7	10.01	15	30.1	176.71	21041	corte	119.10
2	7	9.91	15	30	176.71	20082	corte	113.60
3	7	9.89	15	30.1	176.71	22127	columnar	125.20
4	7	9.94	15	29.7	176.71	26594	corte	150.50
5	7	9.88	15	30	176.71	19494	corte	110.30
							<b>PROMEDIO</b>	123.70
<b>Desviación estándar</b>								15.99
1	14	9.95	15	30	176.71	29723	Corte	168.20
2	14	9.91	15	29.9	176.71	25711	Corte	145.50
3	14	10.02	15	30.2	176.71	24453	Corte	138.40
4	14	9.74	15	30	176.71	23344	Corte	132.10
5	14	10.04	15	30.1	176.71	25004	Corte	141.50
							<b>PROMEDIO</b>	145.10
<b>Desviación estándar</b>								13.79
1	28	9.98	15	30	176.71	29889	Corte	169.10
2	28	9.81	15	30	176.71	29111	Corte	164.70
3	28	10.04	15	30	176.71	27708	Corte	156.80
4	28	9.94	15	30	176.71	29270	Corte	165.60
5	28	9.94	15	30.1	176.71	26174	Cónica	148.10
							<b>PROMEDIO</b>	160.90
<b>Desviación estándar</b>								8.43

Tabla 26 — Ensayo de compresión simple 12% – agregado huso 67

Porcentaje De Vacíos: 12%						Huso 67		
Ensayo	Edad	Peso (Kg)	Dm (Cm)	H (Cm)	Área (Cm <sup>2</sup> )	Carga (Kg)	Tipo De Falla	F'c (Kg/Cm <sup>2</sup> )
1	7	10.89	15	30.2	176.71	24775	corte	140.20
2	7	10.91	15	30.3	176.71	24387	corte	138.00
3	7	10.95	15	30	176.71	24340	corte	137.70
4	7	10.94	15	30.2	176.71	23246	columnar	131.50
5	7	10.88	15	30.1	176.71	23763	corte	134.40
							<b>PROMEDIO</b>	136.40
<b>Desviación estándar</b>								3.42
1	14	10.9	15	30.2	176.71	27249	Corte	154.20
2	14	10.92	15	30.1	176.71	28274	Corte	160.00
3	14	10.89	15	30.2	176.71	26189	Corte	148.20
4	14	10.94	15	30.2	176.71	30041	Corte	170.00
5	14	10.89	15	30.2	176.71	24389	Corte	138.00
							<b>PROMEDIO</b>	154.10
<b>Desviación estándar</b>								12.06
1	28	10.93	15	30.1	176.71	35573	Corte	201.30
2	28	10.91	15	30.2	176.71	35785	Corte	202.50
3	28	10.94	15	30.1	176.71	34406	Corte	194.70
4	28	10.94	15	30	176.71	31968	Corte	180.90
5	28	10.91	15	30	176.71	33854	Corte	191.50
							<b>PROMEDIO</b>	194.20
<b>Desviación estándar</b>								8.71

Tabla 27 — Ensayo de compresión simple 17% – agregado huso 67

Porcentaje De Vacíos: 17%						Huso 67		
Ensayo	Edad	Peso (Kg)	Dm (Cm)	H (Cm)	Área (Cm <sup>2</sup> )	Carga (Kg)	Tipo De Falla	F' C (Kg/Cm <sup>2</sup> )
1	7	10.81	15	30	176.71	19002	Corte	107.50
2	7	10.82	15	30	176.71	17831	Corte	100.90
3	7	10.79	15	30.1	176.71	21193	Corte	119.90
4	7	10.75	15	30.2	176.71	19903	Corte	112.60
5	7	10.9	15	30	176.71	15508	Corte	87.80
							<b>PROMEDIO</b>	105.70
<b>Desviación estándar</b>								12.21
1	14	10.83	15	30	176.71	22427	Corte	126.90
2	14	10.84	15	30.1	176.71	21362	Corte	120.90
3	14	10.79	15	30	176.71	19621	Corte	111.00
4	14	10.81	15	30	176.71	20773	Corte	117.60
5	14	10.79	15	29.9	176.71	20874	Corte	118.10
							<b>PROMEDIO</b>	118.90
<b>Desviación estándar</b>								5.76
1	28	10.81	15	30	176.71	23481	corte	132.90
2	28	10.82	15	29.8	176.71	26318	corte	148.90
3	28	10.79	15	30	176.71	22233	corte	125.80
4	28	10.8	15	29.9	176.71	18746	corte	106.00
5	28	10.78	15	30	176.71	27326	corte	154.60
							<b>PROMEDIO</b>	133.60
<b>Desviación estándar</b>								19.35

Tabla 28 — Ensayo de compresión simple 22% – agregado huso 67

Porcentaje De Vacíos: 22%						Huso 67		
Ensayo	Edad	Peso (Kg)	Dm (Cm)	H (Cm)	Area (Cm <sup>2</sup> )	Carga (Kg)	Tipo De Falla	F'c (Kg/Cm <sup>2</sup> )
1	7	10.69	15	30.1	176.71	13623	corte	77.00
2	7	10.71	15	30.2	176.71	15944	corte	90.20
3	7	10.68	15	30.1	176.71	10730	corte	60.70
4	7	10.67	15	30	176.71	13296	corte	75.20
5	7	10.64	15	29.9	176.71	14900	corte	84.30
							<b>PROMEDIO</b>	77.50
<b>Desviación estándar</b>								11.13
1	14	10.6	15	30	176.71	15247	corte	86.30
2	14	10.65	15	29.9	176.71	13302	corte	75.20
3	14	10.64	15	30	176.71	13639	corte	77.10
4	14	10.66	15	29.9	176.71	19209	corte	108.70
5	14	10.71	15	30.1	176.71	13866	corte	78.50
							<b>PROMEDIO</b>	85.20
<b>Desviación estándar</b>								13.82
1	28	10.69	15	30	176.71	22209	Corte	125.60
2	28	10.66	15	29.9	176.71	18053	Corte	102.20
3	28	10.68	15	30	176.71	18862	Corte	106.70
4	28	10.69	15	30.1	176.71	16133	Corte	91.20
5	28	10.7	15	30	176.71	18962	Corte	96.00
							<b>PROMEDIO</b>	104.30
<b>Desviación estándar</b>								13.27

#### 5.1.2.6. Resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo

Se realizará según las recomendaciones de las normas: ASTM C 78, ASTM C293 y NTP 339.078, las cuales establecen el siguiente procedimiento, como señala (MTC, 2016):

Procedimiento de ensayo

Se elaboraron vigas de dimensiones 15 cm de ancho, 15 cm de altura y de 53 cm de largo.

Se mide las dimensiones de cada una de las vigas así también el peso.

La muestra se gira desde un lado de su posición de moldeo y se centra en el bloque de carga. El sistema de carga está centrado en relación con la fuerza. En el tercer punto entre los soportes, el bloque de aplicación de la carga se pone en contacto con la superficie de la muestra y se aplica una carga entre el 3% y el 6% de la carga final estimada.

La carga debe aplicarse continuamente sin impacto, y la velocidad debe estar entre 0,9 MPa / min y 1,2 MPa / min para aumentar la tensión de la última fibra hasta que se produzca la fractura.

Se toman tres medidas de cada dimensión (una para cada borde y centro) con una precisión de 1.3 mm (0.05 pulgadas) para determinar el ancho promedio, la altura promedio y la ubicación de la línea de ruptura de la muestra. En la parte de la falla.



**Figura 21 — Resistencia a la flexión del concreto permeable – tamaño N.º 8**



**Figura 22 — Resistencia a la flexión del concreto permeable – tamaño N.º 8**

Cálculo y resultados

Se calcula el módulo de ruptura mediante la siguiente ecuación:

$$R = \frac{3PL}{2bd^2}$$

Donde:

R = Módulo de ruptura, Mpa (lb/pulg<sup>2</sup>).

p = Carga máxima aplicada indicada por la maquina de ensayo, N (lbf).

L = Luz (longitud) entre soportes, mm (pulg).

b = Ancho promedio de espécimen, mm (pulg).

d = Espesor promedio del espécimen, mm (pulg).

En las siguientes tablas se muestra los resultados:

Tabla 29 — Ensayo de resistencia a la flexión 12, 17 y 22% – agregado huso 67

Ensayo	% De Vacío	Edad (D)	Peso (Kg)	Longitud (Cm)	Ancho (Cm)	Profundidad (Cm)	Carga (Kg)	Mr (Kg/Cm <sup>2</sup> )
1	12	28	25.43	75	15	15	2556	56.8
2		28	25.25	75	15	15	2340	52
3		28	25.36	75	15	15	2486	55.2
<b>Promedio</b>								54.67
1	17	28	25.72	75	15	15	2434	54
2		28	24.96	75	15	15	1945	43.2
3		28	25.64	75	15	15	2700	60
<b>Promedio</b>								52.4
1	22	28	23.44	75	15	15	1412	31.3
2		28	23.68	75	15	15	1426	31.6
3		28	23.26	75	15	15	1186	26.3
<b>Promedio</b>								29.73

Tabla 30 — Ensayo de resistencia a la flexión 12, 17 y 22% – agregado huso 67

Ensayo	% De Vacío	Edad (D)	Peso (Kg)	Longitud (Cm)	Ancho (Cm)	Profundidad (Cm)	Carga (Kg)	Mr (Kg/Cm <sup>2</sup> )
1	12	28	24.31	75	15	15	1852	41.1
2		28	25.71	75	15	15	2574	57.2
3		28	25.39	75	15	15	2365	52.5
<b>Promedio</b>								50.27
1	17	28	26.17	75	15	15	2039	45.3
2		28	25.91	75	15	15	2048	45.3
3		28	24.73	75	15	15	1408	41.3
<b>Promedio</b>								43.97
1	22	28	24.89	75	15	15	1663	36.9
2		28	24.37	75	15	15	1828	40.6
3		28	23.46	75	15	15	1494	33.2
<b>Promedio</b>								36.9



### 5.2.1.6. Ensayo de permeabilidad

Esta es una de las pruebas más importantes del trabajo actual, porque permite comprender el coeficiente de permeabilidad del hormigón permeable. Se realizará según las recomendaciones de las normas: ASTM C1701 “Método Estándar para Prueba de Infiltración en el Concreto Permeable” y las recomendaciones que se encuentra en el reporte ACI 522R-10, para nuestro caso seguiremos las recomendaciones del reporte del ACI 522R-10, en el cual se utiliza un permeámetro de carga variable, donde se pone a prueba probetas de 10cm de diámetro y 15 cm de altura.



**Figura 23** — Equipo de ensayo de permeabilidad recomendado por el ACI 522.R  
Extraído de Reporte ACI 522R-10.

#### Procedimiento de ensayo

- Se elaboraron especímenes de 15cm de altura y de 10cm de diámetro.
- La muestra de concreto permeable se coloca envuelta en una membrana de látex para evitar que el agua fluya por los lados del espécimen.
- Agregue agua al cilindro graduado para llenar la celda del espécimen y el tubo de drenaje.
- Cuando la muestra está saturada y se establezca el flujo, tome la lectura de la altura de la columna de agua  $h_1$  en el tubo de ensayo.

- Marcar la altura de inicio en el tiempo de inicio  $t_1$  y abrir la válvula conectada a la muestra hasta que el nivel del agua alcance la altura  $h_2$  en el tiempo final  $t_2$ .



**Figura 24** — El tamaño de los especímenes a utilizar es de 10.0 cm de diámetro y de 15.0 cm de altura



**Figura 25 — Ensayo de permeabilidad del concreto permeable**

### Calculo y resultados

Se calcula el coeficiente de permeabilidad mediante la ley de Darcy.

$$k = \frac{l}{t} \times \frac{a}{A} \times \ln \frac{h_1}{h_2}$$

Donde:

k = Coeficiente de permeabilidad, cm/s.

L = Longitud de la muestra, cm.

A = Área de la muestra, cm<sup>2</sup>.

a = Área de la tubería de carga, cm<sup>2</sup>.

t = Tiempo en demora en pasar (h<sub>1</sub>-h<sub>2</sub>), seg.

h<sub>1</sub> = Altura del nivel de agua medida del nivel de referencia (superior de la muestra), cm.

h<sub>2</sub> = Altura de tubería de salida del agua con respecto al nivel de referencia, cm.

En pavimentos porosos este coeficiente debe ser clasificado como de alta permeabilidad para asegurar la filtración de agua de lluvia se filtre

rápidamente en la superficie. El concreto poroso debe exhibir alto grado de permeabilidad, que corresponde con el coeficiente de permeabilidad mayor que 0.001 m/s. Por lo tanto, la muestra cumple la especificación para el coeficiente de permeabilidad inicial mínimo para el concreto poroso, que puede ser utilizado en el sistema de pavimentos porosos.

**Tabla 31 — Coeficiente de permeabilidad y grado de permeabilidad**

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD k (m/s)			GRADO DE PERMEABILIDAD
	$\geq 0.001$		Alta
1.00E-03	a	1.00E-05	Media
1.00E-05	a	1.00E-07	Bajo
1.00E-07	a	1.00E-09	Muy bajo
	$< 10^{-9}$		Prácticamente impermeable

Extraído de American Concrete Institute – ACI 522 R-06.

La siguiente tabla muestra los resultados:

Tabla 32 — Ensayo de permeabilidad 12, 17 y 22% – agregado huso 8

% De Vacíos	Ensayo N°	Altura De La Muestra (L)	Diámetro Del Tubo (D)	Diámetro De La Muestra (D)	Área Del Tubo De Muestra (A)	Área De La Muestra (A)	Tiempo Inicial (T1)	Tiempo Final (T2)	Altura Inicial (H1)	Altura Final (H2)	Coficiente De Permeabilidad (K)	Coficiente De Permeabilidad (K)	Coficiente De Permeabilidad Media (Km)
		cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	seg	seg	cm	cm	cm/seg	m/seg	cm/seg
12	1	15	10	10	78.54	78.54	0	24.48	30	25	0.112	0.001	0.107
	2	15	10	10	78.54	78.54	0	25.26	30	25	0.108	0.001	
	3	15	10	10	78.54	78.54	0	26.92	30	25	0.102	0.001	
17	1	15	10	10	78.54	78.54	0	19.3	30	25	0.142	0.001	0.135
	2	15	10	10	78.54	78.54	0	20.33	30	25	0.135	0.001	
	3	15	10	10	78.54	78.54	0	21.33	30	25	0.128	0.001	
22	1	15	10	10	78.54	78.54	0	12.44	30	25	0.220	0.002	0.195
	2	15	10	10	78.54	78.54	0	14.56	30	25	0.188	0.002	
	3	15	10	10	78.54	78.54	0	15.55	30	25	0.176	0.002	

**Tabla 33 — Ensayo de permeabilidad 12, 17 y 22% – agregado huso 67**

% De Vacíos	Ensayo N°	Altura De La Muestra (L)	Diámetro Del Tubo (D)	Diámetro De La Muestra (D)	Área Del Tubo De Muestra (A)	Área De La Muestra (A)	Tiempo Inicial (T1)	Tiempo Final (T2)	Altura Inicial (H1)	Altura Final (H2)	Coefficiente De Permeabilidad (K)	Coefficiente De Permeabilidad (K)	Coefficiente De Permeabilidad Media (Km)
		Cm	Cm	Cm	Cm <sup>2</sup>	Cm <sup>2</sup>	Seg	Seg	Cm	Cm	Cm/Seg	Cm/Seg	Cm/Seg
12	1	15	10	10	78.54	78.54	0	19.56	30	25	0.1398171	0.001	0.140
	2	15	10	10	78.54	78.54	0	18.9	30	25	0.1446996	0.001	
	3	15	10	10	78.54	78.54	0	20.17	30	25	0.1355887	0.001	
17	1	15	10	10	78.54	78.54	0	11.03	30	25	0.2479441	0.002	0.228
	2	15	10	10	78.54	78.54	0	12.6	30	25	0.2170495	0.002	
	3	15	10	10	78.54	78.54	0	12.54	30	25	0.218088	0.002	
22	1	15	10	10	78.54	78.54	0	7.65	30	25	0.3574932	0.004	0.344
	2	15	10	10	78.54	78.54	0	8.25	30	25	0.3314937	0.003	
	3	15	10	10	78.54	78.54	0	7.95	30	25	0.3440029	0.003	

### 5.1.3 Análisis de la resistencia a la compresión $f'c$ (kg/cm<sup>2</sup>) del concreto permeable

**Tabla 34 — Tratamientos con los porcentajes de vacío y huso respectivo**

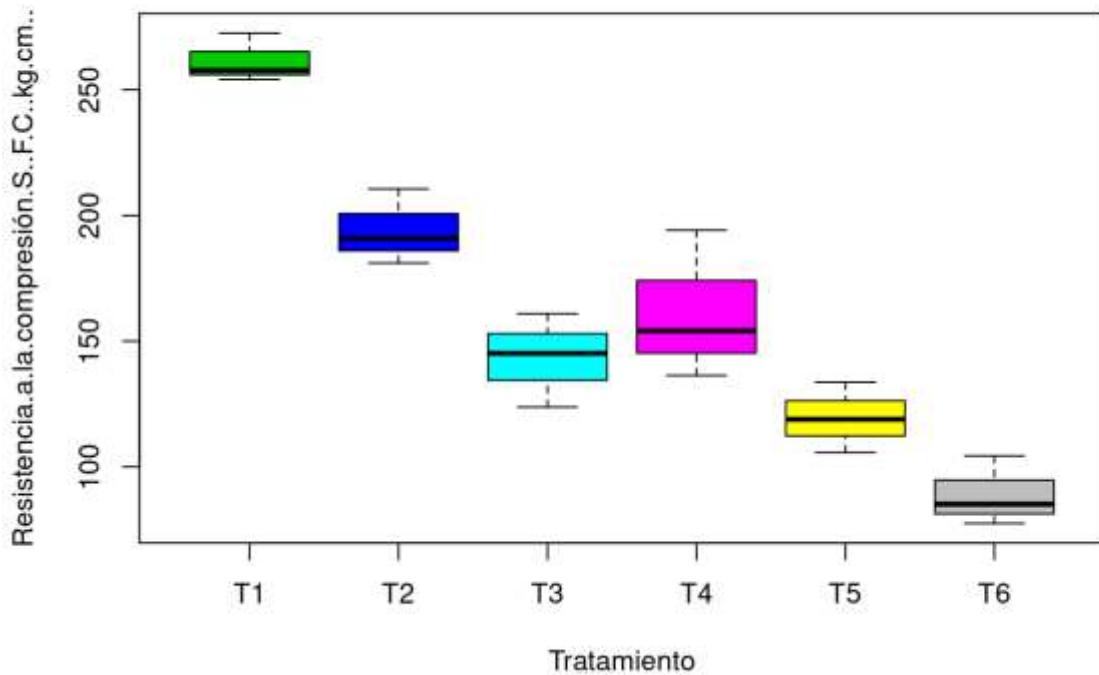
Descripción	Huso 8	Huso 67
12% de vacío	T1	T4
17% de vacío	T2	T5
22% de vacío	T3	T6

La tabla (34) muestra los tratamientos con los porcentajes de vacío y huso respectivo, en la que se observa que: 12% de vacío = T1, 17% de vacío = T2 y 22% de vacío = T3, que corresponde al huso 8 mientras que: 12% de vacío = T4, 17% de vacío = T5 y 22% de vacío = T6, correspondiente al huso 67.

**Tabla 35 — Datos del experimento relacionado a la resistencia a la compresión  $f'c$ (kg/cm<sup>2</sup>) de los diferentes tratamientos con 3 repeticiones**

Resistencia	T1	T2	T3	T4	T5	T6
R1	254.14	181.08	123.74	136.36	105.74	77.48
R2	257.78	190.86	145.14	154.08	118.9	85.16
R3	272.58	210.58	160.86	194.18	133.64	104.34
Total	784.5	582.52	429.74	484.62	358.28	266.98
Promedio	261.5	194.17	143.25	161.54	119.43	88.99
Varianza	95.39	225.8	347.2	877.53	194.81	191.39

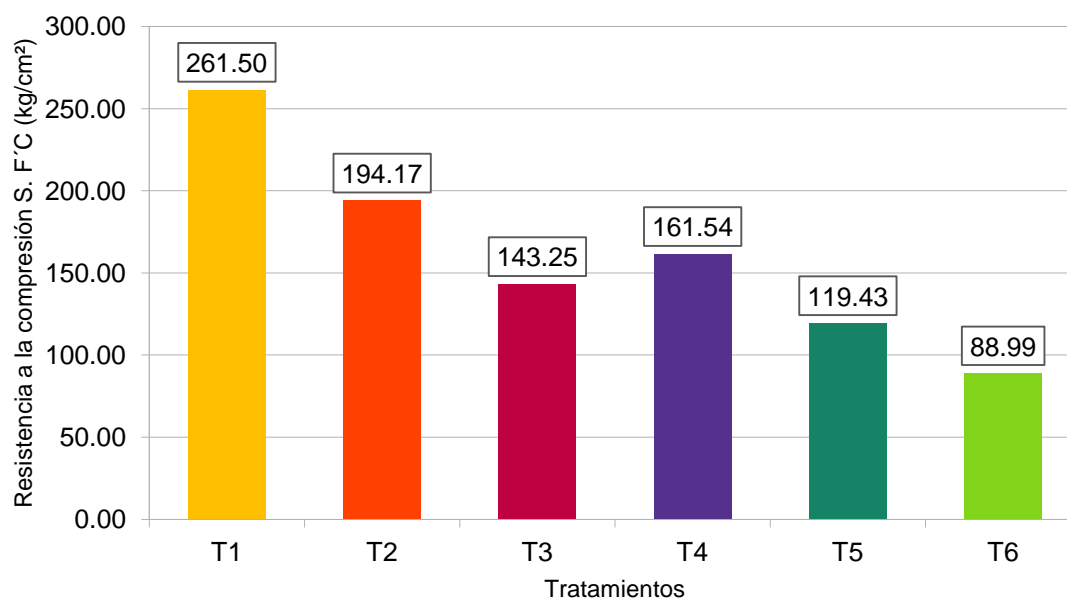
La tabla (35) muestra los datos recogidos del experimento relacionado a la resistencia a la compresión  $f'c$  (kg/cm<sup>2</sup>) de los 6 tratamientos (T1, T2, T3, T4, T5 y T6) considerados en este trabajo con 3 repeticiones (R1, R2 y R3), el promedio y la desviación estándar por cada tratamiento, en la que se puede observar que en promedio el tratamiento T1 ha obtenido mayor resistencia con aproximadamente 272.58 kg/cm<sup>2</sup> frente a los demás tratamientos y siendo el tratamiento T6 la que obtuvo menor resistencia de 77.48 kg/cm<sup>2</sup>, sin embargo cabe señalar que esto probablemente se deba a que al incrementar la permeabilidad se sacrifica la resistencia y viceversa, por lo que en estas condiciones es necesaria el nivel de resistencia requerida para calcular la permeabilidad o viceversa de acuerdo a la necesidad del proyecto de control de aguas pluviales en las calles de la ciudad de Abancay.



**Figura 26 — Gráfico de exploración de datos de la resistencia a la compresión  $f'c$  (kg/cm<sup>2</sup>) del concreto permeable de los diferentes tratamientos**

La figura (26) muestra el gráfico exploratorio de los datos respecto a la resistencia del concreto permeable en ella se observa que los tratamientos del huso 8 (T1, T2 y T3) poseen resistencias mayores a los de huso 67 y que la resistencia a la compresión del huso 67 (T4, T5 y T6) tienen mayor variabilidad por lo que se puede afirmar que el huso 8 es mejor al huso 67 en cuanto se refiere a la resistencia a la compresión.





**Figura 27 — Comparación del promedio entre tratamientos de la resistencia a la compresión  $f'c$  (kg/cm<sup>2</sup>) del concreto permeable**

La figura (27) muestra gráficamente los promedios de la resistencia del concreto permeable por tratamiento, en la que se observa que el tratamiento T1 correspondiente al huso 8 posee mayor resistencia y que corresponde al 12% del porcentaje de vacío la cual se aproxima a nivel de resistencia requerida para este tipo de concreto y para el tipo de vía. También se puede apreciar que el huso 67 es menor en la resistencia en cada una de los porcentajes de vacío por lo que se puede afirmar que el Huso 8 es considerablemente superior en cuanto a la resistencia del concreto permeable.

**Tabla 36 — Análisis de varianza del promedio de la resistencia a la compresión  $f'c$  (kg/cm<sup>2</sup>) de los diferentes tratamientos del concreto permeable**

Origen	Gl	Sc	Cm	Fc	P-valor	Sig
Entre Tratamientos	5	55284	11057	34.34	0.000	***
Residual	12	3864	322			
Total	17	59148	11379			

La tabla (36) muestra los datos más importantes del análisis de varianza del promedio de la Resistencia del concreto permeable de los diferentes tratamientos, en la que se observa que dado el  $p$ -valor =  $3.36e-13$  menor a 0.05 se puede afirmar que existe una diferencia



altamente significativa (al 99.9% de confiabilidad) entre el promedio de la resistencia del concreto permeable entre los tratamientos.

**Tabla 37 — Comparación múltiple de Tukey al 95% de confiabilidad de los promedios entre tratamientos de la resistencia a la compresión  $s. f'c$  (kg/cm<sup>2</sup>) del concreto permeable**

Tratamientos	Diferencia	Min	Max	P-valor
T2-T1	-67.327	-116.541	-18.113	0.006
T3-T1	-118.253	-167.467	-69.039	0.000
T4-T1	-99.960	-149.174	-50.746	0.000
T5-T1	-142.073	-191.287	-92.859	0.000
T6-T1	-172.507	-221.721	-123.293	0.000
T3-T2	-50.927	-100.141	-1.713	0.041
T4-T2	-32.633	-81.847	16.581	0.294
T5-T2	-74.747	-123.961	-25.533	0.003
T6-T2	-105.180	-154.394	-55.966	0.000
T4-T3	18.293	-30.921	67.507	0.806
T5-T3	-23.820	-73.034	25.394	0.599
T6-T3	-54.253	-103.467	-5.039	0.028
T5-T4	-42.113	-91.327	7.101	0.111
T6-T4	-72.547	-121.761	-23.333	0.003
T6-T5	-30.433	-79.647	18.781	0.359

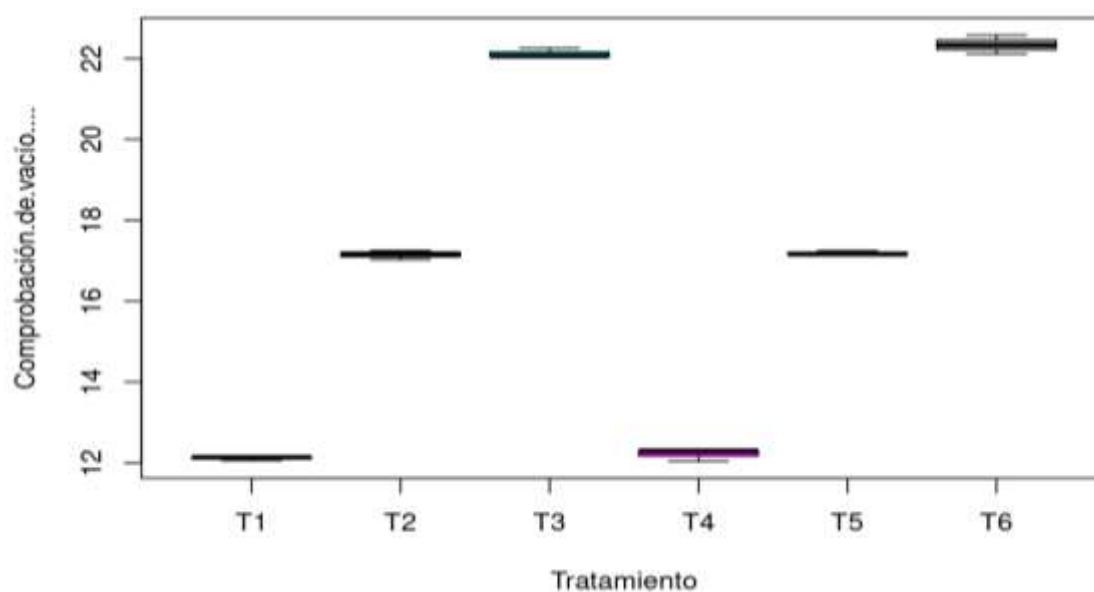
La tabla (37) muestra la comparación múltiple de Tukey al 95% de confiabilidad de los promedios entre tratamientos de la resistencia a la compresión  $S. f'c$  (kg/cm<sup>2</sup>) del concreto permeable es decir una comparación uno a uno de los seis tratamientos en la que se observa que el tratamiento t1 tiene diferencia significativa con todos los demás tratamientos tanto del huso 8 como del huso 67, sin embargo el porcentaje de vacío es menor planteado en este estudio por lo que no podemos considerar el mejor tratamiento puesto se requiere mayor permeabilidad con mayor resistencia. Sin embargo también podemos visualizar que hay una diferencia significativa entre los tratamientos T2 y T5 que corresponden al mismo porcentajes de vacío y la que es significativamente alto es el tratamiento T2, por lo tanto se debe tener en consideración.

### 5.1.4 Análisis de la comprobación de porcentaje de vacío del concreto permeable

**Tabla 38 — Datos del experimento relacionado a la comprobación de porcentaje de vacío (%) de los diferentes tratamientos con 3 repeticiones**

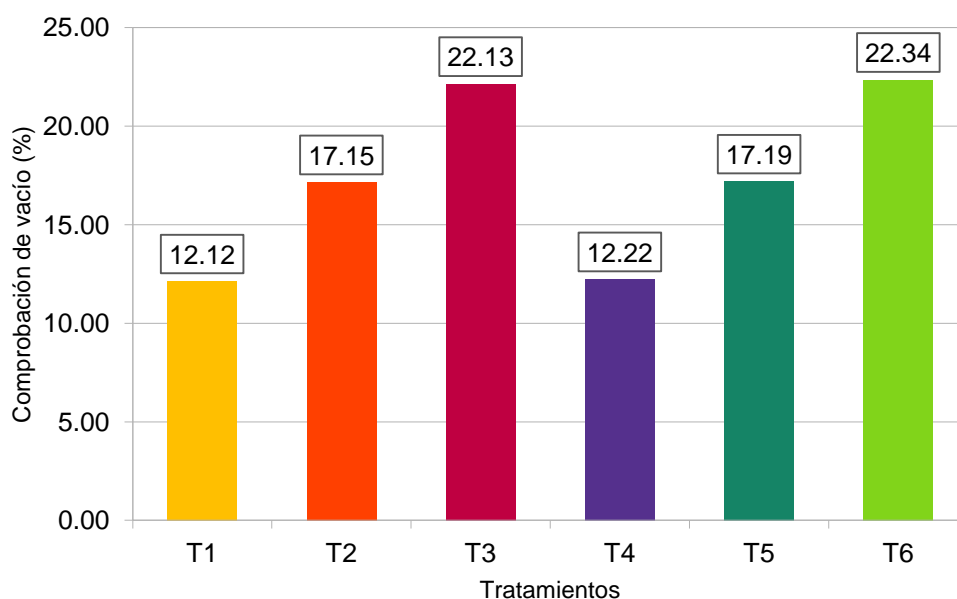
Porcentaje. V	T1	T2	T3	T4	T5	T6
R1	12.140	17.166	22.264	12.036	17.246	22.334
R2	12.156	17.252	22.061	12.334	17.158	22.581
R3	12.064	17.033	22.051	12.302	17.154	22.113
Total	36.361	51.451	66.376	36.671	51.559	67.027
Promedio	12.120	17.150	22.125	12.224	17.186	22.342
Varianza	0.002	0.012	0.014	0.027	0.003	0.055

La tabla (38) muestra los datos recogidos del experimento relacionado a la comprobación de porcentaje de vacío (%) real de los 6 tratamientos con sus 3 repeticiones, el promedio y la desviación estándar por cada tratamiento (T1, T2, T3, T4, T5 y T6), en la que se puede observar que los promedios de cada tratamiento se aproximan muy bien al valor teórico exigido por la experimentación (12%, 17% y 22%) por lo que confirma el buen de mezcla realizado.



**Figura 28 — Gráfico de exploración de datos del comprobación de porcentaje de vacío (%) del concreto permeable de los diferentes tratamientos**

La figura (28) muestra el gráfico exploratorio de los datos respecto el comprobación de porcentaje de vacío (%) del concreto permeable en ella se observa que los valores experimentales de porcentajes de vacío de los tratamientos del huso 8 (t1, t2 y t3) y del huso 67 (t4, t5 y t6) se aproxima a los porcentajes de vacío nominales que se ha planteado para este trabajo de investigación la que se detalla en la tabla (33).



**Figura 29 — Comparación del promedio entre tratamientos del comprobación de porcentaje de vacío (%) del concreto permeable**

La figura (29) como era de esperar, muestra el porcentaje de vacío experimental de los tratamientos y se puede observar que los valores experimentales se aproxima muy bien a los valores teóricos formuladas en este trabajo de investigación, por ejemplo se ha considerado el tratamiento T3 con 22% de porcentaje de vacío correspondiente al huso 8 y se observa en la experimentación que se ha logrado un porcentaje de vacío del tratamiento T3 de 22.13 de porcentaje de vacío, por lo tanto el diseño del concreto permeable a sido adecuado.

**Tabla 39 — Análisis de varianza del promedio de la comprobación de porcentaje de vacío (%) de los diferentes tratamientos del concreto permeable**

Origen	Gl	Sc	Cm	Fc	P-valor	Sig
Entre Tratamientos	5	303.7	60.74	3225	<2e-16	***
Residual	12	0.23	0.02			
Total	17	303.93	60.76			

La tabla (39) muestra el análisis de varianza del promedio del comprobación de porcentaje de vacío (%) de los diferentes tratamientos del concreto permeable al 95% de confiabilidad, en ella se observa que la diferencia del porcentaje de vacío entre los tratamientos es altamente significativa, es decir al menos uno de los tratamientos tiene en promedio el porcentaje de vacío diferente.

**Tabla 40 — Comparación múltiple de Tukey al 95% de confiabilidad de los promedios entre tratamientos de la comprobación de porcentaje de vacío (%) del concreto permeable**

Tratamientos	Diferencia	Min	Max	P-valor
T2-T1	5.030	4.654	5.406	0.000
T3-T1	10.003	9.627	10.380	0.000
T4-T1	0.103	-0.273	0.480	0.933
T5-T1	5.067	4.690	5.443	0.000
T6-T1	10.220	9.844	10.596	0.000
T3-T2	4.973	4.597	5.350	0.000
T4-T2	-4.927	-5.303	-4.550	0.000
T5-T2	0.037	-0.340	0.413	0.999
T6-T2	5.190	4.814	5.566	0.000
T4-T3	-9.900	-10.276	-9.524	0.000
T5-T3	-4.937	-5.313	-4.560	0.000
T6-T3	0.217	-0.160	0.593	0.429
T5-T4	4.963	4.587	5.340	0.000
T6-T4	10.117	9.740	10.493	0.000
T6-T5	5.153	4.777	5.530	0.000

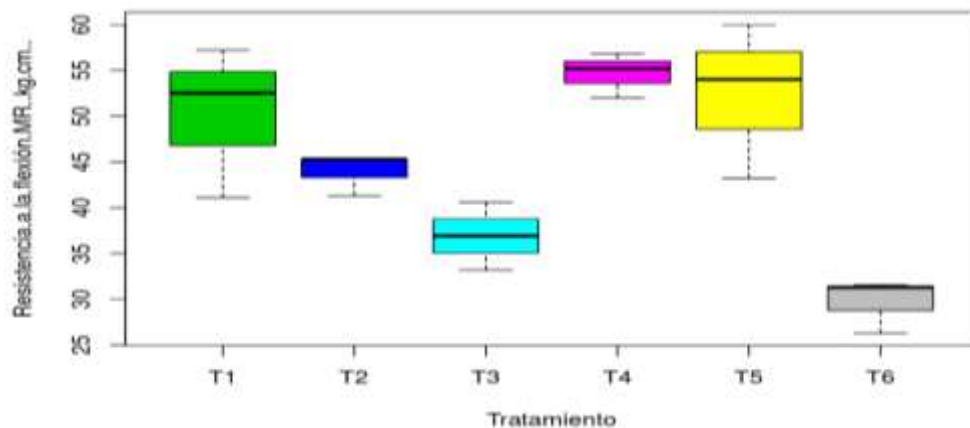
La tabla (40) muestra la comparación múltiple de Tukey al 95% de confiabilidad de los promedios entre tratamientos del comprobación de porcentaje de vacío (%) del concreto permeable para los husos 8 y 67, en ella nos interesa comparar el porcentaje de vacío de los tratamientos respecto a los huso, en ella se puede ver que la diferencia de porcentaje de vacío entre los tratamientos T3 y T6 no es significativa de igual manera sucede con los tratamientos T2 y T5 y análogamente con T1 y T4 como era de esperar.

### 5.1.5 Análisis de la resistencia a la flexión MR (kg/cm<sup>2</sup>) del concreto permeable

**Tabla 41 — Datos del experimento relacionado a la resistencia a la flexión MR (kg/cm<sup>2</sup>) de los diferentes tratamientos con 3 repeticiones**

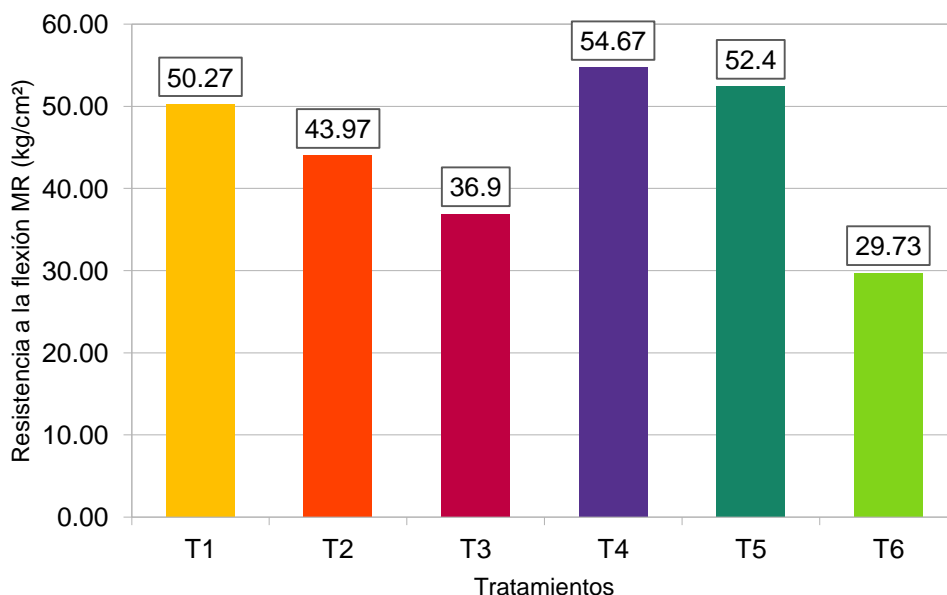
Flexión	T1	T2	T3	T4	T5	T6
R1	41.10	45.30	36.90	56.80	54.00	31.30
R2	57.20	45.30	40.60	52.00	43.20	31.60
R3	52.50	41.30	33.20	55.20	60.00	26.30
Total	150.80	131.90	110.70	164.00	157.20	89.20
Promedio	50.27	43.97	36.90	54.67	52.40	29.73
Varianza	68.54	5.33	13.69	5.97	72.48	8.86

La tabla (41) muestra los datos recogidos del experimento relacionado a la resistencia a la flexión MR (kg/cm<sup>2</sup>) del concreto permeable de los 6 tratamientos con sus 3 repeticiones, el promedio y la desviación estándar por cada tratamiento (t1, t2, t3, t4, t5 y t6), en la que se puede observar que el tratamiento t4 posee mayor flexión seguido por el tratamiento t5 y cercano a ellos se encuentra el t1 y el tratamiento de menos flexión es el tratamiento t6.



**Figura 30 — Gráfico de exploración de datos de resistencia a la flexión MR (kg/cm<sup>2</sup>) del concreto permeable de los diferentes tratamientos**

La figura (30) muestra el gráfico exploratorio de los datos respecto a la resistencia a la flexión MR (kg/cm<sup>2</sup>) del concreto permeable en ella se observa que los tratamientos T4 y T5 poseen un índice de flexión del concreto permeable ligeramente superior al del tratamiento T1, lo que sugiere que el huso 67 en el índice de flexión es mejor al huso 8 y en promedio el tratamiento con mejor índice de flexión es el tratamiento T4 es decir con un 12% de porcentaje de vacío sin embargo no es precisamente la permeabilidad exigida.



**Figura 31 — Comparación del promedio entre tratamientos de la flexión del concreto permeable**

La figura (31) muestra los promedios de los tratamientos de la resistencia a la flexión MR (kg/cm<sup>2</sup>) del concreto permeable, en ella se observa que los tratamientos T4 y T5 del huso 67 y T1 del huso 8 tienen mayor flexión por encima de 50 kg/cm<sup>2</sup> siendo T4 la que posee 54.67 de flexión, sin embargo, no es precisamente lo que buscamos ya que T4 es un tratamiento con menor porcentaje de vacío.

**Tabla 42 — Análisis de varianza del promedio de resistencia a la flexión MR (kg/cm<sup>2</sup>) de los diferentes tratamientos del concreto permeable**

Origen	Gl	Sc	Cm	Fc	P-valor	Sig
Entre Tratamientos	5	1424.9	284.99	9.78	0.001	***
residual	12	349.8	29.15			
Total	17	1774.7	314.14			

La tabla (42) muestra el análisis de varianza del promedio de resistencia a la flexión MR (kg/cm<sup>2</sup>) de los diferentes tratamientos del concreto permeable en ella se observa que la diferencia entre los promedios de flexión de los tratamientos es significativa al 99.9% de confiabilidad, es decir existe al menos un tratamiento cuyo coeficiente de flexión es diferente, sin embargo este análisis aun no nos permite conocer cuál es el tratamiento que es mejor en el coeficiente de flexión, para conocer este detalle se hace el análisis de Tukey la cual se halla en la siguiente tabla.

**Tabla 43 — Comparación múltiple de Tukey al 95% de confiabilidad de los promedios entre tratamientos de la resistencia a la flexión MR (kg/cm<sup>2</sup>) del concreto permeable**

Tratamientos	Diferencia	Min	Max	P-valor
--------------	------------	-----	-----	---------



T2-T1	-6.300	-21.107	8.507	0.711
T3-T1	-13.367	-28.173	1.440	0.086
T4-T1	4.400	-10.407	19.207	0.910
T5-T1	2.133	-12.673	16.940	0.996
T6-T1	-20.533	-35.340	-5.727	0.006
T3-T2	-7.067	-21.873	7.740	0.612
T4-T2	10.700	-4.107	25.507	0.221
T5-T2	8.433	-6.373	23.240	0.439
T6-T2	-14.233	-29.040	0.573	0.062
T4-T3	17.767	2.960	32.573	0.016
T5-T3	15.500	0.693	30.307	0.038
T6-T3	-7.167	-21.973	7.640	0.599
T5-T4	-2.267	-17.073	12.540	0.995
T6-T4	-24.933	-39.740	-10.127	0.001
T6-T5	-22.667	-37.473	-7.860	0.003

La tabla (43) Comparación múltiple de Tukey al 95% de confiabilidad de los promedios entre tratamientos de la resistencia a la flexión MR (kg/cm<sup>2</sup>) del concreto permeable en la que se observa que el tratamiento T4 y T5 no es significativa dado que el p-valor = 0.9945 es mayor a 0.05, también el tratamiento T2 y T4 no son significativas del mismo modo que T1 y T2, sin embargo T4 no es diferente Significativamente a T1 por lo que respecto al huso 67 y el huso 8 en cuanto a flexión no hay motivos para afirmar que son diferentes bajo el mismo porcentaje de vacío. También es importante notar que a mayor porcentaje de vacío se reduce la flexión y que si se busca el mayor porcentaje de vacío con mayor flexión el tratamiento T2 del huso 8 y el tratamiento T5 del huso 67 son la alternativa a tomar en cuenta para pavimentar las vías con baja transitabilidad en la ciudad de Abancay.

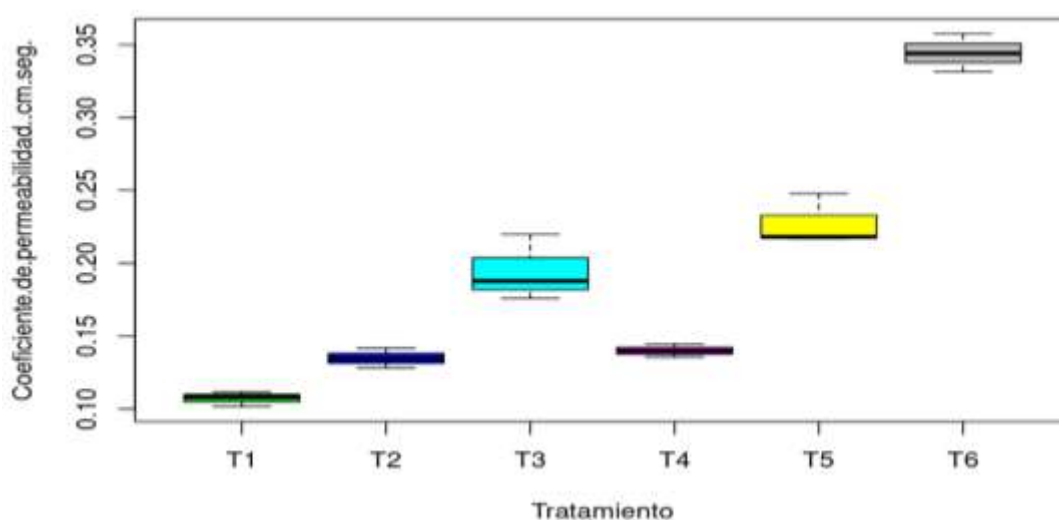
### 5.1.6 Análisis de la permeabilidad (cm/seg) del concreto permeable

**Tabla 44 — Datos del experimento relacionado a la permeabilidad (cm/seg) de los diferentes tratamientos con 3 repeticiones**

Permeabilidad	T1	T2	T3	T4	T5	T6
R1	0.112	0.142	0.220	0.140	0.248	0.357
R2	0.108	0.135	0.188	0.145	0.217	0.331
R3	0.102	0.128	0.176	0.136	0.218	0.344

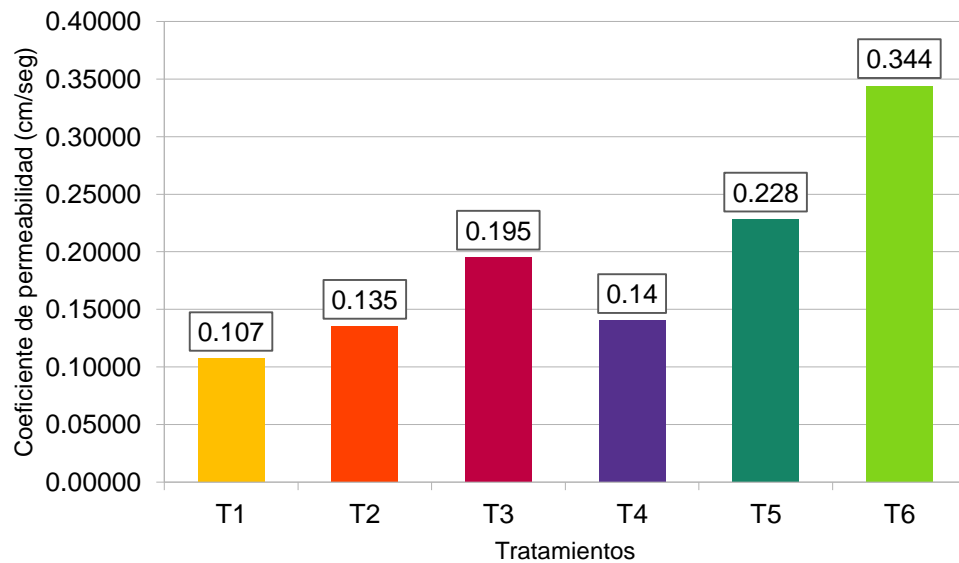
Total	0.322	0.404	0.584	0.420	0.683	1.033
Promedio	0.107	0.135	0.195	0.140	0.228	0.344
Varianza	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000

La tabla (44) muestra los datos recogidos del experimento relacionado a la permeabilidad (cm/seg) del concreto permeable de los 6 tratamientos (T1, T2, T3, T4, T5 y T6) con sus 3 repeticiones, el promedio y la desviación estándar, en la que se puede observar que el tratamiento T6 tiene mayor permeabilidad, sin embargo, esto se debe a que se ha considerado para este experimento el 22% de porcentaje de vacío, lo que además a mayor porcentaje de vacío menor resistencia.



**Figura 32 — Gráfico de exploración de datos de permeabilidad (cm/seg) del concreto permeable de los diferentes tratamientos**

La figura (32) muestra el gráfico exploratorio de los datos respecto a la permeabilidad (cm/seg) del concreto permeable en ella se observa que en general el índice de permeabilidad referente al huso 67 (T4, T5 y T6) es superior al índice de permeabilidad del tratamiento respecto al huso 8 en cada porcentaje de vacío, sin embargo es necesaria aclarar que al incrementar el porcentaje de vacío se incrementa la permeabilidad por lo que se puede afirmar que se sacrifica la resistencia del concreto permeable.



**Figura 33 — Comparación del promedio entre tratamientos de permeabilidad (cm/seg) del concreto permeable**

La figura (33) es la representación gráfica de los promedios entre tratamientos de permeabilidad (cm/seg) del concreto permeable para los diferentes tratamientos (T1, T2, T3, T4, T5 y T6), en ella se observa que el índice de permeabilidad del tratamiento T6 es superior al del tratamiento T3 que corresponden al mismo porcentajes de vacío de 22% del mismo modo el tratamiento T5 que corresponde al huso 67 es superior aparentemente al del tratamiento T2, por lo que se requiere el análisis de varianza para poder confirmar esta información.

**Tabla 45 — Análisis de varianza del promedio de permeabilidad (cm/seg) de los diferentes tratamientos del concreto permeable**

Origen	Gl	Sc	Cm	Fc	P-valor	Sig
Entre Tratamientos	5	0.11	0.02	124.9	0.000	***
residuales	12	0.002	0.000			
Total	17	0.12	0.02			

La tabla (45) muestra el análisis de varianza del promedio de permeabilidad (cm/seg) de los diferentes tratamientos del concreto permeable correspondientes a los Husos 8 y 67, en ella se puede ver que existe una diferencia altamente



significativa es decir al 99.9% de confiabilidad el promedio del índice de permeabilidad de los tratamientos son diferentes.

**Tabla 46 — Comparación múltiple de Tukey al 95% de confiabilidad de los promedios entre tratamientos de permeabilidad (cm/seg) del concreto permeable**

Tratamientos	Diferencia	Min	Max	P-valor
T2-T1	0.028	-0.009	0.064	0.194
T3-T1	0.087	0.050	0.124	0.000
T4-T1	0.033	-0.004	0.070	0.092
T5-T1	0.120	0.084	0.157	0.000
T6-T1	0.237	0.200	0.274	0.000
T3-T2	0.060	0.023	0.097	0.002
T4-T2	0.005	-0.032	0.042	0.996
T5-T2	0.093	0.056	0.130	0.000
T6-T2	0.210	0.173	0.246	0.000
T4-T3	0.054	-0.091	-0.018	0.003
T5-T3	0.033	-0.004	0.070	0.087
T6-T3	0.150	0.113	0.187	0.000
T5-T4	0.088	0.051	0.125	0.000
T6-T4	0.204	0.167	0.241	0.000
T6-T5	0.117	0.080	0.154	0.000

La tabla (46) muestra la comparación múltiple de Tukey al 95% de confiabilidad de los promedios entre tratamientos del índice de permeabilidad (cm/seg) del concreto permeable, en ella se observa que entre los tratamientos T3 y T6 hay una diferencia significativa en índice de permeabilidad favoreciendo al tratamiento T6 del huso 67, del mismo modo entre los tratamientos T2 y T5 hay una diferencia altamente significativa favoreciendo a T5 correspondiente al huso 67, sin embargo entre los tratamientos T1 y T4 apenas la diferencia es significativa al 95% de confiabilidad, por lo tanto si lo que se quiere es mayor permeabilidad el tratamiento a tomar en cuenta sería T6 del huso 67.

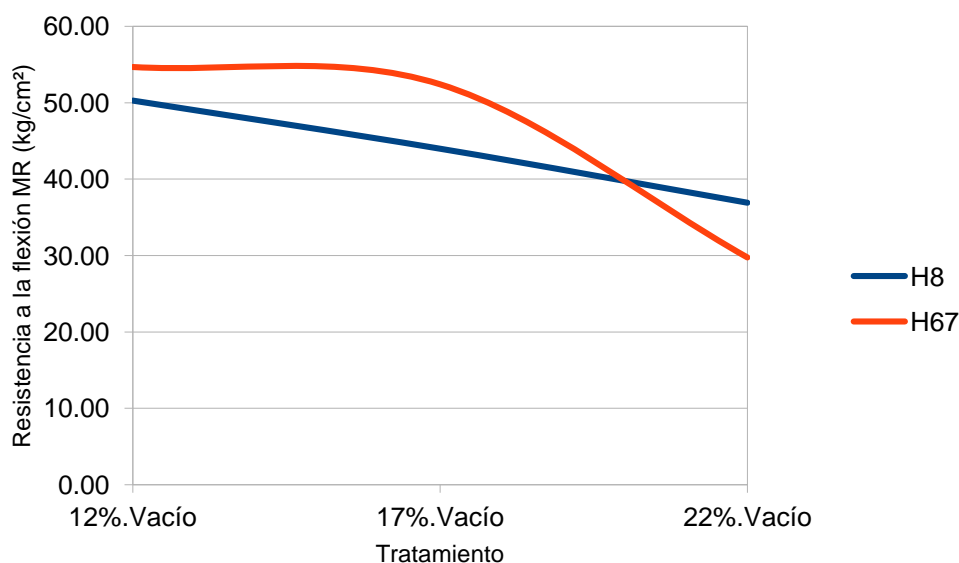
Si además nos interesa un tratamiento con mayor índice de permeabilidad, mayor índice de flexión, con mayor porcentaje de vacío y además con buena resistencia sería el tratamiento T2 que corresponde al huso 8, sin embargo dependerá de los requisitos de la obra para elegir el tratamiento adecuado, por lo tanto el tratamiento que será mejor para las vías urbanas de la ciudad de Abancay dado que se requiere mayor permeabilidad con buena resistencia dado que circulan vehículos a veces de buen tonelaje entonces el tratamiento que tomaremos es el tratamiento T2 con 17% de porcentaje de vacío correspondiente al Huso 8.

### 5.1.7 Resistencia a la flexión respecto al huso del concreto permeable

**Tabla 47 — Promedio de flexión por huso y porcentaje de vacío del concreto permeable**

Tratamiento	Flexión H8	Flexión H67
12%. Vacío	50.27	54.67
17%. Vacío	43.97	52.40
22%. Vacío	36.90	29.73

La tabla (47) muestra el promedio de flexión por huso y porcentaje de vacío del concreto permeable, en ella se observa que el índice de flexión difiere en ambos husos en cada porcentaje de vacío.



**Figura 34 — Comportamiento de la flexión del concreto permeable respecto al porcentaje de vacío en los husos 8 y 67**



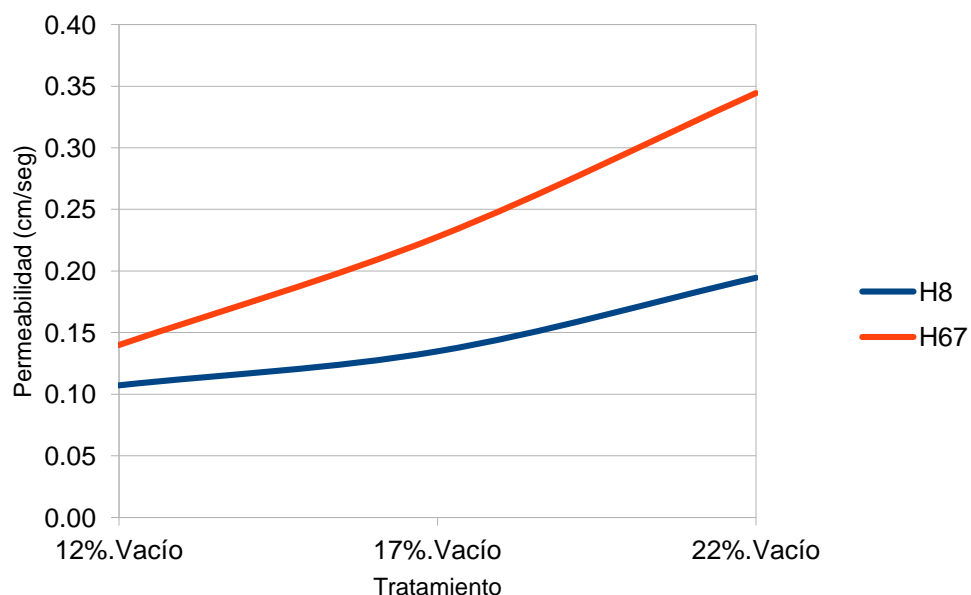
La figura (34) muestra gráficamente el comportamiento del índice de flexión del concreto permeable respecto a los husos 8 y 67 en función del porcentaje de vacío, en ella se observa que para porcentajes de vacío menor a 20% y mayores a 12% el huso 8 es superior, sin embargo, para porcentajes de vacío superiores al 20% el huso 67 supera en el índice de flexión.

### 5.1.8 Índice de permeabilidad respecto al huso del concreto permeable

**Tabla 48 — Promedio de permeabilidad por huso y porcentaje de vacío del concreto permeable**

Tratamiento	Permeabilidad H8	Permeabilidad H67
12%. Vacío	0.11	0.14
17%. Vacío	0.13	0.23
22%. Vacío	0.19	0.34

La tabla (48) muestra el promedio del índice de permeabilidad para ambos husos por cada porcentaje de vacío del concreto permeable, en ella se observa que el índice de permeabilidad del huso 67 es mayor al índice de permeabilidad del huso 8.



**Figura 35 — Comportamiento de la permeabilidad del concreto permeable respecto al porcentaje de vacío en los husos 8 y 67**



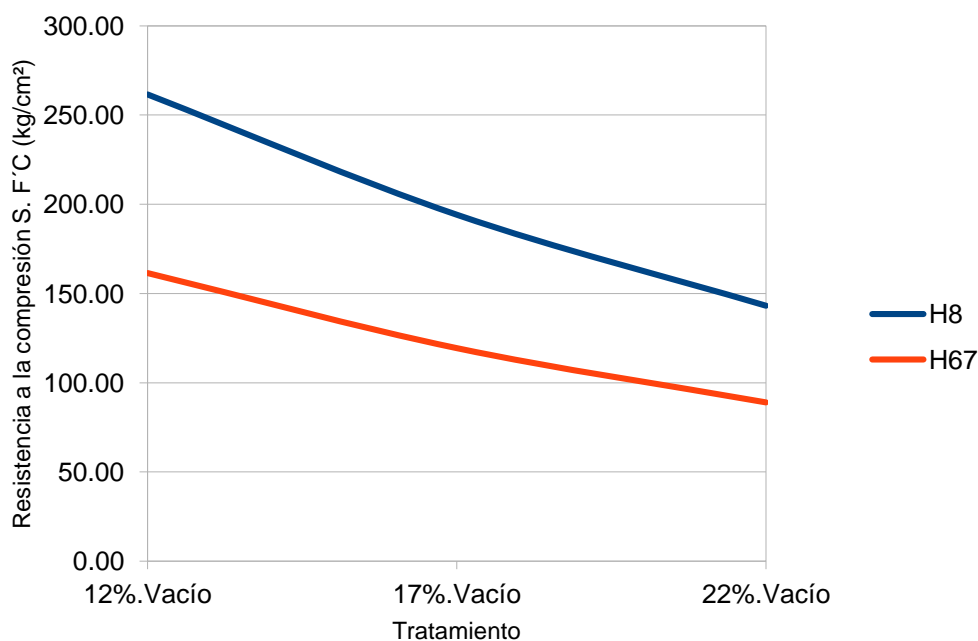
La figura (35) muestra el comportamiento del índice de permeabilidad del concreto permeable respecto al los husos 8 y 67 en función del porcentaje de vacío, en la que se puede observar que el índice de permeabilidad que corresponde al huso 67 es considerablemente mayor al correspondiente del huso 8 para los porcentajes de vacío entre 12%, 17 % y 22%.

### 5.1.9 Resistencia a la compresión respecto al huso del concreto permeable

**Tabla 49 — Promedio de la resistencia por huso y porcentaje de vacío del concreto permeable**

Tratamiento	Resistencia H8	Resistencia H67
12%. Vacío	261.50	161.54
17%. Vacío	194.17	119.43
22%. Vacío	143.25	88.99

La tabla (49) muestra el índice de promedio de la resistencia por huso y porcentaje de vacío del concreto permeable por huso y por cada porcentaje de vacío de dicho concreto permeable, en ella se observa que la resistencia que corresponde al huso 8 son considerablemente mayor al del huso 67 por cada porcentaje de vacío o tratamiento.



### **Figura 36 — Comportamiento de la resistencia del concreto permeable respecto al porcentaje de vacío en los husos 8 y 67**

La figura (36) muestra el comportamiento del índice de resistencia del concreto permeable respecto al porcentaje de vacío en los husos 8 y 67, en la que se observa que la resistencia del huso 8 es considerablemente superior al del huso 67 para el intervalo de porcentaje de vacío entre el 12% y 22%.

De otro lado podemos ver para la zona de Patibamba baja de la ciudad de Abancay que cumpla los requisitos buscados con mayor resistencia, mayor flexión y tal vez con una diferencia en permeabilidad el tratamiento más adecuado corresponde al tratamiento T2 con 17% de porcentaje de vacío y correspondiente al huso 8.

## **CAPITULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **6.1 Conclusiones**

El tratamiento T1 con 12% del porcentaje de vacío correspondiente al Huso 8 posee mayor resistencia a la compresión con  $272.58 \text{ kg/cm}^2$  la cual se aproxima al nivel de resistencia requerida para este tipo de concreto y para el tipo de vía, el tratamiento T2 con 17% de porcentaje de vacío también del huso 8 es significativamente más resistente que el tratamiento T5 que corresponde al porcentaje de vacío de 17% del Huso 67, en general se concluye que el huso 67 es menor en la resistencia en cada una de los porcentajes de vacío que el Huso 8 por lo tanto éste último es superior en cuanto a la resistencia del concreto permeable, también podemos afirmar que hay una diferencia significativa entre los tratamientos T2 y T5 que corresponden al mismo porcentajes de vacío y la que es significativamente alto es el tratamiento T2, por lo tanto se debe tener en consideración.



El módulo de ruptura de los tratamiento T1 de 12% de porcentaje de vacío y T2 al 17% de vacío del huso 8 no es significativamente diferentes, sin embargo T1 es diferente Significativamente a T3 de 22% de porcentaje de vacío del huso 8 y el huso 67 respectivamente, también se ha encontrado que la flexión que corresponde al tratamiento T4 con 12% de porcentaje de vacío del huso 67 ha conseguido una flexión de 54.67 notablemente diferente a los demás, sin embargo en cuanto a flexión no hay motivos para afirmar que son diferentes bajo el mismo porcentaje de vacío. También es importante notar que a mayor porcentaje de vacío se reduce la flexión y que si se busca el mayor porcentaje de vacío con mayor flexión el tratamiento T2 del huso 8 y el tratamiento T5 del huso 67 son la alternativa a tomar en cuenta para pavimentar las vías urbanas de la ciudad de Abancay.

Respecto a la permeabilidad, se pudo encontrar que entre los tratamientos T3 y T6 hay una diferencia significativa en índice de permeabilidad favoreciendo al tratamiento T6 con 0.34 de coeficiente que corresponde al huso 67, del mismo modo entre los tratamientos T2 y T5 hay una diferencia altamente significativa favoreciendo a T5 correspondiente al huso 67, del mismo modo entre los tratamientos T1 y T4 existe diferencia significativa, por lo tanto si lo que se quiere es mayor permeabilidad el tratamiento a tomar en cuenta sería T6 del huso 67, sin embargo si además nos interesa un tratamiento con mayor índice de permeabilidad, mayor índice de flexión, con mayor porcentaje de vacío y además con buena resistencia sería el tratamiento T2 con 17% de porcentaje de vacío que corresponde al huso 8. En conclusión el tratamiento adecuado para el control de aguas pluviales de las vías urbanas en la ciudad de Abancay dado que permite mayor permeabilidad con buena resistencia permite un buen drenaje de aguas con buena resistencia por tanto buena duración es el tratamiento T2 con 17% de porcentaje de vacío correspondiente al huso 8.

## 6.2 Recomendaciones

En base a los resultados que se ha obtenido en este trabajo de investigación, se recomienda proseguir con el estudio, considerando esta vez con adición de aditivos que mejoren la resistencia y se pueda llegar a obtener mayor permeabilidad.

También se recomienda realizar una investigación de concreto permeable con adición de fibras de algún tipo que pueda igualmente mejorar la permeabilidad y aumentar la resistencia.

Los resultados también sugieren que este tipo de concreto se puede utilizar en cocheras al aire libre, en pistas y calles en las que se acumulan las aguas pluviales en todo el distrito de Abancay.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABANTO CASTILLO, F., 2009. *Tecnología del concreto*. San Marcos. Lima - Perú: s.n. ISBN 9786123020606.

ANÓNIMO, 2018. El concreto: Agregado Grueso del Concreto. [en línea]. [Consulta: 22 julio 2018]. Disponible en: <http://elconcreto.blogspot.com/2009/01/agregado-grueso-del-concreto.html>.

BARAHONA AÑAZCO, J., MOUJIR, L.F.C.Y.F., CARVALHO, M., RAMOS, F., ZEGARRA, J., PEREIRA, C., CATÓLICA, U., BRASIL, S., COLABORAN, O.P., LINDOW, K.C., GUEZ, R.Í., SCHOLZ, M., GRABOWIECKI, P., TRUJILLO LÓPEZ, A., QUIROZ LASPIELLA, D., CONJONCTIVITES, E.T., JIANG, W., SHA, A., XIAO, J., LI, Y. y HUANG, Y., 2014. Pavimentos Porosos Utilizados como Sistemas Alternativos al Drenaje Urbano. *Construction and Building Materials*, ISSN 09500618. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2015.09.055.

CABELLO SEQUERA, S., CAMPUZANO VERA, L., ESPINOZA CORREA, J. y SÁNCHEZ MENDIETA, C., 2015. Concreto Poroso: Constitución, Variables Influyentes Y Protocolos Para Su Caracterización. *Cumbres Revista Científica*, vol. 1, pp. 64-69. ISSN 1390-9541.

CARDONA MALDONADO, H.A., 2017. Propiedades Mecánicas y de filtración en hormigones permeables con cemento portland e hidráulicos. , vol. I, pp. 130.

CASTAÑEDA, L. y MOUJIR, Y., 2014. Diseño y Aplicación de Concreto Poroso para Pavimentos. *Pontificia Universidad Javeriana, Facultad De Ingeniería*,

CERDÁN PÉREZ, L.A., 2015. *Comportamiento del Concreto Permeable, Utilizando Agregado de las Canteras la Victoria y Roca Fuerte, Aumentando Diferentes Porcentajes de Vacíos, Cajamarca 2015*. S.l.: Universidad Privada del Norte.

CRUZ PALAFOX, C.J.C., SEGOVIA LÓLEZ, A., GONZÁLEZ SANDOVAL, M. del R., LIZARRAGA, L., OLGUÍN COCA, F.J. y RANGEL MARTINEZ, Y., 2012. Diseño de un concreto permeable para la recuperación de agua. *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, ISSN 0717-6163. DOI 10.1007/s13398-014-0173-7.2.

DÍAZ SILVA, N.Y., 2017. *Diseño de mezcla de concreto permeable elaborado con aditivo y adición de fibra de polipropileno para uso en pavimentos, en la ciudad de Cajamarca*. S.l.: Universidad Nacional de Cajamarca. Facultad de Ingeniería.

FERNÁNDEZ ARRIETA, R.J. y CARRO.ALEJANDRO, N., 2011. Diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad. *Infraestructura Vial*, vol. I, no. XXIV, pp. 40-49.

FLORES QUISPE, C.E. y PACOMPIA CALCINA, I.A., 2009. *Diseño de Mezcla de Concreto Permeable con Adición de Tiras de Plástico Para Pavimentos f'c 175 Kg/Cm<sup>2</sup> en*

la Ciudad de Puno. S.l.: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO, ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL.

GUISADO BARRIOS, A.X. y CURI GRADOS, E.R., 2017. *Pontificia Universidad Católica Del Perú Escuela De Posgrado* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: [http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/10237/MANOSALVAS\\_ESTILOS\\_APRENDIZAJE.pdf?sequence=4&isAllowed=y](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/10237/MANOSALVAS_ESTILOS_APRENDIZAJE.pdf?sequence=4&isAllowed=y).

LOPEZ PALACIO, E., 2010. Control De Calidad Y Colocacion De Concretos Permeables. *Tesis*,

MTC, 2016. MANUAL DE ENSAYO DE MATERIALES. , vol. I, pp. 1272.

NAVA-PÉREZ, E., GARCÍA-GUTIÉRREZ, C., XIMHAI, J.C.-B.-R. y 2012, undefined, [sin fecha]. Bioplaguicidas: una opción para el control biológico de plagas. *uaim.edu.mx* [en línea], [Consulta: 25 febrero 2018]. Disponible en: [http://uaim.edu.mx/webraximhai/Ej-25barticulosPDF/3 NAVA-PEREZ.pdf](http://uaim.edu.mx/webraximhai/Ej-25barticulosPDF/3%20NAVA-PEREZ.pdf).

NRMCA, 2006. CIP 16 Resistencia a Flexión del concreto. *Concrete in Practice* [en línea], pp. 2. Disponible en: <https://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP16es.pdf>.

NTP 339.088, 2015. NTP 339.088. *El peruano*, pp. 26.

ORTEGA MORENO, Á.M., 2015. *Estudio de una Mezcla en Concreto con Estructura Drenante Fabricado con Agregados de las Fuentes de Abastecimiento del Municipio*. S.l.: UNIVERSIDAD DE NARIÑO.

PORRAS MORALES, J.M., 2017. Metodología de diseño para concretos permeables y sus respectivas correlaciones de permeabilidad. *INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTARICA* [en línea], vol.1, pp.74. Disponible en: [https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/7109/metodologia\\_diseno\\_concretos\\_permeables\\_respectivas.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/7109/metodologia_diseno_concretos_permeables_respectivas.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

VÉLEZ, L.M., 2010a. Permeabilidad y Porosidad en Concreto. *Revista Tecno Lógicas* [en línea], no. 25, pp. 169-187. ISSN 0123-7799. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5062984&info=resumen&idioma=SPA>.

**VÉLEZ, L.M., 2010b. *Permeabilidad y Porosidad en Concreto*. 2010. S.l.: s.n.**

# ANEXOS



Tabla 50 — Presupuesto de bienes y servicios

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (s/.)	Costo parcial (s/.)
<b>I</b>	<b>Equipamiento</b>				<b>4000.00</b>
I.1	Balanza	Unidad	1	500.00	500.00
I.2	Horno	Unidad	1	400.00	400.00
I.3	Secadores	Unidad	1	1000.00	1000.00
I.4	Cono de Abrams	Unidad	2	300.00	600.00
I.5	El tensiómetro	Unidad	1	500.00	500.00
I.6	Calcímetro	Unidad	1	1000.00	1000.00
<b>II</b>	<b>Materiales e insumos</b>				<b>1500.00</b>
II.1	Papel bond A4 70 grs.	Millar	10	25.00	250.00
II.2	Lapiceros	Unidad	50	3.00	150.00
II.3	Cuadernos de obras	Unidad	15	10.00	150.00
II.4	Libreta de campo	Unidad	5	10.00	50.00
II.5	Corrector	Unidad	10	8.00	80.00
II.6	Archivadores de palanca	Unidad	5	20.00	100.00
II.7	Tablero acrílico	Unidad	20	5.00	100.00
II.8	Memoria de USB d 16 GB.	Unidad	4	50.00	200.00
II.9	Otros útiles de escritorio	Unidad	1	420.00	420.00
<b>III</b>	<b>Publicación</b>	<b>Unidad</b>	<b>1</b>	<b>500.00</b>	<b>500.00</b>
<b>IV</b>	<b>Servicios para análisis especializados</b>	<b>Unidad</b>	<b>1</b>	<b>800.00</b>	<b>800.00</b>
<b>V</b>	<b>Servicios de capacitación y perfeccionamiento</b>	<b>Unidad</b>	<b>1</b>	<b>800.00</b>	<b>800.00</b>
<b>VI</b>	<b>Otros servicios</b>	<b>Unidad</b>	<b>1</b>	<b>500.00</b>	<b>500.00</b>
<b>VII</b>	<b>Viajes</b>	<b>Unidad</b>	<b>1</b>	<b>800.00</b>	<b>800.00</b>
<b>VIII</b>	<b>Monitoreo</b>	<b>Unidad</b>	<b>1</b>	<b>700.00</b>	<b>700.00</b>
<b>IX</b>	<b>Bibliografía</b>	<b>Unidad</b>	<b>1</b>	<b>400.00</b>	<b>400.00</b>
	<b>Total</b>				<b>10000.00</b>

Tabla 51 — Resumen de presupuesto para la investigación

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo parcial
I	Equipamiento				4000.00
II	Materiales e insumos				1500.00
III	Publicación	Unidad	1	500.00	500.00
IV	Servicios para análisis especializados	Unidad	1	800.00	800.00
V	Servicios de capacitación y perfeccionamiento	Unidad	1	800.00	800.00
VI	Otros servicios	Unidad	1	500.00	500.00
VII	Viajes	Unidad	1	800.00	800.00
VIII	Monitoreo	Unidad	1	700.00	700.00
IX	Bibliografía	Unidad	1	400.00	400.00
	Total				10000.00

## a) Fuente de financiamiento

El financiamiento de este proyecto de investigación será asumido enteramente por el autor del proyecto.



## W-84 Aditivo Rango Medio

Fecha de Emisión: Oct 15, 19  
Revisión:  
Fecha de Revisión:  
Página: 1 de 1

Industrias Ulmen S.A. Aditivos para Concreto

### DESCRIPCIÓN

Es un reductor de agua de rango medio que incorpora materias primas de alta tecnología, permitiendo un mejor control del concreto.

No contiene cloruros.

No requiere cuidados ni precauciones especiales y se trata como cualquier aditivo convencional.

### PROPIEDADES

Reduce la razón agua cemento sin alterar la plasticidad del concreto.

Mantiene la fluidez del concreto fresco sin alterar negativamente las resistencias mecánicas.

### CAMPO DE APLICACIÓN

Es adecuado para concretos bombeables, fluidos, premezclados y pretensados.

### INFORMACIÓN TÉCNICA

Aspecto	: Líquido levemente viscoso.
Color	: Café claro
Densidad	: $1,06 \pm 0,02$ g/mL.
Viscosidad	: $20 \pm 2$ (s)
pH	: $6,5 \pm 1$
Sólidos	: $25 \pm 3$
Envase	: Cilindro de 220 kg. o Dispenser retornable de 1.100 kg.

### USO Y DOSIS

Se agrega directamente sobre el hormigón en dosis que varían entre 0,5 y 2% del peso del cemento. La dosis más adecuada se determina con ensayos de prueba específicos.

### DURACIÓN

6 meses almacenado en lugar fresco y protegido del sol, recomendado por nuestro Sistema de Control de Calidad, certificado bajo ISO 9001:2008



Las Vertientes Mz C-1 Sub Lt2-F Villa El Salvador – Lima

Teléfonos (51-1) 719.4126 719.4127

[www.cognosciblettechnologies.com](http://www.cognosciblettechnologies.com)

[www.ulmen.cl](http://www.ulmen.cl)

[atencionalcliente@ulmen.cl](mailto:atencionalcliente@ulmen.cl)

Figura 37 — Ficha técnica del aditivo Ulmen W-84





Fabricación y Comercialización de Aditivos para Concretos

CERTIFICADO DE CALIDAD

El departamento técnico de INDUSTRIAS ULMEN S.A. Certifica que el producto que se indica cumple los requisitos de uniformidad indicados en la norma ASTM C494 y con muestras estándares de calidad.

Producto : W-84  
 Lote : 10651219  
 Fabricado : 01/12/2019  
 Vence : 01/06/2020

Los parámetros controlados se muestran a continuación:

ENSAYO	ESPECIFICACIÓN	RESULTADO
Densidad	1,06 ± 0,02 (g/mL)	1,061
Viscosidad	20 ± 2 (seg)	20,50 seg
pH	6,5 ± 1	6,8

El presente aditivo tiene una vida útil de 6 meses almacenado en lugar fresco y protegido del sol, recomendado por nuestro Sistema de Control de Calidad, certificado bajo ISO 9001:2008



Encargado Control de Calidad  
 Industrias Ulmen S.A.

[www.ulmen.cl](http://www.ulmen.cl)

[ulmen@ulmen.cl](mailto:ulmen@ulmen.cl)

Figura 38 — Certificado de calidad aditivo W-84

### a) Diseño de mezclas

#### Procedimiento de proporcionalidad de los diseños de concreto permeable

El procedimiento de dosificación para concreto permeable se basa en el volumen de pasta necesario para unir las partículas del agregado mientras se mantiene el contenido de vacío necesario como se muestra en la figura N.º (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). La cantidad de agregado depende de la densidad seco-compactado y los valores de  $b/b_0$  seleccionados de la Tabla (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Una vez que el volumen de la pasta se determina a partir de la figura (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) y se selecciona el valor de la relación  $a/c$  deseado, las cantidades de cemento y agua se pueden determinar a partir de la relación:

- **Diseño DI 12%**

Se tiene en cuenta las consideraciones (obtenidas de ensayos en laboratorio) siguientes para el diseño DI:

**Tabla 1 — Datos recolectados de ensayos de agregados para el diseño DI 12%**

Descripción	Cantidad	Unidad
Peso volumétrico varillado:	1667.382	kg/m <sup>3</sup>
Peso específico aparente sss	2.612	g/cm <sup>3</sup>
Contenido de vacíos	12%	
Relación de agua/cemento	0.30	
Tamaño máximo nominal (TMN)	3/8"	
Peso específico del cemento	3150	kg/m <sup>3</sup>
Peso específico del agua	1000	kg/m <sup>3</sup>

#### Cemento

Para el diseño I el contenido de vacíos es del 12 %, con agregado de tamaño N° 8, además no contiene agregado fino por lo tanto la relación volumen seco compactado de agregado grueso por unidad de volumen de concreto ( $b/b_0$ ) según la tabla (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) es de 0.99. Para este diseño le corresponde 0.23 de contenido de pasta en volumen. Dicha consideración de toma de la figura N° (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). El grado de compactación es bien compactado (compactado 3 capas, 25 golpes por capa, método de apisonado). Entonces se prosigue con los pasos

siguientes, teniendo en cuenta que las ecuaciones son de la norma ACI 211.3R-02, apéndice 6:

#### 1.- Determinación del volumen de pasta

Se realiza según la figura de la Norma ACI 211.3R.02, donde se interpola el contenido de vacíos teórico con respecto al volumen de la pasta. Se determina a través de la Figura (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Entonces se tiene un volumen de pasta de 0.23.

#### 2.- Determinamos del contenido de cemento de la relación agua - cemento

$$\text{Volumen de pasta} = \text{Volumen de cemento} + \text{volumen de agua} \dots (i)$$

$$\text{Volumen de pasta} = \frac{\text{Cemento}}{\text{Pedelcemento}} + \frac{\text{Agua}}{\text{Pedelagua}}$$

De la relación agua - cemento se tiene la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{Agua}}{\text{Cemento}} = 0.30 \dots (ii)$$

Reemplazando valores resulta:

$$\text{Cemento} = 372.49 \text{ kg}$$

Entonces para calcular el volumen del cemento se reemplaza en la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen de cemento} = \frac{\text{cemento}}{\text{Pedelcemento}} \dots (iii)$$

$$\text{Volumen de cemento} = 0.118 \text{ m}^3$$

#### 3.- Determinación del peso de agregado en seco tamaño N° 8

La tabla N° (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), proporciona el valor del volumen seco compactado del agregado grueso por unidad de volumen de concreto según valores efectivos, en vista que se usara tamaño nominal N.º 8 y no se usara fino el valor de  $b/b_0$  según tablas será igual a 0.99, se procede con la determinación del peso del agregado.

$$\begin{aligned} \text{Peso Agreg.} &= \text{Peso volumetrico Varilla del agregado grueso} * b/b_0 \text{ Peso Agreg} \\ &= 1650.708 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

#### 4.- Determinación del volumen de agregado en seco tamaño N° 8

$$VolumenAgreg.. = \frac{Pesodelagregado}{Pedelagregados*1000} \dots (v)$$

$$VolumenAgreg. = 0.632m^3$$

5.- Determinación del volumen de agua

$$PesodelAgua = \frac{Agua}{PedelAgua} \dots (vi)$$

Reemplazando valores obtenemos el peso del cemento

$$PesodelAgua = 111.748kilos$$

Reemplazando valores obtenemos el volumen del cemento

$$VolumenAgua = 0.112m^3$$

6.- Determinación del volumen del solido

$$Volumendelsolido = 0.862m^3$$

7.- Determinación del volumen de vacíos

$$Porcentajedevacios = 13.80\%$$

Vale indicar que en el diseño no se realiza la corrección por humedad y corrección, ya que el diseño es en base a agregado superficialmente seco.

En vista de que no cumple con el volumen de vacíos requerido; se aplicara lo mencionado en la norma que nos indica que podemos usar más menos de 30 kg de cemento realizando los ajustes necesarios sin afectar la relación a/c y la cantidad de agregado.

Entonces teniendo en cuenta la norma y para cumplir con el porcentaje de vacíos aumentamos 30 kilos de cemento entonces tendremos un nuevo peso de cemento:

$$Wc = 402.494kg$$

Entonces se tiene en volumen

$$Vc = 0.128m^3$$

1.- Determinamos el nuevo contenido de agua

$$Wa = \frac{a}{c} * c$$

$$W_a = 120.748 \text{ kg}$$

Entonces el volumen del agua es:

$$V_a = 0.121 \text{ m}^3$$

2.- Determinación del nuevo volumen del sólido

$$V_{\text{volumen del sólido}} = V_{\text{cemento}} + V_{\text{agregado}} + V_{\text{agua}}$$

$$V_{\text{volumen del sólido}} = 0.881 \text{ m}^3$$

3.- Determinación del nuevo porcentaje de vacíos

$$\text{Porcentaje de vacíos} = (1 - V_{\text{sólido}}) * 100\% \dots (x)$$

$$\text{Porcentaje de vacíos} = 12.00\%$$

Entonces se tiene:

$$\text{Cemento} \quad : 0.128 \text{ m}^3$$

$$\text{Agregado} \quad : 0.632 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua efectiva} : 0.121 \text{ m}^3$$

4.- Proporciónamiento de materiales

El concreto poroso depende de la relación agregado – cemento y agua – cemento, para que pueda cumplir con la norma ACI 211.3R-02.

- Proporciónamiento en peso

$$\text{Cemento} \quad : 402.494 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado} \quad : 1650.708 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua efectiva} : 120.748 \text{ kg/m}^3$$

$$\frac{402.494}{402.494} : \frac{1650.708}{402.494} : \frac{120.748}{402.494} * 42.5$$

1: 4.10: 12.750 Lt l por bolsa

- Proporciónamiento en volumen

$$\text{Cemento} \quad : 0.128 \text{ m}^3$$

Agregado : 0.632m<sup>3</sup>

Agua efectiva : 0.121m<sup>3</sup>

$$\frac{0.128}{0.128} : \frac{0.632}{0.128} : \frac{0.121}{0.128} * 42.5$$

1: 4.938: 12.750 *Ltlt por bolsa*

5.- Mezcla de prueba en el laboratorio de diseño I

- Calculo de volumen para cinco especímenes cilíndricos

Diámetro promedio D = 0.153 m

Altura promedio h = 0.302 m

Desperdicios = 1.05

Nº de testigos = 5

$$volumen = V = \pi \frac{D^2 * h * 1}{4} * 5 * 1.05$$

Reemplazando valores se tiene:

$$V = 0.029 \text{ m}^3$$

- Materiales para cinco especímenes (v=0.029m<sup>3</sup>)

Cemento : 402.494kg/m<sup>3</sup>\*0.029 = 11.733kg

Agregado : 1650.708kg/m<sup>3</sup>\*0.029 = 48.118kg

Agua efectiva : 120.748 kg/m<sup>3</sup>\*0.029 = 3.520 kg

- **Diseño DI 17%**

Se tiene en cuenta las consideraciones siguientes para el diseño DI:

**Tabla 2 — Datos recolectados de los ensayos de los agregados para el diseño DI 17%**

Descripción	Cantidad	Unidad
Peso volumétrico varillado:	1667.382	kg/m <sup>3</sup>
Peso específico aparente sss	2.612	g/cm <sup>3</sup>
Contenido de vacíos	17%	
Relación de agua/cemento	0.30	
Tamaño máximo nominal (TMN)	3/8"	
Peso específico del cemento	3150	kg/m <sup>3</sup>
Peso específico del agua	1000	kg/m <sup>3</sup>

### Cemento

Para el diseño I el contenido de vacíos es del 17 %, con agregado de tamaño N° 8, además no contiene agregado fino por lo tanto la relación volumen seco compactado de agregado grueso por unidad de volumen de concreto (b/bo) según la tabla (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) es de 0.99. Para este diseño le corresponde 0.18 de contenido de pasta en volumen. Dicha consideración se toma de la figura N° (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). El grado de compactación es bien compactado (compactado 3 capas, 25 golpes por capa, método de apisonado). Entonces se prosigue con los pasos siguientes, teniendo en cuenta que las ecuaciones son de la norma ACI 211.3R-02, apéndice 6:

#### 1.- Determinación del volumen de pasta

Se realiza según la figura de la Norma ACI 211.3R.02, donde se interpola el contenido de vacíos teórico con respecto al volumen de la pasta. Se determina a través de la Figura (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Entonces se tiene un volumen de pasta de 0.18.

#### 2.- Determinación del contenido de cemento

$$\text{Volumen de pasta} = \text{Volumen de cemento} + \text{volumen de agua} \dots (i)$$

$$\text{Volumen de pasta} = \frac{\text{Cemento}}{\text{Peso específico del cemento}} + \frac{\text{Agua}}{\text{Peso específico del agua}}$$

De la relación agua - cemento se tiene la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{Agua}}{\text{Cemento}} = 0.30$$

Reemplazando valores resulta:

$$Cemento = 291.517kg$$

Entonces para calcular el volumen del cemento se reemplaza en la siguiente ecuación:

$$Volumendecemento = \frac{cemento}{Pedelcemento} \dots (ii)$$

$$Volumendecemento = 0.093m^3$$

3.- Determinación del peso de agregado en seco tamaño N° 8

La tabla N° (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), proporciona el valor del volumen seco compactado del agregado grueso por unidad de volumen de concreto según valores efectivos, en vista que se usara tamaño nominal N°8 y no se usara fino el valor de  $b/b_0$  según tablas será igual a 0.99, se procede con la determinación del peso del agregado.

$$PesoAgreg. = PesovolumetricoVarilladodelagregado grueso * b/b_0 \dots (iii)$$

$$PesoAgreg = 1650.708 kg/m^3$$

4.- Determinación del volumen de agregado en seco tamaño N° 8

$$VolumenAgreg.. = \frac{Pesodelagregado}{Pedelagregados * 1000} \dots (iv)$$

$$VolumenAgreg. = 0.632m^3$$

5.- Determinación del volumen de agua

$$PesodelAgua = \frac{Agua}{PedelAgua}$$

Reemplazando valores obtenemos el peso del cemento

$$PesodelAgua = \left( \frac{Agua}{Cemento} \right) (Cemento)$$

$$PesodelAgua = 87.455kilos$$

Reemplazando valores obtenemos el volumen del cemento

$$VolumenAgua = 0.087m^3$$

6.- Determinación del volumen del solido



$$Volumendelsolido = V.cemento + V.agregado + V.agua \dots (vi)$$

$$Volumendelsolido = 0.812m^3$$

7.- Determinación del volumen de vacíos

$$Porcentajedevacios = (1 - V.solido) * 100\% \dots (vii)$$

$$Porcentajedevacios = 18.80\%$$

Vale indicar que en el diseño no se realiza la corrección por humedad, ya que el diseño es en base a agregado superficialmente seco.

En vista de que no cumple con el volumen de vacíos requerido; se aplicara lo mencionado en la norma que nos indica que podemos usar más menos de 30 kg de cemento realizando los ajustes necesarios sin afectar la relación a/c y la cantidad de agregado.

Entonces teniendo en cuenta la norma y para cumplir con el porcentaje de vacíos aumentamos 29 kilos de cemento entonces tendremos un nuevo peso de cemento:

$$Wc = 320.517kg$$

Entonces se tiene en volumen

$$Vc = 0.102m^3$$

1.- Determinación del nuevo contenido de agua

$$Wa = \frac{a}{c} * c$$

$$Wa = 96.155kg$$

Entonces el volumen del agua es:

$$Va = 0.096m^3$$

2.- Determinación del nuevo volumen del solido

$$Volumendelsolido = V.cemento + V.agregado + V.agua$$

$$Volumendelsolido = 0.830m^3$$

3.- Determinación del nuevo porcentaje de vacíos

$$Porcentajedevacios = (1 - V.solido) * 100\% \dots (viii)$$

*Porcentaje de vacíos* = 17.00% Entonces se tiene:

Cemento : 0.102m<sup>3</sup>

Agregado : 0.632 m<sup>3</sup>

Agua efectiva : 0.096m<sup>3</sup>

#### 4.- Proporcionamientos de materiales

El concreto poroso depende de la relación agregado – cemento y agua – cemento, para que pueda cumplir con la norma ACI 211.3R-02.

- Proporcionamiento en peso

Cemento : 320.517 kg/m<sup>3</sup>

Agregado : 1650.708kg/m<sup>3</sup>

Agua efectiva : 96.155 kg/m<sup>3</sup>

$$\frac{320.517}{320.517} : \frac{1650.708}{320.517} : \frac{96.155}{320.517} * 42.5$$

1: 5.15: 12.750 *Litros por bolsa*

- Proporcionamiento en volumen

Cemento : 0.102m<sup>3</sup>

Agregado : 0.632m<sup>3</sup>

Agua efectiva : 0.096m<sup>3</sup>

$$\frac{0.102}{0.102} : \frac{0.632}{0.102} : \frac{0.096}{0.102} * 42.5$$

1: 6.21/12.75 *litros/bolsa*

#### 5.- Mezcla de prueba en el laboratorio de diseño I

- Calculo de volumen para cinco especímenes cilíndricos

Diámetro promedio D = 0.153 m

Altura promedio h = 0.302 m

Desperdicios = 1.05

Nº de testigos = 5

$$volumen = V = \pi \frac{D^2 * h * 1}{4} * 5 * 1.05$$

Reemplazando valores se tiene:

$$V = 0.029$$

- Materiales para cinco especímenes ( $v=0.029m^3$ )

Cemento :  $320.517kg/m^3 * 0.029 = 9.343kg$

Agregado :  $1650.708kg/m^3 * 0.029 = 48.118kg$

Agua efectiva :  $96.155 kg/m^3 * 0.029 = 2.803 kg$

Aditivo :  $0.01 * 9.343kg = 0.118 kg$

- **Diseño DI 22%**

Se tiene en cuenta las consideraciones siguientes para el diseño DI:

**Tabla 3 — Datos recolectados de los ensayos de los agregados para el diseño DI 22%**

Descripción	Cantidad	Unidad
Peso volumétrico varillado:	1667.382	kg/m <sup>3</sup>
Peso específico aparente sss	2.612	g/cm <sup>3</sup>
Contenido de vacíos	22%	
Relación de agua/cemento	0.30	
Tamaño máximo nominal (TMN)	3/8"	
Peso específico del cemento	3150	kg/m <sup>3</sup>
Peso específico del agua	1000	kg/m <sup>3</sup>

### Cemento

Para el diseño I el contenido de vacíos es del 22 %, con agregado de tamaño N° 8, además no contiene agregado fino por lo tanto la relación volumen seco compactado de agregado grueso por unidad de volumen de concreto ( $b/b_0$ ) según la tabla (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) es de 0.99. Para este diseño le corresponde 0.13 de contenido de pasta en volumen. Dicha consideración se toma de la figura N° (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). El grado de compactación es bien compactado (compactado 3 capas, 25 golpes por

capa, método de apisonado). Entonces se prosigue con los pasos siguientes, teniendo en cuenta que las ecuaciones son de la norma ACI 211.3R-02, apéndice 6:

#### 1.- Determinación del volumen de pasta

Se realiza según la figura de la Norma ACI 211.3R-02, donde se interpola el contenido de vacíos teórico con respecto al volumen de la pasta. Se determina a través de la Figura (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Entonces se tiene un volumen de pasta de 0.13.

#### 2.- Determinación del contenido de cemento

$$\text{Volumen de pasta} = \text{Volumen de cemento} + \text{volumen de agua} \dots (i)$$

$$\text{Volumen de pasta} = \frac{\text{Cemento}}{\text{Pedelcemento}} + \frac{\text{Agua}}{\text{Pedelagua}}$$

De la relación agua - cemento se tiene la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{Agua}}{\text{Cemento}} = 0.30 \dots (ii)$$

Reemplazando valores resulta:

$$\text{Cemento} = 210.540 \text{ kg}$$

Entonces para calcular el volumen del cemento se reemplaza en la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen de cemento} = \frac{\text{cemento}}{\text{Pedelcemento}}$$

$$\text{Volumen de cemento} = 0.067 \text{ m}^3$$

#### 3.- Determinación del peso de agregado en seco tamaño N° 8

La tabla N° (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), proporciona el valor del volumen seco compactado del agregado grueso por unidad de volumen de concreto según valores efectivos, en vista que se usara tamaño nominal N°8 y no se usara fino el valor de  $b/b_0$  según tablas será igual a 0.99, se procede con la determinación del peso del agregado.

$$\text{Peso Agreg.} = \text{Peso volumetrico Varilla del agregado grueso} * b/b_0 \dots (iii)$$

$$\text{Peso Agreg} = 1650.708 \text{ kg/m}^3$$

#### 4.- Determinación del volumen de agregado en seco tamaño N° 8

$$VolumenAgreg.. = \frac{Pesodelagregado}{Pedelagregados*1000} \dots (iv)$$

$$VolumenAgreg. = 0.632m^3$$

5.- Determinación del volumen de agua

$$PesodelAgua = \frac{Agua}{PedelAgua}$$

Reemplazando valores obtenemos el peso del cemento

$$PesodelAgua = \left( \frac{Agua}{Cemento} \right) (Cemento)$$

$$PesodelAgua = 63.162kilos$$

Reemplazando valores obtenemos el volumen del cemento

$$VolumenAgua = 0.063m^3$$

6.- Determinación del volumen del solido

$$Volumendelsolido = V.cemento + V.agregado + V.agua \dots (vi)$$

$$Volumendelsolido = 0.762m^3$$

7.- Determinación del volumen de vacíos

$$Porcentajedevacios = (1 - V.solido) * 100\% \dots (vii)$$

$$Porcentajedevacios = 23.80\%$$

Vale indicar que en el diseño no se realiza la corrección por humedad y corrección, ya que el diseño es en base a agregado superficialmente seco.

En vista de que no cumple con el volumen de vacíos requerido; se aplicara lo mencionado en la norma que nos indica que podemos usar más menos de 30 kg de cemento realizando los ajustes necesarios sin afectar la relación a/c y la cantidad de agregado.

Entonces teniendo en cuenta la norma y para cumplir con el porcentaje de vacíos aumentamos 29 kilos de cemento entonces tendremos un nuevo peso de cemento:

$$Wc = 239.540kg$$

Entonces se tiene en volumen

$$Vc = \frac{239.54}{3150} m^3$$

$$Vc = 0.076 m^3$$

1.- Determinación del nuevo contenido de agua

$$Wa = \frac{a}{c} * c \dots \text{(viii)}$$

$$Wa = 71.862 kg$$

Entonces el volumen del agua es:

$$Va = \frac{71.862}{1000} m^3$$

$$Va = 0.072 m^3$$

2.- Determinación del nuevo volumen del solido

$$Volumendelsolido = V.cemento + V.agregado + V.agua$$

$$Volumendelsolido = 0.780 m^3$$

3.- Determinación del nuevo porcentaje de vacíos

$$Porcentajedevacios = (1 - V.solido) * 100\% \dots \text{(ix)}$$

$$Porcentajedevacios = 22.00\%$$

Entonces se tiene:

$$\text{Cemento} \quad : 0.076 m^3$$

$$\text{Agregado} \quad : 0.632 m^3$$

$$\text{Agua efectiva} : 0.072 m^3$$

4.- Proporcionamientos de materiales

El concreto poroso depende de la relación agregado – cemento y agua – cemento, para que pueda cumplir con la norma ACI 211.3R-02.

- Proporcionamiento en peso

$$\text{Cemento} \quad : 239.540 kg/m^3$$

Agregado : 1650.708kg/m<sup>3</sup>

Agua efectiva : 71.862 kg/m<sup>3</sup>

$$\frac{239.540}{239.540} : \frac{1650.708}{239.540} : \frac{71.862}{239.540} * 42.5$$

1: 6.89/12.750 *litros/bolsa*

- Proporciónamiento en volumen

Cemento : 0.076m<sup>3</sup>

Agregado : 0.632 m<sup>3</sup>

Agua efectiva : 0.072m<sup>3</sup>

$$\frac{0.076}{0.076} : \frac{0.632}{0.076} : \frac{0.072}{0.076} * 42.5$$

1: 6.21/12.75 *litros/bolsa*

5.- Mezcla de prueba en el laboratorio de diseño I

- Cálculo de volumen para cinco especímenes cilíndricos

Diámetro promedio D = 0.153 m

Altura promedio h = 0.302 m

Desperdicios = 1.05

Nº de testigos = 5

$$volumen = V = \pi \frac{D^2 * h * 1}{4} * 5 * 1.05 \dots (x)$$

Reemplazando valores se tiene:

$$V = 0.029$$

- Materiales para cinco especímenes (v = 0.029m<sup>3</sup>)

Cemento : 239.540 kg/m<sup>3</sup>\*0.029 = 6.983kg

Agregado : 1650.708kg/m<sup>3</sup>\*0.029 = 48.118kg

Agua efectiva : 71.862 kg/m<sup>3</sup>\*0.029 = 2.095kg

- **Diseño DII 12%**

Se tiene en cuenta las consideraciones siguientes para el diseño DII:

**Tabla 4 — Datos recolectados de ensayos de agregados para el diseño DII 12%**

Descripción	Cantidad	Unidad
Peso volumétrico varillado:	1602.774	kg/m <sup>3</sup>
Peso específico aparente sss	2.639	g/cm <sup>3</sup>
Contenido de vacíos	12%	
Relación de agua/cemento	0.30	
Tamaño máximo nominal (TMN)	3/4"	
Peso específico del cemento	3150	kg/m <sup>3</sup>
Peso específico del agua	1000	kg/m <sup>3</sup>

### Cemento

Para el diseño II el contenido de vacíos es del 12 %, con agregado de tamaño N° 67, para este diseño se considera el agregado fino por lo tanto la relación volumen seco compactado de agregado grueso por unidad de volumen de concreto (b/bo) según la tabla (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) es de 0.93 para un porcentaje del 10% de agregado fino visto en la tabla (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Para este diseño le corresponde 0.30 de contenido de pasta en volumen. Dicha consideración se toma de la figura N° (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). El grado de compactación es ligeramente compactado el cual es el 60% de compactación por el método de apisonado (3 capas, 15 golpes por capa). Entonces se prosigue con los pasos siguientes, teniendo en cuenta que las ecuaciones son de la norma ACI 211.3R-02, apéndice 6.

#### 1.- Determinación del volumen de pasta

Se realiza según la figura de la Norma ACI 211.3R.02, donde se interpola el contenido de vacíos teórico con respecto al volumen de la pasta. Se determina a través de la Figura (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Entonces se tiene un volumen de pasta de 0.30.

#### 2.- Determinación del contenido de cemento

$$\text{Volumen de pasta} = \text{Volumen de cemento} + \text{volumen de agua} \dots (i)$$



De la relación agua -cemento se tiene la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{Agua}}{\text{Cemento}} = 0.30$$

Reemplazando valores resulta:

$$\text{Cemento} = 485.861\text{kg}$$

Entonces para calcular el volumen del cemento se reemplaza en la siguiente ecuación:

$$\text{Volumendecemento} = \frac{\text{cemento}}{\text{Pedelcemento}}$$

$$\text{Volumendecemento} = 0.154\text{m}^3$$

3.- Determinación del peso de agregado en seco tamaño N° 67

La tabla N° (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), proporciona el valor del volumen seco compactado del agregado grueso por unidad de volumen de concreto según valores efectivos, en vista que se usa tamaño nominal N°67, se usara un porcentaje del 10% de agregado fino el valor de  $b/b_0$  según tablas será igual a 0.93, se procede con la determinación del peso del agregado.

$$\text{PesoAgreg.} = \text{PesovolumetricoVarilladodelagregado grueso} * b/b_0 \dots \text{(iii)}$$

$$\text{PesoAgreg} = 1490.580 \text{ kg/m}^3$$

4.- Determinación del volumen de agregado en seco tamaño N° 67

$$\text{VolumenAgreg.} = \frac{\text{Pesodelagregado}}{\text{Pedelagregados} * 1000} \dots \text{(iv)}$$

$$\text{VolumenAgreg.} = 0.565\text{m}^3$$

5.- Determinación del volumen de agua

$$\text{PesodelAgua} = \frac{\text{Agua}}{\text{PedelAgua}} \dots \text{(v)}$$

$$\text{VolumenAgua} = \left( \frac{\text{Agua}}{\text{Cemento}} \right) \left( \frac{\text{Cemento}}{\text{PedelAgua}} \right)$$

Reemplazando valores obtenemos el peso del cemento

$$\text{PesodelAgua} = \left( \frac{\text{Agua}}{\text{Cemento}} \right) (\text{Cemento})$$

$$PesodelAgua = 145.758kilos$$

Reemplazando valores obtenemos el volumen del cemento

$$VolumenAgua = (0.30) \left( \frac{485.681}{1000} \right)$$

$$VolumenAgua = 0.146m^3$$

6.- Determinación del volumen del solido con volúmenes absolutos

$$Volumendelsolido = V.cemento + V.agregado + V.agua \dots (vi)$$

$$Volumendelsolido = 0.865m^3$$

7.- Añadimos el porcentaje de vacíos requerido en este caso el 12% en la suma de volúmenes

$$Volumendelsolido = V.cemento + V.agregado + V.agua + Vvacios \dots (vii)$$

$$Volumendelsolido = 0.985m^3$$

8.- Determinación del volumen del agregado fino según valores efectivos

Obtenemos el volumen absoluto de agregado fino para 1m<sup>3</sup> de concreto permeable, restando la sumatoria de volúmenes absolutos de la unidad, de la siguiente manera:

$$V.agreg.fino = 0.015m^3$$

Por consiguiente del volumen del agregado fino obtenemos el peso de agregado fino seco:

$$Pesoagreg.fino seco = V.agreg.fino * Pesoespec.agreg.fino * 1000 \dots (viii)$$

$$Pesoagreg.fino seco = 41.694kg$$

Vale indicar que en el diseño no se realiza la corrección por humedad y absorción, ya que el diseño es en base a agregado superficialmente seco.

Resumen de los pesos secos de los materiales por m<sup>3</sup> de concreto permeable

$$\text{Cemento} \quad \quad \quad : 485.861 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado grueso} \quad \quad : 1490.580 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado fino} \quad \quad \quad : 41.694 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua} \quad \quad \quad \quad \quad : 145.758 \text{ lt/m}^3$$

Total : 2163.893 kg/m<sup>3</sup>

#### 9.- Determinación del volumen del sólido

Cemento : 0.154 m<sup>3</sup>

Agregado grueso : 0.565m<sup>3</sup>

Agregado fino : 0.015m<sup>3</sup>

Agua : 0.146m<sup>3</sup>

Total : 0.880m<sup>3</sup>

#### 10.- Determinación del volumen de vacíos

$$\text{Porcentaje de vacíos} = (1 - V.\text{sólido}) * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de vacíos} = 12\%$$

#### 11.- Proporciónamiento de materiales

El concreto poroso depende de la relación agregado – cemento y agua – cemento, para que pueda cumplir con la norma ACI 211.3R-02.

- Proporciónamiento en peso

Cemento : 485.861 kg/m<sup>3</sup>

Agregado grueso : 1490.580 kg/m<sup>3</sup>

Agregado fino : 41.694 kg/m<sup>3</sup>

Agua : 145.758 lt/m<sup>3</sup>

$$\frac{485.861}{485.861} : \frac{1490.580}{485.861} : \frac{41.694}{485.861} : \frac{145.758}{485.861} * 42.5$$

1: 3.07: 0.09/12.750 litros/bolsa

- Proporciónamiento en volumen

Cemento : 0.154 m<sup>3</sup>

Agregado grueso : 0.565m<sup>3</sup>

Agregado fino : 0.015m<sup>3</sup>

Agua : 0.146m<sup>3</sup>

$$\frac{0.154}{0.154} : \frac{0.565}{0.154} : \frac{0.015}{0.154} : \frac{0.146}{0.154} * 42.5$$

1: 3.66: 0.1/12.75 *litros/bolsa*

12.- Mezcla de prueba en el laboratorio de diseño (DII 12%)

- Calculo de volumen para cinco especímenes cilíndricos

Diámetro promedio D = 0.153 m

Altura promedio h = 0.302 m

Desperdicios = 1.05

Nº de testigos = 5

$$volumen = V = \pi \frac{D^2 * h * 1}{4} * 5 * 1.05 \dots (ix)$$

Reemplazando valores se tiene:

$$V = 0.029$$

- Materiales para cinco especímenes (v=0.029m<sup>3</sup>)

Cemento : 485.861 kg/m<sup>3</sup>\*0.029 = 14.163kg

Agregado Grueso : 1490.580kg/m<sup>3</sup>\*0.029 = 43.451kg

Agregado Fino : 41.694/m<sup>3</sup>\*0.029 = 1.215kg

Agua efectiva : 4.25 kg/m<sup>3</sup>\*0.029 = 4.249 kg

- **Diseño DII 17%**

Se tiene en cuenta las consideraciones siguientes para el diseño DII:

**Tabla 56 — Datos recolectados de los ensayos de los agregados para el diseño DII 17%**

Descripción	Cantidad	Unidad
Peso volumétrico varillado:	1602.774	kg/m <sup>3</sup>
Peso específico aparente sss	2.639	g/cm <sup>3</sup>
Contenido de vacíos	17%	
Relación de agua/cemento	0.30	

Tamaño máximo nominal (TMN)	3/4"	
Peso específico del cemento	3150	kg/m <sup>3</sup>
Peso específico del agua	1000	kg/m <sup>3</sup>

## Cemento

Para el diseño II el contenido de vacíos es del 17 %, con agregado de tamaño N° 67, para este diseño se considera un porcentaje de agregado fino por lo tanto la relación volumen seco compactado de agregado grueso por unidad de volumen de concreto (b/bo) según la tabla (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) es de 0.93 para un porcentaje del 10% de agregado fino visto en la tabla (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Para este diseño le corresponde 0.25 de contenido de pasta en volumen. Dicha consideración se toma de la figura N° (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). El grado de compactación es ligeramente compactado el cual es el 60% de compactación por el método de apisonado (3 capas, 15 golpes por capa). Entonces se prosigue con los pasos siguientes, teniendo en cuenta que las ecuaciones son de la norma ACI 211.3R-02, apéndice 6:

### 1.- Determinación del volumen de pasta

Se obtiene de la figura propuesta por la Norma ACI 211.3R-02, donde se interpola el contenido de vacíos teórico con respecto al volumen de la pasta. Se determina a través de la figura (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Entonces se tiene un volumen de pasta de 0.25.

### 2.- Determinación del contenido de cemento

$$\text{Volumen de pasta} = \text{Volumen de cemento} + \text{volumen de agua} \dots (i)$$

De la relación agua - cemento se tiene la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{Agua}}{\text{Cemento}} = 0.30$$

Reemplazando valores resulta:

$$\text{Cemento} = 404.884 \text{ kg}$$

Entonces para calcular el volumen del cemento se reemplaza en la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen de cemento} = \frac{\text{cemento}}{\text{Peso del cemento}} \dots (iii)$$

$$Volumendecemento = 0.129m^3$$

3.- Determinación del peso de agregado en seco tamaño N° 67 para el diseño DII 17%

La tabla N° (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), proporciona el valor del volumen seco compactado del agregado grueso por unidad de volumen de concreto según valores efectivos, en vista que se usa tamaño nominal N°67, se usara un porcentaje del 10% de agregado fino el valor de b/b<sub>0</sub> según tablas será igual a 0.93, se procede con la determinación del peso del agregado.

$$PesoAgreg. = PesovolumetricoVarilladodelagregado grueso * b/b_0 \dots (iv)$$

$$PesoAgreg = 1490.580 \text{ kg}/m^3$$

4.- Determinación del volumen de agregado en seco tamaño N° 67

$$VolumenAgreg.. = \frac{Pesodelagregado}{Pedelagregados*1000} \dots (v)$$

$$VolumenAgreg. = 0.565m^3$$

5.- Determinación del volumen de agua

$$PesodelAgua = \frac{Agua}{PedelAgua}$$

Reemplazando valores obtenemos el peso del cemento

$$PesodelAgua = \left( \frac{Agua}{Cemento} \right) (Cemento)$$

$$PesodelAgua = 121.465 \text{ kilos}$$

Reemplazando valores obtenemos el volumen del cemento

$$VolumenAgua = 0.121m^3$$

6.- Determinación del volumen del solido con volúmenes absolutos

$$Volumendelsolido = V. cemento + V. agreg. grueso + V. agua \dots (vi)$$

$$Volumendelsolido = 0.815m^3$$

7.- Añadimos el porcentaje de vacíos requerido en este caso el 17% en la suma de volúmenes absolutos

$$Volumen\ del\ solido = V.\ cemento + V.\ agreg.\ grueso + V.\ agua + V\ vacios$$

$$Volumen\ del\ solido = 0.985m^3$$

8.- Determinación del volumen del agregado fino según valores efectivos

Obtenemos el volumen absoluto de agregado fino para 1m<sup>3</sup> de concreto permeable, restando la sumatoria de volúmenes absolutos de la unidad, de la siguiente manera:

$$V.\ agreg.\ fino = 0.015m^3$$

Por consiguiente del volumen del agregado fino obtenemos el peso de agregado fino seco:

$$Peso\ agreg.\ finoseco = V.\ agreg.\ fino * Pese\ espec.\ agreg.\ fino * 1000 \dots (viii)$$

$$Peso\ agreg.\ finoseco = 41.694kg$$

Vale indicar que en el diseño no se realiza la corrección por humedad y absorción, ya que el diseño es en base a agregado superficialmente seco.

Resumen de los pesos secos de los materiales por m<sup>3</sup> de concreto permeable

$$\text{Cemento} \quad \quad \quad : 404.884 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado grueso} \quad : 1490.580 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado fino} \quad \quad : 41.694 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua} \quad \quad \quad \quad : 121.465 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Total} \quad \quad \quad \quad : 2058.623 \text{ kg/m}^3$$

9.- Determinación del volumen del solido

$$\text{Cemento} \quad \quad \quad \quad : 0.129 \text{ m}^3$$

$$\text{Agregado grueso} \quad \quad : 0.565m^3$$

$$\text{Agregado fino} \quad \quad \quad : 0.015m^3$$

$$\text{Agua} \quad \quad \quad \quad \quad : 0.121m^3$$

$$\text{Total} \quad \quad \quad \quad \quad : 0.830m^3$$

10.- Determinación del volumen de vacíos

$$Porcentaje\ de\ vacios = (1 - V.\ solido) * 100\% \dots (ix)$$

*Porcentaje de vacíos = 17%*

#### 11.- Proporcionamiento de materiales

El concreto poroso depende de la relación agregado – cemento y agua – cemento, para que pueda cumplir con la norma ACI 211.3R-02.

- Proporcionamiento en peso

Cemento : 404.884 kg/m<sup>3</sup>

Agregado grueso : 1490.580 kg/m<sup>3</sup>

Agregado fino : 41.694 kg/m<sup>3</sup>

Agua : 121.465 lt/m<sup>3</sup>

$$\frac{404.884}{404.884} : \frac{1490.580}{404.884} : \frac{41.694}{404.884} : \frac{121.465}{404.884} * 42.5$$

1: 3.68: 0.10/12.750 *litros/bolsa*

- Proporcionamiento en volumen

Cemento : 0.129 m<sup>3</sup>

Agregado grueso : 0.565m<sup>3</sup>

Agregado fino : 0.015m<sup>3</sup>

Agua : 0.121m<sup>3</sup>

$$\frac{0.129}{0.129} : \frac{0.565}{0.129} : \frac{0.015}{0.129} : \frac{0.121}{0.129} * 42.5$$

#### 12.- Mezcla de prueba en el laboratorio de diseño (DII 12%)

- Cálculo de volumen para cinco especímenes cilíndricos

Diámetro promedio D = 0.153 m

Altura promedio h = 0.302 m

Desperdicios = 1.05

Nº de testigos = 5



$$volumen = V = \pi \frac{D^2 * h * 1}{4} * 5 * 1.05 \dots (x)$$

Reemplazando valores se tiene:

$$V = 0.029$$

- Materiales para cinco especímenes ( $v=0.029m^3$ )

$$\text{Cemento} \quad : 404.884kg/m^3 * 0.029 \quad = 11.802kg$$

$$\text{Agregado Grueso} \quad : 1490.580kg/m^3 * 0.029 \quad = 43.451kg$$

$$\text{Agregado Fino} \quad : 41.694kg/m^3 * 0.029 \quad = 1.215kg$$

$$\text{Agua efectiva} \quad : 121.465 kg/m^3 * 0.029 \quad = 3.541 kg$$

- **Diseño DII 22%**

Se tiene en cuenta las consideraciones siguientes para el diseño DII 22%:

**Tabla 5 — Datos recolectados de los ensayos de los agregados para el diseño DII 22%**

Descripción	Cantidad	Unidad
Peso volumétrico varillado:	1602.774	kg/m <sup>3</sup>
Peso específico aparente sss	2.639	g/cm <sup>3</sup>
Contenido de vacíos	12%	
Relación de agua/cemento	0.30	
Tamaño máximo nominal (TMN)	3/4"	
Peso específico del cemento	3150	kg/m <sup>3</sup>
Peso específico del agua	1000	kg/m <sup>3</sup>

Cemento

Para el diseño II el contenido de vacíos es del 22%, con agregado de tamaño N° 67, para este diseño se considera un porcentaje de agregado fino por lo tanto la relación volumen seco compactado de agregado grueso por unidad de volumen de concreto (b/bo) según la tabla (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) es de 0.93 para un porcentaje del 10% de agregado fino visto en la tabla (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Para este diseño le corresponde 0.20 de contenido de pasta en volumen. Dicha consideración se toma de la figura N° (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). El grado de compactación es ligeramente compactado el cual es el 60% de compactación por el método de apisonado (3 capas, 15 golpes

por capa). Entonces se prosigue con los pasos siguientes, teniendo en cuenta que las ecuaciones son de la norma ACI 211.3R-02, apéndice 6:

#### 1.- Determinación del volumen de pasta

Se hará según tabla de la Norma ACI 211.3R.02, donde se interpola el contenido de vacíos teórico con respecto al volumen de la pasta. Se determina a través de la Figura (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Entonces se tiene un volumen de pasta de 0.20.

#### 2.- Determinación del contenido de cemento

$$\text{Volumen de pasta} = \text{Volumen de cemento} + \text{volumen de agua} \dots (i)$$

De la relación agua -cemento se tiene la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{Agua}}{\text{Cemento}} = 0.30$$

Reemplazando valores resulta:

$$\text{Cemento} = 323.907 \text{ kg}$$

Entonces para calcular el volumen del cemento se reemplaza en la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen de cemento} = \frac{\text{cemento}}{\text{Peso del cemento}} \dots (ii)$$

$$\text{Volumen de cemento} = 0.103 \text{ m}^3$$

#### 3.- Determinación del peso de agregado en seco tamaño N° 67 para el diseño DII 22%

La tabla N° (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), proporciona el valor del volumen seco compactado del agregado grueso por unidad de volumen de concreto según valores efectivos, en vista que se usa tamaño nominal N°67 de agregado, se usa un porcentaje del 10% de agregado fino el valor de  $b/b_0$  según tablas será igual a 0.93, se procede con la determinación del peso del agregado.

$$\text{Peso Agreg.} = \text{Peso volumetrico Varilla del agregado grueso} * b/b_0 \dots (iii)$$

$$\text{Peso Agreg} = 1490.580 \text{ kg/m}^3$$

#### 4.- Determinación del volumen de agregado en seco tamaño N° 8

$$VolumenAgreg.. = \frac{Pesodelagregado}{Pedelagregados*1000} \dots (iv)$$

$$VolumenAgreg. = 0.565m^3$$

5.- Determinación del volumen de agua

$$PesodelAgua = \frac{Agua}{PedelAgua} \dots (v)$$

Reemplazando valores obtenemos el peso del cemento

$$PesodelAgua = 97.172kilos$$

Reemplazando valores obtenemos el volumen del cemento

$$VolumenAgua = 0.097m^3$$

6.- Determinación del volumen del solido con volúmenes absolutos

$$Volumendelsolido = V.cemento + V.agreg.grueso + V.agua \dots (vi)$$

$$Volumendelsolido = 0.765m^3$$

7.- Añadimos el porcentaje de vacíos requerido en este caso el 22% en la suma de volúmenes absolutos

$$Volumendelsolido = V.cemento + V.agreg.grueso + V.agua + Vvacios$$

$$Volumendelsolido = 0.985m^3$$

8.- Determinación del volumen del agregado fino según valores efectivos

Obtenemos el volumen absoluto de agregado fino para 1m<sup>3</sup> de concreto permeable, restando la sumatoria de volúmenes absolutos de la unidad, de la siguiente manera:

$$V.agreg.fino = 0.015m^3$$

Por consiguiente del volumen del agregado fino obtenemos el peso de agregado fino seco:

$$Pesoagreg.fino seco = V.agreg.fino * Pesoespec.agreg.fino * 1000$$

$$Pesoagreg.fino seco = 41.694kg$$

Vale indicar que en el diseño no se realiza la corrección por humedad y absorción, ya que el diseño es en base a agregado superficialmente seco.

Resumen de los pesos secos de los materiales por m<sup>3</sup> de concreto permeable

Cemento	: 323.907 kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso	: 1490.580 kg/m <sup>3</sup>
Agregado fino	: 41.694 kg/m <sup>3</sup>
Agua	: 97.172 lt/m <sup>3</sup>
Total	: 1953.353 kg/m <sup>3</sup>

9.- Determinación del volumen del solido

Cemento	: 0.103 m <sup>3</sup>
Agregado grueso	: 0.565m <sup>3</sup>
Agregado fino	: 0.015m <sup>3</sup>
Agua	: 0.097m <sup>3</sup>
Total	: 0.780m <sup>3</sup>

10.- Determinación del volumen de vacíos

$$\text{Porcentaje de vacíos} = (1 - V. \text{solido}) * 100\% \dots \text{(viii)}$$

$$\text{Porcentaje de vacíos} = 22\%$$

11.- Proporcionamiento de materiales

El concreto poroso depende de la relación agregado – cemento y agua – cemento, para que pueda cumplir con la norma ACI 211.3R-02.

- Proporcionamiento en peso

Cemento	: 323.907kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso	: 1490.580 kg/m <sup>3</sup>
Agregado fino	: 41.694 kg/m <sup>3</sup>
Agua	: 97.172 lt/m <sup>3</sup>

$$\frac{323.907}{323.907} : \frac{1490.580}{323.907} : \frac{41.694}{323.907} : \frac{97.172}{323.907} * 42.5$$

1: 4.60: 0.13/12.750 litros/bolsa

- Proporciónamiento en volumen

Cemento : 0.103 m<sup>3</sup>

Agregado grueso : 0.565m<sup>3</sup>

Agregado fino : 0.015m<sup>3</sup>

Agua : 0.097m<sup>3</sup>

$$\frac{0.103}{0.103} : \frac{0.565}{0.103} : \frac{0.015}{0.103} : \frac{0.097}{0.103} * 42.5$$

1: 5.49: 0.15/12.75 litros/bolsa

12.- Mezcla de prueba en el laboratorio de diseño (DII 22%)

- Cálculo de volumen para cinco especímenes cilíndricos

Diámetro promedio D = 0.153 m

Altura promedio h = 0.302 m

Desperdicios = 1.05

Nº de testigos = 5

$$volumen = V = \pi \frac{D^2 * h * 1}{4} * 5 * 1.05 \dots (ix)$$

Reemplazando valores se tiene:

$$V = 0.029$$

- Materiales para cinco especímenes (v=0.029m<sup>3</sup>)

Cemento : 323.907kg/m<sup>3</sup>\*0.029 = 9.442kg

Agregado Grueso : 1490.580kg/m<sup>3</sup>\*0.029 = 43.451kg

Agregado Fino : 41.694kg/m<sup>3</sup>\*0.029 = 1.215kg

Agua efectiva : 97.172kg/m<sup>3</sup>\*0.029 = 1.215 kg

## Panel fotográfico



Figura 39 — Dosificación de materiales en peso para concreto permeable con agregado de Huso 8



Figura 40 — Revenimiento del concreto permeable con agregado de Huso 8





**Figura 41 — Especímenes de concreto permeable para el ensayo de permeabilidad con agregado de Huso 8.**



**Figura 42 — Especímenes de concreto permeable de Huso 8 y 67**



**Figura 13 — Especímenes de concreto permeable de huso 8 y 67**



**Figura 44 — Moldeado de vigas de concreto permeable con agregado de Huso 8**





Figura 45 — Prueba de compresión simple espécimen de concreto permeable, Huso 8



Figura 46 — Prueba de compresión simple espécimen de concreto permeable, Huso 67



Figura 47 — Vista de falla de la viga de concreto permeable, Huso 67



Figura 48 — Permeabilidad en vigas de concreto permeable





**Figura 49 — Prueba de permeabilidad de los especímenes de concreto permeable**



**Figura 50 — Ensayo de permeabilidad Huso 8 y 67, posterior a su prueba**