



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERIA

---

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

“INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRÍA DEL  
AGREGADO GRUESO EN LAS PROPIEDADES  
MECÁNICAS E HIDRÁULICAS DE UN CONCRETO  
PERMEABLE, TRUJILLO 2017”

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero Civil**

**Autor:**

Br. Johan Joe Perez Gordillo

**Asesor:**

Mg. Ing. Wiston Henry Azañedo Medina

Trujillo – Perú

2017

## **APROBACIÓN DE LA TESIS**

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por el Bachiller **Johan Joe Perez Gordillo**, denominada:

**“INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO EN LAS  
PROPIEDADES MECÁNICAS E HIDRÁULICAS DE UN CONCRETO  
PERMEABLE, TRUJILLO 2017”**

---

Mg. Ing. Wiston Henry Azañedo Medina  
**ASESOR**

---

Mg. Ing. Milagros Roxana Aguilar Villena  
**JURADO**  
**PRESIDENTE**

---

Mg. Ing. Josualdo Carlos Villar Quiroz  
**JURADO**

---

Ing. Roger Estuardo Ramírez Mercado  
**JURADO**

## DEDICATORIA

A mis padres, Jeanne y Antenor porque este logro es de ellos, con su esfuerzo y dedicación han hecho de mí una mejor persona. En sus consejos y el amor que me brindan encuentro la motivación para seguir creciendo día a día, son el pilar más importante de mi vida y siempre le doy gracias a Dios por haberme dado padres como ustedes.

A mi hermanito Rodrigo, porque has sido una bendición desde que llegaste a este mundo.

A mis abuelitos, Antonieta y Reynaldo, por criarme y darme su amor desde que era niño, no me alcanzará el tiempo para retribuirles todo lo que han hecho por mí, quisiera que fueran eternos.

A mis tíos, en especial a María, Klein, Henry y Maycol, por considerarme como un hijo y brindarme su apoyo en todo momento.

## AGRADECIMIENTO

A Dios por permitirme alcanzar esta meta tan importante en mi carrera profesional. A mis amados padres, hermano, y familiares que depositaron toda su confianza en mí y que me han acompañado en todos los momentos de mi vida.

A la Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, sobre todo a la hermosa Carrera de Ingeniería Civil, por abrirme las puertas del conocimiento, así mismo a los ingenieros docentes que con sus enseñanzas guiaron mis pasos en estos 5 años.

A mi Asesor de Tesis, Ing. Wiston Azañedo Medina por transmitirme sus conocimientos y brindarme su total apoyo y confianza en la concepción y desarrollo de este trabajo de investigación.

A los encargados del laboratorio de Concreto, en especial a Wesley Carrasco, por su colaboración en la realización de este trabajo experimental.

A mis amigos, especialmente a: Holly Rivera, Christian Cuadrao, Junior Díaz, Paola Castillo, Deyver Huamaní, Jean Pierre Cubas, Kevin Vásquez y Anthony Solón. Por todas las experiencias que vivimos juntos a lo largo de nuestra carrera y que sin duda nutrió nuestra amistad, la cual espero perdure en el tiempo.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>APROBACIÓN DE LA TESIS</b> .....	<b>ii</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>x</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xiii</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>14</b>
1.1. Realidad problemática.....	14
1.2. Formulación del problema.....	19
1.3. Justificación.....	19
1.4. Limitaciones.....	20
1.5. Objetivos.....	21
1.5.1. <i>Objetivo General</i> .....	21
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	21
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>22</b>
2.1. Antecedentes.....	22
2.2. Bases Teóricas.....	25
2.2.1. <i>Definición y aspectos técnicos del concreto permeable</i> .....	22
2.2.2. <i>Componentes del concreto permeable</i> .....	23
2.2.3. <i>Propiedades del concreto permeable</i> .....	26
2.2.4. <i>Aplicaciones para el concreto permeable</i> .....	32
2.2.5. <i>Ventajas y desventajas del concreto permeable</i> .....	33
2.3. Definición de términos básicos.....	40
2.3.1. <i>Granulometría del agregado grueso</i> .....	40
2.3.2. <i>Resistencia a la compresión</i> .....	40
2.3.3. <i>Resistencia a la flexión</i> .....	41
2.3.4. <i>Permeabilidad</i> .....	41
2.4. Hipótesis.....	41
2.4.1. <i>Hipótesis General</i> .....	41
2.4.1. <i>Hipótesis Específicas</i> .....	41
<b>CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA</b> .....	<b>42</b>
3.1. Operacionalización de variables.....	42
3.1.1. <i>Variable independiente</i> .....	42
3.1.2. <i>Variables dependientes</i> .....	42

3.2.	Diseño de investigación.....	42
3.3.	Unidad de estudio .....	43
3.4.	Población.....	43
3.5.	Muestra.....	43
3.6.	Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos.....	45
3.6.1.	<i>Técnicas e instrumentos de recolección de datos</i> .....	45
3.6.2.	<i>Procedimiento experimental</i> .....	46
3.6.2.1.	<i>Caracterización de agregados</i> .....	47
3.6.2.2.	<i>Diseño de mezcla</i> .....	55
3.6.2.3.	<i>Diseños de mezcla finales</i> .....	59
3.6.2.4.	<i>Ensayos realizados al concreto permeable</i> .....	73
3.7.	Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos .....	83
3.7.1.	<i>Media aritmética</i> .....	83
3.7.2.	<i>Varianza</i> .....	83
3.7.3.	<i>Desviación Estándar</i> .....	84
3.7.4.	<i>Coficiente de variación</i> .....	84
<b>CAPÍTULO 4.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>85</b>
4.1.	Caracterización del agregado fino: .....	85
4.2.	Caracterización del agregado grueso: .....	86
4.3.	Caracterización del cemento: .....	87
4.4.	Diseños de mezcla:.....	87
4.5.	Ensayos al concreto en estado fresco: .....	88
4.5.1.	<i>Asentamiento del concreto permeable</i> .....	88
4.5.2.	<i>Densidad (Peso Unitario) en estado fresco del concreto permeable</i> .....	88
4.5.3.	<i>Contenido de vacíos en estado fresco del concreto permeable</i> .....	89
4.6.	Ensayos al concreto en estado endurecido:.....	92
4.6.1.	<i>Densidad (Peso Unitario) en estado endurecido del concreto permeable</i> .....	92
4.6.2.	<i>Contenido de vacíos en estado endurecido del concreto permeable</i> .....	94
4.6.3.	<i>Resistencia a la compresión</i> .....	96
4.6.4.	<i>Resistencia a la flexión</i> .....	98
4.6.5.	<i>Permeabilidad</i> .....	100
4.7.	Costos para el concreto permeable: .....	101
<b>CAPÍTULO 5.</b>	<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>102</b>
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>118</b>	
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>120</b>	
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>121</b>	
<b>ANEXOS</b> .....	<b>124</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Clasificación de los aditivos.....	29
<b>Tabla 2:</b> Operacionalización de variables.....	42
<b>Tabla 3:</b> Granulometría del agregado fino.....	48
<b>Tabla 4:</b> Granulometría del agregado grueso.....	48
<b>Tabla 5:</b> Desgaste a la abrasión.....	49
<b>Tabla 6:</b> Peso específico y absorción de agregado grueso.....	50
<b>Tabla 7:</b> Gravedad específica y absorción de agregado fino.....	51
<b>Tabla 8:</b> Peso unitario del agregado.....	52
<b>Tabla 9:</b> Contenido de Humedad de agregados.....	53
<b>Tabla 10:</b> Cantidad de material fino que pasa por el tamiz N° 200.....	54
<b>Tabla 11:</b> Peso específico del cemento.....	55
<b>Tabla 12:</b> Valores efectivos de b/bo.....	59
<b>Tabla 13:</b> Peso Específico del cemento y agua.....	60
<b>Tabla 14:</b> Propiedades del agregado para el diseño de 1/2".....	60
<b>Tabla 15:</b> Determinación del valor efectivos b/bo.....	62
<b>Tabla 16:</b> Pesos corregidos por humedad de la gradación 1/2".....	66
<b>Tabla 17:</b> Diseño de mezcla para gradación de 1/2".....	66
<b>Tabla 18:</b> Propiedades del agregado para el diseño de 3/8".....	66
<b>Tabla 19:</b> Pesos corregidos por humedad de la gradación 3/8".....	69
<b>Tabla 20:</b> Diseño de mezcla para gradación de 3/8".....	69
<b>Tabla 21:</b> Propiedades del agregado para el diseño N° 4.....	70
<b>Tabla 22:</b> Pesos corregidos por humedad de la gradación N° 4.....	72
<b>Tabla 23:</b> Diseño de mezcla para gradación de N° 4.....	72
<b>Tabla 24:</b> Peso Unitario en estado fresco del concreto.....	74
<b>Tabla 25:</b> Contenido de vacíos en estado fresco del concreto.....	74
<b>Tabla 26:</b> Consistencia del concreto permeable.....	75
<b>Tabla 27:</b> Asentamiento del concreto permeable.....	75
<b>Tabla 28:</b> Resistencia a la compresión.....	77
<b>Tabla 29:</b> Resistencia a la flexión.....	78
<b>Tabla 30:</b> Coeficiente de Permeabilidad.....	80
<b>Tabla 31:</b> Densidad del agua.....	81
<b>Tabla 32:</b> Peso Unitario en estado endurecido del concreto.....	82
<b>Tabla 33:</b> Contenido de vacíos en estado endurecido del concreto.....	82
<b>Tabla 34:</b> Propiedades físicas de la arena gruesa.....	85
<b>Tabla 35:</b> Propiedades físicas de las tres gradaciones de agregado grueso.....	86
<b>Tabla 36:</b> Peso específico del cemento hidráulico.....	87

<b>Tabla 37:</b> Criterios de diseño para las tres dosificaciones de concreto permeable.....	87
<b>Tabla 38:</b> Diseño de mezcla con gradación de 1/2".....	87
<b>Tabla 39:</b> Diseño de mezcla con gradación de 3/8".....	87
<b>Tabla 40:</b> Diseño de mezcla con gradación N° 4.....	88
<b>Tabla 41:</b> Slump y Consistencia del concreto permeable. ....	88
<b>Tabla 42:</b> Peso Unitario en estado fresco del concreto permeable con gradación de 1/2".....	88
<b>Tabla 43:</b> Peso Unitario en estado fresco del concreto permeable con gradación de 3/8".....	88
<b>Tabla 44:</b> Peso Unitario en estado fresco del concreto permeable con gradación N° 4.....	89
<b>Tabla 45:</b> Datos estadísticos del Peso Unitario en estado fresco.....	89
<b>Tabla 46:</b> Proporción de diseño en estado SSS para la gradación de 1/2".....	89
<b>Tabla 47:</b> Contenido de vacíos en estado fresco del concreto permeable con gradación de 1/2".....	90
<b>Tabla 48:</b> Proporción de diseño en estado SSS para la gradación de 3/8".....	90
<b>Tabla 49:</b> Contenido de vacíos en estado fresco del concreto permeable con gradación 3/8".....	90
<b>Tabla 50:</b> Proporción de diseño en estado SSS para el agregado N° 4. ....	91
<b>Tabla 51:</b> Contenido de vacíos en estado fresco del concreto permeable con gradación N° 4. ....	91
<b>Tabla 52:</b> Datos estadísticos del Contenido de Vacíos en estado fresco. ....	91
<b>Tabla 53:</b> Peso Unitario en estado fresco del concreto permeable con gradación 1/2".....	92
<b>Tabla 54:</b> Peso Unitario en estado fresco del concreto permeable con gradación 3/8".....	92
<b>Tabla 55:</b> Peso Unitario en estado fresco del concreto permeable con gradación N° 4.....	93
<b>Tabla 56:</b> Datos estadísticos del Peso Unitario en estado endurecido. ....	93
<b>Tabla 57:</b> Contenido de vacíos en estado endurecido del concreto permeable gradación de 1/2".....	94
<b>Tabla 58:</b> Contenido de vacíos en estado endurecido del concreto permeable gradación de 3/8".....	94
<b>Tabla 59:</b> Contenido de vacíos en estado endurecido del concreto permeable gradación N° 4. ....	94
<b>Tabla 60:</b> Datos estadísticos del Contenido de Vacíos en estado endurecido.....	95
<b>Tabla 61:</b> Comparación del contenido de vacíos entre metodologías para estado fresco y endurecido del concreto permeable.....	95
<b>Tabla 62:</b> Resistencia a la compresión (7 días) con gradación de 1/2".....	96
<b>Tabla 63:</b> Resistencia a la compresión (7 días) con gradación de 3/8".....	96
<b>Tabla 64:</b> Resistencia a la compresión (7 días) con gradación N° 4. ....	96
<b>Tabla 65:</b> Resistencia a la compresión (28 días) con gradación de 1/2".....	97
<b>Tabla 66:</b> Resistencia a la compresión (28 días) con gradación de 3/8".....	97
<b>Tabla 67:</b> Resistencia a la compresión (28 días) con gradación N° 4.....	97
<b>Tabla 68:</b> Datos estadísticos de la resistencia a la compresión. ....	98
<b>Tabla 69:</b> Resistencia a la flexión con gradación de 1/2".....	98
<b>Tabla 70:</b> Resistencia a la flexión con gradación de 3/8".....	99
<b>Tabla 71:</b> Resistencia a la flexión con gradación N° 4. ....	99
<b>Tabla 72:</b> Datos estadísticos de la resistencia a la flexión. ....	99
<b>Tabla 73:</b> Coeficiente de permeabilidad para la gradación de 1/2".....	100

<b>Tabla 74:</b> Coeficiente de Permeabilidad para la gradación de 3/8".	100
<b>Tabla 75:</b> Coeficiente de Permeabilidad para la gradación N° 4.	100
<b>Tabla 76:</b> Datos estadísticos del Coeficiente de Permeabilidad.	100
<b>Tabla 77:</b> Costos unitarios de materiales para elaboración de concreto permeable.	101
<b>Tabla 78:</b> Costo de material por m <sup>3</sup> de concreto permeable con gradación de 1/2".	101
<b>Tabla 79:</b> Costo de material por m <sup>3</sup> de concreto permeable con gradación de 3/8".	101
<b>Tabla 80:</b> Costo de material por m <sup>3</sup> de concreto permeable con gradación N° 4.	101
<b>Tabla 81:</b> Diseños de mezcla previos.	131
<b>Tabla 82:</b> Análisis granulométrico del agregado fino.	135
<b>Tabla 83:</b> Análisis granulométrico del agregado grueso.	135
<b>Tabla 84:</b> Desgaste a la abrasión gradación B (1/2").	136
<b>Tabla 85:</b> Desgaste a la abrasión gradación C (3/8").	136
<b>Tabla 86:</b> Desgaste a la abrasión gradación D (N° 4).	136
<b>Tabla 87:</b> Peso específico y Absorción del agregado fino.	137
<b>Tabla 88:</b> Peso específico y Absorción de gradación 1/2".	138
<b>Tabla 89:</b> Peso específico y Absorción de gradación 3/8".	138
<b>Tabla 90:</b> Peso específico y Absorción de gradación N° 4.	139
<b>Tabla 91:</b> Contenido de humedad del agregado fino.	139
<b>Tabla 92:</b> Contenido de humedad de gradación 1/2".	139
<b>Tabla 93:</b> Contenido de humedad de gradación 3/8".	140
<b>Tabla 94:</b> Contenido de humedad de gradación N° 4.	140
<b>Tabla 95:</b> Peso unitario del agregado fino.	140
<b>Tabla 96:</b> Peso unitario de gradación 1/2".	141
<b>Tabla 97:</b> Peso unitario de gradación 3/8".	141
<b>Tabla 98:</b> Peso unitario de gradación N° 4.	142
<b>Tabla 99:</b> Cantidad de material fino que pasa por el tamiz N° 200 para agregado fino.	142
<b>Tabla 100:</b> Cantidad de material fino que pasa por el tamiz N° 200 para gradación 1/2".	143
<b>Tabla 101:</b> Cantidad de material fino que pasa por el tamiz N° 200 para gradación 3/8".	143
<b>Tabla 102:</b> Cantidad de material fino que pasa por el tamiz N° 200 para gradación N° 4.	144
<b>Tabla 103:</b> Peso específico del cemento.	144

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Muestra de Concreto permeable.....	26
<b>Figura 2:</b> Cono de Abrams (Asentamiento del concreto permeable).....	30
<b>Figura 3:</b> Estructura interna de un concreto permeable.....	31
<b>Figura 4:</b> Factores que influyen en la permeabilidad del concreto. ....	32
<b>Figura 5:</b> Principales usos del concreto permeable. ....	36
<b>Figura 6:</b> Probetas para la prueba de Resistencia a la Compresión a los 28 días.....	44
<b>Figura 7:</b> Probetas para la prueba de Resistencia a la Flexión y Permeabilidad.....	44
<b>Figura 8:</b> Procedimiento experimental. ....	46
<b>Figura 9:</b> Relación entre contenido de vacíos y fuerza a la compresión a los 28 días para tamaños de agregados N° 67 y N° 8. ....	57
<b>Figura 10:</b> Relación entre el porcentaje de vacíos y el contenido de pasta para tamaños de agregado N° 8. ....	58
<b>Figura 11:</b> Elección de % de vacíos para el diseño de mezcla ....	61
<b>Figura 12:</b> Determinación del Contenido de pasta ....	62
<b>Figura 13:</b> Curva granulométrica promedio del agregado fino.. ....	85
<b>Figura 14:</b> Curva granulométrica promedio del agregado grueso. ....	86
<b>Figura 15:</b> Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos permeables.....	102
<b>Figura 16:</b> Esquemas de los Modelos de Fractura Típicos en probetas cilíndricas. ....	103
<b>Figura 17:</b> Resistencia a la flexión de los concretos permeables.....	104
<b>Figura 18:</b> Comparación entre diferentes Módulos de Rotura para pavimentos.....	105
<b>Figura 19:</b> Relación entre Resistencia a la Compresión y Flexión. ....	106
<b>Figura 20:</b> Relación entre fuerza de compresión y flexión.. ....	107
<b>Figura 21:</b> Comparación de Contenido de Vacíos en los Concretos Permeables. ....	108
<b>Figura 22:</b> Densidades de los concretos permeables.....	110
<b>Figura 23:</b> Relación entre Densidad y Contenido de Vacíos.....	111
<b>Figura 24:</b> Coeficientes de Permeabilidad. ....	112
<b>Figura 25:</b> Relación entre Vacíos y Permeabilidad.....	114
<b>Figura 26:</b> Relación entre aire contenido y taza de percolación.....	114
<b>Figura 27:</b> Relación entre Permeabilidad y Resistencia a Flexión. ....	115
<b>Figura 28:</b> Costos de materiales x m3 de los Concretos Permeables.....	116
<b>Figura 29:</b> Relación entre Costo y Resistencia a compresión.....	116
<b>Figura 30:</b> Relación entre Costo y Módulo de Rotura.....	117
<b>Figura 31:</b> Relación entre Costo y Permeabilidad. ....	117
<b>Figura 32:</b> Análisis granulométrico del agregado grueso y fino.....	124
<b>Figura 33:</b> Gradaciones de 1/2" y 3/8". ....	124
<b>Figura 34:</b> Gradación N° 4. ....	124

<b>Figura 35:</b> Contenido de Humedad del agregado grueso y fino.....	125
<b>Figura 36:</b> Peso Unitario Suelto y Compactado de los agregados.....	125
<b>Figura 37:</b> Peso Específico y Absorción del agregado grueso.....	125
<b>Figura 38:</b> Peso Específico y Absorción del agregado fino.....	126
<b>Figura 39:</b> Abrasión en la máquina Los Ángeles.....	126
<b>Figura 40:</b> Asentamiento del concreto permeable.....	127
<b>Figura 41:</b> Elaboración de probetas para Flexión y Compresión.....	127
<b>Figura 42:</b> Desencofrado y curado de probetas.....	127
<b>Figura 43:</b> Probetas para ensayo a la Compresión a 7 y 28 días.....	128
<b>Figura 44:</b> Probetas de las tres gradaciones ensayadas a compresión.....	128
<b>Figura 45:</b> Viguetas con gradación N° 4 y 3/8" ensayadas a Flexión.....	128
<b>Figura 46:</b> Probetas para ensayo de Permeabilidad.....	129
<b>Figura 47:</b> Equipo de Permeabilidad.....	129
<b>Figura 48:</b> Ensayo de Permeabilidad.....	129
<b>Figura 49:</b> Ensayo de Densidad y Contenido de Vacíos en estado fresco.....	130
<b>Figura 50:</b> Ensayo de Densidad y Contenido de Vacíos en estado endurecido.....	130
<b>Figura 51:</b> Probetas piloto.....	131
<b>Figura 52:</b> Probetas Piloto.....	132

## RESUMEN

La investigación realizada se centra en el análisis del efecto que tiene la variación de la granulometría del agregado grueso en las propiedades mecánicas e hidráulicas de un concreto permeable. Las propiedades evaluadas en este trabajo son la resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, y permeabilidad, parámetros considerados de mayor relevancia en este tipo de concretos. Las gradaciones de agregado elegidas fueron tres, de 1/2" (1/2" a 3/8"), de 3/8" (3/8" a N° 4) y N° 4 (N° 4 a N° 8), donde los valores dentro de los paréntesis representan los tamices por los cuales las partículas del agregado pasan y se quedan respectivamente. Estas gradaciones se obtuvieron mediante el tamizado a un agregado grueso natural de TMN 1/2", extraído de la cantera Calderón ubicada en el sector El Milagro - Huanchaco, provincia de Trujillo-Perú.

Para el desarrollo de este trabajo, se elaboraron 3 diseños de mezcla considerando los mismos criterios de diseño, relación a/c de 0.35, 15% de vacíos, 8% de agregado fino y 25.2% de volumen de pasta; siguiendo la metodología brindada por el ACI 522 R-10 ("Reporte en Concreto Permeable"). Posteriormente, se llevaron a cabo los ensayos de laboratorio para determinar las resistencias mecánicas, permeabilidad, contenido de vacíos y densidad. Pudiendo así, evaluar y comparar el comportamiento de las tres gradaciones de agregado grueso en estudio reflejado en las propiedades de los concretos permeables elaborados.

De los resultados obtenidos, se determinó que el concreto permeable elaborado con la gradación N° 4 presentó las mayores resistencias a compresión y flexión, siendo estas 209.68 kg/cm<sup>2</sup> y 33.81 kg/cm<sup>2</sup>. En cuanto a la permeabilidad, la gradación de 3/8" fue la que obtuvo mayores valores presentando una tasa de percolación promedio de 0.222 cm/s. Además, se analizó la relación de estas propiedades con los valores obtenidos en los ensayos complementarios para determinar el contenido de vacíos y densidad en estado fresco y endurecido del concreto, encontrándose una relación directa.

**Palabras clave:** Concreto Permeable / Agregado Grueso / Resistencia a la Compresión / Resistencia a la Flexión / Permeabilidad / ACI 522 R-10.

## ABSTRACT

The research carried out focuses on the analysis of the effect of the granulometry variation of the coarse aggregate on the mechanical and hydraulic properties of a permeable concrete. The properties evaluated in this work are the compressive strength, flexural strength, and permeability, parameters considered of greater relevance in this type of concretes. The selected aggregate grades were three, 1/2" (1/2" a 3/8"), de 3/8" (3/8" a N° 4) y N° 4 (N° 4 a N° 8), where the values within the parentheses represent the sieves by which the aggregate particles pass and stay respectively. These graduations were obtained by sieving to a natural coarse aggregate of TMN 1/2", extracted from the Calderón quarry located in the El Milagro district, city of Trujillo, Peru.

For the development of this work, 3 mix designs were prepared considering the same design criteria, a/c ratio of 0.35, 15% voids, 8% fine aggregate and 25.2% paste volume; following the methodology provided by ACI 522 R-10 ("Report on Permeable Concrete"). Subsequently, laboratory tests were performed to determine the mechanical strength, permeability, void content and density. This way, to evaluate and to compare the behavior of the three graduations of thick aggregate in study reflected in the properties of the elaborated permeable concretes.

From the obtained results, it was determined that the permeable concrete elaborated with the gradation N° 4 presented the greatest resistance to compression and flexion, being these 209.68 kg/cm<sup>2</sup> and 33.81 kg/cm<sup>2</sup>. As for permeability, the 3/8" gradation was the one that obtained higher values presenting an average percolation rate of 0.222 cm/s. In addition, the relationship of these properties to the values obtained in the complementary tests was analyzed to determine the content of voids and density in the fresh and hardened state of the concrete, a direct relationship being found.

**Keywords:** Pervious Concrete / Coarse Aggregate / Compressive Strength / Flexural Strength / Permeability / ACI 522 R-10.

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

A lo largo de las últimas décadas, el sector de la construcción ha tenido singular importancia en el crecimiento de la economía mundial y a su vez ha generado un gran impacto ambiental en nuestro planeta. En la actualidad, nuestras ciudades modernas se caracterizan por materializarse en grandes extensiones de superficies impermeables que alteran radicalmente el ciclo natural del agua (flujo libre del agua y el aire a los suelos), aumentan la temperatura e incrementan la acumulación y flujo de agua en superficies (Aoki, 2009).

El aumento progresivo de la población, sumado a la consecuente urbanización de espacios, y el incremento vehicular hasta niveles de saturación completa, han contribuido a acrecentar la problemática (Subramanian, 2009). Según las Naciones Unidas (reporte en el año 2010) se estima que para el año 2030, 5 mil millones de personas vivan en áreas urbanas alrededor del mundo, debido al fenómeno de la migración desde áreas rurales hacia las grandes urbes.

Por ello, periódicamente miles de urbes en el mundo se ven afectadas por fenómenos climáticos naturales, los cuales provocan inundaciones y graves daños en sus estructuras. Aparte de las precipitaciones, se suma el problema de un sistema de captación de aguas pluviales deficiente, que no abastece la evacuación de las aguas de lluvia, generando malestar e incomodidad entre sus pobladores; impidiendo la movilización de los mismos dentro de las urbes.

Por otra parte, la escasez porcentual del agua (sequías) en muchos países del mundo (principalmente en África, Asia y Latinoamérica) también complica la situación, así se tiene que el 97.5% del agua sobre la tierra es salada, el 2.5% es agua dulce, de la cual el 1.7% está congelada (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas, 2016). Lo anterior se agrava por la pavimentación en ocasiones, sin planificación, de caminos, plataformas y áreas que rodean las edificaciones con concreto convencional, que ocasiona fugas e inundaciones con agua de lluvia, siendo necesario una forma de evacuación, que implica costosos sistemas de drenajes. Sin embargo, la mera inclusión de drenajes no constituye una solución definitiva al efecto del agua, porque si estos no funcionan el problema es más grave, ya que el sistema puede fallar ante lluvias intensas y las consecuencias sobre el deterioro de las estructuras serían peores.

Ante este escenario, se retoman técnicas, que en el presente podrían ser determinantes para rescatar los recursos naturales, facilitando el manejo del agua de lluvia, y mejorar sustancialmente las vías, áreas de recreación, estacionamientos, puentes prototipo, entre

otras estructuras; Y poder brindar un mejor servicio, previniendo que precipitaciones detengan la movilidad de una urbe. Así, el uso del concreto permeable surge como parte de una solución integral que permite abordar estos problemas de una manera sostenible, además que viene a ser un tema actual e innovador dentro de la Ingeniería Civil que encaja en la búsqueda de nuevos métodos y materiales de construcción que permitan reducir el impacto sobre el medio ambiente y que utilice materiales de tipo ecológico para su fabricación, además de que este tipo de concreto permite aprovechar ciertas características que el concreto convencional no presenta.

Durante los últimos 30 años las investigaciones del concreto permeable vienen en crecimiento, principalmente en países como Estados Unidos, Japón, China y Australia. Este material ha tomado fuerza en la industria de la construcción, siendo cada vez más común su aparición, potenciado por la conciencia de protección y preservación medioambiental. (Gupta, Desai, & Patil, 2009).

En Europa se valora no solo por su capacidad drenante, sino también por sus propiedades de absorción acústica. En China (uno de los principales exponentes del uso de este tipo de concreto), se colocaron cerca de 2,7 millones de metros cuadrados de concreto permeable arquitectónico (decorativo) para los Juegos Olímpicos de Beijing en el año 2008. En Japón se ha trabajado no solo para construir superficies para el tránsito de vehículos y peatones, sino también para estabilizar la vegetación en las márgenes de los ríos. En Australia, el concreto permeable es valorado como elemento esencial en el Diseño Urbano Sensible al Agua (WSUD) para mejorar la calidad y cantidad del agua en las zonas urbanas (Aoki, 2009).

En América, distintos países han presentado grandes avances y se destacan por ser líderes en la implementación del concreto permeable. Así tenemos a Estados Unidos, específicamente California, que se convirtió en el primer estado en emplear concreto permeable, usándolo en el estacionamiento del Parque Bannister en el año 2001; También en el zoológico de Oregon, Portland, se construyeron los andenes usando concreto permeable con el propósito de manejar adecuadamente la escorrentía superficial, tema prioritario en el diseño del zoológico debido a la topografía del terreno. En México los avances en la implementación de concreto permeable también han sido notorios, entre los proyectos destacados se encuentran la plaza central de Soyaló en Chiapas, también una obra en el Instituto de Vivienda del Estado de Aguascalientes y la Avenida Moctezuma de la ciudad de Guadalajara, Estado de Jalisco. Otro país líder en este continente es Panamá, que desde el año 2009 viene utilizando el concreto permeable en la construcción de alamedas peatonales, entradas de centros comerciales y plazuelas. (BLOG 360° EN CONCRETO, 2015)

En Latinoamérica, el país que comenzó a utilizar este tipo de concreto fue Brasil, en el año 2010 se colocó un pavimento con placas de concreto poroso y uno de asfalto común mezclado con aditivos, en un área de 1.600 kilómetros cuadrados como parte de un proyecto conjunto entre la alcaldía de Sao Paulo y la Universidad de Sao Paulo (USP). (Spanish.China.org.on, 2010). Colombia también ha empezado a implementar el concreto permeable, en algunos invernaderos, canchas deportivas, parques y vías vehiculares de sus principales urbes. Otros países como Ecuador se han sumado a esta lista, pero lamentablemente los estudios realizados se han quedado solo en alternativas de aplicación.

En nuestro país, a pesar de que el concepto de concreto permeable ha despertado gran interés debido a las ventajas mencionadas anteriormente y que ha tomado fuerza en la industria mundial de la construcción, es un tema poco explorado y por ende poco aplicado. Así, son pocas las empresas que se especializan en la producción y comercialización de este tipo de concreto, se tiene a la empresa peruana Unicon, que inició la fabricación del concreto permeable en el año 2011, utilizándolo en el Revestimiento de las tuberías de la planta de tratamiento de agua en Huachipa ese mismo año; Y también a la empresa mexicana Cemex, que viene elaborando concreto permeable en nuestro país, especialmente para losas, veredas, como protección de la erosión de finos en el suelo, protección de cimentaciones y/o tuberías enterradas.

La creación de Normas que estandaricen la aplicación y el uso del concreto permeable ha venido siendo liderada por los Estados Unidos, que son considerados como los pioneros. En el año 2002, el comité ACI "American Concrete Institute", manifestó los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en la ciudad de Florida en la cual se aplicó concreto permeable en Bermas y Estacionamiento, reduciendo significativamente el volumen de escorrentía en las calles y estacionamiento que generaban las precipitaciones, dando a conocer su resultado en la Norma ACI 522R-02. Posteriormente se realizaron más investigaciones sobre el concreto permeable, los cuales se publicaron en la editorial del año 2006 de la Norma ACI 522R-06. Siendo la última actualización en el año 2010 (ACI 522R-10). De la misma forma la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales (ASTM) se ha enfocado en el desarrollo de estándares para caracterización de sus propiedades, producción y uso.

(Meneses & Bravo, 2007), Los autores presentan este trabajo de grado, el cual contiene los resultados del estudio de la propiedad mecánica del concreto poroso (resistencia a la compresión), utilizando materiales propios de la región de Antioquía. En el diseño utilizado dentro de la mezcla, se empleó un agregado con ausencia casi total de finos, confirmando que su presencia reduce la permeabilidad en la mezcla. La granulometría utilizada en el ejercicio fue de 10 y 12.5 mm ( $3/8$ ,  $1/2$ ), Al concluir la investigación, se pudo afirmar que la relación óptima de a/c es de 0.7, confirmando lo que se sugiere en estudios referenciados

anteriormente en su trabajo. Además, se pudo observar que en cuanto a la manejabilidad del material se hace propenso a la segregación de la pasta, por tanto, se sugiere controlar muy bien el proceso y curar lo suficiente la muestra pasadas las 24 horas de acuerdo con lo que indica la norma.

(Valverde, 2014), Desarrolla Hormigones Permeables enfocados al diseño de mezclas, construcción de obras y a la protección ambiental, basado en las normas ACI, ASTM e INEN, El autor utiliza Cemento Holcim Rocafuerte tipo 'GU' y agregados de 3/8", N°4 y N°8 proveniente de la cantera del Rio Guayllabamba, compara los resultados con uso de otro cemento y otro agregado, y presenta una aplicación práctica en la pavimentación del área de estacionamientos de la Universidad San Francisco y también un ecológico diseño de aprovechamiento con un reservorio sub superficial.

(León & Rosero, 2016), Los autores realizan la investigación que permite optimizar una mezcla de concreto permeable enfocándose en su resistencia y permeabilidad, para esto se analiza cada una de sus propiedades tanto físicas como mecánicas y sobre todo el efecto que tiene al variar la relación agua/cemento en cada una de las mezclas realizadas, a su vez se estudia la incidencia que tienen la variación de la granulometría en las propiedades de la mezcla. También se determinó que si la mezcla de concreto poroso tiene mayor resistencia a la compresión su permeabilidad va a disminuir, y si disminuye la resistencia a la compresión aumenta la permeabilidad. Finalmente se concluye que el diseño de mezcla óptimo para un concreto permeable se obtuvo con una relación w/c de 0,55 con el cual se alcanzó una resistencia a la compresión de 24,6 Mpa, con una permeabilidad de 1,88 mm/seg y un porcentaje de vacíos del 9,46% y finalmente con una densidad de 2053,55 kg/m<sup>3</sup>.

Se puede decir que, basados en los estudios realizado hasta la fecha, las variables de alta incidencia en el comportamiento mecánico e hidráulico del concreto poroso (relación resistencia/permeabilidad) vienen a ser la proporción agua/cemento, granulometría y morfología de los agregados, presión de compactación y técnicas de curado; Por lo cual se justifica una indagación.

En la actualidad, nuestro país no es ajeno al impacto ambiental que se viene produciendo en el mundo, es decir al crecimiento demográfico, el incremento vehicular hasta niveles de saturación completa, a las inundaciones que generan inconvenientes en las ciudades y en el medio ambiente, además de los daños que ocasiona el ser humano a los mantos acuíferos y a los suelos.

Por mencionar algunos inconvenientes debido al mal manejo de aguas pluviales (ineficientes sistemas de drenaje), tenemos la formación de espejos de agua en veredas, canchas y en

cualquier espacio de recreación que pueden causar accidentes e inconvenientes al usuario, el hidroplaneo (efecto por el cual un vehículo que atraviesa una vía cubierta de agua a cierta velocidad pierde totalmente la tracción entre sus neumáticos y la superficie de la vía), el salpicado (ocurre cuando el agua estancada sobre la vía es lanzada a un vehículo cuando otro la atraviesa, quitando en ciertas ocasiones pérdida total de la visibilidad del conductor) y la escorrentía (debido a que el agua no sigue su ciclo natural), (Tennis, 2004)

Por ello, en nuestra realidad se debe implementar el concepto de construcción de ciudades sostenibles, permitiendo el tratamiento de aguas superficiales de lluvia, infiltrando esta agua al subsuelo, recargando los mantos acuíferos o permitiendo el almacenamiento de estas aguas en tanques para luego reutilizarlas para el sistema de riego en parques, inodoros de zonas residenciales, agua para uso industrial, entre otros (Calderón, 2013). Por ende, las alternativas en nuevos métodos, aplicaciones y materiales en la construcción deben ser vistas como válidas para solucionar el atraso, y a su vez, diseñar y construir obras que estén a la par de la innovación y protección ambiental.

En cuanto a este último tema, la construcción de infraestructura con concreto poroso, permite que el desarrollo urbanístico esté de la mano con la sostenibilidad, la cual es modelo en las principales ciudades del mundo. El modelo de construcción sostenible está siendo aplicado en la actualidad a la ingeniería civil, ya que representa la transformación del sector de la construcción, en función de los conceptos de reciclaje, la reutilización y la recuperación de recursos. En este sentido el concreto poroso se ajusta a estos conceptos, y permite que su tecnología sea aplicada en escenarios en los que se usen modelos de recuperación del recurso hídrico mediante un material como el concreto poroso.

Lamentablemente en el Perú no existe una norma acerca del concreto permeable y la tecnología de éste es relativamente nueva, además de no contar con las investigaciones suficientes, su aplicación es muy limitada. Entonces, debido al interés actual por preservar el ambiente y mejorar la calidad de la construcción se debe mirar hacia opciones como ésta las cuales pueden revolucionar la forma en la que utilizamos el concreto cumpliendo así con estándares, tanto ambientales como de servicio. Por ello, se propone esta investigación, para demostrar que la tecnología de los concretos permeables puede ser realizada en nuestro medio, con gradaciones y cementos nacionales, y de esta manera seleccionar el diseño de mezcla que brinde un concreto permeable funcional, es decir un concreto que presente un equilibrio entre sus propiedades mecánicas e hidráulicas, de acuerdo con la granulometría de los agregados a utilizarse, para que exista una base en futuros estudios. Ya que, no existen investigaciones locales acerca de la influencia de la granulometría de los agregados en las propiedades del concreto permeable.

Este tipo de concreto emplea los mismos materiales que se utilizan en un concreto tradicional, es decir; cemento, agregado grueso, agregado fino y agua. Sin embargo, el uso del agregado fino se usa en mínimas cantidades y dependiendo de las necesidades de aplicación se elimina de la mezcla creando un contenido de vacío considerable que una vez endurecido permite ciertas ventajas de funcionalidad como la resistencia y la permeabilidad, las cuales deben estar totalmente equilibradas para que este concreto logre un desempeño óptimo y adecuado.

## 1.2. Formulación del problema

¿En qué medida influye la granulometría del agregado grueso en las propiedades mecánicas e hidráulicas de un concreto permeable?

## 1.3. Justificación

El concreto permeable es un tema actual e innovador dentro de la Ingeniería Civil, se considera a este tipo de concreto como un material de construcción ecológico porque facilita el manejo del agua de lluvias, ya que en la actualidad las inundaciones generan inconvenientes en ciudades, así mismo en el medio ambiente.

El uso de concretos permeables permite la oxigenación y humedecimiento del suelo debajo de la capa de concreto, evitando la concentración de agua en su superficie lo que ayuda a prevenir posibles accidentes y aumenta las prestaciones de servicio. Además, se caracterizan por filtrar productos peligrosos como aceite, gasolina o diésel en calles y avenidas, lo que reduce el índice de accidentes y ayuda a reducir la contaminación. Igualmente, ante una precipitación se elimina la posibilidad de formación de nubes de agua lo que mejora sustancialmente la visibilidad. Este escenario visto desde el punto de vista de la Ingeniería Civil representa el mejoramiento sustancial de veredas, calles, áreas de recreación, y grandes avenidas para poder brindar un mejor servicio y prevenir que precipitaciones con acumulación de agua detengan la movilidad de una urbe. Pero, las aplicaciones no solamente se limitan en áreas peatonales o vías; también puede ser utilizado en muelles, canchas sintéticas, alrededor de piscinas, caminos vecinales, estructuras hidráulicas, entre otras.

Es así que la explotación de este tipo de concreto permite aprovechar ciertas características que el concreto convencional no presenta. Pero, en la actualidad el uso del concreto permeable no ha sido implementado de manera efectiva en nuestro país, salvo algunas obras principalmente en la ciudad de Lima, después únicamente se cuenta con el desarrollo en las investigaciones de tesis de grado que se iniciaron en el año 2007 en la Universidad Nacional de Cajamarca. Sin embargo, estas son muy escasas.

De lo mencionado anteriormente, se puede percibir que en el Perú existe conocimiento muy bajo acerca del concreto permeable, es por ello que es necesario ampliar las investigaciones de este tema y que éstas contemplen propiedades y aplicaciones para que sea una fuente de consulta en el desarrollo de futuras investigaciones sobre este tipo de concreto.

Por ello, la presente investigación nos permite impulsar y ampliar el conocimiento realizando este estudio experimental acerca del concreto permeable, colocándolo como una alternativa viable y válida según las Normas Internacionales, optimizando el diseño de mezcla y estudiando la influencia que tiene el agregado grueso en este tipo de concreto, que se vea reflejado en la calidad, el comportamiento mecánico y el costo, y planteando opciones para su ejecución en el diverso campo de aplicaciones que éste presenta, teniendo en cuenta su costo de fabricación, parámetros de diseño y las propiedades obtenidas, principalmente la resistencia a la compresión, flexión y permeabilidad. Logrando beneficiar así a las empresas que quieran empezar a producir este tipo de concreto, brindándoles una guía para que las mezclas desarrolladas tengan la calidad suficiente como para ser utilizada de manera industrial.

#### **1.4. Limitaciones**

- No se cuenta con una metodología exacta para el diseño y elaboración de un concreto permeable, por lo que se realizarán ensayos previos, hasta encontrar la metodología que brinde el mejor comportamiento de este tipo de concreto.
- Las variables que influyen en un concreto permeable pueden ser: proporción agua/cemento, contenido de vacíos, granulometría y morfología de los agregados, presión de compactación, técnicas de curado, entre otras. Para el desarrollo de esta investigación se ha profundizado principalmente en una, por considerarla una de las que tiene mayor incidencia, sin embargo, al momento de la ejecución de los ensayos de laboratorio se cumple con todos los estándares establecidos en las Normas.
- Son pocas las investigaciones acerca del concreto permeable en el Perú, por lo cual se optará por utilizar información, en su mayoría, de los estudios realizados en otros países de Latinoamérica.
- No se cuenta con un estudio de canteras en la ciudad de Trujillo que nos permita conocer las características tanto físicas como mecánicas de los agregados, por ello se ha optado por seleccionar una cantera de acuerdo con algunos trabajos de investigación previos y a la experiencia del Ingeniero Asesor.

## 1.5. Objetivos

### 1.5.1. Objetivo General

Determinar la influencia de la granulometría del agregado grueso en las propiedades mecánicas e hidráulicas de un concreto permeable.

### 1.5.2. Objetivos Específicos

- Desarrollar tres diseños de mezcla basado en la norma ACI 522R-10 para producir concretos permeables con propiedades mecánicas e hidráulicas aceptables, utilizando materiales encontrados en la ciudad de Trujillo.
- Evaluar el comportamiento de las tres gradaciones de agregado grueso (1/2", 3/8" y N° 4) en las propiedades del concreto permeable.
- Comparar los valores de permeabilidad, resistencia a la compresión y flexión, contenido de vacíos y densidad e identificar la gradación de agregado grueso que presente los mejores valores al ser utilizado en la elaboración de un concreto permeable.
- Determinar la viabilidad económica de los concretos permeables elaborados y brindar alternativas para su aplicación.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

**Título: “OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE UNA MEZCLA DE HORMIGÓN PERMEABLE A PARTIR DE TRES DISTINTAS GRADACIONES”,**

(León & Rosero, 2016), Optimizar una mezcla de concreto permeable enfocándose en su permeabilidad, resistencia a la compresión y tracción, a partir de las gradaciones de 3/8”, N°4 y N°8 de las canteras San Antonio y Pintag. Se analizó cada una de sus propiedades tanto físicas como mecánicas y sobre todo el efecto que tiene al variar la relación agua/cemento en cada una de las mezclas realizadas; Además, se propuso un diseño para este tipo de concreto basándose en el método de la densidad óptima y en la dosificación establecida por el código ACI 522R. Se efectuaron ensayos de resistencia a la compresión y de tracción indirecta, así como la medición de la permeabilidad a los 28 días, para examinar la mezcla óptima. Concluyeron que el no incluir agregado fino o arena en la mezcla hace que se pierda manejabilidad y se vuelva áspera, se pudo observar que aditivos como el Sikament (aditivo plastificante), Aer RMC (aditivo inclusor de aire) no mejora ni las características físicas ni mecánicas del concreto permeable, también se determinó que el diseño de mezcla óptimo para un concreto permeable se obtuvo con el agregado de la cantera Pintag, con el cual se alcanzó resistencias altas, especialmente con la gradación N°4, cuya relación w/c (agua/cemento) es de 0,55, alcanzando así una resistencia a la compresión de 24,6 Mpa, con una permeabilidad de 1,88 mm/seg y un porcentaje de vacíos del 9,46% y finalmente con una densidad de 2053,55 kg/m<sup>3</sup>. Este estudio aporta una idea acerca de la inclusión de agregado fino a la mezcla de concreto permeable, por lo que es necesario incluir una cantidad de arena para así tener una mezcla más cohesiva que permite llegar a un asentamiento de cero, también que no es necesario el uso de los aditivos inclusores de aire ni plastificantes y por último brinda un mejor entendimiento acerca de la influencia de las gradaciones en estudio en las propiedades del concreto permeable.

**Título: “DESARROLLO DE HORMIGONES PERMEABLES ENFOCADO AL DISEÑO DE MEZCLAS, CONSTRUCCIÓN DE OBRAS Y A LA PROTECCIÓN AMBIENTAL, BASADO EN LAS NORMAS ACI, ASTM E INEN”.**

(Valverde, 2014), Desarrollar concretos permeables utilizando Cemento Holcim Rocafuerte tipo ‘GU’ y agregados de 3/8”, #4 y #8 proveniente de la cantera del Rio Guayllabamba y comparar los resultados con uso de otro cemento y otro agregado. Se desarrolló una dosificación basada en las normas ACI y ASTM para producir concreto permeable con

características de permeabilidad y resistencia aceptables, se realizaron los ensayos de resistencia a la compresión, flexión, contenido de vacíos, peso específico y capacidad permeable del concreto. Se determinó que la resistencia del concreto permeable es inversamente proporcional a su permeabilidad y directamente proporcional a la resistencia de los agregados, a la buena calidad del cemento y a la buena preparación de las mezclas, también que, para alcanzar mayores valores de resistencia a la compresión y flexión, se hace necesario el uso de hasta el 8% de arena fina. Este estudio aporta un análisis entre distintas variables que influyen en el concreto permeable y brinda alcances de ensayos que son necesarios de realizar al concreto en estado fresco y endurecido.

**Título: “FABRICACIÓN DE HORMIGÓN PERMEABLE PARA CANCHAS DE USO MÚLTIPLE CON LA UTILIZACIÓN DE AGREGADOS DE LA PROVINCIA DE PICHINCHA”.**

(Herbozo, 2015), Alcanzar un concreto permeable que cumpla con la resistencia necesaria para ser utilizado en la construcción de canchas de uso múltiple en parques. Se elaboraron cuatro dosificaciones variando la cantidad de pasta cementante y el porcentaje de agregado fino, el agregado seleccionado fue de la cantera de Holcim en Pifo, agregado grueso N°67 de tamaño máximo nominal de  $\frac{3}{4}$ ”, la relación a/c fue de 0.30, el volumen de pasta comprende entre 20% - 27.2% y el porcentaje de finos entre 0% - 10%. Se realizaron ensayos de permeabilidad, resistencia a la compresión y flexión. Se determinó que el mayor coeficiente de permeabilidad fue de 0.318 cm/s y las resistencias a compresión y flexión fueron de 153.65 kg/cm<sup>2</sup> y 24.32 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. Además, se menciona que la resistencia a la compresión y la permeabilidad del concreto tiene una forma prácticamente lineal, es decir que, si la resistencia aumenta, la permeabilidad disminuye. Este estudio brinda mayores alcances de la influencia del volumen de pasta cementante y el contenido de finos en las propiedades del concreto permeable.

**Título: “RESISTENCIA MECÁNICA Y CONDICIONES DE OBRA DEL CONCRETO POROSO EN LOS PAVIMENTOS, SEGÚN EL TIPO DE GRANULOMETRÍA”.**

(Meneses & Bravo, 2007), Determinar la influencia de la granulometría en la resistencia mecánica y condiciones de obra del concreto permeable para su uso en pavimentos. Contiene los resultados del estudio de la resistencia mecánica del concreto permeable, utilizando materiales propios de la región de Antioquía. En el diseño utilizado dentro de la mezcla, se empleó un agregado con ausencia casi total de finos, la granulometría utilizada en el ejercicio fue de 10 y 12.5 mm ( $\frac{3}{8}$ ,  $\frac{1}{2}$ ) y su relación de agregados finos fue de 0.13 a 0.25 de fuentes aluviales. Se realizaron de análisis granulométrico de los agregados, peso unitario y porcentaje de vacíos, resistencia al desgaste, sanidad de los agregados, pesos específicos y absorción de agregados finos y gruesos, porcentaje de caras fracturadas, índice de

aplanamiento y de alargamiento y equivalente de arena. Todos los ensayos fueron practicados según las recomendaciones y normas del Instituto Nacional de vías. Al concluir la investigación, se pudo afirmar que los materiales producidos en la región Antioquía son aptos para elaborar este tipo de concreto poroso desde el punto de vista de calidad, cumpliendo a su vez con las exigencias normativas del estado. También se pudo concluir que la relación óptima de a/c es de 0.7, confirmando lo que se sugiere en estudios referenciados anteriormente en su trabajo. Además, se pudo observar que en cuanto a la manejabilidad del material se hace propenso a la segregación de la pasta, por tanto, se sugiere controlar muy bien el proceso y curar lo suficiente la muestra pasadas las 24 horas de acuerdo a lo que indica la norma. Este estudio confirma que la presencia de agregado fino reduce la permeabilidad en la mezcla y aumenta la resistencia a la compresión, además brinda algunos parámetros de diseño que permitirán una mayor orientación para el diseño de mezclas de concreto permeable.

**Título: “DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO POROSO CON AGREGADOS DE LA CANTERA LA VICTORIA, CEMENTO PORTLAND TIPO I CON ADICIÓN DE TIRAS DE PLÁSTICO, Y SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS RÍGIDOS, EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA”.**

(Azañedo, Chávez, & Muñoz, 2007), Diseñar la mezcla de un Concreto Poroso, utilizando agregado de la cantera La Victoria con cemento Portland tipo I con adición de tiras de plástico, con resistencias mecánicas adecuadas para el uso en pavimentos y que permitan un buen drenaje para su disposición final. Se elaboraron mezclas, empleando: Cementos Portland Tipo I y Tipo ICo, agua potable, agregados de la Cantera La Victoria, tiras de plástico, polipropileno y aditivo reductor de agua, en distintas combinaciones y dosificaciones. Se realizaron ensayos de resistencia a compresión y flexión para determinar la mezcla con el mejor comportamiento ante estos esfuerzos. Se concluyó que, de las dos tiras plásticas usadas, la tira de mejor comportamiento (tira óptima) fue Tira 1: 4mm x 20mm x 0.10mm, con un porcentaje de 0.10% del peso total de la mezcla, la cual produce un incremento de 8.63% de resistencia, respecto a la mezcla sin adiciones, dando una resistencia a compresión de 206.63 kg/cm<sup>2</sup> y a la flexión de 39.05 kg/cm<sup>2</sup> a la edad de 28 días. Con la adición de cemento Sol Tipo I, aditivo reductor de agua y tiras plásticas en la mezcla de concreto poroso, se obtiene mejor relación Costo / Beneficio. En cuanto a la aplicación en pavimentos rígidos se concluye que la carpeta de rodadura del pavimento poroso del diseño propuesto estará formada por una capa de concreto poroso con un volumen de poros de 18% y un espesor de 20 cm y la subbase tendrá un espesor de 20 cm que es el necesario para el drenaje de la lluvia de diseño. Este estudio aporta un conocimiento acerca de la influencia de tiras de polipropileno en la resistencia a la compresión y flexión del concreto permeable, además de

los beneficios económicos de cada una de los diseños elaborados y finalmente un diseño de concreto permeable para la ciudad de Cajamarca.

**Título: “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”.**

(Flores & Pacompia, 2015), Evaluar la incidencia que tiene la incorporación de tiras de plástico (polipropileno) en las propiedades del concreto permeable f’c 175 kg/cm<sup>2</sup> diseñado para pavimentos en la ciudad de Puno. Se realizaron ensayos como resistencia a la compresión, contenido de vacíos y permeabilidad; Con el fin de obtener el diseño de mezcla del concreto permeable “idóneo” para la incorporación de las tiras de polipropileno, se consideraron dos diseños de mezclas (los cuales difieren en el tamaño del agregado grueso empleado en su diseño). En el primer diseño fueron utilizados agregados gruesos de tamaño estándar N° 57, en el segundo diseño fueron utilizados agregados gruesos con un tamaño estándar N° 8. Se determinó que el concreto permeable elaborado con la granulometría normalizada (tamaño estándar N° 8) es idónea para la incorporación de tiras de polipropileno de 3 mm. x 30 mm. en diferentes porcentajes respecto al peso por metro cúbico en el diseño de mezcla (0.05%, 0.10% y 0.15%), determinándose que la adición de tiras en un 0.05% y 0.10% respecto al peso mejoran la resistencia a la compresión promedio a los 28 días en un 16.7% y 4.2% respectivamente, mientras que la incorporación de tiras en un 0.15% disminuye la resistencia a la compresión promedio en 10.7%. Esta investigación establece una relación entre la adición de tiras de plástico con la resistencia a la compresión y permeabilidad de un concreto poroso

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Definición y aspectos técnicos del concreto permeable**

El concreto permeable, también conocido como concreto poroso, de granulometría discontinua, o de alta porosidad, se lo puede definir como un concreto hidráulico y poroso debido a que sus características físicas poseen un contenido de vacíos muy alto en comparación con el concreto tradicional, este tipo de concreto al tener un alto contenido de vacíos permite el paso del agua y del aire de forma sencilla.

El concreto permeable tiene algunas características diferentes que se deben tener en cuenta al momento de su fabricación, entre estas se encuentra la relación agua cemento (w/c) la cual debe ser baja ya que se debe evitar que la mezcla fluya y se llenen los vacíos; Por otro lado, se encuentra el porcentaje de vacíos típico utilizando grava de 3/8 pulg. (10 mm) que es del 15 al 25 por ciento, mientras que el porcentaje

de vacíos típico utilizando rocas de 1/2 pulg. (12 mm) es de 30 a 40 por ciento (Navas & Fernandez, 2011).

Al mezclarse sus materiales, el concreto obtiene una apariencia en la cual se observa una aglomeración de agregado grueso con una capa fina de cemento, el cual deja ver una gran cantidad de vacíos a diferencia de concreto convencional que tiene una apariencia totalmente compactada.



**Figura 1:** Muestra de Concreto permeable.  
**Fuente:** Southeast Cement Association.

### 2.2.2. Componentes del concreto permeable

El concreto permeable consiste principalmente en cemento Portland normal, agregado grueso, agua, aditivos, y en ocasiones mínimas cantidades de finos. Esta combinación forma una aglomeración de agregados gruesos rodeados por una delgada capa de pasta de cemento endurecida en sus puntos de contacto. Esta configuración produce grandes huecos entre el agregado grueso, que permite que el agua se filtre en una cantidad mucho más alta que en el concreto convencional. Cada componente cumple con funciones específicas según se detalla a continuación:

#### a) Cemento

El cemento es el material que se utiliza como aglutinante principal en la mezcla de concreto permeable, ya que una vez amasado con el agua forma una pasta que permite recubrir y ligar las partículas, permitiendo que se genere buena adherencia. Según las normas ASTM C150/C150M, C595/C595M, o C1157/C1157M, el cemento Portland se usa como el aglomerante principal.

Los materiales cementantes suplementarios como la ceniza volante, escoria, y el humo de sílice, deben de satisfacer los requerimientos de las normas ASTM C618, C989, y C1240, respectivamente (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE COMMITTEE 522, 2010).

Para la fabricación de este tipo de concreto el cemento portland es el más utilizado debido a que es un material muy resistente, además se debe tener en cuenta que los concretos con altos porcentajes de vacíos, tienden a tener un periodo de secado más corto, es decir que el curado es más rápido y más sensible a los cambios de temperatura y a la evaporación del agua de la mezcla. (Meneses & Bravo, 2007). Es recomendable utilizar una cantidad que fluctúe entre los 270 a 415 kg/m<sup>3</sup>, según requisitos de resistencia y permeabilidad (Tennis, 2004).

#### **b) Agregados**

Es un material granular tal como la arena, grava, roca triturada que se usa con un medio cementante hidráulico para producir ya sea concreto o mortero (INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y EL CONCRETO - IMCYC, 2012).

Los agregados son elementos indispensables en la constitución del concreto, ya que representan alrededor del 70% del volumen total del mismo; debido a las características que presentan ayudan en el mejoramiento e incremento de la resistencia, así también permiten que la mezcla sea compacta.

“Las gradaciones de los agregados utilizados en el concreto permeable ya sea agregado grueso de un solo tamaño o clasificación entre 3/4 y 3/8 pulgadas (19 y 9,5 mm). Agregados redondeados y machacadas, tanto normal y ligera, se han utilizado para hacer concreto permeable. El agregado utilizado debe cumplir con los requisitos de la norma ASTM D 448 y C33/C33M. Los agregados finos no deberían ser utilizados en mezclas de concreto permeable porque tienden a comprometer la conexión del sistema de poros” (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE COMMITTEE 522, 2010).

Recientemente, el concreto permeable ha sido empleado en estacionamientos, pavimentos de tráfico ligero y andadores. Para estas aplicaciones, generalmente se usan tamaños de agregados más pequeños por razones de estética. El agregado grueso de tamaño 89 (3/8” a No. 50) según la norma ASTM C33, ha sido usado principalmente en estacionamientos y andadores, por más de 20 años en Florida (Tennis, 2004).

### c) Agua

El agua ideal para el concreto es aquella que es apta para el consumo humano, debe ser limpia sin presencia de materia orgánica y sin sales, ya que estas afectan al tiempo de fraguado y a la resistencia. La calidad del agua para un buen desempeño del concreto debe ser partícipe en el proceso de hidratación del cemento y debe dar una buena trabajabilidad al mismo.

La calidad del agua para el concreto permeable se rige por los mismos requisitos que el concreto convencional. Los concretos permeables deben ser proporcionados con una relación agua/cemento ( $w/c$ ) relativamente baja (0,26 a 0,40) debido a una cantidad en exceso de agua dará lugar a un drenaje de la pasta y posteriormente a la obstrucción del sistema de poros (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE COMMITTEE 522, 2010).

Debido a que el comportamiento del concreto permeable es impredecible, la cantidad de agua que se incluye en la mezcla debe ser controlada con la finalidad de evitar que afecte a la resistencia y trabajabilidad de la misma.

### d) Aditivos

“Los aditivos son aquellos ingredientes del concreto que, además del cemento portland, del agua y de los agregados, se adicionan a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado” (Kosmatka, 2004); para mejorar sus características como son la trabajabilidad, consistencia, fraguado y resistencia final de la mezcla.

Para la elaboración de un concreto permeable según el código (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE COMMITTEE 522, 2010) “los aditivos deben cumplir con los requisitos de la norma ASTM C 494/C494M. Los aditivos reductores de agua (de alta gama) se utilizan en función de la relación  $w/c$ , los aditivos retardantes se utilizan para estabilizar y controlar la hidratación del cemento. Los aceleradores se pueden utilizar cuando se colocan concretos permeables en tiempo frío.

Estos productos que se adicionan en pequeña proporción al concreto durante el mezclado en porcentajes entre 0.1% y 5% de la masa o peso del cemento dependiendo el tipo de aditivo que se vaya a emplear. La norma (ASTM C496, Especificación Normalizada de Aditivos Químicos para Concreto) clasifica a los aditivos como se puede observar en la tabla 1.

CLASIFICACIÓN	ADITIVO
A	Aditivos reductores de agua
B	Aditivos retardadores
C	Aditivos aceleradores
D	Aditivos reductores de agua y retardadores
E	Aditivos reductores de agua y aceleradores
F	Aditivos reductores de agua, de alto rango
G	Aditivos reductores de agua, de alto rango, y retardadores,
S	Aditivos de comportamiento específico

**Tabla 1:** Clasificación de los aditivos. **Fuente:** Norma ASTM C496, Especificación Normalizada de Aditivos Químicos para Concreto

### 2.2.3. Propiedades del concreto permeable

#### 2.2.3.1. Propiedades del concreto permeable en estado fresco

##### a) Trabajabilidad

Es la propiedad que permite un manejo fácil de mezclado, colocación y compactación de manera homogénea, cuyas componentes (agua y partículas finas) no deben separarse durante el transporte y el manejo del mismo. “Existen algunos factores que influyen en la trabajabilidad del concreto, entre ellos se tiene el método y la duración del transporte, la cantidad y características de los materiales cementantes, el tamaño, forma y textura superficial de los agregados finos y gruesos, el aire incluido, la cantidad de agua, la temperatura del concreto, del aire y los Aditivos.”. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

##### b) Consistencia

Es la propiedad que permite observar la facilidad que tiene un concreto en estado fresco para rellenar todos los huecos del molde bajo una débil presión. El método más empleado para determinar esta propiedad es el ensayo de revenimiento o asentamiento del concreto, el cual se determina de acuerdo con la norma ASTM C143. Para el concreto permeable este tipo de ensayo no se considera para fines de control de calidad como en el concreto tradicional, solo se considera como un valor de referencia, debido a que la mezcla es muy rígida y la medición del asentamiento en la mayoría de los casos no es aplicable.

El American Concrete Institute (ACI) recomienda revenimientos para diferentes tipos de concreto, es así como para un concreto permeable el revenimiento máximo es de 2 cm y el revenimiento mínimo es de 0 cm.



**Figura 2:** Cono de Abrams (Asentamiento del concreto permeable).  
**Fuente:** Autor de Tesis.

#### c) Densidad o Peso Unitario

“Es la masa del material necesario para llenar un volumen unitario” (Fonseca, 2008). Se lo puede entender con mayor facilidad si hablamos de su densidad que es la razón de la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa, en este caso el volumen va a ser un volumen unitario o normalizado.

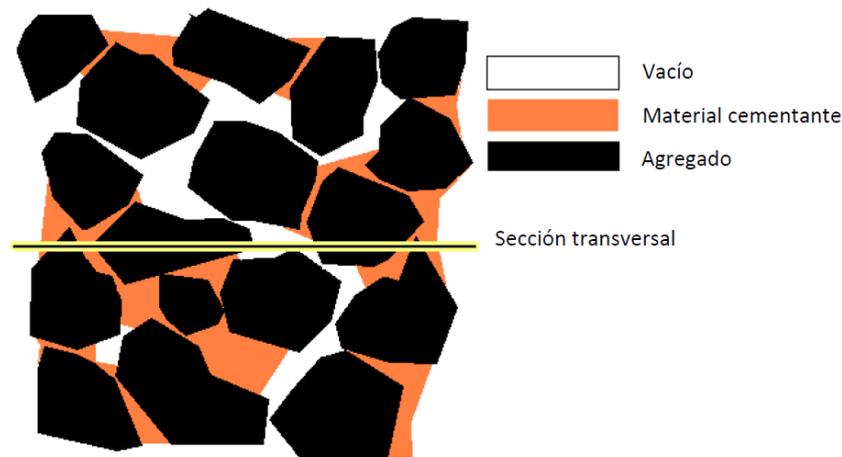
Debido a sus altos porcentajes de vacíos, el concreto permeable es considerado un concreto liviano y su masa volumétrica es de aproximadamente el 70% del de un concreto convencional. Sus valores varían entre 1600 y 2000 kg/m<sup>3</sup> (López, 2010, pág. 34)

#### d) Contenido de Aire

La mezcla de concreto va a contar con espacios vacíos en su interior, esto se debe a la forma de las partículas de los agregados. Estos, aunque posean diferente granulometría, no van a encajar de manera perfecta, dejando un porcentaje de vacíos, el cual en el concreto permeable va a ser mucho mayor (Salinas & Sastre, 2010, pág. 51). El porcentaje de vacíos va a influenciar directamente la permeabilidad del material y especialmente la absorción acústica que este material tendrá.

Un porcentaje de vacíos bajo puede incrementar las posibilidades de obstruir los poros de la mezcla, problema que puede ser evitado utilizando agregados de tamaños grandes (American Concrete Institute Committee 522, 2010, pág. 9).

El contenido de vacíos depende en gran medida de varios factores: granulometría del agregado, contenido de material cementante, relación a/c, y la energía de compactación. En pocas palabras, el contenido de aire de un concreto permeable es la cantidad de espacios que existe entre las partículas de agregados, medida en porcentaje. Según el código ACI R22R-10 el contenido de vacíos óptimo en una mezcla de concreto permeable debe estar en un rango del 15% a 35%. Por lo general, se utiliza un porcentaje de vacíos de 15% a 25%, para obtener resistencias mayores a 140 kg/cm<sup>2</sup>.



*Figura 3: Estructura interna de un concreto permeable. Fuente: Schaefer., 2006*

### 2.2.3.2. Propiedades del concreto permeable en estado endurecido

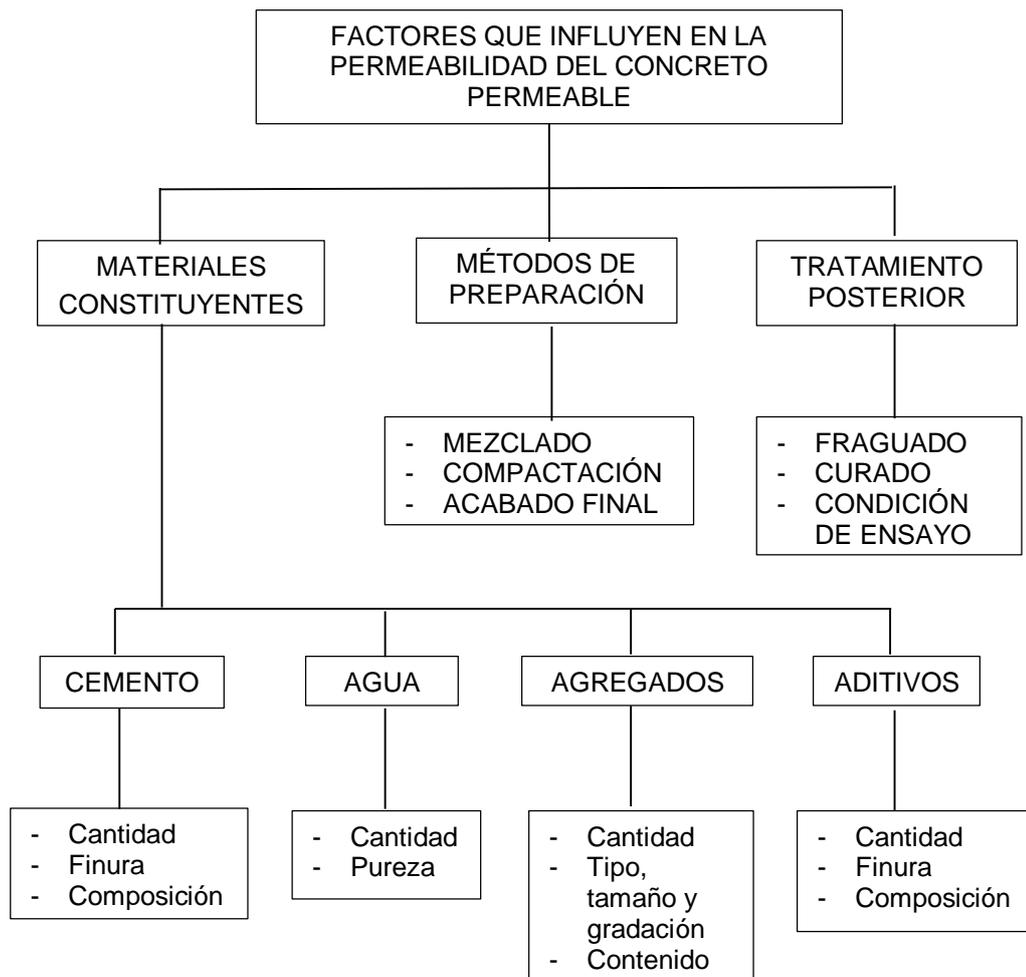
#### a) Permeabilidad

También conocida como propiedad hidráulica, la permeabilidad es la capacidad que tiene un material para que un fluido sea capaz de atravesar por medio de él sin alterar su estructura. El concreto es un material permeable, es decir que, al estar sometido a presión de agua exteriormente, se produce escurrimiento a través de su masa. El rango de permeabilidad de este concreto depende de su constitución, generalmente varía de 80-720 litros/min/m<sup>2</sup> (0,13 – 1.20 cm/s) (Karthik, 2007).

Dentro de las características más importantes del concreto permeable está su capacidad para filtrar el agua a través de su estructura. La capacidad de filtración que tiene este tipo de concreto se relaciona directamente con el contenido de vacíos.

“Diferentes estudios y pruebas han demostrado que se requiere un contenido mínimo de vacíos de aproximadamente 15% para lograr una filtración significativa, además la permeabilidad en este tipo de mezclas para que sea considerada satisfactoria, el tiempo medido debe ser menor a los 100 segundos”. (López, 2010).

Si la capacidad de filtración aumenta a medida que se aumenta el contenido de vacíos de aire, consecuentemente, disminuye la resistencia a la compresión, por lo que la dosificación de la mezcla debe lograr un equilibrio entre la capacidad de filtración y la resistencia a la compresión aceptable. Además, la capacidad de filtración del concreto permeable depende de la selección de los materiales, así como de las proporciones a utilizar, preparación del concreto, proceso de colocación y su posterior curado. En la figura 4 se describen una serie de factores que influyen en la permeabilidad del concreto.



**Figura 4:** Factores que influyen en la permeabilidad del concreto. **Fuente:** López, 2010

## **b) Durabilidad**

Se considera como la capacidad que tiene el concreto para resistir la acción de la intemperie, es decir temperatura, lluvia, humedad, etc. sin que se vean afectadas sus propiedades mecánicas. Al igual que el concreto tradicional, la durabilidad del concreto permeable hace énfasis a la vida útil bajo las condiciones ambientales dada.

Contempla la resistencia del concreto a 3 factores principales, abrasión, congelamiento-deshielo y sulfatos. El primero es una característica que se debe tener muy en cuenta cuando se construye vías debido a las fuerzas horizontales que ejercen los vehículos al arrancar y frenar. La resistencia a los sulfatos es una característica importante en todos los hormigones ya que siempre existirán químicos que pueden afectar a la estructura (López, 2010).

Los diferentes tipos de concreto necesitan de diferentes durabilidades, dependiendo de la exposición del ambiente y de las propiedades deseables. Los componentes del concreto, la proporción de éstos, la interacción entre los mismos y los métodos de colocación y curado determinan la durabilidad final y la vida útil del concreto (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

## **c) Absorción acústica**

Es la capacidad que tienen ciertos materiales para absorber el sonido cuando la superficie del mismo es golpeada, en donde la cantidad de sonido que este absorba va a depender del tipo de material debido a que algunos materiales solo lo reflejan. El concreto permeable es considerado como un tipo de concreto altamente eficaz a la absorción acústica debido a la presencia de un gran volumen de poros interconectados de tamaños considerables en su estructura. “Este tipo de concreto puede ser empleado para reducir el ruido generado por la interacción neumático-pavimento en pavimentos de hormigón.” (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE COMMITTEE 522, 2010).

### **2.2.3.3. Propiedades mecánicas**

#### **a) Resistencia a la Compresión**

La principal cualidad de todo concreto es su resistencia a la compresión, propiedad que se define como el esfuerzo máximo que un material o una mezcla puede soportar bajo una carga de aplastamiento.

La resistencia que pueda llegar a alcanzar el concreto va a depender de la cantidad de agua que se emplee en su elaboración. Una cantidad elevada de agua va a ocasionar que el cemento se escurra ocasionando una mala o insuficiente adherencia entre las partículas de los agregados. Por otro lado, una cantidad insuficiente de agua ocasionará falta de cohesión entre las mismas partículas. En ambos casos el resultado final va a dar una mezcla con poca resistencia (Short & Kinniburgh, 1967).

Dependiendo de la cantidad mínima o nula de agregados finos, de la granulometría del agregado grueso, de la relación A/C, de la cantidad de pasta cementante y de la potencia de la compactación, la resistencia del concreto va a variar. A mayor cantidad de vacíos, se tendrá menor resistencia y viceversa (López, 2010, pág. 37). La resistencia del concreto permeable debería variar entre 70 y 280 kg/cm<sup>2</sup> (American Concrete Institute Committee 522, 2010, pág. 7). Otros estudios afirman que la resistencia a la compresión del hormigón permeable varía entre 25 y 345 kg/cm<sup>2</sup> (Aoki, 2009, pág. 8). Estos valores pueden variar considerablemente si se realiza una mayor cantidad de ensayos con aditivos y con diferentes tipos de agregados.

#### **b) Resistencia a la Flexión**

La resistencia a flexión o el módulo de ruptura (rotura) se usa en el diseño de pavimentos u otras losas (pisos, placas) sobre el terreno. La resistencia a compresión, la cual es más fácil de medir que la resistencia a flexión, se puede usar como un índice de resistencia a flexión, una vez que la relación empírica entre ambas ha sido establecida para los materiales y los tamaños de los elementos involucrados. Se determina de acuerdo con la norma ASTM C78.

Para el cálculo de estructuras la resistencia a la flexión del concreto es considerada como nula, ya que el acero de refuerzo es el encargado de soportar esos esfuerzos, pero nos permite probar la calidad de la mezcla. Esta resistencia es definida como el esfuerzo máximo desarrollado en la fibra más externa en una probeta, un momento antes de que ésta falle.

Existen varios factores que influyen en la resistencia a la flexión, principalmente el grado de compactación, porosidad, y la proporción agregado-cemento.

La resistencia a la flexión es expresada por medio del módulo de rotura y sus valores varían entre el 10 y 20% de la resistencia a la compresión. En el hormigón permeable se tiene resistencias que oscilan entre 10 y 38 kg/cm<sup>2</sup> (López, 2010, pág. 38)

#### 2.2.4. Aplicaciones para el concreto permeable

Durante el desarrollo y la evolución del concreto poroso se ha evidenciado que tiene grandes utilidades para su aplicación en diferentes estructuras como:

- Vialidades con tráfico ligero.
- Áreas de estacionamiento.
- Andadores y banquetas.
- Ciclo vías.
- Patios y jardines.
- Capas rígidas de drenaje bajo áreas exteriores de grandes centros comerciales.
- Aplicaciones en muros estructurales en donde se requieren características de peso ligero o de mejor aislamiento térmico, o ambos.
- Pavimentos, muros, y pisos en donde se desean mejores características de absorción acústica.
- Capas de base para las calles de la ciudad, carreteras municipales, caminos particulares y, aeropuertos.
- Capas de superficie en canchas de tenis, áreas de zoológicos, graneros y establos para animales.
- Terraplenes de puentes.
- Plataformas en torno de albercas.
- Estructuras de playas y muros marinos (escolleras, rompeolas, pisos para muelles).
- Lechos de sedimentos de plantas para el tratamiento de aguas negras.
- Sistemas para almacenamiento de energía solar.
- Arrecifes artificiales en donde la estructura abierta de concreto permeable semeja la estructura de los arrecifes.
- Zonas de lavado de autos.

En conclusión, el concreto permeable es un tipo especial de concreto con alto grado de porosidad cuya principal característica es permitir el paso del agua a través de su estructura porosa, por lo que es considerado como un material de construcción sustentable, por su buen manejo de las aguas pluviales. Es un material que puede ser proporcionado por cualquier contratista de concreto; sin embargo, deberá tener experiencia y familiaridad con este tipo de concreto para asegurar su calidad. Cuando se use como sistema de pavimentos, es de vital importancia darle mantenimiento adecuado cuando lo requiera, para así asegurar que cumpla con su función de permeabilidad (INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y EL CONCRETO - IMCYC, 2012).



*Figura 5: Principales usos del concreto permeable. Fuente: blog.360gradosenconcreto.com*

### 2.2.5. Ventajas y desventajas del concreto permeable

Durante el estudio de las propiedades y aplicaciones del concreto poroso se encontró que existen algunas ventajas y desventajas del concreto poroso frente al concreto convencional.

#### a) Ventajas

El concreto permeable que es utilizado en pisos y pavimentos, además de las diversas aplicaciones ya mencionadas anteriormente, presenta grandes ventajas sobre el concreto convencional, sus beneficios no solo son económicos y estructurales ya que también ayuda al medio ambiente. El concreto permeable tiene muchas ventajas a diferencia de otros materiales permeables que actualmente son utilizados para cubrir el área permeable en la construcción, por ejemplo, el adopasto; se deforma por tener bases con arenas, su uso para el tránsito vehicular es limitado. En andadores, resulta incómodo ya que en el caso de calzado con tacones éstos tienden a incrustarse dañándolos o rompiéndolos, además que en una tormenta moderada alcanza a formarse una capa de agua. Los adoquines y adocretos por su sistema de bases con arena se deforman al contacto con el agua juntamente con las cargas que recibe. (IMCYC, 2008).

Las ventajas que presenta el concreto permeable sobre el concreto convencional incluyen:

- Por su función permeable en los pavimentos, no interrumpe el Ciclo Hidrológico del agua en las ciudades, permitiendo inyectar agua pluvial a los mantos acuíferos.
- El control de la contaminación de las aguas pluviales, impidiendo que ésta se vaya por el drenaje y se mezcle con aguas negras.
- Eliminación o reducción de las dimensiones de las alcantarillas de aguas pluviales.
- Control del escurrimiento de aguas pluviales.
- Por utilizar un sistema de bases con material pétreo no existen deformaciones o baches.
- Por ser un material poroso es autodrenante y autoventilado.
- Por ser una estructura con el 15% al 35% de vacíos, no genera islas de calor como el asfalto y el concreto hidráulico.
- Evita encharcamientos y ayuda a evitar saturación en los drenajes en época de lluvias.
- Disminuye las distancias de frenado de los vehículos, especialmente en condiciones de lluvia, evita el acuaplaneo.
- Mayores facilidades para estacionamientos al eliminar la necesidad de áreas de contención de agua.
- Por no retener agua en su superficie existe baja probabilidad de deslumbramiento por reflexión de la luz sobre película de agua superficial, particularmente por la noche cuando están mojadas.
- Reducción del ruido de interacción entre la llanta y el pavimento.
- Disminuye los gradientes térmicos y de humedad (reflexión mínima de la luz).
- Aumenta la calidad de servicios para usuarios vehicular y peatonal, durante la lluvia, disminuyendo los riesgos de accidentes.
- Por ser un material granular, sin arena, las cargas transmitidas al pavimento se descomponen y distribuyen en forma heterogénea debido a la existencia de puntos de contacto aleatorios. Por ello la carga que llega al terreno es repartida en un área mucho mayor a la que resulta en el caso de los pavimentos con bases tradicionales.
- No es más caro que otros pavimentos de concreto y compite con el asfalto.
- Es compatible con otros materiales usados para pavimentos con el fin de que se logren superficies permeables al combinarlo con estos pisos.
- No requiere de mano de obra especializada, ni de maquinaria sofisticada para su instalación.

- Se puede hacer en varios colores y con distintos tipos de piedra.
- Su base y sistema constructivo es más barato que los tradicionales por lo que el costo final no es más caro que otros pavimentos.
- Se puede fabricar directamente en obra mediante el uso de trompos o revolvedoras para concreto o se contrata la mezcla en plantas de premezclados de concreto.
- Se puede instalar a mano mediante el método tradicional de colado, aplicando después una vibro compactación con placa, o se puede aplicar con una máquina “finisher” para pavimentos de asfalto, logrando colocar por día hasta 1,500 m<sup>2</sup> por turno.
- Por no utilizar acero de refuerzo ni arena, su peso volumétrico es un 20% a 25% más ligero que el concreto convencional.
- El índice de fisuras en el concreto permeable es 25% menor, debido a la baja retracción por el índice de vacíos contenidos en comparación a un concreto convencional.
- No lo afectan agentes externos como: hidrocarburos alifáticos, hidrocarburos aromáticos, solventes clorados, metil isobutil cetona, acetato de etilo, isoforona, alcoholes, aceites vegetales, aceites minerales. Es resistente a los rayos UV, a la salinidad y a los álcalis.
- Su resistencia a la flexión es mejor que la del concreto hidráulico, por ello los espesores de los pisos permeables pueden ser mucho menores, con la consiguiente reducción en los costos.

Los pavimentos permeables pueden generar un importante beneficio social, debido a la contribución de estos a mantener las condiciones naturales de una zona. La experiencia ha mostrado que, de ser así, el control de las inundaciones se consigue con mantener la red de drenaje natural, sin tener que construir grandes colectores. Si en el diseño de nuevas urbanizaciones se consideraran criterios de mínimo impacto, en el futuro tendríamos una ciudad atravesada por muchas quebradas naturales incorporadas armónicamente a la urbanización, en la que no sería necesario invertir en soluciones costosas como los grandes colectores, que no aseguran su efectividad en el tiempo, debido al constante crecimiento de las ciudades. (Meneses & Bravo, 2007)

## b) Desventajas

El concreto permeable presenta algunas desventajas, como son:

- Puede perder permeabilidad con el paso del tiempo, al taparse los espacios vacíos con material fino, pigmentos y por la caída de las hojas de los árboles, por lo que se requiere de un mantenimiento a base de agua a presión y el uso de una aspiradora.
- Tiene una menor resistencia al desgaste que el concreto convencional, por lo que solo debe colocarse en zonas de tránsito ligero.

El éxito de los sistemas de pavimento permeable ha sido variado. En algunas áreas, los sistemas de pavimento de concreto permeable se han aplicado exitosamente, mientras que, en otros, se han taponado en un corto tiempo. Muchas fallas pueden atribuirse a la inexperiencia del contratista, a una compactación del suelo más alta que la especificada, y al diseño inapropiado según el sitio. Según Meneses & Bravo, Para que un pavimento de concreto permeable funcione exitosamente:

- Debe verificarse la permeabilidad de los suelos. Generalmente, se recomienda una capacidad de filtración de 13 mm/hr, y una capa de suelo de 1.2 m o más. Sin embargo, ahora existen instalaciones de concreto permeable y otros materiales porosos para pavimentación en las regiones arcillosas rojizas de Piedmont en las Carolinas y en Georgia (Estados Unidos), en donde la capacidad de la infiltración en la subrasante es mucho menor que 13 mm/h.
- La aplicación del concreto poroso debe de hacerse con maquinaria que no sea muy pesada ya que esto podría causar una sobre compactación, lo que haría que la estructura de los vacíos se altere, lo cual se refleja en su permeabilidad o capacidad de infiltración, o que se produzca una colmatación en su estructura porosa, el cual es uno de los principales problemas potenciales de los concretos porosos, sobre todo en capa de rodadura
- Precisamente en cuanto a la colmatación, se debe mencionar que por esta característica ligada a la porosidad, el uso de estos pavimentos está contraindicado en zonas o terrenos con suelos impermeables, regiones climáticas con permanentes ciclos hielo – deshielo, regiones áridas o con un alto grado de erosión eólica, zonas de alto tráfico, o donde exista alta porosidad de colmatación, según como lo menciona el documento titulado “Pavimentos porosos de hormigón: Una opción para mitigar los efectos de las aguas pluviales” de (Solminihac & Castro, 2012)
- El mantenimiento debe realizarse periódicamente.

## 2.3. Definición de términos básicos

### 2.3.1. Granulometría del agregado grueso

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado, tamaños de partículas que se determinan por medio de tamices de malla de alambre de acuerdo con la norma ASTM C136. “Las gradaciones de los agregados utilizados en el concreto permeable ya sea agregado grueso de un solo tamaño o clasificación entre 3/4 y 3/8 pulgadas (19 y 9,5 mm). Agregados redondeados y machacadas, tanto normal y ligera, se han utilizado para hacer concreto permeable. El agregado utilizado debe cumplir con los requisitos de la norma ASTM D 448 y C33/C33M” (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE COMMITTEE 522, 2010).

Además, el módulo de finura de estos agregados debe ser mayor que 2.3 y menor que 3.1, y no debe variar más que 0.2 del valor típico de la fuente del agregado. Si se excede este valor, el agregado se debe rechazar, a menos que se hagan ajustes adecuados en la proporción entre los agregados fino y grueso (ASTM C33).

### 2.3.2. Resistencia a la compresión

La resistencia a compresión se puede definir como la medida máxima que un material o una mezcla puede soportar bajo una carga de aplastamiento, referida al área de la sección inicial de la probeta. Se determina de acuerdo con la norma ASTM C39. Dependiendo de la cantidad mínima o nula de agregados finos, de la granulometría del agregado grueso, de la relación A/C, de la cantidad de pasta cementante y de la potencia de la compactación, la resistencia del concreto va a variar. A mayor cantidad de vacíos, se tendrá menor resistencia y viceversa (López, 2010, pág. 37). Además, para mejorar la resistencia del concreto permeable, se deben mejorar tres aspectos: la resistencia de la pasta, la pasta alrededor del agregado y la cohesión entre el agregado y la pasta. Esto se puede lograr usando tamaños de agregados más pequeños y/o usando aditivos. Las mezclas de concreto permeable pueden alcanzar resistencias a compresión en el rango de 35 a 280 kg/cm<sup>2</sup>, que es apropiada para una amplia gama de aplicaciones (ACI, 2006). Los valores típicos son alrededor de 175 kg/cm<sup>2</sup>. Como con cualquier tipo de concreto, las propiedades y la mezcla de materiales específicos, así como las técnicas de colocación y condiciones ambientales, dictarán la resistencia en el lugar.

### 2.3.3. Resistencia a la flexión

El esfuerzo máximo de flexión se denomina módulo de rotura (MR). La resistencia a la flexión se puede definir como la resistencia a tracción del concreto, para el caso del concreto el valor de la resistencia a la flexión es menor que el valor de la resistencia a la compresión. El módulo de rotura en concretos permeables generalmente se encuentra en el rango de 10.5 kg/cm<sup>2</sup> y 40.0 kg/cm<sup>2</sup>. Existen varios factores que influyen en la resistencia a la flexión, principalmente el grado de compactación, porosidad, y la proporción agregado-cemento. El módulo de rotura del concreto es una medida útil para el diseño de pavimentos realizados en este material, puesto que las placas de pavimento trabajan principalmente a flexión; de ahí que en estos casos la calidad del concreto se especifique indicando su módulo de rotura (Sanchez De Guzman, 2001).

### 2.3.4. Permeabilidad

La permeabilidad es la capacidad que tiene un material para que lo atraviesen fluidos, aire o luz, sin perder la figura de su estructura interna. El hecho de que algún material sea permeable indica que su estructura es porosa o contiene un porcentaje de vacíos que están interconectados y que le permiten la absorción de otros elementos (Subramanian, 2009). En el caso del concreto permeable, la facultad que este posee de filtrar agua a través de él es la característica por la cual lleva su nombre permitiendo de ese modo el paso del agua, a través de los poros interconectado que este posee y de esa manera eliminar la escorrentía y problemas de saturación de agua en la rasante del pavimento, y así tener la capacidad de alimentar los mantos acuíferos. Según la Norma del Comité ACI 522 R la capacidad filtrante va del rango de 2 a 18 gal./min/ft<sup>2</sup> (81 a 730 L/min/m<sup>2</sup>) o 192 a 1724 pulg/hora (0.14 a 1.22 cm/s) dependiendo de la cantidad de vacíos que este posea.

## 2.4. Hipótesis

### 2.4.1. Hipótesis General:

Utilizando agregado grueso con gradación de 3/8" se obtendrán resistencias de compresión, flexión y coeficientes de permeabilidad que se encuentren dentro de los límites establecidos por la norma ACI 522R-10

## CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

### 3.1. Operacionalización de variables

#### 3.1.1. Variable independiente:

- Granulometría del agregado grueso

#### 3.1.2. Variables dependientes:

- Propiedades Mecánicas
- Propiedad Hidráulica

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS
Propiedades Mecánicas	Capacidad que presenta un material de resistir acciones de carga, esta refleja la relación entre la fuerza aplicada y la respuesta del material.	Resistencia a la compresión	El esfuerzo se expresa en Mpa o $\text{kg/cm}^2$	- Fuerza máxima - Área resistente
		Resistencia a la flexión	El módulo de rotura se expresa en Mpa o $\text{kg/cm}^2$	- Fuerza máxima - Altura y largo
Propiedad Hidráulica	Propiedad de un material relacionada al flujo de líquido que este presente.	Permeabilidad	La tasa de drenaje se expresa en pulg/hora o $\text{cm/s}$	- Contenido de vacíos. - Diámetro y altura - Tiempo

**Tabla 2:** Operacionalización de variables. **Fuente:** Autor de Tesis

### 3.2. Diseño de investigación

La presente investigación es de tipo Experimental, ya que se manipula de manera intencional la variable independiente para analizar las consecuencias sobre las variables dependientes. Además, se trata de un diseño Cuasi experimental, debido a que se trabajará con grupos de probetas de concreto las cuales estarán sujetas a investigación.

### 3.3. Unidad de estudio

Concreto permeable.

### 3.4. Población

La población objetivo son los concretos permeables que utilicen en su elaboración agregado grueso de gradación 1/2", 3/8" y N°4.

### 3.5. Muestra

Se utilizará un total de 45 probetas de concreto permeable en estado endurecido, con diferentes dimensiones para los ensayos de permeabilidad, resistencia a la compresión y flexión, para calcular el número de muestra se utilizó la siguiente fórmula:

$$n_0 \geq \frac{Z^2 S^2}{E^2} = \frac{1.96^2 \times 8.6^2}{4^2} = 17.76$$
$$n_0 = 18$$

- $n_0$  = Muestra.
- Z = Nivel de confianza al 95%.
- S = Valor de la Desviación estándar (Valor tomado por antecedentes).
- E = Precisión (error máximo tolerable en la estimación del parámetro).

Z= 95% de confiabilidad, se tomó este valor debido a que se considera un margen de error del 5% en los equipos que se utilizarán para los tres ensayos (compresión, flexión y permeabilidad).

S= 8.6 kg/cm<sup>2</sup>, este valor se ha obtenido de acuerdo con los resultados en trabajos de investigación anteriores (Diseño y Aplicación de Concreto Poroso para Pavimentos, 2014) de la variable dependiente considerada más importante para la presente investigación (resistencia a la flexión),

E= 4 kg/cm<sup>2</sup>, se ha considerado un error tolerable de 10% del valor promedio de resistencia a la flexión=38.5 kg/cm<sup>2</sup> que se obtuvo en estudios anteriores (Diseño y Aplicación de Concreto Poroso para Pavimentos, 2014), esto de acuerdo con el criterio del investigador, con la finalidad de que los resultados que se obtengan sean similares.

- Para la prueba de resistencia a la compresión (ASTM C-39), se elaborarán 18 especímenes de concreto permeable, éstos tendrán forma cilíndrica, cuyo diámetro es aproximadamente de 15 cm. y su longitud de 30 cm., serán 9 probetas (3 probetas por cada gradación de agregado grueso) las que se ensayen a los 7 días y las 9 probetas restantes a los 28 días.
- Para la prueba de resistencia a la flexión (ASTM C-78) se elaborarán viguetas, de 15cm x 15cm x 50 cm. de dimensión. Se tomará como muestra 6 viguetas para cada gradación de agregado grueso, las cuales se someterán al ensayo a los 28 días, siendo un total de 18 viguetas.
- Para el ensayo de permeabilidad (ACI 522R-10), se tomará como muestra 3 cilindros de 10 cm. de diámetro y 15 cm. de altura, evaluándolos a los 28 días. Así tendremos un total de 9 cilindros.



**Figura 6:** Probetas para la prueba de Resistencia a la Compresión a los 28 días. **Fuente:** Autor de Tesis.



**Figura 7:** Probetas para la prueba de Resistencia a la Flexión y Permeabilidad. **Fuente:** Autor de Tesis.

### 3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

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

- **Observación directa:** se recolectará datos mediante la percepción intencionada y selectiva del investigador, en condiciones que éste pueda controlar y manipular. Es decir, la observación se aplicará directamente en todos los ensayos que se realizarán bajo la responsabilidad del investigador y que cumplan con los estándares establecidos por el ACI y ASTM.
- **Análisis documental:** se recolectarán datos de fuentes secundarias, como lo son: Tesis (nacionales e internacionales), Normas (ASTM, ACI y NTP), Libros, Documentos, Revistas, Blogs; Los cuales están debidamente citados en las referencias del presente trabajo. Con la finalidad de utilizar esta información para el análisis de las variables de interés.
- **Ensayos de laboratorio:** vienen a ser la técnica principal para la recolección de los datos, los ensayos a los especímenes de concreto permeable que se realizarán en la presente investigación serán: ensayo de compresión a los 7 y 28 días basándonos en la Norma ASTM C-39, ensayo de resistencia a la flexión a una edad de 28 días basada en la norma ASTM C78. Y el ensayo de permeabilidad, a la edad de 28 días, de acuerdo con la norma ACI 522. R-10. Los datos que se obtengan al realizar los ensayos mencionados serán colocados en fichas de resumen.

### 3.6.2. Procedimiento experimental

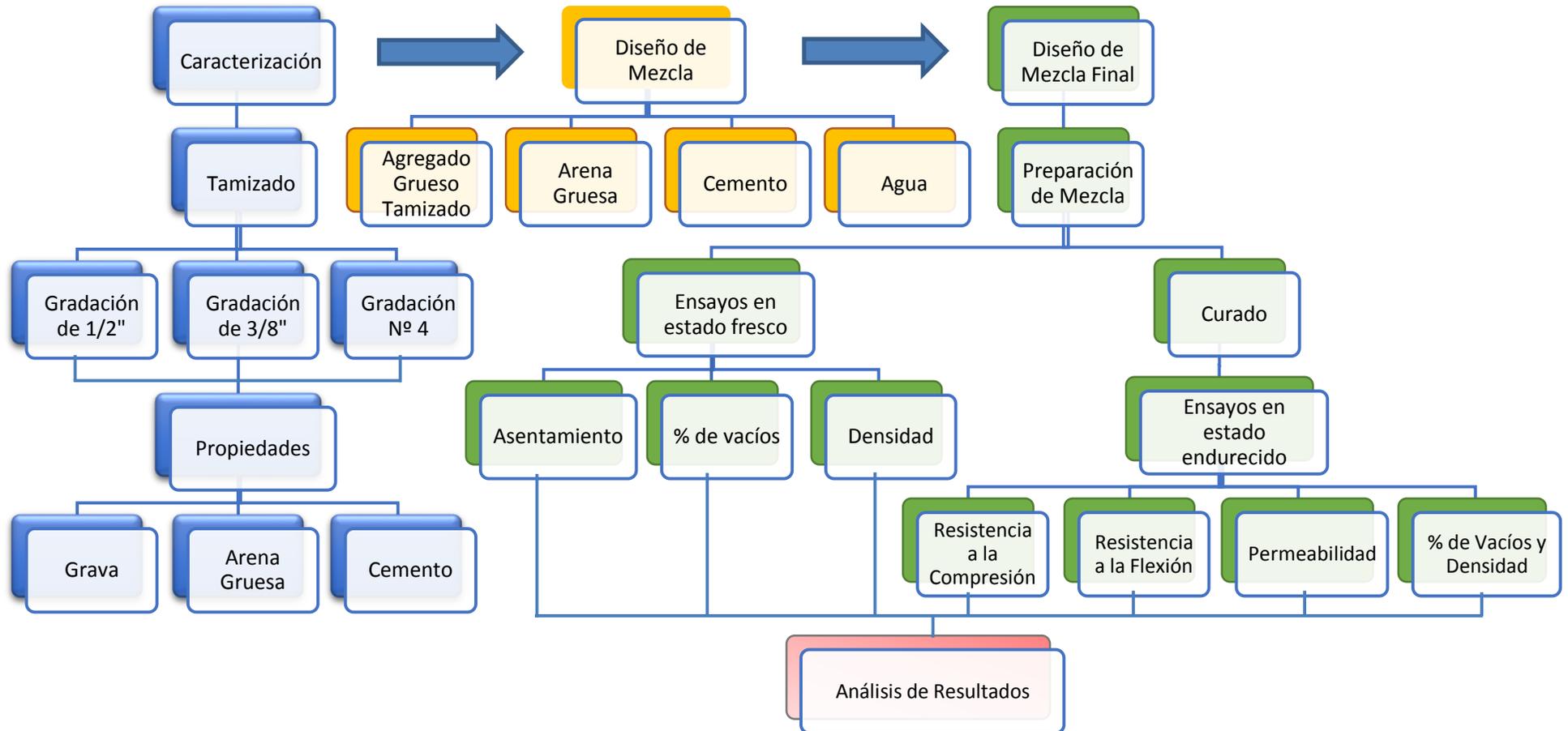


Figura 8: Procedimiento experimental. Fuente: Autor de Tesis

### 3.6.2.1. Caracterización de agregados

#### 3.6.2.1.1 Tamizado

La mezcla de concreto permeable tiene la característica de poseer una granulometría peculiar de agregado grueso, que generalmente va desde la 1/2" hasta el N° 16. En la presente investigación el concreto permeable se elabora a partir de tres distintas gradaciones, es decir; se realiza el tamizado al agregado grueso natural de TMN 1/2", con el fin de obtener el material graduado necesario de 1/2" (1/2" a 3/8"), 3/8" (3/8" a N° 4) y N° 4 (N° 4 a N° 8), donde los valores dentro de los paréntesis representan los tamices por los cuales las partículas del agregado pasan y se quedan respectivamente. En cuanto al agregado fino, se utiliza arena gruesa que presenta un TMN N° 4.

Los ensayos posteriores se realizan a cada gradación de agregado grueso.

#### 3.6.2.1.2 Análisis granulométrico del agregado fino (ASTM C136)

- Se coloca el material en el horno a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . por un periodo de 24 horas.
- Se pesa tres muestras de agregado fino de 500 g cada una.
- Luego se coloca los tamices en orden decreciente por tamaño de abertura (desde el N°4 hasta el N°200), para luego efectuar la operación de tamizado manual, durante un tiempo adecuado, hasta obtener un peso constante en cada tamiz.
- Al finalizar el tiempo se pesa la cantidad retenida de agregado en cada tamiz, así como en el fondo, en una balanza analítica de 0.1 gramos.
- La masa total de material luego del tamizado deberá ser verificada con la masa de la muestra colocada sobre cada tamiz. Si la cantidad difiere en más de 0.3%, sobre la masa seca original de la muestra, el resultado no deberá utilizarse para propósitos de aceptación.
- El mismo proceso se realiza tres veces y el módulo de finura se calcula con la siguiente formula:

$$MF = \frac{(\sum \% \text{ retenido acumulados en las mallas N}^{\circ} 4, 8, 16, 30, 50, 100)}{100}$$

TAMIZ		PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO (%)	% RETENIDO ACUMULADO (%)	% QUE PASA	
(pulg)	(mm)				ARENA	ESPECIFICACIÓN
3/8"	9.50				100	100
N° 4	4.75				95	100
N° 8	2.36				80	100
N° 16	1.18				50	85
N° 30	0.60				25	60
N° 50	0.30				10	30
N° 100	0.15				2	10
N° 200	0.075				0	3
Fondo	0				-	-
<b>Total (g)</b>						
<b>Masa Inicial (g)</b>						
<b>Módulo de Finura</b>						

**Tabla 3:** Granulometría del agregado fino. **Fuente:** Autor de Tesis.

### 3.6.2.1.3 Análisis granulométrico del agregado grueso (ASTM C136)

- Se coloca el material en el horno a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . por un periodo de 24 horas.
- Se pesa tres muestras de agregado grueso de 2000 g cada una.
- Luego se coloca los tamices en orden decreciente por tamaño de abertura (3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°8 y N°16), para luego efectuar la operación de tamizado manual.
- Al finalizar, se pesa la cantidad retenida de agregado en cada tamiz, así como en el fondo, en una balanza analítica de 0.1 gramos, el mismo proceso se realiza tres veces.

TAMIZ		PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO (%)	% RETENIDO ACUMULADO (%)	% QUE PASA	
(pulg)	(mm)				ARENA	ESPECIFICACIÓN
3/4"	19.00					
1/2"	12.50					
3/8"	9.50					
N° 4	4.75					
N° 8	2.36					
N° 16	1.18					
Fondo	0					
<b>Total (g)</b>						
<b>TM</b>						
<b>TMN</b>						

**Tabla 4:** Granulometría del agregado grueso. **Fuente:** Autor de Tesis.

#### 3.6.2.1.4 Abrasión Los Ángeles al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 ½") (ASTM C131)

- Se coloca la muestra de ensayo y la carga en la máquina de Los Ángeles y se la hace girar a una velocidad entre 30 rpm a 33 rpm por 500 revoluciones, la carga es una serie de esferas de acero que depende de la gradación que tenga la muestra, en esta investigación se tiene gradaciones B, C y D; por lo que corresponden ser ensayadas con una carga de 11, 8 y 6 esferas respectivamente.
- Luego de terminadas las 500 revoluciones, se descarga todo el material y se tamiza por la malla N° 12.
- Se lava el material retenido en el tamiz N° 12, se seca al horno a 110 °C ± 5 °C hasta peso constante y se determina la masa con una aproximación a 1 gr.
- Si el agregado está esencialmente libre de revestimiento y polvo el requerimiento de lavado puede ser obviado, pero siempre se requiere secar antes del ensayo.

<b>DESGASTE A LA ABRASIÓN</b>						
<b>ID</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UND</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>P R O M E D I O</b>
<b>A</b>	Peso muestra total	g				
<b>B</b>	Peso retenido en tamiz N° 12	g				
<b>D</b>	Desgaste a la abrasión Los Ángeles $D = (A - B) * 100 / A$	%				

**Tabla 5:** Desgaste a la abrasión. **Fuente:** Autor de Tesis.

#### 3.6.2.1.5 Peso específico y capacidad de absorción del agregado grueso (ASTM C127)

- Dependiendo del tamaño máximo nominal del agregado, se procede a tomar una muestra representativa del agregado grueso (2000 g)
- Se sumerge dentro de agua el material por 24 horas.
- Luego se retira la muestra del agua, se extiende y se seca con un paño absorbente la superficie hasta conseguir que ésta se encuentre en estado SSS (saturado superficialmente seco) y se pesa. (B)
- Después de pesar, se coloca de inmediato la muestra saturada con superficie seca en una cesta de alambre y se pesa dentro del agua a una temperatura entre 23°C ± 1.7 °C.

- Finalmente se seca la muestra a peso constante a una temperatura de  $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , luego se deja enfriar y se determina su peso seco a temperatura ambiente.
- Finalmente se determina el peso específico y la absorción con la siguiente tabla.

<b>PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS</b>						
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	RESULTADO
A	Peso Saturado Superficialmente Seco de la muestra en aire	g				<b>P R O M E D I O</b>
B	Peso Saturado Superficialmente Seco de la muestra en agua	g				
C	Volumen de masa + volumen de vacío, <b><math>C = A - B</math></b>	g				
D	Peso seco de la muestra (en horno a $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ )	g				
E	Volumen de masa, <b><math>E = C - (A - D)</math></b>	cm <sup>3</sup>				
F	Peso específico (base seca), <b><math>F = D / C</math></b>	g/cm <sup>3</sup>				
G	Peso específico (base saturada), <b><math>G = A / C</math></b>	g/cm <sup>3</sup>				
H	Peso específico aparente (base seca), <b><math>H = D / E</math></b>	g/cm <sup>3</sup>				
I	Absorción, <b><math>K = (A - D / D) * 100</math></b>	%				

**Tabla 6:** Peso específico y absorción de agregado grueso. **Fuente:** Autor de Tesis.

### 3.6.2.1.6 Peso específico y capacidad de absorción del agregado fino (ASTM C128)

- Se toma una muestra representativa de agregado fino de 1000 g aproximadamente y se sumerge en agua por 24 horas.
- Luego se decanta cuidadosamente el agua de la muestra y se coloca en una bandeja de metal, la cual se debe poner sobre una cocina eléctrica graduable para secarla, moviendo en ocasiones para tener un secado uniforme.
- A continuación, se toma el material y se rellena el molde cónico (con diámetro inferior de 90 mm y diámetro superior de 40 mm) en tres capas, compactando con 25 golpes por capa con el pisón (340 g de peso)
- Si al quitar el cono la muestra se derrumba 1/3 de la parte de encima, esto demostrará que el agregado habrá alcanzado su condición saturada superficialmente seca. De no ser así, se repite el procedimiento.
- Se pesa la fiola con agua hasta 500 ml. y luego se bota el agua.

- Se introduce en la fiola 500 g de la muestra preparada y se añade agua hasta aproximadamente 90% de la capacidad del frasco, se hace rodar la fiola sobre una superficie plana, tratando de eliminar todas las burbujas de aire, durante un minuto.
- Luego se llena la fiola hasta la marca de 500 ml y se determina su peso total.
- Por último, se deja reposar la muestra dentro de la fiola para que ésta se asiente, se bota el agua y se seca la muestra en el horno a 100°C hasta peso constante y se obtiene su peso seco.

Luego se pasa a calcular con la siguiente tabla.

<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS</b>						
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	RESULTADO
A	Peso Saturado Superficialmente Seco de la muestra (Psss)	g				<b>P R O M E D I O</b>
B	Peso de la fiola + agua hasta marca de 500ml	g				
C	Peso de la fiola + agua + Psss, <b>C = A + B</b>	g				
D	Peso de la fiola + Psss + agua hasta la marca de 500ml	g				
E	Volumen de masa + volumen de vacío, <b>E = C - D</b>	cm <sup>3</sup>				
F	Peso seco de la muestra (en horno a 105°C ± 5°C)	g				
G	Volumen de masa, <b>G = E - (A - F)</b>	cm <sup>3</sup>				
H	Peso específico (base seca), <b>H = F / E</b>	g/cm <sup>3</sup>				
I	Peso específico (base saturada), <b>I = A / E</b>	g/cm <sup>3</sup>				
J	Peso específico aparente (base seca), <b>J = F / G</b>	g/cm <sup>3</sup>				
K	Absorción, <b>K = (A - F / F) * 100</b>	%				

**Tabla 7:** Gravedad específica y absorción de agregado fino. **Fuente:** Autor de Tesis.

### 3.6.2.1.7 Peso unitario suelto y compactado del agregado fino y agregado grueso (ASTM C29)

- Se toma el peso del molde vacío.
- Se vierte agua en el molde hasta llenarlo y luego se toma el peso, esto nos sirve para calcular el volumen ( $m^3$ ) del molde.
- Luego se vierte la muestra de agregado en el molde, a una altura no mayor de 50 mm por encima del borde superior, hasta llenarlo (en el caso del peso unitario compactado se coloca el material en tres capas de igual volumen aproximadamente, cada capa se compacta uniformemente en todo el recipiente con una varilla normada 25 veces).
- Una vez colmado el recipiente, se enrasa la superficie con la varilla, usándola como regla.
- Por último, se toma el peso del molde con la muestra y mediante la siguiente fórmula se determina el peso unitario compactado.

<b>PESO UNITARIO DEL AGREGADO</b>						
<b>AGREGADO GRUESO</b>		<b>TAMAÑO MÁX. NOMINAL</b>		<b>VOLUMEN MOLDE</b>		
<b>ID</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UND</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>A</b>	Peso del Molde + Agr. Compactado	Kg.				
<b>B</b>	Peso del molde	Kg.				
<b>C</b>	Peso del Agr. Compactado, <b>C = A – B</b>	Kg.				
<b>D</b>	<b>PESO UNITARIO COMPACTADO</b> <b>D = C / Vol. Molde</b>	Kg/m <sup>3</sup>				
<b>E</b>	Peso del Molde + Agr. Suelto	Kg.				
<b>F</b>	Peso del Agr. Suelto, <b>F = E – B</b>	Kg.				
<b>G</b>	<b>PESO UNITARIO SUELTO,</b> <b>G = F / Vol. Molde</b>	Kg/m <sup>3</sup>				

**Tabla 8:** Peso unitario del agregado. **Fuente:** Autor de Tesis.

### 3.6.2.1.8 Contenido de humedad del agregado grueso y fino (ASTM C566)

- Se cuartea el material para tomar una muestra representativa, que dependerá del tamaño máximo nominal del agregado, y se la coloca en envases previamente tarados
- Luego se registra el peso del material en estado natural en una balanza analítica de 0.1 gramos.

- Se coloca en el horno a una temperatura de  $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  por 24 horas y se pesa.
- Se toman 3 muestras para sacar un promedio y que el ensayo sea más aproximado.

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADOS</b>						
<b>ID</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UND</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>A</b>	Peso de la muestra en estado natural	g				
<b>B</b>	Peso seco de la muestra (en horno a $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ )	g				
<b>C</b>	Contenido de Humedad <b><math>C = (A - B / B) * 100</math></b>	%				

**Tabla 9:** Contenido de Humedad de agregados. **Fuente:** Autor de Tesis.

### 3.6.2.1.9 Cantidad de material fino que pasa por el tamiz N° 200 (ASTM C117)

- Se seca la muestra a peso constante a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , pesar con una aproximación al 0.1% de la masa de la muestra de ensayo.
- Se coloca la muestra seca y pesada en un recipiente y adicionar agua hasta cubrirla.
- Después se agita la muestra para lograr la separación completa de las partículas más finas que el tamiz N° 200 de las partículas gruesas y llevar el material fino a la suspensión.
- Se procede a colocar el tamiz N° 16 sobre el tamiz N° 200 y verter el agua de lavado conteniendo los sólidos suspendidos y disueltos sobre los tamices; tener cuidado para evitar la decantación de las partículas más gruesas de la muestra.
- Se adiciona una segunda carga de agua a la muestra en el recipiente, agitar y decantar como antes. Repetir esta operación hasta que el agua de lavado esté clara.
- Retornar todo el material retenido sobre los tamices mediante un chorro de agua. Secar el agregado lavado a peso constante a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  y determinar la masa con aproximación al 0.1% de la masa original de la muestra.

<b>CANTIDAD DE MATERIAL FINO QUE PASA POR EL TAMIZ N°200</b>					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Peso de la muestra	g			
B	Peso de la muestra lavada y seca	g			
C	Material que pasa el tamiz N° 200 <b>C = A – B</b>	g			
D	% que pasa el tamiz N° 200 <b>D = (C / A) * 100</b>	%			
			PROMEDIO =		

**Tabla 10:** Cantidad de material fino que pasa por el tamiz N° 200. **Fuente:** Autor de Tesis.

#### 3.6.2.1.10 Peso específico del cemento hidráulico (ASTM C188)

- Se lava el frasco Le Chatelier y seca su interior (libre de residuos y humedad).
- Luego se llena el frasco Le Chatelier entre las marcas de 0 y 1 ml (se recomienda llenar hasta la marca de 0 ml), con gasolina. Secar el cuello del frasco si es necesario.
- Se sumerge el frasco en Baño María a temperatura ambiente hasta que no existan diferencias mayores de 0.2 °C entre la temperatura del líquido dentro del frasco y la temperatura del líquido exterior a éste. Debido a que cuando se desprendan las burbujas de aire el líquido dentro del frasco disminuirá, llenar éste con una pipeta entre las marcas de 0 y 1 ml (se recomienda mantener la medida en cero). Anotar en la hoja de reporte el volumen de líquido dentro del frasco y la temperatura de ensayo (temperatura ambiente).
- Se procede a pesar una cantidad de cemento de  $64 \pm 0.05$  g y depositarla en el frasco, mediante la ayuda de un embudo para evitar salpicaduras y la adherencia en el frasco.
- Colocar el tapón en el frasco y hacer girar, de tal manera de liberar de aire el cemento hasta que ya no exista escape de burbujas hacia la superficie.
- Volver a colocar en baño María y controlar la temperatura. Medir el volumen y anotarlo.
- Finalmente se retira el cemento, colocando la boca del frasco hacia abajo y si en caso quedan residuos de cemento adherido al frasco, enjuagar con ácido clorhídrico.

<b>PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO HIDRÁULICO (FRASCO DE LE CHATELIER)</b>					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Peso de cemento utilizado (gr)	g			
B	Volumen Inicial (cm <sup>3</sup> )	cm <sup>3</sup>			
C	Volumen Final (cm <sup>3</sup> )	cm <sup>3</sup>			
D	Volumen Desplazado, <b>D = C - B</b>	cm <sup>3</sup>			
E	<b>Peso Específico del Cemento Hidráulico (gr/cm<sup>3</sup>)</b> <b>E = A / D</b>	g/cm <sup>3</sup>			
F	Peso Específico del agua a 4°C	g/cm <sup>3</sup>			
G	Peso Específico Relativo del Cemento <b>G = E / F</b>	-			
H	Temperatura del Ensayo (°C)	°C			
I	<b>Peso Específico Promedio del Cemento (gr/cm<sup>3</sup>)</b> <b>I = (E1 + E2 + ... + En) / n</b>	g/cm <sup>3</sup>			

**Tabla 11:** *Peso específico del cemento. Fuente: Autor de Tesis.*

### 3.6.2.2. Diseño de mezcla

Después de realizar un análisis a diversas investigaciones y trabajos de grado en diferentes países de América, y debido a que no existe un método normalizado para el diseño de mezclas de concretos permeables, se tomó la decisión de utilizar el último reporte en concreto permeable del ACI (año 2010); Así, el ACI 522R-10 es la base de las dosificaciones llevadas a cabo en esta investigación de grado, este reporte establece en el capítulo 6 (“proporción de mezcla del concreto permeable”), una serie de parámetros, tablas empíricas y criterios para obtener el diseño de mezcla de un concreto permeable.

El diseño de mezcla del concreto permeable debe ser orientado a garantizar la funcionalidad del mismo, es decir, se debe encontrar un equilibrio entre resistencia (a compresión y flexión) y permeabilidad, por ello en la presente investigación el diseño de mezcla consta de dos fases. En la primera fase, se realizan pruebas empíricas (diseños previos) en las cuales se van variando criterios de diseño como: relación a/c, contenido de vacíos, porcentaje de finos y volumen de pasta, Es decir, se elaboran distintos diseños de mezcla para conformar testigos cilíndricos y ensayarlos a compresión a los 7 días, y así poder escoger el diseño de mezcla que presente un mejor comportamiento. Los resultados obtenidos han sido colocados en el anexo 2.

En la segunda fase, se procede a realizar el diseño de mezcla para las tres gradaciones de agregado grueso con los parámetros de diseño definidos de acuerdo con la experiencia obtenida de las mezclas de prueba anteriores (primera fase),

### **3.6.2.2.1 Materiales**

#### **3.6.2.2.1.1 Material cementante:**

La cantidad de pasta cementante va a influir directamente en las propiedades del concreto. Si se tiene una mayor cantidad de material cementante, se podrá abarcar una mayor superficie de las partículas de los agregados, permitiendo que éstas se enlacen de mejor forma brindando mayor resistencia a la mezcla, pero a su vez ocupará el espacio de los vacíos o poros que brindan las propiedades permeables a este concreto. Se ha optado por trabajar con Cemento Portland tipo MS (ASTM C1157) marca Pacasmayo, por ser éste de uso para obras en contacto con ambientes y suelos húmedos-salinosos ya que presenta moderada resistencia a los sulfatos, y la marca Pacasmayo por ser esta comercial en la ciudad de Trujillo.

#### **3.6.2.2.1.2 Agregados:**

Para la presente investigación se utilizaron los agregados provenientes de la cantera Calderón ubicada en el sector El Milagro - Huanchaco, provincia de Trujillo-Perú; Como se explicó anteriormente para el agregado grueso se ha empleado material graduado de 1/2", 3/8" y N° 4. Y para el agregado fino, arena gruesa de TMN N°4.

#### **3.6.2.2.1.3 Agua:**

Se hace uso del agua potable de la Universidad Privada del Norte – Trujillo.

### **3.6.2.2.2 Criterios de diseño de mezclas**

#### **3.6.2.2.2.1 Relación agua / cemento**

La elección de la relación a/c óptima depende principalmente de la gradación y las características físicas de los agregados gruesos y del volumen de materiales cementantes de la mezcla. Además, la relación entre, a/c y resistencia, no se puede aplicar en el concreto permeable de la misma forma en que se la hace en el concreto convencional.

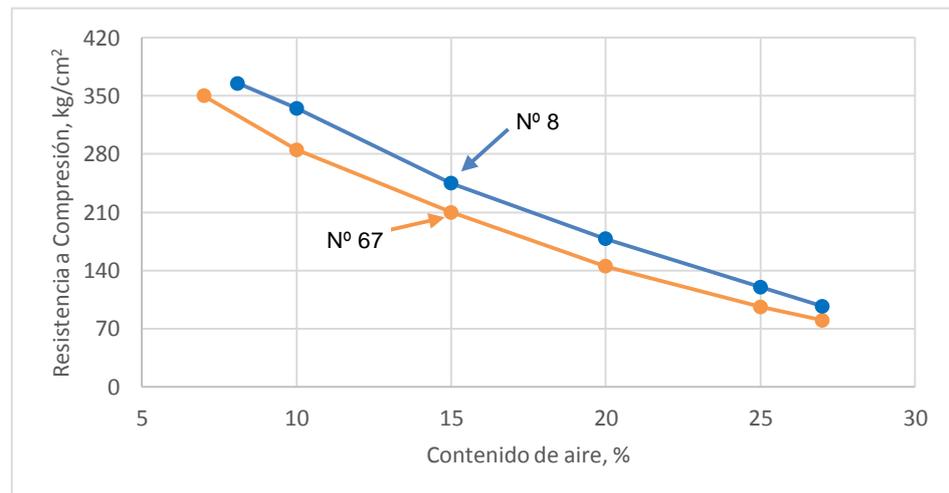
Según el ACI, la relación a/c óptima para formar una pasta estable y trabajable varía entre 0,26 y 0,45, la trabajabilidad del concreto permeable se supone que es satisfactoria si el agua utilizada imparte a la mezcla un aspecto metálico y brillante.

Se debe tener en cuenta que una gran cantidad de agua en la mezcla ocasionará el drenaje de la pasta cementante tapando los poros de la misma y, en consecuencia, porosidad reducida. Por otro lado, la carencia de agua formará un concreto muy seco que no podrá formar enlaces resistentes entre sus partículas.

### 3.6.2.2.2 Porcentaje de vacíos

La resistencia del concreto y su permeabilidad están ligadas directamente al porcentaje de vacíos que la mezcla tenga, y este valor se verá afectado por la cantidad de agregado fino, el porcentaje de pasta cementante que se utilice y la fuerza con la que se compacte al concreto. Los valores de porcentaje de vacíos recomendados para el concreto permeable varían entre 15 y 30%.

Con un contenido de vacíos inferior al 15%, no hay percolación significativa a través del concreto. Se cree que, por debajo de este valor, no hay suficiente interconexión entre los huecos para permitir una rápida percolación. En la Figura 9, se observa que para un contenido de vacíos mínimo recomendado (15%) los valores de resistencia a la compresión alcanzados por testigos de concreto permeable elaborados con agregados de tamaño No 8 y No 67; varían alrededor de 210 kg/cm<sup>2</sup>. De esta manera podemos obtener valores de resistencia a compresión referenciales para nuestro diseño.



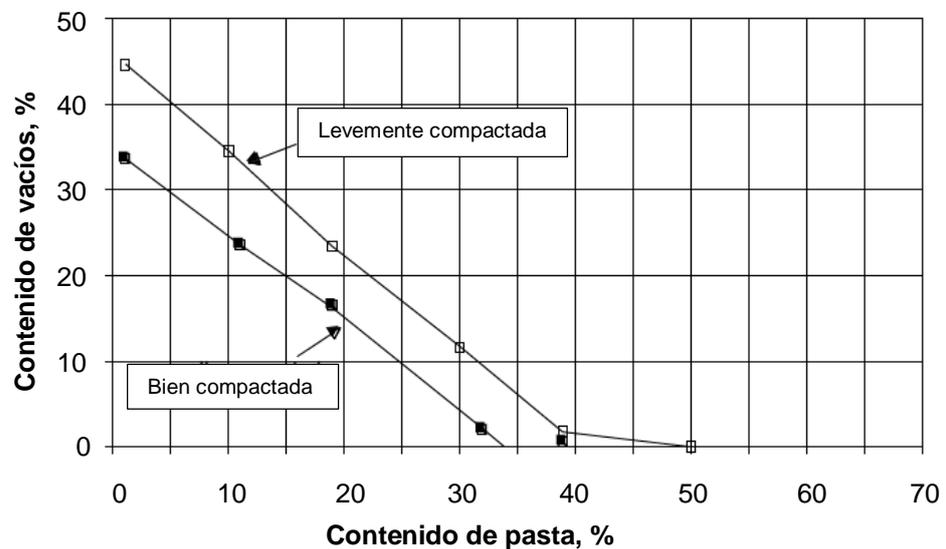
**Figura 9:** Relación entre contenido de vacíos y fuerza a la compresión a los 28 días para tamaños de agregados N° 67 y N° 8. **Fuente:** ACI 522R-10.

### 3.6.2.2.3 Volumen de pasta cementante

Es la pasta que se forma de la unión entre el agua y el cemento, su porcentaje dentro de la mezcla va a depender del porcentaje de vacíos y la resistencia del concreto que se desea obtener.

A mayor cantidad de pasta cementante, menor porcentaje de vacíos y mayor superficie de los agregados cubiertas por, en este caso, aglomerante, por lo que se obtiene mayor resistencia. De acuerdo con la ACI los valores más utilizados para porcentaje de pasta cementante sobre el volumen total de la mezcla varían entre 10 y 30%.

El cálculo del porcentaje del volumen de pasta en la mezcla se hace a partir del porcentaje de vacíos teórico, para ello se emplea la Figura 10, la cual muestra la relación entre el contenido de vacíos y el volumen de pasta necesario para concretos permeables elaborados con tamaño de agregado grueso No. 8.



**Figura 10:** Relación entre el porcentaje de vacíos y el contenido de pasta para tamaños de agregado N° 8. **Fuente:** ACI 522R-10

En el presente gráfico se observa dos curvas, las cuales definen el tipo de compactación que se tendrá en cuenta durante el vaciado y elaboración de probetas de concreto permeable, estas son: ligeramente compactada, donde se incrementa el volumen de pasta y la bien compactada, donde se disminuye el volumen de pasta, esta condición se identifica en un mismo porcentaje de vacíos.

Cuando el agregado fino es utilizado, el volumen de pasta debe ser reducido en 2% por cada 10% de agregado fino del total del agregado para concreto permeable bien compactado y en 1% por cada 10% del agregado fino del total del agregado para concreto permeable ligeramente compactado. Estas reducciones son utilizadas para mantener el mismo porcentaje de vacíos por volumen.

#### 3.6.2.2.4 Cantidad de agregado grueso

Los ensayos han demostrado que la densidad varillada de agregados gruesos en seco, determinada por ASTM C29 / C29M, puede utilizarse eficazmente para dosificar el concreto permeable (Meininger, 1988). Estos ensayos han demostrado que la proporción de el volumen seco varillado de agregado grueso por volumen sólido de agregado grueso ( $b/b_o$ ) puede usarse como relación de diseño, donde:

- $b/b_o$  = volumen varillado seco de agregado grueso en un volumen unitario de concreto.
- $b$  = volumen sólido de agregado grueso en un volumen unitario de concreto.
- $b_o$  = volumen sólido de agregado grueso en un volumen unitario de agregado grueso.

$$b/b_o = \frac{\text{Peso del Agregado Grueso}}{\text{P.U.S.C. Agregado Grueso}}$$

**Ecuación 1:** Volumen seco de agregado grueso

El valor  $b/b_o$  compensa automáticamente los efectos de diferentes formas de partículas de agregado grueso, clasificación y gravedad específica. Además, los valores de  $b/b_o$  para los agregados nominales de tamaño máximo típicamente usados en concreto permeable, de 9,5 a 19 mm, son similares.

La Tabla aplica los valores de  $b/b_o$  para los tamaños de agregados gruesos No. 8 y No. 67 con contenidos de agregados finos de 0, 10 y 20% de la masa total agregada.

Porcentaje de Fino	$b/b_o$	
	ASTM C-33 Tamaño N° 8	ASTM C-33 Tamaño N° 67
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

**Tabla 12:** Valores efectivos de  $b/b_o$ . Fuente: ACI 522R-10.

#### 3.6.2.3. Diseños de mezcla finales

A continuación, se detalla el procedimiento para la realización de los diseños de mezcla del concreto permeable para las 3 gradaciones de agregado grueso.

### 3.6.2.3.1 1er DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE (gradación de 1/2")

➤ **Paso 1: Definir datos iniciales de los materiales**

- **Cemento:** Pacasmayo Portland tipo MS.
- **Agua:** Agua Potable de la Universidad Privada del Norte – sede Trujillo.

Propiedad		Valor	Unidad
Peso específico del Cemento	Pec	2.97	g/cm <sup>3</sup>
Peso Específico del Agua	Pea	1.00	g/cm <sup>3</sup>

**Tabla 13:** Peso Específico del cemento y agua. **Fuente:** Autor de Tesis

- **Agregado:** cantera CALDERÓN.

Propiedades del Agregado		Agregado Fino	Agregado Grueso	Unidad
Peso Específico de masa	Pe	2.66	2.66	g/cm <sup>3</sup>
Peso Específico de masa (S.S.S.)	Pe(sss)	2.68	2.70	g/cm <sup>3</sup>
Peso Unitario Suelto	PUS	1670	1480	kg/m <sup>3</sup>
Peso Unitario Compactado	PUC	-	1580	kg/m <sup>3</sup>
Contenido de Humedad	ch%	0.59	0.59	%.
Absorción	a%	0.84	1.53	%.
Tamaño Máximo Nominal	TMN	Nº 4	1/2"	-

**Tabla 14:** Propiedades del agregado para el diseño de 1/2". **Fuente:** Autor de Tesis

- **% de agregado fino incluido en el diseño:** 8.00 % (\*).

(\* se considera en el diseño de mezcla la adición de un 8 % de agregado fino del total del agregado, este valor se determina de acuerdo a ensayos previos que se han colocado en el anexo 2.

➤ **Paso 2: Elección de la relación agua/cemento.**

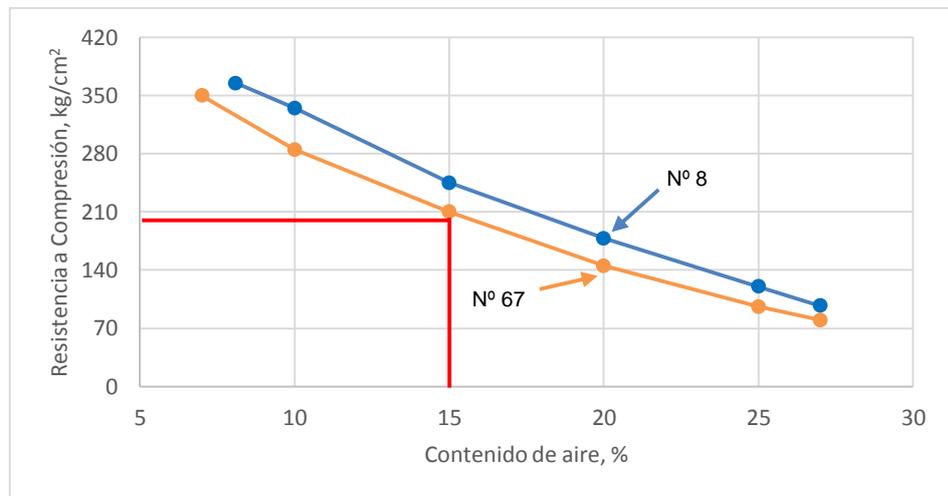
La relación a/c se fijó en 0.35, valor que se encuentra dentro del rango que recomienda el ACI (0.25 - 0.45), y debido a que se busca evitar los problemas derivados de un déficit o exceso de agua en la pasta, como por ejemplo enlaces poco resistentes entre partículas del árido o el colapso del sistema de poros, respectivamente.

Además, se ha tomado en cuenta investigaciones anteriores en las cuales se usan valores similares, tal es el caso de (Barahona, Martinez & Zelaya, 2013).

- **Relación a/c: 0.35**

➤ **Paso 3: Elección del porcentaje de vacíos.**

La elección del porcentaje de vacíos depende de la resistencia a la compresión (a los 28 días) requerida, en el presente estudio se pretende alcanzar valores que se acerquen a los 200 kg/cm<sup>2</sup>, para ello se hace uso de la Figura 11, la cual señala que se debe elegir un contenido de vacíos de 15 %; Sin embargo, hay que tener claro, que estos valores son referenciales ya que ninguna de las gradaciones tomadas en cuenta en este trabajo se asemejan a las consideradas en la figura en mención.



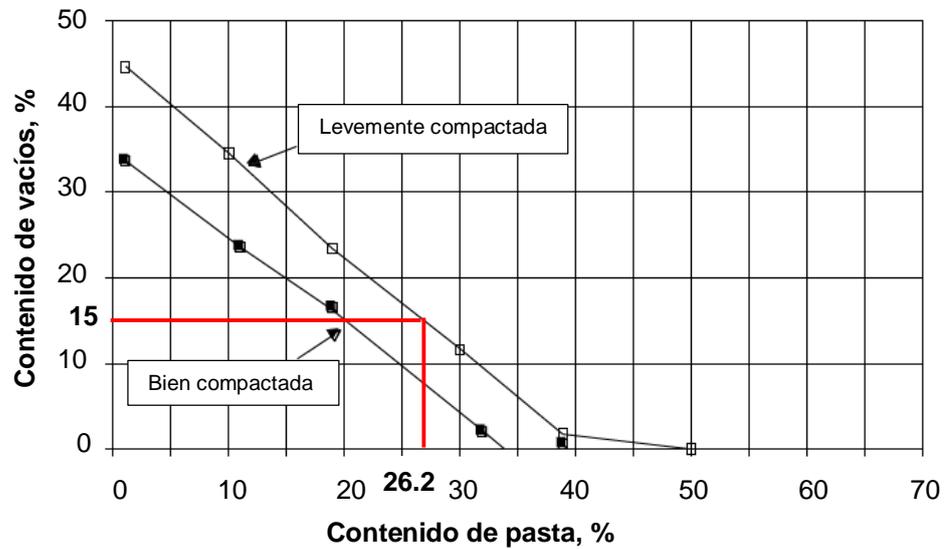
**Figura 11:** Elección de % de vacíos para el diseño de mezcla **Fuente:** ACI 522R-10

- **% de vacíos: 15 %**

➤ **Paso 4: Cálculo del Volumen de pasta.**

Una vez que elegimos el porcentaje de vacíos, se puede obtener el porcentaje de pasta en volumen haciendo uso de la Figura 12, en la cual se observa dos curvas para los dos niveles de compactación.

En esta investigación se considera un nivel de compactación ligero, ya que éste nos permite obtener mayores volúmenes de pasta para asegurar un óptimo recubrimiento de los agregados.



**Figura 12:** Determinación del Contenido de pasta

Como se utiliza 8% de agregado fino del agregado total en el diseño de mezcla, se debe reducir el porcentaje de pasta en 0.8% (condición de ligeramente compactado). Así, obtenemos un % de pasta de 26.2.

**Nota:**

De acuerdo a ensayos realizados a los diseños de mezcla previos, se ha considerado reducir el % de pasta a 25.2, con el fin de disminuir la cantidad de cemento en el diseño, optimizando así el costo.

- **% de Pasta: 25.2 %**

➤ **Paso 5: Determinar el valor b/bo**

El ultimo criterio a tener en cuenta es el valor b/bo, el cual nos ayuda a determinar el peso del agregado grueso en la mezcla, para ello se usa la tabla de valores efectivos que brinda el ACI 522R-10, el cual especifica el factor b/bo según el porcentaje de agregado fino que se pretende utilizar en la mezcla.

Porcentaje de Fino	b/bo	
	ASTM C-33 Tamaño N° 8	ASTM C-33 Tamaño N° 67
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

**Tabla 15:** Determinación del valor efectivos b/bo.

Debido a que se usará un 8% de agregado fino se interpola el valor de  $b/b_o$ , resultando ser 0.94.

-  **$b/b_o$ : 0.94**

**Nota:**

*Los criterios de diseño considerados hasta este punto serán los mismos para los tres diseños de mezcla, a excepción de las propiedades del agregado grueso.*

➤ **Paso 6: Determinar el peso del agregado grueso**

- Usando la siguiente expresión, se calcula el Peso del Agregado Grueso (Pag):

$$b/b_o = \frac{\text{Peso del Agregado Grueso}}{\text{P.U.S.C. Agregado Grueso}}$$

$$\text{Pag} = b/b_o \times \text{PUSC Agregado Grueso} \times 1\text{m}^3$$

**Ecuación 2:** *Peso del agregado grueso  $\times \text{m}^3$*

- Se calcula el Peso Unitario Seco Compactado del agregado grueso (PUSC):

$$\text{PUSC} = \text{PUC} / \text{Porcentaje de Humedad}$$

$$\text{PUSC} = 1580 \text{ kg/m}^3 / 1.0059$$

$$\text{PUSC} = 1570.73 \text{ kg/m}^3$$

- Se determina el Peso del agregado grueso seco (Pag):

$$\text{Pag} = b/b_o \times \text{PUSC Agregado Grueso} \times 1\text{m}^3$$

$$\text{Pag} = 0.94 \times 1570.73 \text{ kg/m}^3 \times 1\text{m}^3$$

$$\text{Pag} = 1476.49 \text{ kg}$$

- Se realiza el ajuste por absorción (S.S.S.):

$$\text{Pag(sss)} = \text{Pag} \times \text{Porcentaje de Absorción}$$

$$\text{Pag(sss)} = 1476.49 \text{ kg} \times 1.0153$$

$$\text{Pag(sss)} = 1499.08 \text{ kg}$$

- Restando el % que ocupará el agregado fino, obtenemos:

$$\text{Pag(sss)} = \text{Pag(sss)} - 8\% \text{ de Paf(sss)}$$

$$\text{Pag(sss)} = 1499.08 \times (1 - 8/100)$$

$$\text{Pag(sss)} = 1379.15 \text{ kg}$$

➤ **Paso 7: Determinar el peso del agregado fino**

- Se calcula el Peso del agregado fino en estado S.S.S.:

$$\text{Paf(sss)} = 1499.08 \text{ kg} - 1379.15 \text{ kg}$$

$$\text{Paf(sss)} = 119.93 \text{ kg}$$

- Se determina el Peso del agregado fino seco (Paf):

$$Paf = 119.93 \text{ kg} / \text{Porcentaje de Absorción}$$

$$Paf = 119.93 \text{ kg} / 1.0084$$

$$Paf = 118.93 \text{ kg}$$

➤ **Paso 8: Determinar el contenido de cemento y agua**

- Volumen de Pasta = Volumen de cemento + Volumen de agua

$$V_p = \frac{c}{P_{ec}} + \frac{a}{P_{ea}}$$

**Ecuación 3: Volumen de Pasta**

$$V_p = \frac{c}{2.97 \times 1000} + \frac{a}{1000}$$

- Con la relación a/c=0.35, obtenemos:

$$V_p = \frac{c}{2.97 \times 1000} + \frac{0.35 \times c}{1000}$$

- Reemplazando el Vp=25.2%, resulta:

$$0.252 = \frac{c}{2.97 \times 1000} + \frac{0.35 \times c}{1000}$$

- Despejando la ecuación, obtenemos la cantidad de cemento:

$$c = 366.97 \text{ kg/m}^3$$

- Se calcula la cantidad de agua de diseño:

$$\frac{a}{c} = 0.35$$

$$a = 0.35 \times c$$

$$a = 128.44 \text{ l}$$

➤ **Paso 9: Calcular volúmenes absolutos**

	<b>Pesos SSS (kg.)</b>	<b>Pe(sss) (kg/m3)</b>	<b>Volumen (m3)</b>
Cemento	366.97	2970.00	0.124
Agua de diseño	128.44	1000.00	0.128
A. Grueso	1379.15	2700.00	0.511
A. Fino	119.93	2680.00	0.045
<b>Volumen sólido =</b>			<b>0.808</b>

➤ **Paso 10: Determinar el nuevo porcentaje de vacíos**

	<b>m<sup>3</sup></b>
<b>Volumen Total</b>	1.000
<b>Volumen Sólido</b>	0.808

- Para hallar el nuevo porcentaje de vacíos se usa la siguiente expresión:

$$\% \text{ Vacíos} = (V_{\text{total}} - V_{\text{sólido}}) / V_{\text{total}} \times 100$$

**Ecuación 4:** Porcentaje de vacíos

$$\% \text{ Vacíos} = 19.20\%$$

**Nota:**

El paso 8 y 9 se realizan únicamente con el fin de obtener valores que serán necesarios para el ensayo de Densidad y % de vacíos en estado fresco del concreto. Es por ello que en el paso 10 se consideran los pesos secos del agregado y no los pesos en estado SSS.

➤ **Paso 11: Corregir por Humedad y Absorción**

	<b>Pesos secos (kg.)</b>	<b>Humedad (ch%)</b>	<b>Absorción (a%)</b>
Cemento	366.97	-	-
Agua de diseño	128.44	-	-
A. Grueso	1358.37	0.59	1.53
A. Fino	118.93	0.59	0.84

- **Se calcula el agua efectiva**

Balance de agua en el A.G.:

$$\text{Adición de agua} = (\% \text{Absorción} - \% \text{Humedad}) \times \text{A.G.}$$

**Ecuación 5:** Adición de agua por A.G.

$$\text{Adición de agua} = (1.53\% - 0.59\%) \times 1358.37 \text{ kg}$$

$$\text{Adición de agua} = 0.94\% \times 1358.37 \text{ kg}$$

$$\text{Adición de agua} = 12.77 \text{ kg}$$

Balance de agua en el A.F.:

$$\text{Adición de agua} = (\% \text{Absorción} - \% \text{Humedad}) \times \text{A.F.}$$

**Ecuación 6:** Adición de agua por A.F.

$$\text{Adición de agua} = (0.84\% - 0.59\%) \times 118.93 \text{ kg}$$

$$\text{Adición de agua} = 0.25\% \times 118.93 \text{ kg}$$

$$\text{Adición de agua} = 0.30 \text{ kg}$$

$$\text{Agua efectiva} = 128.44 \text{ kg} + 12.77 \text{ kg} + 0.30 \text{ kg}$$

$$\text{Agua de efectiva} = 141.51 \text{ kg}$$

- Se corrige el agregado por humedad

	Pesos secos (kg.)	Humedad (ch%)	Pesos corregidos
A. Grueso	1358.37	0.59	1366.38
A. Fino	118.93	0.59	119.63

**Tabla 16:** Pesos corregidos por humedad de la gradación 1/2". **Fuente:** Autor de Tesis.

#### Paso 12: Valores del diseño de mezcla

Material	Pesos por m3 (kg.)	Proporción en Volumen
Cemento	366.97	1
Agua Efectiva	141.51	16.58 L
A. Fino	119.63	0.29
A. Grueso	1366.38	3.75
<b>TOTAL</b>	<b>1994.49</b>	

**Tabla 17:** diseño de mezcla para gradación de 1/2". **Fuente:** Autor de Tesis

### 3.6.2.3.2 2<sup>do</sup> DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE (gradación de 3/8")

- Paso 1: Datos del agregado:

Propiedades del Agregado		Agregado Fino	Agregado Grueso	Unidad
Peso Específico de masa	Pe	2.66	2.64	g/cm <sup>3</sup>
Peso Específico de masa (S.S.S.)	Pe(sss)	2.68	2.68	g/cm <sup>3</sup>
Peso Unitario Suelto	PUS	1670	1490	kg/m <sup>3</sup>
Peso Unitario Compactado	PUC	-	1610	kg/m <sup>3</sup>
Contenido de Humedad	ch%	0.59	0.46	%.
Absorción	a%	0.84	1.62	%.
Tamaño Máximo Nominal	TMN	Nº 4	3/8"	-

**Tabla 18:** Propiedades del agregado para el diseño de 3/8". **Fuente:** Autor de Tesis

#### Paso 6: Determinar el peso del agregado grueso

- Se calcula el Peso Unitario Seco Compactado del agregado grueso (PUSC):

$$PUSC = PUC / \text{Porcentaje de Humedad}$$

$$PUSC = 1610 \text{ kg/m}^3 / 1.0046$$

$$PUSC = 1602.63 \text{ kg/m}^3$$

- Se determina el Peso del agregado grueso seco (Pag):

$$\text{Pag} = b/b_o \times \text{PUSC Agregado Grueso} \times 1\text{m}^3$$

$$\text{Pag} = 0.94 \times 1602.63 \text{ kg/m}^3 \times 1\text{m}^3$$

$$\text{Pag} = 1506.47 \text{ kg}$$

- Se realiza el ajuste por absorción (S.S.S.):

$$\text{Pag(sss)} = \text{Pag} \times \text{Porcentaje de Absorción}$$

$$\text{Pag(sss)} = 1506.47 \text{ kg} \times 1.0162$$

$$\text{Pag(sss)} = 1530.88 \text{ kg}$$

- Restando el % que ocupará el agregado fino, obtenemos:

$$\text{Pag(sss)} = \text{Pag(sss)} - 8\% \text{ de Paf(sss)}$$

$$\text{Pag(sss)} = 1530.88 \times (1 - 8/100)$$

$$\text{Pag(sss)} = 1408.41 \text{ kg}$$

#### ➤ Paso 7: Determinar el peso del agregado fino

- Se calcula el Peso del agregado fino en estado S.S.S.:

$$\text{Paf(sss)} = 1530.88 \text{ kg} - 1408.41 \text{ kg}$$

$$\text{Paf(sss)} = 122.47 \text{ kg}$$

- Se determina el Peso del agregado fino seco (Paf):

$$\text{Paf} = 122.47 \text{ kg} / \text{Porcentaje de Absorción}$$

$$\text{Paf} = 122.47 \text{ kg} / 1.0084$$

$$\text{Paf} = 121.45 \text{ kg}$$

#### ➤ Paso 8: Determinar el contenido de cemento y agua

- Volumen de Pasta = Volumen de cemento + Volumen de agua

$$V_p = \frac{c}{2.97 \times 1000} + \frac{a}{1000}$$

- Con la relación a/c=0.35, obtenemos:

$$V_p = \frac{c}{2.97 \times 1000} + \frac{0.35 \times c}{1000}$$

- Reemplazando el Vp=25.2%, resulta:

$$0.252 = \frac{c}{2.97 \times 1000} + \frac{0.35 \times c}{1000}$$

- Despejando la ecuación, obtenemos la cantidad de cemento:

$$c = 366.97 \text{ kg/m}^3$$

- Se calcula la cantidad de agua de diseño:

$$\frac{a}{c} = 0.35$$

$$a = 0.35 \times c$$

$$a = 128.44 \text{ l}$$

➤ **Paso 9: Calcular volúmenes absolutos**

	<b>Pesos SSS (kg.)</b>	<b>Pe(sss) (kg/m3)</b>	<b>Volumen (m3)</b>
Cemento	366.97	2970.00	0.124
Agua de diseño	128.44	1000.00	0.128
A. Grueso	1408.41	2680.00	0.526
A. Fino	122.47	2680.00	0.046
<b>Volumen sólido =</b>			<b>0.824</b>

➤ **Paso 10: Determinar el nuevo porcentaje de vacíos**

	<b>m3</b>
<b>Volumen Total</b>	1.000
<b>Volumen Sólido</b>	0.824

- Para hallar el nuevo porcentaje de vacíos se usa la siguiente expresión:

$$\% \text{ Vacíos} = (V_{\text{total}} - V_{\text{sólido}}) / V_{\text{total}} \times 100$$

$$\% \text{ Vacíos} = 17.60\%$$

**Nota:**

*El paso 8 y 9 se realizan únicamente con el fin de obtener valores que serán necesarios para el ensayo de Densidad y % de vacíos en estado fresco del concreto. Es por ello que en el paso 10 se consideran los pesos secos del agregado y no los pesos en estado SSS.*

➤ **Paso 11: Corregir por Humedad y Absorción**

	<b>Pesos secos (kg.)</b>	<b>Humedad (ch%)</b>	<b>Absorción (a%)</b>
Cemento	366.97	-	-
Agua de diseño	128.44	-	-
A. Grueso	1385.95	0.46	1.62
A. Fino	121.45	0.59	0.84

- **Se calcula el agua efectiva**

Balance de agua en el A.G.:

$$\text{Adición de agua} = (\% \text{Absorción} - \% \text{Humedad}) \times \text{A.G.}$$

$$\text{Adición de agua} = (1.62\% - 0.46\%) \times 1385.95 \text{ kg}$$

$$\text{Adición de agua} = 1.16\% \times 1385.95 \text{ kg}$$

$$\text{Adición de agua} = 16.08 \text{ kg}$$

Balance de agua en el A.F.:

$$\text{Adición de agua} = (\% \text{Absorción} - \% \text{Humedad}) \times \text{A.F.}$$

$$\text{Adición de agua} = (0.84\% - 0.59\%) \times 121.45 \text{ kg}$$

$$\text{Adición de agua} = 0.25\% \times 121.45 \text{ kg}$$

$$\text{Adición de agua} = 0.30 \text{ kg}$$

$$\text{Agua efectiva} = 128.44 \text{ kg} + 16.08 \text{ kg} + 0.30 \text{ kg}$$

$$\text{Agua de efectiva} = 144.82 \text{ kg}$$

- **Se corrige el agregado por humedad**

	<b>Pesos secos (kg.)</b>	<b>Humedad (ch%)</b>	<b>Pesos corregidos</b>
A. Grueso	1385.95	0.46	1392.33
A. Fino	121.45	0.59	122.17

**Tabla 19:** Pesos corregidos por humedad de la gradación 3/8".

**Fuente:** Autor de Tesis.

➤ **Paso 12: Valores del diseño de mezcla**

<b>Material</b>	<b>Pesos por m3 (kg.)</b>	<b>Proporción en Volumen</b>
Cemento	366.97	1
Agua Efectiva	144.82	16.58 L
A. Fino	122.00	0.29
A. Grueso	1392.33	3.80
<b>TOTAL</b>	<b>2026.29</b>	

**Tabla 20:** diseño de mezcla para gradación 3/8". **Fuente:** Autor de Tesis

### 3.6.2.3.3 3<sup>er</sup> DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE (gradación N° 4)

➤ **Paso 1: Datos del agregado:**

Propiedades del Agregado		Agregado Fino	Agregado Grueso	Unidad
Peso Específico de masa	Pe	2.66	2.59	g/cm <sup>3</sup>
Peso Específico de masa (S.S.S.)	Pe(sss)	2.68	2.66	g/cm <sup>3</sup>
Peso Unitario Suelto	PUS	1670	1500	kg/m <sup>3</sup>
Peso Unitario Compactado	PUC	-	1580	kg/m <sup>3</sup>
Contenido de Humedad	ch%	0.59	0.64	%.
Absorción	a%	0.84	2.73	%.
Tamaño Máximo Nominal	TMN	N° 4	N° 4	-

Tabla 21: Propiedades del agregado para el diseño N° 4. Fuente: Autor de Tesis

➤ **Paso 6: Determinar el peso del agregado grueso**

- Se calcula el Peso Unitario Seco Compactado del agregado grueso (PUSC):

$$PUSC = PUC / \text{Porcentaje de Humedad}$$

$$PUSC = 1580 \text{ kg/m}^3 / 1.0064$$

$$PUSC = 1569.95 \text{ kg/m}^3$$

- Se determina el Peso del agregado grueso seco (Pag):

$$\text{Pag} = b/b_o \times PUSC \text{ Agregado Grueso} \times 1\text{m}^3$$

$$\text{Pag} = 0.94 \times 1569.95 \text{ kg/m}^3 \times 1\text{m}^3$$

$$\text{Pag} = 1475.76 \text{ kg}$$

- Se realiza el ajuste por absorción (S.S.S.):

$$\text{Pag(sss)} = \text{Pag} \times \text{Porcentaje de Absorción}$$

$$\text{Pag(sss)} = 1475.76 \text{ kg} \times 1.0273$$

$$\text{Pag(sss)} = 1516.04 \text{ kg}$$

- Restando el % que ocupará el agregado fino, obtenemos:

$$\text{Pag(sss)} = \text{Pag(sss)} - 8\% \text{ de Paf(sss)}$$

$$\text{Pag(sss)} = 1516.04 \times (1 - 8/100)$$

$$\text{Pag(sss)} = 1394.76 \text{ kg}$$

➤ **Paso 7: Determinar el peso del agregado fino**

- Se calcula el Peso del agregado fino en estado S.S.S.:

$$\text{Paf(sss)} = 1516.04 \text{ kg} - 1394.76 \text{ kg}$$

$$\text{Paf(sss)} = 121.28 \text{ kg}$$

- Se determina el Peso del agregado fino seco (Paf):

$$Paf = 121.28 \text{ kg} / \text{Porcentaje de Absorción}$$

$$Paf = 121.28 \text{ kg} / 1.0084$$

$$Paf = 120.27 \text{ kg}$$

➤ **Paso 8: Determinar el contenido de cemento y agua**

- Con la relación a/c=0.35, obtenemos:

$$V_p = \frac{c}{2.97 \times 1000} + \frac{0.35 \times c}{1000}$$

- Reemplazando el Vp=25.2%, resulta:

$$0.252 = \frac{c}{2.97 \times 1000} + \frac{0.35 \times c}{1000}$$

- Despejando la ecuación, obtenemos las cantidades:

$$c = 366.97 \text{ kg/m}^3$$

$$\frac{a}{c} = 0.35$$

$$a = 128.44 \text{ l}$$

➤ **Paso 9: Calcular volúmenes absolutos**

	<b>Pesos SSS (kg.)</b>	<b>Pe(sss) (kg/m3)</b>	<b>Volumen (m3)</b>
Cemento	366.97	2970.00	0.124
Agua de diseño	128.44	1000.00	0.128
A. Grueso	1394.76	2660.00	0.524
A. Fino	121.28	2680.00	0.045
<b>Volumen sólido =</b>			<b>0.821</b>

➤ **Paso 10: Determinar el nuevo porcentaje de vacíos**

	<b>m3</b>
<b>Volumen Total</b>	1.000
<b>Volumen Sólido</b>	0.821

- Para hallar el nuevo porcentaje de vacíos se usa la siguiente expresión:

$$\% \text{ Vacíos} = (V_{\text{total}} - V_{\text{sólido}}) / V_{\text{total}} \times 100$$

$$\% \text{ Vacíos} = 17.90\%$$

**Nota:**

*El paso 8 y 9 se realizan únicamente con el fin de obtener valores que serán necesarios para el ensayo de Densidad y % de vacíos en estado fresco del concreto. Es por ello que en el paso 10 se consideran los pesos secos del agregado y no los pesos en estado SSS.*

➤ **Paso 11: Corregir por Humedad y Absorción**

	<b>Pesos secos (kg.)</b>	<b>Humedad (ch%)</b>	<b>Absorción (a%)</b>
Cemento	366.97	-	-
Agua de diseño	128.44	-	-
A. Grueso	1357.70	0.64	2.73
A. Fino	120.27	0.59	0.84

- **Se calcula el agua efectiva**

Balance de agua en el A.G.:

$$\text{Adición de agua} = (\% \text{Absorción} - \% \text{Humedad}) \times \text{A.G.}$$

$$\text{Adición de agua} = (2.73\% - 0.64\%) \times 1357.70 \text{ kg}$$

$$\text{Adición de agua} = 2.09\% \times 1357.70 \text{ kg}$$

$$\text{Adición de agua} = 28.38 \text{ kg}$$

Balance de agua en el A.F.:

$$\text{Adición de agua} = (\% \text{Absorción} - \% \text{Humedad}) \times \text{A.F.}$$

$$\text{Adición de agua} = (0.84\% - 0.59\%) \times 120.27 \text{ kg}$$

$$\text{Adición de agua} = 0.25\% \times 120.27 \text{ kg}$$

$$\text{Adición de agua} = 0.30 \text{ kg}$$

$$\text{Agua efectiva} = 128.44 \text{ kg} + 28.38 \text{ kg} + 0.30 \text{ kg}$$

$$\text{Agua de efectiva} = 157.12 \text{ kg}$$

- **Se corrige el agregado por humedad**

	<b>Pesos secos (kg.)</b>	<b>Humedad (ch%)</b>	<b>Pesos corregidos</b>
A. Grueso	1357.69	0.64	1366.38
A. Fino	120.27	0.59	120.98

**Tabla 22:** Pesos corregidos por humedad de la gradación N° 4.

**Fuente:** Autor de Tesis.

➤ **Paso 12: Valores del diseño de mezcla**

<b>Material</b>	<b>Pesos por m3 (kg.)</b>	<b>Proporción en Volumen</b>
Cemento	366.97	1
Agua Efectiva	157.12	18.6 L
A. Fino	120.98	0.29
A. Grueso	1366.38	3.70
<b>TOTAL</b>	<b>2011.45</b>	

**Tabla 23:** diseño de mezcla para gradación N° 4. **Fuente:** Autor de Tesis

### **3.6.2.4. Ensayos realizados al concreto permeable**

Al igual que con el concreto convencional, es necesario conocer las características que presentará el diseño de mezcla realizado en esta investigación, para ello se deben llevar a cabo los ensayos en laboratorio correspondientes. La elaboración y ensayos de las probetas se realizaron en el Laboratorio de Concreto de la Universidad Privada del Norte – Trujillo, siendo los necesarios para cumplir con los objetivos propuestos en este trabajo, los siguientes:

- Ensayo para determinar la Densidad y el Contenido de Vacíos
- Ensayo de Asentamiento
- Ensayo de Resistencia a la Compresión.
- Ensayo de Resistencia a la Flexión.
- Ensayo de Permeabilidad.

#### **3.6.2.4.1 Ensayos en estado fresco**

##### **3.6.2.4.1.1 Densidad y contenido de vacíos de mezclas frescas de concreto permeable (ASTM C1688)**

- El lugar de ensayo debe ser una superficie plana y libre de vibración.
- Se procede a humedecer el interior del recipiente (Olla de Washington) antes de poner el concreto permeable.
- Se retira cualquier sobrante de agua del fondo del recipiente con una esponja humedecida.
- Luego se coloca el concreto permeable en dos capas iguales usando un cucharón grande, durante el llenado, se mueve el cucharón alrededor del perímetro de la apertura para asegurar una distribución igual del concreto con una segregación mínima.
- Después se compacta con el martillo (Proctor estándar) 20 veces por cada capa a una altura de 305 mm [12 pulg.]. Para cada capa, se distribuye uniformemente los golpes en toda la superficie.
- Antes de compactar la última capa, se llena el recipiente con exceso de 3mm en todo el borde de la olla y se realiza la compactación de 10 golpes, luego se verifica si la cantidad de material es suficiente y si no se corrige la deficiencia y se termina de dar los 10 últimos golpes, en caso existiera exceso se retira.
- Finalmente se enrasa con la ayuda de una varilla desde el centro hacia afuera de manera que la superficie quede nivelada.

<b>PESO UNITARIO EN ESTADO FRESCO</b>					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	muestra 1	muestra 2	muestra 3
A	Masa de concreto + masa de la olla Washington	kg			
B	Masa de la olla Washington	kg			
C	Volumen de la olla Washington	m <sup>3</sup>			
D	Peso unitario del concreto $D = (A-B) / C$	kg/m <sup>3</sup>			
PROMEDIO DEL PESO UNITARIO		kg/m <sup>3</sup>			

**Tabla 24:** Peso Unitario en estado fresco del concreto. **Fuente:** Autor de Tesis.

<b>CONTENIDO DE VACÍOS EN ESTADO FRESCO</b>					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	muestra 1	muestra 2	muestra 3
A	Masa total de todos los materiales de la mezcla	kg			
B	Volumen absoluto de cada material	m <sup>3</sup>			
C	Densidad teórica del concreto $C = A / B$	kg/m <sup>3</sup>			
D	Peso unitario del concreto	kg/m <sup>3</sup>			
%V	Porcentaje de vacíos $\%V = (C - D) / C$	%			
PROMEDIO DE % DE VACÍOS		%			

**Tabla 25:** Contenido de vacíos en estado fresco del concreto. **Fuente:** Autor de Tesis

#### 3.6.2.4.1.2 Asentamiento del concreto (ASTM C143)

- Se humedece el Cono de Abrams y se coloca sobre una superficie horizontal rígida, plana, húmeda y no absorbente. Se debe sujetar firmemente con los pies y llenar con la muestra de concreto permeable en tres capas, cada una de un tercio del volumen del molde aproximadamente.
- Cada capa debe ser compactada con 25 golpes de la varilla, distribuidos uniformemente sobre su sección transversal. Para la capa del fondo es necesario inclinar ligeramente la varilla dando aproximadamente la mitad de golpes cerca del perímetro y avanzando con golpes verticales en forma de espiral, hacia el centro.
- Al llenar la capa superior se debe apilar concreto sobre el molde antes de compactar. Si al hacerlo se asienta por debajo del borde superior, debe agregarse concreto adicional para que en todo momento haya concreto sobre el molde. Después de que la última capa ha sido compactada debe alisarse a ras la superficie del concreto. Inmediatamente se retira el molde, se alza

cuidadosamente en dirección vertical. El alzado del molde debe hacerse en un tiempo aproximado de 5 a 10 segundos.

- La operación completa de ensayo debe hacerse sin interrupción en un tiempo máximo de 2 minutos 30 segundos y a más tardar 5 minutos después de haberse tomado la muestra.
- Inmediatamente después se mide el asentamiento, determinando la diferencia entre la altura del molde y la altura medida sobre el centro original de la base superior del espécimen.

<b><u>CONSISTENCIA EN CONO</u></b>	
<b>Consistencia</b>	<b>Asentamiento (cm)</b>
Seca	0 – 2
Plástica	3 – 5
Blanda	6 – 9
Fluida	10 – 15
Líquida	≥ 16

**Tabla 26:** Consistencia del concreto permeable.  
**Fuente:** ASTM C143

<b>ASENTAMIENTO DEL CONCRETO</b>	
<b>SLUMP (cm)</b>	
<b>CONSISTENCIA</b>	

**Tabla 27:** Asentamiento del concreto permeable.  
**Fuente:** Autor de Tesis

#### 3.6.2.4.2 Ensayos en estado endurecido

##### 3.6.2.4.2.1 Resistencia a la compresión de testigos cilíndricos (ASTM C39)

- **Elaboración de especímenes:**
  - Se pesa los materiales a utilizar en el concreto poroso.
  - Luego se pasa a mezclar los materiales en el trompo, antes de comenzar la rotación del mezclador se añade el agregado grueso y una parte del agua de mezcla, se enciende el mezclador, luego se agrega el agregado fino, el cemento y el agua restante con el mezclador funcionando.

- Una vez que todos los ingredientes estén en el trompo, se mezcla el concreto por un tiempo de 3 minutos seguidos de 3 minutos de descanso y por último 2 minutos de mezclado final.
  - Para la conformación de los cilindros de concreto permeable, debido a que se trata de un concreto no convencional y además bajo en contenido de agua, se realizaron ensayos preliminares para encontrar el mejor método de conformación de especímenes, primero se utilizó la mesa vibradora (vibración externa) siguiendo el procedimiento establecido por la norma ASTM C1176, luego se realizaron algunas modificaciones de la norma ASTM C192, para así obtener el método de conformación final.
  - Se procede a conformar los especímenes utilizando los moldes cilíndricos estándar (15 cm de diámetro y 30 cm de altura), los mismos que cumplen con la norma ASTM C470, se vierte el concreto hasta un tercio del molde y se da 15 golpes con el mazo de hule alrededor del cilindro, el mismo procedimiento se realiza en los dos tercios siguientes hasta llenar el molde, y se nivela el borde del cilindro con la varilla normalizada.
  - Se cubren las probetas con material plástico para impedir la pérdida de humedad.
  - Se retira los moldes a las 24 horas después de la conformación de probetas.
  - Finalmente se introducen en la poza de curado, la cual estará llena de agua potable saturada con hidróxido de calcio (cal); que cubrirán por completo la superficie de las probetas.
- **Ensayo de compresión de especímenes:**
    - Antes de iniciar con el ensayo, se retira las probetas de la poza de curado de acuerdo con el tiempo al cual se quiere ensayar (7 y 28 días), y se espera un tiempo adecuado para que el agua dentro de su estructura sea eliminada.
    - Se procede a tomar las medidas tanto de los diámetros (superior e inferior) como de la altura en cada probeta haciendo uso del vernier y luego se pesa cada una de estas.
    - Se colocan las capas no adheridas de neopreno (espesor de  $13 \pm 2$  mm) en la probeta que va a ser ensayada y se procede a colocarla sobre el cabezal de la prensa hidráulica, alineándola cuidadosamente para que esta quede centrada.
    - Después se aplica la carga axial de compresión a una velocidad constante de 0.25 Mpa/seg. desde el inicio hasta que se produjo la rotura de la probeta.

<b>ENSAYO DE COMPRESIÓN</b>					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Diámetro 1	mm			
B	Diámetro 2	mm			
C	Altura	mm			
D	Masa	kg			
E	Carga de Ruptura	kg			
F	Tipo de Falla	-			
G	Área de Contacto	cm <sup>2</sup>			
H	Resistencia <b>H = E / G</b>	kg/ cm <sup>2</sup>			
<b>Resistencia Promedio</b>		kg/ cm <sup>2</sup>			

**Tabla 28:** Resistencia a la compresión. **Fuente:** Autor de Tesis.

#### 3.6.2.4.2.2 Resistencia a la flexión de viguetas (ASTM C78)

- **Elaboración de especímenes:**
  - Una vez la mezcla de concreto permeable esté lista, se procede a conformar las viguetas utilizando los moldes normalizados de 50 cm de longitud, 15 cm de ancho y 15 cm altura
  - Se vierte la mezcla hasta la mitad del molde y se da 20 golpes con el martillo de hule alrededor de la viga. Luego, se realiza el mismo procedimiento en la otra mitad hasta llenar el molde, momento en el cual se debe nivelar el borde de la viga haciendo uso de la varilla.
  - Se cubren las probetas con material plástico para impedir la pérdida de humedad.
  - Se retira los moldes a las 24 horas después de la conformación de probetas.
  - Finalmente se introducen en la poza de curado, la cual estará llena de agua potable saturada con hidróxido de calcio (cal).
- **Ensayo de flexión de especímenes:**
  - Se retira las probetas de la poza de curado después de cumplir 28 días.
  - Las viguetas deben ser ensayadas lo más pronto posible una vez que son sacadas de la poza de curado. Los bloques de acero de la máquina de flexión se encuentran separados entre sí por 15cm, por lo que es una buena práctica señalar en las vigas, con la ayuda de un marcador, los lugares donde éstos se van a apoyar.
  - Se debe tomar las medidas de las probetas, así como su masa
  - La probeta debe ser girada a un lado con respecto a la posición en la que fue moldeada. Se la coloca en la máquina y con la ayuda de un operador

experimentado se empieza a suministrar la fuerza de flexión, la cual aumenta a velocidad constante. La carga máxima es la que provoca la falla en la muestra y su valor deberá ser anotada; además, se debe identificar el lugar donde ocurre la fractura superficial, la cual puede ocurrir dentro del tercio medio o fuera

- Se debe anotar también el promedio de 3 medidas de altura y el promedio de 3 medidas del ancho de la probeta en el lugar donde ocurre la falla, las 3 medidas utilizadas en el promedio deben ser tomadas en el centro y en los extremos de la cara.
- El módulo de rotura de la viga se calcula mediante la siguiente fórmula:
  - Si la falla ocurre en el tercio medio, el módulo de rotura se calculará con la siguiente fórmula:

$$Mr = \frac{P * L}{b * h^2}$$

**Ecuación 7:** Mr para falla en tercio medio

- Si la falla ocurre fuera del tercio medio a una distancia menor al 5% de la longitud entre los bloques de acero, el módulo de rotura se lo calculará con:

$$Mr = \frac{3 * P * a}{b * h^2}$$

**Ecuación 8:** Mr para falla fuera del tercio medio

- Por otro lado, si la fractura superficial ocurre fuera del tercio medio a una distancia mayor al 5% de la longitud entre los bloques de acero, los resultados deberán ser desechados.

<b>RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO (VIGA SIMPLE CARGADA EN LOS TERCIOS DE LA LUZ)</b>								
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4	5	6
<b>h</b>	Altura promedio	cm						
<b>b</b>	Ancho promedio	cm						
-	Longitud	cm						
-	Masa	kg						
<b>L</b>	Luz libre entre apoyos	cm						
<b>P</b>	Carga Máxima	kg						
<b>a</b>	Distancia entre la línea de falla y el apoyo más cercano	cm						
-	Tercio de Falla	-						
<b>Mr</b>	<b>Resistencia a la flexión</b>	Kg/cm <sup>2</sup>						
<b>PROMEDIO =</b>		Kg/cm <sup>2</sup>						

**Tabla 29:** Resistencia a la flexión. **Fuente:** Autor de Tesis

### 3.6.2.4.2.3 Permeabilidad (ACI 522R-10)

- **Elaboración de especímenes:**
  - Se elaboran probetas cilíndricas pequeñas de 10 cm de diámetro y 15 cm de altura, los cuales calzan perfectamente en el equipo de permeabilidad.
  - Para la conformación de estas, se coloca el concreto hasta la mitad del molde y se da 15 golpes con el martillo de hule alrededor del cilindro. Luego, se realiza el mismo procedimiento en la otra mitad hasta llenar el molde, momento en el cual se debe nivelar el borde del cilindro para que se lo pueda ensayar en la máquina de permeabilidad.
  - Se introducen en la poza de curado por 28 días.
  
- **Ensayo de permeabilidad**
  - El ACI 522R-10 nos da pautas para realizar este ensayo y poder medir el coeficiente de permeabilidad de los especímenes de concreto elaborados en laboratorio, para ello es necesario hacer uso del equipo de permeabilidad.
  - Para la construcción de este equipo se ensambla una serie de tubos PVC de ½" a la tubería en donde se coloca la probeta cilíndrica de prueba, esta tubería debe tener una altura de 25 cm y el mismo diámetro de la probeta, la cual se debe envolver con plástico y/o látex antes de ser introducida en la tubería con el fin de evitar el flujo del agua a lo largo de sus lados. Encima de la tubería se coloca un cilindro de acrílico de 300 mm de longitud, que es donde se va a especificar la altura del agua, el mismo que debe ir acoplado con abrazaderas junto con la probeta de ensayo, la válvula que permite el paso del agua se ubica entre la tubería que contiene la probeta y la tubería de desagüe. Además, el extremo de esta última se debe encontrar a la misma altura que el extremo superior de la probeta a ensayar.
  - Una vez se tiene listo el equipo de permeabilidad, se abre la válvula de agua y se introduce la probeta de concreto permeable envuelta con plástico y látex dentro de la tubería PVC.
  - Luego se coloca el cilindro de acrílico encima y se sella con ayuda de abrazaderas, para evitar que se filtre el agua al exterior.
  - Se procede a saturar la probeta, cuya saturación se realiza agregando agua hasta que la misma salga por la tubería de desagüe.
  - Una vez saturado el espécimen se cierra la válvula y se coloca agua a una altura  $h_1$  de 29 cm.

- Finalmente, se abre la válvula de agua e inmediatamente con la ayuda de un cronómetro se toma el tiempo que tarda el agua en descender hasta una altura  $h_2$  de 7 cm.
- Para el cálculo del coeficiente de permeabilidad se hace uso de la siguiente ecuación:

$$k = \frac{C}{t}$$

**Ecuación 9:** Coeficiente de permeabilidad

Dónde:

K: Coeficiente de permeabilidad (cm/s).

C: Constante igual a 192 (mm).

t: Tiempo que tarda el agua en ir de  $h_1$  a  $h_2$  (s).

Gradación	Probeta	C	tiempo (s)	altura de agua (cm)	K (cm/s)	K medio (cm/s)

**Tabla 30:** Coeficiente de Permeabilidad. **Fuente:** Autor de Tesis

#### 3.6.2.4.2.4 Densidad y contenido de vacíos del concreto permeable endurecido (ASTM C1754)

- Se utilizan las mismas probetas empleadas en el ensayo de permeabilidad
- Se toma las dimensiones de las muestras de concreto permeable haciendo uso de un vernier y se determina su volumen.
- El siguiente paso es secar la muestra, para ello la norma establece dos métodos (método A y método B), en este caso se utiliza el método B que consiste en secar la probeta en el horno a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  durante  $24 \pm 1\text{h}$ , una vez que ha finalizado este período de secado se deja enfriar a temperatura ambiente en un rango de 1 a 3 horas para proceder a tomar su masa.
- Se vuelve a colocar la probeta en el horno durante 2 horas, se deja enfriar y se toma la medida de la masa. Repetir el procedimiento hasta que la diferencia de 2 medidas de masa seguidas sea menor al 0.5%. La última medida de peso determinada va a ser representada como la masa seca "A".
- Posteriormente se sumerge la probeta en un balde con agua en un tiempo de  $30 \pm 5$  min, se da golpes ligeros a la probeta (10 veces) y se gira a la misma para

obligar que las partículas de aire atrapadas puedan salir, se procede a determinar el peso sumergida del cilindro, que es representada por la letra “B”.

- Para finalizar el ensayo, se mide la temperatura del agua en el balde donde se encuentra sumergido el espécimen.
- Para calcular la densidad del espécimen se utilizó la fórmula presentada a continuación:

$$D = \frac{K * A}{\emptyset^2 * L}$$

*Ecuación 10: Densidad del concreto permeable en estado endurecido*

Donde:

D: Densidad del espécimen, kg/m<sup>3</sup>

K: Permeabilidad: 0,001273240 m<sup>3</sup>\*kg

A: Peso seca de la muestra (kg)

∅: Diámetro de la muestra (mm)

L: Longitud promedio de la muestra (mm).

- Para obtener el porcentaje de vacíos es necesario utilizar la Tabla 31 “Density of Water” del ensayo ASTM C29/C29M (Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate) el cual nos permite obtener la densidad del agua a partir de la temperatura de la misma. Lo valores de densidad deben ser interpolados, si el caso lo requiere, a partir de la temperatura exacta del agua.

Temperatura	Densidad
°C	Kg/m <sup>3</sup>
15.6	999.01
18.3	998.54
21.1	997.97
23.0	997.54
23.9	997.32
26.7	996.59
29.4	995.83

**Tabla 31:** Densidad del agua. **Fuente:** ASTM C29.

- El porcentaje de vacíos del concreto se obtiene a partir de:

$$\% \text{Vacíos} = \left[ 1 - \left( \frac{K * (A - B)}{\rho_w * \phi^2 * L} \right) \right] * 100$$

**Ecuación 11:** % de vacíos en estado endurecido

Donde,

% Vacíos: Porcentaje de vacíos (%).

B: Peso sumergida de la muestra (kg).

$\rho_w$ : Densidad del agua a la temperatura de la muestra ensayado ( $\text{kg/m}^3$ ).

PESO UNITARIO EN ESTADO ENDURECIDO					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	muestra 1	muestra 2	muestra 3
-	Diámetro 1	mm			
-	Diámetro 2	mm			
Ø	Diámetro promedio	mm			
-	Longitud 1	mm			
-	Longitud 2	mm			
L	Longitud promedio	mm			
A	Peso Seco	g			
D	Peso Unitario	kg/m <sup>3</sup>			
PROMEDIO PESO UNITARIO		kg/m <sup>3</sup>			

**Tabla 32:** Peso Unitario en estado endurecido del concreto. **Fuente:** Autor de Tesis

% DE VACÍOS EN ESTADO ENDURECIDO					
B	Peso Sumergido	g			
°C	Temperatura Agua	°C			
$\rho_w$	Densidad Agua	kg/m <sup>3</sup>			
%	Vacíos	%			
PROMEDIO % VACÍOS		%			

**Tabla 33.** Contenido de vacíos en estado endurecido del concreto. **Fuente:** Autor de Tesis

### 3.7. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos

Los datos se procesarán y analizarán recurriendo a técnicas estadísticas de organización, tabulación y graficación. Este análisis se hará en base a los gráficos de evolución de la resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, comparación entre diferentes módulos de rotura para pavimentos, relación entre resistencia a la compresión y flexión, comparación de contenido de vacíos, densidades de los concretos permeables, relación entre densidad y contenido de vacíos, coeficientes de permeabilidad, relación entre vacíos y permeabilidad, relación entre permeabilidad y resistencia a flexión, costos de materiales x m<sup>3</sup> de los concretos permeables, relación entre costo y resistencia a compresión, relación entre costo y módulo de rotura, relación entre costo y permeabilidad.

Entre las medidas de dispersión que se aplicarán a los resultados tenemos la Media o Promedio, Varianza, Desviación estándar y coeficiente de variación, las cuales serán explicadas a continuación:

#### 3.7.1. Media aritmética

Es el valor promedio de los valores obtenidos en cada ensayo, se obtiene sumando todos los valores y dividiendo por el número total de datos, es decir:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

*Ecuación 12: Media aritmética*

Donde:

$\bar{x}$  = Media Aritmética.

$\Sigma$  = Sumatoria.

$x_i$  = Observación de la muestra. Representa cada dato en el conjunto.

$n$  = Tamaño de la muestra. Es el número de términos en el conjunto.

#### 3.7.2. Varianza

Es una medida de dispersión que mide la diferencia promedio que hay entre cada uno de los valores respecto a su punto central (Media). La varianza es calculada con la siguiente formula.

$$\sigma^2 = \frac{\sum_i^n (x - \bar{x})^2}{n - 1}$$

**Ecuación 13:** Varianza

Donde:

$\sigma^2$  = Varianza

$\Sigma$  = Sumatoria.

$x_i$  = Observación de la muestra. Representa cada dato en el conjunto.

$\bar{x}$  = Media Aritmética.

$n$  = Tamaño de la muestra. Es el número de términos en el conjunto.

### 3.7.3. Desviación Estándar

La desviación estándar nos da como resultado un valor numérico que representa el promedio de diferencia que hay entre los datos y la media. Para calcular la desviación estándar es necesario sacar la raíz a la varianza. La fórmula a usar es la siguiente:

$$DS = \sqrt{\sigma^2}$$

**Ecuación 14:** Desviación estándar

Donde:

$\sigma^2$  = Varianza

### 3.7.4. Coeficiente de variación

Describe la cantidad de variabilidad en relación con la media. El coeficiente de variación no se basa en unidades, se utiliza para comparar la dispersión de los conjuntos de datos que tienen diferentes unidades o diferentes medias, se representa en porcentaje. La fórmula para cálculo del coeficiente de variación es la siguiente.

$$CV = \frac{DS}{\bar{x}} \times 100$$

**Ecuación 15:** Coeficiente de variación

Donde:

DS = Desviación estándar

$\bar{x}$  = Media Aritmética

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS

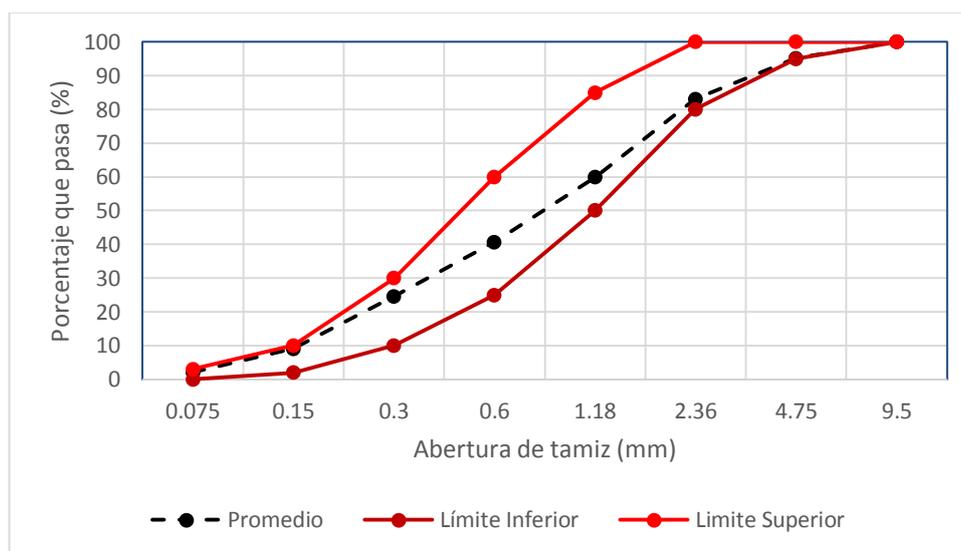
### 4.1. Caracterización del agregado fino:

- En la tabla 35 se presenta un resumen de los ensayos realizados al agregado fino.

Ensayo	Valor	Unidad	Norma
Módulo de finura	2.86	-	ASTM C136
Peso específico	2.66	g/cm <sup>3</sup>	ASTM C128
Peso específico (sss)	2.68	g/cm <sup>3</sup>	ASTM C128
Peso específico aparente	2.72	g/cm <sup>3</sup>	ASTM C128
Absorción	0.84	%	ASTM C128
Peso unitario suelto	1670	kg/m <sup>3</sup>	ASTM C29
Contenido de humedad	0.59	%	ASTM C566
Cantidad de material que pasa por el tamiz N° 200	5.74	%	ASTM C117

**Tabla 34:** Propiedades físicas de la arena gruesa. **Fuente:** Autor de Tesis.

- En la figura 13 se observa la curva granulométrica promedio del agregado fino, el límite inferior y superior para cada abertura de tamiz.



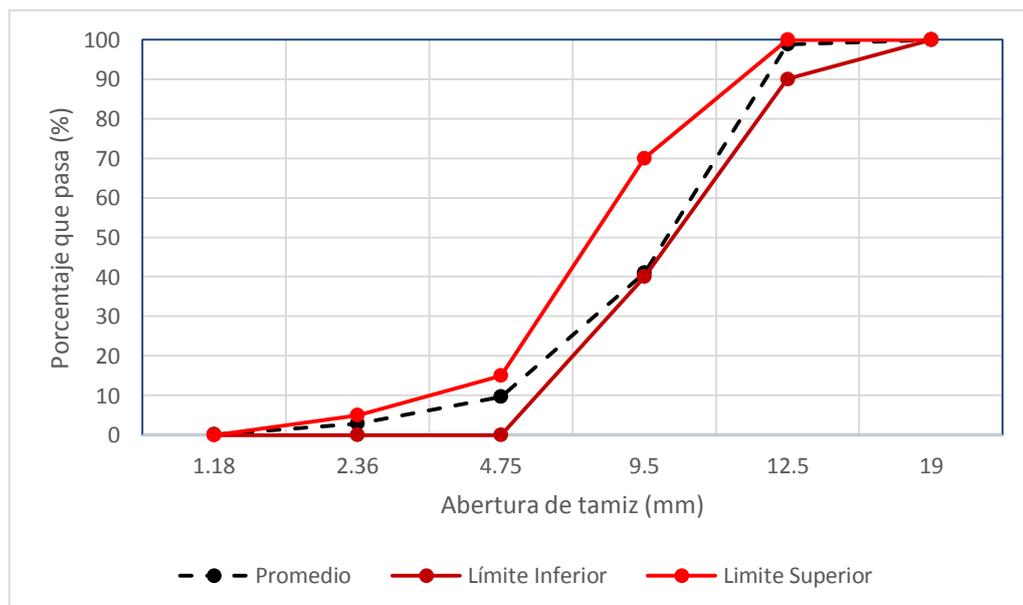
**Figura 13:** Curva granulométrica promedio del agregado fino. **Fuente:** Autor de Tesis.

#### 4.2. Caracterización del agregado grueso:

Ensayo	Unidad	AGREGADO GRUESO			Norma
		1/2"	3/8"	Nº 4	
Abrasión los ángeles	%	16.59	13.71	17.53	ASTM C131
Peso específico	g/cm <sup>3</sup>	2.66	2.64	2.59	ASTM C127
Peso específico sss	g/cm <sup>3</sup>	2.70	2.68	2.66	ASTM C127
Peso específico aparente	g/cm <sup>3</sup>	2.77	2.75	2.79	ASTM C127
Absorción	%	1.53	1.62	2.73	ASTM C127
Peso unitario suelto	kg/m <sup>3</sup>	1480	1490	1500	ASTM C29
Peso unitario compactado	kg/m <sup>3</sup>	1580	1610	1580	ASTM C29
Contenido de humedad	%	0.59	0.46	0.64	ASTM C566
Cantidad de material fino que pasa por el tamiz Nº 200	%	0.24	0.22	0.47	ASTM C117

**Tabla 35:** Propiedades físicas de las tres gradaciones de agregado grueso. **Fuente:** Autor de Tesis

- En la figura 14 se observa la curva granulométrica promedio del agregado grueso natural, es decir el agregado al cual se le realiza el tamizado para obtener las tres gradaciones necesarias en este trabajo de investigación.



**Figura 14:** Curva granulométrica promedio del agregado grueso. **Fuente:** Autor de Tesis.

#### 4.3. Caracterización del cemento:

Cemento hidráulico			
Ensayo	Unidad	Valor	Norma
Peso específico	g/cm <sup>3</sup>	2.97	ASTM C188

**Tabla 36:** Peso específico del cemento hidráulico. **Fuente:** Autor de Tesis.

#### 4.4. Diseños de mezcla:

Criterios	Valor
% de Finos	8.00
Relación a/c	0.35
% de Vacíos	15.00
Volumen de Pasta	25.20
Valor b/bo	0.94

**Tabla 37:** Criterios de diseño para las tres dosificaciones de concreto permeable.

**Fuente:** Autor de Tesis.

Material	Pesos por m <sup>3</sup> (kg.)
Cemento	366.97
Agua Efectiva	141.54
A. Fino	119.63
A. Grueso	1366.38
<b>TOTAL</b>	<b>1994.49</b>

**Tabla 38:** Diseño de mezcla con gradación de 1/2".

**Fuente:** Autor de Tesis.

Material	Pesos por m <sup>3</sup> (kg.)
Cemento	366.97
Agua Efectiva	144.82
A. Fino	122.17
A. Grueso	1392.33
<b>TOTAL</b>	<b>2026.29</b>

**Tabla 39:** Diseño de mezcla con gradación de 3/8".

**Fuente:** Autor de Tesis.

Material	Pesos por m <sup>3</sup> (kg.)
Cemento	366.97
Agua Efectiva	157.12
A. Fino	120.98
A. Grueso	1366.38
<b>TOTAL</b>	<b>2011.45</b>

**Tabla 40:** Diseño de mezcla con gradación N° 4.  
**Fuente:** Autor de Tesis.

#### 4.5. Ensayos al concreto en estado fresco:

##### 4.5.1. Asentamiento del concreto permeable

GRADACIÓN	1/2"	3/8"	N° 4
Slump (cm)	0.5	0.4	0.55
Consistencia	Seca	Seca	Seca

**Tabla 41:** Slump y Consistencia del concreto permeable. **Fuente:** Autor de Tesis

##### 4.5.2. Densidad (Peso Unitario) en estado fresco del concreto permeable

PESO UNITARIO EN ESTADO FRESCO PARA GRADACIÓN DE 1/2"					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	muestra 1	muestra 2	muestra 3
A	Masa de concreto + masa de la olla Washington	kg	17.22	17.25	17.24
B	Masa de la olla Washington	kg	3.34	3.34	3.34
C	Volumen de la olla Washington	m <sup>3</sup>	0.0068	0.0068	0.0068
D	Peso unitario del concreto. $D = (A-B) / C$	kg/m <sup>3</sup>	2041.18	2045.59	2044.12
<b>PROMEDIO DEL PESO UNITARIO</b>		<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2043.63</b>		

**Tabla 42:** Peso Unitario en estado fresco del concreto permeable con gradación de 1/2". **Fuente:** Autor de Tesis.

PESO UNITARIO EN ESTADO FRESCO PARA GRADACIÓN DE 3/8"					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	muestra 1	muestra 2	muestra 3
A	Masa de concreto + masa de la olla Washington	kg	17.29	17.28	17.33
B	Masa de la olla Washington	kg	3.34	3.34	3.34
C	Volumen de la olla Washington	m <sup>3</sup>	0.0068	0.0068	0.0068
D	Peso unitario del concreto. $D = (A-B) / C$	kg/m <sup>3</sup>	2051.47	2050.00	2057.06
<b>PROMEDIO DEL PESO UNITARIO</b>		<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2052.84</b>		

**Tabla 43:** Peso Unitario en estado fresco del concreto permeable con gradación de 3/8". **Fuente:** Autor de Tesis.

PESO UNITARIO EN ESTADO FRESCO PARA GRADACIÓN Nº 4					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	muestra 1	muestra 2	muestra 3
A	Masa de concreto + masa de la olla Washington	kg	17.40	17.39	17.35
B	Masa de la olla Washington	kg	3.34	3.34	3.34
C	Volumen de la olla Washington	m <sup>3</sup>	0.0068	0.0068	0.0068
D	Peso unitario del concreto. $D = (A-B) / C$	kg/m <sup>3</sup>	2067.65	2066.18	2060.29
PROMEDIO DEL PESO UNITARIO		kg/m <sup>3</sup>	2064.71		

**Tabla 44:** Peso Unitario en estado fresco del concreto permeable con gradación Nº 4. **Fuente:** Autor de Tesis.

		PESO UNITARIO EN ESTADO FRESCO				
		Probeta	Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	Promedio (kg/m <sup>3</sup> )	Desviación estándar (kg/m <sup>3</sup> )	Coefficiente de variación (%)
GRADACIÓN	1/2"	1	2041.18	2043.63	2.25	0.11
		2	2045.59			
		3	2044.12			
	3/8"	1	2051.47	2052.84	3.72	0.18
		2	2050.00			
		3	2057.06			
	Nº 4	1	2067.65	2064.71	3.89	0.19
		2	2066.18			
		3	2060.29			

**Tabla 45:** Datos estadísticos del Peso Unitario en estado fresco. **Fuente:** Autor de Tesis.

#### 4.5.3. Contenido de vacíos en estado fresco del concreto permeable

Material	Cantidad x m <sup>3</sup>	Pe sss (g/cm <sup>3</sup> )
Cemento	128.44 kg	2.97
Agua	366.97 kg	1.00
Ag. Fino	119.93 kg	2.68
Ag. Grueso	1379.15 kg	2.70
TOTAL	1994.49 kg	

**Tabla 46:** Proporción de diseño en estado SSS para la gradación de 1/2". **Fuente:** Autor de Tesis.

CONTENIDO DE VACÍOS EN ESTADO FRESCO PARA GRADACIÓN DE 1/2"					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	muestra 1	muestra 2	muestra 3
A	Masa total de todos los materiales de la mezcla	kg	1994.49	1994.49	1994.49
B	Volumen absoluto de cada material	m <sup>3</sup>	0.808	0.808	0.808
C	Densidad teórica del concreto $C = A / B$	kg/m <sup>3</sup>	2465.48	2465.48	2465.48
D	Peso unitario del concreto	kg/m <sup>3</sup>	2041.18	2045.59	2044.12
%V	Porcentaje de vacíos $\%V = (C - D) / C * 100$	%	17.31	17.13	17.19
<b>PROMEDIO DE % DE VACÍOS</b>		<b>%</b>	<b>17.21</b>		

**Tabla 47:** Contenido de vacíos en estado fresco del concreto permeable con gradación de 1/2". **Fuente:** Autor de Tesis

Material	Cantidad x m <sup>3</sup>	Pe sss (g/cm <sup>3</sup> )
Cemento	128.44 kg	2.97
Agua	366.97 kg	1.00
Ag. Fino	122.47 kg	2.68
Ag. Grueso	1408.41 kg	2.68
TOTAL	2026.29 kg	

**Tabla 48:** Proporción de diseño en estado SSS para la gradación de 3/8". **Fuente:** Autor de Tesis.

CONTENIDO DE VACÍOS EN ESTADO FRESCO PARA GRADACIÓN DE 1/2"					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	muestra 1	muestra 2	muestra 3
A	Masa total de todos los materiales de la mezcla	kg	2026.29	2026.29	2026.29
B	Volumen absoluto de cada material	m <sup>3</sup>	0.824	0.824	0.824
C	Densidad teórica del concreto $C = A / B$	kg/m <sup>3</sup>	2459.09	2459.09	2459.09
D	Peso unitario del concreto	kg/m <sup>3</sup>	2051.47	2050.00	2057.06
%V	Porcentaje de vacíos $\%V = (C - D) / C * 100$	%	16.58	16.64	16.35
<b>PROMEDIO DE % DE VACÍOS</b>		<b>%</b>	<b>16.52</b>		

**Tabla 49:** Contenido de vacíos en estado fresco del concreto permeable con gradación 3/8". **Fuente:** Autor de Tesis.

Material	Cantidad x m <sup>3</sup>	Pe sss (g/cm <sup>3</sup> )
Cemento	128.44 kg	2.97
Agua	366.97 kg	1.00
Ag. Fino	121.28 kg	2.68
Ag. Grueso	1394.76 kg	2.66
TOTAL	2011.45 kg	

**Tabla 50:** Proporción de diseño en estado SSS para el agregado N° 4. **Fuente:** Autor de Tesis.

CONTENIDO DE VACÍOS EN ESTADO FRESCO PARA GRADACIÓN DE 1/2"					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	muestra 1	muestra 2	muestra 3
A	Masa total de todos los materiales de la mezcla	kg	2011.45	2011.45	2011.45
B	Volumen absoluto de cada material	m <sup>3</sup>	0.821	0.821	0.821
C	Densidad teórica del concreto $C = A / B$	kg/m <sup>3</sup>	2450.00	2450.00	2450.00
D	Peso unitario del concreto	kg/m <sup>3</sup>	2067.65	2066.18	2060.29
%V	Porcentaje de vacíos $\%V = (C - D) / C * 100$	%	15.61	15.67	15.91
<b>PROMEDIO DE % DE VACÍOS</b>		<b>%</b>	<b>15.73</b>		

**Tabla 51:** Contenido de vacíos en estado fresco del concreto permeable con gradación N° 4. **Fuente:** Autor de Tesis.

		% DE VACÍOS EN ESTADO FRESCO				
		Probeta	Vacíos (%)	Promedio (%)	Desviación estándar (%)	Coficiente de variación (%)
GRADACIÓN	1/2"	1	17.31	17.21	0.09	0.53
		2	17.13			
		3	17.19			
	3/8"	1	16.58	16.52	0.15	0.91
		2	16.64			
		3	16.61			
	N° 4	1	15.61	15.73	0.16	1.02
		2	15.67			
		3	15.91			

**Tabla 52:** Datos estadísticos del Contenido de Vacíos en estado fresco. **Fuente:** Autor de Tesis.

#### 4.6. Ensayos al concreto en estado endurecido:

##### 4.6.1. Densidad (Peso Unitario) en estado endurecido del concreto permeable

PESO UNITARIO EN ESTADO ENDURECIDO PARA GRADACIÓN DE 1/2"					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	muestra 1	muestra 2	muestra 3
-	Diámetro 1	mm	99.67	99.23	99.66
-	Diámetro 2	mm	99.30	99.73	98.57
Ø	Diámetro promedio	mm	99.49	99.48	99.12
-	Longitud 1	mm	149.50	148.00	148.71
-	Longitud 2	mm	147.50	147.80	148.03
L	Longitud promedio	mm	148.50	147.90	148.37
A	Peso Seco	g	2320	2296	2315
D	Peso Unitario	kg/m <sup>3</sup>	2009.82	1997.30	2022.26
<b>PROMEDIO PESO UNITARIO</b>		<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2009.79</b>		

**Tabla 53:** Peso Unitario en estado fresco del concreto permeable con gradación 1/2".  
**Fuente:** Autor de Tesis.

PESO UNITARIO EN ESTADO ENDURECIDO PARA GRADACIÓN DE 3/8"					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	muestra 1	muestra 2	muestra 3
-	Diámetro 1	mm	99.43	99.13	99.20
-	Diámetro 2	mm	99.40	99.60	99.87
Ø	Diámetro promedio	mm	99.42	99.37	99.54
-	Longitud 1	mm	150.00	148.76	149.54
-	Longitud 2	mm	150.34	148.56	149.20
L	Longitud promedio	mm	150.17	148.66	149.37
A	Masa Seca	g	2355	2335	2350
D	Peso Unitario	kg/m <sup>3</sup>	2020.29	2025.52	2021.92
<b>PROMEDIO PESO UNITARIO</b>		<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2022.58</b>		

**Tabla 54:** Peso Unitario en estado fresco del concreto permeable con gradación 3/8".  
**Fuente:** Autor de Tesis.

PESO UNITARIO EN ESTADO ENDURECIDO PARA GRADACIÓN N° 4					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	muestra 1	muestra 2	muestra 3
-	Diámetro 1	mm	100.00	99.50	99.70
-	Diámetro 2	mm	99.20	99.35	99.30
Ø	Diámetro promedio	mm	99.60	99.43	99.50
-	Longitud 1	mm	149.60	149.80	147.30
-	Longitud 2	mm	149.40	149.60	147.30
L	Longitud promedio	mm	149.50	149.70	147.30
A	Masa Seca	g	2326	2345	2332
D	Peso Unitario	kg/m <sup>3</sup>	1996.92	2017.62	2036.06
<b>PROMEDIO PESO UNITARIO</b>		<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2016.87</b>		

**Tabla 55:** Peso Unitario en estado fresco del concreto permeable con gradación N° 4.  
**Fuente:** Autor de Tesis.

		PESO UNITARIO EN ESTADO ENDURECIDO				
		Probeta	Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	Promedio (kg/m <sup>3</sup> )	Desviación estándar (kg/m <sup>3</sup> )	Coefficiente de variación (%)
GRADACIÓN	1/2"	1	2009.82	2009.79	12.48	0.62
		2	1997.30			
		3	2022.26			
	3/8"	1	2020.29	2022.58	2.68	0.13
		2	2025.52			
		3	2021.92			
	N° 4	1	1996.92	2016.87	19.58	0.97
		2	2017.62			
		3	2036.06			

**Tabla 56:** Datos estadísticos del Peso Unitario en estado endurecido. **Fuente:** Autor de Tesis.

#### 4.6.2. Contenido de vacíos en estado endurecido del concreto permeable

<b>% DE VACÍOS EN ESTADO ENDURECIDO PARA GRADACIÓN DE 1/2"</b>					
<b>ID</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UND</b>	<b>muestra 1</b>	<b>muestra 2</b>	<b>muestra 3</b>
B	Peso Sumergido	g	1361	1336	1356
°C	Temperatura Agua	°C	21.5	21.2	21.2
$\rho_w$	Densidad Agua	kg/m <sup>3</sup>	997.88	997.95	997.95
%	Vacíos	%	16.745	16.318	16.055
<b>PROMEDIO % VACÍOS</b>		<b>%</b>	<b>16.373</b>		

**Tabla 57:** Contenido de vacíos en estado endurecido del concreto permeable con gradación de 1/2".  
**Fuente:** Autor de Tesis.

<b>% DE VACÍOS EN ESTADO ENDURECIDO PARA GRADACIÓN DE 3/8"</b>					
<b>ID</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UND</b>	<b>muestra 1</b>	<b>muestra 2</b>	<b>muestra 3</b>
B	Peso Sumergido	g	1380	1381	1378
°C	Temperatura Agua	°C	22.1	21.8	21.1
$\rho_w$	Densidad Agua	kg/m <sup>3</sup>	997.74	997.81	997.97
%	Vacíos	%	16.168	16.063	16.200
<b>PROMEDIO % VACÍOS</b>		<b>%</b>	<b>16.477</b>		

**Tabla 58:** Contenido de vacíos en estado endurecido del concreto permeable con gradación de 3/8".  
**Fuente:** Autor de Tesis.

<b>% DE VACÍOS EN ESTADO ENDURECIDO PARA GRADACIÓN DE Nº 4</b>					
<b>ID</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UND</b>	<b>muestra 1</b>	<b>muestra 2</b>	<b>muestra 3</b>
B	Peso Sumergido	g	1342	1361	1358
°C	Temperatura Agua	°C	22.5	22.3	22.2
$\rho_w$	Densidad Agua	kg/m <sup>3</sup>	997.65	997.70	997.72
%	Vacíos	%	15.323	16.142	14.766
<b>PROMEDIO % VACÍOS</b>		<b>%</b>	<b>15.077</b>		

**Tabla 59:** Contenido de vacíos en estado endurecido del concreto permeable con gradación Nº 4.  
**Fuente:** Autor de Tesis.

		% DE VACÍOS EN ESTADO ENDURECIDO				
		Probeta	Vacíos (%)	Promedio (%)	Desviación estándar (%)	Coefficiente de variación (%)
GRADACIÓN	1/2"	1	16.75	16.37	0.35	2.14
		2	16.32			
		3	16.06			
	3/8"	1	16.17	16.48	0.51	3.09
		2	17.06			
		3	16.20			
	Nº 4	1	15.32	15.08	0.28	1.86
		2	15.14			
		3	14.77			

**Tabla 60:** Datos estadísticos del Contenido de Vacíos en estado endurecido. **Fuente:** Autor de Tesis.

Gradación del agregado grueso	Probeta	CONTENIDO DE VACÍOS (%)				
		Diseño	En estado fresco	Promedio fresco	En estado endurecido	Promedio endurecido
1/2"	1	15	17.31	17.21	16.75	16.37
	2	15	17.13		16.32	
	3	15	17.19		16.06	
3/8"	1	15	16.58	16.52	16.17	16.48
	2	15	16.64		17.06	
	3	15	16.35		16.20	
Nº 4	1	15	15.61	15.73	15.32	15.08
	2	15	15.67		15.14	
	3	15	15.91		14.77	

**Tabla 61:** Comparación del contenido de vacíos entre metodologías para estado fresco y endurecido del concreto permeable. **Fuente:** Autor de Tesis.

#### 4.6.3. Resistencia a la compresión

<b>COMPRESIÓN 7 DÍAS PARA GRADACIÓN DE 1/2"</b>					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Diámetro 1	mm	152.00	151.60	152.00
B	Diámetro 2	mm	151.80	152.00	152.00
C	Altura	mm	304.00	304.00	304.00
D	Masa	kg	10.68	10.57	10.63
E	Carga de Ruptura	kg	28899	27944	27132
F	Tipo de Falla	-	5	5	4
G	Área de Contacto	cm <sup>2</sup>	181.22	180.98	181.46
H	Resistencia. (H = E / G)	kg/ cm <sup>2</sup>	159.47	154.40	149.52
<b>Resistencia Promedio</b>		kg/ cm <sup>2</sup>	<b>154.46</b>		

**Tabla 62:** Resistencia a la compresión (7 días) con gradación de 1/2". Fuente: Autor de Tesis.

<b>COMPRESIÓN 7 DÍAS PARA GRADACIÓN DE 3/8"</b>					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Diámetro 1	mm	153.00	150.70	152.00
B	Diámetro 2	mm	153.00	151.00	151.70
C	Altura	mm	304.00	300.00	302.00
D	Masa	kg	10.86	10.55	10.70
E	Carga de Ruptura	kg	30130	31236	30853
F	Tipo de Falla	-	5	3	4
G	Área de Contacto	cm <sup>2</sup>	183.85	178.72	181.10
H	Resistencia (H = E / G)	kg/ cm <sup>2</sup>	163.88	174.77	170.36
<b>Resistencia Promedio</b>		kg/ cm <sup>2</sup>	<b>169.67</b>		

**Tabla 63:** Resistencia a la compresión (7 días) con gradación de 3/8". Fuente: Autor de Tesis.

<b>COMPRESIÓN 7 DÍAS PARA GRADACIÓN Nº 4</b>					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Diámetro 1	mm	152.00	151.90	152.00
B	Diámetro 2	mm	152.00	152.00	152.00
C	Altura	mm	302.00	302.00	302.00
D	Masa	kg	10.88	11.04	10.89
E	Carga de Ruptura	kg	33028	33892	33328
F	Tipo de Falla	-	5	5	3
G	Área de Contacto	cm <sup>2</sup>	181.46	181.34	181.46
H	Resistencia (H = E / G)	kg/ cm <sup>2</sup>	182.01	186.90	183.67
<b>Resistencia Promedio</b>		kg/ cm <sup>2</sup>	<b>184.19</b>		

**Tabla 64:** Resistencia a la compresión (7 días) con gradación Nº 4. Fuente: Autor de Tesis.

<b>COMPRESIÓN 28 DÍAS PARA GRADACIÓN DE 1/2"</b>					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Diámetro 1	mm	152.00	152.50	153.00
B	Diámetro 2	mm	152.00	152.20	152.60
C	Altura	mm	304.00	304.00	304.00
D	Masa	kg	10.76	10.77	10.40
E	Carga de Ruptura	kg	33215	33305	32000
F	Tipo de Falla	-	1	4	1
G	Área de Contacto	cm <sup>2</sup>	181.46	182.30	183.37
H	Resistencia $H = E / G$	kg/ cm <sup>2</sup>	183.04	182.70	174.51
<b>Resistencia Promedio</b>		kg/ cm <sup>2</sup>	<b>180.08</b>		

**Tabla 65:** Resistencia a la compresión (28 días) con gradación de 1/2". **Fuente:** Autor de Tesis.

<b>COMPRESIÓN 28 DÍAS PARA GRADACIÓN DE 3/8"</b>					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Diámetro 1	mm	153.00	150.50	152.00
B	Diámetro 2	mm	153.00	151.00	151.50
C	Altura	mm	305.00	305.00	305.00
D	Masa	kg	10.57	10.77	10.58
E	Carga de Ruptura	kg	35320	33444	34620
F	Tipo de Falla	-	2	3	5
G	Área de Contacto	cm <sup>2</sup>	183.85	178.49	180.86
H	Resistencia $H = E / G$	kg/ cm <sup>2</sup>	192.11	187.38	191.42
<b>Resistencia Promedio</b>		kg/ cm <sup>2</sup>	<b>190.30</b>		

**Tabla 66:** Resistencia a la compresión (28 días) con gradación de 3/8". **Fuente:** Autor de Tesis.

<b>COMPRESIÓN 28 DÍAS PARA GRADACIÓN DE Nº 4</b>					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Diámetro 1	mm	152.00	152.50	152.00
B	Diámetro 2	mm	152.00	152.00	152.00
C	Altura	mm	304.00	304.00	304.00
D	Masa	kg	10.85	10.88	10.90
E	Carga de Ruptura	kg	37020	38694	38560
F	Tipo de Falla	-	5	1	6
G	Área de Contacto	cm <sup>2</sup>	181.46	182.06	181.46
H	Resistencia $H = E / G$	kg/ cm <sup>2</sup>	204.01	212.54	212.50
<b>Resistencia Promedio</b>		kg/ cm <sup>2</sup>	<b>209.68</b>		

**Tabla 67:** Resistencia a la compresión (28 días) con gradación Nº 4. **Fuente:** Autor de Tesis.

	Gradación	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
7 días	1/2"	154.46	4.98	3.22
	3/8"	169.67	5.48	3.23
	Nº4	184.19	2.49	1.35
28 días	1/2"	180.08	4.83	2.68
	3/8"	190.30	2.56	1.35
	Nº4	209.68	4.91	2.34

**Tabla 68:** Datos estadísticos de la resistencia a la compresión. **Fuente:** Autor de Tesis.

#### 4.6.4. Resistencia a la flexión

<b>RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO CON GRADACIÓN 1/2"</b>								
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4	5	6
<b>h</b>	Altura promedio	cm	14.95	14.98	15.01	15.13	15.04	15.00
<b>b</b>	Ancho promedio	cm	15.10	14.95	15.08	15.00	14.96	15.03
-	Longitud	cm	50.05	50.01	49.95	49.90	50.05	50.01
-	Masa	kg	21.70	21.90	21.55	22.01	21.60	22.02
<b>L</b>	Luz libre entre apoyos	cm	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00
<b>P</b>	Carga Máxima	kg	2178	2020	2143	2150	2300	2121
<b>a</b>	Distancia entre la línea de falla y el apoyo más cercano	cm	-	-	-	-	-	-
-	Tercio de Falla	-	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio
Mr	Resistencia a la flexión	Kg/cm <sup>2</sup>	29.04	27.1	28.38	28.18	30.59	28.22
<b>PROMEDIO =</b>		<b>Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>28.59</b>					

**Tabla 69:** Resistencia a la flexión con gradación de 1/2". **Fuente:** Autor de Tesis.

<b>RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO CON GRADACIÓN 3/8"</b>								
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4	5	6
<b>h</b>	Altura promedio	cm	14.97	15.02	14.96	14.98	14.97	15.00
<b>b</b>	Ancho promedio	cm	15.02	15.01	14.95	14.95	14.95	15.03
-	Longitud	cm	50.03	49.95	49.81	49.95	50.00	49.83
-	Masa	kg	22.55	23.12	21.75	22.20	21.96	22.00
<b>L</b>	Luz libre entre apoyos	cm	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00
<b>P</b>	Carga Máxima	kg	2282	2200	2367	2210	2325	2435
<b>a</b>	Distancia entre la línea de falla y el apoyo más cercano	cm	-	-	-	-	-	-
-	Tercio de Falla	-	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio
Mr	Resistencia a la flexión	Kg/cm <sup>2</sup>	30.51	29.24	31.84	29.64	31.23	32.4
<b>PROMEDIO =</b>		<b>Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>30.81</b>					

**Tabla 70:** Resistencia a la flexión con gradación de 3/8". Fuente: Autor de Tesis.

<b>RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO CON GRADACIÓN Nº 4</b>								
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4	5	6
<b>h</b>	Altura promedio	cm	14.96	15.10	15.05	14.96	15.00	15.05
<b>b</b>	Ancho promedio	cm	14.90	15.05	15.03	15.02	14.96	15.03
-	Longitud	cm	50.01	49.98	50.05	49.90	49.95	49.98
-	Masa	kg	22.43	22.05	22.70	22.20	22.40	22.45
<b>L</b>	Luz libre entre apoyos	cm	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00
<b>P</b>	Carga Máxima	kg	2570	2550	2684	2575	2477	2398
<b>a</b>	Distancia entre la línea de falla y el apoyo más cercano	cm	-	-	-	-	-	-
-	Tercio de Falla	-	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio
Mr	Resistencia a la flexión	Kg/cm <sup>2</sup>	34.68	33.44	35.48	34.47	33.11	31.7
<b>PROMEDIO =</b>		<b>Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>33.81</b>					

**Tabla 71:** Resistencia a la flexión con gradación Nº 4. Fuente: Autor de Tesis.

	Gradación	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	Coficiente de variación (%)
28 días	1/2"	28.59	1.16	4.06
	3/8"	30.81	1.24	4.02
	Nº4	33.81	1.35	3.99

**Tabla 72:** Datos estadísticos de la resistencia a la flexión. Fuente: Autor de Tesis.

#### 4.6.5. Permeabilidad

Gradación	Probeta	C (cm)	Tiempo (s)	Altura de agua (cm)	K (cm/s)	K medio (cm/s)
1/2"	1	19.2	90.00	22.00	0.213	0.207
	2	19.2	92.00	22.00	0.209	
	3	19.2	97.00	22.00	0.198	

**Tabla 73:** Coeficiente de permeabilidad para la gradación de 1/2". **Fuente:** Autor de Tesis.

Gradación	Probeta	C (cm)	Tiempo (s)	Altura de agua (cm)	K (cm/s)	K medio (cm/s)
3/8"	1	19.2	84.00	22.00	0.213	0.222
	2	19.2	87.00	22.00	0.231	
	3	19.2	90.00	22.00	0.221	

**Tabla 74:** Coeficiente de Permeabilidad para la gradación de 3/8". **Fuente :** Autor de Tesis.

Gradación	Probeta	C (cm)	Tiempo (s)	Altura de agua (cm)	K (cm/s)	K medio (cm/s)
Nº 4	1	19.2	135.00	22.00	0.142	0.147
	2	19.2	125.00	22.00	0.154	
	3	19.2	132.00	22.00	0.145	

**Tabla 75:** Coeficiente de Permeabilidad para la gradación Nº 4. **Fuente:** Autor de Tesis.

		Probeta	Coeficiente de Permeabilidad (cm/s)	Promedio (cm/s)	Desviación estándar (cm/s)	Coeficiente de variación (%)
GRADACIÓN	1/2"	1	0.213	0.207	0.008	3.86
		2	0.209			
		3	0.198			
	3/8"	1	0.213	0.222	0.009	4.05
		2	0.231			
		3	0.221			
	Nº 4	1	0.142	0.147	0.006	4.08
		2	0.154			
		3	0.145			

**Tabla 76:** Datos estadísticos del Coeficiente de Permeabilidad. **Fuente:** Autor de Tesis.

#### 4.7. Costos para el concreto permeable:

- Precios de los materiales (incluido IGV), considerados a octubre 2017 en la ciudad de Trujillo.

Material	Precio Unitario (S/.)	Unidad
Cemento Pacasmayo Tipo MS	24.6 (*)	bolsa
Agua	3.00 (**)	m3
Agregado fino	16.05 (**)	m3
Agregado grueso	15.10 (**)	m3

**Tabla 77:** Costos unitarios de materiales para elaboración de concreto permeable. **Fuente:** Autor de Tesis.

(\*) Precio obtenido de la página web de MAESTRO (Ver Anexo 3).

(\*\*) Precios obtenidos de Castro & Vera, 2017. (Ver Anexo 4)

Material	Unidad	Cantidad	P.U.	Importe
Cemento Portland Tipo MS	bol.	8.63	24.60	212.30
Agua	m3	0.14	3.00	0.42
Agregado fino	m3	0.05	16.05	0.80
Agregado grueso	m3	0.51	15.10	7.70
<b>TOTAL (S/.)</b>				<b>221.22</b>

**Tabla 78:** Costo de material por m<sup>3</sup> de concreto permeable con gradación de 1/2". **Fuente:** Autor de Tesis.

Material	Unidad	Cantidad	P.U.	Importe
Cemento Portland Tipo MS	bol.	8.63	24.60	212.30
Agua	m3	0.15	3.00	0.45
Agregado fino	m3	0.05	16.05	0.80
Agregado grueso	m3	0.53	15.10	8.00
<b>TOTAL (S/.)</b>				<b>221.55</b>

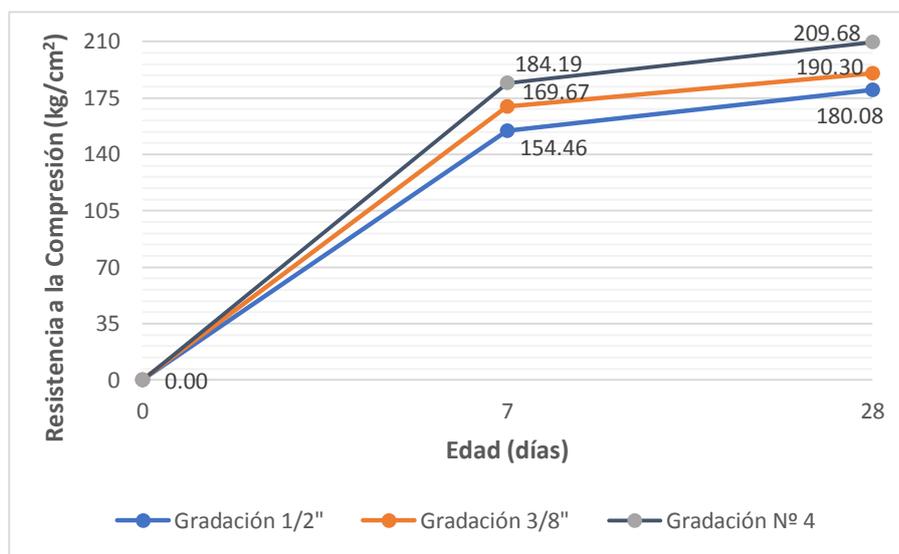
**Tabla 79:** Costo de material por m<sup>3</sup> de concreto permeable con gradación de 3/8". **Fuente:** Autor de Tesis.

Material	Unidad	Cantidad	P.U.	Importe
Cemento Portland Tipo MS	bol.	8.63	22.90	212.30
Agua	m3	0.16	3.00	0.48
Agregado fino	m3	0.05	16.05	0.80
Agregado grueso	m3	0.53	15.10	8.00
<b>TOTAL (S/.)</b>				<b>221.58</b>

**Tabla 80:** Costo de material por m<sup>3</sup> de concreto permeable con gradación N° 4. **Fuente:** Autor de Tesis.

## CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN

En la figura 15 se representan los valores de las resistencias a la compresión que alcanza el concreto permeable con respecto a su edad, 7 y 28 días.



**Figura 15:** Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos permeables.  
**Fuente:** Autor de Tesis.

La tendencia de las curvas es de crecimiento uniforme con una pendiente importante hasta el séptimo día de curado, en el cual los concretos permeables con las tres gradaciones de agregado grueso alcanzan aproximadamente entre el 85% y 90% de su resistencia final. Esta tendencia de crecimiento de las tres mezclas puede ser calificada de normal, debido a que se utiliza una relación a/c de 0.35 (baja), lo que se ve reflejado en una gran cantidad de cemento ( $366.97 \text{ kg/m}^3$ ) y por ende en resistencias iniciales elevadas.

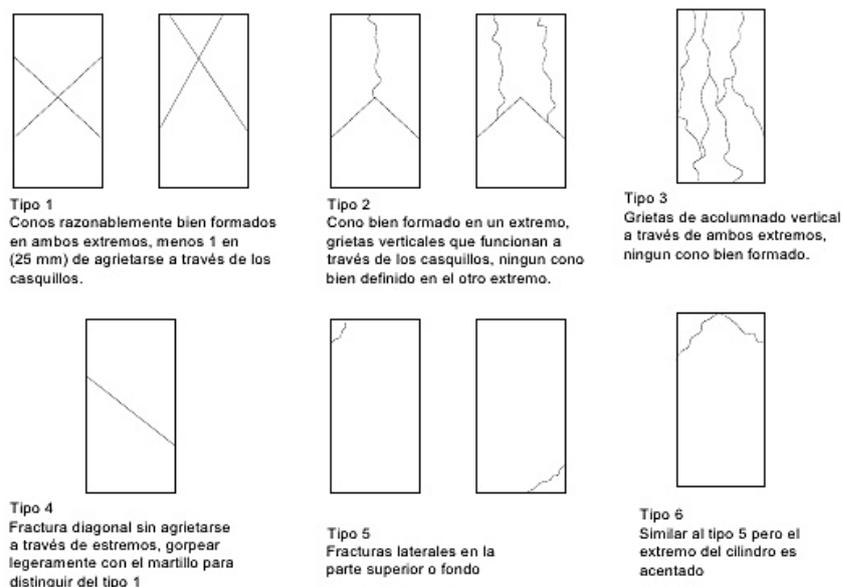
Como se puede observar, la mayor resistencia a la compresión que es de  $209.68 \text{ kg/cm}^2$  se obtiene utilizando la gradación de agregado grueso N° 4, cuyo valor se asemeja a la resistencia que se obtiene con un concreto convencional, el cual es de  $210 \text{ kg/cm}^2$ . En segundo lugar, se tiene al agregado con gradación de 3/8", con el cual se obtiene una resistencia a la compresión promedio de  $190.30 \text{ kg/cm}^2$ , y por último al agregado con gradación de 1/2", con el cual se obtiene la resistencia de  $180.08 \text{ kg/cm}^2$ . Entonces se establece que, entre el agregado de 1/2" y el de 3/8" existe un aumento de resistencia a la compresión de 5.68%; a su vez, entre el agregado de 3/8" y el N° 4 el aumento es de 10.18%

Esto da a entender de que a medida que el tamaño de agregado grueso disminuye, la resistencia a la compresión tiende a elevarse, afianzando esta idea con lo que Suleiman publicó en el año 2006: "Un aumento en el tamaño de agregado hace que la resistencia a la compresión se vea reducida". Una de las principales causas por la que se da este fenómeno, por así decirlo,

es porque mientras más pequeño es el tamaño del agregado grueso, mejor será el acomodo en la mezcla de las partículas del mismo y existirá una mayor adherencia entre estas.

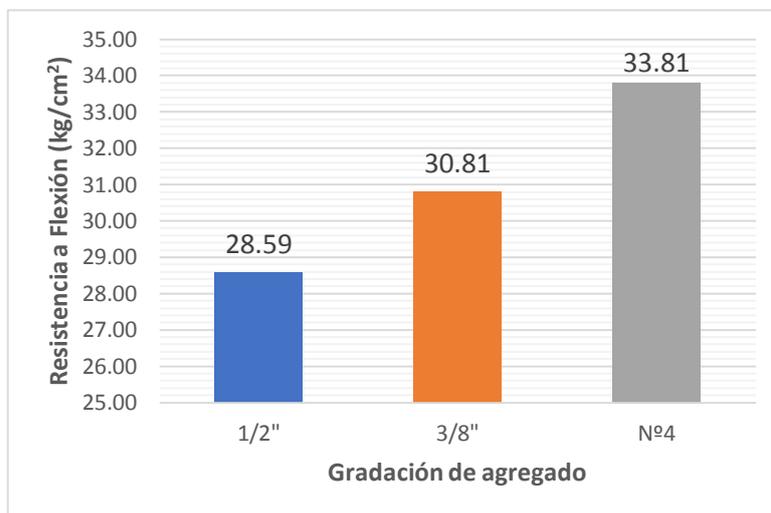
En cuanto a resistencia a la compresión respecta, se puede concluir que los valores alcanzados rondan la resistencia que se pretendía alcanzar cuando se realizó el diseño de mezcla, el cual fue de  $200 \text{ kg/cm}^2$ . Además, estas resistencias se encuentran dentro del rango esperado de 28 a  $280 \text{ kg/cm}^2$  (2.8 a 28 Mpa) brindado por el ACI 522, 2010, los cuales son apropiados para una amplia gama de aplicaciones.

Al momento de realizar este ensayo, se pudo observar el tipo de falla que se presentaron en los cilindros al momento de su ruptura, estas fueron variadas y no se encontró una relación exacta para poder analizar. Conos razonablemente bien formados en ambos extremos (Tipo 1), fisuras verticales encolumnadas (Tipo 3), hasta fracturas en los lados de las partes superior o inferior (Tipo 5) se pudieron identificar en las probetas ensayadas, siendo la falla Tipo 5 la que se presentó en mayores ocasiones, representando un 35% del total de probetas. Se puede inferir que esto ocurrió debido al uso de moldes no adheridos de neopreno en lugar de realizar un cabeceado con azufre a las probetas cilíndricas, se optó por utilizar estos moldes porque supusieron un ahorro de tiempo, además si bien la resistencia a la compresión es una característica importante (sino la principal) de un concreto convencional, lo es en menor grado para un concreto permeable, es por ello que en la presente investigación se ha priorizado la resistencia a la flexión (sin dejar de lado la compresión) y posteriormente se explicará el por qué.



**Figura 16:** Esquemas de los Modelos de Fractura Típicos en probetas cilíndricas.  
**Fuente:** ASTM C39.

En la figura 17 se grafican los valores de las resistencias a flexión que alcanza el concreto permeable a los 28 días con las tres gradaciones de agregado grueso.



**Figura 17:** Resistencia a la flexión de los concretos permeables. **Fuente:** Autor de Tesis.

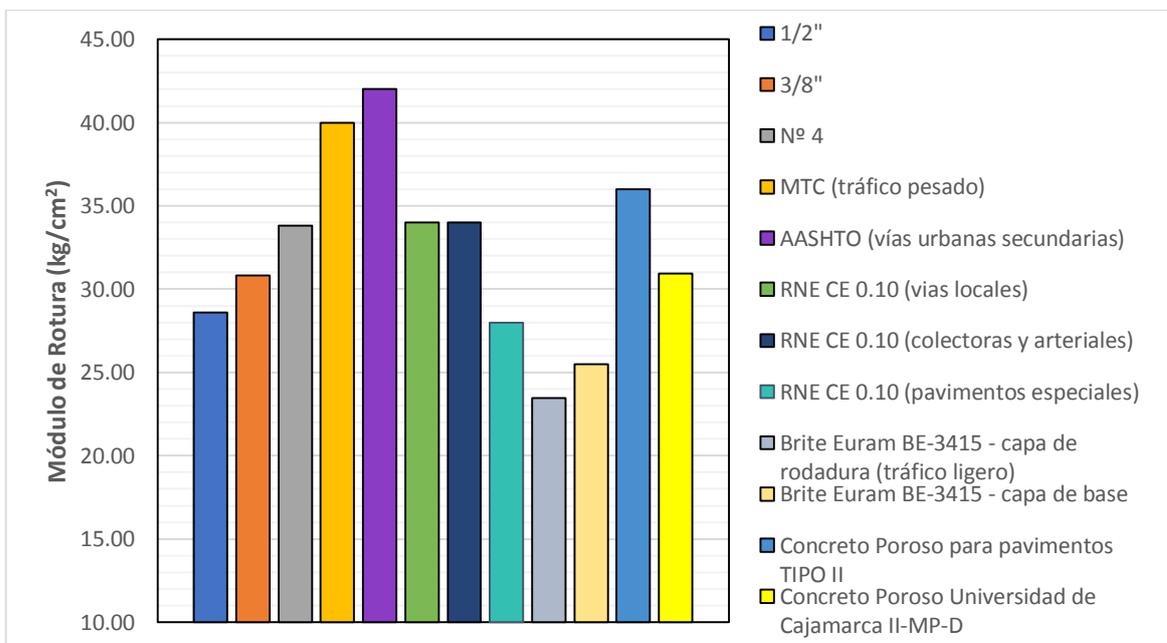
Como se observa, los resultados tienen un comportamiento lineal ascendente a medida que va reduciendo el tamaño de agregado, se tiene así, que la mayor resistencia a la flexión se obtiene utilizando la gradación de agregado grueso Nº 4, la cual arroja un valor promedio de 33.81 kg/cm<sup>2</sup>. En segundo lugar, se tiene al agregado con gradación de 3/8", con el cual se obtiene un módulo de rotura de 30.81 kg/cm<sup>2</sup>, y por último al agregado con gradación de 1/2", con el cual se obtiene el módulo de rotura menor, que es de 28.59 kg/cm<sup>2</sup>. Entonces, se puede decir que, entre el agregado de 1/2" y el de 3/8" existe un aumento de resistencia a la flexión de 7.76%; a su vez, entre el agregado de 3/8" y el Nº 4 el aumento es de 9.74%.

Según (Sanchez De Guzman, 2001), la resistencia a la flexión en concretos permeables generalmente se encuentra en el rango de 10.5 kg/cm<sup>2</sup> a 40.0 kg/cm<sup>2</sup>. Los resultados a flexión obtenidos en este trabajo de investigación se ubican dentro de este rango, además estos valores se encuentran muy por encima del límite inferior del rango mencionado anteriormente, esto se debe principalmente a la adición de un 8% de agregado fino en las tres mezclas, ya que según (Neithalath, 2004) la adición de una pequeña cantidad de arena (aproximadamente 5% en volumen) aumenta la resistencia a la flexión del concreto permeable.

En el ensayo de resistencia a flexión, el número de probetas elaboradas fue mayor en relación con el ensayo a la compresión, la razón principal es porque los valores (módulos de rotura) que nos arroja el primero son los que se utilizan frecuentemente como parámetro principal en el diseño y control de calidad de pavimentos de concreto, siendo este último la principal aplicación de un concreto permeable. Por lo que se ha querido reducir, en lo posible, el margen de error en los resultados mostrados, se obtuvo así un coeficiente de variación máximo de 4.06%

(propio del agregado de 1/2"), que se puede observar en la tabla 22, el cual está por debajo del límite establecido por la norma ASTM C78 que es de 5.7%. Además, en esta investigación el 100% de las viguetas sometidas a tensión fallaron en el tercio medio, lo cual indica la homogeneidad en la mezcla de concreto permeable.

Los resultados obtenidos para las tres gradaciones de agregado son inferiores en comparación con la resistencia que debe alcanzar el concreto para su uso como capa de rodadura en vías para tráfico pesado, menores a 5'000,000 Ejes Equivalentes, según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) en su capítulo 14 (Pavimentos Rígidos) el cual es de 40 kg/cm<sup>2</sup>. También se encuentran por debajo del valor que brinda el AASHTO para vías urbanas secundarias el cual es de 42 kg/cm<sup>2</sup>. Por otro lado, si se comparan los resultados obtenidos en la presente investigación, con los valores recomendados por el Reglamento Nacional de Edificaciones en su norma CE 0.10 (Pavimentos Urbanos), el agregado N° 4 puede ser utilizado en vías locales, colectoras y arteriales, ya que presentan un módulo de rotura similar el cual fue 34 kg/cm<sup>2</sup>, las otras dos gradaciones no se encuentran aptas para este propósito; Sin embargo, este reglamento brinda otros usos que significan un módulo de rotura menor, así se tiene a los pavimentos especiales los cuales comprenden pasajes peatonales, ciclovías, aceras y veredas. Para los cuales se necesitan Módulos de rotura de aproximadamente 28 kg/cm<sup>2</sup>, valores que las tres gradaciones en este trabajo sobrepasan, y por ende pueden ser empleados. Para un mejor entendimiento de lo mencionado anteriormente, se puede observar la figura 18:



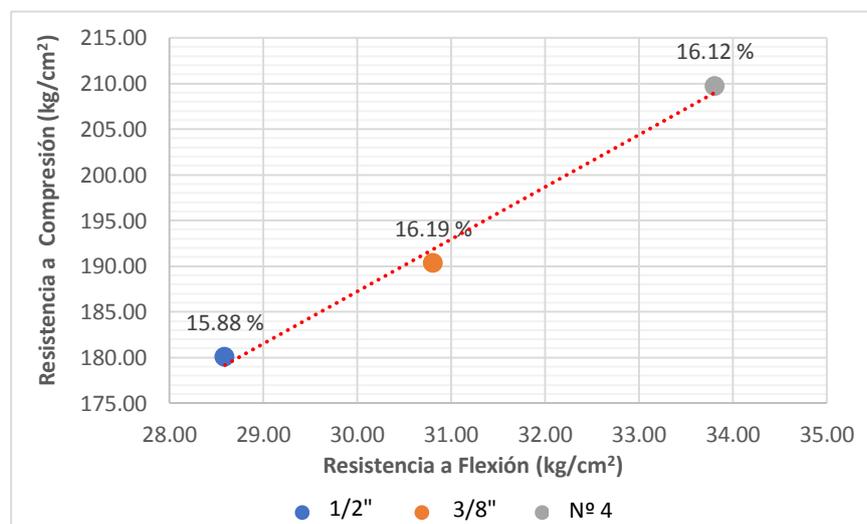
**Figura 18:** Comparación entre diferentes Módulos de Rotura para pavimentos. **Fuente:** Autor de Tesis.

Además, se ha creído conveniente considerar algunos valores de rotura publicados en trabajos de investigación anteriores, así se tiene a los valores obtenidos por (Aguado & Pindado, 1997),

en el proyecto Brite Euram BE-3415, para el uso de concretos permeables en la capa de rodadura con tráfico ligero y para una capa de base. Estos valores se encuentran por debajo de los desarrollados en esa investigación, también se tiene en consideración el concreto permeable Tipo II que fue desarrollado por (Moujir & Castañeda, 2014) en la ciudad de Cali, y por último se incluye el valor promedio de módulo de rotura para el diseño II-MP-D el cual fue desarrollado por (Azañedo, Chávez & Muñoz, 2007) en la Universidad Nacional de Cajamarca.

En resumen, se puede inferir que la mezcla con gradación de 3/8" podría ser utilizada en vías locales, colectoras y arteriales para un tráfico liviano y mediano. Además, las tres mezclas de concreto permeable desarrolladas en este trabajo pueden ser usadas en pavimentos especiales, esto basado en las normas peruanas. También se puede señalar que estos valores no se alejan de la realidad en investigaciones similares, las cuales sugieren la utilización del concreto permeable en diferentes formas según sus prestaciones, según la figura anterior es posible usar los tres concretos desarrollados como capa de rodadura para vías tráfico ligero y como capa base. Cabe anotar que las mezclas desarrolladas en las investigaciones consideradas en la figura 18 tienen diseños similares a las de este trabajo, lo que permite realizar una comparación objetiva.

Una vez analizado las dos propiedades mecánicas que presentan los concretos permeables desarrollados en este trabajo, se cree oportuno realizar una comparación entre estas. Cuando se trata de concretos convencionales, existe una relación directamente proporcional entre la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión. En el caso de los concretos permeables ocurre lo mismo, sin embargo, ambas resistencias son inferiores en comparación con las de un concreto tradicional, esto debido lógicamente a su naturaleza. La investigación experimental desarrollada ha permitido encontrar las siguientes relaciones:

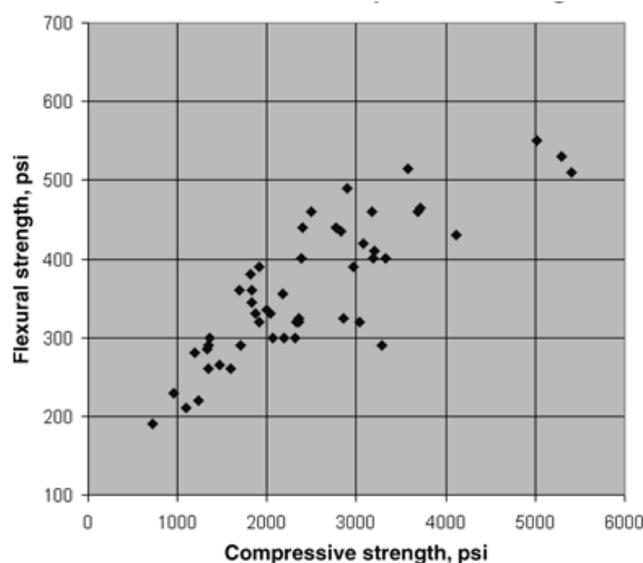


**Figura 19:** Relación entre Resistencia a la Compresión y Flexión. **Fuente:** Autor de Tesis.

La figura 19 muestra la relación que existe entre la resistencia a flexión a 28 días y la resistencia a compresión a 28 días de los concretos permeables elaborados. Si se compara los datos obtenidos, se puede observar que los valores del módulo de rotura representan entre un 15.88 % y 16.19 % de la resistencia a la compresión, así se tiene que para el agregado grueso con gradación de 1/2" la relación es de 15.88%, seguida de la relación obtenida para el agregado con gradación N° 4 que es de 16.12%, y por último, la relación mayor que fue de 16.19% perteneciente al agregado con gradación de 3/8". Se puede decir que la relación porcentual de las tres gradaciones de agregado grueso es bastante similar, esto significa que, a medida que la resistencia a la compresión aumente o disminuya, la relación de ésta con la resistencia a la flexión será en promedio un 16.06% para las tres gradaciones. Es importante aclarar que esta relación está comprobada solo para un rango de entre 180 y 210 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la compresión.

Para un concreto convencional, se puede esperar que la resistencia a flexión este comprendida entre un 12% y 18% de la resistencia a la compresión, siendo menor la proporción a medida que mayor es la resistencia a compresión. En el presente estudio, se obtuvieron resultados entre un 15.88 % y 16.19 % de la resistencia a la compresión, por lo que estas relaciones están dentro de este rango comúnmente encontrado en los concretos convencionales. Es así, que valores de resistencia a la compresión de 180.08 kg/cm<sup>2</sup>.que varían hasta 209.68 kg/cm<sup>2</sup> suponen módulos de rotura que van desde los 28.59 kg/cm<sup>2</sup> hasta 33.81 kg/cm<sup>2</sup>.

A continuación, se muestran algunas relaciones encontradas en la bibliografía para concretos permeables.

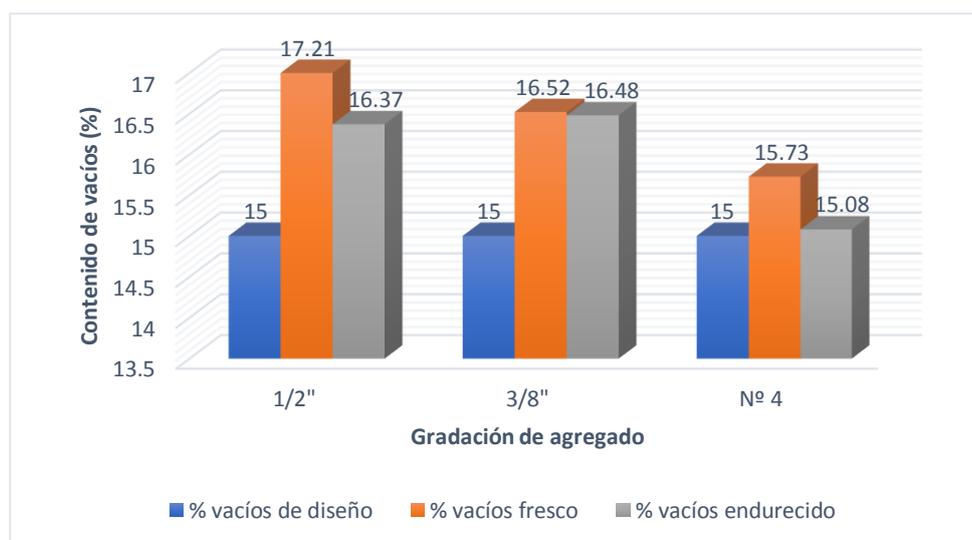


**Figura 20:** Relación entre fuerza de compresión y flexión.  
**Fuente:** ACI 522R-10.

La figura 20 representa la relación entre la resistencia a la flexión y compresión de un concreto permeable (ACI 522R-10). Si consideramos, por ejemplo, un concreto con resistencia a la compresión de 2500 psi = 207 kg/cm<sup>2</sup>, entonces, basándonos en los datos proporcionados por el gráfico anterior, para este concreto correspondería una resistencia a la flexión aproximada de 400 psi = 33 kg/cm<sup>2</sup>. Estos valores nos arrojan una relación ( $f_f / f'_c$ ) de 15.94%.

Si se compara, las relaciones encontradas por (Meininger, 1988), con las tres relaciones encontradas en este trabajo de investigación, se puede observar que ambas tienen una pendiente similar. Esto le otorga mayor credibilidad a este trabajo ya que los valores mostrados por el ACI 522R-10 y encontrados originalmente por Meininger, en No-Fines Pervious Concrete for Paving, 1998, muestra valores de mezclas realizadas con cemento Portland y materiales graníticos y basaltos de gran resistencia y angulosidad, es decir, fueron realizados con agregados de muy buena calidad. Debido a ello, en esta investigación, se ha intentado compensar la poca angulosidad de las tres gradaciones de agregado grueso, con la adición de un 8 % de agregado fino a la mezcla, es lógico que la permeabilidad se iba a ver reducida, sin embargo, se ha logrado mantenerla por encima de los límites estipulados en la norma mencionada en el inicio.

Luego de evaluar las propiedades mecánicas y la relación entre estas, es momento de analizar el contenido de vacíos que presentan los concretos permeables elaborados en esta investigación, los cuales se determinaron mediante los ensayos de laboratorio explicados detalladamente en el capítulo 3, para el análisis correspondiente se presenta el siguiente gráfico:



**Figura 21:** Comparación de Contenido de Vacíos en los Concretos Permeables. **Fuente:** Autor de Tesis

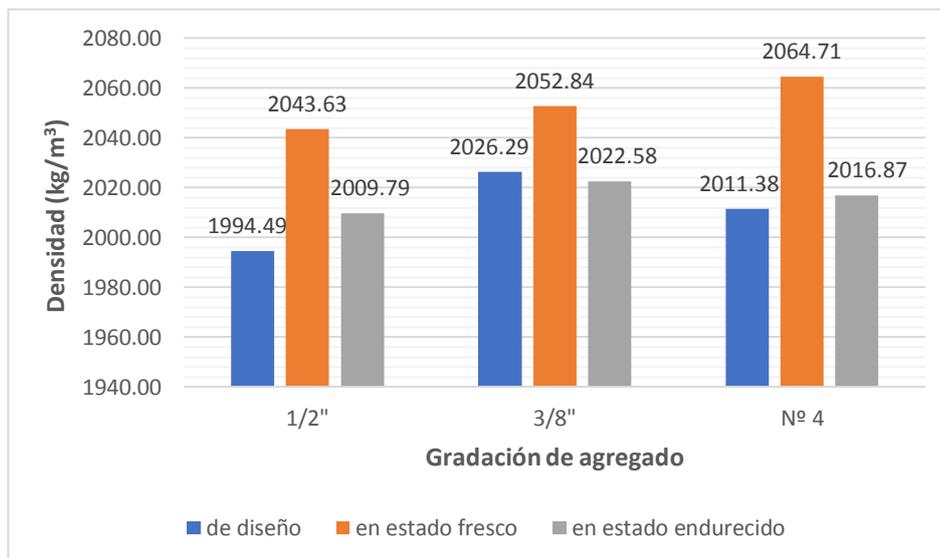
En la figura 21 se grafican los valores promedio del contenido de vacíos de diseño, en estado fresco y en estado endurecido, para las tres gradaciones de agregado grueso. Según lo mostrado, los porcentajes de vacíos tanto en estado fresco como endurecido están ligeramente por encima del porcentaje de vacíos que se eligió como parámetro de diseño para las tres mezclas, el cual fue de 15%, hay que recordar que este porcentaje es el valor que el ACI 522R-10 recomienda como mínimo para un concreto permeable, es decir que valores inferiores al 15% de vacíos no supondrán una tasa de percolación significativa. Entonces, partiendo de este concepto, se puede decir en líneas generales que los tres concretos elaborados en esta investigación son considerados permeables.

Analizando el contenido de vacíos del concreto permeable en estado fresco, se puede observar claramente la tendencia que este sigue. Porcentaje que va disminuyendo a medida que el agregado grueso va presentando un menor tamaño, así se tiene que el mayor contenido de vacíos en estado fresco lo presenta la mezcla de concreto permeable con gradación de 1/2", con un valor de 17.21%, seguido del contenido de vacíos que corresponde al agregado con gradación de 3/8", el cual es de 16.52%, y por último se tiene al agregado con gradación N° 4, el cual presenta 15.73%, siendo este el valor menor de las tres mezclas de concreto permeable.

Para el caso del contenido de vacíos en estado endurecido, los valores también tienden a reducir gradualmente con el tamaño de agregado, sin embargo, se puede observar en la gráfica que el agregado con gradación de 3/8" presenta un valor ligeramente superior al del agregado de 1/2", siendo los valores 16.48% y 16.37% respectivamente. No obstante, esto no supondría un gran cambio en la tendencia general que se viene analizando; principalmente porque el agregado de gradación N° 4 es el que presenta el menor valor de las tres gradaciones, siendo este el 15.08%. Además, los factores que influyen en la determinación del porcentaje de vacíos, para un contenido de pasta constante, en esta investigación 25.2 %, no solo son el tamaño de agregado grueso, sino también está en función de la fuerza de compactación, y la forma y textura de las partículas de agregado (Crouch, 2006).

En conclusión, el porcentaje de vacíos final (estado endurecido) se encuentra por encima del porcentaje de vacíos de diseño, aunque es importante señalar que todos los valores graficados en la figura 21 son muy cercanos.

Una propiedad que está ligada al contenido de vacíos en un concreto permeable es su peso unitario o densidad, la cual es importante evaluar porque de esta va a depender las resistencias mecánicas, la cantidad de material que se use en la mezcla, y por ende los costos que se generen en su elaboración. Se puede decir que el peso unitario de un concreto convencional se encuentra entre los intervalos habituales de 2200-2400 kg/m<sup>3</sup>, en cuanto al concreto permeable se refiere, el ACI 522R-10 brinda un rango de densidad para concretos permeables el cual es de 1,600 a 2,000 kg/m<sup>3</sup>, sin embargo, se han desarrollado concretos con densidades mayores a estos valores en investigaciones posteriores y que seguían cumpliendo con la característica de ser permeables, es decir que presentaban una tasa de percolación significativa. Los valores de densidad encontrados en esta investigación se encuentran graficados en la figura 22.



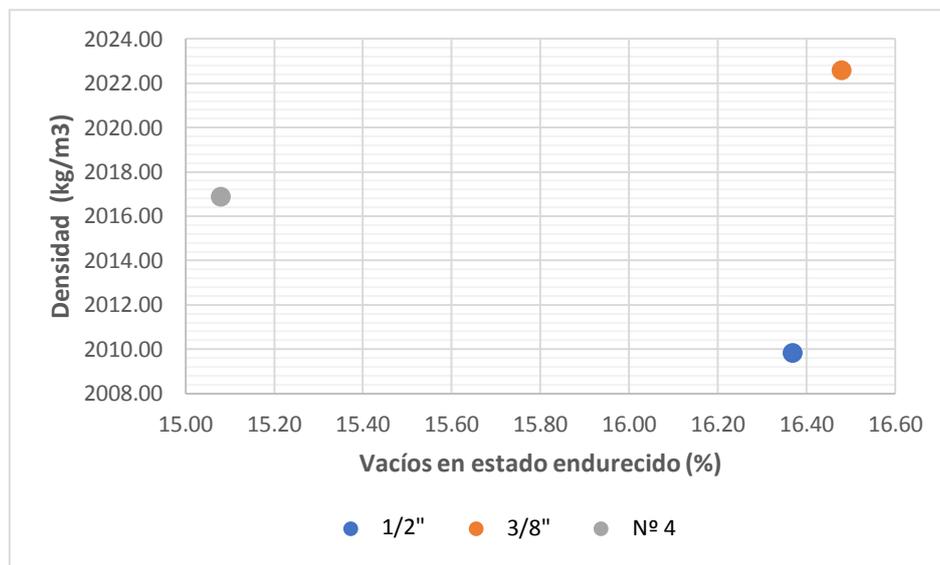
**Figura 22:** Densidades de los concretos permeables. **Fuente:** Autor de Tesis.

Analizando el gráfico anterior, la densidad en los tres tipos de mezclas se encuentran rondando el límite superior que establece el ACI. En primer lugar, se tiene al peso unitario de diseño, el cual se determinó de acuerdo con las características de cada gradación de agregado grueso, explicado en el capítulo 3, estos valores se asemejan, como se puede observar claramente, al peso unitario en estado endurecido que para la gradación de 1/2" se eleva en 11.62 kg/m<sup>3</sup>, disminuye en 1.64 kg/m<sup>3</sup> para la gradación intermedia y aumenta en 5.78 kg/m<sup>3</sup> para la gradación Nº 4.

Ahora, los valores que se encuentran alejados de las densidades mencionadas anteriormente son los obtenidos para la densidad en estado fresco, los cuales se encuentran aproximadamente en 37.31 kg/m<sup>3</sup> por encima de la densidad de diseño y en estado endurecido.

La causa principal por la que se ha dado este comportamiento es que, en el ensayo para determinar la densidad en estado fresco del concreto permeable se compacta la mezcla haciendo uso del martillo de Proctor para llenar un determinado volumen, lo cual se puede considerar como una compactación fuerte, esto obviamente se ve reflejado en la cantidad de mezcla empleada, la cual es mayor en comparación a la cantidad de mezcla empleada por volumen en las demás pruebas, cabe recordar que para la conformación de probetas se aplicó una compactación ligera, la cual es recomendada por el ACI 522R-10.

Como se mencionó algunos párrafos atrás, la densidad o peso unitario del concreto permeable está ligada al contenido de vacíos en su estructura. Para hacer un mayor análisis de esto se tiene la figura 23.



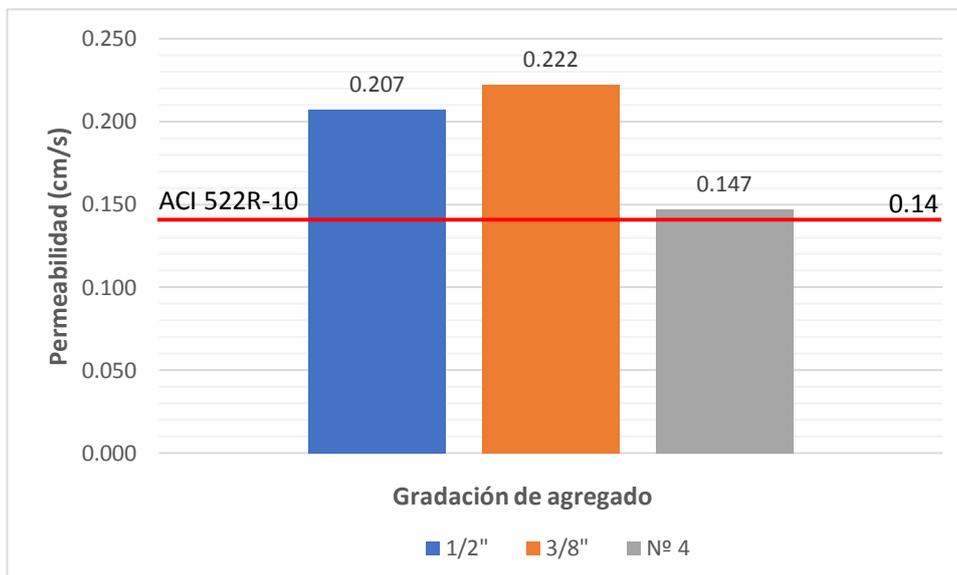
**Figura 23:** Relación entre Densidad y Contenido de Vacíos en los Concretos Permeables.  
**Fuente:** Autor de Tesis.

Según lo mostrado en la figura anterior, basándonos en el comportamiento del agregado de 1/2" y Nº 4, se puede ver claramente que a medida que la densidad aumenta, el contenido de vacíos se ve reducido. Es decir, que para el agregado de 1/2" su densidad que es de 2009.79 kg/m<sup>3</sup> va a presentar un contenido de vacíos de 16.37 %, comparándolo con el agregado de gradación Nº 4, este tiene una densidad mayor 2016.87 kg/m<sup>3</sup> y por ende un porcentaje de vacíos menor, igual a 15.08 %.

Esta tendencia no la sigue el agregado de 3/8", esto se da por las características de sus partículas. Es decir, los tres diseños de concreto permeable se diseñaron con un porcentaje de vacíos de 15%, la variación tanto en los valores de vacíos y densidad como en las otras propiedades evaluadas en este trabajo, ha dependido básicamente de las propiedades físicas de las tres gradaciones de agregado grueso, en especial del Peso Unitario Seco Compactado

(P.U.S.C.). Se cree que la tendencia del gráfico sería lineal, o se apreciaría mejor la relación densidad/vacíos, si se elaboraran concretos permeables con distintos porcentajes de vacíos de diseño.

La densidad y el porcentaje de vacíos van a influir en la que se considera la propiedad más importante de un concreto permeable, estamos hablando de la propiedad hidráulica que representa la capacidad que tiene el concreto de filtrar agua a través de su matriz, esta es la permeabilidad, la cual también se va a ver relacionada con el tamaño de agregado presente en la estructura del concreto permeable. Por ello se tiene la siguiente gráfica, que representa los valores encontrados en esta investigación



**Figura 24:** Coeficientes de Permeabilidad de los Concretos Permeables. **Fuente:** Autor de Tesis

El análisis de esta propiedad nos permite determinar la cantidad de agua que pasa a través de la estructura del concreto permeable en un determinado tiempo, el rango de permeabilidad que nos brinda el ACI es de 0.14 a 1.22 cm/s, en el presente estudio se ha logrado mantener los coeficientes de permeabilidad por encima del límite inferior señalado, aunque estos valores no lo sobrepasan de una manera holgada.

Así, se puede observar en la figura 24 que se ha logrado obtener un valor máximo de 0.222 cm/s, el cual se ve reflejado en el agregado de 3/8", un valor menor, aunque similar al primero, se ha obtenido con la mezcla de agregado de 1/2", siendo de 0.207 cm/s. Por último, se tiene al agregado con gradación Nº 4, con el cual se ha obtenido el coeficiente de permeabilidad menor en este estudio, que es de 0.147 cm/s. si bien es cierto, este coeficiente se acerca al límite inferior establecido por el ACI, es considerado como permeable.

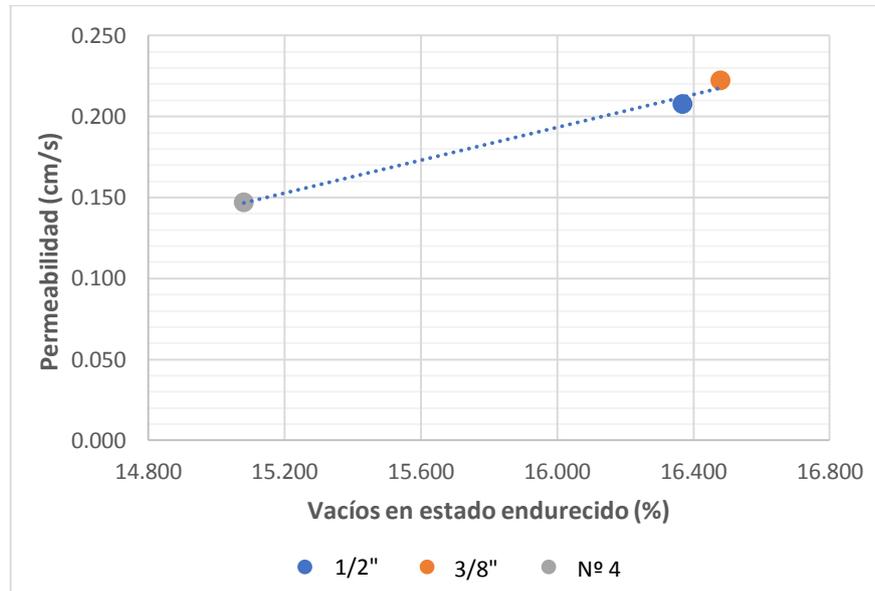
Analizando los valores, se puede decir que el coeficiente de permeabilidad para las dos primeras gradaciones de agregado grueso se ve reducido en aproximadamente un 32 % en el agregado N° 4. Lo cual se ha visto reflejado en las resistencias tanto a flexión, como a compresión analizadas anteriormente, en las cuales el agregado N° 4 presenta un mejor comportamiento.

Es importante mencionar que la relación entre la permeabilidad y el tiempo de curado del concreto es una propiedad que debe ser analizada con detalle ya que la permeabilidad cambia con el tiempo. Según (Valverde, 2014), en los primeros 3 días de curado el concreto brinda el valor máximo de permeabilidad, entre los días 3 y 7 la permeabilidad disminuye a razón de un 15 %, finalmente entre los días 7 y 28 la permeabilidad disminuye entre un 5% a un 15%. Entonces, se puede decir que entre la permeabilidad encontrada a los 3 días y la encontrada a los 28 días existe una disminución situada entre un 15 y 30 %. En este trabajo se ha evaluado la permeabilidad a los 28 días, valores que pasado este tiempo ya no varían, es decir se consideran como finales.

Sin embargo, lo ideal sería encontrar un método que permita que la permeabilidad del concreto se mantenga, o no varíe tanto, con los valores máximos iniciales. Ese propósito supera los objetivos de este estudio de investigación, ya que debería realizarse otros análisis entre ellos la química de las mezclas.

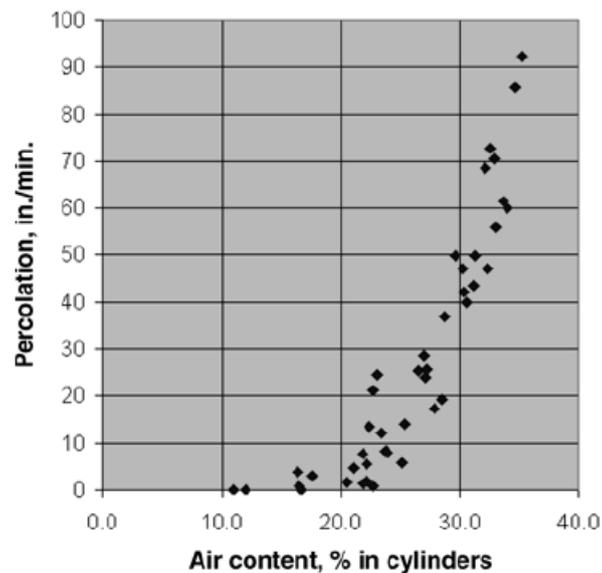
También, es importante mencionar que la permeabilidad es una variable fundamental en obras destinadas al drenaje. Por lo tanto, los valores básicos a ser empleados para la obra son una función de las condiciones pluviométricas de la zona, en otras palabras, si se quiere utilizar pavimentos permeables, estos se deben diseñar a partir de una evaluación hidrológica, especialmente de la Intensidad de lluvia de diseño que presente la zona (mm/h).

Ahora, con los datos obtenidos de la permeabilidad de las mezclas con las tres gradaciones de agregado grueso y su porcentaje de vacíos, se encuentran relaciones importantes entre estas dos variables, las cuales se grafican en la figura 25.



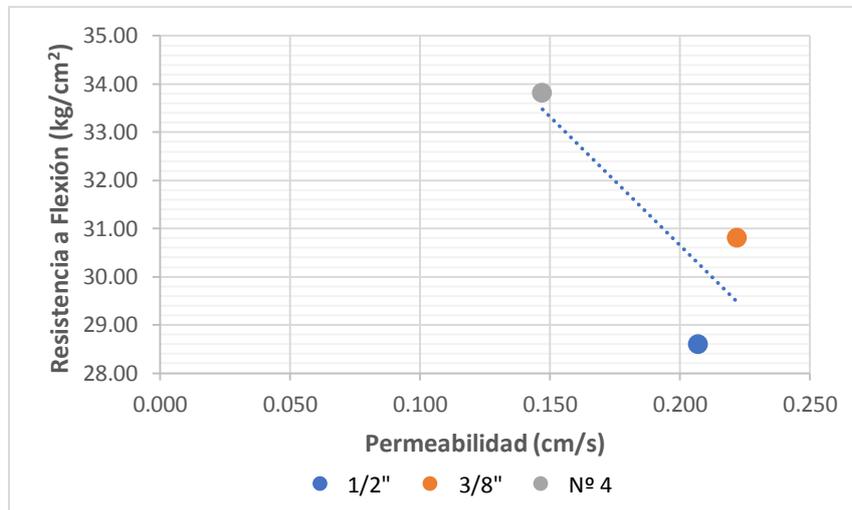
**Figura 25:** Relación entre Vacíos y Permeabilidad de los Concretos Permeables.  
**Fuente:** Autor de Tesis.

La figura anterior muestra la relación existente entre la permeabilidad y el porcentaje de vacíos en estado endurecido del concreto permeable. La tendencia es clara, mayor porcentaje de vacíos implica un aumento en el coeficiente de permeabilidad, 15.08% de vacíos permite tener una permeabilidad de 0.147 cm/s, al contar con 16.37% de vacíos, la permeabilidad aumenta hasta 0.207 cm/s. y por último al aumentar los vacíos a 16.48%, se obtiene una permeabilidad de 0.222 cm/s. Este comportamiento es similar a los presentados en la figura 26, publicados en el ACI 522 R-10.



**Figura 26:** Relación entre aire contenido y tasa de percolación para concreto permeable. **Fuente:** ACI 522R-10.

Ahora se analiza la relación entre permeabilidad y resistencia a la flexión de los concretos permeables elaborados, para ello se presenta el siguiente gráfico:



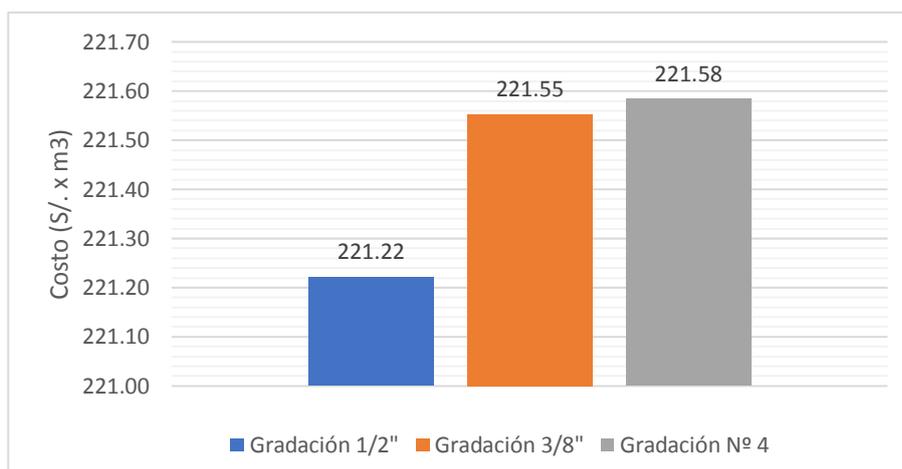
**Figura 27:** Relación entre Permeabilidad y Resistencia a Flexión de los Concretos Permeables. **Fuente:** Autor de Tesis.

Se puede apreciar en la figura 27, que la resistencia a la flexión aumenta conforme la permeabilidad disminuye, presentando una ligera variación con el agregado de 3/8", el motivo para tal comportamiento de esta gradación se ha analizado en gráficos anteriores.

Debido a que las probetas con las cuales se ha calculado el coeficiente de permeabilidad utilizando el permeámetro construido para estos estudios (capítulo 3) son cilíndricas, se asume que la permeabilidad en las viguetas elaboradas para las pruebas de flexión es la misma que la de los cilindros. El argumento es válido porque la energía de compactación aplicada al cilindro es la misma que la aplicada a la vigueta. Se debe poner énfasis en esto, ya que la densidad de una vigueta de concreto permeable puede variar ampliamente a la de un cilindro y con ello la permeabilidad puede verse afectada.

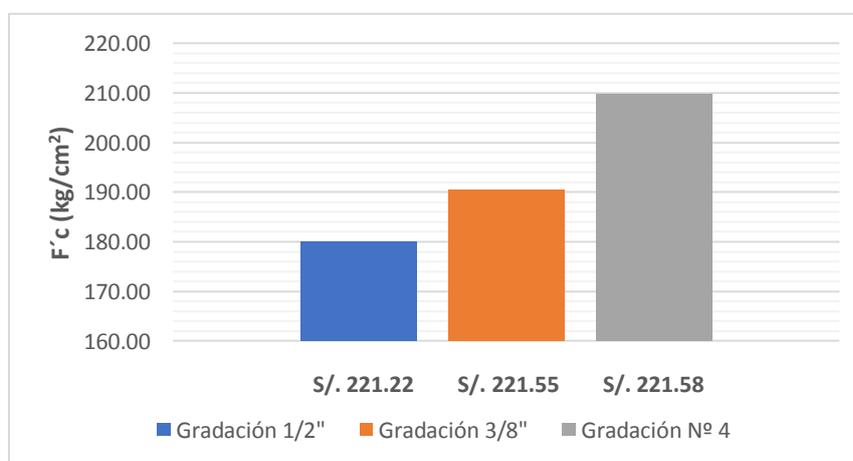
Según (Mulligan, 2005), el cual estudia la diferencia en permeabilidad existente entre muestras compactadas por el Método Proctor estándar y Proctor modificado, afirma que se presentan cambios significativos en las resistencias y permeabilidad. Por ello se cree que, se debe realizar un análisis más profundo a la energía de compactación brindada a una muestra, ya que para concretos permeables un leve aumento de esta generará un impacto negativo en la permeabilidad. Este estudio también refuerza lo analizado en la figura 22 (Densidades de los concretos permeables).

Como último aspecto, no menos importante, para analizar tenemos los costos, los cuales son un criterio fundamental en el desarrollo de cualquier construcción, por ello se presentan las siguientes figuras en las cuales se grafican los costos de materiales para elaborar concretos permeables con las tres gradaciones de agregado grueso empleadas en esta investigación.

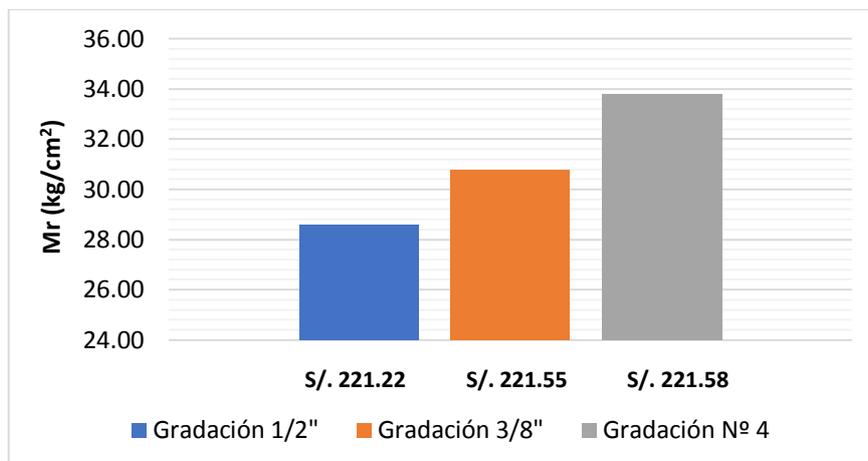


**Figura 28:** Costos de materiales x m<sup>3</sup> de los Concretos Permeables.  
**Fuente:** Autor de Tesis.

Debido a que la metodología en este trabajo ha consistido en obtener las tres gradaciones de agregado mediante el tamizado respectivo a un agregado natural de TMN 1/2" (Ver pg. 44), el precio para el agregado grueso se ha considerado el mismo en los tres análisis de costos (ver tablas 78,79 y 80) y el precio por tamizado se ha depreciado ya que el proceso es similar en los tres casos. A su vez, se han usado los mismos parámetros de diseño en las tres mezclas de concreto permeable, lo cual se ve reflejado en los precios que se grafican en la figura 28, los cuales son muy similares. Partiendo de esto, la elección del mejor concreto permeable en cuanto se refiere a costos se tendría que hacer relacionándolo con otras propiedades.

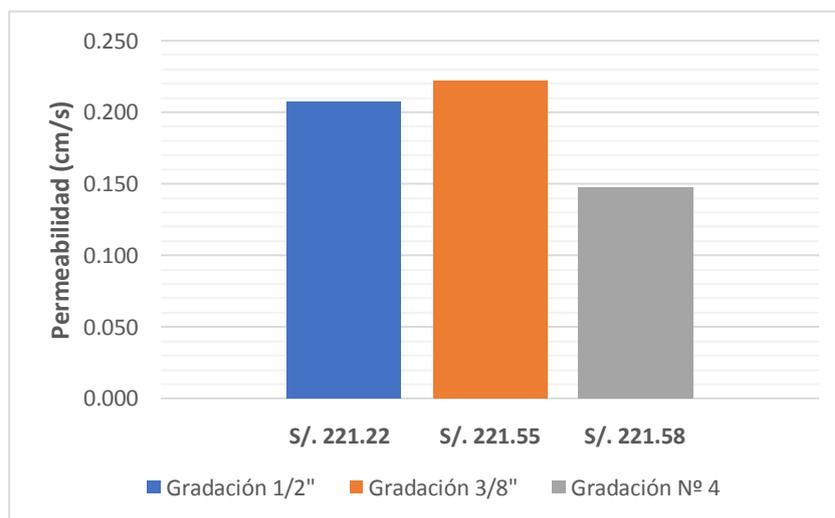


**Figura 29:** Relación entre Costo y Resistencia a compresión. **Fuente:** Autor de Tesis.



**Figura 30:** Relación entre Costo y Módulo de Rotura. **Fuente:** Autor de Tesis.

Comparando el costo con las resistencias a flexión y compresión, reflejados en las figuras 29 y 30, se ve claramente que el agregado Nº 4 es el que presenta mayores beneficios, en cambio si se comparan los concretos en base a la relación costo/permeabilidad como se grafica en la figura 31, se optaría por el agregado con gradación de 3/8", el cual le lleva una gran ventaja al agregado Nº 4. Esta última relación es bien importante ya que el concreto permeable se caracteriza por brindar un beneficio ecológico, y a mayor permeabilidad mayor serán las aguas pluviales aprovechadas.



**Figura 31:** Relación entre Costo y Permeabilidad. **Fuente:** Autor de Tesis.

## CONCLUSIONES

- Se determinó la influencia de la granulometría del agregado grueso en las propiedades mecánicas e hidráulicas de un concreto permeable, obteniendo los mejores resultados de resistencias a compresión y flexión con la gradación N° 4 y mejor permeabilidad con la gradación de 3/8".
- Se logró desarrollar un diseño de mezcla para las gradaciones de agregado grueso de 1/2", 3/8" y N° 4, determinando los criterios de diseño como la relación a/c de 0.35, 8% de finos, 15% de vacíos, un 25.20% de volumen de pasta y un factor b/bo de 0.94. Los cuales se vieron reflejados satisfactoriamente en las propiedades mecánicas e hidráulicas del concreto permeable, es decir que se encuentran dentro del rango estipulado por el ACI. Para la resistencia a la compresión se encuentran dentro del rango que es de 28 a 280 kg/cm<sup>2</sup>, para la resistencia a la flexión que es de 10.5 a 40 kg/cm<sup>2</sup> y para permeabilidad de 0.14 a 1.22 cm/s.
- Se logró evaluar el comportamiento de las tres gradaciones de agregado grueso en las propiedades del concreto permeable. Basándonos en la resistencia a la compresión y flexión, la gradación de agregado N° 4 presentó el mejor comportamiento sobre las otras dos gradaciones con un valor de 209.68 kg/cm<sup>2</sup> y 33.81 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. En cuanto a permeabilidad, el agregado con gradación de 3/8" fue el que mayor coeficiente obtuvo, siendo este 0.222 cm/s.
- Se ha comparado y analizado los valores obtenidos para asentamiento, resistencia a la compresión y flexión, permeabilidad, contenido de vacíos y densidad en estado fresco y endurecido, en los tres concretos permeables.
- El asentamiento en el concreto permeable no es un factor importante, ya que para estos se utilizan relaciones a/c bajas, las cuales se ven reflejadas en una mezcla de consistencia seca. Se consideró este ensayo en la investigación para tener una referencia de que se estaba encaminado a obtener mezclas de tal consistencia. Para los tres diseños evaluados se obtuvieron valores de Slump menores a 0.60 cm.
- Para las resistencias a compresión y flexión, se puede afirmar que a medida que el tamaño de agregado grueso disminuye, la resistencia a la compresión tiende a elevarse. Además, se ha encontrado una relación promedio entre estas de 16.06 %, lo cual indica que los valores encontrados en la presente investigación presentan similar comportamiento que los valores publicados por el ACI 522 R-10.

- El contenido de vacíos en estado fresco y endurecido en los tres concretos permeables fueron mayores comparados con el contenido de vacíos de diseño de 15%, presentando los valores más altos el contenido de vacíos en estado fresco. Se puede decir que esta variable no solo depende del tamaño de agregado grueso, sino también está en función de la fuerza de compactación aplicada a la mezcla, y la forma y textura de las partículas de agregado.
- Los coeficientes de permeabilidad determinados para los tres tipos de concreto se han mantenido por encima del límite inferior señalado por el ACI, dándole así la denominación de permeables.
- En un concreto permeable, el contenido de vacíos y la permeabilidad están directamente relacionados ya que si uno aumenta, el otro también lo hace.
- Las densidades del concreto permeable desarrolladas en esta investigación se encuentran por encima del rango que va de 1600 a 2000 kg/m<sup>3</sup>, sin embargo, se consideran aceptables ya que no difieren en una cantidad significativa. También, se concluye que esta propiedad depende principalmente del porcentaje de vacíos y de las propiedades físicas del agregado grueso, en particular del Peso Unitario Seco Compactado (P.U.S.C.). Además, del grado de compactación aplicada a la mezcla.
- Según los resultados del ensayo a flexión y a la información recolectada, el concreto permeable con la gradación N° 4 puede ser utilizado como capa de rodadura en vías locales, colectoras y arteriales, para un tráfico ligero o liviano ya que presentan un módulo de rotura similar al exigido por el Reglamento Nacional de Edificaciones en su norma CE 0.10 (Pavimentos Urbanos), el cual es de 34 kg/cm<sup>2</sup>.
- Las gradaciones de 1/2", 3/8" y N° 4 pueden ser utilizadas como capa de rodadura en pavimentos especiales los cuales comprenden pasajes peatonales, ciclovías, aceras y veredas. Ya que sobrepasan el módulo de rotura exigido para tales fines, el cual es de aproximadamente 28 kg/cm<sup>2</sup>
- No existe variación significativa en los costos de materiales para elaborar los tres concretos permeables, debido a que se han usado los mismos parámetros de diseño y principalmente la misma cantidad de cemento, el cual es el material con mayor influencia en el costo.
- Una vez realizados todos los análisis se puede concluir que la elección del mejor concreto permeable entre las tres gradaciones en estudio, se debe realizar de acuerdo con los requerimientos para su uso. Es decir, va a depender principalmente de la carga de diseño y de la permeabilidad que se requiera en el pavimento.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda a las empresas constructores, productoras de concreto e investigadores en general, utilizar el “Reporte en Concreto Permeable” brindado por el ACI 522R-10, y además tener en cuenta la “Guía para el Proporcionamiento de Concretos Cero Slump” dado por el ACI 211.3R-02, para el diseño de mezclas de concreto permeable.
- Para un proceso de mezclado adecuado se recomienda la siguiente secuencia: vaciar en la mezcladora el agregado grueso y una parte del agua de mezcla, se enciende la mezcladora y se añade el agregado fino (si fuese considerado), luego gradualmente el cemento y finalmente el agua restante.
- La mejor manera de controlar la cantidad de agua en la mezcla, es visualmente; durante el mezclado la pasta de cemento deberá cubrir la totalidad de cada partícula del agregado y formar una película brillante. Esto nos va a permitir seleccionar la relación a/c.
- La conformación de probetas para todos los ensayos de laboratorio, debe realizarse de la forma más rápida posible para evitar la evaporación del agua en la mezcla, ya que en concretos permeables se trabaja con cantidad reducidas de la misma.
- Se recomienda a futuros tesisistas evaluar distintos métodos para la conformación de probetas en laboratorio, ya que no se tiene una metodología normada, y de esto va a depender la variación en los resultados que se obtengan.
- Emplear agregados gruesos con TMN menores a 1/2” ya que se ha evidenciado que los mejores comportamientos del concreto permeable se obtienen usando agregados con tamaños menores.
- Realizar un estudio de la incidencia de los parámetros de diseño iniciales, especialmente de la relación a/c, % de vacíos y finos, en las propiedades finales del concreto permeable.
- Para mejorar las resistencias sin disminuir la permeabilidad, se podría trabajar con aditivos y analizar su influencia en un concreto permeable.
- Si se quiere utilizar uno de los diseños de concreto permeable investigados en este trabajo como capa de rodadura en la estructura de un pavimento rígido, se debe tener en cuenta un estudio hidrológico y de tráfico complementario. Además, colocar una capa con material granular bajo la capa de rodadura y bajo esta un sistema de drenaje (drenes longitudinales), si el terreno lo exige.

## REFERENCIAS

### Tesis

- AZAÑEDO MEDINA W., CHÁVEZ JUANITO H. & MUÑOZ VALDIVIA R. (2007). *Diseño de mezcla de concreto poroso con gradaciones de la cantera la victoria, cemento portland tipo con adición de tiras de plástico, y su aplicación en pavimentos rígidos, en la ciudad de Cajamarca.* Cajamarca, Perú.
- MENESES OSPINA C. & BRAVO ERAZO C. (2007). *Resistencia mecánica y condiciones de obra del concreto poroso en los pavimentos, según el tipo de granulometría.* Medellín, Colombia.
- MENDOZA ESCOBEDO J. (2009). *Estudio experimental de concretos permeables con gradaciones andesíticos.* México D.F.
- BARAHONA AGUILUZ R., MARTINEZ GUERRERO, M. & ZELAYA ZELAYA, S. (2009). *Comportamiento del concreto permeable utilizando agregado grueso de las canteras, El Carmen, Aramuaca y La Pedrera, de la zona oriental de el Salvador.* San Miguel, El Salvador.
- DÍAZ VILCA M. (2010). *Correlación entre la porosidad y la resistencia del concreto.* Lima, Perú.
- MOUJIR FELIPE & CASTAÑEDA U. (2014). *Diseño y aplicación del concreto poroso para pavimentos.* Cali, Colombia.
- JÁTIVA VALVERDE F. (2014). *Desarrollo de Hormigones Permeables enfocado al diseño de mezclas, construcción de obras y a la protección ambiental, basado en las normas ACI, ASTM e INEN.* Quito, Ecuador.
- NUÑEZ HERBOZO J. (2015). *Fabricación de Hormigón Permeable para Canchas de Uso Múltiple con la Utilización de Agregados de la Provincia de Pichincha.* Quito, Ecuador.
- FLORES QUISPE C. & PACOMPIA CALCINA A. (2015). *Diseño de mezcla de concreto permeable con adición de tiras de plástico para pavimentos fc 175 kg/cm<sup>2</sup> en la ciudad de Puno.* Puno, Perú.
- LEÓN ALTAMIRANO C. & ROSERO SANGUCHO G. (2016). *Optimización del Diseño de una Mezcla de Hormigón Permeable a Partir de Tres Distintas Gradaciones".* Quito, Ecuador.

### Libros y documentos

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE COMMITTEE 522. (2010). *Reporte on Pervious Concrete*. Illinois. EE.UU.
- INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y EL CONCRETO - IMCYC. (2012). México D.F. *Terminología del Cemento y del Concreto ACI 116R-00* (Tercera edición). México D.F.
- REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES. (2010). *Norma CE 0.10 (Pavimentos Urbanos)*. Lima, Perú .
- KOSMATKA, KERKHOFF, PANARESE, & TANESI. (2004). *Trabajabilidad, Diseño y Control de Mezclas de Concreto* (Primera Edición Portland cement Association). Illinois, EE.UU.
- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. (2014). *Manual de Carreteras (SUELOS, GEOLOGÍA, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS)*. Lima, Perú.
- CABELLO, CAMPUZANO, ESPINOZA, & SÁNCHEZ. (2015). *Concreto poroso: Constitución, Variables influyentes y Protocolos para su caracterización*. CUMBRES, Revista Científica, 64-69.
- PINDADO MIGUEL, A. & ANTONIO AGUADO, A.. (1997). *Caracterización experimental y numérica de hormigones porosos modificados con polímeros. Proyecto Brite-Euram BE-3415*. Barcelona, España.
- RODRIGUEZ HERNÁNDEZ, J. (2008). *Estudio, análisis y diseño de secciones permeables de firmes para vías urbanas con un comportamiento adecuado frente a la colmatación y con la capacidad portante necesaria para soportar tráfico ligero..* Santander, España.
- ARENAS CABELLO, F. (2007). *El impacto ambiental en la edificación. Criterio para una construcción sostenible*. Madrid, España.
- CASTRO D., RODRÍGUEZ J. & BALLESTER F. (2005). *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)*. INTERCIENCIA, Vol. 30 Revista Científica, 255-260.
- SAÑUDO A., RODRÍGUEZ J. & CASTRO D. (2013). *Diseño y Construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)*. Cantabria, España.

- CASTRO D., RODRÍGUEZ J. & GONZÁLEZ N. (2006). *Design process of a new concrete block for permeable pavements – Laboratory test studies. 8<sup>th</sup> conferencia internacional en Bloques de concreto para pavimentos.* Noviembre 6-8. San Francisco, EE.UU.
- AOKI. (2009). *DEVELOPMENT OF PERVIOUS CONCRETE.* Sydney.
- FONSECA. (2008). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras.* Colombia.
- BLOG 360° EN CONCRETO. (2015). *Recorriendo latitudes con concreto permeable.* Colombia.
- KARTHIK, O. (2007). *Pervious Concrete.* Illinois.
- NAVAS, & FERNANDEZ. (2011). *Diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad.* Costa Rica.
- OFFENBERG. (2008). *Is Pervious Concrete Ready for Structural Applications? Structure Magazine,* 48-49.
- PROGRAMA MUNDIAL DE EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LAS NACIONES UNIDAS. (2016). *Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2016.* París, Francia.
- SALINAS, M., & SASTRE, S. (2010). *Propiedades de los materiales y elementos de construcción* (pág. 51). Cataluña, España.
- SANCHEZ DE GUZMAN. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero.* Bogotá.
- SOLMINIHAC, & CASTRO. (2012). *Porous concrete mixtures for pervious urban pavements.* Chile.
- SPANISH.CHINA.ORG.ON. (2010). *Aplican pavimento permeable en ciudad brasileña de Sao Paulo.* Brasil
- WANIELISTA, & CHOPRA. (2007). *Performance Assessment of Portland Cement Pervious Pavement.* Florida.
- MEININGER. (1998). *No-Fines Pervious Concrete for Paving.* Florida.

## ANEXOS

### Anexo 1: Panel fotográfico



**Figura 32:** Análisis granulométrico del agregado grueso y fino. **Fuente:** Autor de Tesis.



**Figura 33:** Gradaciones de 1/2" y 3/8". **Fuente:** Autor de Tesis.



**Figura 34:** Gradación N° 4. **Fuente:** Autor de Tesis.



**Figura 35:** Contenido de Humedad del agregado grueso y fino. **Fuente:** Autor de Tesis.



**Figura 36:** Peso Unitario Suelto y Compactado de los agregados. **Fuente:** Autor de Tesis.



**Figura 37:** Peso Específico y Absorción del agregado grueso. **Fuente:** Autor de Tesis.



**Figura 38:** Peso Específico y Absorción del agregado fino. **Fuente:** Autor de Tesis.



**Figura 39:** Abrasión en la máquina Los Ángeles. **Fuente:** Autor de Tesis.



**Figura 40:** Asentamiento del concreto permeable. **Fuente:** Autor de Tesis.



**Figura 41:** Elaboración de probetas para Flexión y Compresión. **Fuente:** Autor de Tesis.



**Figura 42:** Desencofrado y curado de probetas. **Fuente:** Autor de Tesis.



**Figura 43:** Probetas para ensayo a la Compresión a 7 y 28 días. Fuente: Autor de Tesis.



**Figura 44:** Probetas de las tres gradaciones ensayadas a compresión. Fuente: Autor de Tesis.



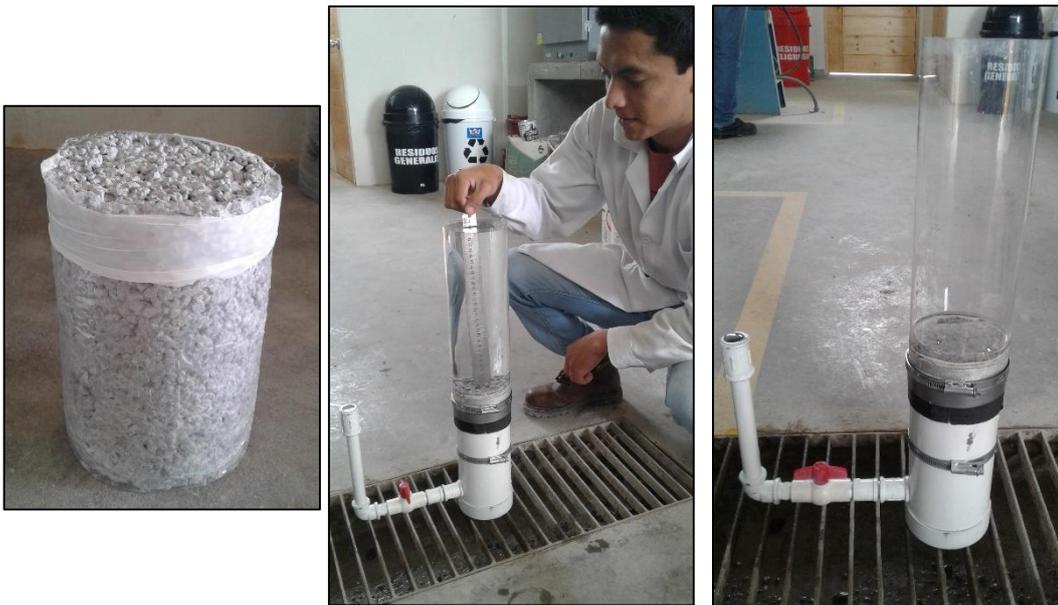
**Figura 45:** Viguetas con gradación N° 4 y 3/8" ensayadas a Flexión. Fuente: Autor de Tesis.



**Figura 46:** Probetas para ensayo de Permeabilidad. **Fuente:** Autor de Tesis.



**Figura 47:** Equipo de Permeabilidad. **Fuente:** Autor de Tesis.



**Figura 48:** Ensayo de Permeabilidad. **Fuente:** Autor de Tesis.



**Figura 49:** Ensayo de Densidad y Contenido de Vacíos en estado fresco. **Fuente:** Autor de Tesis.



**Figura 50:** Ensayo de Densidad y Contenido de Vacíos en estado endurecido. **Fuente:** Autor de Tesis

**Anexo 2:** Diseños de mezcla previos (parámetros de diseño)

	1er diseño	2do diseño	3er diseño	4to diseño
Cont. Vacíos de diseño (%):	20	15	15	15
Relación a/c:	0.35	0.4	0.4	0.35
Porcentaje de finos (%):	0	10	10	10
Volumen de pasta (%):	22	26	26	26
b/b0:	0.99	0.93	0.93	0.93
<b>f'c a 7 días (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>40.01</b>	<b>82.27</b>	<b>97.98</b>	<b>169.84</b>

**Tabla 81:** Diseños de mezcla previos. **Fuente:** Autor de Tesis.



**Figura 51:** Probetas piloto. **Fuente:** Autor de Tesis.

	5to diseño	6to diseño	7mo diseño	8vo diseño
Cont. Vacíos de diseño (%):	15	15	15	15
Relación a/c:	0.35	0.35	0.35	0.35
Porcentaje de finos (%):	15	5	5	10
Volumen de pasta (%):	25.5	26.5	21.5	21
b/b0:	0.89	0.96	0.96	0.93
<b>f'c a 7 días (kg/cm2)</b>	<b>153.9</b>	<b>115.61</b>	<b>89.88</b>	<b>84.79</b>

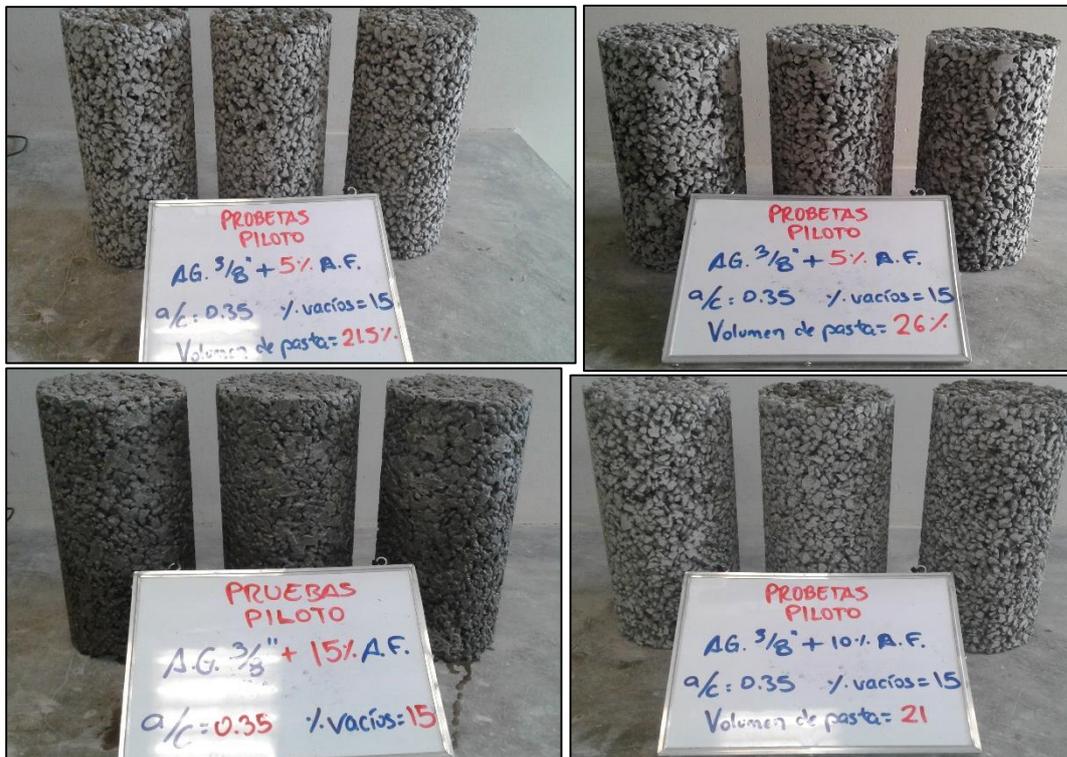


Figura 52: Probetas Piloto. Fuente: Autor de Tesis.

**Anexo 3:** Precio de Cemento Pacasmayo MS en Tienda MAESTRO; 42.5 kg

The screenshot shows the MAESTRO website interface. At the top, there is a red navigation bar with the MAESTRO logo, a search bar, and contact information (Fonocompras: 6310-310). Below the navigation bar, there are menu items: PRODUCTOS, HAZLO CON MAESTRO, TIENDAS, TALLERES, CATÁLOGO, and REGÍSTRATE. The main content area displays the product page for 'Cemento pacasmayo antisalitre tipo ms'. On the left is an image of a 42.5 kg bag of cement. The product title is 'Cemento pacasmayo antisalitre tipo ms'. Below the title, it says 'Tipo MS - Moderada resistencia a los sulfatos'. There is a dropdown menu for 'Provincias' set to 'Trujillo'. The price is listed as 'S/ 24.60' and the stock is '263'. The SKU is '1132806'. At the bottom of the product information, it states 'Precios y stock actualizados el 28/10/2017 7:15am' and 'Stock sujeto a disponibilidad de cada tienda. Consultar precio y stock en tienda. Imágenes referenciales, los productos no incluyen accesorios excepto lo indicado en la descripción del producto.'

#### Anexo 4: Precio de agregados (Castro José & Vera Jazmín, 2017)

#### 4.4. Análisis de costos

Tabla N° 58: Costo de agregados de cada cantera por m<sup>3</sup>.

Costo unitario por m <sup>3</sup>				
Ítem	Descripción		Unidad	Costo en cantera S/.
1	Agregado Grueso	Cantera 1	m <sup>3</sup>	21.50
		Cantera 2	m <sup>3</sup>	10.00
		Cantera 3	m <sup>3</sup>	10.00
		Cantera 4	m <sup>3</sup>	10.00
2	Agregado Fino	Cantera 1	m <sup>3</sup>	23.40
		Cantera 2	m <sup>3</sup>	9.00
		Cantera 3	m <sup>3</sup>	10.00
		Cantera 4	m <sup>3</sup>	10.00

Fuente: Base de datos, elaboración propia.

Tabla N° 59: Costo de insumos para elaboración de concreto.

Ítem	Descripción	Precio S/.	Precio S/.
		(sin IGV)	(con IGV)
1	Cemento Portland Tipo ICo (42.5 kg)	18.70	22.10 (*)
2	Agua	2.50	3.00
3	Agregado Grueso	Cantera 1	25.00
		Cantera 2	11.80
		Cantera 3	11.80
		Cantera 4	11.80
4	Agregado Fino	Cantera 1	30.00
		Cantera 2	10.60
		Cantera 3	11.80
		Cantera 4	11.80

Fuente: Base de datos, elaboración propia.

(\*) Precio obtenido de la página web de Sodimac (Ver Anexo N°3).

**Anexo 5:** Caracterización del agregado grueso, fino y cemento hidráulico.

TAMIZ		PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO (%)	% RETENIDO ACUMULADO (%)	% QUE PASA		
(pulg)	(mm)				ARENA	ESPECIFICACIÓN	
3/8"	9.50	0	0	0	100	100	100
N° 4	4.75	24	4.8	4.8	95.6	95	100
N° 8	2.36	60.5	12.1	16.9	83.1	80	100
N° 16	1.18	116.3	23.3	40.2	59.84	50	85
N° 30	0.60	95.7	19.1	59.3	40.7	25	60
N° 50	0.30	80.5	16.1	75.4	24.6	10	30
N° 100	0.15	77.7	15.5	90.9	9.06	2	10
N° 200	0.075	35.2	7.0	97.9	2.02	0	3
Fondo	0	10.1	2.1	100	0.0	-	-
<b>Total (g)</b>		500					
<b>Masa Inicial (g)</b>		500					
<b>Módulo de Finura</b>		2.86					

**Tabla 82:** Análisis granulométrico del agregado fino. **Fuente:** Autor de Tesis.

TAMIZ		PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO (%)	% RETENIDO ACUMULADO (%)	% QUE PASA		
(pulg)	(mm)				ARENA	ESPECIFICACIÓN	
3/4"	19.00	0.0	0.0	0.0	100	100	100
1/2"	12.50	25.1	1.2	1.2	98.8	90	100
3/8"	9.50	1155.2	57.8	59.0	41	40	70
N° 4	4.75	625.7	31.3	90.3	9.7	0	15
N° 8	2.36	136.5	6.8	97.1	2.9	0	5
N° 16	1.18	55.5	2.8	99.9	0.1	-	-
Fondo	0	2.0	0.1	100.0	0	-	-
<b>Total (g)</b>		2000					
<b>TM</b>		3/4"					
<b>TMN</b>		1/2"					

**Tabla 83:** Análisis granulométrico del agregado grueso. **Fuente:** Autor de Tesis.

<b>DESGASTE A LA ABRASIÓN GRADACIÓN B</b>						
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	P R O M E D I O
A	Peso muestra total	g	5000	5000	5000	
B	Peso retenido en tamiz N° 12	g	4179	4134	4199	
D	<b>Desgaste a la abrasión Los Ángeles</b> $D = (A - B) * 100 / A$	%	16.44	17.32	16.02	16.59

**Tabla 84:** Desgaste a la abrasión gradación B (1/2"). **Fuente:** Autor de Tesis.

<b>DESGASTE A LA ABRASIÓN GRADACIÓN C</b>						
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	P R O M E D I O
A	Peso muestra total	g	5000	5000	5000	
B	Peso retenido en tamiz N° 12	g	4309	4355	4279	
D	<b>Desgaste a la abrasión Los Ángeles</b> $D = (A - B) * 100 / A$	%	13.81	12.91	14.41	13.71

**Tabla 85:** Desgaste a la abrasión gradación C (3/8"). **Fuente:** Autor de Tesis.

<b>DESGASTE A LA ABRASIÓN GRADACIÓN D</b>						
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	P R O M E D I O
A	Peso muestra total	g	5000	5000	5000	
B	Peso retenido en tamiz N° 12	g	4180	4120	4070	
D	<b>Desgaste a la abrasión Los Ángeles</b> $D = (A - B) * 100 / A$	%	16.40	17.60	18.60	17.53

**Tabla 86:** Desgaste a la abrasión gradación D (N° 4). **Fuente:** Autor de Tesis.

<b>PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO</b>						
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	P R O M E D I O
A	Peso Saturado Superficialmente Seco de la muestra (Psss)	g	500	500	500	
B	Peso del frasco + agua hasta marca de 500ml	g	668.32	675.10	675.10	
C	Peso del frasco + agua + Psss, <b>C = A + B</b>	g	1168.32	1175.10	1175.10	
D	Peso del frasco + Psss + agua hasta la marca de 500ml	g	981.63	989.46	988.60	
E	Volumen de masa + volumen de vacío, <b>E = C - D</b>	cm <sup>3</sup>	186.69	185.64	186.50	
F	Peso seco del suelo (en estufa a 105°C ± 5°C)	g	494.53	496.70	496.28	
G	Volumen de masa, <b>G = E - (A - F)</b>	cm <sup>3</sup>	181.22	182.34	182.78	
H	Peso específico bulk (base seca), <b>H = F / E</b>	g/cm <sup>3</sup>	2.64	2.68	2.66	2.66
I	Peso específico (base saturada), <b>I = A / E</b>	g/cm <sup>3</sup>	2.68	2.69	2.68	2.68
J	Peso específico aparente (base seca), <b>J = F / G</b>	g/cm <sup>3</sup>	2.73	2.72	2.72	2.72
K	Absorción, <b>K = (A - F / F) * 100</b>	%	1.11	0.66	0.75	0.84

**Tabla 87:** Peso específico y Absorción del agregado fino. **Fuente:** Autor de Tesis.

<b>PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE GRADACIÓN 1/2"</b>							
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	P R O M E D I O	
A	Peso Saturado Superficialmente Seco de la muestra en aire	g	2016	2015	2015		
B	Peso Saturado Superficialmente Seco de la muestra en agua	g	1271	1268	1268		
C	Volumen de masa + volumen de vacío, $C = A - B$	g	745	747	747		
D	Peso seco del suelo (en estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ )	g	1985	1985	1985		
E	Volumen de masa, $E = C - (A - D)$	cm <sup>3</sup>	714	717	717		
F	Peso específico bulk (base seca), $F = D / C$	g/cm <sup>3</sup>	2.66	2.66	2.66	2.66	
G	Peso específico (base saturada), $G = A / C$	g/cm <sup>3</sup>	2.71	2.70	2.70	2.70	
H	Peso específico aparente (base seca), $H = D / E$	g/cm <sup>3</sup>	2.78	2.77	2.77	2.77	
I	Absorción, $K = (A - D / D) * 100$	%	1.56	1.51	1.51	1.53	

Tabla 88: Peso específico y Absorción de gradación 1/2". Fuente: Autor de Tesis.

<b>PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE GRADACIÓN 3/8"</b>							
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	P R O M E D I O	
A	Peso Saturado Superficialmente Seco de la muestra en aire	g	2025	2023	2025		
B	Peso Saturado Superficialmente Seco de la muestra en agua	g	1269	1269	1267		
C	Volumen de masa + volumen de vacío, $C = A - B$	g	756	754	758		
D	Peso seco del suelo (en horno a $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ )	g	1985	1995	1996		
E	Volumen de masa, $E = C - (A - D)$	cm <sup>3</sup>	716	726	729		
F	Peso específico (base seca), $F = D / C$	g/cm <sup>3</sup>	2.63	2.65	2.63	2.64	
G	Peso específico (base saturada), $G = A / C$	g/cm <sup>3</sup>	2.68	2.68	2.67	2.68	
H	Peso específico aparente (base seca), $H = D / E$	g/cm <sup>3</sup>	2.77	2.75	2.74	2.75	
I	Absorción, $K = (A - D / D) * 100$	%	2.02	1.40	1.45	1.62	

Tabla 89: Peso específico y Absorción de gradación 3/8". Fuente: Autor de Tesis.

<b>PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE GRADACIÓN N° 4</b>							
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	P R O M E D I O	
A	Peso Saturado Superficialmente Seco de la muestra en aire	g	2016.4	2024.1	2023.9		
B	Peso Saturado Superficialmente Seco de la muestra en agua	g	1263.5	1264.0	1262.0		
C	Volumen de masa + volumen de vacío, $C = A - B$	g	752.9	760.1	761.9		
D	Peso seco del suelo (en estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ )	g	1965.1	1970.2	1968.0		
E	Volumen de masa, $E = C - (A - D)$	cm <sup>3</sup>	703.1	706.2	706.0		
F	Peso específico bulk (base seca), $F = D / C$	g/cm <sup>3</sup>	2.61	2.59	2.58	2.59	
G	Peso específico (base saturada), $G = A / C$	g/cm <sup>3</sup>	2.68	2.66	2.65	2.66	
H	Peso específico aparente (base seca), $H = D / E$	g/cm <sup>3</sup>	2.79	2.79	2.79	2.79	
I	Absorción, $K = (A - D / D) * 100$	%	2.61	2.74	2.84	2.73	

Tabla 90: Peso específico y Absorción de gradación N° 4. Fuente: Autor de Tesis.

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO FINO</b>						
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	PROMEDIO
A	Peso de la muestra en estado natural	g	500	500	500	0.59
B	Peso seco de la muestra (en estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ )	g	497.07	497.07	497.09	
C	Contenido de Humedad $C = (A - B / B) * 100$	%	0.59	0.59	0.59	

Tabla 91: Contenido de humedad del agregado fino. Fuente: Autor de Tesis.

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD DE GRADACIÓN 1/2"</b>						
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	PROMEDIO
A	Peso de la muestra en estado natural	g	2000.5	2000.2	2000.0	0.59
B	Peso seco de la muestra (en estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ )	g	1988.8	1988.3	1988.4	
C	Contenido de Humedad $C = (A - B / B) * 100$	%	0.59	0.60	0.58	

Tabla 92: Contenido de humedad de gradación 1/2". Fuente: Autor de Tesis.

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD DE GRADACIÓN 3/8"</b>						
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	PROMEDIO
A	Peso de la muestra en estado natural	g	1500.0	1500.2	1500.5	0.46
B	Peso seco de la muestra (en estufa a 105°C ± 5°C)	g	1491.5	1494.0	1494.3	
C	Contenido de Humedad $C = (A - B / B) * 100$	%	0.57	0.41	0.41	

**Tabla 93:** Contenido de humedad de gradación 3/8". **Fuente:** Autor de Tesis.

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD DE GRADACIÓN Nº 4</b>						
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	PROMEDIO
A	Peso de la muestra en estado natural	g	1000	1000	1000	0.64
B	Peso seco de la muestra (en estufa a 105°C ± 5°C)	g	993.20	993.82	993.77	
C	Contenido de Humedad $C = (A - B / B) * 100$	%	0.68	0.62	0.63	

**Tabla 94:** Contenido de humedad de gradación Nº 4. **Fuente:** Autor de Tesis.

<b>PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO</b>						
AGREGADO FINO		TAMAÑO MÁX. NOMINAL		Nº 4	VOLUMEN MOLDE	0.01405 m <sup>3</sup>
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	PROMEDIO
A	Peso del Molde + AF Suelto	Kg.	28.73	28.76	28.74	28.74
B	Peso del molde	Kg.	5.32	5.32	5.32	5.32
C	Peso del AF Suelto, $C = A - B$	Kg.	23.41	23.44	23.42	23.42
D	<b>PESO UNITARIO SUELTO</b> $D = C / \text{Vol. Molde}$	Kg/m <sup>3</sup>	1666.19	1668.33	1666.90	<b>1670</b>

**Tabla 95:** Peso unitario del agregado fino. **Fuente:** Autor de Tesis.

<b>PESO UNITARIO GRADACIÓN 1/2"</b>						
<b>AGREGADO GRUESO</b>		<b>TAMAÑO MÁX. NOMINAL</b>		<b>1/2"</b>	<b>VOLUMEN MOLDE</b>	<b>0.01405 m<sup>3</sup></b>
<b>ID</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UND</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>A</b>	Peso del Molde + AG Compactado	Kg.	27.61	27.59	27.52	27.57
<b>B</b>	Peso del molde	Kg.	5.32	5.32	5.32	5.32
<b>C</b>	Peso del AG Compactado, <b>C = A - B</b>	Kg.	22.29	22.27	22.20	22.25
<b>D</b>	<b>PESO UNITARIO COMPACTADO</b> <b>D = C / Vol. Molde</b>	Kg/m <sup>3</sup>	1586.48	1585.05	1580.07	<b>1580</b>
<b>E</b>	Peso del Molde + AG Suelto	Kg.	26.17	26.06	26.10	26.11
<b>F</b>	Peso del AG Suelto, <b>F = E - B</b>	Kg.	20.85	20.74	20.78	20.79
<b>G</b>	<b>PESO UNITARIO SUELTO,</b> <b>G = F / Vol. Molde</b>	Kg/m <sup>3</sup>	1483.99	1476.16	1479.00	<b>1480</b>

**Tabla 96:** Peso unitario de gradación 1/2". **Fuente:** Autor de Tesis.

<b>PESO UNITARIO DE GRADACIÓN 3/8"</b>						
<b>AGREGADO GRUESO</b>		<b>TAMAÑO MÁX. NOMINAL</b>		<b>3/8"</b>	<b>VOLUMEN MOLDE</b>	<b>0.01405 m<sup>3</sup></b>
<b>ID</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UND</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>A</b>	Peso del Molde + AG Compactado	Kg.	27.90	27.92	27.91	27.91
<b>B</b>	Peso del molde	Kg.	5.32	5.32	5.32	5.32
<b>C</b>	Peso del AG Compactado, <b>C = A - B</b>	Kg.	22.58	22.6	22.59	22.59
<b>D</b>	<b>PESO UNITARIO COMPACTADO</b> <b>D = C / Vol. Molde</b>	Kg/m <sup>3</sup>	1607.12	1608.54	1607.83	<b>1610</b>
<b>E</b>	Peso del Molde + AG Suelto	Kg.	25.97	26.10	26.58	26.22
<b>F</b>	Peso del AG Suelto, <b>F = E - B</b>	Kg.	20.65	20.78	21.26	20.90
<b>G</b>	<b>PESO UNITARIO SUELTO,</b> <b>G = F / Vol. Molde</b>	Kg/m <sup>3</sup>	1469.75	1479.00	1513.17	<b>1490</b>

**Tabla 97:** Peso unitario de gradación 3/8". **Fuente:** Autor de Tesis

<b>PESO UNITARIO DE GRADACIÓN N° 4</b>						
<b>AGREGADO GRUESO</b>		<b>TAMAÑO MÁX. NOMINAL</b>		<b>N° 4</b>	<b>VOLUMEN MOLDE</b>	<b>0.01405 m<sup>3</sup></b>
<b>ID</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UND</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>A</b>	Peso del Molde + AG Compactado	Kg.	27.52	27.51	27.51	27.51
<b>B</b>	Peso del molde	Kg.	5.32	5.32	5.32	5.32
<b>C</b>	Peso del AG Compactado, <b>C = A – B</b>	Kg.	22.20	22.19	22.19	22.19
<b>D</b>	<b>PESO UNITARIO COMPACTADO</b> <b>D = C / Vol. Molde</b>	Kg/m <sup>3</sup>	1580.07	1579.40	1579.40	<b>1580</b>
<b>E</b>	Peso del Molde + AG Suelto	Kg.	25.66	26.73	26.70	26.36
<b>F</b>	Peso del AG Suelto, <b>F = E – B</b>	Kg.	20.34	21.41	21.38	21.04
<b>G</b>	<b>PESO UNITARIO SUELTO,</b> <b>G = F / Vol. Molde</b>	Kg/m <sup>3</sup>	1447.69	1523.84	1520.28	<b>1500</b>

Tabla 98: Peso unitario de gradación N° 4. Fuente: Autor de Tesis.

<b>CANTIDAD DE MATERIAL FINO QUE PASA POR EL TAMIZ N°200</b>					
<b>ID</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UND</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>A</b>	Peso de la muestra	g	500	500	500
<b>B</b>	Peso de la muestra lavada y seca	g	474.46	468.14	471.25
<b>C</b>	Material que pasa el tamiz N° 200 <b>C = A – B</b>	g	25.54	31.86	28.75
<b>D</b>	% que pasa el tamiz N° 200 <b>D = (C / A) * 100</b>	%	5.11	6.37	5.75
			PROMEDIO (g) = 5.74		

Tabla 99: Cantidad de material fino que pasa por el tamiz N° 200 para agregado fino. Fuente: Autor de Tesis.

<b>CANTIDAD DE MATERIAL FINO QUE PASA POR EL TAMIZ N°200</b>					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Peso de la muestra	g	2500	2500	2500
B	Peso de la muestra lavada y seca	g	2493.80	2493.98	2494.50
C	Material que pasa el tamiz N° 200 <b>C = A - B</b>	g	6.2	6.02	5.5
D	% que pasa el tamiz N° 200 <b>D = (C / A) * 100</b>	%	0.25	0.24	0.22
			PROMEDIO = 0.24		

**Tabla 100:** Cantidad de material fino que pasa por el tamiz N° 200 para gradación 1/2".  
**Fuente:** Autor de Tesis.

<b>CANTIDAD DE MATERIAL FINO QUE PASA POR EL TAMIZ N°200</b>					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Peso de la muestra	g	1000.16	1000.29	1000.03
B	Peso de la muestra lavada y seca	g	998.20	998	997.85
C	Material que pasa el tamiz N° 200 <b>C = A - B</b>	g	1.96	2.29	2.18
D	% que pasa el tamiz N° 200 <b>D = (C / A) * 100</b>	%	0.20	0.23	0.22
			PROMEDIO = 0.22		

**Tabla 101:** Cantidad de material fino que pasa por el tamiz N° 200 para gradación 3/8".  
**Fuente:** Autor de Tesis.

<b>CANTIDAD DE MATERIAL FINO QUE PASA POR EL TAMIZ N°200</b>					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Peso de la muestra	g	1000.02	1000.1	1000.05
B	Peso de la muestra lavada y seca	g	995.30	995.35	995.30
C	Material que pasa el tamiz N° 200 <b>C = A - B</b>	g	4.72	4.75	4.75
D	% que pasa el tamiz N° 200 <b>D = (C / A) * 100</b>	%	0.47	0.47	0.47
			PROMEDIO = 0.47		

**Tabla 102:** Cantidad de material fino que pasa por el tamiz N° 200 para gradación N° 4.  
**Fuente:** Autor de Tesis.

<b>PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO HIDRÁULICO (FRASCO DE LE CHATELIER)</b>					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Peso de cemento utilizado (gr)	g	64	64	64
B	Volumen Inicial (cm <sup>3</sup> )	cm <sup>3</sup>	0.6	0.9	0.5
C	Volumen Final (cm <sup>3</sup> )	cm <sup>3</sup>	22.1	22.5	22.0
D	Volumen Desplazado, <b>D = C - B</b>	cm <sup>3</sup>	21.5	21.6	21.5
E	<b>Peso Específico del Cemento Hidráulico (gr/cm<sup>3</sup>)</b> <b>E = A / D</b>	g/cm <sup>3</sup>	2.98	2.96	2.98
F	Peso Específico del agua a 4°C	g/cm <sup>3</sup>	1.00	1.00	1.00
G	Peso Específico Relativo del Cemento <b>G = E / F</b>	-	2.98	2.96	2.98
H	Temperatura del Ensayo (°C)	°C	20	20	20
I	<b>Peso Específico Promedio del Cemento (gr/cm<sup>3</sup>)</b> <b>I = (E1 + E2 + ... + En) / n</b>	g/cm <sup>3</sup>	2.97		

**Tabla 103:** Peso específico del cemento. **Fuente:** Autor de Tesis.

**Anexo 6:** Certificado de ensayos realizados en laboratorios U.P.N.

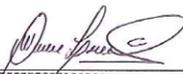


**CERTIFICADO**  
**DE ENSAYOS EN LABORATORIOS**

El que suscribe, Wesley John Leonardo Carrasco, hace constar por medio de la presente que el Sr. Johan Joe Perez Gordillo, identificado con D.N.I N° 73657656, ha realizado ensayos de contenido de humedad, granulometría, abrasión, peso específico de agregados y cemento, absorción, peso unitario, granulometría por lavado, densidad, asentamiento, porcentaje de vacíos, resistencia a la compresión, resistencia a flexión y permeabilidad en las instalaciones del laboratorio de **Concreto y Estructuras** de esta universidad, requeridos para la tesis ***"Influencia de la Granulometría del Agregado Grueso en las Propiedades Mecánicas e Hidráulicas de un Concreto Permeable, Trujillo 2017"***; los resultados obtenidos se encuentran registrados en nuestro archivo.

Se expide esta certificación a solicitud del interesado, para los fines que estime conveniente.

Trujillo, 07 de noviembre del 2017



Coordinador de Laboratorio  
Carrera de Ingeniería Civil

**Anexo 7:** Normativa para los diseños de mezcla.

**ACI 522R-10**  
**(Reapproved 2011)**

**Report on Pervious Concrete**

Reported by ACI Committee 522



**American Concrete Institute®**

Licensed to: Johan Perez Gordillo

**Anexo 8:** Certificados de calibración de equipos.

<b>METROTEC</b>		<b>METROLOGÍA &amp; TÉCNICAS S.A.C.</b> <small>Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio</small>
<i>Área de Metrología</i> <i>Laboratorio de Masas</i>		<b>CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN</b> <b>MT - LM - 200 - 2017</b>
		Página 1 de 4
<b>1. Expediente</b>	<b>17086</b>	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
<b>2. Solicitante</b>	<b>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</b>	
<b>3. Dirección</b>	Av. Del Ejército Nro. 920 Urb. El Molino - Trujillo - Trujillo - LA LIBERTAD.	
<b>4. Equipo de medición</b>	<b>BALANZA ELECTRÓNICA</b>	
<b>Capacidad Máxima</b>	<b>80 kg</b>	
<b>División de escala (d)</b>	<b>0,002 kg</b>	Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.
<b>Div. de verificación (e)</b>	<b>0,020 kg</b>	
<b>Clase de exactitud</b>	<b>III</b>	
<b>Marca</b>	<b>OHAUS</b>	
<b>Modelo</b>	<b>T71P</b>	
<b>Número de Serie</b>	<b>B231177767</b>	METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.
<b>Capacidad mínima</b>	<b>0,040 kg</b>	
<b>Procedencia</b>	<b>U.S.A.</b>	
<b>Identificación</b>	<b>NO INDICA</b>	
<b>Ubicación</b>	<b>LABORATORIO DE CONCRETO PABELLON C. INGENIERIA CIVIL.</b>	
<b>5. Fecha de Calibración</b>	<b>2017-04-25</b>	Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.
<b>Fecha de Emisión</b>	<b>2017-04-28</b>	El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.
	 <b>JUAN C. QUISPE MORALES</b>	
<i>Metrología &amp; Técnicas S.A.C.</i>		

**METROTEC**

**METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.**

Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
MT - LM - 202 - 2017**

Área de Metrología  
Laboratorio de Masas

Página 1 de 4

<p><b>1. Expediente</b> 17086</p> <p><b>2. Solicitante</b> UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE S.A.C.</p> <p><b>3. Dirección</b> Av. Del Ejército Nro. 920 Urb. El Molino - Trujillo - Trujillo - LA LIBERTAD.</p> <p><b>4. Equipo de medición</b> BALANZA ELECTRÓNICA</p> <p>    <b>Capacidad Máxima</b> 30 kg</p> <p>    <b>División de escala (d)</b> 0,001 kg</p> <p>    <b>Div. de verificación (e)</b> 0,01 kg</p> <p>    <b>Clase de exactitud</b> III</p> <p>    <b>Marca</b> OHAUS</p> <p>    <b>Modelo</b> EB30</p> <p>    <b>Número de Serie</b> 8034161919</p> <p>    <b>Capacidad mínima</b> 0,020 kg</p> <p>    <b>Procedencia</b> U.S.A.</p> <p>    <b>Identificación</b> 1-013561 (*)</p> <p>    <b>Ubicación</b> LABORATORIO DE CONCRETO PABELLON C. INGENIERIA CIVIL.</p> <p><b>5. Fecha de Calibración</b> 2017-04-25</p>	<p>Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).</p> <p>Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.</p> <p>METROLOGÍA &amp; TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.</p> <p>Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.</p> <p>El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.</p>
--	---

Fecha de Emisión  
2017-04-28

Jefe del Laboratorio de Metrología

JUAN C. QUISPE MORALES



**METROTEC**

**METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.**

Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
MT - LF - 097 - 2017**

Área de Metrología  
Laboratorio de Fuerza

Página 1 de 3

<b>1. Expediente</b>	<b>17086</b>
<b>2. Solicitante</b>	<b>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE S.A.C.</b>
<b>3. Dirección</b>	Av. Del Ejercito Nro. 920 Urb. El Molino - Trujillo - Trujillo - LA LIBERTAD.
<b>4. Equipo</b>	<b>PRENSA DE CONCRETO</b>
<b>Capacidad</b>	250000 lbf
<b>Marca</b>	FORNEY
<b>Modelo</b>	F-25EX-F-CPILOT
<b>Número de Serie</b>	12117
<b>Procedencia</b>	U.S.A.
<b>Identificación</b>	NO INDICA
<b>Indicación</b>	DIGITAL
<b>Marca</b>	FORNEY
<b>Modelo</b>	TA-1252
<b>Número de Serie</b>	NO INDICA
<b>Resolución</b>	1 lbf
<b>Ubicación</b>	LABORATORIO DE CONCRETO - PABELLON C. INGENIERIA CIVIL.
<b>5. Fecha de Calibración</b>	2017-04-25

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.

METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Fecha de Emisión

Jefe del Laboratorio de Metrología

Sello

2017-04-28



JUAN C. QUISPE MORALES

Metrología & Técnicas S.A.C.

**METROTEC**

**METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.**

Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
MT - LL - 106 - 2017**

Área de Metrología  
Laboratorio de Longitud

Página 1 de 3

<b>1. Expediente</b>	<b>17086</b>	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
<b>2. Solicitante</b>	<b>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE S.A.C.</b>	
<b>3. Dirección</b>	Av. Del Ejercito Nro. 920 Urb. El Molino - Trujillo - Trujillo - LA LIBERTAD.	
<b>4. Instrumento de Medición</b>	<b>VERNIER ( PIE DE REY )</b>	
<b>Alcance de indicación</b>	0 mm a 150 mm	
<b>División de Escala / Resolución</b>	0,05 mm	Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.
<b>Marca</b>	LITZ	
<b>Modelo</b>	NO INDICA	
<b>Número de Serie</b>	NO INDICA	
<b>Procedencia</b>	ALEMANIA	
<b>Identificación</b>	1-017467 (*)	METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.
<b>Tipo de indicación</b>	ANALÓGICO	
<b>5. Fecha de Calibración</b>	2017-04-26	Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.
		El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Fecha de Emisión

Jefe del Laboratorio de Metrología

Sello

2017-04-28

JUAN C. QUÍSPÉ MORALES



Metrología & Técnicas S.A.C.