



# UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



TESIS

---

**“DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN  
CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE  
APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS  
ESPECIALES, CUSCO 2019”**

---

Presentado por:

**Bach. Kanashiro Vergara, Jhonatan  
Hiroshi**

**Bach. Monzón Cárdenas, Emanuel**

Para optar al Título Profesional de  
Ingeniero Civil

Asesor:

**Ing. Mitsy Elena Gudiel Cárdenas**

**CUSCO – PERÚ**

**2020**



## **DEDICATORIA**

*En mi deseo como sencillo gesto de agradecimiento quiero dedicar la presente tesis: a Dios quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.*

*A mis padres Flor Vergara Orue y George Kanashiro Espejo por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; todos mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye la presente investigación. Me formaron con reglas y con algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron contantemente para alcanzar mis anhelos.*

*A mis abuelos por sus enseñanzas y sus mensajes de aliento.*

*A mi abuelo Daniel Vergara Rueda, un hombre dedicado por su familia, una admirable persona que entrego todo por los que ama; con quien compartí gratos momentos de mi infancia y me enseñó el significado de amar y ser amado; por ello y mucho más hago presente mi gran afecto hacia a ti, mi querido abuelo.*

*A mis hermanos Naoki Kanashiro Vergara y Takeshi Kanashiro Vergara quienes permanentemente me apoyaron con espíritu alentador, contribuyendo incondicionalmente a lograr las metas y objetivos propuestos.*

*A mis tíos Luis Vergara Orue, Daniel Vergara Orue y Cinthya Kanashiro Espejo; por sus aportes, su amor, su inmensa bondad y apoyo incondicional.*

*A mis familiares por apoyarme en cada decisión y proyecto, por aquellos momentos gratificantes compartidos en un hogar lleno de cariño y comprensión.*

*A mi compañero de tesis Emanuel Monzón Cárdenas, mi mano derecha durante todo este tiempo, por tu desinteresada ayuda, por echarme una mano cuando siempre lo necesite, por aportar*



*considerablemente en la presente investigación. Eres una gran persona, y me encanta tenerte de mi lado como un gran amigo.*

*A mi pareja, Diana Soledad Paliza Chino, fue el ingrediente perfecto para poder lograr alcanzar esta dichosa y muy merecida victoria en la vida, el poder haber culminado esta tesis con éxito, y poder disfrutar del privilegio de ser agradecido, ser grato con esa persona que se preocupó por mí en cada momento y que siempre quiso lo mejor para mi porvenir.*

*A mis mejores amigos: Rodrigo Hurtado Canal, Alex Tito Cornejo, Geir Laine Lorenzo. Quienes con su optimismo y emprendimiento jugaron un papel importante para la elaboración de la presente investigación.*

*De: Yhonatan Hiroshi Kanashiro Vergara*



## **DEDICATORIA**

*Ante todo, dedico este trabajo a Dios, por haberme dado la fuerza, perseverancia y dedicación para desarrollar de la mejor manera esta investigación, y poder así llegar al momento más importante y emotivo de mi formación académica profesional.*

*A mi madre Lilia Cárdenas Vizcarra, quien fue la persona que impulsó mis aspiraciones profesionales y las buenas decisiones como persona, por demostrarme siempre el apoyo y amor incondicional, este logro es para ti, porque fuiste tú quien me trajo al mundo, quien me educó y me encaminó para ser un hombre de bien.*

*A mi padre Manuel Monzón Cuba, por brindarme las facilidades para convertirme en la persona que ahora soy, por ser un modelo de persona a seguir, por inculcarme los valores que definen a una persona y que posteriormente se vuelven en virtudes. Esperando que estés orgulloso, este trabajo te lo dedico con mucho cariño.*

*A mi hermana Diana Carolina Monzón Cárdenas, con quien compartí gran parte de mis vivencias, quien me apoya con los ánimos y me da la fuerza de ser alguien más en la vida y ser un ejemplo para ella.*

*A mi hermano Daniel Misael Monzón Cárdenas, por enseñarme que las cosas que uno realiza en la vida tienen un propósito, y hay que encontrar el gusto en todo lo que uno hace. Nunca se es demasiado grande para comportarse y divertirse como niño, y nunca se es demasiado pequeño para comportarse como un adulto.*

*A mis tíos Juan Carlos Monzón Valer, Roger Monzón Cuba y Albert Monzón Valer, quienes siempre me apoyaron, con quienes viví parte de mi vida y en especial quienes me enseñaron el propósito de lo que uno hace, y, sobre todo, que cuando parezca que uno está solo, en realidad nunca lo está, porque siempre puede confiar en la familia.*

*A todos mis familiares, con quienes siempre es grato compartir momentos y aprender de cada uno de ellos, para formarte como persona y lograr algo en este camino de la vida.*



*A mi compañero de tesis Jhonatan Hiroshi Kanashiro Vergara, un amigo de la vida, compañero de colegio y mano derecha en esta etapa de formación académica profesional, con quien pusimos nuestro empeño y dedicación para desarrollar esta investigación, y en especial, con quien descubrí que cuando se planifica y se decide, nada es imposible.*

*A mi compañera, amiga, pareja: Lucía Ecos Báez, quien me apoya incondicionalmente, quien me acompaña en cada decisión de mi vida y celebra conmigo los logros obtenidos, pero, sobre todo, quien está allí cuando se tiene fracasos y necesitas una mano para levantarte.*

*A mis amigas: Sharon A. Leiva Marín, Mary Cielo Aranibar Centeno, Patricia Guevara Vera, Kimberly B. Carpio Hurtado, Sunem Ríos Yañac. Quienes me hicieron entender que todo tiene su tiempo y espacio, que no todo es solo trabajo, siempre hay que darse un tiempo para disfrutar la vida, pero sin descuidar las obligaciones.*

*A mis mejores amigos: Rodrigo Hurtado Canal, Alex Tito Cornejo, Geir Laine Lorenzo. Quienes siempre le ven las cosas positivas a lo que nos va sucediendo, y siempre te alientan a perseguir tus sueños.*

*A todos, espero no defraudarlos y contar siempre con su valioso apoyo, sincero e incondicional.*

*De: Emanuel Monzón Cárdenas*



## **AGRADECIMIENTOS**

*A nuestros padres, por todo el apoyo incondicional que me brindaron y permitieron culminar mi formación académica profesional, cumpliendo nuestras metas y sueños anhelados.*

*A nuestra asesora Ing. Mitsy Elena Gudiel Cárdenas, por instruirnos, guiarnos y motivarnos permanentemente durante la elaboración del presente trabajo de investigación.*

*A todos los docentes de la universidad, por ser parte de la formación profesional y dar enseñanzas para la vida y no solo enfocarse en lo académico, sino formarnos como profesionales con ética y moral, para mejorar el mundo en el que vivimos.*

*A la Universidad Andina del Cusco, por brindarnos el apoyo y permitirnos usar los laboratorios, equipos y herramientas necesarias para la elaboración de la investigación.*

*A compañeras y compañeros de la universidad, con quienes compartí las aulas, donde encontramos respuestas a muchas dudas que teníamos, especialmente con quienes pudimos lograr culminar la etapa de formación académica y que ahora vamos en busca de nuevas metas.*

*De: Jhonatan Hiroshi Kanashiro Vergara y Emanuel Monzón Cárdenas*



*“Nunca consideres el estudio como una obligación,  
sino como una oportunidad para penetrar en  
el bello y maravilloso mundo del saber”  
(Albert Einstein)*



## **RESUMEN**

El presente trabajo de investigación, tuvo como propósito determinar el rango óptimo de agregado fino en concreto permeable que cumpla con la resistencia a compresión, resistencia a flexión equivalente y coeficiente de permeabilidad para su aplicación en pavimentos especiales evaluado a partir de curvas de aproximación, para determinar el rango se realizó el análisis de las propiedades mencionadas adicionando a las muestras del concreto permeable agregado fino en distintos porcentajes, siendo estos 0%, 5%, 10%, 15% y 20%. Todo esto utilizando agregados de las canterías de Vicho, Pisac y Cunyac y aditivo plastificante de densidad 1.2 kg/l, esto con la intención de mejorar la trabajabilidad de la mezcla. Para lo cual, se generó una muestra definida como la población en general en la que se considera a las muestras que son ensayadas a compresión tienen la edad de 28 días de curado, se componen por los distintos porcentajes de adición de agregado fino los cuales son: 0%, 5%, 10%, 15% y 20%. Siendo un sub total de 45 muestras. Las muestras que son ensayadas a Flexión tienen la edad de 28 días de curado, se componen por los distintos porcentajes de adición de agregado fino los cuales son: 0%, 5%, 10%, 15% y 20%. Siendo un sub total de 45 muestras. Para este ensayo únicamente se compondrá las muestras de los distintos porcentajes de adición de agregado fino los cuales son: 0%, 5%, 10%, 15% y 20%. Siendo un sub total de 10 muestras. Podemos afirmar que la presente investigación tiene como total de muestra la cantidad de 100. Como conclusiones más resaltantes se tiene que: se alcanzó las propiedades de resistencia a compresión requerida de 175 kg/cm<sup>2</sup>, resistencia a flexión equivalente de 30 kg/cm<sup>2</sup> y coeficiente de permeabilidad mayor a 0.135 cm/s con adición de 11% a 16% de agregado fino dentro de la mezcla según el reporte de ACI 522R-10 del concreto permeable usando agregado grueso de HUSO 6. Si bien en nuestro medio no se hace uso del Concreto Permeable, la investigación brinda un diseño de concreto para su implementación en las estructuras de los pavimentos especiales (veredas, ciclovías y pasajes peatonales), logrando una alternativa de solución a los aniegos generados por las grandes lluvias y proponiendo el uso de los sistemas urbanos de drenaje sostenible. Además de lograr las solicitaciones mínimas de la resistencia a compresión, resistencia a flexión y coeficiente de permeabilidad del concreto permeable para su aplicación en pavimentos especiales, se pudo obtener





resultados que sobrepasan esos valores normados; generando resistencias mayores que pueden ser usados para otros fines.

**Palabras clave:** rango óptimo, resistencia a compresión, resistencia a flexión equivalente, coeficiente de permeabilidad, pavimentos especiales, curvas de aproximación, sistema de drenaje sostenible, agregados, aditivo plastificante, trabajabilidad, reporte ACI 522R-10, HUSO # 6.



## **ABSTRACT**

The present research work, had like purpose to determine the optimal range of fine aggregate in permeable concrete that fulfills the resistance to compression, resistance to equivalent flexure and coefficient of permeability for its application in pavements specials evaluated from curves of approximation, in order to determine the status came true the analysis of the mentioned properties adding to the permeable- added- fine- concrete samples in different percentages, being these 0 %, 5 %, 10 %, 15 % and 20 %. All these using aggregates of the stoneworks of Vicho, Pisac and Cunyac and plasticizing additive of density 1,2 kg l, this with the intention of improving the workability of the mixture. For which, he generated a sample defined like the population in general in which he considers himself to the samples that are tested to compression they have the age of 28 days of curing, they get fixed for the different percentages of addition of fine aggregate which are: 0 %, 5 %, 10 %, 15 % and 20 %. Being a total sub of 45 samples. You show them that they are tried they have the age of 28 days of curing to Flexión, which consist of for the different percentages addition of fine aggregate they are: 0 %, 5 %, 10 %, 15 % and 20 %. Being a total sub of 45 samples. For this essay only he will fix the samples of the different percentages of addition of fine aggregate which are: 0 %, 5 %, 10 %, 15 % and 20 %. Being a total sub of 10 samples. We can affirm that the present investigation has like total of sample the quantity of 100. Like more noteworthy findings he has: Being able to catch up with the properties from resistance to compression required of 175 kg/cm<sup>2</sup>, resistance to equivalent push-up of 30 kg/cm<sup>2</sup> and coefficient of bigger permeability to 0,135 cm/s with addition from 11 % to 16 % of fine aggregate inside the mixture according to the report of ACI 522R 10 of the permeable concrete using thick aggregate of SPINDLE 6. Even though in our means the Concrete Permeable's use is not done because the background on this material indicate that it does not take place to the resistances desired for his use, it is for it that investigation hits like solution and give a concrete design for his implementation in the structures of the special pavements (trails, bike lanes and walkways), achieving an alternative of solution to the flood generated by the magnus rains and proposing the use of the urban systems of drains sustainable. In addition to achieve the minimal solicitations from the resistance to compression, resistance to equivalent flexure and coefficient of permeability of the permeable concrete for application in special pavements, results that those regulated values surpass could be obtained; Generating permeable concretes of resistances the greater than can be used for other intentions.



**Keywords:** Optimal range, resistance to compression, resistance to equivalent flexure, coefficient of permeability, special pavements, curve of approximation, sustainable drainage system, aggregates, plasticizing additive, workability, report ACI 522R 10, SPINDLE # 6.



## **INTRODUCCIÓN**

En la actualidad, debido al crecimiento de la población y por consiguiente de la infraestructura de vías pavimentadas que impermeabilizan el terreno, la elevada intensidad de las precipitaciones en temporadas de lluvia, la topografía de la ciudad y además de la falta de atención hacia los sistemas de alcantarillado en temas de mejora y mantenimiento; se presentan problemas de manejo de las aguas superficiales en todas las vías, se genera la acumulación de volúmenes excesivos de agua en la superficie, las cuales no pueden ser evacuadas, generando desbordamientos de los colectores de agua, aniegos en vías urbanas e incomodidad en la circulación de los peatones a través de la infraestructura vial.

Es por ello que la siguiente investigación titulada “DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019”, desarrollada en la Región del Cusco, Provincia de Cusco, pretende el planteamiento de un concreto de características permeables para su aplicación en un sistema de pavimento especial, pero para lo cual se necesita determinar el rango óptimo de agregado fino para que el concreto permeable cumpla con las resistencias de compresión exigidas Norma CE.010 Pavimentos Urbanos – RNE para pavimentos especiales, además que cumpla con un coeficiente de permeabilidad aceptable y la resistencia a flexión equivalente según el reporte ACI 522R-10.

Para encontrar y determinar el rango óptimo de agregado fino, se procedió a generar muestras de concreto permeable con distintos porcentajes de adición de agregado fino, los cuales fueron 0%, 5%, 10%, 15% y 20%.



## ÍNDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>i</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>v</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ix</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>xi</b>
<b>1 Capítulo I: Planteamiento del Problema</b> .....	<b>1</b>
1.1. Identificación del problema .....	1
1.1.1. Descripción del problema .....	1
1.1.2. Formulación interrogativa del problema .....	4
1.1.2.1. Formulación interrogativa del problema general.....	4
1.1.2.2. Formulación interrogativa de los problemas específicos .....	4
1.2. Justificación e importancia de la investigación .....	4
1.2.1. Justificación técnica .....	4
1.2.2. Justificación social.....	4
1.2.3. Justificación por viabilidad .....	5
1.2.4. Justificación por relevancia.....	5
1.3. Limitaciones de la investigación .....	5
1.4. Objetivo de la investigación .....	7
1.4.1. Objetivo general .....	7
1.4.2. Objetivos específicos .....	7
<b>2 Capítulo II: Marco Teórico</b> .....	<b>8</b>
2.1. Antecedentes de la investigación actual .....	8
2.1.1. Antecedentes a Nivel Nacional .....	8



2.1.2. Antecedentes a Nivel Internacional .....	10
2.2. Aspectos teóricos pertinentes .....	12
2.2.1. Desarrollo sostenible .....	12
2.2.1.1. Definición .....	12
2.2.1.2. Teoría de las tres dimensiones del concepto de desarrollo sostenible .....	13
2.2.2. Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible .....	14
2.2.2.1. Definición .....	14
2.2.2.2. Problemática de los sistemas de drenajes convencional .....	14
2.2.2.3. Enfoque alternativo para la gestión de agua pluviales .....	16
2.2.2.4. Beneficios .....	16
2.2.3. Pavimentos .....	17
2.2.3.1. Definición .....	17
2.2.3.1.1. Componentes de un pavimento .....	17
2.2.3.1.2. Pavimento Rígido .....	17
2.2.4. Pavimentos permeables .....	18
2.2.4.1. Ventajas del pavimento permeable .....	18
2.2.4.2. Elementos de los pavimentos permeables .....	19
2.2.4.2.1. Concreto permeable .....	19
2.2.5. Características y especificaciones técnicas del concreto para su uso en pavimentos especiales .....	40
2.2.6. Curvas de Aproximación .....	41
2.2.6.1. ¿Qué es una curva de aproximación? .....	41
2.2.6.2. ¿Para qué sirven las curvas de aproximación? .....	41
2.2.6.3. Ecuaciones de curvas de aproximación .....	41
2.2.6.4. El modelo de regresión lineal simple .....	43
2.2.6.5. Mínimos cuadrados y la curva de aproximación .....	43
2.2.6.6. Regresión a través del origen .....	44



2.2.6.7. El coeficiente de correlación lineal de Pearson .....	45
2.2.6.8. El Coeficiente de determinación lineal.....	46
2.2.6.9. Predicciones.....	46
2.3. Hipótesis.....	46
2.3.1. Hipótesis general .....	46
2.3.2. Sub hipótesis .....	46
2.4. Definición de variables .....	47
2.4.1. Variables dependientes .....	47
2.4.2. Variables independientes.....	47
2.4.3. Cuadro de operacionalización de variables .....	57
<b>3 Capítulo III: Metodología .....</b>	<b>58</b>
3.1. Metodología de la investigación.....	58
3.1.1. Enfoque de la investigación .....	58
3.1.2. Nivel o alcance de la investigación.....	58
3.1.3. Método de investigación .....	58
3.2. Diseño de la investigación.....	58
3.2.1. Diseño metodológico.....	58
3.2.2. Diseño de ingeniería .....	59
3.3. Población y muestra.....	62
3.3.1. Población.....	62
3.3.1.1. Descripción de la población .....	62
3.3.1.2. Cuantificación de la población.....	62
3.3.2. Muestra .....	63
3.3.2.1. Descripción de la muestra .....	63
3.3.2.2. Cuantificación de la muestra .....	63
3.3.2.3. Método de muestreo.....	64
3.3.2.4. Criterio de evaluación de muestra .....	64



3.3.3. Criterios de inclusión .....	64
3.4. Instrumentos.....	66
3.4.1. Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos .....	66
3.4.1.1. Porcentaje total de humedad evaporable del agregado por secado para agregado fino	66
3.4.1.2. Porcentaje total de humedad evaporable del agregado por secado para agregado grueso	67
3.4.1.3. Material más fino que pasa la malla N° 200 para agregado fino .....	68
3.4.1.4. Material más fino que pasa la malla N° 200 para agregado grueso.....	69
3.4.1.5. Análisis granulométrico para agregado fino .....	70
3.4.1.6. Análisis granulométrico para agregado grueso .....	71
3.4.1.7. Resistencia al desgaste del agregado grueso por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles.....	72
3.4.1.8. Peso Volumétrico para el agregado fino .....	73
3.4.1.9. Peso volumétrico para el agregado grueso .....	74
3.4.1.10. Peso específico y absorción para el agregado fino .....	75
3.4.1.11. Peso específico y absorción para el agregado grueso.....	76
3.4.1.12. Diseño de mezcla ACI 522R-10.....	77
3.4.1.13. Verificación del porcentaje de vacíos de las muestras.....	78
3.4.1.14. Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto .....	79
3.4.1.15. Resistencia a la flexión del concreto.....	80
3.4.1.16. Coeficiente de permeabilidad .....	81
3.4.2. Instrumentos de ingeniería.....	82
3.5. Procedimientos de recolección de datos .....	87
3.5.1. Ensayos para agregados del concreto permeable.....	87
3.5.1.1. Muestreo de agregados en campo.....	87
3.5.1.2. Práctica normativa para reducir las muestras de agregados a tamaño de prueba	89





3.5.1.3.	Porcentaje total de humedad evaporable del agregado por secado .....	91
3.5.1.4.	Material más fino que pasa la malla N° 200 .....	94
3.5.1.5.	Análisis granulométrico .....	97
3.5.1.6.	Resistencia al desgaste del agregado grueso por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles .....	104
3.5.1.7.	Peso específico y absorción del agregado grueso .....	106
3.5.1.8.	Peso específico y absorción del agregado fino .....	109
3.5.1.9.	Peso Volumétrico de los agregados .....	113
3.5.2.	Elaboración y curado de los especímenes .....	118
3.5.2.1.	Diseño de mezcla del concreto permeable .....	118
3.5.2.2.	Elaboración de especímenes de concreto .....	121
3.5.2.3.	Curado de los especímenes de concreto .....	123
3.5.3.	Ensayos para el concreto .....	124
3.5.3.1.	Verificación del porcentaje de vacíos de las muestras .....	124
3.5.3.2.	Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto .....	127
3.5.3.3.	Resistencia a flexión del concreto (utilizando viga simple con carga en los tercios) .....	133
3.5.3.4.	Coefficiente de permeabilidad .....	140
3.6.	Procedimientos de análisis de datos .....	143
3.6.1.	Ensayos para agregados del concreto permeable .....	143
3.6.1.1.	Muestreo de agregados en campo .....	143
3.6.1.1.1.	Procesamiento .....	143
3.6.1.1.2.	Diagramas .....	143
3.6.1.1.3.	Análisis .....	143
3.6.1.2.	Práctica normativa para reducir las muestras de agregados a tamaños de prueba .....	144
3.6.1.2.1.	Procesamiento .....	144
3.6.1.2.2.	Diagramas .....	144



3.6.1.2.3. Análisis.....	144
3.6.1.3. Porcentaje total de humedad evaporable del agregado por secado .....	145
3.6.1.3.1. Procesamiento .....	145
3.6.1.3.2. Diagramas.....	146
3.6.1.3.3. Análisis.....	146
3.6.1.3.4. Cálculos. - .....	146
3.6.1.4. Material más fino que pasa por la malla N° 200 .....	146
3.6.1.4.1. Procesamiento .....	146
3.6.1.4.2. Diagramas.....	147
3.6.1.4.3. Análisis de la prueba.....	147
3.6.1.4.4. Cálculos. - .....	148
3.6.1.5. Análisis granulométrico.....	148
3.6.1.5.1. Procesamiento .....	148
3.6.1.5.2. Diagramas.....	151
3.6.1.5.3. Análisis.....	153
3.6.1.6. Resistencia al desgaste del agregado grueso por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles.....	154
3.6.1.6.1. Procesamiento .....	154
3.6.1.6.2. Diagramas.....	155
3.6.1.6.3. Análisis.....	155
3.6.1.6.4. Cálculos. - .....	155
3.6.1.7. Peso específico y absorción del agregado grueso.....	155
3.6.1.7.1. Procesamiento .....	155
3.6.1.7.2. Diagramas.....	156
3.6.1.7.3. Análisis.....	157
3.6.1.7.4. Cálculos. - .....	157
3.6.1.8. Peso específico y absorción del agregado fino .....	158



<b>3.6.1.8.1. Procesamiento</b> .....	158
<b>3.6.1.8.2. Diagramas</b> .....	159
<b>3.6.1.8.3. Análisis</b> .....	160
<b>3.6.1.8.4. Cálculos. -</b> .....	160
<b>3.6.1.9. Peso Volumétrico de los agregados</b> .....	160
<b>3.6.1.9.1. Procesamiento</b> .....	160
<b>3.6.1.9.2. Diagramas</b> .....	162
<b>3.6.1.9.3. Análisis</b> .....	163
<b>3.6.1.9.4. Cálculos. -</b> .....	163
<b>3.6.2. Elaboración de especímenes</b> .....	164
<b>3.6.2.1. Diseño de mezclas del concreto permeable</b> .....	164
<b>3.6.2.1.1. Procesamiento</b> .....	164
<b>3.6.3. Ensayos para el concreto</b> .....	171
<b>3.6.3.1. Verificación del porcentaje de vacíos en las muestras</b> .....	171
<b>3.6.3.1.1. Procesamiento</b> .....	171
<b>3.6.3.1.2. Diagramas</b> .....	174
<b>3.6.3.1.3. Análisis</b> .....	176
<b>3.6.3.1.4. Cálculos. -</b> .....	177
<b>3.6.3.2. Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto</b> .....	177
<b>3.6.3.2.1. Procesamiento</b> .....	177
<b>3.6.3.2.2. Diagramas</b> .....	180
<b>3.6.3.2.3. Análisis</b> .....	182
<b>3.6.3.2.4. Cálculos. -</b> .....	183
<b>3.6.3.3. Resistencia a flexión del concreto (utilizando viga simple con carga en los tercios)</b> 183	
<b>3.6.3.3.1. Procesamiento</b> .....	183
<b>3.6.3.3.2. Diagramas</b> .....	185



3.6.3.3.3. Análisis.....	188
3.6.3.3.4. Cálculos. - .....	189
3.6.3.4. Coeficiente de permeabilidad.....	189
3.6.3.4.1. Procesamiento .....	189
3.6.3.4.2. Diagramas.....	192
3.6.3.4.3. Análisis.....	194
3.6.3.4.4. Cálculos. - .....	195
3.6.4. Análisis estadístico de dispersión y tendencia .....	195
3.6.4.1. Para la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto y el porcentaje de agregado fino .....	195
3.6.4.1.1. Procesamiento .....	195
3.6.4.1.2. Diagramas.....	196
3.6.4.1.3. Análisis.....	196
3.6.4.2. Para la resistencia a flexión del concreto y el porcentaje de agregado fino.....	196
3.6.4.2.1. Procesamiento .....	196
3.6.4.2.2. Diagramas.....	197
3.6.4.2.3. Análisis.....	197
3.6.4.3. Para el coeficiente de permeabilidad y el porcentaje de agregado fino .....	197
3.6.4.3.1. Procesamiento .....	197
3.6.4.3.2. Diagramas.....	198
3.6.4.3.3. Análisis.....	198
3.6.4.4. Para la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto y la resistencia a flexión del concreto.....	198
3.6.4.4.1. Procesamiento .....	198
3.6.4.4.2. Diagramas.....	199
3.6.4.4.3. Análisis.....	200
3.6.4.5. Para la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto y el coeficiente de permeabilidad .....	200



<b>3.6.4.5.1. Procesamiento</b> .....	200
<b>3.6.4.5.2. Diagramas</b> .....	200
<b>3.6.4.5.3. Análisis</b> .....	201
<b>3.6.4.6. Para la resistencia a resistencia a flexión del concreto y el coeficiente de permeabilidad</b> .....	201
<b>3.6.4.6.1. Procesamiento</b> .....	201
<b>3.6.4.6.2. Diagramas</b> .....	201
<b>3.6.4.6.3. Análisis</b> .....	202
<b>3.6.5. Análisis estadístico, parámetros de la curva de aproximación</b> .....	202
<b>3.6.5.1. Para la resistencia a compresión y el porcentaje de agregado fino</b> .....	202
<b>3.6.5.1.1. Procesamiento</b> .....	202
<b>3.6.5.1.2. Análisis</b> .....	203
<b>3.6.5.2. Para la resistencia a flexión del concreto y el porcentaje de agregado fino</b> .....	203
<b>3.6.5.2.1. Procesamiento</b> .....	203
<b>3.6.5.2.2. Análisis</b> .....	204
<b>3.6.5.3. Para el coeficiente de permeabilidad y el porcentaje de agregado fino</b> .....	204
<b>3.6.5.3.1. Procesamiento</b> .....	204
<b>3.6.5.3.2. Análisis</b> .....	205
<b>3.6.5.4. Para la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto y la resistencia a flexión del concreto</b> .....	205
<b>3.6.5.4.1. Procesamiento</b> .....	205
<b>3.6.5.4.2. Análisis</b> .....	206
<b>3.6.5.5. Para la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto y el coeficiente de permeabilidad</b> .....	206
<b>3.6.5.5.1. Procesamiento</b> .....	206
<b>3.6.5.5.2. Análisis</b> .....	207
<b>3.6.5.6. Para la resistencia a flexión del concreto y el coeficiente de permeabilidad</b> ....	207
<b>3.6.5.6.1. Procesamiento</b> .....	207



3.6.5.6.2. Análisis.....	208
3.6.6. Análisis estadístico de correlación de los resultados.....	208
3.6.6.1. Para la resistencia a compresión y el porcentaje de agregado fino .....	208
3.6.6.1.1. Procesamiento .....	208
3.6.6.1.2. Análisis.....	209
3.6.6.2. Para la resistencia a flexión del concreto y el porcentaje de agregado fino.....	209
3.6.6.2.1. Procesamiento .....	209
3.6.6.2.2. Análisis.....	210
3.6.6.3. Para el coeficiente de permeabilidad y el porcentaje de agregado fino .....	210
3.6.6.3.1. Procesamiento .....	210
3.6.6.3.2. Análisis.....	210
3.6.6.4. Para la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto y la resistencia a flexión del concreto.....	211
3.6.6.4.1. Procesamiento .....	211
3.6.6.4.2. Análisis.....	211
3.6.6.5. Para la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto y el coeficiente de permeabilidad .....	212
3.6.6.5.1. Procesamiento .....	212
3.6.6.5.2. Análisis.....	212
3.6.6.6. Para la resistencia a resistencia a flexión del concreto y el coeficiente de permeabilidad.....	212
3.6.6.6.1. Procesamiento .....	212
3.6.6.6.2. Análisis.....	213
<b>4 Capítulo IV: Resultados.....</b>	<b>214</b>
4.1. Resultado N° 1: Características de los agregados.....	214
4.1.1. Características del agregado grueso de la cantera de Vicho.....	214
4.1.2. Características del agregado fino de Pisac y Cunyac en proporciones de 75% y 25% respectivamente .....	215



4.2. Resultados N° 2: Curva de aproximación porcentaje de agregado fino – resistencia a compresión .....	216
4.3. Resultados N° 3: Curva de aproximación porcentaje de agregado fino – resistencia a flexión .....	218
4.4. Resultados N° 4: Curva de aproximación porcentaje de agregado fino – coeficiente de permeabilidad .....	219
4.5. Resultados N° 5: Curva de aproximación resistencia a compresión – resistencia a flexión .....	220
4.6. Resultados N° 6: Curva de aproximación resistencia a compresión – coeficiente de permeabilidad .....	221
4.7. Resultados N° 7: Curva de aproximación resistencia a flexión – coeficiente de permeabilidad .....	222
4.8. Resultados N° 8: Porcentaje óptimo de agregado fino .....	223
<b>5 Capítulo V: Discusión .....</b>	<b>225</b>
5.1. Contraste de resultados con los parámetros necesarios para uso de los agregados en la elaboración de concreto permeable .....	225
5.2. Contraste de resultados referentes a los antecedentes .....	226
5.3. Contraste de resultados referentes del marco teórico .....	228
5.4. Interpretación de los resultados encontrados en la investigación .....	231
5.5. Comentario de la demostración de la hipótesis .....	232
5.6. Aportes de la investigación .....	233
5.7. Incorporación de temas nuevos que se han presentado durante el proceso de la investigación que no estaba considerado dentro de los objetivos de la investigación ....	234
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>239</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>243</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>245</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>249</b>



**ANEXOS**..... 252





## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Cambios Inducidos por el desarrollo urbano en la transformación lluvia - escorrentía .....	15
Tabla N° 2: Clasificación de los agregados según su masa unitaria .....	22
Tabla N° 3: Clasificación de las partículas del agregado según su forma .....	24
Tabla N° 4: Clasificación del agregado fino de acuerdo con el valor del módulo de finura. ..	26
Tabla N° 5: Límites permisibles para agua de mezcla y curado .....	32
Tabla N° 6: Rangos típico de las proporciones de materiales en el concreto permeable.....	34
Tabla N° 7: Relación del contenido de vacíos y el contenido de pasta, para agregado .....	36
Tabla N° 8: Resistencia a compresión versus Contenido de Aire.....	37
Tabla N° 9: Resistencia a flexión versus contenido de aire .....	38
Tabla N° 10: Requisitos Estructurales de los elementos de un Pavimento Especial .....	40
Tabla N° 11: Valores de equivalencias entre resistencia a compresión y resistencia a flexión41	
Tabla N° 12: Ejemplo de relación lineal entre dos variables .....	42
Tabla N° 13: Ejemplo de relación cuadrática o parabólica entre dos variables .....	42
Tabla N° 14: Diagrama de dispersión y línea de las medias hipotéticas.....	43
Tabla N° 15: Los residuales como desviaciones verticales.....	44
Tabla N° 16: Cuadro de operacionalización de variables .....	57
Tabla N° 17: Cuantificación de testigos para ensayos .....	63
Tabla N° 18: Pesos mínimos para muestreo de agregados.....	88
Tabla N° 19: Datos de pesos mínimos para extracción y muestreo de agregados. ....	89
Tabla N° 20: Datos de cantidad de material representativo para ensayos de los agregados ....	91
Tabla N° 21: Peso mínimo del material para % Humedad .....	91
Tabla N° 22: Datos de porcentaje total de humedad evaporable por secado del agregado fino .....	93
Tabla N° 23: Datos de porcentaje total de humedad evaporable por secado del agregado grueso .....	94
Tabla N° 24: Peso mínimo del material para material más fino que pasa la malla N° 200 .....	95
Tabla N° 25: Datos de material más fino que pasa la malla N° 200 del agregado fino .....	96
Tabla N° 26: Datos de material más fino que pasa la malla N° 200 del agregado grueso.....	97
Tabla N° 27: Peso mínimo para el análisis granulométrico. ....	98
Tabla N° 28: Datos del análisis granulométrico del agregado grueso de Vicho .....	100



Tabla N° 29: Datos del análisis granulométrico del agregado fino de Cunyac.....	101
Tabla N° 30: Datos del análisis granulométrico del agregado fino de Pisac .....	102
Tabla N° 31: Datos del análisis granulométrico del agregado fino de Cunyac y Pisac compensado en proporciones 25% y 75% respectivamente.....	103
Tabla N° 32: Método de ensayo .....	104
Tabla N° 33: Gradación de las muestras de ensayo .....	105
Tabla N° 34: Datos de ensayo de resistencia al desgaste por abrasión del agregado grueso de Vicho .....	106
Tabla N° 35: Datos de ensayo del peso específico y absorción del agregado grueso de Vicho .....	109
Tabla N° 36: Datos de ensayo del peso específico y absorción del agregado fino de Cunyac .....	112
Tabla N° 37: Datos de ensayo del peso específico y absorción del agregado fino de Pisac ..	113
Tabla N° 38: Datos de ensayo de peso volumétrico del agregado grueso de Vicho.....	116
Tabla N° 39: Datos de ensayo de peso volumétrico del agregado fino de Cunyac.....	117
Tabla N° 40: Datos de ensayo de peso volumétrico del agregado fino de Pisac .....	118
Tabla N° 41: Valores efectivos de volumen de agregado grueso seco en una unidad de concreto b/bo) .....	119
Tabla N° 42: Relación entre el volumen de pasta y el contenido de vacíos .....	119
Tabla N° 43: Datos de verificación del porcentaje de vacíos de muestras de concreto permeable .....	126
Tabla N° 44: Datos de ensayo de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos con 0 % de adición de agregado fino.....	129
Tabla N° 45: Datos de ensayo de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos con 5 % de adición de agregado fino.....	130
Tabla N° 46: Datos de ensayo de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos con 10 % de adición de agregado fino .....	131
Tabla N° 47: Datos de ensayo de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos con 15 % de adición de agregado fino .....	132
Tabla N° 48: Datos de ensayo de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos con 20 % de adición de agregado fino .....	133
Tabla N° 49: Datos de ensayo de resistencia a flexión con 0 % de adición de agregado fino .....	136



Tabla N° 50: Datos de ensayo de resistencia a flexión con 5 % de adición de agregado fino .....	137
Tabla N° 51: Datos de ensayo de resistencia a flexión con 10 % de adición de agregado fino .....	138
Tabla N° 52: Datos de ensayo de resistencia a flexión con 15 % de adición de agregado fino .....	139
Tabla N° 53: Datos de ensayo de resistencia a flexión con 20 % de adición de agregado fino .....	140
Tabla N° 54: Datos de ensayo de coeficiente de permeabilidad de todas las muestras .....	142
Tabla N° 55: Pesos mínimos de extracción y muestreo de agregados de las canteras de Vicho, Pisac y Cunyac. ....	143
Tabla N° 56: Comparación de los pesos mínimos de extracción y muestreo de agregados ..	143
Tabla N° 57: Pesos reducidos de muestra de agregados de las canteras de Vicho, Pisac y Cunyac para pruebas de laboratorio .....	144
Tabla N° 58: Comparación de pesos reducidos de muestra de agregados para pruebas de laboratorio .....	144
Tabla N° 59: Porcentaje total de humedad del agregado fino de Cunyac 25% y Pisac 75% respectivamente .....	145
Tabla N° 60: Porcentaje total de humedad del agregado grueso de Vicho .....	145
Tabla N° 61: Comparación del porcentaje total de humedad de los agregados .....	146
Tabla N° 62: Cálculo del material que pasa la malla número 200 del agregado fino de Cunyac 25% y Pisac 75% respectivamente .....	147
Tabla N° 63: Cálculo del material que pasa la malla número 200 del agregado grueso de Vicho .....	147
Tabla N° 64: Comparación del porcentaje de material que pasa la malla #200 de los agregados .....	147
Tabla N° 65: Cálculo del análisis granulométrico del agregado grueso de Vicho .....	148
Tabla N° 66: Cálculo del análisis granulométrico del agregado fino de Cunyac .....	149
Tabla N° 67: Cálculo del análisis granulométrico del agregado fino de Pisac .....	150
Tabla N° 68: Cálculo del análisis granulométrico del agregado fino compensado de Cunyac 25% y Pisac 75% respectivamente .....	151
Tabla N° 69: Comparación del análisis granulométrico y curva de agregado grueso de Vicho .....	151



Tabla N° 70: Comparación del análisis granulométrico y curva de agregado fino de Cunyac .....	152
Tabla N° 71: Comparación del análisis granulométrico y curva de agregado fino de Pisac .	152
Tabla N° 72: Comparación del análisis granulométrico y curva de agregado fino compensado de Cunyac y Pisac .....	153
Tabla N° 73: Cálculos del desgaste por abrasión del agregado grueso en la máquina de los Ángeles.....	154
Tabla N° 74: Comparación del desgaste por abrasión en la máquina de los Ángeles del agregado grueso de Vicho.....	155
Tabla N° 75: Cálculo del peso específico y absorción del agregado grueso de Vicho .....	156
Tabla N° 76: Comparación del peso específico del agregado grueso de Vicho.....	156
Tabla N° 77: Comparación del porcentaje de absorción del agregado grueso de Vicho .....	157
Tabla N° 78: Cálculo del peso específico y absorción del agregado fino de la cantera de Cunyac .....	158
Tabla N° 79: Cálculo del peso específico y absorción del agregado fino de la cantera de Pisac .....	158
Tabla N° 80: Comparación del peso específico del agregado fino de Cunyac y Pisac .....	159
Tabla N° 81: Comparación del porcentaje de absorción del agregado fino de Cunyac y Pisac .....	159
Tabla N° 82: Cálculo del peso volumétrico del agregado grueso de Vicho.....	161
Tabla N° 83: Cálculo del peso volumétrico del agregado fino de Cunyac .....	161
Tabla N° 84: Cálculo del peso volumétrico del agregado fino de Pisac .....	162
Tabla N° 85: Comparación del peso volumétrico del agregado grueso de Vicho .....	162
Tabla N° 86: Comparación del peso volumétrico del agregado fino de Cunyac y Pisac.....	163
Tabla N° 87: Cálculos de dosificación del C°P° con 0% de agregado fino.....	166
Tabla N° 88: Cálculos de dosificación del C°P° con 5% de agregado fino.....	167
Tabla N° 89: Cálculos de dosificación del C°P° con 10% de agregado fino.....	168
Tabla N° 90: Cálculos de dosificación del C°P° con 15% de agregado fino.....	169
Tabla N° 91: Cálculos de dosificación del C°P° con 20% de agregado fino.....	170
Tabla N° 92: Tabla de dosificaciones del concreto permeable .....	171
Tabla N° 93: Cálculos del porcentaje de vacíos del C°P° con 0% de agregado fino.....	172
Tabla N° 94: Cálculos del porcentaje de vacíos del C°P° con 5% de agregado fino.....	172
Tabla N° 95: Cálculos del porcentaje de vacíos del C°P° con 10% de agregado fino.....	172
Tabla N° 96: Cálculos del porcentaje de vacíos del C°P° con 15% de agregado fino.....	173



Tabla N° 97: Cálculos del porcentaje de vacíos del C°P° con 20% de agregado fino.....	173
Tabla N° 98: Comparación del porcentaje de vacíos del C°P° con 0% de agregado fino .....	174
Tabla N° 99: Comparación del porcentaje de vacíos del C°P° con 5% de agregado fino .....	174
Tabla N° 100: Comparación del porcentaje de vacíos del C°P° con 10% de agregado fino .	175
Tabla N° 101: Comparación del porcentaje de vacíos del C°P° con 15% de agregado fino .	175
Tabla N° 102: Comparación del porcentaje de vacíos del C°P° con 20% de agregado fino .	176
Tabla N° 103: Cálculos de resistencia a compresión de C°P° con 0% de agregado fino .....	177
Tabla N° 104: Cálculos de resistencia a compresión de C°P° con 5% de agregado fino .....	178
Tabla N° 105: Cálculos de resistencia a compresión de C°P° con 10% de agregado fino ....	178
Tabla N° 106: Cálculos de resistencia a compresión de C°P° con 15% de agregado fino ....	179
Tabla N° 107: Cálculos de resistencia a compresión de C°P° con 20% de agregado fino ....	179
Tabla N° 108: Comparación de la resistencia a compresión del C°P° con 0% de agregado fino .....	180
Tabla N° 109: Comparación de la resistencia a compresión del C°P° con 5% de agregado fino .....	180
Tabla N° 110: Comparación de la resistencia a compresión del C°P° con 10% de agregado fino .....	181
Tabla N° 111: Comparación de la resistencia a compresión del C°P° con 15% de agregado fino .....	181
Tabla N° 112: Comparación de la resistencia a compresión del C°P° con 20% de agregado fino .....	182
Tabla N° 113: Cálculos de resistencia a flexión de C°P° con 0% de agregado fino.....	183
Tabla N° 114: Cálculos de resistencia a flexión de C°P° con 5% de agregado fino.....	184
Tabla N° 115: Cálculos de resistencia a flexión de C°P° con 10% de agregado fino.....	184
Tabla N° 116: Cálculos de resistencia a flexión de C°P° con 15% de agregado fino.....	185
Tabla N° 117: Cálculos de resistencia a flexión de C°P° con 20% de agregado fino.....	185
Tabla N° 118: Comparación de la resistencia a flexión del C°P° con 0% de agregado fino .	186
Tabla N° 119: Comparación de la resistencia a flexión del C°P° con 5% de agregado fino .	186
Tabla N° 120: Comparación de la resistencia a flexión del C°P° con 10% de agregado fino	187
Tabla N° 121: Comparación de la resistencia a flexión del C°P° con 15% de agregado fino	187
Tabla N° 122: Comparación de la resistencia a flexión del C°P° con 20% de agregado fino	188
Tabla N° 123: Cálculos de coeficiente de permeabilidad del C°P° con 0% de agregado fino .....	190



Tabla N° 124: Cálculos de coeficiente de permeabilidad del C°P° con 5% de agregado fino .....	190
Tabla N° 125: Cálculos de coeficiente de permeabilidad del C°P° con 10% de agregado fino .....	190
Tabla N° 126: Cálculos de coeficiente de permeabilidad del C°P° con 15% de agregado fino .....	191
Tabla N° 127: Cálculos de coeficiente de permeabilidad del C°P° con 20% de agregado fino .....	191
Tabla N° 128: Comparación del coeficiente de permeabilidad del C°P° con 0% de agregado fino .....	192
Tabla N° 129: Comparación del coeficiente de permeabilidad del C°P° con 5% de agregado fino .....	192
Tabla N° 130: Comparación del coeficiente de permeabilidad del C°P° con 10% de agregado fino .....	193
Tabla N° 131: Comparación del coeficiente de permeabilidad del C°P° con 15% de agregado fino .....	193
Tabla N° 132: Comparación del coeficiente de permeabilidad del C°P° con 20% de agregado fino .....	194
Tabla N° 133: Datos de resistencia a compresión respecto a la adición de agregado fino para análisis de dispersión.....	195
Tabla N° 134: Dispersión entre la resistencia a compresión respecto del porcentaje de adición de agregado fino .....	196
Tabla N° 135: Datos de resistencia a flexión respecto a la adición de agregado fino para análisis de dispersión.....	196
Tabla N° 136: Dispersión entre la resistencia a flexión respecto del porcentaje de adición de agregado fino.....	197
Tabla N° 137: Datos de coeficiente de permeabilidad respecto a la adición de agregado fino para análisis de dispersión.....	197
Tabla N° 138: Dispersión entre el coeficiente de permeabilidad respecto del porcentaje de adición de agregado fino .....	198
Tabla N° 139: Datos de resistencia a compresión y resistencia a flexión (kg/cm <sup>2</sup> ).....	198
Tabla N° 140: Datos de resistencia a compresión y resistencia a flexión (psi).....	199
Tabla N° 141: Dispersión entre la resistencia a flexión respecto de la resistencia a compresión .....	199



Tabla N° 142: Datos de resistencia a compresión y permeabilidad.....	200
Tabla N° 143: Dispersión entre el coeficiente de permeabilidad respecto de la resistencia a compresión .....	200
Tabla N° 144: Datos de resistencia a flexión y permeabilidad .....	201
Tabla N° 145: Dispersión entre el coeficiente de permeabilidad respecto de la resistencia a flexión.....	201
Tabla N° 146: Datos de resistencia a compresión respecto a la adición de agregado fino para la obtención de los parámetros de la curva. ....	202
Tabla N° 147: Resultados del análisis para la obtención de los parámetros de la curva resistencia a compresión y porcentaje de agregado fino .....	202
Tabla N° 148: Datos de resistencia a flexión respecto a la adición de agregado fino para la obtención de los parámetros de la curva .....	203
Tabla N° 149: Resultados del análisis para la obtención de los parámetros de la curva resistencia a flexión y porcentaje de agregado fino .....	203
Tabla N° 150: Datos de coeficiente de permeabilidad respecto a la adición de agregado fino para la obtención de los parámetros de la curva.....	204
Tabla N° 151: Resultados del análisis para la obtención de los parámetros de la curva coeficiente de permeabilidad y porcentaje de agregado fino .....	204
Tabla N° 152: Datos de resistencia a compresión y resistencia a flexión.....	205
Tabla N° 153: Resultados del análisis para la obtención de los parámetros de la curva resistencia a compresión y resistencia a flexión.....	206
Tabla N° 154: Datos de resistencia a compresión y coeficiente de permeabilidad.....	206
Tabla N° 155: Resultados del análisis para la obtención de los parámetros de la curva resistencia a compresión y coeficiente de permeabilidad .....	207
Tabla N° 156: Datos de resistencia a flexión y coeficiente de permeabilidad.....	207
Tabla N° 157: Resultados del análisis para la obtención de los parámetros de la curva resistencia a flexión y coeficiente de permeabilidad.....	208
Tabla N° 158: Datos de resistencia a compresión respecto a la adición de agregado fino para análisis de correlación .....	209
Tabla N° 159: Resultados del análisis de correlación entre resistencia a compresión y porcentaje de agregado fino .....	209
Tabla N° 160: Datos de resistencia a flexión respecto a la adición de agregado fino para análisis de correlación .....	209



Tabla N° 161: Resultados del análisis de correlación entre resistencia a flexión y porcentaje de agregado fino.....	210
Tabla N° 162: Datos de coeficiente de permeabilidad respecto a la adición de agregado fino para análisis de correlación .....	210
Tabla N° 163: Resultados del análisis de correlación entre coeficiente de permeabilidad y porcentaje de agregado fino .....	210
Tabla N° 164: Datos de resistencia a compresión y resistencia a flexión.....	211
Tabla N° 165: Resultados del análisis de correlación entre la resistencia a compresión y resistencia a flexión.....	211
Tabla N° 166: Datos de resistencia a compresión y coeficiente de permeabilidad.....	212
Tabla N° 167: Resultados del análisis de correlación entre la resistencia a compresión y coeficiente de permeabilidad.....	212
Tabla N° 168: Datos de resistencia a flexión y coeficiente de permeabilidad.....	212
Tabla N° 169: Resultados del análisis de correlación entre la resistencia a flexión y coeficiente de permeabilidad .....	213
Tabla N° 170: Resumen de las características del agregado grueso .....	214
Tabla N° 171: Resumen de las características del agregado fino.....	215
Tabla N° 172: Curva de aproximación porcentaje de agregado fino – resistencia a compresión .....	216
Tabla N° 173: Solicitaciones de resistencia a compresión del concreto permeable .....	217
Tabla N° 174: Resumen de modelo y estimaciones de parámetro de la curva porcentaje de agregado fino - resistencia a compresión .....	217
Tabla N° 175: Curva de aproximación porcentaje de agregado fino – resistencia a flexión .	218
Tabla N° 176: Resumen de modelo y estimaciones de parámetro de la curva porcentaje de agregado fino - resistencia a flexión.....	218
Tabla N° 177: Curva de aproximación porcentaje de agregado fino – coeficiente de permeabilidad .....	219
Tabla N° 178: Resumen de modelo y estimaciones de parámetro de la curva porcentaje de agregado fino – coeficiente de permeabilidad.....	219
Tabla N° 179: Curva de aproximación resistencia a compresión – resistencia a flexión .....	220
Tabla N° 180: Resumen de modelo y estimaciones de parámetro de la curva resistencia a compresión – resistencia a flexión .....	221
Tabla N° 181: Curva de aproximación resistencia a compresión – coeficiente de permeabilidad .....	221





Tabla N° 182: Resumen de modelo y estimaciones de parámetro de la curva resistencia a compresión – coeficiente de permeabilidad .....	222
Tabla N° 183: Curva de aproximación resistencia a flexión – coeficiente de permeabilidad	222
Tabla N° 184: Resumen de modelo y estimaciones de parámetro de la curva resistencia a flexión – coeficiente de permeabilidad.....	223
Tabla N° 185: Intersección de curvas de aproximación de resistencia a compresión, flexión y coeficiente de permeabilidad.....	223
Tabla N° 186: Intersección de rangos individuales de las propiedades del concreto permeable para determinación de rango óptimo de agregado fino .....	224
Tabla N° 187: Resumen de parámetros calculados del porcentaje óptimo de agregado fino	224
Tabla N° 188: Parámetros y características del agregado grueso de Vicho.....	225
Tabla N° 189: Parámetros y características del agregado fino compensado de Pisac y Cunyac .....	226
Tabla N° 190: Cuadro resumen, características de los agregados Vicho y Zurite .....	227
Tabla N° 191: Cuadro Resumen de todos los Ensayos Realizados en la Investigación .....	227
Tabla N° 192: Diagrama de comparación de los datos obtenidos de resistencia a compresión y resistencia a flexión en psi.....	229
Tabla N° 193: Diagrama de comparación de los datos obtenidos de contenido de vacíos respecto al porcentaje de agregado fino.....	231
Tabla N° 194: Diagrama de comparación de los datos obtenidos de resistencia a compresión respecto al contenido de vacíos .....	232
Tabla N° 195: Análisis de costo unitario para la elaboración del concreto permeable $f'c = 175$ kg/cm <sup>2</sup> .....	237
Tabla N° 196: Análisis de costo unitario para la elaboración del concreto convencional $f'c = 175$ kg/cm <sup>2</sup> .....	238



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Ejemplificación de la disminución de la intercepción natural y la evapotranspiración.....	1
Figura N° 2: Ciudad del Cusco, Plaza de Armas .....	2
Figura N° 3: Imagen de intensas lluvias en la ciudad del Cusco .....	3
Figura N° 4: Colapso del sistema de alcantarillado en las calles de la ciudad del Cusco .....	3
Figura N° 5: Las tres dimensiones del concepto de sostenibilidad.....	13
Figura N° 6: Pavimentos con concreto permeable .....	18
Figura N° 7: Concreto permeable.....	19
Figura N° 8: Paso de agua a través de concreto permeable .....	21
Figura N° 9: Condiciones de humedad de los agregados.....	27
Figura N° 10: Cemento Portland.....	29
Figura N° 11: Clínter.....	29
Figura N° 12: Permeámetro.....	39
Figura N° 13: Ficha de recolección de datos del ensayo de porcentaje total de humedad evaporable del agregado por secado para agregado fino.....	66
Figura N° 14: Ficha de recolección de datos del ensayo de porcentaje total de humedad evaporable del agregado por secado para agregado grueso .....	67
Figura N° 15: Ficha de recolección de datos del ensayo de material más fino que pasa la malla N° 200 para agregado fino .....	68
Figura N° 16: Ficha de recolección de datos del ensayo de material más fino que pasa la malla N° 200 para agregado grueso .....	69
Figura N° 17: Ficha de recolección de datos del ensayo de análisis granulométrico para agregado fino.....	70
Figura N° 18: Ficha de recolección de datos del ensayo de análisis granulométrico para agregado grueso.....	71
Figura N° 19: Ficha de recolección de datos del ensayo de resistencia al desgaste del agregado grueso por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles.....	72
Figura N° 20: Ficha de recolección de datos del ensayo de peso volumétrico para el agregado fino .....	73
Figura N° 21: Ficha de recolección de datos del ensayo de peso volumétrico para el agregado grueso .....	74



Figura N° 22: Ficha de recolección de datos del ensayo de peso específico y absorción para el agregado fino.....	75
Figura N° 23: Ficha de recolección de datos del ensayo de peso específico y absorción para el agregado grueso.....	76
Figura N° 24: Ficha de recolección de datos del diseño de mezclas según ACI 522R-10 para el concreto permeable.....	77
Figura N° 25: Ficha de recolección de datos del ensayo de verificación de porcentajes de vacíos para el concreto permeable.....	78
Figura N° 26: Ficha de recolección de datos del ensayo resistencia a compresión de especímenes cilíndricos para el concreto permeable.....	79
Figura N° 27: Ficha de recolección de datos del ensayo de resistencia a la flexión para el concreto permeable (utilizando viga simple con carga en los tercios).....	80
Figura N° 28: Ficha de recolección de datos del ensayo de coeficiente de permeabilidad para el concreto permeable.....	81
<i>Figura N° 29: Almohadillas de neopreno.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura N° 30: Apisonador de metal.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura N° 31: Balanza de precisión.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura N° 32: Balanza graduada.....</i>	<i>82</i>
Figura N° 33: Baldes o sacos.....	83
<i>Figura N° 34: Bomba de vacíos.....</i>	<i>83</i>
Figura N° 35: Brocha.....	83
<i>Figura N° 36: Canastilla.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura N° 37: Carretilla.....</i>	<i>83</i>
Figura N° 38: Cronómetro.....	83
Figura N° 39: Cucharón Metálico.....	84
Figura N° 40: Depósito de agua.....	84
Figura N° 41: Horno eléctrico para secado.....	84
Figura N° 42: Juego de Tamices para granulometría.....	84
Figura N° 43: Máquina de esfuerzo axial.....	84
Figura N° 44: Máquina de los Ángeles.....	84
Figura N° 45: Máquina tamizadora.....	85
Figura N° 46: Molde cilíndrico de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura.....	85
Figura N° 47: Molde cónico metálico.....	85
Figura N° 48: Molde prismático de 15 cm x 15 cm de sección y 50 cm de largo.....	85



Figura N° 49: Pala.....	85
Figura N° 50: Permeámetro de carga variable .....	85
Figura N° 51: Piceta .....	86
Figura N° 52: Picnómetro .....	86
Figura N° 53: Piezas de apoyo y piezas para aplicar carga a los tercios de la muestra .....	86
Figura N° 54: Probeta o envase graduado.....	86
Figura N° 55: Recipiente de Volumen Conocido.....	87
Figura N° 56: Recipientes metálicos.....	87
Figura N° 57: Visita y muestreo de los agregados en las canteras de extracción .....	88
Figura N° 58: Procedimiento se toma de muestras representativas .....	90
Figura N° 59: Selección de las partes representativas.....	90
Figura N° 60: Colocación de muestras para secado en horno.....	92
Figura N° 61: Determinación del contenido de humedad evaporable por secado de los agregados .....	92
Figura N° 62: Lavado de los agregados .....	95
Figura N° 63: Determinación del peso del agregado posterior a su lavado .....	95
Figura N° 64: Juego de tamices para ensayo de granulometría .....	98
Figura N° 65: Colocación del agregado dentro del juego de tamices en la maquina tamizadora .....	99
Figura N° 66: Muestras separadas de acuerdo a la malla de retención del juego de tamices ..	99
Figura N° 67: Ensayo de resistencia a la abrasión mediante la máquina de los Ángeles .....	105
Figura N° 68: Secado del agregado saturado con franela hasta llegar a su estado Saturado Superficialmente Seco.....	107
Figura N° 69: Proceso de ensayo de peso específico del agregado grueso.....	108
Figura N° 70: Proceso de obtención del estado Saturado Superficialmente Seco del agregado fino .....	110
Figura N° 71: Utilización de la bomba de vacíos.....	111
Figura N° 72: Obtención del peso volumétrico del agregado grueso.....	114
Figura N° 73: Proceso de ensayo de peso volumétrico de los agregados .....	115
Figura N° 74: Vertido del concreto en moldes prismáticos .....	122
Figura N° 75: Vertido del concreto en moldes cilíndricos.....	122
Figura N° 76: Desmoldado de especímenes de concreto permeable.....	123
Figura N° 77: Curado de los especímenes de concreto permeable .....	123
Figura N° 78: Agua desplazada por la muestra de concreto permeable.....	124



Figura N° 79: Peso del agua desplazada por la muestra de concreto permeable para determinación de vacíos .....	125
Figura N° 80: Almacenamiento y codificación previa a los ensayos de las propiedades mecánicas de los especímenes en el laboratorio .....	127
Figura N° 81: Colocación de especímenes para ensayo de resistencia a compresión.....	128
Figura N° 82: Ensayo de resistencia a compresión de especímenes de concreto permeable.	128
Figura N° 83: Medición y marcado de los puntos de apoyo de las vigas para ensayo de resistencia a flexión.....	134
Figura N° 84: Esquema de la máquina de ensayo a flexión.....	134
Figura N° 85: Colocación del espécimen de concreto permeable para ensayo de resistencia a flexión.....	135
Figura N° 86: Permeámetro y muestras de concreto permeable ensayadas para obtención del coeficiente de permeabilidad.....	141
Figura N° 87: Proceso de ensayo de revenimiento del concreto permeable .....	228
Figura N° 88: Ensayo de Revenimiento del Concreto Permeable .....	229

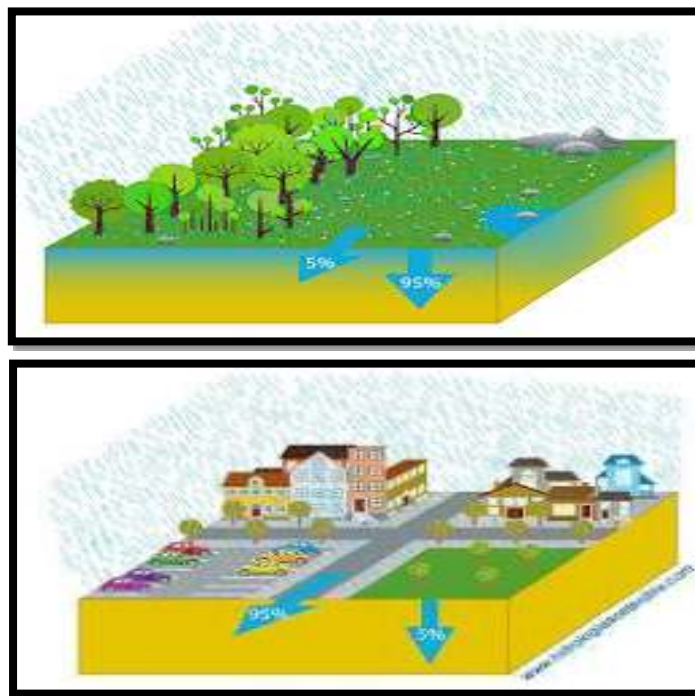


## Capítulo I: Planteamiento del Problema

### 1.1. Identificación del problema

#### 1.1.1. Descripción del problema

En el transcurso de los años, en nuestro núcleo urbano, específicamente en la ciudad del Cusco, se registró un crecimiento urbano exponencial al igual que el desarrollo de la infraestructura de pavimentos que impermeabilizan los terrenos naturales, generando un cambio en el ciclo hidrológico del agua (disminución de la intercepción natural y la evapotranspiración). Ya que la mayoría de las aguas producto de las precipitaciones pluviales, deberían ser filtradas a través del terreno natural; sin embargo, los volúmenes de agua por efectos de la lluvia se convierten en escorrentías superficiales, según (Dueñas Palomino & Mayhuire Ponce, 2015)(tesis de referencia de estudio de aguas pluviales desarrollado en la Universidad Andina del Cusco) obtuvieron dentro de la urbanización Túpac Amaru del distrito de San Sebastián en la ciudad del Cusco, una intensidad máxima correspondiente para una duración 20.05 minutos y un periodo de retorno de 25 años de 23.05 mm/hr, lo cual equivale a 0.00064 cm/s.



*Figura N° 1: Ejemplificación de la disminución de la intercepción natural y la evapotranspiración*

Fuente: (Trapote & Fernández, 2016)

A consecuencia de este cambio en el ciclo hidrológico y a fin de regenerar el normal sistema ambiental, se presentan la tecnología de pavimentos permeables, los cuales fueron descubiertos hace más de 100 años. En nuestro medio a la fecha no son aplicados a pesar de las diferentes ventajas que poseen, siendo la más importante la filtración de agua mediante su estructura, esto



debido a que los antecedentes de estudios elaborados por diferentes investigadores respecto al uso de esta tecnología concluyen que el concreto permeable usado para la elaboración de los pavimentos permeables llegan a magnitudes de resistencias a compresión y flexión bajas, limitándose su uso.



Figura N° 2: Ciudad del Cusco, Plaza de Armas

Fuente: <https://n9.cl/m12r>

Esto se debe a las características de diseño que se presentan para este material, ya que la principal peculiaridad es que no se adicionan agregados finos en su estructura de dosificación, siendo mermado las propiedades de las magnitudes mecánicas del concreto permeable, por los espacios vacíos que se generan en su interior y la falta de cohesión entre las partículas por medio de la pasta en su mezcla.

Es así que, se acudió al reporte de Pavimentos Permeables del Instituto Americano del Concreto, en donde se dan lineamientos y recomendaciones acerca del uso del pavimento permeables en vías peatonales, garajes vehiculares, ciclovías entre otras estructuras que no requieran de una resistencia alta a las diferentes cargas por las características que posee el concreto permeable. Además de la posibilidad de generar una adición de agregado fino en el diseño de mezclas con el fin mejorar las resistencias, pero esto con la contraparte de mermar las características físicas como es la permeabilidad del material.



*Figura N° 3: Imagen de intensas lluvias en la ciudad del Cusco*

Con todo lo mencionado anteriormente, se infiere que se puede aplicar lo mencionado por el ACI al núcleo Urbano de la ciudad del Cusco, siendo el Reglamento de Edificaciones en la norma CE. 010 Pavimentos Urbanos, donde se parametra las características y resistencias mínimas para aplicarlos a pavimentos sometidos a bajas cargas (vías peatonales y ciclovías), denominadas por el reglamento como Pavimentos Especiales; siendo las estructuras propicias para la implementación de la tecnología de pavimentos permeables para coadyuvar a la regeneración del normal ciclo hidrológico, quedando pendiente concluir con un diseño de dosificaciones con materiales de la zona para un concreto permeable que pueda aplicarse en un pavimentos permeable avocado a ciclovías y vías peatonales (pavimentos especiales), además de la determinación de un porcentaje de adición de agregado fino en la dosificación que permita llegar a las resistencias mínimas para su implementación según las normas técnicas que están vigentes para las estructuras de los pavimentos.



*Figura N° 4: Colapso del sistema de alcantarillado en las calles de la ciudad del Cusco*





## **1.1.2. Formulación interrogativa del problema**

### **1.1.2.1. Formulación interrogativa del problema general**

¿Cuál es el rango óptimo de agregado fino en concreto permeable evaluado a partir de curvas de aproximación para su aplicación en pavimentos especiales?

### **1.1.2.2. Formulación interrogativa de los problemas específicos**

Problema Específico 1.- ¿Cuál es el rango de agregado fino en concreto permeable que cumpla con la resistencia a compresión de  $175 \text{ kg/cm}^2$  evaluado a partir de la curva de aproximación: porcentaje de agregado fino - resistencia a compresión?

Problema Específico 2.- ¿Cuál es el rango de agregado fino en concreto permeable que cumpla con la resistencia a flexión equivalente de  $30 \text{ kg/cm}^2$  evaluado a partir de la curva de aproximación: porcentaje de agregado fino - resistencia a flexión?

Problema Específico 3.- ¿Cuál es el rango de agregado fino en concreto permeable que cumpla con el coeficiente de permeabilidad de  $0.14 \text{ cm/s}$  evaluado a partir de la curva de aproximación porcentaje de agregado fino - coeficiente de permeabilidad?

## **1.2. Justificación e importancia de la investigación**

### **1.2.1. Justificación técnica**

En la actualidad debido al escaso conocimiento acerca del concreto permeable y su uso estructural en pavimentos es que se realizó la investigación, se desarrollaron estudios en la rama de Ciencia y Tecnología de materiales para proporcionar el diseño de un concreto permeable que cumpla con las recomendaciones necesarias para la aplicación en pavimentos especiales, además de todas las consideraciones técnicas necesarias para su elaboración, también su caracterización mediante curvas de aproximación de sus propiedades de resistencia a compresión, flexión y permeabilidad, usando normas ACI y el Reglamento Nacional de Edificaciones 2010.

### **1.2.2. Justificación social**

La investigación propone una alternativa de solución para los problemas de impermeabilización, aniegos y colapsos del sistema de alcantarillado en vías urbanas generados por la excesiva escorrentía superficial sobre las estructuras de los pavimentos como consecuencia de las intensas precipitaciones durante la época de lluvias. Por otro lado, se generó conocimientos complementarios acerca de la elaboración de concreto permeable que cumpla especificaciones para su aplicación en pavimentos utilizando materiales de la zona. Además,



los compañeros de la Escuela Profesional obtendrán temas de investigación relacionadas con el concreto permeable aplicado a una estructura de pavimento. Por último, esta investigación es una parte específica de un amplio tema como son los pavimentos permeables y sistemas de drenaje sostenible, por lo que se deja antecedente y recomendaciones importantes para futuras investigaciones que complementen y conformen un estudio definitivo.

### **1.2.3. Justificación por viabilidad**

La presente investigación contó con todos los recursos necesarios para su desarrollo; empezando por el ámbito económico, ya que se tuvo los recursos financieros por parte de los interesados para la adquisición de los equipos y materiales, así como los implementos para la correcta realización de la investigación; respecto al tiempo, se generó el periodo y los espacios de tiempo necesarios para el desarrollo de la investigación; en cuanto a los materiales, se recurrió a las canteras de extracción de agregados activos y dispuestos a brindar el material necesario para la elaboración de las muestras y su posterior estudio; por otro lado, respecto a las normativas ACI 522R-10 y la Norma CE.010 Pavimentos Urbanos - RNE correspondientes al concreto permeable y las especificaciones del pavimento fueron conseguidas por medios de difusión de archivos en el internet.

### **1.2.4. Justificación por relevancia**

El desarrollo de la investigación tiene un aporte significativo como alternativa de solución al problema de drenaje de aguas superficiales y el colapso del sistema de alcantarillado, tratando de mejorar y gestionar el uso de las aguas pluviales con un sistema de pavimento permeable, para lograr una mejora en el tránsito vehicular como peatonal, también la adecuada evacuación de las aguas, disminuyendo de forma considerable el volumen y el caudal del escurrimiento, así como el riesgo de provocar inundaciones en los sectores más bajos de las urbanizaciones.

Y por último de no ser el caso, se puede implementar los conocimientos de la investigación en futuros proyectos, quedando como antecedente y generando los alcances para elaborar un estudio definitivo del concreto permeable aplicable a pavimentos y otros fines de beneficio.

## **1.3. Limitaciones de la investigación**

La presente investigación tiene dos ámbitos de limitaciones, los cuales se detalla a continuación:

### A) Limitaciones en el ámbito de material



- Uso de agregado grueso de la cantera de Vicho o cantera “Abril” denominado comúnmente por los pobladores de la zona.
  - La cantera de Vicho se encuentra en el Km. 9 de la ruta Cusco – San Salvador en la margen derecha al Sur – Este de la ciudad del Cusco.
- Uso de agregado fino de las canteras de Cunyac y Pisac.
  - Que cumpla con los siguientes parámetros:
  - Con un módulo de finura de 2.71, el cual se encuentra dentro del rango 2.3 a 3.1.
  - Según los requerimientos de gradación establecido en las especificaciones estándar para agregados de concreto ASTM C 33.
  - Porcentaje de material mas fino que pasa la malla numero 200 con un valor de 2.00 % el cual resulta menor al 3.00 % establecido por la normativa.
- Uso de cemento Portland IP: Cemento Portland Tipo IP 42.5 kg. Yura
- Uso de agua proveído por la EPS SEDACUSCO, sector Wanchaq.
- Uso de agregado grueso de tamaño normalizado HUSO 6 según ASTM C 33
  - Tamaño máximo de 25 mm. (1”).
  - Tamaño máximo nominal de 19 mm (3/4”)
- Uso de aditivo plastificante en relación al peso del cemento: Aditivo SikaCem Plastificante, en proporción de 250 mL por bolsa de cemento de 42.5 kg.
- Uso de permeámetro acondicionado para esayar muestras de 4” de diametro.

B) Limitaciones en el ámbito de estudio

- El diseño de mezcla se realizó con un 15% de espacios vacíos.
- Se limita la evaluación del desarrollo de resistencia a compresión y flexión a los 28 días.
- Se limita al uso de diseño de mezcla ACI 522R-10. Reporte de Concreto Permeable.
- La presente investigación va avocada al diseño de la carpeta de rodadura en pavimentos especiales; dentro del mismo; se consideran aceras o veredas, pasajes peatonales y ciclovías.
- La presente investigación tiene como limitante desarrollar el estudio único de la carpeta de rodadura de un pavimento rígido, siendo excluidos el resto de los componentes estructurales, los cuales ameritan un estudio específico.
- La investigación se delimita a desarrollar los aspectos correspondientes a la tecnología del material que en este caso es del concreto permeable.



- La presente investigación se delimita a desarrollar un análisis hidrológico referencial que permite relacionar el desarrollo tecnológico del concreto permeable con las precipitaciones pluviales que se suscitan en la ciudad del Cusco considerando como referencia la investigación de Dueñas&Mayhuire, 2015 (tesis de referencia de estudio de aguas pluviales desarrollado en la Universidad Andina del Cusco) considerado en el capítulo V: DISCUSIÓN.

#### **1.4. Objetivo de la investigación**

##### **1.4.1. Objetivo general**

Determinar el rango óptimo de agregado fino en concreto permeable evaluado a partir de curvas de aproximación para su aplicación en pavimentos especiales.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

Objetivo Específico N° 1.- Determinar el rango de agregado fino en concreto permeable que cumpla con la resistencia a compresión de  $175 \text{ kg/cm}^2$  evaluado a partir de la curva de aproximación: porcentaje de agregado fino - resistencia a compresión.

Objetivo Específico N° 2.- Determinar el rango de agregado fino en concreto permeable que cumpla con la resistencia a flexión equivalente de  $30 \text{ kg/cm}^2$  evaluado a partir de la curva de aproximación: porcentaje de agregado fino - resistencia a flexión.

Objetivo Específico N° 3.- Determinar el rango de agregado fino en concreto permeable que cumpla con el coeficiente de permeabilidad de  $0.14 \text{ cm/s}$  evaluado a partir de la curva de aproximación porcentaje de agregado fino - coeficiente de permeabilidad.



## Capítulo II: Marco Teórico

### 2.1. Antecedentes de la investigación actual

#### 2.1.1. Antecedentes a Nivel Nacional

##### ANTECEDENTE N° 1:

##### TESIS DE PREGRADO, PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**Título:** “EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD DEL CONCRETO POROSO ELABORADO CON AGREGADO DE LAS CANTERAS VICHO Y ZURITE, ADICIONANDO ADITIVO SÚPER PLASTIFICANTE DE DENSIDAD 1.2 kg/l PARA UNA RESISTENCIA 210 kg/cm<sup>2</sup>”.

**Autores:** -Choque Ccaritayña, Hubert  
-Ccana Sicos, Juan Cesar

**Universidad:** Universidad Andina del Cusco (2016)  
Cusco – Perú.

##### **Resumen:**

El presente trabajo de investigación tuvo como propósito evaluar el comportamiento de la resistencia a compresión y permeabilidad del Concreto Poroso, utilizando agregado de las canteras Vicho y Zurite, suministrándole aditivo súper plastificante de densidad 1.2 kg/l, esto con la intención de mejorar la resistencia a compresión del Concreto Poroso.

**Tipo de Investigación:** Cuantitativo: Se menciona que la presente investigación es de tipo cuantitativo puesto que se elaboran muestras las cuales tendrán que ser analizadas en bases a los resultados obtenidos de la elaboración de las muestras.

**Diseño de la Investigación:** Experimental. Se menciona que es la investigación es de tipo experimental ya que se evalúa el comportamiento a compresión del Concreto Poroso, utilizando agregado grueso de la cantera de Vicho y la utilización en mínima cantidad del agregado fino de la cantera de Zurite.

##### **Conclusiones:**

Se pudo alcanzar la resistencia requerida de 210 kg/cm<sup>2</sup> con la adición de 1.5% de aditivo súper plastificante añadido al concreto, y obteniendo una permeabilidad aceptable la cual se encuentra dentro del rango permisible por la norma ACI-522R, el cual indica (0.14 – 1.22 cm/seg).



**ANTECEDENTE N° 2:**

**TESIS DE PREGRADO, PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**Título:** “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”.

**Autores:** - Bach. Jorge Luis Chaiña Quispe  
- Bach. Yonny Alexander Villanueva Escobedo

**Universidad:** Universidad Católica De Santa María – Arequipa (2017)  
Arequipa – Perú.

**Resumen:**

La investigación tiene como objetivo experimentar con diferentes diseños de mezcla para así comparar resultados y aplicarlos en pavimentos rígidos. Se elaboraron 18 diseños de mezclas utilizando cemento Portland tipo IP, agua potable, agregado de la cantera la Poderosa de la ciudad de Arequipa, aditivos de las marcas SIKA Viscocrete 1110 y EUCO Neoplast 8500 HP, en distintas combinaciones y dosificaciones.

Seguidamente, para cada diseño de mezcla se prepararon cilindros y vigas de prueba, para posteriormente realizar ensayos de resistencia a compresión, flexión, tensión indirecta, desgaste y permeabilidad, para así determinar de esta manera el diseño de mezcla con el mejor comportamiento ante estos esfuerzos. Luego se analizaron los diferentes resultados obtenidos estadísticamente y se escogió el diseño de mezcla óptimo que cumpla con los requisitos requeridos para ser utilizado en el diseño de pavimento rígido permeable. Finalmente, se procedió a hacer el diseño de una losa demostrativa usando los parámetros necesarios del terreno y las condiciones de tráfico que soportará. En suma, la investigación expresa el diseño de mezcla del concreto permeable, las propiedades y características del mismo, las consideraciones que se deben de tomar en cuenta para su uso en pavimentos permeables en la ciudad de Arequipa.

**Tipo de Investigación:** La investigación fue de tipo experimental, en la que se emplearon variables dependientes e independientes. Nuestras variables independientes son el agregado fino, aditivos y relación agua-cemento. Y como variable dependiente el comportamiento del concreto permeable.



## Conclusiones

Los diseños realizados sin agregado fino y con 15% de vacíos, dieron resistencia a la compresión muy bajas ( $f'c = 90 \text{ kg/cm}^2$ ) a los 28 días. Los diseños realizados sin agregado fino y con 10% de vacíos, dieron resistencia a la compresión bajas ( $f'c = 115 \text{ kg/cm}^2$ ) a los 28 días. En ambos casos (sin finos) no serían considerados dentro del uso del pavimento permeable. Para poder alcanzar mayor resistencia en el concreto permeable se trabajó con el porcentaje mínimo de vacíos (10%). Brindando al concreto una mayor resistencia y durabilidad ( $f'c = 290 \text{ kg/cm}^2$ ). La resistencia a la flexión (Modulo de rotura "Mr"), tiene una correlación con la resistencia a la compresión  $f'c$ . Según el ACI 363, este debe estar en el rango de  $1.99 @ 3.18$ , de la raíz cuadrada del  $f'c$  ( $Mr = 1.99 @ 3.18 \sqrt{f'c}$ ), siendo el coeficiente ideal.  $Mr = 2.58 \sqrt{f'c}$ . El módulo de rotura (Mr) recomendado para pavimento es de:  $45 \text{ kg/cm}^2$  para zonas industriales y vías urbanas principales.  $48 \text{ kg/cm}^2$  para carreteras y autopistas. Para nuestros diseños de concreto permeable se obtuvieron resistencias (Mr) de 37 a  $49 \text{ kg/cm}^2$ .

### 2.1.2. Antecedentes a Nivel Internacional

#### ANTECEDENTE N° 1:

#### TESIS DE POSGRADO, PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN INGENIERÍA

**Título:** "ESTUDIO EXPERIMENTAL DE CONCRETOS PERMEABLES CON AGREGADOS ANDESÍTICOS".

**Autores:** - Ing. Daniel Pérez Ramos

**Universidad:** Universidad Nacional Autónoma De México – México (2009)  
Ciudad de México – México.

#### Resumen:

En esta investigación se elaboró mezclas de concreto permeable con agregados andesíticos diseñadas para un 15% y 20% de vacíos, así como la realización de su estudio experimental permitiría evaluar si éstas cumplen con las propiedades mecánicas y de permeabilidad adecuadas para su utilización en pavimentos con tránsito ligero u otras aplicaciones.

#### Conclusiones:

Los resultados de los estudios realizados a las mezclas de concreto permeables diseñadas con 15% y 20% de vacíos elaboradas con agregados andesíticos, permiten concluir que si cumplen con las propiedades mecánicas y de permeabilidad adecuadas para su utilización en pavimentos con tránsito ligero u otras aplicaciones.



Las mezclas de concreto permeable en estado fresco resultaron con una consistencia rígida, es decir, con un revenimiento de 0 cm. El peso volumétrico de las mezclas con 15% de vacíos resultó con un promedio de 1944 kg/cm<sup>3</sup>, y las mezclas con 20% de vacíos con un promedio de 1899 kg/cm<sup>3</sup>.

Las mezclas con 15% de vacíos resultaron con un promedio de 196 kg/cm<sup>2</sup> en resistencia a compresión, 20 kg/cm<sup>2</sup> en resistencia a tensión indirecta por compresión diametral, 41 kg/cm<sup>2</sup> en resistencia a flexión y 117,768 kg/cm<sup>2</sup> en módulo de elasticidad. Las mezclas con 20% de vacíos resultaron con un promedio de 165 kg/cm<sup>2</sup> en resistencia a compresión, 15 kg/cm<sup>2</sup> en resistencia a tensión indirecta por compresión diametral, 37 kg/cm<sup>2</sup> en resistencia a flexión y 105,378 kg/cm<sup>2</sup> en módulo de elasticidad.

La mezcla de concreto permeable más resistente se obtuvo utilizando una razón a/c de 0.35, utilizando agregado de 3/4", una dosis de cemento de 350 kg/m<sup>3</sup>, adicionando un 10% de arena y un porcentaje de vacíos de 15%. Esta dosificación permite obtener resistencias compresión en promedio cercanas a 215 kg/cm<sup>2</sup> y resistencias a flexión en promedio cercanas a 46 kg/cm<sup>2</sup>. Aunque las mezclas de concreto permeable con agregado de 3/8" presentan menores resistencias, estas resultan con una textura más estética que la obtenida con agregado de 3/4" debido al tamaño de agregado.

Para que un concreto sea considerado como permeable su coeficiente de permeabilidad debe estar entre 0.20 y 0.54 cm/s. Los resultados de las pruebas de permeabilidad de esta investigación con un promedio de 0.482 cm/s, permiten concluir que las mezclas con porcentajes de vacíos mayores a 15% satisfacen los valores de infiltración requeridos para que las mezclas sean consideradas como permeables.

## **ANTECEDENTE N° 2:**

### **TESIS DE PREGRADO, PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**Título:** "SELECCIÓN DEL MATERIAL ÓPTIMO PARA EL DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO AGREGADOS DE DOS MINAS DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO I, EN RELACIÓN A LA OBTENCIÓN DE MAYOR PERMEABILIDAD Y RESISTENCIA".

**Autores:** - Vallejo Patarón Marco Alexis  
- Amaguaya Chacha Vinicio Javier





**Universidad:** Universidad Nacional de Chimborazo – Ecuador (2016)

Chimborazo - Ecuador

**Resumen:**

Debido al poco uso de esta tecnología en Ecuador, se ha planteado esta investigación de hormigones permeables, con agregados de dos minas de la provincia de Chimborazo y Cemento Portland Tipo I, utilizando materiales de una granulometría apropiada uniforme y una correcta variación de la relación agua cemento, con los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio a cada uno de los agregados (cemento, agregado grueso, agregado fino) que van ser utilizados en el diseño del hormigón permeable, permitirá conocer las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los mismos que están establecidos por las normas ASTM, INEN y el ACI, posteriormente se elaborara probetas para determinar la resistencia a la compresión y permeabilidad logrando así una selección de materiales óptimos para el diseño de hormigón permeable.

**Conclusiones:**

Los materiales óptimos para el diseño del hormigón permeable son de la mina de Cerro Negro con un tamaño de 3/8" obteniendo así un hormigón permeable con una resistencia a compresión de 217.10 Kg/cm<sup>2</sup> y una permeabilidad de 0.20.

Los agregados de tamaño de 3/4" de la mina de Cerro Negro con una relación a/c=0.6, se obtuvo una resistencia de 193.25 kg/cm<sup>2</sup> y una permeabilidad de 0.26, propiedades en el cual se considera un hormigón permeable.

## **2.2. Aspectos teóricos pertinentes**

### **2.2.1. Desarrollo sostenible**

#### **2.2.1.1. Definición**

La definición de desarrollo sostenible que se cita con mayor frecuencia es: "desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las propias". (Comisión de la Naciones Unidas, 1987)

Aquí, lo que se sostiene, o debe hacerse sostenible, es el proceso de mejoramiento de la condición humana (o mejor, del sistema socio ecológico en el que participan los seres humanos), proceso que no necesariamente requiere del crecimiento indefinido del consumo de energía y materiales. (Gallopín, 2003)



### 2.2.1.2. Teoría de las tres dimensiones del concepto de desarrollo sostenible

Actualmente no existe consenso acerca del significado de desarrollo sostenible (existen más de cien definiciones), ya que tampoco lo hay acerca de qué es lo que debe sostenerse. Según los autores, el desarrollo sostenible consistirá en:

- \* Sostener los recursos naturales (Carpenter, 1991)
- \* Sostener los niveles de consumo (Redclift, 1987)
- \* Lograr la sostenibilidad de todos los recursos: capital humano, capital físico, recursos ambientales, recursos agotables (Bojo, Maler, & Unemo, 1990)
- \* Perseguir la integridad de los procesos, ciclos y ritmos de la naturaleza (Shiva, 1989)
- \* Sostener los niveles de producción (Naredo, 1990). Según este autor, una actividad sostenible es aquella que o bien utiliza productos renovables o bien, al menos, financia la puesta en marcha de un proyecto que asegure tanto la producción renovable de un bien substitutivo del consumido, como la absorción de residuos generados sin daño para los ecosistemas. La mayoría de las políticas están diseñadas orientadas a cambios en la producción.

Muchas de las interpretaciones de desarrollo sostenible coinciden en que, para llegar a ello, las políticas y acciones para lograr crecimiento económico deberán respetar el medio ambiente y además ser socialmente equitativas para alcanzar el crecimiento económico. En el Consejo Europeo de Gotemburgo de 2001 su presidenta Nicole Fontaine recalca "la voluntad de la Unión Europea a favor de un desarrollo sostenible, cuyas tres dimensiones, la económica, la social y la medioambiental, son indisociables".

Este concepto de sostenibilidad puede ser gráficamente representado mediante un triángulo equilátero, cuya área central representaría la zona de equilibrio para el desarrollo sostenible.



Figura N° 5: Las tres dimensiones del concepto de sostenibilidad.

Fuente: Artaraz, M. 2002. Teoría de las tres dimensiones de desarrollo sostenible. Ecosistemas 2002



## **2.2.2. Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible**

### **2.2.2.1. Definición**

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) son aquellos elementos participantes en el drenaje de las ciudades que, además de reducir el caudal producido por la lluvia, disminuyen los contaminantes arrastrados por la escorrentía. Como puede verse, esta definición tiene una acepción muy amplia. Estos sistemas no son solo elementos estructuras, por ejemplo, el hecho de mantener las vías limpias de manera sistemática evita el arrastre de grandes contaminantes de sólidos en suspensión durante un evento lluvioso, así que también puede considerarse como un elemento de sostenibilidad de drenaje.

Las técnicas de drenaje sostenible quedan englobadas dentro de lo que sería el Desarrollo Urbano Sostenible o Desarrollo de Bajo Impacto (Low Impact Development), y consideran, desde un primer momento, la problemática asociada al drenaje urbano en el planeamiento urbanístico. Dichas técnicas son conocidas de diferentes formas según el país. (Abellán, 2019)

### **2.2.2.2. Problemática de los sistemas de drenajes convencional**

Según (Perales & Doménech, 2008). En el desarrollo de las infraestructuras de drenaje y saneamiento de una ciudad suelen identificarse varias fases. En primer lugar, se tendió a canalizar y controlar las aguas residuales; posteriormente, a encauzar las escorrentías producidas por las aguas de tormenta tendiendo a limitar el riesgo de sufrir inundaciones. Todo ello ha dado lugar a los sistemas convencionales de saneamiento y drenaje en las ciudades, basados en colectores cuyo objetivo primordial es evacuar lo antes posible las escorrentías generadas en tiempo de lluvia hacia el medio receptor.

Resueltos a priori estos problemas, aparece recientemente otro, el de la calidad de las escorrentías urbanas en tiempo de lluvia y el impacto que sus vertidos generan en el medio receptor. En efecto, hoy en día se es plenamente consciente de que las aguas de lluvia, lejos de ser aguas limpias, son una fuente importante de contaminación. El problema se acentúa si, además, la red es unitaria.

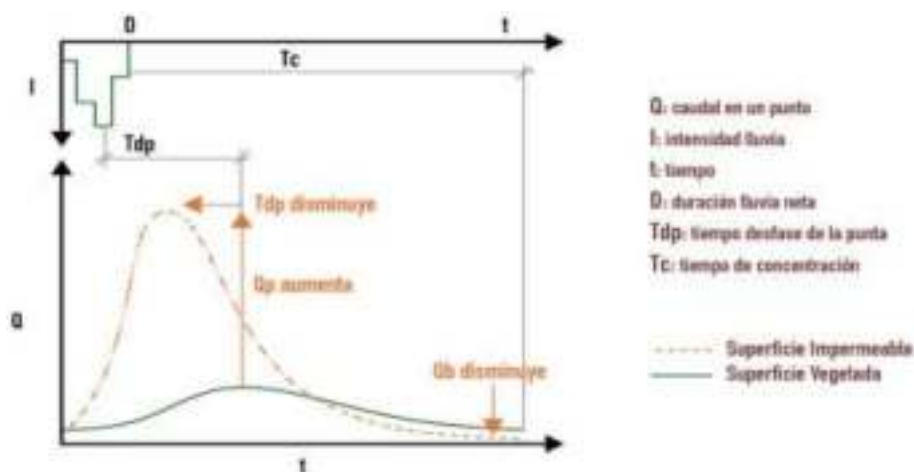
El desarrollo urbano conlleva una serie de impactos que generan a su vez efectos negativos sobre los medios receptores. Por una parte, se generan en los sistemas convencionales problemas de cantidad, cuando los índices de urbanización superan las planificaciones iniciales, y consecuentemente, las infraestructuras quedan infradimensionadas, dando lugar a inundaciones.

Por otro lado, existen diferentes motivos por los cuales la utilización de los Sistema Urbanos de Drenaje Sostenible es muy importante, como son:



El crecimiento de las zonas impermeables en las ciudades modifica los flujos naturales del ciclo hidrológico, tanto desde el punto de vista cualitativo como cuantitativo. La reducción de espacios vegetados reduce en primera instancia la interceptación natural y la evapotranspiración. El aumento de la impermeabilidad redonda en una reducción de la infiltración. Como consecuencia de todo ello, se generan volúmenes de escorrentía netamente mayores, y, además, se aceleran los tiempos de respuesta (Tabla N° 1), por lo que aumenta el riesgo de inundaciones. (Perales & Doménech, 2008)

Tabla N° 1: Cambios Inducidos por el desarrollo urbano en la transformación lluvia - escorrentía



Fuente: Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: Una alternativa a la gestión del agua de lluvia. Perales & Doménech, 2008.

Además (Perales & Doménech, 2008) afirman que las actividades humanas generan, tanto en la atmósfera como en la superficie de las cuencas urbanas, una amplia gama de contaminantes: sedimentos, materia orgánica, nutrientes, hidrocarburos, elementos patógenos (bacterias y virus), metales, pesticidas, ... El origen de esta contaminación corresponde a zonas muy amplias y de difícil acotación, por lo que se habla de contaminación difusa. Durante los eventos de precipitación, la contaminación acumulada en la superficie durante el tiempo seco es lavada y arrastrada hacia la red de colectores. Y si la red es unitaria (como ocurre en la mayoría de los sistemas españoles), a lo anterior hay que añadir el efecto del lavado de los sedimentos que durante el tiempo seco se han ido depositando en la red como consecuencia del tránsito de las aguas residuales. El impacto en el medio receptor de tales escorrentías genera por tanto problemas graves como la caída del oxígeno disuelto (que puede provocar la mortandad de especies y la reducción de la oxidación natural de elementos tóxicos), el incremento de las concentraciones de nutrientes (con el consiguiente riesgo de eutrofización), la contaminación



por agentes patógenos (que puede derivar en problemas de salud pública, por ejemplo, en aguas de baño) o la acumulación de elementos tóxicos (que puede tener consecuencias en la cadena trófica, y por otra parte, aumenta los costes de potabilización del agua). En definitiva, el problema de la contaminación de las escorrentías urbanas y de su vertido directo al medio natural es una cuestión grave que merece la misma atención que en su día requirió el tratamiento de las aguas residuales. No obstante, la naturaleza intermitente del proceso de lluvia induce a encontrar soluciones que respondan correctamente con un funcionamiento discontinuo.

### **2.2.2.3. Enfoque alternativo para la gestión de aguas pluviales**

La necesidad de hacer frente a la gestión de las aguas pluviales desde una figura diferente a lo habitual, que combine varios aspectos tanto hidrológicos como medioambientales y hasta sociales, nos conlleva a realizar un rápido aumento a nivel mundial del uso de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), también conocidos como BMP's (Best Management Practices) o WSUD (Water Sensitive Urban Design), entre otras designaciones. (Perales & Doménech, 2008)

La misión de los SUDS es reproducir, de la manera más fiel posible, el normal ciclo hidrológico del agua previo a la actuación humana. Por ende su objetivo es reducir los impactos del desarrollo urbanístico en cuanto a la cantidad y la calidad de la escorrentía (en origen, durante su transporte y en destino), sin descuidar la integración paisajística y el valor social y ambiental de la sociedad. (Perales & Doménech, 2008)

### **2.2.2.4. Beneficios**

Para (Perales & Doménech, 2008). Los SUDS engloban un amplio espectro de soluciones que permiten afrontar el planeamiento, diseño y gestión de aguas pluviales dando tanta importancia a los aspectos medioambientales y sociales como a los hidrológicos e hidráulicos.

Pero la utilidad de estas medidas va más allá de la gestión de las escorrentías urbanas en tiempo de lluvia. El sistema concebido inicialmente para resolver problemas en tiempo húmedo, es además útil para gestionar otros tipos de escorrentía superficial en tiempo seco, como la producida por sobrantes de riego, baldeo de calles, vaciado de fuentes y estanques ornamentales, etc.

En este sentido, cabe mencionar la posibilidad de reutilización de las aguas grises de edificios (aguas provenientes de lavabo, bidet, ducha y bañera), que con un mínimo tratamiento (bien por medio de técnicas SUDS o con pequeños equipos de depuración), podrían aportar un caudal



constante de abastecimiento para ciertos usos que no requieren la calidad de agua potable, como por ejemplo las cisternas de los inodoros o el riego de superficies ajardinadas.

Los objetivos de los SUDS se podrían resumir en los siguientes aspectos:

- \* Proteger los sistemas naturales: proteger y mejorar el ciclo del agua en entornos urbanos.
- \* Integrar el tratamiento de las aguas de lluvia en el paisaje: maximizar el servicio al ciudadano mejorando el paisaje con la integración de cursos y/o láminas de agua en el entorno.
- \* Proteger la calidad del agua: proteger la calidad de las aguas receptoras de escorrentías urbanas.
- \* Reducir volúmenes de escorrentía y caudales punta: reducir caudales punta procedentes de zonas urbanizadas mediante elementos de retención y minimizando áreas impermeables.

### **2.2.3. Pavimentos**

#### **2.2.3.1. Definición**

Según Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2013) considera que el Pavimento es una estructura de varias capas construida sobre la sub rasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Se dividen en pavimentos rígidos y pavimentos flexibles.

##### **2.2.3.1.1. Componentes de un pavimento**

Por lo general está conformada por las siguientes capas: base, sub base y capa de rodadura.

**Carpeta de Rodadura:** Es la parte superior de un pavimento, que puede ser de tipo bituminoso (flexible) o de concreto de cemento Portland (rígido) o de adoquines, cuya función es sostener directamente el tránsito.

**Base:** Es la capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como principal función de sostener, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta capa será de material granular drenante ( $CBR \geq 80\%$ ) o será tratada con asfalto, cal o cemento.

**Sub base:** Es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además, se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede obviarse. Esta capa puede ser de material granular ( $CBR \geq 40\%$ ) o tratada con asfalto, cal o cemento. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013).

##### **2.2.3.1.2. Pavimento Rígido**



Según Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2013) en el Manual de Geología, suelos, geotecnia y pavimentos considera que el pavimento rígido es una estructura de pavimento compuesta específicamente por una capa de sub base granular, no obstante, esta capa puede ser de base granular, o puede ser estabilizada con cemento, asfalto o cal, y una capa de rodadura de losa de concreto de cemento hidráulico como aglomerante, agregados y de ser el caso aditivo.

#### 2.2.4. Pavimentos permeables

Los pavimentos permeables son superficies que, al mismo tiempo que son aptas para el paso de peatones o de tráfico rodado, permiten al agua la filtración vertical a su través, abriendo la posibilidad a que ésta se infiltre en el terreno pudiendo recargar los acuíferos, o bien sea captada y retenida en capas sub-superficiales para su posterior reutilización o evacuación. (Trapote & Fernández, 2016)



*Figura N° 6: Pavimentos con concreto permeable*

Fuente: Recuperado de [www.construirtv.com](http://www.construirtv.com)

##### 2.2.4.1. Ventajas del pavimento permeable

Según el ACI Commite 522,2010, las ventajas del uso de pavimentos permeables son:

- \* El control de la contaminación de las aguas pluviales en la fuente.
- \* El control de la escorrentía de aguas pluviales.
- \* La reducción de hidroplaneo en la superficie de las carreteras.
- \* Reducir el brillo en las superficies de las carreteras en gran medida, especialmente cuando está mojado por la noche.
- \* Reducción del ruido de la interacción entre el neumático y el pavimento.
- \* Eliminar o reducir el tamaño de las bocas de tormenta.
- \* Permitir que el aire y el agua para llegar a las raíces de los árboles, incluso con el pavimento dentro de la línea de goteo del árbol.



## 2.2.4.2. Elementos de los pavimentos permeables

### 2.2.4.2.1. Concreto permeable

#### A) Definición

El concreto permeable es un material fabricado con una menor cantidad de cemento y poco o nada de agregado fino, lo que le permite tener espacios vacíos entre sus partículas, brindándole así una característica permeable. (Patiño, 2013)

De acuerdo con el ACI Commite 522, 2010, el concreto permeable es un material de estructura abierta con revenimiento cero, compuesto por cemento Portland, agregado grueso, poco o nada de finos, aditivos y agua. La combinación de estos ingredientes produce un material endurecido con poros interconectados, cuyo tamaño varía de 2 a 8 mm lo que permite el paso de agua. El contenido de vacíos puede variar de un 18 a un 35 por ciento, con resistencias a compresión típicas de 2.8 MPa o 28 kg/cm<sup>2</sup> a 28 MPa o 280 kg/cm<sup>2</sup>. Su velocidad de drenaje depende del tamaño del agregado y de la densidad de la mezcla, pero generalmente varía en el rango de 81 a 730 L/min/m<sup>2</sup>. (ACI 522R-10, 2010)



*Figura N° 7: Concreto permeable*

Fuente: Recuperado de [www.chilecubica.com/materiales/pavimentos-permeables/](http://www.chilecubica.com/materiales/pavimentos-permeables/)

#### B) Importancia

Según Pérez, 2009, su principal importancia reside en el hecho de que, a través de su estructura porosa o permeable, este tipo de concreto ofrece un adecuado manejo del agua; cualidad reconocida positivamente por organismos internacionales como la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés).

El concreto permeable tiene una amplia gama de aplicaciones, incluyendo:





- \* Vialidades con tráfico ligero.
- \* Áreas de estacionamiento.
- \* Andadores y banquetas.
- \* Ciclovías.
- \* Patios y jardines.
- \* Capas rígidas de drenaje bajo áreas exteriores de grandes centros comerciales.
- \* Pisos de invernaderos para mantener al piso libre de agua estancada.
- \* 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.
- \* Revestimiento de muros para pozos de agua.
- \* Arrecifes artificiales en donde la estructura abierta de concreto permeable semeja la estructura de los arrecifes.
- \* Zonas de lavado de autos.

Generalmente, el concreto permeable sin refuerzo se usa en todas estas aplicaciones por el alto riesgo de corrosión del acero de refuerzo debido a la estructura porosa de este material.

### **C) Componentes**

El concreto permeable, también conocido como concreto sin adición de finos o concreto poroso, usualmente consiste en una cantidad normal de cemento, agregado grueso de tamaño uniforme y agua. Esta combinación forma un aglomerado de agregados grueso



rodeados por una delgada capa endurecida de pasta de cemento en los puntos de contacto. Esta configuración produce vacíos interconectados entre los agregados gruesos, los cuales permiten penetrar el agua con una capacidad mayor que un concreto convencional. El concreto permeable es considerado como un tipo especial de concreto poroso. El concreto permeable puede tener una pequeña cantidad de agregado fino o no incluir dentro de su diseño. El concreto permeable contiene grandes porcentajes de vacíos interconectados, los cuales permiten el rápido paso del agua a través de su estructura. (ACI-522, 2010)



*Figura N° 8: Paso de agua a través de concreto permeable*

Fuente: Recuperado de [www.archiproducts.com/es/productos/69845/concreto-permeable-para-carreteras-drainbeton-betonrossi.html](http://www.archiproducts.com/es/productos/69845/concreto-permeable-para-carreteras-drainbeton-betonrossi.html)

## 1. Agregados

Los agregados también llamados áridos son aquellos materiales inertes, de forma granular, naturales o artificiales, que aglomerados por el cemento Portland en presencia de agua forman un todo compacto (piedra artificial), conocido como mortero o concreto. (Rivera, 2013).

Como agregados de las mezclas de mortero o concreto se pueden considerar, todos aquellos materiales que teniendo una resistencia propia suficiente (resistencia de la partícula), no perturben ni afecten desfavorablemente las propiedades y características de las mezclas y garanticen una adherencia suficiente con la pasta endurecida del cemento Portland. (Rivera, 2013).

### a) Clasificación de los agregados.



En general los agregados se han clasificado de varias maneras a través del tiempo, pero principalmente desde los puntos de vista de su procedencia, densidad, gradación, forma y textura. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

Clasificación según su procedencia.

De acuerdo con el origen de los agregados, según su procedencia ya sea de fuentes naturales o a partir de productos industriales, se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Agregados naturales: Son formados por los procesos geológicos naturales que han ocurrido en el planeta durante miles y miles de años, son extraídos, seleccionados y procesado por optimizar su empleo en la producción de concreto. Estos agregados son de uso más frecuente nivel mundial y particularmente en el país, su amplia disponibilidad tanto en calidad, cantidad, lo que lo hacen ideales para producir concreto.
- Agregados artificiales: Proviene de un proceso de transformación de materiales naturales, que proveen productos secundarios que con un tratamiento adicional se habilitan para emplearse en la producción de concreto. Algunos agregados de este tipo son, escoria de altos hornos, la arcilla hornear, en concreto reciclado, la microsílíce etc. Para conocer el verdadero potencial de este tipo de agregados, necesitamos hacer mayor investigación sobre sus propiedades y su desempeño en el concreto (Rivera, 2013)

➤ **Clasificación según su densidad.**

Depende de la cantidad de masa por unidad de volumen y del volumen de los poros, ya sean agregados naturales o artificiales. Esta distinción es necesaria porque afecta la densidad del concreto (ligero, normal o pesado) que se desea producir.

Tabla N° 2: Clasificación de los agregados según su masa unitaria

TIPO DE CONCRETO	MASA UNITARIA APROX. DEL CCTO. Kg/cm <sup>2</sup>	MASA UNITARIAS DEL AGREGADO kg/cm <sup>2</sup>	EJEMPLO DE UTILIZACIÓN	EJEMPLO DE AGREGADO
Ultraligero	500 - 800		Concreto para aislamiento.	Piedra pómez Ag. Ultraligero



TIPO DE CONCRETO	MASA UNITARIA APROX. DEL CCTO. Kg/cm <sup>2</sup>	MASA UNITARIAS DEL AGREGADO kg/cm <sup>2</sup>	EJEMPLO DE UTILIZACIÓN	EJEMPLO DE AGREGADO
Ligero	950 - 1350 1450 - 1950	480 - 1040	Rellenos y mampostería no estruct. Ccto. Estructural	Perlita Ag. Ultraligero
Normal	2250 - 2450	1300 - 1600	Ccto. Estruct. Y no estruct.	Agregado de río o triturado.
Pesado	3000 - 5600	3400 - 7500	Ccto. Para proteger de radiación gamma ó X, y contrapesos.	Hematita, barita, coridón, magnetita.

Fuente: (Rivera, 2013)

➤ **Clasificación según su gradación.**

La gradación es la distribución volumétrica de las partículas, que como ya se mencionó, tiene mucha importancia en concreto. De acuerdo la gradación podemos practicar el agregado en:

- **Agregado Grueso**

Según con la clasificación unificada, se denomina agregado grueso a la fracción de la muestra de material que tienen un tamaño superior a 4.76 mm (tamiz No.4). (Rivera, 2013).

Los tamaños del agregado utilizado en el concreto permeable oscilan entre 3/4 y 3/8 de pulgada. Agregado redondeado y aplastado, tanto normales y de peso ligero, se han utilizado para hacer el concreto permeable. (Torres, 2010).

- **Agregado Fino**

Según con la clasificación unificada, se denomina agregado fino a la fracción de la muestra de material que tienen un tamaño inferior a 4.76 mm (tamiz No.4) y no menor de 0.074 mm (tamiz No. 200). (Rivera, 2013).

➤ **Clasificación según su forma y textura superficial.**



La presencia de partículas alargadas o aplanadas puede afectar la consistencia, la resistencia y la durabilidad de las mezclas, porque tienden a orientarse en un solo plano lo cual dificulta la manejabilidad; además debajo de las partículas se forman huecos de aire y se acumula agua perjudicando las propiedades de la mezcla endurecida. (Rivera, 2013)

Por otro lado, la textura superficial de las partículas del agregado influye en la manejabilidad y la adherencia entre la pasta y el agregado, por lo tanto, afecta la resistencia (en especial la resistencia a la flexión).

Tabla N° 3: Clasificación de las partículas del agregado según su forma

FORMA	DESCRIPCIÓN	EJEMPLO
<b>Redondeadas</b>	Totalmente desgastada por el agua o completamente limada por frotamiento	Grava de río o playa, arena del desierto, playa.
<b>Irregular</b>	Irregularidad natural, o parcialmente limitada por frotamiento y con orillas redondeadas.	Otras gravas, pedernales del suelo o de excavación.
<b>Escamosa</b>	Material en el cual el ancho es pequeño en relación a las otras dos dimensiones.	Roca laminada.
<b>Angular</b>	Posee orillas bien definidas que se forman en la intersección de caras más o menos planas.	Rocas trituradas de todo tipo, escoria triturada.
<b>Alongadas</b>	Material normalmente angular en el cual la longitud es considerablemente mayor que las otras dos dimensiones.	

Fuente: (Rivera, 2013)

La gradación de los agregados usados en la elaboración de concreto permeable son usualmente de un solo tamaño o gradados entre 3/4" y 3/8" de pulgada (19 y 9.5 mm). Pudiendo ser canto rodado o piedra chancada. Los agregados usados deben cumplir los requerimientos de ASTM D448 y ASTM C33. El contenido de agregado fino es limitado para la mezcla en el concreto permeable debido a que compromete la interconexión de los poros en la estructura del concreto.

La adición de agregado fino puede incrementar la fuerza de compresión y la densidad, pero correspondiente a esta adición se reduce la tasa de flujo y el paso del agua a través del concreto.



La calidad del agregado en la mezcla del concreto permeable es igual de importante como en la de un concreto convencional. Partículas de agregado laminados o estirados deben ser evitadas. El agregado debe ser resistente y limpio, libre de recubrimientos, como polvo o arcilla, o algún otro elemento que podría absorber el agregado, ya que esto es determinante para la adherencia e hidratación entre la pasta y el agregado. Los pesos unitarios de los agregados deben ser determinados en concordancia a ASTM C29. (ACI 522, 2010).

## b) Propiedades físicas de los agregados

### ➤ Granulometría

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis de tamices. El tamaño de partícula del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre. (Rivva López, 2000)

La granulometría se determina de acuerdo con la norma ASTM C136.

### ➤ Módulo de Fineza

En la búsqueda de caracterizaciones numéricas que representaran la distribución volumétrica de las partículas de los agregados, se definió hace muchos años al módulo de fineza.

Es un concepto sumamente importante establecido por Duff Abrams en el año 1925 y se define como la suma de los porcentajes retenidos acumulativos de la serie estándar hasta el tamiz N°100 y esta cantidad se divide entre 100. El sustento matemático del módulo de fineza, reside en que es proporcional al promedio logarítmico del tamaño de partículas de una cierta distribución granulométrica.

Debe tenerse muy claro que su criterio que se aplica tanto al agregado grueso como al agregado fino, pues es general y sirve para caracterizar cada agregado independientemente con la mezcla de agregados en conjunto.

La base experimental que apoya al concepto del módulo de fineza es que es que granulometrías que tengan igual modo de fineza independientemente de la gradación individual, requieren la misma cantidad de agua para producir mezclas de concreto de similar plasticidad de resistencia, lo que lo convierte



en un parámetro ideal para el diseño de control de mezclas. (Rivva López, 2000)

El módulo de finura es un factor empírico que permite estimar que tan fino o grueso es un material. Está definido como la centésima parte del número que se obtiene al sumar los porcentajes retenidos acumulados en la siguiente serie de tamices: 149 $\mu$ m(No.100), 297 $\mu$ m(No.50), 595 $\mu$ m(No.30), 1,19mm(No.16), 2,38mm(No.8), 4,76mm(No.4), 9,51mm (3/8"), 19mm (3/4"), 38,1mm(1½") y los tamices siguientes cuya abertura está en relación de 1 a 2. (Rivera, 2013)

El módulo de finura se puede calcular a cualquier material, sin embargo, se recomienda determinar el módulo de finura al agregado fino y según su valor, este agregado se puede clasificar.

Tabla N° 4: Clasificación del agregado fino de acuerdo con el valor del módulo de finura.

MÓDULO DE FINURA	AGREGADO FINO
Menor que 2,00	Muy fino o extra fino
2,00 - 2,30	Fino
2,30 - 2,60	Ligeramente fino
2,60 - 2,90	Mediano
2,90 - 3,20	Ligeramente grueso
3,20 - 3,50	Grueso
Mayor que 3,50	Muy grueso o extra grueso

Fuente: (Rivera, 2013)

- **Tamaño Máximo.**

Está definido como la menor abertura del tamiz que permite el paso de la totalidad del agregado. De manera práctica representa el tamaño de la partícula más grande que tiene el material.

- **Tamaño Máximo Nominal.**

El tamaño nominal máximo de las partículas es el mayor tamaño del tamiz, listado en la norma aplicable, sobre el cual se permite la retención de cualquier material. (Rivera, 2013)



➤ **Densidad**

La densidad de las partículas que se usa en los cálculos de proporciónamiento (no incluyen los vacíos entre las partículas) se determina por la multiplicación de la densidad relativa (gravedad específica) de los agregados por la densidad del agua. Se usa un valor aproximado para la densidad del agua de aproximadamente 1000 kg/m<sup>3</sup> (62.4 lb/pe<sup>3</sup>). La densidad del agregado, juntamente con valores más precisos de la densidad del agua, se presenta en las normas ASTM C 127 (AASHTO T 85) y ASTM C 128 (AASHTO T 84). La densidad de las partículas de la mayoría de los agregados naturales está entre 2400 y 2900 kg/m<sup>3</sup> (150 y 181 lb/pe<sup>3</sup>). (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

➤ **Absorción y Humedad Superficial**

La estructura interna de una partícula de agregado se constituye de materia sólida y vacía que pueden o no contener agua. Las condiciones de humedad de los agregados se presentan en la Figura N° 9 y se las puede definir como:

- Secado al horno – totalmente absorbente
- Secado al aire– la superficie de las partículas está seca, pero su interior contiene humedad y, por lo tanto, aún es ligeramente absorbente
- Saturado con superficialmente seco (SSS) – no absorben ni ceden agua al concreto
- Húmedos – Contiene un exceso de humedad sobre la superficie (agua libre)



Figura N° 9: Condiciones de humedad de los agregados

Fuente: Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004

➤ **Peso Unitario**





El peso unitario de un material es el peso del material necesario para llenar un recipiente de volumen unitario. En el peso unitario además del volumen de las partículas del agregado se tiene en cuenta los vacíos que hay entre partículas. (Rivera, 2013)

El peso unitario de un agregado es la masa o el peso del agregado necesario para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado. El volumen a que se refiere aquí es aquél ocupado por los agregados y por los vacíos entre las partículas de agregado. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

➤ **Porcentaje de Vacíos**

El porcentaje de vacíos de los agregados hace referencia a los espacios no ocupados entre las partículas del agregado. Se puede afirmar que este valor es el resultado de la diferencia entre volumen neto o volumen total de la masa del agregado menos el volumen del espacio realmente ocupado por las partículas.

Es por ello que podemos afirmar que cuanto mayor sea el peso unitario, para una gravedad específica dada, menor es el contenido de vacíos, debido a que en volúmenes bien compactados se tiene un porcentaje de vacío mínimo. (Rivva López, 2000)

## 2. Materiales cementantes

El cemento es un material pulverizado que además de óxido de calcio contiene: sílice, alúmina y óxido de hierro y que forma, por adición de una cantidad apropiada de agua, una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto en el agua como en el aire.

Los cementos Portland son cementos hidráulicos compuestos principalmente de silicatos hidráulicos de calcio. Los cementos hidráulicos se fraguan y se endurecen por la reacción química con el agua. Durante la reacción, llamada hidratación, el cemento se combina con el agua para formar una masa similar a una piedra, llamada pasta. Cuando se adiciona la pasta (cemento y agua) a los agregados (arena y grava, piedra triturada, piedra machacada, pedrejón u otro material granular), la pasta actúa como un adhesivo y une los agregados para formar el concreto, el material de



construcción más versátil y más usado en el mundo. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)



*Figura N° 10: Cemento Portland*

Fuente: Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004

El cemento Portland es un producto que se obtiene por la pulverización del Clinker Portland con la adición de una o más formas de sulfato de calcio. Se admite la adición de otros productos siempre que su inclusión no afecte las propiedades del cemento resultante. Todos los productos adicionales deben ser pulverizados conjuntamente con el Clinker. (Rivera, 2013)

El cemento Portland se produce por la pulverización del clinker, el cual consiste principalmente en silicatos de calcio hidráulicos. El clinker también contiene algunos aluminatos de calcio y ferro aluminatos de calcio y una o más formas de sulfato de calcio (yeso) que se muele juntamente con el clinker para la fabricación del producto final. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)



*Figura N° 11: Clinker*

Fuente: VASSILIKO CEMENT



**a) Tipos de cemento portland.**

Existen los siguientes tipos de cemento portland los cuales son utilizados para aplicaciones específicas, basados en la normativa ASTM C 150, entre los cuales tenemos:

**Cemento Tipo I:** Utilizados cuando no se requieren las propiedades específicas de otros cementos.

El cemento portland Tipo I es un tipo de Cemento Portland el cual según la empresa cementera Cemento Nacional es idela en todo tipo de estructuras y construcciones en general; obras de concreto estructural, industrial, minería, infraestructura vial donde no se requieran propiedades específicas de otros tipos de cemento.

Según la normativa ASTM C 150 se presenta una variante de este tipo de cemento el tipo IA el cual es un cemento incorporador de aire para los mismos usos que el Tipo I, en donde se requiera la incorporación de aire al concreto. (ASMT C150, 2009)

**Cemento Tipo II:** Para uso general, en especial cuando se requiere resistencia moderada a los sulfatos o calor moderado de hidratación.

Su composición le permite obtener un cemento con moderada resistencia a los sulfatos y poseer un moderado calor de hidratación, debido a que en su mezcla contiene una menor cantidad de Aluminato tricálcico (C3A). (Corporación Socialista del Cemento S.A, s.f.)

Así mismo posee el sufijo tipo IIA para concretos donde se requiera la incorporación de aire. (ASMT C150, 2009)

**Cemento Tipo III:** Altas resistencias iniciales.

Este es similar al cemento Tipo I a excepción de que sus partículas se muelen más finamente, por lo que es usado cuando se necesita remover las cimbras (encofrados) lo más temprano posible o cuando la estructura será puesta en servicio rápidamente. (CEMEX S.A.B. de C.V., 2019)

**Cemento Tipo IV:** Se usa donde se deba minimizar la tasa y cantidad de calor generado por la hidratación.

Según (CEMEX S.A.B. de C.V.) en su artículo de Construcción menciona que este cemento desarrolla la resistencia en una tasa más lenta que los otros tipos. Se puede usar en estructuras de concreto masivo donde la alta temperatura deriva del calor generado durante el endurecimiento y este deba ser minimizado.



Cemento Tipo V: Alta resistencia a sulfatos.

Al igual que el cemento portland Tipo II contiene en su mezcla una menor cantidad de Aluminato tricálcico (C3A 5%), lo cual permite mejorar su resistencia a los sulfatos, propiedad que lo convierte en un cemento ideal para su aplicación a estructuras de losas, tuberías y postes de concreto en contacto con suelos o aguas con alto contenido de sulfatos.

#### **b) Definición de cementos portland adicionados**

Los cementos adicionados (o compuestos), son mezclas de Clinker de cemento portland, sulfato de calcio (yeso) y adiciones minerales; estos cementos pueden ser producidos por molienda conjunta de estos componentes o por la mezcla de los componentes finamente molidos. (Salamanca Correa, 2000)

Adiciones Puzolánicas.

Son adiciones que solo endurecen en presencia de Clinker de cemento portland debido a que la relación ocurre entre los silicatos activos de la materia puzolánica y el hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) liberado por el Clinker en el transcurso de la hidratación. Los materiales más comunes pertenecientes a este grupo son: la puzolana natural, por lo general origen volcánico, y la ceniza volante ('fly ash'). (Salamanca Correa, 2000)

Cementos Portland Tipo IP

Cemento portland puzolánicos, en la cual la puzolana constituyente es entre el 15 y el 40 % de la masa del cemento portland-puzolana. (ASTM C 595, 2003)

Efectos de la incorporación de la puzolana.

Podemos resumir las cualidades de los cementos puzolánicos y afirmar, comparándolas con el portland de igual designación, que se pueden ejecutar con ellos concretos y morteros más impermeables, menos solubles por más resistentes químicamente, con menos contracciones, de adherencia acrecida, de resistencias a corto plazo equiparables y a largo plazo bastante superiores. También destacaremos su mayor plasticidad o mejor manejabilidad y su más elevado coeficiente de elasticidad. (Baquero, 1967)

### **3. Agua**

El agua de mezcla cumple dos funciones muy importantes, permitir la hidratación del cemento y hacer la mezcla manejable. De toda el agua que se emplea en la



preparación de un mortero o un concreto, parte hidrata el cemento, el resto no presenta ninguna alteración y con el tiempo se evapora; como ocupaba un espacio dentro de la mezcla, al evaporarse deja vacíos los cuales disminuyen la resistencia y la durabilidad del mortero o del hormigón. (Rivera, 2013).

La calidad del agua para el concreto permeable se rige por los mismos requisitos que un concreto convencional. El concreto permeable debe ser proporcionado con una relación agua – cemento (a/c) relativamente baja (0,30 a 0,40) debido a que un exceso en la cantidad de agua dará lugar a un drenaje de la pasta y el taponamiento posterior del sistema de poros. La adición de agua, por lo tanto, tiene que ser controlada de cerca en el campo. (Torres, 2010).

El agua utilizada para la preparación de concretos debe cumplir con los requisitos establecidos en la NTP 339.088, la presente norma técnica establece que los parámetros de aquellas aguas que serán utilizados en la preparación y curado del concreto deben estar entre los siguientes parámetros.

Tabla N° 5: Límites permisibles para agua de mezcla y curado

DESCRIPCIÓN	LIMITE PERMISIBLE (MÁXIMO)
Sólidos en suspensión	5,000 ppm
Materia orgánica	3 ppm
Alcalinidad (nahco <sub>3</sub> )	1,000 ppm
Sulfatos (ion so <sub>4</sub> )	600 ppm
Cloruros (ion cl)	1,00 ppm
PH	5 a 8

Fuente: NTP 339.088

La calidad del agua en el concreto permeable tiene igual importancia que los requerimientos para un concreto convencional. El concreto permeable debe de ser proporcionado con una relación agua cemento relativamente bajo (w/cm) (típicamente 0.26 a 0.40) debido a que un exceso de agua podría drenar la pasta que contiene la estructura fresca, consecuentemente taponaría los poros de la estructura en el punto donde se detiene el drenaje. La adición de agua debe ser revisada minuciosamente. El agua debe de cumplir con los requerimientos de ACI 301. Agua reciclada para concreto permeable puede ser usado, pero solo provisionalmente de acuerdo a ASTM C94 o AASHTO M-157. (ACI 522, 2010)



#### 4. Aditivos

Aditivo es una sustancia química, generalmente dosificada por debajo del 5% de la masa del cemento, distinta del agua, los agregados, el cemento y los refuerzos de fibra, que se emplea como ingrediente de la pasta, del mortero o del concreto, y se agrega al conjunto antes o durante el proceso de mezclado, con el fin de modificar alguna o algunas de sus propiedades físicas, de tal forma que el material se adapte de una mejor forma a las características de la obra o las necesidades del constructor. (Rivera, 2013).

“Los aditivos son usados en concretos permeables para obtener propiedades especiales, como en el concreto convencional. Los aditivos deben de satisfacer los requisitos de la ASTM C 494. Los aditivos reductores de agua (de mediano a alto rango) se usan dependiendo de la relación a/c. Los aditivos retardadores se usan para estabilizar y controlar la hidratación del cemento. Con frecuencia se prefieren los aditivos retardadores cuando se está tratando con mezclas rígidas, tales como concreto permeable, especialmente en aplicaciones en clima cálido. Los aditivos retardadores pueden actuar como lubricantes para ayudar a descargar el concreto desde una mezcladora, y pueden mejorar el manejo y las características de desempeño en el lugar. Los aceleradores pueden utilizarse cuando se están colocando concretos permeables en clima frío. Los aditivos inclusores de aire no se han usado comúnmente en concreto permeables, pero pueden utilizarse en ambientes susceptibles de congelación y deshielo. Sin embargo, no existe un método confiable para cuantificar el volumen de aire incluido en estos materiales” (Perez, 2009).



#### D) Criterios de diseño de mezcla

El diseño de mezcla del concreto permeable establecido por el ACI 522R-10, 2010, nos brinda un método para proporciones de concreto permeable, el cual puede ser utilizado en pavimentos que permitan la filtración y un alto porcentaje de drenaje de aguas.

Según (Perez, 2009), Para el concreto permeable, las relaciones agregado/cemento y a/c son las variables más importantes que afectan las propiedades mecánicas.

Tabla N° 6: Rangos típico de las proporciones de materiales en el concreto permeable

PARÁMETRO	RANGO
Materiales cementantes, Kg/m <sup>3</sup>	270 a 415
Agregado, Kg/m <sup>3</sup>	1190 a 1480
Relación agua-cemento, en peso	0.26 a 0.45
Relación agregado-cemento, en peso	4 a 4.1:1
Relación agregado fino-agregado grueso, en peso	0 a 1:1

Fuente: (Tennis, Leming, & Akers, 2004)

Un adecuado diseño de mezcla dependerá de las propiedades de los componentes utilizados para su elaboración y de los resultados de los ensayos con dichos componentes.

#### ➤ Relación Agua-Cemento (a/c)

Se supone que la trabajabilidad del concreto permeable es la deseable, si se usa suficiente agua de mezclado para impartir a la mezcla una apariencia de un metal mojado.

Al comprimir y soltar un puñado de la mezcla, se deberá tener como resultado una mezcla que no se desmorone, ni presente huecos, y no debe fluir la pasta de cemento separándose de las partículas del agregado. La consistencia correcta usualmente se obtiene a través de un proceso de prueba e inspección, lo que asegura que cada mezcla contenga la pasta de cemento suficiente para cubrir las partículas gruesas



con una delgada capa brillante, dándole un resplandor metálico. (ACI 522R-10, 2010)

➤ **Contenido de agregado grueso (b/bo)**

Las pruebas de peso unitario seco-compactado de agregado grueso (b/bo) hecho por la National Aggregates Association (NAA), muestra que el peso unitario seco compactado del agregado grueso determinado de acuerdo con la norma ASTM C29 puede usarse en el proporcionamiento del concreto permeable.

Dónde:

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

El valor  $b/bo$  automáticamente se compensa por los efectos de las diferentes formas de las partículas de los agregados, la graduación o tamaño, y el peso específico.

Además, para un rango de agregados de tamaño máximo nominal normalmente usados para concreto permeable (3/8" a 3/4") los valores  $b/bo$  son muy similares (ACI 522R-10, 2010)

➤ **Procedimiento de dosificación.**

El procedimiento de dosificación para el concreto permeable está basado en el volumen de pasta necesaria para ligar las partículas de agregado en conjunto, manteniendo el contenido de vacíos necesario.

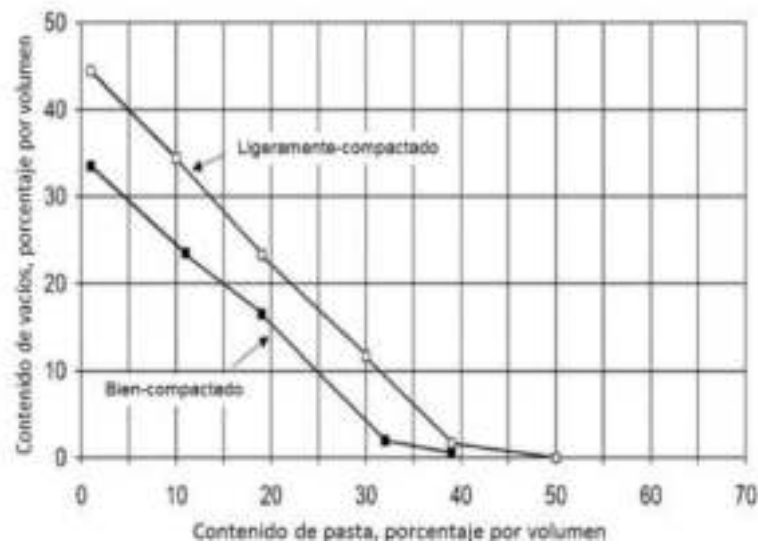
Una vez que el volumen de pasta está determinado, se seleccionada la relación Agua/Material Cementante deseada, el cemento y las cantidades de agua puede determinarse a partir de la relación:

- Volumen de Pasta (VP) = Volumen de Cemento + Volumen de Agua, o
- $VP = c / (\text{Peso específico Concreto}) + w / 1000 \text{ (m}^3\text{)}$





Tabla N° 7: Relación del contenido de vacíos y el contenido de pasta, para agregado



Fuente: Apéndice 6 – ACI 522R-10

Donde  $c$  es la masa de cemento y  $w$  es la masa de agua.

Si la relación Agua/Cemento es  $(w/c)$ , entonces:

- $w = (w/c) c$
- $VP = c/3150 + [(w/cm) c / 1000] (m^3)$

## E) Propiedades del concreto permeable en estado fresco

Las diversas propiedades de resistencia del concreto permeable dependen de los contenidos de cemento, de la relación agua - cemento ( $a/c$ ), del nivel de compactación y de la graduación y calidad del agregado. Aunque el concreto permeable se ha utilizado para la pavimentación por más de 20 años, sólo unas pocas investigaciones se han llevado a cabo para determinar su rendimiento. (Torres, 2010).

### 1. Revenimiento del concreto

El asentamiento es un índice de la consistencia del concreto, relacionado con su estado de fluidez. Se determina de acuerdo a la norma ASTM C-143.

Para un concreto permeable el revenimiento generalmente varía de 0 a 1 cm. (Perez, 2009)



## F) Propiedades del concreto permeable en estado endurecido

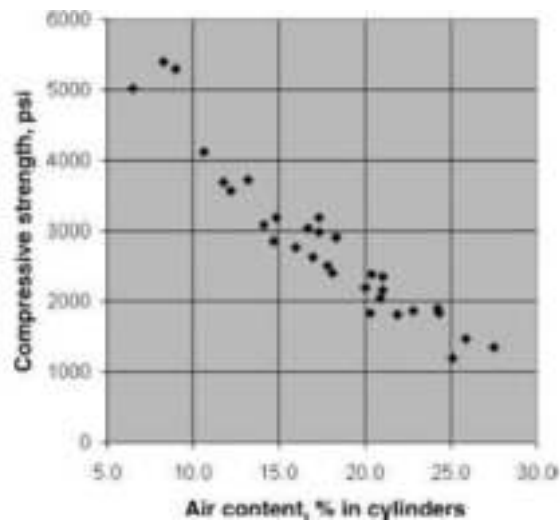
### 1. Resistencia a la compresión

La resistencia a compresión se puede definir como la medida máxima de la resistencia a carga axial de especímenes de concreto. Se determina de acuerdo a la norma ASTM C39.

Es el esfuerzo requerido por un área determinada para que la muestra de concreto tenga una falla normal por efectos de la compresión. La resistencia a la compresión del concreto permeable se encuentra fuertemente afectada por la proporción de la matriz y el esfuerzo de compactación durante la colocación.

La siguiente tabla, muestra la relación entre la resistencia a la compresión de concreto permeable en libras por pulgada cuadrada (psi) y el porcentaje de contenido de aire.

Tabla N° 8: Resistencia a compresión versus Contenido de Aire



Nota: 1 libra por pulgada cuadrada (psi) = 0.07 Kg/cm<sup>2</sup>

Fuente: ACI 522, 2010.

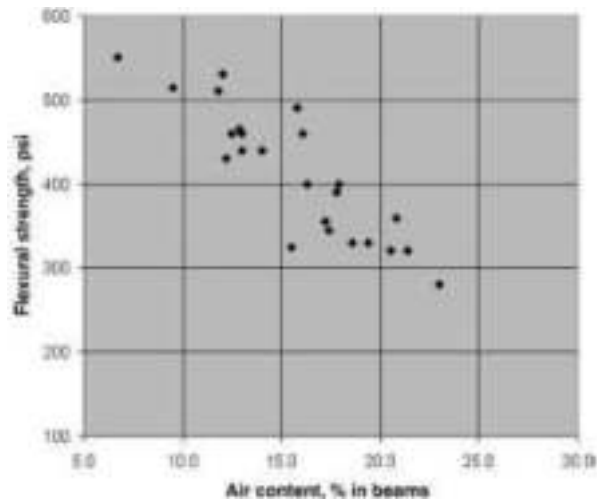
### 2. Resistencia a flexión (con apoyo en los tercios centrales).

La resistencia a flexotracción 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 flexotracción, 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 a la norma ASTM C78. En el ensayo el concreto es muestreado en vigas. A los 28 días las vigas deberán ser ensayadas aplicando cargas en los tercios, y forzando la falla en el tercio central de la viga.

Tabla N° 9: Resistencia a flexión versus contenido de aire



Nota: 1 libra por pulgada cuadrada (psi) = 0.07 Kg/cm2

Fuente: ACI 522, 2010.

**Resistencia a flexión equivalente.**

Se refiere a la relación entre la resistencia a flexión y la resistencia a compresión para el pavimento permeable. Esta relación se encuentra establecida con mayor precisión por las siguientes ecuaciones (ACI 522R-10, 2010):

$$f_r = 2.3 \times f'_c{}^{2/3} \dots\dots\dots \text{(En unidades de in. y lb.)}$$

**3. Permeabilidad**

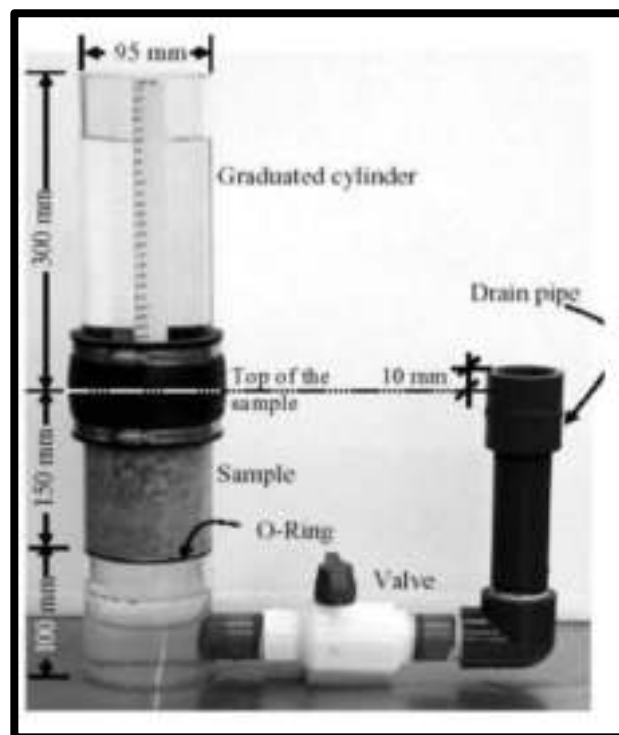
Una de las características más importantes del concreto permeable es su capacidad para filtrar agua. La tasa de filtración del concreto permeable se relaciona directamente con el contenido de vacío de aire.

Las pruebas han demostrado que un contenido mínimo de aire de aproximadamente el 15% es necesario para alcanzar una filtración significativa. La tasa de filtración aumenta conforme aumenta el contenido de aire y en consecuencia disminuye la fuerza de compresión.



El reto en el concreto permeable es lograr un equilibrio en la mezcla de dosificación entre una tasa de filtración aceptable y una resistencia a la compresión aceptable. (Torres, 2010)

La permeabilidad del concreto permeable puede ser medida por un permeámetro como se muestra.



*Figura N° 12: Permeámetro*

Fuente: ACI 522R-10, 2010.

Con este método, la muestra está encerrada en una membrana de látex para evitar que el agua fluya a lo largo de los lados de la muestra. El agua se agrega a la probeta para llenar la celda de muestra y el tubo de drenaje.

La muestra se pre acondicionará permitiendo que el agua drene hacia afuera a través del tubo hasta que el nivel en el cilindro graduado sea el mismo que la parte superior del tubo de drenaje. Esto reduce al mínimo las bolsas de aire en la muestra y asegura que la muestra esté completamente saturada.

Con la válvula cerrada, el cilindro graduado se llena de agua. La válvula se abre entonces, y el tiempo  $t$  en segundos necesarios para que el agua caiga desde una cabeza inicial  $h_1$  hasta una cabeza final  $h_2$  se mide. El equipo está calibrado para una carga inicial de 290 mm y una final de 70 mm. El coeficiente de



permeabilidad  $k$  en [m/s]) se puede expresar como  $k = A/t$  Donde  $A = 0,35$  pulgadas (0,084 m). (Torres, 2010)

### 2.2.5. Características y especificaciones técnicas del concreto para su uso en pavimentos especiales

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, específicamente en la Norma CE.010 Pavimentos Urbanos. Se consideran como pavimentos especiales a los siguientes:

- a) Aceras o Veredas.
- b) Pasajes Peatonales.
- c) Ciclovías.

Estos pavimentos deberán cumplir los siguientes requisitos:

Tabla N° 10: Requisitos Estructurales de los elementos de un Pavimento Especial

TIPO DE PAVIMENTO ELEMENTO		ACERAS O VEREDAS	PASAJES PEATONALES	CICLOVÍAS
		95 % de compactación: Suelos Granulares - Proctor Modificado Suelos Cohesivos - Proctor Estándar		
SUB-RASANTE		Espesor compactado: $\geq 150$ mm		
BASE		CBR $\geq 30$ %		CBR $\geq 60$ %
ESPESOR DE LA CAPA DE RODADURA	Asfáltico	$\geq 30$ mm		
	Concreto de cemento Portland	$\geq 100$ mm		
	Adoquines	$\geq 40$ mm (Se deberán apoyar sobre una cama de arena fina, de espesor comprendido entre 25 y 40 mm)		
MATERIAL	Asfáltico	Concreto Asfáltico *		
	Concreto de cemento Portland	$f_c \geq 17,5$ Mpa (175 kg/cm <sup>2</sup> )		
	Adoquines	$f_c \geq 32$ Mpa (320 kg/cm <sup>2</sup> )	N.R. **	

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones. Norma CE.010 Pavimentos Urbanos



Por otra parte, de acuerdo al reporte de ACI 522R-10, respecto a la equivalencia de la resistencia a compresión del concreto y la resistencia a flexión (con apoyo a los tercios), se tiene la siguiente tabla de equivalencias.

Tabla N° 11: Valores de equivalencias entre resistencia a compresión y resistencia a flexión

RESISTENCIA A COMPRESIÓN F'C (KG/CM <sup>2</sup> )	RESISTENCIA A FLEXIÓN EQUIVALENTE MR (KG/CM <sup>2</sup> )
175	30
210	34
240	37
280	40

## 2.2.6. Curvas de Aproximación

### 2.2.6.1. ¿Qué es una curva de aproximación?

Para hallar una ecuación que relacione las variables, el primer paso es obtener datos que muestren los valores de las variables que se están considerando.

El paso siguiente es graficar los puntos en un sistema de coordenadas rectangulares. Al conjunto de puntos obtenido se le llama diagrama de dispersión.

En el diagrama de dispersión es posible visualizar alguna curva cuya forma se aproxime a los datos. A esta curva se le llama curva de aproximación. (Spiegel & Stephens, 2009)

### 2.2.6.2. ¿Para qué sirven las curvas de aproximación?

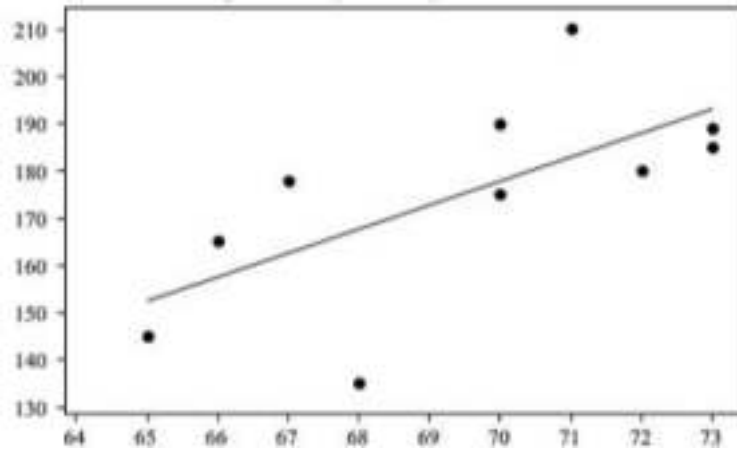
Con frecuencia, en la práctica se encuentra que existen relaciones entre dos (o más) variables. Es útil expresar estas relaciones en forma matemática mediante una ecuación que conecte estas variables, mediante curvas de aproximación. (Spiegel & Stephens, 2009)

### 2.2.6.3. Ecuaciones de curvas de aproximación

Según Spiegel & Stephens, 2009, como referencia, a continuación, se presentan varios de los tipos más comunes de curvas de aproximación. Todas las letras, excepto X y Y, representan constantes. A las variables X y Y se les llama variable independiente y variable dependiente, respectivamente, aunque estos papeles pueden intercambiarse.



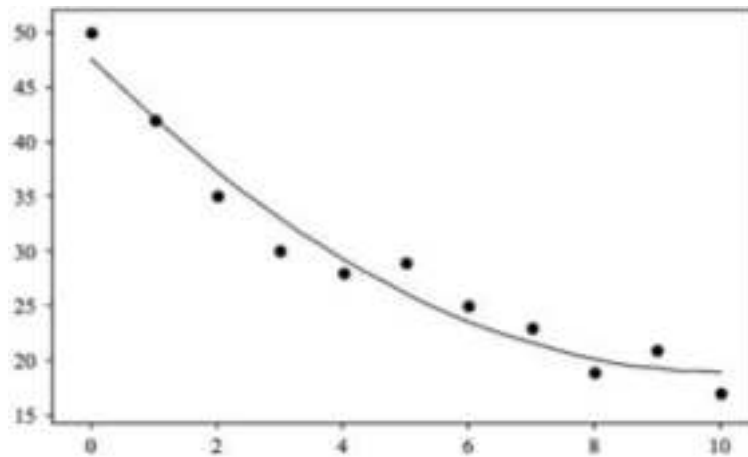
Tabla N° 12: Ejemplo de relación lineal entre dos variables



Fuente: (Spiegel & Stephens, 2009)

Nota: Los puntos procedentes de la dispersión de datos de la Tabla N° 12 a la Tabla N° 15 son netamente aleatorias, sus valores tanto en el eje de las abscisas y el eje de las ordenadas son referenciales y tienen el objeto de ejemplificar los conceptos de los autores en mención.

Tabla N° 13: Ejemplo de relación cuadrática o parabólica entre dos variables



Fuente: (Spiegel & Stephens, 2009)

Nota: Los puntos procedentes de la dispersión de datos de la Tabla N° 12 a la Tabla N° 15 son netamente aleatorias, sus valores tanto en el eje de las abscisas y el eje de las ordenadas son referenciales y tienen el objeto de ejemplificar los conceptos de los autores en mención.

Entre las cuales tenemos:

- Línea Recta  $Y = a_0 + a_1X$
- Parábola o curva cuadrática  $Y = a_0 + a_1X + a_2X^2$
- Curva cúbica  $Y = a_0 + a_1X + a_2X^2 + a_3X^3$
- Curva cuártica  $Y = a_0 + a_1X + a_2X^2 + a_3X^3 + a_4X^4$
- Curva de grado n  $Y = a_0 + a_1X + a_2X^2 + \dots + a_nX^n$



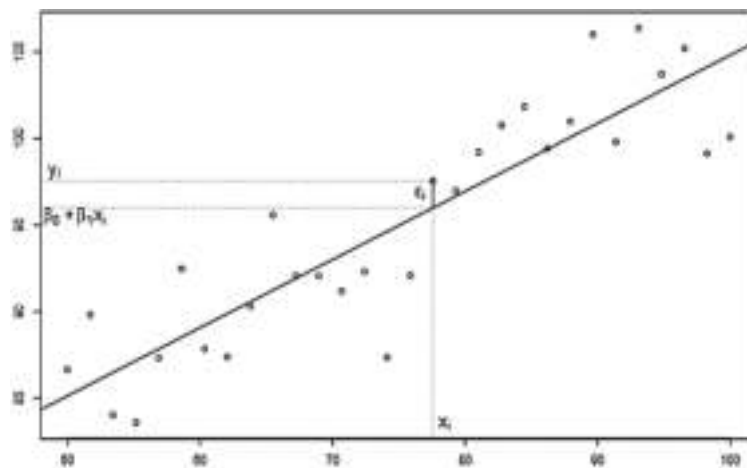
#### 2.2.6.4. El modelo de regresión lineal simple

Un modelo de regresión lineal simple para una variable, Y (variable dependiente), dada otra variable, X (variable independiente), es un modelo matemático que permite obtener una fórmula capaz de relacionar Y con X basada sólo en relaciones lineales, del tipo:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \times X + \varepsilon$$

En la cual  $\beta_0$  y  $\beta_1$  son los parámetros desconocidos de la intersección y la pendiente, respectivamente, y  $\varepsilon$  es una variable aleatoria la cual provoca que la relación entre la variable dependiente y la variable independiente no sea perfecta. (Sáez Castillo, 2012)

Tabla N° 14: Diagrama de dispersión y línea de las medias hipotéticas



Fuente: (Sáez Castillo, 2012)

Nota: Los puntos procedentes de la dispersión de datos de la Tabla N° 12 a la Tabla N° 15 son netamente aleatorias, sus valores tanto en el eje de las abscisas y el eje de las ordenadas son referenciales y tienen el objeto de ejemplificar los conceptos de los autores en mención.

#### 2.2.6.5. Mínimos cuadrados y la curva de aproximación

Para obtener el modelo de regresión lineal que mejor se ajuste a los datos de la muestra, debemos estimar los coeficientes  $\beta_0$  y  $\beta_1$  obteniendo los parámetros  $b_0$  y  $b_1$  respectivamente, esto permite el cálculo de los valores pronosticados a partir de la curva de aproximación. (Walpole, Myers, Myers, & Ye, 2012)

$$\hat{y}_i = b_0 + b_1 \times x$$

Antes de analizar el método de estimación de los mínimos cuadrados es importante presentar el concepto de residual. El cual dado un conjunto de datos  $\{(x_i, y_i); i = 1, 2, 3, \dots, n\}$  y un modelo ajustado  $\hat{y}_i = b_0 + b_1 \times x$ , el i-ésimo residual  $\varepsilon_i$  es dado por:





$$\varepsilon_i = y_i - \hat{y}_i, i = 1, 2, 3, \dots, n.$$

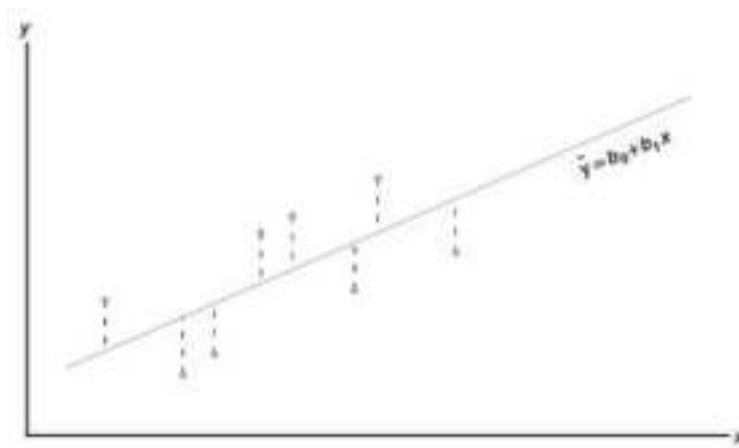
Debemos calcular  $b_0$  y  $b_1$ , los estimados de  $\beta_0$  y  $\beta_1$ , de manera que la suma de los cuadrados de los residuales sea mínima. La suma residual de los cuadrados con frecuencia se denomina suma de los cuadrados del error respecto de la recta de regresión y se denota como SCE. Este procedimiento de minimización para estimar los parámetros se denomina método de mínimos cuadrados. (Walpole, Myers, Myers, & Ye, 2012)

Dada la muestra  $\{(x_i, y_i); i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ , los estimados  $b_0$  y  $b_1$  de los mínimos cuadrados de los coeficientes de regresión  $\beta_0$  y  $\beta_1$  se calculan mediante las fórmulas:

$$b_1 = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}$$

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - b_1 \sum_{i=1}^n x_i}{n} = \bar{y} - b_1 \bar{x}$$

Tabla N° 15: Los residuales como desviaciones verticales.



Fuente: (Walpole, Myers, Myers, & Ye, 2012)

Nota: Los puntos procedentes de la dispersión de datos de la Tabla N° 12 a la Tabla N° 15 son netamente aleatorias, sus valores tanto en el eje de las abscisas y el eje de las ordenadas son referenciales y tienen el objeto de ejemplificar los conceptos de los autores en mención.

### 2.2.6.6. Regresión a través del origen.

Se ha considerado el modelo  $Y = \beta_0 + \beta_1 \times X + \varepsilon$ , el cuál es una recta de regresión con un intercepto. En ocasiones puede ser necesario estimar el modelo  $Y = \beta_1 \times X + \varepsilon$  esto es, una línea que pasa a través del origen. Este modelo se llama modelo sin intercepto.



El forzar que la línea pase a través del origen puede deberse a razones teóricas o por otras consideraciones físicas y/o materiales del caso particular en estudio( por ejemplo, la distancia de viaje es una función del tiempo pero no debe tener ninguna constante). La estimación aplicando el principio de mínimos cuadrados del modelo sin intercepto da por resultado. (FORTINO, 2010)

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2}$$

### 2.2.6.7. El coeficiente de correlación lineal de Pearson

El coeficiente de correlación lineal de Pearson ofrece una medida cuantitativa de la fortaleza de la relación lineal entre X e Y en la muestra, pero que a diferencia de  $b_1$ , es adimensional, ya que sus valores siempre están entre  $-1$  y  $1$ , sean cuales sean las unidades de medida de las variables. (Sáez Castillo, 2012)

Según Canavos (1988) para definir el coeficiente de correlación de la muestra, se supondrá que tanto X como Y son variables aleatorias.

Entonces sea  $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_n, Y_n)$  una muestra aleatoria de tamaño “n”, el coeficiente de correlación lineal muestral se define como:

$$r_{x,y} = \frac{s_{xy}}{s_x s_y}$$

Donde:

- $s_{xy}$  es la covarianza de (x, y)
- $s_x$  es la desviación estándar de la variable X.
- $s_y$  es la desviación estándar de la variable Y.

La interpretación del valor de r es la siguiente:

- r cercano o igual a 0 implica poca o ninguna relación lineal entre X e Y.
- Cuanto más se acerque a 1 o -1, más fuerte será la relación lineal entre X e Y.
- Si  $r = \pm 1$ , todos los puntos caerán exactamente en la recta de regresión.
- Un valor positivo de r implica que Y tiende a aumentar cuando X aumenta, y esa tendencia es más acusada cuanto más cercano está r de 1.
- Un valor negativo de r implica que Y disminuye cuando X aumenta, y esa tendencia es más acusada cuanto más cercano está r de -1.



### 2.2.6.8. El Coeficiente de determinación lineal.

El coeficiente de determinación  $R^2$  es la medida en que “X” contribuye a la explicación de “Y” en una escala de 0 a 1, donde el 0 indica que el error es el total de la variación de los valores de “Y” y el 1 es la precisión total, el error 0. La medida suele darse en porcentaje. Dicho de otra forma, aproximadamente  $100 \times R^2 \%$  de la variación total de los valores de “Y” respecto de su media pueden ser explicada mediante la recta de regresión de “Y” dada “X”. (Sáez Castillo, 2012)

El coeficiente de determinación está determinado por:

$$R^2 = r^2 = \frac{s_{xy}^2}{(s_x s_y)^2}$$

Donde:

- $s_{xy}$  es la covarianza de (x, y)
- $s_x$  es la desviación estándar de la variable X.
- $s_y$  es la desviación estándar de la variable Y.

### 2.2.6.9. Predicciones

Hay varias razones para construir un modelo de regresión lineal. Una de ellas es, desde luego, predecir valores de respuesta para uno o más valores de la variable independiente. La ecuación  $\hat{y} = b_0 + b_1 \times x$  se puede utilizar para predecir o estimar la respuesta media. (Walpole, Myers, Myers, & Ye, 2012)

## 2.3. Hipótesis

### 2.3.1. Hipótesis general

El rango óptimo de agregado fino en concreto permeable evaluado a partir de curvas de aproximación para su aplicación en pavimentos especiales es de 11% a 16%.

### 2.3.2. Sub hipótesis

S.H.1.- El rango de agregado fino en concreto permeable que cumpla con la resistencia a compresión de  $175 \text{ kg/cm}^2$  evaluado a partir de la curva de aproximación: porcentaje de agregado fino - resistencia a compresión es de 10% a 20%.



S.H.2.- El rango de agregado fino en concreto permeable que cumpla con la resistencia a flexión equivalente de  $30 \text{ kg/cm}^2$  evaluado a partir de la curva de aproximación: porcentaje de agregado fino - resistencia a flexión es de 11% a 20%.

S.H.3.- El rango de agregado fino en concreto permeable que cumpla con el coeficiente de permeabilidad de  $0.14 \text{ cm/s}$  evaluado a partir de la curva de aproximación porcentaje de agregado fino - coeficiente de permeabilidad es de 0% a 16%.

## 2.4. Definición de variables

### 2.4.1. Variables dependientes

#### A. Rango óptimo de agregado fino

Es el intervalo entre el valor máximo y valor mínimo de incorporación de agregado fino en el diseño de un concreto permeable que permita cumplir con la resistencia a compresión normada por el Reglamentos Nacional de Edificaciones en la Norma CE.010 Pavimentos Urbanos para una carpeta de rodadura en un pavimento especial y brinde un coeficiente de permeabilidad mínimo conjuntamente con una resistencia mínima equivalente a flexión según el reporte ACI 522.R, evaluado a partir de curvas aproximación.

#### Indicadores:

- Valor mínimo recomendado de coeficiente de permeabilidad.
- Valor mínimo normado de resistencia a compresión.
- Valor mínimo equivalente de resistencia a flexión.

### 2.4.2. Variables independientes

#### A. Curva de Aproximación Porcentaje de Agregado Fino - Coeficiente de Permeabilidad.

Es la representación gráfica de la función que relaciona la incorporación gradual de agregado fino y la magnitud del coeficiente de permeabilidad en un concreto permeable.

#### Indicadores:

- Volumen de los Agregados ( $\text{m}^3$ ).
- Porcentaje de Agregado Fino (%).
- Volumen de Agua ( $\text{m}^3$ ).
- Área de la muestra ( $\text{cm}^2$ ).
- Tiempo (seg).

#### B. Curva de Aproximación Porcentaje de Agregado Fino - Resistencia a Compresión



Es la representación gráfica de la función que relaciona la incorporación gradual de agregado fino y la magnitud de la resistencia a compresión en un concreto permeable.

**Indicadores:**

- Volumen de los Agregados ( $m^3$ ).
- Porcentaje de Agregado Fino (%).
- Fuerza de Compresión ( $kg/cm^2$ ).
- Área de la muestra ( $cm^2$ ).

**C. Curva de Aproximación Porcentaje de Agregado Fino - Resistencia Equivalente a Flexión**

Es la representación gráfica de la función que relaciona la incorporación gradual de agregado fino y la magnitud de la resistencia equivalente a flexión en un concreto permeable.

**Indicadores:**

- Volumen de los Agregados ( $m^3$ ).
- Porcentaje de Agregado Fino (%).
- Fuerza de Flexotracción ( $kg/cm^2$ ).
- Longitud de Separación entre apoyos (cm).
- Altura o peralte de la muestra (cm).
- Ancho de la muestra (cm).



2.4.3. Cuadro de operacionalización de variables

Tabla N° 16: Cuadro de operacionalización de variables

TIPO DE VARIABLE	VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL DE LA VARIABLE	DIMENSIÓN O NIVEL	INDICADORES	UNIDAD	INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS
VARIABLE DEPENDIENTE	RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO	<b>Rango Óptimo de Agregado Fino.</b> - Es el intervalo entre el valor máximo y valor mínimo de incorporación de agregado fino en el diseño de un concreto permeable que permita cumplir con la resistencia a compresión normada por el Reglamento Nacional de Edificaciones en la Norma CE.010 Pavimentos Urbanos para una carpeta de rodadura en un pavimento especial y brinde un coeficiente de permeabilidad mínimo conjuntamente con una resistencia mínima equivalente a flexión según el reporte ACI 522.R, evaluado a partir de curvas aproximación.	Coeficiente de permeabilidad	Valor mínimo recomendado de coeficiente de permeabilidad	cm/s	Reporte ACI 522.R
			Resistencia a compresión	Valor mínimo normado de resistencia a compresión	kg-f/cm <sup>2</sup>	Reglamentos Nacional de Edificaciones en la Norma CE.010 Pavimentos Urbanos
			Resistencia equivalente a flexión	Valor mínimo equivalente de resistencia a flexión	kg-f/cm <sup>2</sup>	Reporte ACI 522.R
VARIABLE INDEPENDIENTE	CURVA DE APROXIMACIÓN PORCENTAJE DE AGREGADO FINO - COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD	<b>Curva de Aproximación Porcentaje de Agregado Fino - Coeficiente de Permeabilidad.</b> - Es la representación gráfica de la función que relaciona la incorporación gradual de agregado fino y la magnitud del coeficiente de permeabilidad en un concreto permeable.	Coeficiente de Permeabilidad con 0% de agregado fino.	Volumen de los Agregados	m <sup>3</sup>	Formato de Diseño de Mezcla
			Coeficiente de Permeabilidad con 5% de agregado fino.	Porcentaje de Agregado Fino	%	
			Coeficiente de Permeabilidad con 10% de agregado fino.	Volumen de Agua	cm <sup>3</sup>	Ficha de acopio de datos, formularios y hojas de cálculo.
			Coeficiente de Permeabilidad con 15% de agregado fino.	Área de la muestra	cm <sup>2</sup>	
			Coeficiente de Permeabilidad con 20% de agregado fino.	Tiempo	seg	
	CURVA DE APROXIMACIÓN PORCENTAJE DE AGREGADO FINO - RESISTENCIA A COMPRESIÓN	<b>Curva de Aproximación Porcentaje de Agregado Fino - Resistencia a Compresión.</b> - Es la representación gráfica de la función que relaciona la incorporación gradual de agregado fino y la magnitud de la resistencia a compresión en un concreto permeable.	Resistencia a compresión con 0% de agregado fino.	Volumen de los Agregados	m <sup>3</sup>	Formato de Diseño de Mezcla
			Resistencia a compresión con 5% de agregado fino.	Porcentaje de Agregado Fino	%	
			Resistencia a compresión con 10% de agregado fino.	Fuerza de Compresión	kg-f	
			Resistencia a compresión con 15% de agregado fino.	Área de la muestra	cm <sup>2</sup>	
			Resistencia a compresión con 20% de agregado fino.			
	CURVA DE APROXIMACIÓN PORCENTAJE DE AGREGADO FINO - RESISTENCIA A FLEXIÓN	<b>Curva de Aproximación Porcentaje de Agregado Fino - Resistencia a Flexión.</b> - Es la representación gráfica de la función que relaciona la incorporación gradual de agregado fino y la magnitud de la resistencia a flexión en un concreto permeable.	Resistencia a flexión con 0% de agregado fino.	Volumen de los Agregados	m <sup>3</sup>	Formato de Diseño de Mezcla.
			Resistencia a flexión con 5% de agregado fino.	Porcentaje de Agregado Fino	%	
			Resistencia a flexión con 10% de agregado fino.	Fuerza de Flexotracción	kg-f	Ficha de acopio de datos, formularios y hojas de cálculo.
			Resistencia a flexión con 15% de agregado fino.	Longitud de Separación entre apoyos	cm	
			Resistencia a flexión con 20% de agregado fino.	Altura o peralte de la muestra	cm	
	Ancho de la muestra	cm				



## Capítulo III: Metodología

### 3.1. Metodología de la investigación

#### 3.1.1. Enfoque de la investigación

Según (Niño Rojas, 2011) la investigación cuantitativa tiene que ver con la “cantidad” y, por tanto, su medio principal es la medición y el cálculo.

En vista de que se busca medir variables con referencia a magnitudes afirmamos que nuestra investigación es de **tipo cuantitativo**.

#### 3.1.2. Nivel o alcance de la investigación

Estudios descriptivos: Sirven para analizar cómo es y cómo se manifiesta un fenómeno y sus componentes. Permiten detallar el fenómeno estudiado básicamente a través de la medición de uno o más de sus atributos. (Behar Rivero, 2008)

Estudios correlacionales: El investigador pretende visualizar cómo se relacionan o vinculan diversos fenómenos entre sí, o si por el contrario no existe relación entre ellos. Lo principal de estos estudios es saber cómo se puede comportar una variable conociendo el comportamiento de otra variable relacionada. (Behar Rivero, 2008)

Se afirma que el nivel de investigación será **descriptivo con alcance correlacional**.

#### 3.1.3. Método de investigación

Según (Behar Rivero, 2008), podemos afirmar que el método investigación es el **hipotético-deductivo**.

En el método hipotético-deductivo (o de contrastación de hipótesis) se trata de establecer la verdad o falsedad de las hipótesis (que no podemos comprobar directamente, por su carácter de enunciados generales, o sea leyes, que incluyen términos teóricos), a partir de la verdad o falsedad de las consecuencias observacionales.

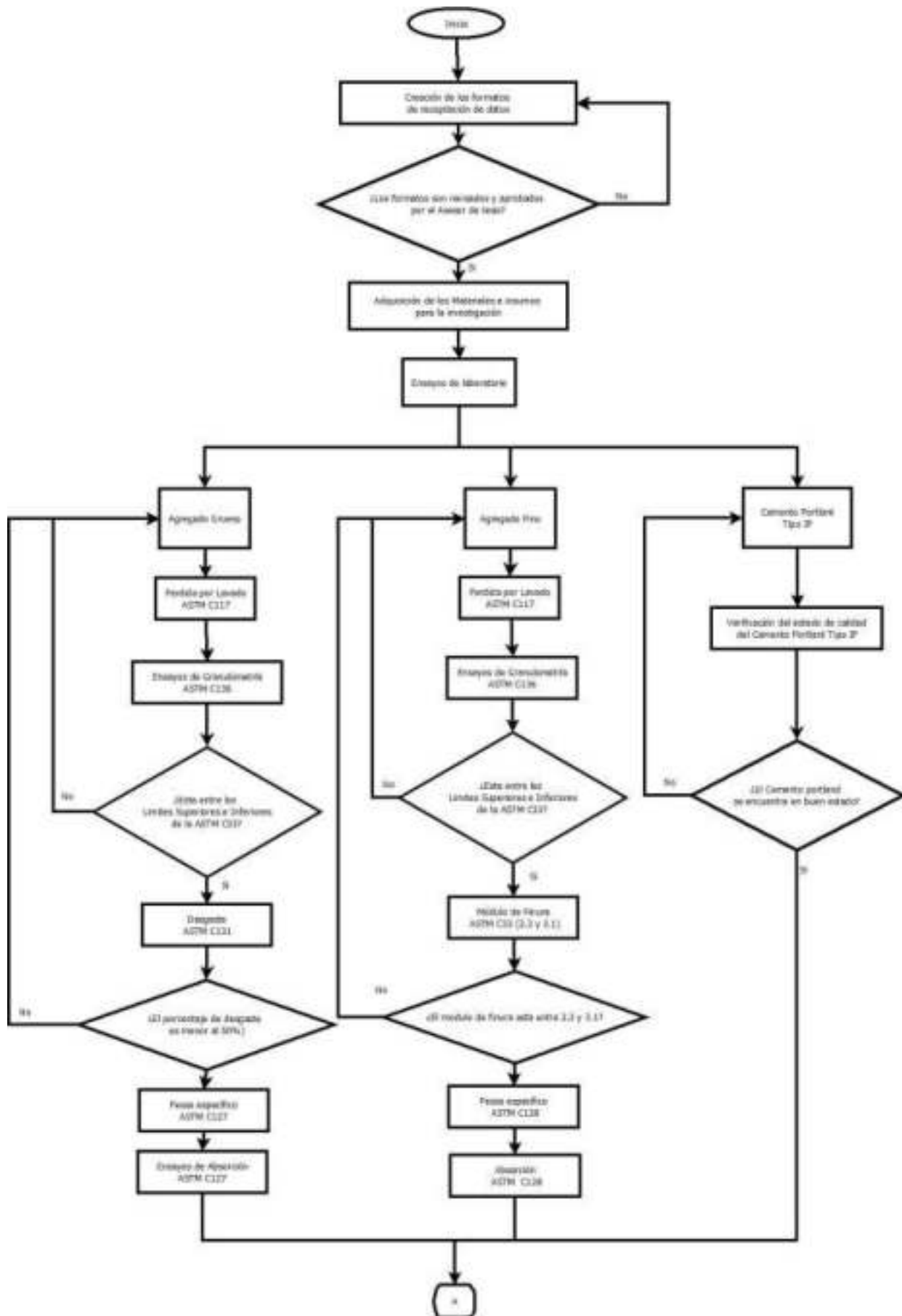
### 3.2. Diseño de la investigación

#### 3.2.1. Diseño metodológico

Según (Behar Rivero, 2008), podemos afirmar que el diseño de investigación es **experimental**. Se modificará la variación del porcentaje de finos en sustitución del volumen total de los agregados, para evaluar su incidencia en las propiedades físicas y mecánicas del concreto permeable.

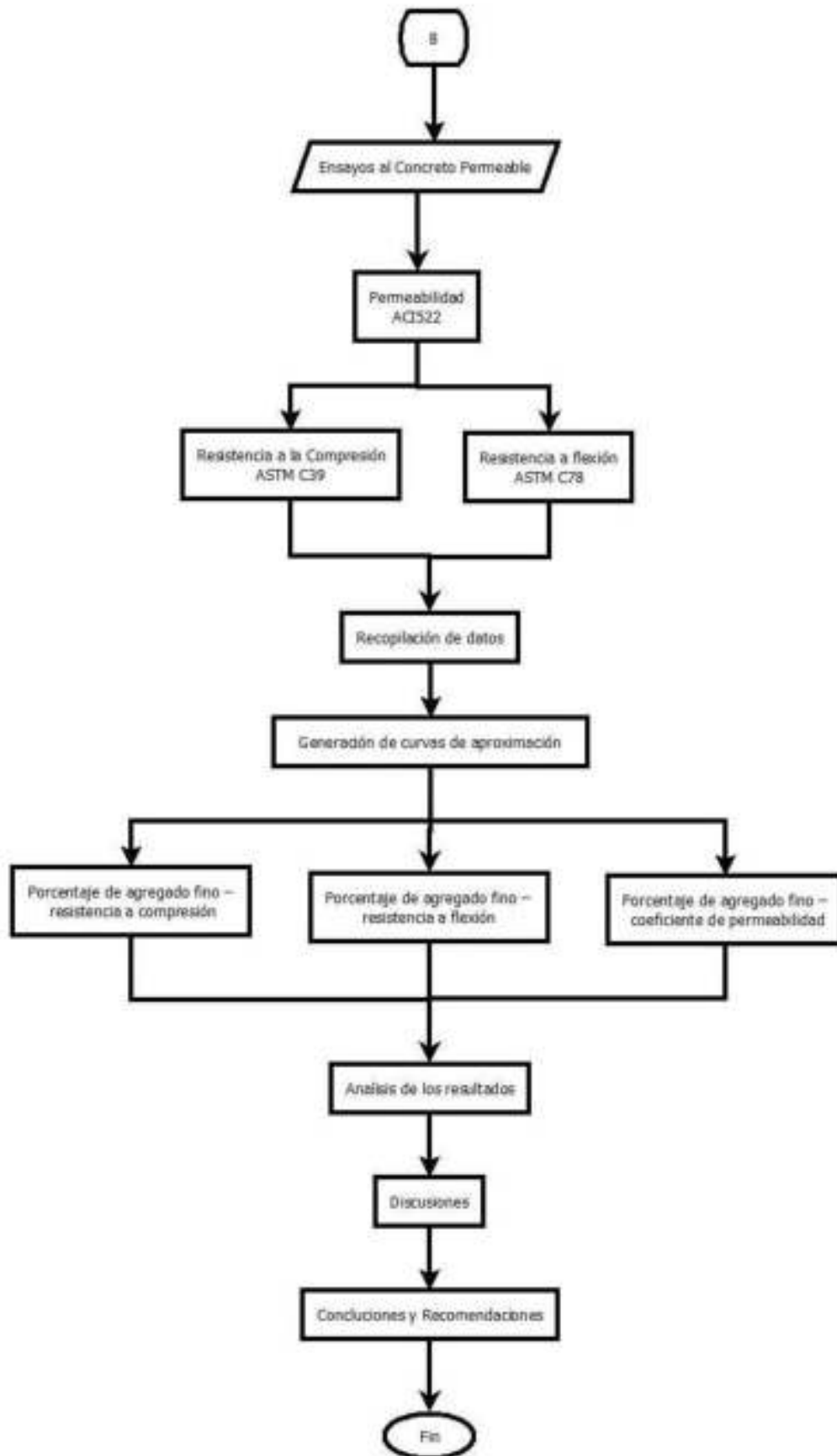


### 3.2.2. Diseño de ingeniería











### **3.3. Población y muestra**

#### **3.3.1. Población**

##### **3.3.1.1. Descripción de la población**

En la presente investigación la población estará definida por la cantidad de 45 briquetas para pruebas a compresión, de 45 briquetas para pruebas a flexión y 10 para el ensayo de permeabilidad que será elaboradas con agregado de las canteras de Cunyac, Pisac y Vicho, y los porcentajes de aditivos en peso que será añadidas a dichas briquetas.

Los principales elementos que conformarán la estructura de las muestras serán:

- \* Agregado Grueso de la cantera de Vicho
- \* Agregado fino de las canteras de Cunyac y Pisac
- \* Cemento Portland tipo IP
- \* Aditivo Plastificante
- \* Agua.

##### **3.3.1.2. Cuantificación de la población**

En la presente investigación se cuenta con 3 tipos de ensayos:

- \* Para los ensayos de resistencia a compresión y resistencia equivalente a flexión se posee 5 variaciones en porcentajes de adición de agregado fino en su diseño. El cual, para tener una cuantificación y poder procesar de manera eficiente se consideró realizar 9 briquetas para su ensayo a los 28 días de curado por cada variación de porcentaje de agregado fino. Considerando un sub total de 90 elementos.
- \* Para el ensayo de coeficiente de permeabilidad se posee 5 variaciones en porcentajes de adición de agregado fino en su diseño. Por consiguiente, se consideró realizar 2 elementos de ensayo por cada variación de porcentaje. Teniendo así un sub total de 10 elementos, pero los cuales serán medidos repetidas veces para consensuar los datos que brinde, ya que este ensayo es no destructivo.

Entonces se puede afirmar que se tiene un total de 100 elementos para ser ensayados.



Tabla N° 17: Cuantificación de testigos para ensayos

ENSAYOS	EDAD DE CURADO	PORCENTAJES DE AGRADO FINO ADICIONADO					SUB TOTAL
		0% de A.F.	5% de A.F.	10% de A.F.	15% de A.F.	20% de A.F.	
		28 días	9	9	9	9	
28 días	9	9	9	9	9	45	
<b>Coficiente de Permeabilidad</b>	No Corresponde	2	2	2	2	2	10
<b>TOTAL DE TESTIGOS:</b>							<b>100</b>

### 3.3.2. Muestra

#### 3.3.2.1. Descripción de la muestra

En esta investigación la muestra está definida como la población en general, cada una de ellas contendrá un porcentaje de adición de agregado fino y serán sometidos a distintos ensayos los cuales son: resistencia compresión, resistencia equivalente a flexión y coeficiente de permeabilidad.

#### 3.3.2.2. Cuantificación de la muestra

Para esta investigación se toma el total de la población, tomando en consideración que todas las muestras estarán compuestas por los diferentes porcentajes de adición de agregado fino para los respectivos ensayos.

##### A) Ensayo de Resistencia a Compresión

Las muestras que son ensayadas a compresión tienen la edad de 28 días de curado, se componen por los distintos porcentajes de adición de agregado fino los cuales son: 0%, 5%, 10%, 15% y 20%. Siendo un sub total de 45 muestras.

##### B) Ensayo de Resistencia Equivalente a Flexión

Las muestras que son ensayadas a flexión tienen la edad de 28 días de curado, se componen por los distintos porcentajes de adición de agregado fino los cuales son: 0%, 5%, 10%, 15% y 20%. Siendo un sub total de 45 muestras.



### C) Ensayo de Coeficiente de Permeabilidad

Para este ensayo únicamente se compondrá las muestras de los distintos porcentajes de adición de agregado fino los cuales son: 0%, 5%, 10%, 15% y 20%. Siendo un sub total de 10 muestras.

Podemos afirmar que la presente investigación tiene como total de muestra la cantidad de 100.

#### 3.3.2.3. Método de muestreo

Para esta investigación se utiliza el método no probabilístico de muestreo debido a que se evaluará a toda la población existente.

La obtención de las muestras de testigos de Concreto Permeable se hizo tomando en cuenta la norma técnica E 060 (Frecuencia de datos), así como también el criterio de los investigadores.

#### 3.3.2.4. Criterio de evaluación de muestra

Se tiene los siguientes criterios de evaluación de muestras que son medidos como se detalla a continuación:

- \* Resistencia a compresión - **ASTM C 39**

Se evalúa la resistencia a compresión con la máquina de compresión axial, el revenimiento de las muestras con el ensayo de Cono de Abrahams.

- \* Resistencia equivalente a flexión - **ASTM C 78**

Se evalúa la resistencia equivalente a flexión con la máquina de compresión axial acondicionado con los apoyos a los tercios de la muestra.

- \* Coeficiente de permeabilidad – **ACI 522R-10**

Se evalúa la permeabilidad de los testigos empleando el permeámetro de carga variable elaborado por los investigadores.

#### 3.3.3. Criterios de inclusión

Se exponen los criterios de inclusión que se utilizaron en la presente investigación:

- \* El diseño del concreto permeable está normalizado con una relación agua – cemento de 0.37.
- \* El diseño del concreto permeable está normalizado con un contenido de vacíos de 15%.
- \* El concreto permeable considera las variaciones de adición de arena en su diseño de 0%, 5%, 10%, 15% y 20%.



- \* La elaboración del concreto permeable está parametrado con el uso del agregado grueso de procedencia de la cantera de Vicho y una gradación de acuerdo al HUSO 6.
- \* La arena utilizada para la adición en las muestras de concreto permeable contempla una gradación normalizada de acuerdo al ASTM C33, por lo que se tiene una compensación en peso del material de las canteras de Pisac y Cunyac de 75% y 25% respectivamente.
- \* Dentro del diseño de mezclas se considera el uso de aditivo plastificante de densidad 1.2 kg/l en un porcentaje del 0.7% del peso total del cemento.
- \* Las muestras para someter al ensayo de resistencia a compresión son cilíndricas de 15 cm de diámetro x 30 cm de altura.
- \* Las muestras para someter al ensayo de resistencia a flexión son prismáticas de 15 cm x 15 cm de sección x 50 cm de largo.
- \* Las muestras para someter al ensayo de permeabilidad son cilíndricas de 10 cm de diámetro x 15 cm de altura.
- \* El cemento utilizado para el diseño de mezcla es el cemento IP con Peso Específico de 2850 kg/m<sup>3</sup>.



### 3.4. Instrumentos

#### 3.4.1. Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos

##### 3.4.1.1. Porcentaje total de humedad evaporable del agregado por secado para agregado fino

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO				
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA				
Escuela Profesional de Ingeniería Civil				
<b>TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"</b>				
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO</b>				
<b>ENSAYO: Porcentaje de agua que se evapora por secado</b>		<b>NORMA: ASTM C566</b>		
Fecha de ensayo	1	_____ de _____ del _____		
Tesistas	2	- Jonathan Hiroshi Kanashiro Vergara - Emanuel Monzón Cárdenas		
Asesor (a)	1	- Ing. Metsy Elena Gudiel Cárdenas		
Tipo de agregado	1	Agregado Fino		
Cantera de procedencia	1	_____		
Lugar de ensayo	1	Laboratorio Universidad Andina del Cusco		
	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso del material Húmedo	g			
Peso del material seco + recipiente	g			
Peso del recipiente	g			
% Contenido de humedad	%			
	Promedio			

Figura N° 13: Ficha de recolección de datos del ensayo de porcentaje total de humedad evaporable del agregado por secado para agregado fino



3.4.1.2. Porcentaje total de humedad evaporable del agregado por secado para agregado grueso

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO				
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA				
Escuela Profesional de Ingeniería Civil				
<b>TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"</b>				
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO</b>				
<b>ENSAYO: Porcentaje de agua que se evapora por secado</b>		<b>NORMA: ASTM C566</b>		
Fecha de ensayo	:	_____ de _____ del _____		
Tesistas	:	- Jonathan Hiroshi Kanashiro Vergara - Emanuel Herzón Cárdenas		
Asesor (a)	:	- Ing. Mitsy Elena Oubel Cárdenas		
Tipo de agregado	:	Agregado Grueso		
Cantera de procedencia	:	_____		
Lugar de ensayo	:	Laboratorio Universidad Andina del Cusco		
		Unidad	Muestra 1	Muestra 2
Peso del material Húmedo	:	g		
Peso del material seco + recipiente	:	g		
Peso del recipiente	:	g		
Contenido de humedad	:	g		
% Contenido de humedad	:			
		Promedio	:	

Figura N° 14: Ficha de recolección de datos del ensayo de porcentaje total de humedad evaporable del agregado por secado para agregado grueso





3.4.1.3. Material más fino que pasa la malla N° 200 para agregado fino

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA					
Escuela Profesional de Ingeniería Civil					
<b>TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"</b>					
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO</b>					
ENSAYO: Material que pasa la malla # 200		NORMA: ASTM C117			
Fecha de ensayo	:	_____ de _____ de _____			
Testistas	:	- Jonathan Hiroshi Kanashiro Vergara - Emanuel Marzón Cárdenas			
Asesor (a)	:	- Ing. Hitoj Elena Godiel Cárdenas			
Tipo de agregado	:	Agregado Fino			
Cantera de procedencia	:	_____			
Lugar de ensayo	:	Laboratorio Universidad Andina del Cusco			
		Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso del material seco antes del lavado		g			
Peso del material seco + Recipiente después del lavado		g			
Peso del recipiente vacío		g			
Pérdida por lavado		g			
Pérdida por lavado		%			
		Promedio			

Figura N° 15: Ficha de recolección de datos del ensayo de material más fino que pasa la malla N° 200 para agregado fino



3.4.1.4. Material más fino que pasa la malla N° 200 para agregado grueso

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO				
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA				
Escuela Profesional de Ingeniería Civil				
<b>TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"</b>				
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO</b>				
ENSAYO: Material que pasa la malla # 300		NORMA: ASTM C117		
Fecha de ensayo:	1	_____, ____ de _____ del _____		
Tesistas:	2	- Jhonatan Himschi Kanachiro Vergara - Emanuel Norzán Cárdenas		
Asesor (a):	1	- Ing. Hilda Elena Oudiel Cárdenas		
Tipo de agregado:	1	Agregado Grueso		
Cantera de procedencia:	1	_____		
Lugar de ensayo:	1	Laboratorio Universidad Andina del Cusco		
	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso del material seco antes del lavado:	g			
Peso del material seco + Recipiente después del lavado:	g			
Peso del recipiente vacío:	g			
Pérdida por lavado:	g			
Pérdida por lavado:	g			
	Promedio	=		

Figura N° 16: Ficha de recolección de datos del ensayo de material más fino que pasa la malla N° 200 para agregado grueso



3.4.1.5. Análisis granulométrico para agregado fino

Malla ASTM		Abertura mm	Peso retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que pasa	ASTM C33	ASTM C33
2 1/2"								
2"		50.00						
1 1/2"		37.50						
1"		25.00						
3/4"		19.00						
1/2"		12.50						
3/8"		9.50					100.00%	100.00%
1/4"		6.30						
N° 4		4.75					100%	95%
N° 8		2.36					100%	80%
N° 16		1.18					85%	50%
N° 30		0.60					60%	25%
N° 50		0.30					30%	5%
N° 100		0.15					10%	0%
N° 200		0.08					5%	0%
Fondo		-						
Total								

Figura N° 17: Ficha de recolección de datos del ensayo de análisis granulométrico para agregado fino



3.4.1.6. Análisis granulométrico para agregado grueso

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		Escuela Profesional de Ingeniería Civil			
<b>TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"</b>							
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO</b>							
<b>ENSAYO: Análisis granulométrico</b>				<b>NORMA: ASTM C33</b>			
<b>Fecha de ensayo</b>	:	_____ de _____ del _____					
<b>Tesistas</b>	:	- Jhonatan Hiroshi Kanashiro Vergara - Emanuel Monzón Cárdenas					
<b>Asesor (s)</b>	:	- Ing. Mitsy Elena Gudiel Cárdenas					
<b>Tipo de agregado</b>	:	Agregado Grueso					
<b>Cantera de procedencia</b>	:	_____					
<b>Lugar de ensayo</b>	:	Laboratorio Universidad Andina del Cusco					
Malla ASTM	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que pasa	ASTM C33	ASTM C33
2 1/2"	-						
2"	50.00						
1 1/2"	37.50						
1"	25.00					100.00%	100.00%
3/4"	19.00					100.00%	90.00%
1/2"	12.50					55.00%	20.00%
3/8"	9.50					15.00%	0.00%
N° 4	4.75					5.00%	0.00%
N° 8	2.36						
N° 16	1.18						
N° 30	0.60						
N° 50	0.30						
N° 100	0.15						
N° 200	0.08						
Fondo	-						
Total							

Figura N° 18: Ficha de recolección de datos del ensayo de análisis granulométrico para agregado grueso



3.4.1.7. Resistencia al desgaste del agregado grueso por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		
Escuela Profesional de Ingeniería Civil		
<b>TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"</b>		
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO</b>		
<b>ENSAYO:</b> Resistencia al desgaste, del agregado grueso, por abrasión e impacto en la máquina de los Angeles		<b>NORMA:</b> ASTM C131
Fecha de ensayo	1	_____ de _____ del _____.
Tesistas	1	- Jhonatan Hiroshi Kanashiro Vergara - Emanuel Monzón Cárdenas
Asesor (a)	1	- Ing. Mitsy Elena Gudiel Cárdenas
Tipo de agregado	1	Agregado Grueso
Cantera de procedencia	1	_____
Lugar de ensayo	1	Laboratorio Universidad Andina del Cusco
	Unidades	Muestra 1
Peso del material + molde	g	
Peso del material + molde después de abrasión retenido malla #10	g	
Peso del molde A	g	
Peso del molde B	g	
Abrasión	%	

Figura N° 19: Ficha de recolección de datos del ensayo de resistencia al desgaste del agregado grueso por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles



### 3.4.1.8. Peso Volumétrico para el agregado fino

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA					
Escuela Profesional de Ingeniería Civil					
<b>TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"</b>					
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO</b>					
<b>ENSAYO: Peso Volumétrico</b>		<b>NORMA: ASTM C29</b>			
Fecha de ensayo	1	_____ de _____ del _____			
Testistas	2	- Jonathan Iñáshe Karashiro Vergara - Efraim Morzón Cárdenas			
Asesor (s)	1	- Ing. Mitsy Elena Outeb Cárdenas			
Tipo de agregado	1	Agregado Fino			
Cantera de procedencia	1	_____			
Lugar de ensayo	1	Laboratorio Universidad Andina del Cusco			
		Unidades	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso del material suelto + molde		g			
Peso del material compactado + molde		g			
Peso del molde		g			
Volumen del molde		cm <sup>3</sup>			
Peso volumétrico Suelto		g/cm <sup>3</sup>			
Peso volumétrico Suelto					
Peso volumétrico Compactado		g/cm <sup>3</sup>			
Peso volumétrico Compactado					

Figura N° 20: Ficha de recolección de datos del ensayo de peso volumétrico para el agregado fino



### 3.4.1.9. Peso volumétrico para el agregado grueso

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO				
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA				
Escuela Profesional de Ingeniería Civil				
<b>TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"</b>				
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO</b>				
<b>ENSAYO: Peso Volumétrico</b>		<b>NORMA: ASTM C29</b>		
Fecha de ensayo	:	_____ de _____ del _____		
Testistas	:	- Jonathan Hiroshi Kanashiro Vergara - Emanuel Menzón Cárdenas		
Asesor (a)	:	- Ing. Mily Elena Duhal Cárdenas		
Tipo de agregado	:	Agregado Grueso		
Cantera de procedencia	:	_____		
Lugar de ensayo	:	Laboratorio Universidad Andina del Cusco		
		Unidades	Muestra 1	Muestra 2
Peso del material suelto + molde		g		
Peso del material compactado + molde		g		
Peso del molde		g		
Volumen del molde		cm <sup>3</sup>		
Peso volumétrico Suelto		g/cm <sup>3</sup>		
Peso volumétrico Suelto				
Peso volumétrico Compactado		g/cm <sup>3</sup>		
Peso volumétrico Compactado				
Contenido de vacíos Suelto				
Contenido de vacíos Compactado				

Figura N° 21: Ficha de recolección de datos del ensayo de peso volumétrico para el agregado grueso

3.4.1.10. Peso específico y absorción para el agregado fino

		<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>			
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA					
Escuela Profesional de Ingeniería Civil					
<b>TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"</b>					
FECHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO					
ENSAYO: Porcentaje de Absorción y Peso Específico			NORMA: ASTM C128		
Fecha de ensayo	:	_____ de _____ del _____.			
Testistas	:	- Zhoratan rerochi kanashiro vergara - Emanuel Horzón Cárdenas			
Asesor (a)	:	- Dig. Mfay Elena Oudiel Cárdenas			
Tipo de agregado	:	Agregado Fino			
Cantera de procedencia	:	_____			
Lugar de ensayo	:	Laboratorio Universidad Andina del Cusco			
		Nomenclatura		Muestra 1	
Peso de la arena S55 (g)		S			
Peso de la arena S55 + Peso Picnómetro + Peso del agua (g)		C			
Peso Picnómetro (g)		P			
Peso Picnómetro (g) + AGUA (g)		B			
Peso de la arena secada al horno (g)		A			
Porcentaje de absorción (%)		$(B-A)/A \times 100$			
Peso específico de la masa Fino (g/cm <sup>3</sup> )		$A/(B+S-C)$			
Peso específico de Fino S55 (g/cm <sup>3</sup> )		$S/(B+S-C)$			

Figura N° 22: Ficha de recolección de datos del ensayo de peso específico y absorción para el agregado fino





### 3.4.1.11. Peso específico y absorción para el agregado grueso

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO																												
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA																												
Escuela Profesional de Ingeniería Civil																												
<b>TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"</b>																												
FECHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO																												
ENSAYO: Porcentaje de Absorción y Peso Específico	NORMA: ASTM C127																											
Fecha de ensayo	: _____, ____ de _____ del _____.																											
Tesistas	: - Zhoraían Peroshi Kanashiro Verpara - Emanuel Horuán Cárdenas																											
Asesor (a)	: - Ing. May Elena Oudiel Cárdenas																											
Tipo de agregado	: Agregado Grueso.																											
Cantera de procedencia	: _____																											
Lugar de ensayo	: Laboratorio Universidad Andina del Cusco																											
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Nomenclatura</th> <th>Muestra 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso de Muestra (SSS) (g)</td> <td>B</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de la Muestra secado al horno (g)</td> <td>A</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de la muestra saturada dentro del agua (g)+ peso de la canastilla (g)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de canastilla (g)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de la muestra saturada dentro del agua (g)</td> <td>C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Porcentaje de ABSORCIÓN (%)</td> <td><math>(B-A)/A \times 100</math></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso específico de la masa Ag (g/cm<sup>3</sup>)</td> <td><math>A/(B-C)</math></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso específico SSS de Ag (g/cm<sup>3</sup>)</td> <td><math>B/(B-C)</math></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Nomenclatura	Muestra 1	Peso de Muestra (SSS) (g)	B		Peso de la Muestra secado al horno (g)	A		Peso de la muestra saturada dentro del agua (g)+ peso de la canastilla (g)			Peso de canastilla (g)			Peso de la muestra saturada dentro del agua (g)	C		Porcentaje de ABSORCIÓN (%)	$(B-A)/A \times 100$		Peso específico de la masa Ag (g/cm <sup>3</sup> )	$A/(B-C)$		Peso específico SSS de Ag (g/cm <sup>3</sup> )	$B/(B-C)$	
	Nomenclatura	Muestra 1																										
Peso de Muestra (SSS) (g)	B																											
Peso de la Muestra secado al horno (g)	A																											
Peso de la muestra saturada dentro del agua (g)+ peso de la canastilla (g)																												
Peso de canastilla (g)																												
Peso de la muestra saturada dentro del agua (g)	C																											
Porcentaje de ABSORCIÓN (%)	$(B-A)/A \times 100$																											
Peso específico de la masa Ag (g/cm <sup>3</sup> )	$A/(B-C)$																											
Peso específico SSS de Ag (g/cm <sup>3</sup> )	$B/(B-C)$																											

Figura N° 23: Ficha de recolección de datos del ensayo de peso específico y absorción para el agregado grueso



3.4.1.12. Diseño de mezcla ACI 522R-10

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO							
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA							
Escuela Profesional de Ingeniería Civil							
<b>TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"</b>							
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO</b>							
ENSAYO: Diseño de Mezclas							
NORMA: ACI 522R-10							
Testeado	- Jonathan Hiroshi Kanashiro Vergara - Emanuel Manzon Cáceres						
Asesor (a)	- Ing. Willy Elena Guíñez Cáceres						
Tipo de material	- Concreto Permeable						
Lugar de ensayo	- Gabinete del Laboratorio Universidad Andina del Cusco						
Paso 1.- Determinación de los Materiales							
Material	Procedencia	Peso Especifico SSS Kg/m <sup>3</sup>	% Absorción	Modulo de Finura	Peso especifico suelto	Peso Compactado	% Humedad
Cemento IP							
Agua							
Arena							
Agregado Grueso							
Aditivo							
Paso 2.- Características en el diseño de mezcla							
Relación A/C							
Contenido de Vacíos							
% Arena							
Paso 3.- Determinación del volumen de pasta.							
Vp		Gráfico ACI 522R-10					
Paso 4.- Determinación del volumen de agregado							
Va							
Vag							
Vaf							
Ajuste del peso de agregado							
Peso Agregado Grueso SSS		kg					
Peso Humedo Grueso		kg					
Peso Absorción Grueso		kg					
Corrección por Humedad Grueso		kg					
Peso Agregado Fino SSS		kg					
Peso Humedo Fino		kg					
Peso Absorción Fino		kg					
Corrección por Humedad Fino		kg					
Paso 5.- Determinación del peso de cemento							
Cemento		kg					
$Vp = \frac{C}{\rho_{pasta}} = \frac{C}{\rho_{pasta} + \frac{D_{50} \times C}{1000}}$							
Paso 6.- Determinación del volumen del cemento							
Vc		m <sup>3</sup>					
Paso 7.- Determinación del contenido de agua							
Agua		kg					
Agua Corregida		kg					
Paso 8.- Determinación del volumen de agua							
Va		m <sup>3</sup>					
Paso 9.- Volumen Total solidos							
Vst total		m <sup>3</sup>					
Paso 10.- Aditivo		250 mL (Bastamento)					
Volumen Aditivo		m <sup>3</sup>					
Peso Aditivo		kg					

Figura N° 24: Ficha de recolección de datos del diseño de mezclas según ACI 522R-10 para el concreto permeable



### 3.4.1.13. Verificación del porcentaje de vacíos de las muestras

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO										
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA										
Escuela Profesional de Ingeniería Civil										
<b>TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"</b>										
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO</b>										
<b>ENSAYO: Verificación del porcentaje de vacíos</b>										
Fecha de ensayo	:	_____ de _____ del _____								
Tesistas	:	- Jonathan Hiroshi Kanashiro Vergara - Emanuel Manóiz Cárdenas								
Aesor (s)	:	- Ing. Mtro. Elena Isidre Cárdenas								
Tipo de material	:	Concreto Permeable								
Lugar de ensayo	:	Laboratorio Universidad Andina del Cusco								
Muestra 0% A.F.	Unidad	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Peso del agua desplazado	g									
Peso específico del agua	g/cm <sup>3</sup>									
Volumen de Agua desplazado	cm <sup>3</sup>									
Volumen de Muestra	cm <sup>3</sup>									
Volumen de Vacíos	cm <sup>3</sup>									
% de Vacíos	%									
Muestra 5% A.F.	Unidad	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Peso del agua desplazado	g									
Peso específico del agua	g/cm <sup>3</sup>									
Volumen de Agua desplazado	cm <sup>3</sup>									
Volumen de Muestra	cm <sup>3</sup>									
Volumen de Vacíos	cm <sup>3</sup>									
% de Vacíos	%									
Muestra 10% A.F.	Unidad	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Peso del agua desplazado	g									
Peso específico del agua	g/cm <sup>3</sup>									
Volumen de Agua desplazado	cm <sup>3</sup>									
Volumen de Muestra	cm <sup>3</sup>									
Volumen de Vacíos	cm <sup>3</sup>									
% de Vacíos	%									
Muestra 15% A.F.	Unidad	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Peso del agua desplazado	g									
Peso específico del agua	g/cm <sup>3</sup>									
Volumen de Agua desplazado	cm <sup>3</sup>									
Volumen de Muestra	cm <sup>3</sup>									
Volumen de Vacíos	cm <sup>3</sup>									
% de Vacíos	%									
Muestra 20% A.F.	Unidad	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Peso del agua desplazado	g									
Peso específico del agua	g/cm <sup>3</sup>									
Volumen de Agua desplazado	cm <sup>3</sup>									
Volumen de Muestra	cm <sup>3</sup>									
Volumen de Vacíos	cm <sup>3</sup>									
% de Vacíos	%									

Figura N° 25: Ficha de recolección de datos del ensayo de verificación de porcentajes de vacíos para el concreto permeable



3.4.1.14. Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		Escuela Profesional de Ingeniería Civil				
<b>TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"</b>								
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO								
ENSAYO: Resistencia a Compresión Simple						NORMA: ASTM C-39		
Fecha de ensayo	:	_____ de _____ del _____						
Testistas	:	- Jonathan Hiroshi Katashiro Vergara - Emanuel Morón Cárdenas						
Aesor (a)	:	- Ing. Nitzy Elena Guadri Cárdenas						
Tipo de material	:	Concreto Permeable						
Logar de ensayo	:	Laboratorio Universidad Andina del Cusco						
Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIÁMETRO PROMEDIO (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	DTA.F.	17/05/2019	15/06/2019	28				
2	DTA.F.	17/05/2019	15/06/2019	28				
3	DTA.F.	17/05/2019	15/06/2019	28				
4	DTA.F.	17/05/2019	15/06/2019	28				
5	DTA.F.	17/05/2019	15/06/2019	28				
6	DTA.F.	17/05/2019	15/06/2019	28				
7	DTA.F.	17/05/2019	15/06/2019	28				
8	DTA.F.	17/05/2019	15/06/2019	28				
9	DTA.F.	17/05/2019	15/06/2019	28				
Resistencia a la Compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) = $\frac{CARGA}{ÁREA}$						Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )		
						Coeficiente de Variación		

Figura N° 26: Ficha de recolección de datos del ensayo resistencia a compresión de especímenes cilíndricos para el concreto permeable



3.4.1.15. Resistencia a la flexión del concreto

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		Escuela Profesional de Ingeniería Civil					
<p align="center"><b>TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"</b></p> <p align="center"><b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO</b></p>									
ENSAYO: Resistencia a Flexión					NORMA: ASTM C-78				
Fecha de ensayo	:	_____ de _____ de _____							
Teóricas	:	- Jonathan Hiroshi Kanashiro Vargas - Emanuel Manuán Cárdenas							
Asesor (a)	:	- Ing. Mily Elena Guisá Cárdenas							
Tipo de material	:	Concreto Permeable							
Lugar de ensayo	:	Laboratorio Universidad Andina del Cusco							
Nº	DISEÑO	FECHA DE VACADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	LONG. DE SEPARACIÓN DE ARCOS (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	CARGA (kgf)	MÓDULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	DLA.F	15/05/2019	15/06/2019	28	4700				
2	DLA.F	17/05/2019	15/06/2019	28	4700				
3	DLA.F	17/05/2019	15/06/2019	28	4700				
4	DLA.F	17/05/2019	15/06/2019	28	4700				
5	DLA.F	17/05/2019	15/06/2019	28	4700				
6	DLA.F	17/05/2019	15/06/2019	28	4700				
7	DLA.F	17/05/2019	15/06/2019	28	4700				
8	DLA.F	17/05/2019	15/06/2019	28	4700				
9	DLA.F	17/05/2019	15/06/2019	28	4700				
Módulo de Rotura $\left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right) = \frac{\text{CARGA} \times \text{LONG. DE SEPARACIÓN DE ARCOS}}{\text{ANCHO} \times \text{ALTO}}$						Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )			
						Coeficiente de Variación			

Figura N° 27: Ficha de recolección de datos del ensayo de resistencia a la flexión para el concreto permeable (utilizando viga simple con carga en los tercios)



3.4.1.16. Coeficiente de permeabilidad

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO											
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA											
Escuela Profesional de Ingeniería Civil											
TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"											
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO											
ENSAYO: Coeficiente de Permeabilidad						NORMA: ACI 522 R-10					
Fecha de ensayo		:	_____ de _____ del _____								
Tesisista		:	- Jonathan Hiroshi Kanashiro Vergara - Emanuel Moisés Cárdenas								
Asesor (a)		:	- Ing. Misay Elena Gudiel Cárdenas								
Tipo de material		:	Concreto Permeable								
Lugar de ensayo		:	Laboratorio Universidad Andina del Cusco								
Diseño	Porcentaje de Finos	Tamaño agregado	d	D	L	a	A	M	N2	t	k
			cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	cm	cm	s	cm/s
0-A	0	Hazo 6									
	0	Hazo 6									
0-B	0	Hazo 6									
	0	Hazo 6									
5-A	5	Hazo 6									
	5	Hazo 6									
5-B	5	Hazo 6									
	5	Hazo 6									
10-A	10	Hazo 6									
	10	Hazo 6									
10-B	10	Hazo 6									
	10	Hazo 6									
15-A	15	Hazo 6									
	15	Hazo 6									
15-B	15	Hazo 6									
	15	Hazo 6									
20-A	20	Hazo 6									
	20	Hazo 6									
20-B	20	Hazo 6									
	20	Hazo 6									

Figura N° 28: Ficha de recolección de datos del ensayo de coeficiente de permeabilidad para el concreto permeable



### 3.4.2. Instrumentos de ingeniería

Para esta investigación se utiliza como instrumentos de ingeniería todos los equipos y herramientas que se mencionan al realizar los ensayos de laboratorio.

Es importante mencionar que los ensayos y pruebas se realizan en Laboratorio de Mecánica de Suelos, Geotecnia y Concreto de la Universidad Andina del Cusco, ubicado en la Facultad de Ingeniería de su campus ubicado en Larapa Grande A-7 – San Jerónimo.

Los instrumentos de ingeniería utilizados son los siguientes:



*Figura N° 29: Almohadillas de neopreno*



*Figura N° 30: Apisonador de metal*



*Figura N° 31: Balanza de precisión*



*Figura N° 32: Balanza graduada*



*Figura N° 33: Baldes o sacos*



*Figura N° 34: Bomba de vacíos*



*Figura N° 35: Brocha*



*Figura N° 36: Canastilla*



*Figura N° 37: Carretilla*



*Figura N° 38: Cronómetro*





Figura N° 39: Cucharón Metálico



Figura N° 40: Depósito de agua



Figura N° 41: Horno eléctrico para secado



Figura N° 42: Juego de Tamices para granulometría



Figura N° 43: Máquina de esfuerzo axial



Figura N° 44: Máquina de los Ángeles



Figura N° 45: Máquina tamizadora



Figura N° 46: Molde cilíndrico de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura



Figura N° 47: Molde cónico metálico



Figura N° 48: Molde prismático de 15 cm x 15 cm de sección y 50 cm de largo



Figura N° 49: Pala



Figura N° 50: Permeámetro de carga variable



*Figura N° 51: Piceta*



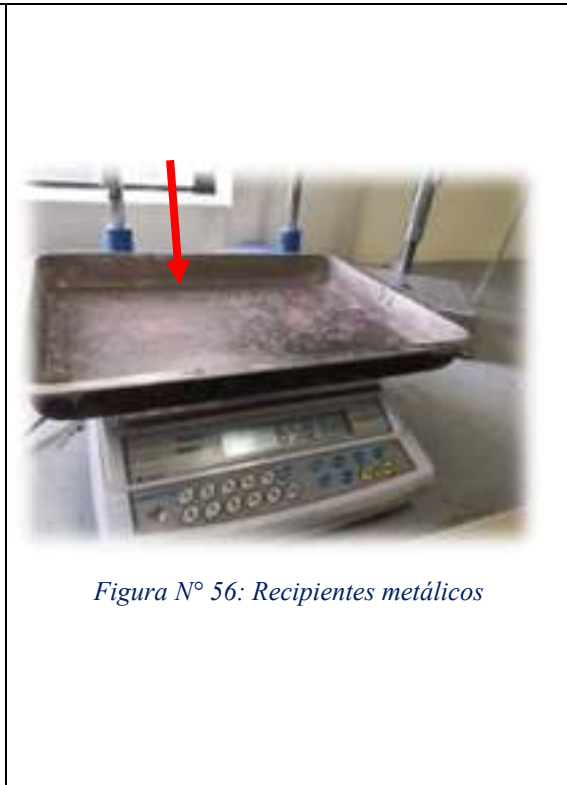
*Figura N° 52: Picnómetro*



*Figura N° 53: Piezas de apoyo y piezas para aplicar carga a los tercios de la muestra*



*Figura N° 54: Probeta o envase graduado*



### 3.5. Procedimientos de recolección de datos

#### 3.5.1. Ensayos para agregados del concreto permeable

##### 3.5.1.1. Muestreo de agregados en campo

###### A) Normativa

ASTM D 75

###### B) Objetivo

- ✓ Investigación preliminar de la fuente potencial del suministro.
- ✓ Determinar los pesos mínimos, según la clasificación de los agregados según norma.
- ✓ Clasificar las muestras tomadas según normas.
- ✓ Selección de muestras para el agregado.

###### C) Equipos y herramientas utilizados en la prueba

- ✓ Pala.
- ✓ Carretilla tipo Buguie.
- ✓ Balde o saco.



#### D) Procedimiento

Se realiza la inspección y posterior extracción del agregado de las respectivas canteras de Vicho, Cunyac y Pisac, de acuerdo a la Tabla N° 18 (pág. 88).



Figura N° 57: Visita y muestreo de los agregados en las canteras de extracción

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 18: Pesos mínimos para muestreo de agregados

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE LOS AGREGADOS		PESO MÍNIMO APROXIMADO DE CAMPO DE PRUEBA
Malla	mm	Kg
<b>Agregado Fino</b>		
N° 8	2.36	10
N° 4	4.75	10
<b>Agregado Grueso</b>		
3/8"	9.50	10
1/2"	12.50	15
3/4"	19.00	25
1"	25.00	50
1 1/2"	37.50	75
2"	50.00	100
2 1/2"	63.00	125
3"	75.00	150
3 1/2"	90.00	175

Fuente: ASTM D 75



### E) Toma de Datos

Para los siguientes ensayos se requerirán las siguientes cantidades de acuerdo a la tabla que se muestra a continuación:

Tabla N° 19: Datos de pesos mínimos para extracción y muestreo de agregados.

MATERIAL	PESO MÍNIMO (KG)
Agregado Grueso de Vicho	200
Agregado Fino de Pisac	50
Agregado Fino de Cunyac	50

### 3.5.1.2. Práctica normativa para reducir las muestras de agregados a tamaño de prueba

#### A) Normativa

ASTM C 702

#### B) Objetivo

- ✓ Reducción de muestras grandes de agregado al tamaño adecuado para ensayo.

#### C) Método

Método “B” – Cuarteo

#### D) Equipos y herramientas utilizados en la prueba

- ✓ Pala.
- ✓ Brocha.
- ✓ Regla metálica

#### E) Procedimiento

Luego de tomar la muestra de agregado, se aplica el método de cuarteo, el cual consiste en:

- ✓ Echar el material y se procede a su homogenización mezclando correctamente la muestra.
- ✓ Se forma una ruma, para luego extenderla con la pala y darle forma tipo base circular de espesor uniforme en todo el cuerpo.
- ✓ Se divide el material en cuatro partes iguales con la ayuda de una regla.



*Figura N° 58: Procedimiento se toma de muestras representativas*

✓ Se toma las partes representativas, las cuales son opuestas y las más homogéneas. Posteriormente se mezclan las partes elegidas y se repite el proceso del cuarteo hasta llegar a la cantidad deseada para realizar ensayos posteriores.



*Figura N° 59: Selección de las partes representativas.*

#### **F) Toma de datos**

Para los ensayos que se procederán a realizar, se tienen las cantidades totales para el uso de los agregados representativos para dichos ensayos.



Tabla N° 20: Datos de cantidad de material representativo para ensayos de los agregados

MATERIAL	PESO (KG)
Agregado Grueso de Vicho	50
Agregado Fino de Pisac	10
Agregado Fino de Cunyac	10

### 3.5.1.3. Porcentaje total de humedad evaporable del agregado por secado

#### A) Normativa

ASTM C 566

#### B) Objetivo

- ✓ Este ensayo determina el porcentaje de la evaporación de la humedad ubicada en los poros de los agregados y en la superficie de estos.

#### C) Equipos y herramientas utilizados en la prueba

- ✓ Balanza con sensibilidad de 0.1 gr. Para agregado fino y de un gr. Para agregado grueso.
- ✓ Recipientes metálicos.
- ✓ Aparato de secado: Horno.

#### D) Procedimiento

- ✓ Determinar el peso de la muestra, según la Tabla N° 21.

Tabla N° 21: Peso mínimo del material para % Humedad

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO, MM (IN.)	PESO MÍNIMO DEL MATERIAL (kg)
4.75 (0.187) (N°4)	0.5
9.5 (3/8)	1.5
12.5 (1/2)	2
19 (3/4)	3
25 (1)	4

Fuente: ASTM C 566





- ✓ Secar la muestra al horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C hasta obtener un peso constante.

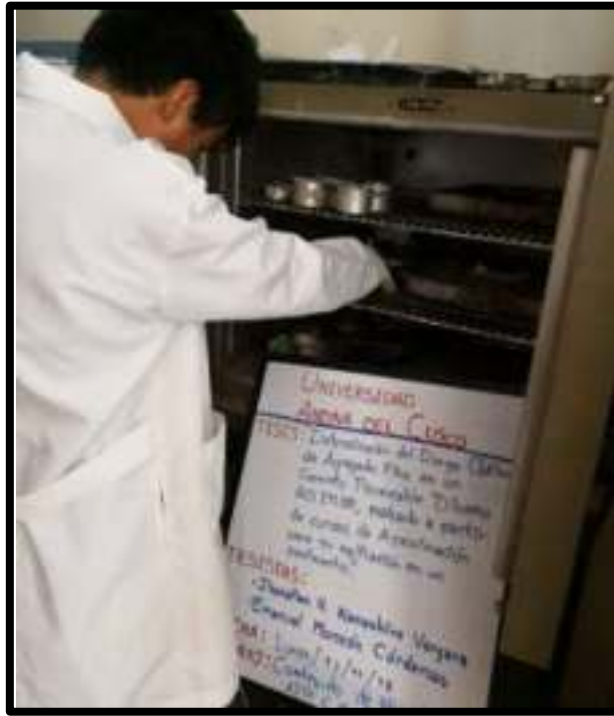


Figura N° 60: Colocación de muestras para secado en horno

- ✓ Retirar la muestra del horno y dejar enfriar.
- ✓ Pesar la muestra seca.



Figura N° 61: Determinación del contenido de humedad evaporable por secado de los agregados



Cálculos. -

$$P = 100 \times \frac{(W - D)}{D}$$

Donde:

- P: Porcentaje total de humedad evaporable del agregado por secado, porcentaje.
- W: Peso original del espécimen, gr
- D: Peso seco del material seco, gr

### E) Toma de Datos

Tabla N° 22: Datos de porcentaje total de humedad evaporable por secado del agregado fino

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO				
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA				
Escuela Profesional de Ingeniería Civil				
<b>TESIS: 'DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2018'</b>				
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO				
ENSAYO: Porcentaje de agua que se evapora por secado		NORMA: ASTM C566.		
Fecha de ensayo	1	Miércoles, 14 de noviembre del 2018.		
Tesistas	2	- Jonathan Hiroshi Kanashiro Vergara - Emanuel Nazón Cárdenas		
Asesor (s)	1	- Ing. Mitsy Elena Gudiel Cárdenas		
Tipo de agregado	1	Agregado Fino		
Cantera de procedencia	1	Pisc & Conyac		
Lugar de ensayo	1	Laboratorio Universidad Andina del Cusco		
	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso del material Húmedo	gr	500.00	520.00	500.00
Peso del material seco + recipiente	gr	575.00	570.00	570.00
Peso del recipiente	gr	80.00	75.00	75.00
% Contenido de humedad				
	Promedio			



Tabla N° 23: Datos de porcentaje total de humedad evaporable por secado del agregado grueso

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO				
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA				
Escuela Profesional de Ingeniería Civil				
<b>TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"</b>				
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO</b>				
<b>ENSAYO:</b> Porcentaje de agua que se evapora por secado		<b>NORMA:</b> ASTM C566		
<b>Fecha de ensayo</b>	:	Lunes, 25 de febrero del 2019.		
<b>Testistas:</b>	:	- Jonathan Hiroshi Kanashiro Vergara - Emanuel Morán Cárdenas		
<b>Asesor (a)</b>	:	- Ing. Mitsy Elena Guibel Cárdenas		
<b>Tipo de agregado</b>	:	Agregado Grueso		
<b>Cantera de procedencia</b>	:	Vicha		
<b>Lugar de ensayo</b>	:	Laboratorio Universidad Andina del Cusco		
	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso del material Húmedo	gr	3000.50	3000.20	3000.20
Peso del material seco + recipiente	gr	3370.00	3373.70	3452.00
Peso del recipiente	gr	361.90	423.70	664.50
Contenido de humedad	gr			
% Contenido de humedad	%			
	Promedio			

### 3.5.1.4. Material más fino que pasa la malla N° 200

#### A) Normativa

ASTM C 117

#### B) Objetivo

- ✓ Determinar el contenido de limo o material que pase el tamiz normalizado N° 200.

#### C) Equipos y herramientas utilizados en la prueba

- ✓ Balanza con sensibilidad de 0.5 gr para fino y de 1 gr para grueso
- ✓ Recipientes o bandejas metálicas.
- ✓ Tamiz N° 200 para lavado.
- ✓ Aparato de secado: Horno.

#### D) Procedimiento

- ✓ Determinar el peso de la muestra según la Tabla N° 24.



Tabla N° 24: Peso mínimo del material para material más fino que pasa la malla N° 200

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO, MM (IN.)	PESO MÍNIMO DEL MATERIAL, GR.
4.75 (0.187) (N°4) o menos	300
9.5 (3/8)	1000
19 (3/4)	2500
37.5 (1 1/2)	5000

Fuente: ASTM C 117

- ✓ En el recipiente donde se encuentra la muestra, usar el agua para decantar el polvo o limo y con ayuda del tamiz N° 200 remover el material más fino que pasa la malla N° 200.



Figura N° 62: Lavado de los agregados

- ✓ Secar el material lavado en un horno a temperatura de  $110 \pm 5$  °C, hasta tener un peso constante.
- ✓ Retirar la muestra del horno y dejar enfriar.
- ✓ Pesar la muestra lavada seca.



Figura N° 63: Determinación del peso del agregado posterior a su lavado



Notas. -

- Según la norma ASTM C 33 (Especificaciones estándar para los agregados del concreto) establece los siguientes parámetros para el agregado fino:
- En concretos sujetos a abrasión: máximo 3%
- En otros concretos: máximo 5%

Cálculos. -

$$A = \frac{B - C}{B} \times 100$$

Donde:

- P: Porcentaje total de humedad evaporable del agregado por secado, porcentaje.
- W: Peso original del espécimen, gr
- D: Peso seco del material seco, gr

### E) Toma de Datos

Tabla N° 25: Datos de material más fino que pasa la malla N° 200 del agregado fino

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA					
Escuela Profesional de Ingeniería Civil					
TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2018"					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO					
ENSAYO: Material que pasa la malla # 200		NORMA: ASTM C137			
Fecha de ensayo	:	Méridas , 14 de noviembre del 2018.			
Tesistas	:	- Jonathan Hiroshi Kanashiro Vergara - Emanuel Menzón Cárdenas			
Asesor (a)	:	- Ing. Mitsy Elena Guziel Cárdenas			
Tipo de agregado	:	Agregado Fino			
Cantera de procedencia	:	Cunyac & Pisco			
Lugar de ensayo	:	Laboratorio Universidad Andina del Cusco			
		Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso del material seco antes del lavado	gr		500.00	500.00	500.00
Peso del material seco + Recipiente después del lavado	gr		550.00	715.00	580.00
Peso del recipiente vacío	gr		65.00	225.00	85.00
Pérdida por lavado	gr				
Pérdida por lavado	%				
		Promedio			



Tabla N° 26: Datos de material más fino que pasa la malla N° 200 del agregado grueso

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO																																				
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA																																				
Escuela Profesional de Ingeniería Civil																																				
<b>TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"</b>																																				
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO																																				
ENSAYO: Material que pasa la malla # 200																																				
NORMA: ASTM C117																																				
Fecha de ensayo	: Miércoles , 26 de febrero del 2019.																																			
Tesistas	: - Jonathan Hiroshi Kanashiro Vargas - Emanuel Manólin Cárdenas																																			
Asesor (s)	: - Ing. Mitsy Elena Gudiel Cárdenas																																			
Tipo de agregado	: Agregado Grueso																																			
Cantera de procedencia	: Vicos																																			
Lugar de ensayo	: Laboratorio Universidad Andina del Cusco																																			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Unidad</th> <th>Muestra 1</th> <th>Muestra 2</th> <th>Muestra 3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso del material seco antes del lavado</td> <td>g</td> <td>2932.60</td> <td>2918.70</td> <td>2898.50</td> </tr> <tr> <td>Peso del material seco + Recipiente después del lavado</td> <td>g</td> <td>2703.00</td> <td>3062.10</td> <td>2904.00</td> </tr> <tr> <td>Peso del recipiente vacío</td> <td>g</td> <td>617.70</td> <td>361.90</td> <td>423.70</td> </tr> <tr> <td>Pérdida por lavado</td> <td>g</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pérdida por lavado</td> <td>g</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>:</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Peso del material seco antes del lavado	g	2932.60	2918.70	2898.50	Peso del material seco + Recipiente después del lavado	g	2703.00	3062.10	2904.00	Peso del recipiente vacío	g	617.70	361.90	423.70	Pérdida por lavado	g				Pérdida por lavado	g				Promedio	:			
	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3																																
Peso del material seco antes del lavado	g	2932.60	2918.70	2898.50																																
Peso del material seco + Recipiente después del lavado	g	2703.00	3062.10	2904.00																																
Peso del recipiente vacío	g	617.70	361.90	423.70																																
Pérdida por lavado	g																																			
Pérdida por lavado	g																																			
Promedio	:																																			

### 3.5.1.5. Análisis granulométrico

#### A) Normativa

ASTM C 136

#### B) Objetivo

- ✓ Establecer los requisitos de gradación para los agregados para uso en concreto.
- ✓ Verificar si los agregados, se encuentran dentro de los parámetros para la elaboración de un buen diseño de mezcla.

#### C) Equipos y herramientas utilizados en la prueba

- ✓ Balanza de precisión de 0.1 gr para agregado fino y de 0.5 gr para agregado grueso.
- ✓ Juego de tamices; para agregados gruesos son: 3", 2", 1 ½", 1", ¾", 1/2", 3/8", # 4 y para agregados finos son #4, # 8, # 16, #30, #50, #100, #200.
- ✓ Maquina tamizadora.
- ✓ Horno.



#### D) Procedimiento

- ✓ El material debe ser secado con anterioridad por lo que se lo lleva a un horno a temperatura de  $110 \pm 5$  °C hasta obtener un peso constante.
- ✓ Seguidamente se determina del peso de la muestra según la Tabla N° 27.

Tabla N° 27: Peso mínimo para el análisis granulométrico.

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO, MM (IN.)	PESO MÍNIMO DEL MATERIAL, KG.
4.75 (0.187) (N°4) o menos	1
9.5 (3/8)	1
12.5 (1/2)	2
19 (3/4)	5
25 (1)	10

Fuente: ASTM C 136

- ✓ Colocar el material en la tamizadora.



Figura N° 64: Juego de tamices para ensayo de granulometría

- ✓ Se procede a tamizar el material durante 5 min en grueso y 3 min en fino.



*Figura N° 65: Colocación del agregado dentro del juego de tamices en la maquina tamizadora*

- ✓ Una vez finalizado el tamizado, se pesa los retenidos en cada malla, comenzando de la malla superior.



*Figura N° 66: Muestras separadas de acuerdo a la malla de retención del juego de tamices*

Cálculos. –

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





E) Toma de Datos

Tabla N° 28: Datos del análisis granulométrico del agregado grueso de Vicho

Malla ASTM		Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que pasa	ASTM C33	ASTM C33
2 1/2"		--	--					
2"		50.00	--					
1 1/2"		37.50	--					
1"		25.00	--				100.00%	100.00%
3/4"		19.00	448.80				100.00%	90.00%
1/2"		12.50	2,839.40				55.00%	20.00%
3/8"		9.50	1,033.00				15.00%	0.00%
N° 4		4.75	596.00				5.00%	0.00%
N° 8		2.36	69.90					
N° 16		1.18	--					
N° 30		0.60	--					
N° 50		0.30	--					
N° 100		0.15	--					
N° 200		0.08	--					
Fondo:		--	--					
Total			4988.00					



Tabla N° 29: Datos del análisis granulométrico del agregado fino de Cunyac

Malla ASTM		Abertura mm	Peso retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que pasa	ASTM C33	ASTM C33
2 1/2"			--					
2"		50.00	--					
1 1/2"		37.50	--					
1"		25.00	--					
3/4"		19.00	--					
1/2"		12.50	--					
3/8"		9.50	--				100.00%	100.00%
1/4"		6.30	--					
N° 4		4.75	9.30				100%	95%
N° 8		2.36	7.80				100%	80%
N° 16		1.18	24.30				85%	50%
N° 30		0.60	199.00				60%	25%
N° 50		0.30	1172.90				30%	5%
N° 100		0.15	483.50				10%	0%
N° 200		0.08	85.30				5%	0%
Fondo		--	1.10					
Total			1983.20					



Tabla N° 30: Datos del análisis granulométrico del agregado fino de Pisac

Malla ASTM		Abertura mm	Peso retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que pasa	ASTM C33	ASTM C33
2 1/2"			-					
2"		50.00	-					
1 1/2"		37.50	-					
1"		25.00	-					
3/4"		19.00	-					
1/2"		12.50	-					
3/8"		9.50	-				100.00%	100.00%
1/4"		6.30	-					
N° 4		4.75	26.90				100%	95%
N° 8		2.36	100.70				100%	80%
N° 16		1.18	373.30				83%	50%
N° 30		0.60	946.30				60%	25%
N° 50		0.30	472.30				30%	5%
N° 100		0.15	50.90				10%	0%
N° 200		0.08	15.30				5%	0%
Fondo		-	10.60					
Total			1996.30					



Tabla N° 31: Datos del análisis granulométrico del agregado fino de Cunyac y Pisac compensado en proporciones 25% y 75% respectivamente

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		Escuela Profesional de Ingeniería Civil			
TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"							
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO							
ENSAYO: Análisis granulométrico				NORMA: ASTM C33			
Fecha de ensayo	:	Jueves , 29 de noviembre del 2018.					
Tesistas	:	- Jhonatan Hiroshi Kanashiro Vergara - Emanuel Monzón Cárdenas					
Asesor (a)	:	- Ing. Mitsy Elena Gudiel Cárdenas					
Tipo de agregado	:	Agregado Fino					
Cantera de procedencia	:	75% Pisac + 25% Cunyac					
Lugar de ensayo	:	Laboratorio Universidad Andina del Cusco					
Malla ASTM	Abertura mm	Peso retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que pasa	ASTM C33	ASTM C33
2 1/2"		--					
2"	50.00	--					
1 1/2"	37.50	--					
1"	25.00	--					
3/4"	19.00	--					
1/2"	12.50	--					
3/8"	9.50	--				100.00%	100.00%
1/4"	6.30	--					
N° 4	4.75	22.50				100%	95%
N° 8	2.36	77.48				100%	80%
N° 16	1.18	286.05				85%	50%
N° 30	0.60	759.48				60%	25%
N° 50	0.30	647.45				30%	5%
N° 100	0.15	159.05				10%	0%
N° 200	0.08	32.80				5%	0%
Fondo	--	8.23					
Total		1993.03					



### 3.5.1.6. Resistencia al desgaste del agregado grueso por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles

#### A) Normativa

ASTM C 131

#### B) Objetivo

- ✓ Determinar el porcentaje de desgaste por abrasión del agregado grueso.

#### C) Equipos y herramientas utilizados en la prueba

- ✓ Máquina de los Ángeles.
- ✓ Tamices.
- ✓ Balanza de precisión.
- ✓ Carga de esfera de acero

#### D) Método

Dependiendo de la gradación del material se debe usar la Tabla N° 32.

Tabla N° 32: Método de ensayo

GRADACIÓN	NÚMERO DE ESFERAS	MASA DE LA CARGA, G
A	12	5000 +/- 25
B	11	4584 +/- 25
C	8	3330 +/- 20
D	6	2500 +/- 15

Fuente: ASTM C 131

#### E) Procedimiento

- ✓ Obtener una muestra lavada y secada al horno a una temperatura entre 110 °C +/- 5 °C hasta obtener una masa constante.
- ✓ Seguidamente se separará en fracciones de tamaños individuales que se recombinan a la gradación indicada en la Tabla N° 33.



Tabla N° 33: Gradación de las muestras de ensayo

Tamaño del Tamiz		Masa de los tamaños indicados, g			
		Gradación			
Pasa	Retiene	A	B	C	D
37.5 mm (1 1/2")	25.0 mm (1")	1250 +/- 25			
25.0 mm (1")	19 mm (3/4")	1250 +/- 25			
19 mm (3/4")	12.5 mm (1/2")	1250 +/- 10	2500 +/- 10		
12.5 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")	1250 +/- 10	2500 +/- 10		
9.5 mm (3/8")	6.3 mm (1/4")			2500 +/- 10	
6.3 mm (1/4")	4.75 mm (No 4)			2500 +/- 10	
4.75 mm (No 4)	2.36 mm (No 8)				5000 +/- 10
Total		5000 +/- 10	5000 +/- 10	5000 +/- 10	5000 +/- 10

Fuente: ASTM C 131

- ✓ Colocar la muestra de ensayo y las esferas de carga en la máquina de los ángeles y rotar la maquina a una velocidad de 30 a 33 rpm hasta alcanzar las 500 revoluciones.



Figura N° 67: Ensayo de resistencia a la abrasión mediante la máquina de los Ángeles

- ✓ Una vez culminado el proceso de abrasión se descarga el material de la máquina y se hace una separación preliminar por un tamiza más grueso que la malla No. 12.



- ✓ Se tamiza la porción fina por la malla No. 12 y se pesa el material más grueso que la malla No. 12

Cálculos. -

- Se calcula la perdida como un porcentaje de la masa origina de la muestra de ensayo.

$$\% \text{ Perdida} = \frac{A - B}{A} \times 100$$

Dónde:

- B: Peso de la muestra final después del ensayo.
- A: Peso de la muestra inicial antes el ensayo.

## F) Toma de Datos

Tabla N° 34: Datos de ensayo de resistencia al desgaste por abrasión del agregado grueso de Vicho

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		Escuela Profesional de Ingeniería Civil	
<b>TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"</b>					
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO</b>					
<b>ENSAYO:</b> Resistencia al desgaste, del agregado grueso, por abrasión e impacto en la máquina de los Angeles				<b>NORMA:</b> ASTM C131	
<b>Fecha de ensayo</b>	:	Martes, 19 de febrero del 2019.			
<b>Testistas</b>	:	- Jonathan Hiroshi Karashiro Vergara - Emanuel Herzán Cárdenas			
<b>Asesor (a)</b>	:	- Ing. Hlby Elena Gudiel Cárdenas			
<b>Tipo de agregado</b>	:	Agregado Grueso			
<b>Cantera de procedencia</b>	:	Vicho.			
<b>Lugar de ensayo</b>	:	Laboratorio Universidad Andina del Cusco			
		Unidades		Muestra 1	
Peso del material + molde		g		5662.30	
Peso del material + molde después de abrasión retenido malla #10		g		4901.60	
Peso del molde A		g		657.20	
Peso del molde B		g		362.70	
Abrasión		%			

### 3.5.1.7. Peso específico y absorción del agregado grueso

#### A) Normativa

ASTM C 127



## B) Objetivo

- ✓ Determinar el peso específico y la absorción del agregado grueso

## C) Equipos y herramientas utilizados en la prueba

- ✓ Tamiz N°4.
- ✓ Balanza de precisión 0.5 gr.
- ✓ Depósito de agua.
- ✓ Canastilla.
- ✓ Horno.
- ✓ Trapo, franela o toalla.

## D) Procedimiento

- ✓ Seleccionar el material por muestreo y por cuarteo para obtener resultados representativos del agregado.
- ✓ Descartar todo el material que pasa la malla N°4.
- ✓ Saturar el material en agua durante 24 h.
- ✓ Secar el material con un trapo hasta observar que el material pierde su brillo superficial para obtener el estado SSS y pesar 3000 gr de dicho material.



*Figura N° 68: Secado del agregado saturado con franela hasta llegar a su estado Saturado Superficialmente Seco*

- ✓ Se pesa la canastilla completamente sumergida en el depósito de agua.





- ✓ Se pesa la canastilla junto con el material SSS completamente sumergida en el depósito de agua.



Figura N° 69: Proceso de ensayo de peso específico del agregado grueso

- ✓ Se retira la muestra de la canastilla y se lleva al horno a temperatura de  $110 \pm 5$  °C, hasta tener un peso constante.

Cálculos. -

$$\text{Peso Específico} = \frac{B}{B - C} \times 100$$

$$\% \text{ Absorción} = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Dónde:

- B: Peso de la muestra saturada superficialmente seca.
- C: Peso de la muestra saturada superficialmente seca Sumergido.
- A: Peso de la muestra seca.



## E) Toma de Datos

Tabla N° 35: Datos de ensayo del peso específico y absorción del agregado grueso de Vicho

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO	
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA	
Escuela Profesional de Ingeniería Civil	
<b>TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"</b>	
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO</b>	
<b>ENSAYO: Porcentaje de Absorción y Peso Específico</b>	
<b>NORMA: ASTM C127</b>	
<b>Fecha de ensayo</b>	= Martes, 26 de marzo del 2019.
<b>Tesistas:</b>	- Jonathan Hiroshi Kanashiro Vergara - Emanuel Marzán Cárdenas
<b>Asesor (a)</b>	- Ing. Mitsy Elena Gudiel Cárdenas
<b>Tipo de agregado</b>	- Agregado Grueso
<b>Cantera de procedencia</b>	- Vicho
<b>Lugar de ensayo</b>	- Laboratorio Universidad Andina del Cusco

	Nomenclatura	Muestra 1
Peso de Muestra (SSS) (g)	B	3000.20
Peso de la Muestra secado al horno (g)	A	2940.10
Peso de la muestra saturada dentro del agua (g)+ peso de la canastilla (g)		2538.20
Peso de canastilla (g)		754.30
Peso de la muestra saturada dentro del agua (g)	C	
Porcentaje de ABSORCIÓN (%)	(B-A)/A x 100	
Peso específico de la masa Ag (g/cm <sup>3</sup> )	A/(B-C)	
Peso específico SSS de Ag (g/cm <sup>3</sup> )	B/(B-C)	

### 3.5.1.8. Peso específico y absorción del agregado fino

#### A) Normativa

ASTM C 128

#### B) Objetivo

- ✓ Determinar el peso específico y la absorción del agregado grueso.

#### C) Equipos y herramientas utilizados en la prueba

- ✓ Balanza de precisión 0.5 gr.
- ✓ Picnómetro.
- ✓ Molde cónico metálico, de  $40 \pm 3$  mm de diámetro en la parte superior,  $90 \pm 3$  mm de diámetro en la parte inferior y  $75 \pm 3$  mm de altura.
- ✓ Apisonador de metal.
- ✓ Bomba de vacíos.
- ✓ Secador pequeño.



- ✓ Piceta.
- ✓ Horno.

#### D) Procedimiento

- ✓ Saturar el material durante 24 h.
- ✓ Colocar el material sobre una bandeja y empezar a secar uniformemente hasta obtener el estado superficialmente seco.
- ✓ El estado superficialmente seco se obtiene a partir de la prueba del cono de absorción, introduciendo el agregado fino dentro de este, deje caer el apisonador 25 veces distribuidas uniformemente en la superficie. Cada caída debe partir desde una altura aproximadamente de 5mm sobre la superficie del agregado fino.



*Figura N° 70: Proceso de obtención del estado Saturado Superficialmente Seco del agregado fino*

- ✓ Si queda de forma tronco - cónica, el agregado tiene más humedad que la que corresponde al estado saturado superficialmente seco.
- ✓ Si queda de forma cónica, terminada en punta sin desmoronarse, tendrá la humedad correspondiente al SSS, y con esa se realizará el resto de análisis.
- ✓ Si se desmorona, tiene menos humedad que la que le corresponde al estado SSS, en este caso se puede adicionar unos mililitros de agua para humedecer la muestra y se



coloca en un recipiente herméticamente cerrado por 30 minutos y luego se vuelve a probar en el cono hasta que llegue a la condición de saturado con superficie seca SSS.

- ✓ Pesar 500 gr de material saturado superficialmente seco y llevarlos al horno a temperatura de  $110 \pm 5$  °C, hasta tener un peso constante. Pesar otros 500 gr de material saturado superficialmente seco en un picnómetro de 500 ml. de capacidad.
- ✓ Adicionarle agua gradualmente a la par de quitarle los vacíos con la bomba.



*Figura N° 71: Utilización de la bomba de vacíos*

- ✓ Llenar completamente de agua hasta la marca del picnómetro.
- ✓ Pesar el picnómetro con material más agua.

Cálculos. -

$$\text{Peso Específico} = \frac{S}{B + S - C} \times 100$$

$$\% \text{ Absorción} = \frac{S - A}{A} \times 100$$

Dónde:

- S: Peso de la muestra saturada superficialmente seca.
- C: Peso de la muestra saturada superficialmente seca + Peso del Picnómetro con agua hasta la marca de calibración.



- B: Peso del picnómetro con agua hasta la marca de calibración.
- A: Peso de la muestra seca.

### E) Toma de Datos

Tabla N° 36: Datos de ensayo del peso específico y absorción del agregado fino de Cunyac

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		Escuela Profesional de Ingeniería Civil	
TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO					
ENSAYO: Porcentaje de Absorción y Peso Específico			NORMA: ASTM C128		
Fecha de ensayo	:	Lunes, 19 de noviembre del 2018.			
Tesistas	:	- Jonathan Hiroshi Kawasaki Vergara - Emanuel Marzón Cárdenas			
Asesor (a)	:	- Ing. Mitsy Elena Gudiel Cárdenas			
Tipo de agregado	:	Agregado Fino			
Cantera de procedencia	:	Cunyac			
Lugar de ensayo	:	Laboratorio Universidad Andina del Cusco			
		Notación		Muestra 1	
Peso de la arena S55 (g)		S		500.00	
Peso de la arena S55 + Peso Picnómetro + Peso del agua (g)		C		995.50	
Peso Picnómetro (g)		P		187.60	
Peso Picnómetro (g) + AGUA (g)		B		684.30	
Peso de la arena secada al horno (g)		A		492.88	
Porcentaje de absorción (%)		$(B-A)/W \times 100$			
Peso específico de la masa Fino (g/cm <sup>3</sup> )		$A/(B-1-C)$			
Peso específico de Fino S55 (g/cm <sup>3</sup> )		$S/(B+S-C)$			



Tabla N° 37: Datos de ensayo del peso específico y absorción del agregado fino de Pisac

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO																												
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA																												
Escuela Profesional de Ingeniería Civil																												
<b>TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"</b>																												
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO																												
ENSAYO: Porcentaje de Absorción y Peso Específico	NORMA: ASTM C128																											
Fecha de ensayo	± Jueves, 29 de noviembre del 2018.																											
Tesistas	1 - Jonathan Hiroshi Kanashiro Vergara - Emanuel Morán Cárdenas																											
Asesor (a)	1 - Ing. Htzy Elena Guéel Cárdenas																											
Tipo de agregado	± Agregado Fino																											
Cantera de procedencia	± Pisac																											
Lugar de ensayo	± Laboratorio Universidad Andina del Cusco																											
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Nomenclatura</th> <th>Muestra 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso de la arena 555 (g)</td> <td>E</td> <td>500.00</td> </tr> <tr> <td>Peso de la arena 555 + Peso Pícnometro + Peso del agua (g)</td> <td>C</td> <td>579.80</td> </tr> <tr> <td>Peso Pícnometro (g)</td> <td>F</td> <td>187.60</td> </tr> <tr> <td>Peso Pícnometro (g) + AGUA (g)</td> <td>B</td> <td>694.20</td> </tr> <tr> <td>Peso de la arena secada al horno (g)</td> <td>A</td> <td>495.70</td> </tr> <tr> <td>Porcentaje de absorción (%)</td> <td><math>(D-A)/W \times 100</math></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso específico de la masa Fino (g/cm<sup>3</sup>)</td> <td><math>A/(E-1-C)</math></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso específico de Fino 555 (g/cm<sup>3</sup>)</td> <td><math>S/(B-1-C)</math></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Nomenclatura	Muestra 1	Peso de la arena 555 (g)	E	500.00	Peso de la arena 555 + Peso Pícnometro + Peso del agua (g)	C	579.80	Peso Pícnometro (g)	F	187.60	Peso Pícnometro (g) + AGUA (g)	B	694.20	Peso de la arena secada al horno (g)	A	495.70	Porcentaje de absorción (%)	$(D-A)/W \times 100$		Peso específico de la masa Fino (g/cm <sup>3</sup> )	$A/(E-1-C)$		Peso específico de Fino 555 (g/cm <sup>3</sup> )	$S/(B-1-C)$	
	Nomenclatura	Muestra 1																										
Peso de la arena 555 (g)	E	500.00																										
Peso de la arena 555 + Peso Pícnometro + Peso del agua (g)	C	579.80																										
Peso Pícnometro (g)	F	187.60																										
Peso Pícnometro (g) + AGUA (g)	B	694.20																										
Peso de la arena secada al horno (g)	A	495.70																										
Porcentaje de absorción (%)	$(D-A)/W \times 100$																											
Peso específico de la masa Fino (g/cm <sup>3</sup> )	$A/(E-1-C)$																											
Peso específico de Fino 555 (g/cm <sup>3</sup> )	$S/(B-1-C)$																											

### 3.5.1.9. Peso Volumétrico de los agregados

#### A) Normativa

ASTM C 29

#### B) Objetivo

- ✓ Determinar el peso volumétrico o peso unitario y los vacíos en los agregados. En condición suelto y compactado.

#### C) Equipos y herramientas utilizados en la prueba

- ✓ Balanza de precisión 0.5 gr.
- ✓ Varilla de acero (5/8" de diámetro y 24" de longitud)
- ✓ Recipiente de volumen conocido.
- ✓ Cucharón metálico.



#### D) Procedimiento

- ✓ Seleccionar el material por muestreo y por cuarteo para obtener resultados representativos del agregado.
- ✓ Se llena la tercera parte del recipiente de medida y se nivela la superficie. Se apisona la capa de agregado con la varilla 5/8" compactando, mediante 25 golpes distribuidos uniformemente sobre la superficie en forma helicoidal para posteriormente con el martillo de goma dar 12 golpes al recipiente metálico para el acomodo del material. Se llena hasta las dos terceras partes del envase, se repite el compactado para acomodo de partículas. Finalmente se llena el recipiente metálico con agregado hasta llenar por completo el recipiente, se vuelve a apisonar con la varilla también con 25 golpes, para finalizar golpear con el martillo de goma 12 veces y luego enrasar con una regla metálicas o en su defecto con la misma varilla.



*Figura N° 72: Obtención del peso volumétrico del agregado grueso*

- ✓ Se determina el peso del recipiente de medida más su contenido, peso y volumen de recipiente, se registran estos datos.



Figura N° 73: Proceso de ensayo de peso volumétrico de los agregados

Cálculos. -

$$PU \text{ Compactado} = \frac{\text{peso de la muestra compactada(kg)}}{\text{volumen del recipiente (m3)}}$$

$$PU \text{ Suelto} = \frac{\text{peso de la muestra suelta(kg)}}{\text{volumen del recipiente (m3)}}$$

$$\% \text{ de Vacíos} = \frac{(\text{Peso específico}) - PU}{\text{Peso específico}} \times 100$$





E) Toma de Datos

Tabla N° 38: Datos de ensayo de peso volumétrico del agregado grueso de Vicho

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA					
Escuela Profesional de Ingeniería Civil					
<b>TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"</b>					
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO</b>					
<b>ENSAYO: Peso Volumétrico</b>		<b>NORMA: ASTM C29</b>			
<b>Fecha de ensayo:</b>	1	Lunes, 25 de marzo del 2019.			
<b>Testistas:</b>	1	- Jonathan Hiroshi Kanashiro Vergara - Emanuel Horzón Cárdenas			
<b>Asesor (a):</b>	1	- Ing. Mily Elena Gudiel Cárdenas			
<b>Tipo de agregado:</b>	1	Agregado Grueso			
<b>Cantera de procedencia:</b>	1	Vicho Huso #6			
<b>Lugar de ensayo:</b>	1	Laboratorio Universidad Andina del Cusco			
		Unidades	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso del material suelto + molde		gr	11685.00	11725.00	11755.00
Peso del material compactado + molde		gr	12150.00	12135.00	12150.00
Peso del molde		gr	7500.00	7500.00	7500.00
Volumen del molde		cm <sup>3</sup>	3040.48	3040.48	3040.48
Peso volumétrico Suelto		gr/cm <sup>3</sup>			
Peso volumétrico Suelto					
Peso volumétrico Compactado		gr/cm <sup>3</sup>			
Peso volumétrico Compactado					
Contenido de vacíos Suelto					
Contenido de vacíos Compactado					



Tabla N° 39: Datos de ensayo de peso volumétrico del agregado fino de Cunyac

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA					
Escuela Profesional de Ingeniería Civil					
<b>TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"</b>					
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO</b>					
<b>ENSAYO: Peso Volumétrico</b>		<b>NORMA: ASTM C29</b>			
<b>Fecha de ensayo</b>	1	Jueves, 29 de noviembre del 2018.			
<b>Tesistas</b>	1	- Jonathan Hiroshi Kanashiro Vergara - Emanuel Marzón Cárdenas			
<b>Asesor (a)</b>	1	- Ing. Misy Elena Gudiel Cárdenas			
<b>Tipo de agregado</b>	1	Agregado Fino			
<b>Cantera de procedencia</b>	1	Cunyac			
<b>Lugar de ensayo</b>	1	Laboratorio Universidad Andina del Cusco			
		Unidades	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso del material suelto + molde		gr	5455.40	5446.70	5453.10
Peso del material compactado + molde		gr	5579.10	5562.70	5584.10
Peso del molde		gr	4173.30	4173.30	4173.30
Volumen del molde		cm <sup>3</sup>	940.67	940.67	940.67
Peso volumétrico Suelto		gr/cm <sup>3</sup>			
Peso volumétrico Suelto					
Peso volumétrico Compactado		gr/cm <sup>3</sup>			
Peso volumétrico Compactado					



Tabla N° 40: Datos de ensayo de peso volumétrico del agregado fino de Pisac

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA			Escuela Profesional de Ingeniería Civil		
TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"							
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO							
ENSAYO: Peso Volumétrico				NORMA: ASTM C29			
Fecha de ensayo	:	Jueves, 29 de noviembre del 2018.					
Tesistas	:	- Jhonatan Hiroshi Kanashiro Vergara - Emanuel Horzón Cárdenas					
Asesor (a)	:	- Ing. Htby Elena Gudiel Cárdenas					
Tipo de agregado	:	Agregado Fino					
Cantera de procedencia	:	Pisac					
Lugar de ensayo	:	Laboratorio Universidad Andina del Cusco					
		Unidades	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3		
Peso del material suelto + molde		gr	5554.30	5557.20	5556.30		
Peso del material compactado + molde		gr	5674.30	5677.50	5686.20		
Peso del molde		gr	4173.30	4173.30	4173.30		
Volumen del molde		cm <sup>3</sup>	940.67	940.67	940.67		
Peso volumétrico Suelto		gr/cm <sup>3</sup>					
Peso volumétrico Suelto							
Peso volumétrico Compactado		gr/cm <sup>3</sup>					
Peso volumétrico Compactado							

### 3.5.2. Elaboración y curado de los especímenes

#### 3.5.2.1. Diseño de mezcla del concreto permeable

Para realizar el diseño de mezcla del concreto permeable se utiliza como método el contemplado en ACI 522R-10. Y las recomendaciones por parte de los antecedentes de la tesis con respecto al uso de aditivo para mejorar las características y propiedades del concreto permeable.

#### A) Instrumentos y herramientas utilizados

- ✓ Hoja de cálculo para el diseño de concreto permeable mediante el método ACI 522R-10.

#### B) Procedimiento

- ✓ Se determina la masa de agregado grueso para un volumen de 1 m<sup>3</sup> de concreto permeable con los datos del tamaño único de agregado grueso y el porcentaje de agregado fino a adicionarse en la mezcla en la Tabla N° 41.



Tabla N° 41: Valores efectivos de volumen de agregado grueso seco en una unidad de concreto b/bo)

PORCENTAJE DE AGREGADO FINO	b/bo	
	ASTM C 33 Size No. 8	ASTM C 33 Size No. 7
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

Fuente: ACI 522R-10

- ✓ Se determina la masa del agregado grueso seco y saturado superficialmente seco, de acuerdo a las fórmulas siguientes:

$$M_{A.G.(seco)} = D_s \times b/b_o$$

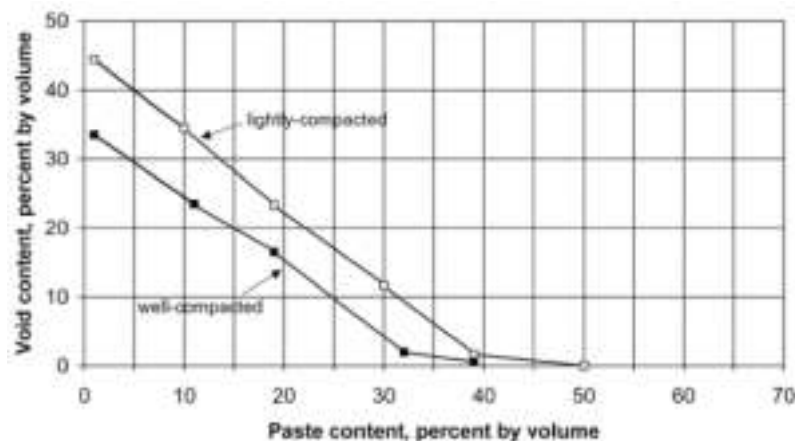
$$M_{A.G.(sat.sup.seco)} = M_{a(seco)} \times (1 + \%Abs. A. G.)$$

- ✓ Se determina el volumen de agregado grueso por metro cúbico de concreto permeable con la formula siguiente:

$$V_{A.G.} = \frac{M_{A.G.(sat.sup.seco)}}{G_{e_{A.G.(sat.sup.seco)}}$$

- ✓ Se determina el porcentaje y volumen de pasta para una unidad de concreto (1 m<sup>3</sup>) de en función al porcentaje de vacíos y el tipo de concreto designado para el diseño (bien compactado o ligeramente compactado) en la Tabla N° 42 (Relación entre el volumen de pasta y el contenido de vacíos).

Tabla N° 42: Relación entre el volumen de pasta y el contenido de vacíos



Fuente: ACI 522R-10



$$V_P = \frac{\%Pasta}{100}$$

- ✓ Se determina las masas y volúmenes del cemento y agua por unidad de concreto, con las siguientes fórmulas:

$$M_C = \frac{V_P \times D_C \times D_W}{D_W + [w/c \times D_C]} \quad M_W = w/c \times M_C$$

$$V_C = \frac{M_C}{D_C} \quad V_W = \frac{M_W}{D_W}$$

Donde:

$V_P$  = Volumen de pasta

$w/c$  = Relación agua-cemento

$M_C$  = Masa de cemento

$V_C$  = Volumen de cemento

$D_C$  = Densidad del cemento

$M_W$  = Masa de agua

$V_W$  = Volumen de agua

$D_W$  = Densidad del agua

- ✓ Se agrupa las proporciones de materiales necesarios para la elaboración de una unidad (1 m<sup>3</sup>) de concreto permeable:

Las masas de material por metro cúbico:

- Cemento
- Agua
- Agregado Grueso

Verificación del volumen total de concreto y el porcentaje de vacíos

- Volumen de cemento
- Volumen de agua
- Volumen de agregado grueso
- Volumen Total = Volumen de cemento + Volumen de agua + Volumen de A.G.
- Porcentaje de Vacíos = 1 – Volumen Total (Verificar)



- ✓ En caso de adicionar agregado fino, se realizará en porcentajes de acuerdo a la masa del agregado para la mezcla.
- ✓ La incorporación de aditivo plastificante en el diseño de mezcla del concreto permeable se realiza de acuerdo al peso del cemento mediante los porcentajes recomendados por los antecedentes para su uso.

### **3.5.2.2. Elaboración de especímenes de concreto**

#### **A) Instrumentos y herramientas utilizados**

- ✓ Molde cilíndrico de 15 cm de diámetro x 30 cm de altura
- ✓ Molde prismático de 15 x 15 cm de sección x 50 cm de largo
- ✓ Balanza graduada
- ✓ Varilla lisa de 5/8" con punta redondeada
- ✓ Carretilla
- ✓ Pala.
- ✓ Enrrazador
- ✓ Espátula.
- ✓ Probeta o envase graduado

#### **B) Procedimiento**

- ✓ Se procede a la elaboración del concreto teniendo previamente en cuenta cuales son las dosificaciones de los materiales que lo compondrán, el cual esta detallado en el diseño de mezcla para cada una de las variaciones de los porcentajes.
- ✓ Se inicia el mezclado de los materiales para la conformación del concreto, es importante recalcar que al suministrar mayor cantidad de agua se generará una segregación de la muestra, lo cual no se busca.
- ✓ Una vez mezclado el agregado grueso, cemento y agua, se procede con la incorporación de la arena en sus distintos porcentajes (0%, 5%, 10%, 15% y 20%) de acuerdo a los diseños de mezcla.
- ✓ Por último, se adiciona el aditivo plastificante considerado para la mezcla en cada una de las variaciones de porcentajes de agregado fino.



Una vez que todos los componentes se encuentren mezclados se continúa a colocar dentro de los moldes cilíndricos en tres capas iguales a 10 cm, el cual se compacta con 25 golpes en cada capa usando la varilla lisa de 5/8" con punta redondeada (ASTM C 31).

- ✓ Para los moldes prismáticos se coloca en dos capas iguales a 7.5 cm, los cuales se compactan con 54 golpes en toda la superficie de cada capa usando la carilla lisa de 5/8" con punta redondeada (ASTM C 31).



*Figura N° 74: Vertido del concreto en moldes prismáticos*

- ✓ Para los moldes cilíndricos que serán avocados al ensayo de permeabilidad se coloca en dos capas iguales a 7.5 cm, los cuales se compactan a 25 golpes en cada capa usando la varilla lisa de 3/8" con punta redondeada (ASTM C 31).



*Figura N° 75: Vertido del concreto en moldes cilíndricos*

- ✓ Paso siguiente se verifica la protección de las muestras en los moldes, especialmente del agua y el excesivo calor para evitar variaciones en su composición durante el proceso de fraguado.



- ✓ Esperando un tiempo prudente de fraguado de aproximadamente un día se realiza el desmoldado con sumo cuidado para no causar daños al momento de retirarlos de sus respectivos moldes, se golpea a los lados de los moldes para que no se adhiera el concreto en los moldes.



*Figura N° 76: Desmoldado de especímenes de concreto permeable*

### 3.5.2.3. Curado de los especímenes de concreto

#### A) Instrumentos y herramientas utilizados

- ✓ Poza de curado
- ✓ Agua

#### B) Procedimiento

- ✓ Para el curado del concreto, las muestras deben de permanecer sumergidos en agua una vez hayan sido desmoldados por un periodo de 28 días, el cual viene a ser el tiempo al cual se realizará los ensayos.



*Figura N° 77: Curado de los especímenes de concreto permeable*





### 3.5.3. Ensayos para el concreto

#### 3.5.3.1. Verificación del porcentaje de vacíos de las muestras

##### A) Objetivo

- ✓ Determinar los porcentajes de vacíos existentes en las muestras de concreto permeable con el método de desplazamiento de agua (principio de Arquímedes).

##### B) Equipos y herramientas utilizados en la prueba

- ✓ Recipiente con agua de tamaño mayor a muestra
- ✓ Bandeja metálica
- ✓ Balanza de precisión
- ✓ Probeta

##### C) Procedimiento

- ✓ Se toma el peso de la bandeja metálica sin contenido.
- ✓ Se coloca el recipiente con agua hasta el borde superior.
- ✓ Se procede a sumergir la muestra dentro del recipiente con agua.
- ✓ Se espera a que el agua desplazada por la sumersión de la muestra pase a la bandeja metálica que se encuentra debajo.



*Figura N° 78: Agua desplazada por la muestra de concreto permeable.*



- ✓ Se retira el recipiente con agua y la muestra con cuidado de eliminar parte del agua desplazada.



Figura N° 79: Peso del agua desplazada por la muestra de concreto permeable para determinación de vacíos

- ✓ Se procede a pesar la bandeja metálica con el agua.

Cálculos. -

$$V_{a.d.} = \frac{P_{a.d.}}{\rho_{agua}}$$

$$V_v = V_m - V_{a.d.}$$

Dónde:

- $V_v$ : Volumen de vacíos,  $\text{cm}^3$
- $V_m$ : Volumen de muestra de concreto permeable,  $\text{cm}^3$
- $V_{a.d.}$ : Volumen de agua desplazada,  $\text{cm}^3$
- $P_{a.d.}$ : Peso del agua desplazada, gr.
- $\rho_{agua}$ : Peso específico del agua,  $\text{gr}/\text{cm}^3$ .



D) Toma de Datos

Tabla N° 43: Datos de verificación del porcentaje de vacíos de muestras de concreto permeable

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO											
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA											
Escuela Profesional de Ingeniería Civil											
TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2018"											
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO											
ENSAJO: Verificación del porcentaje de vacíos											
Fecha de ensayo	:	Sábado, 15 de junio del 2018.									
Técnicos	:	- Jonathan Pineda Ríos/Andrés Vargas - Emanuel Morán Cárdenas									
Asesor (a)	:	- Ing. Rita Rosa Sabel Cárdenas									
Tipo de material	:	Concreto Permeable									
Lugar de ensayo	:	Laboratorio Universidad Andina del Cusco									
Muestra 0% A.F.	Unidad	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
Peso del agua desplazado	gr	4100.00	4004.00	4415.40	4340.00	4577.00	4427.00	4386.00	4477.00	4314.40	4314.40
Peso específico del agua	gr/cm <sup>3</sup>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Volumen de Agua desplazado	cm <sup>3</sup>										
Volumen de Muestra	cm <sup>3</sup>										
Volumen de Vacíos	cm <sup>3</sup>										
% de Vacíos	%										
Muestra 10% A.F.	Unidad	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
Peso del agua desplazado	gr	4181.00	4411.00	4310.00	4341.40	4497.00	4477.00	4404.40	4180.00	4180.00	4180.00
Peso específico del agua	gr/cm <sup>3</sup>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Volumen de Agua desplazado	cm <sup>3</sup>										
Volumen de Muestra	cm <sup>3</sup>										
Volumen de Vacíos	cm <sup>3</sup>										
% de Vacíos	%										
Muestra 15% A.F.	Unidad	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
Peso del agua desplazado	gr	4162.00	4527.00	4517.00	4388.00	4410.00	4427.00	4396.00	4396.00	4396.00	4321.00
Peso específico del agua	gr/cm <sup>3</sup>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Volumen de Agua desplazado	cm <sup>3</sup>										
Volumen de Muestra	cm <sup>3</sup>										
Volumen de Vacíos	cm <sup>3</sup>										
% de Vacíos	%										
Muestra 20% A.F.	Unidad	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
Peso del agua desplazado	gr	4000.00	4390.00	4701.00	4723.00	4614.00	4698.00	4795.00	4661.00	4661.00	4670.00
Peso específico del agua	gr/cm <sup>3</sup>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Volumen de Agua desplazado	cm <sup>3</sup>										
Volumen de Muestra	cm <sup>3</sup>										
Volumen de Vacíos	cm <sup>3</sup>										
% de Vacíos	%										
Muestra 25% A.F.	Unidad	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
Peso del agua desplazado	gr	4075.00	4070.00	4075.00	4077.00	4075.00	4075.00	4075.00	4075.00	4075.00	4075.00
Peso específico del agua	gr/cm <sup>3</sup>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Volumen de Agua desplazado	cm <sup>3</sup>										
Volumen de Muestra	cm <sup>3</sup>										
Volumen de Vacíos	cm <sup>3</sup>										
% de Vacíos	%										



### 3.5.3.2. Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto

#### A) Normativa

ASTM C 39

#### B) Objetivo

- ✓ Determinar la máxima resistencia de un cilindro de muestra de concreto frente a una carga aplicada axialmente.

#### C) Equipos y herramientas utilizados en la prueba

- ✓ Prensa de ensayo.
- ✓ Vernier.
- ✓ Regla metálica.
- ✓ Almohadillas de neopreno.

#### D) Procedimiento

- ✓ Las probetas serán retiradas de la poza de curado (según el día de ensayo 7 o 28 días).



*Figura N° 80: Almacenamiento y codificación previa a los ensayos de las propiedades mecánicas de los especímenes en el laboratorio*

- ✓ Limpiar la superficie de contacto y proceder a medir los diámetros con el vernier y las longitudes de los especímenes a ensayar.
- ✓ Colocar la probeta en los platos de retención y accionar la palanca de la prensa, para realizar el ensayo de compresión.



*Figura N° 81: Colocación de especímenes para ensayo de resistencia a compresión*

- ✓ La carga debe aplicarse a una velocidad de movimiento (medida desde la platina a la cruceta) correspondiente a una velocidad de esfuerzo sobre el espécimen entre los 1.5 kg/cm<sup>2</sup>/seg. a 3,5 kg/cm<sup>2</sup>/seg.
- ✓ Registrar la carga máxima (P) expresada en kg.



*Figura N° 82: Ensayo de resistencia a compresión de especímenes de concreto permeable*



Cálculos. -

$$f_c = \frac{4 \times P}{\pi \times D^2}$$

Dónde:

- $F_c$ : Resistencia a compresión,  $\text{kg/cm}^2$
- P: Carga Máxima, kg.
- D: Diámetro del espécimen, cm.

### E) Toma de Datos

Tabla N° 44: Datos de ensayo de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos con 0 % de adición de agregado fino

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		Escuela Profesional de Ingeniería Civil		TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"		
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO								
ENSAYO: Resistencia a Compresión Simple					NORMA: ASTM C-39			
Fecha de ensayo		: Sábado, 15 de junio del 2019.						
Testistas		: Jonathan Hiroshi Kanashiro Vergara : Emanuel Marzón Cáceres						
Asesor (a)		: Ing. Mily Elena Guibé Cárdenas						
Tipo de material		: Concreto Permeable						
Lugar de ensayo		: Laboratorio Universidad Andina del Cusco						
N°	DISEÑO	FECHA DE VACADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIÁMETRO PROMEDIO (cm)	ÁREA ( $\text{cm}^2$ )	CARGA (kgf)	RESISTENCIA ( $\text{kg/cm}^2$ )
1	09-A-F	11/05/2019	15/06/2019	28	15.05		1427000	
2	09-A-F	11/05/2019	15/06/2019	28	15.20		1128000	
3	09-A-F	11/05/2019	15/06/2019	28	15.08		1499000	
4	09-A-F	11/05/2019	15/06/2019	28	15.00		1128000	
5	09-A-F	11/05/2019	15/06/2019	28	15.11		1499000	
6	09-A-F	11/05/2019	15/06/2019	28	15.01		1400000	
7	09-A-F	11/05/2019	15/06/2019	28	15.21		1481000	
8	09-A-F	11/05/2019	15/06/2019	28	15.01		1424000	
9	09-A-F	11/05/2019	15/06/2019	28	15.19		1182000	



Tabla N° 45: Datos de ensayo de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos con 5 % de adición de agregado fino

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		Escuela Profesional de Ingeniería Civil				
TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"								
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO								
ENSAYO: Resistencia a Compresión Simple					NORMA: ASTM C-39			
Fecha de ensayo	:	1	Sábado, 15 de junio del 2019.					
Tesistas	:	1	- Jonathan Hiroshi Kanashiro Vergara - Emanuel Floruzán Cárdenas					
Asesor (s)	:	1	- Ing. Mily Elena Guadalupe Cárdenas					
Tipo de material	:	1	Concreto Permeable					
Lugar de ensayo	:	1	Laboratorio Universidad Andina del Cusco					
N°	DISEÑO	FECHA DE VACADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIÁMETRO PROMEDIO (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA (kgf)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	3N.A.F.	07/05/2019	15/06/2019	28	10.01		21620.00	
2	3N.A.F.	10/05/2019	05/06/2019	28	9.90		21130.00	
3	3N.A.F.	07/05/2019	15/06/2019	28	10.00		21000.00	
4	3N.A.F.	07/05/2019	05/06/2019	28	9.90		22000.00	
5	3N.A.F.	10/05/2019	05/06/2019	28	10.00		21550.00	
6	3N.A.F.	10/05/2019	15/06/2019	28	10.00		20000.00	
7	3N.A.F.	10/05/2019	15/06/2019	28	10.00		21000.00	
8	3N.A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	9.90		22000.00	
9	3N.A.F.	10/05/2019	15/06/2019	28	9.90		20960.00	



Tabla N° 46: Datos de ensayo de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos con 10 % de adición de agregado fino

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		Escuela Profesional de Ingeniería Civil				
TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"								
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO								
ENSAYO: Resistencia a Compresión Simple					NORMA: ASTM C-39			
Fecha de ensayo	:	Sábado, 15 de junio del 2019.						
Testistas	:	- Jonathan Hiroshi Kanashiro Vergara - Emanuel Pinzón Cárdenas						
Aesor (s)	:	- Ing. Mily Dora Guíllid Cárdenas						
Tipo de material	:	Concreto Permeable						
Lugar de ensayo	:	Laboratorio Universidad Andina del Cusco						
N°	DIÁM.	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (DÍAS)	DIÁMETRO PROMEDIO (mm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA (kgf)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	576.42	11/05/2019	05/06/2019	28	55.9		317000	
2	576.42	11/05/2019	05/06/2019	28	55.13		309000	
3	576.42	10/05/2019	04/06/2019	28	55.03		3482000	
4	576.42	11/05/2019	04/06/2019	28	55.28		476000	
5	576.42	11/05/2019	04/06/2019	28	55.01		3278000	
6	576.42	11/05/2019	04/06/2019	28	55.8		3118000	
7	576.42	11/05/2019	04/06/2019	28	55.01		3225000	
8	576.42	11/05/2019	04/06/2019	28	55.11		3084000	
9	576.42	11/05/2019	04/06/2019	28	55.11		311000	





Tabla N° 47: Datos de ensayo de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos con 15 % de adición de agregado fino

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		Escuela Profesional de Ingeniería Civil				
TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"								
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO								
ENSAYO: Resistencia a Compresión Simple						NORMA: ASTM C-39		
Fecha de ensayo	:	Sábado, 13 de junio del 2019						
Testistas	:	- Jonathan Hiroshi Kanashiro Vergara - Emanuel Moisés Cárdenas						
Aesor (x)	:	- Ing. Mitsy Dena Guillot Cárdenas						
Tipo de material	:	Concreto Permeable						
Lugar de ensayo	:	Laboratorio Universidad Andina del Cusco						
N°	DISÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIÁMETRO PROMEDIO (mm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA (kgf)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	TS.A.F	01/05/2019	04/06/2019	28	75.76		43800.00	
2	TS.A.F	02/05/2019	04/06/2019	28	75.25		39800.00	
3	TS.A.F	03/05/2019	04/06/2019	28	75.00		42000.00	
4	TS.A.F	04/05/2019	04/06/2019	28	75.91		40500.00	
5	TS.A.F	05/05/2019	04/06/2019	28	75.25		45200.00	
6	TS.A.F	06/05/2019	04/06/2019	28	75.08		44000.00	
7	TS.A.F	07/05/2019	04/06/2019	28	75.53		41900.00	
8	TS.A.F	08/05/2019	04/06/2019	28	75.88		40600.00	
9	TS.A.F	09/05/2019	04/06/2019	28	75.87		37400.00	



Tabla N° 48: Datos de ensayo de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos con 20 % de adición de agregado fino

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		Escuela Profesional de Ingeniería Civil				
TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"								
FECHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO								
ENSAYO: Resistencia a Compresión Simple					NORMA: ASTM C-39			
Fecha de ensayo	:	1	Sábado, 15 de junio del 2019.					
Testistas	:	2	- Jonathan Hiroshi Kanachis Vergara - Emanuel Murozín Cárdenas					
Aesor (a)	:	1	- Ing. Mily Elena Gudiel Cárdenas					
Tipo de material	:	1	Concreto Permeable					
Lugar de ensayo	:	1	Laboratorio Universidad Andina del Cusco					
N°	DISÑO	FECHA DE VACADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIÁMETRO PROMEDIO (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA (kgf)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	20% A.F	01/05/2019	04/06/2019	28	10.15		32910.00	
2	20% A.F	01/05/2019	04/06/2019	28	10.21		31760.00	
3	20% A.F	01/05/2019	04/06/2019	28	10.05		34400.00	
4	20% A.F	01/05/2019	04/06/2019	28	10.00		30390.00	
5	20% A.F	07/05/2019	04/06/2019	28	10.30		31400.00	
6	20% A.F	07/05/2019	04/06/2019	28	10.04		31210.00	
7	20% A.F	07/05/2019	04/06/2019	28	10.08		40640.00	
8	20% A.F	08/05/2019	04/06/2019	28	10.20		40440.00	
9	20% A.F	08/05/2019	04/06/2019	28	10.04		40180.00	

### 3.5.3.3. Resistencia a flexión del concreto (utilizando viga simple con carga en los tercios)

#### A) Normativa

ASTM C 78

#### B) Objetivo

- ✓ Determinar la resistencia a la flexión del concreto mediante el uso de una viga simple con cargas en los tercios del claro.

#### C) Equipos y herramientas utilizados en la prueba

- ✓ Prensa de ensayo.
- ✓ Vernier.
- ✓ Regla metálica.
- ✓ Piezas de apoyo y piezas para aplicar la carga.



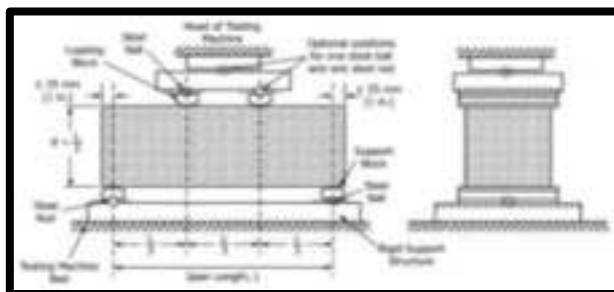
#### D) Procedimiento

- ✓ Retirar las vigas de la poza de curado.
- ✓ Marcar las secciones de apoyo y de carga.



*Figura N° 83: Medición y marcado de los puntos de apoyo de las vigas para ensayo de resistencia a flexión*

- ✓ A continuación, se deberá colocar la viga alineada y dejando la cara de llenado en posición vertical.



*Figura N° 84: Esquema de la máquina de ensayo a flexión*

- ✓ Cargue la muestra de forma continua y sin choque. La carga se aplicará a una velocidad constante hasta el punto de rotura. Aplique la carga a una velocidad que



aumente constantemente la tensión máxima en la superficie de tensión entre 0.9 y 1.2 MPa / min hasta que se produzca la ruptura.



*Figura N° 85: Colocación del espécimen de concreto permeable para ensayo de resistencia a flexión*

Cálculos. -

$$R = \frac{P \times L}{b \times d^2}$$

Dónde:

- R: módulo de rotura, kg/cm<sup>2</sup>
- P: carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayo, kg.
- L: Longitud del tramo, cm.
- b: Ancho promedio de la muestra, cm.
- d: altura media del espécimen, cm.



E) Toma de Datos

Tabla N° 49: Datos de ensayo de resistencia a flexión con 0 % de adición de agregado fino

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		Escuela Profesional de Ingeniería Civil					
TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"									
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO									
ENSAYO: Resistencia a Flexión					NORMA: ASTM C-78				
Fecha de ensayo	:	Sábado, 15 de junio del 2019.							
Testistas	:	- Jonathan Hiroshi Kanashiro Vergara - Emanuel Muñoz Cárdenas							
Aesor (a)	:	- Ing. Hday Erena Gudiel Cárdenas							
Tipo de material	:	Concreto Permeable							
Lugar de ensayo	:	Laboratorio Universidad Andina del Cusco							
N°	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	LONG. DE SEPARACIÓN DE APOYOS (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	CARGA (kg)	MÓDULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	0% A.F.	15/05/2019	15/06/2019	28	47	14.00	15.00	11000	
2	0% A.F.	15/05/2019	15/06/2019	28	47	14.00	15.00	14900	
3	0% A.F.	15/05/2019	15/06/2019	28	47	14.00	14.90	10600	
4	0% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	14.00	15.00	14600	
5	0% A.F.	15/05/2019	14/06/2019	28	47	14.00	14.80	11600	
6	0% A.F.	15/05/2019	15/06/2019	28	47	14.00	15.00	9600	
7	0% A.F.	15/05/2019	15/06/2019	28	47	14.00	15.00	13700	
8	0% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	14.00	15.00	14400	
9	0% A.F.	15/05/2019	15/06/2019	28	47	14.00	14.80	12000	



Tabla N° 50: Datos de ensayo de resistencia a flexión con 5 % de adición de agregado fino

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA Escuela Profesional de Ingeniería Civil 									
<b>TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"</b>									
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO									
ENSAYO: Resistencia a Flexión					NORMA: ASTM C-78				
Fecha de ensayo		:	Sitado , 15 de junio del 2019.						
Tecnistas		:	- Donatán Hinojosa Kamashiro Vergara - Emanuel Marañón Cárdenas.						
Asesor (a)		:	- Ing. Milay Elisa Guillet Cárdenas						
Tipo de material		:	Concreto Permeable						
Lugar de ensayo		:	Laboratorio Universidad Andina del Cusco.						
N°	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	LONG. DE SEPARACIÓN DE APOYOS (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	CARGA (kgf)	MÓDULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	3% A.F.	17/06/2019	15/06/2019	28	47	15.00	15.00	1880.00	
2	3% A.F.	17/06/2019	15/06/2019	28	47	15.00	15.07	1980.00	
3	3% A.F.	17/06/2019	15/06/2019	28	47	14.00	14.95	1960.00	
4	3% A.F.	17/06/2019	15/06/2019	28	47	14.00	15.00	1850.00	
5	3% A.F.	17/06/2019	15/06/2019	28	47	15.00	14.80	1810.00	
6	3% A.F.	17/06/2019	15/06/2019	28	47	14.97	15.02	1920.00	
7	3% A.F.	15/06/2019	15/06/2019	28	47	14.00	14.97	1440.00	
8	3% A.F.	17/06/2019	15/06/2019	28	47	14.00	14.90	1830.00	
9	3% A.F.	17/06/2019	15/06/2019	28	47	14.00	14.98	1890.00	



Tabla N° 51: Datos de ensayo de resistencia a flexión con 10 % de adición de agregado fino

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		Escuela Profesional de Ingeniería Civil					
TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"									
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO									
ENSAYO: Resistencia a Flexión					NORMA: ASTM C-78				
Fecha de ensayo	1	Sábado, 15 de junio del 2019.							
Testistas	2	- Jonathan Hiroshi Katsushiro Vergara - Emanuel Mirón Cárdenas							
Aesor (a)	3	- Ing. Mty Elena Guiler Cárdenas							
Tipo de material	1	Concreto Permeable							
Lugar de ensayo	2	Laboratorio Universidad Andina del Cusco							
N°	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	LONG. DE SEPARACIÓN DE APOYOS (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	CARGA (kg)	MÓDULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	10% AF	07/06/2019	15/06/2019	28	47	14.00	14.50	2240.00	
2	10% AF	07/06/2019	15/06/2019	28	47	14.07	14.00	2250.00	
3	10% AF	07/06/2019	15/06/2019	28	47	14.00	14.00	2070.00	
4	10% AF	07/06/2019	15/06/2019	28	47	14.00	14.07	2170.00	
5	10% AF	07/06/2019	15/06/2019	28	47	14.00	14.00	1980.00	
6	10% AF	07/06/2019	15/06/2019	28	47	14.00	14.00	2180.00	
7	10% AF	07/06/2019	15/06/2019	28	47	14.00	14.00	2210.00	
8	10% AF	07/06/2019	15/06/2019	28	47	14.00	14.07	2180.00	
9	10% AF	07/06/2019	15/06/2019	28	47	14.00	14.00	2240.00	



Tabla N° 52: Datos de ensayo de resistencia a flexión con 15 % de adición de agregado fino

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		Escuela Profesional de Ingeniería Civil					
TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"									
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO									
ENSAYO: Resistencia a Flexión					NORMA: ASTM C-78				
Fecha de ensayo	1	Sábado, 15 de junio del 2019							
Testistas	1	- Jonathan Hiroshi Kanashiro Vergara - Emanuel Marzón Cárdenas							
Asesor (a)	2	- Ing. Mily Elena Gutiérrez Cárdenas							
Tipo de material	1	Concreto Permeable							
Lugar de ensayo	1	Laboratorio Universidad Andina del Cusco							
N°	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	LONG. DE SEPARACIÓN DE APOYOS (mm)	ANCHO (mm)	ALTO (cm)	CARGA (kgf)	MÓDULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	15% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	15.00	15.38	2600.00	
2	15% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	15.00	15.37	2460.00	
3	15% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	14.90	14.90	2100.00	
4	15% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	14.97	15.30	2590.00	
5	15% A.F.	15/05/2019	15/06/2019	28	47	15.00	14.88	2100.00	
6	15% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	15.00	15.35	2510.00	
7	15% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	14.98	14.81	2100.00	
8	15% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	14.98	14.85	2040.00	
9	15% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	14.97	14.80	2480.00	





Tabla N° 53: Datos de ensayo de resistencia a flexión con 20 % de adición de agregado fino

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		Escuela Profesional de Ingeniería Civil					
TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"									
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO									
ENSAYO: Resistencia a Flexión					NORMA: ASTM C-78				
Fecha de ensayo	1	Sábado, 15 de junio del 2019.							
Tesistas	2	- Jonathan Hincapié Kanañero Vergara. - Emanuel Monzón Cárdenas							
Asesor (a)	1	- Ing. Hilar Echea Godínez Cárdenas							
Tipo de material	1	Concreto Permeable							
Lugar de ensayo	1	Laboratorio Universidad Andina del Cusco							
N°	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	LONG. DE SEPARACIÓN DE APOYOS (mm)	ANCHO (mm)	ALTO (cm)	CARGA (kg)	MÓDULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	20% AF	15/06/2019	15/06/2019	28	47	15.07	15.15	1390.00	
2	20% AF	15/06/2019	15/06/2019	28	47	15.03	15.07	2670.00	
3	20% AF	15/06/2019	15/06/2019	28	47	15.12	15.12	2940.00	
4	20% AF	15/06/2019	15/06/2019	28	47	15.04	14.91	2470.00	
5	20% AF	15/06/2019	15/06/2019	28	47	15.05	14.92	2770.00	
6	20% AF	15/06/2019	15/06/2019	28	47	15.03	14.94	2650.00	
7	20% AF	15/06/2019	15/06/2019	28	47	15.02	14.91	2630.00	
8	20% AF	15/06/2019	15/06/2019	28	47	14.96	14.92	2480.00	
9	20% AF	15/06/2019	15/06/2019	28	47	14.97	14.93	1980.00	

### 3.5.3.4. Coeficiente de permeabilidad

#### A) Normativa

ACI 522 R-10

#### B) Objetivo

- ✓ Determinar el coeficiente de permeabilidad en permeámetro de carga variable de probetas de 10 cm de diámetro x 15 cm de altura.

#### C) Equipos y herramientas utilizados en la prueba

- ✓ Permeámetro de carga variable.
- ✓ Reloj o cronometro.

#### D) Procedimiento

- ✓ Preparar las muestras a ser ensayadas, envolverla en una membrana de látex o con cualquier otro material con el objetivo de evitar que fugue el agua de drenaje.



- ✓ Colocar la muestra en el permeámetro de carga variable.
- ✓ Tomar la altura de columna de agua h1 (Para nuestro caso 5cm y 10 cm por encima de h2).



*Figura N° 86: Permeámetro y muestras de concreto permeable ensayadas para obtención del coeficiente de permeabilidad*

- ✓ Abrir la válvula de PVC tipo bola, para permitir la descarga y se empieza el tiempo t1.
- ✓ Una vez el agua llegue a la marca de h2 concluye el ensayo y se toma el tiempo final t2.

Cálculos. -

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

Dónde:

- k: Coeficiente de permeabilidad, cm/seg.
- L: Longitud de la muestra, cm.
- t: Tiempo, seg.
- a: Área de la tubería de carga, cm<sup>2</sup>.
- A: Área de la muestra, cm<sup>2</sup>.
- h1: altura de la columna de agua en el tubo graduado al inicio de la prueba, cm.
- h2: altura de la columna de agua en el tubo graduado al final de la prueba, cm.



### E) Observaciones

El ensayo se realizó en inmediaciones de una de las propiedades de los tesisistas ubicado en el parque industrial, Calle República de Chile D-17, debido a que dentro del plazo y los ensayos estipulados para la utilización del laboratorio en calidad de tesisistas no se estipula el ensayo de permeabilidad porque el permeámetro que se cuenta en dicho laboratorio no está en condiciones óptimas para su uso ya que presenta fugas, por lo que se prefirió elaborar un permeámetro de acuerdo a las condiciones del ACI 522R-10 para tomar datos de permeabilidad.

### F) Toma de Datos

Tabla N° 54: Datos de ensayo de coeficiente de permeabilidad de todas las muestras

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO											
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA											
Escuela Profesional de Ingeniería Civil											
TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"											
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO											
ENSAYO: Coeficiente de Permeabilidad						NORMA: ACI 522 R-10					
Fecha de ensayo		:	Lunes , 17 de junio del 2019.								
Tesisistas		:	- Jonathan Hiroshi Karashiro Vergara - Emanuel Manzón Cárdenas								
Asesor (s)		:	- Dlg. Pity Elena Gubel Cárdenas								
Tipo de material		:	Concreto Permeable								
Lugar de ensayo		:	Laboratorio Universidad Andina del Cusco								
Doble	Porcentaje de Finos	Tamaño agregado	d	D	L	a	A	h1	h2	t	k
			cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	cm	cm	s	cm/s
0-A	0	Hazo 5	10.01	10.16	15.00	86.76	81.07	15.10	10.30	3.79	
	0	Hazo 5	10.11	10.16	15.00	86.76	81.07	20.30	10.30	6.30	
0-B	0	Hazo 5	10.11	10.16	15.00	86.76	81.07	15.10	10.30	3.85	
	0	Hazo 5	10.11	10.16	15.00	86.76	81.07	20.30	10.30	6.45	
5-A	5	Hazo 5	10.11	10.21	15.00	86.76	81.07	15.10	10.30	6.89	
	5	Hazo 5	10.11	10.21	15.00	86.76	81.07	20.30	10.30	12.14	
5-B	5	Hazo 5	10.11	10.21	15.00	86.76	81.07	15.10	10.30	6.66	
	5	Hazo 5	10.11	10.21	15.00	86.76	81.07	20.30	10.30	13.14	
10-A	10	Hazo 5	10.11	10.25	15.00	86.76	82.52	15.10	10.30	13.96	
	10	Hazo 5	10.11	10.25	15.00	86.76	82.52	20.30	10.30	24.54	
10-B	10	Hazo 5	10.11	10.25	15.00	86.76	82.52	15.10	10.30	13.40	
	10	Hazo 5	10.11	10.25	15.00	86.76	82.52	20.30	10.30	24.56	
15-A	15	Hazo 5	10.11	10.30	15.00	86.76	82.52	15.10	10.30	16.30	
	15	Hazo 5	10.11	10.30	15.00	86.76	82.52	20.30	10.30	31.80	
15-B	15	Hazo 5	10.11	10.30	15.00	86.76	82.52	15.10	10.30	17.40	
	15	Hazo 5	10.11	10.30	15.00	86.76	82.52	20.30	10.30	33.50	
20-A	20	Hazo 5	10.11	10.36	15.00	86.76	81.07	15.10	10.30	19.20	
	20	Hazo 5	10.11	10.36	15.00	86.76	81.07	20.30	10.30	36.10	
20-B	20	Hazo 5	10.11	10.36	15.00	86.76	81.07	15.10	10.30	17.90	
	20	Hazo 5	10.11	10.36	15.00	86.76	81.07	20.30	10.30	32.50	



### 3.6. Procedimientos de análisis de datos

#### 3.6.1. Ensayos para agregados del concreto permeable

##### 3.6.1.1. Muestreo de agregados en campo

###### 3.6.1.1.1. Procesamiento

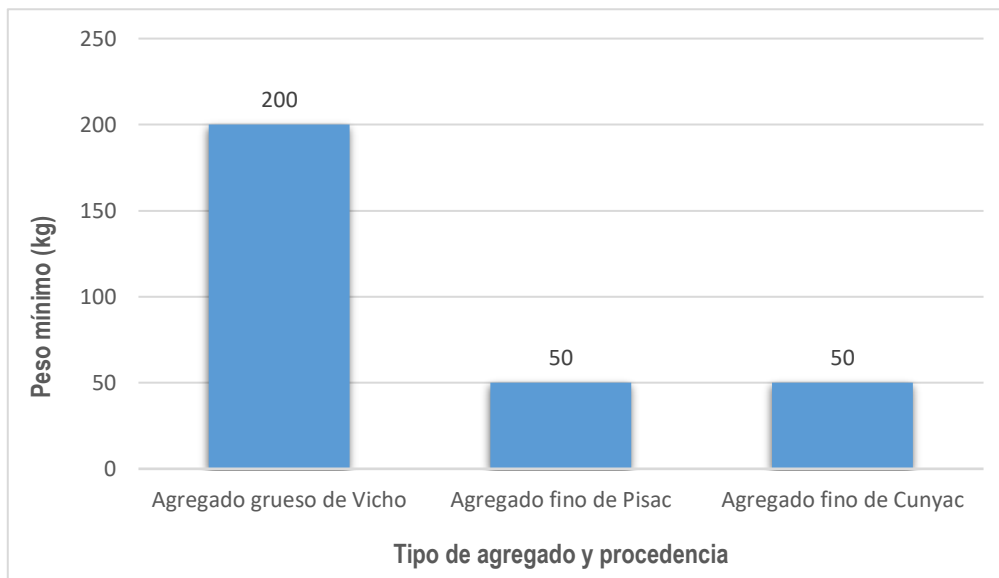
A continuación, se muestran los pesos para la extracción de las respectivas canteras como muestras para su posterior ensayado.

Tabla N° 55: Pesos mínimos de extracción y muestreo de agregados de las canteras de Vicho, Pisac y Cunyac.

MATERIAL	PESO MÍNIMO (KG)
Agregado Grueso de Vicho	200
Agregado Fino de Pisac	50
Agregado Fino de Cunyac	50

###### 3.6.1.1.2. Diagramas

Tabla N° 56: Comparación de los pesos mínimos de extracción y muestreo de agregados



###### 3.6.1.1.3. Análisis

En la Tabla N° 55 (pág. 143) y Tabla N° 56 (pág. 143), se observa las cantidades mínimas respectivas de agregado grueso y agregado fino que son extraídos de las canteras de procedencia y posteriormente generar muestras representativas para ser ensayadas en laboratorio.



Al ser únicamente cantidades establecidas mediante normas y consideradas a criterio de los investigadores no se procede a realizar ningún procesamiento a los datos mencionados en la tabla anterior.

### 3.6.1.2. Práctica normativa para reducir las muestras de agregados a tamaños de prueba

#### 3.6.1.2.1. Procesamiento

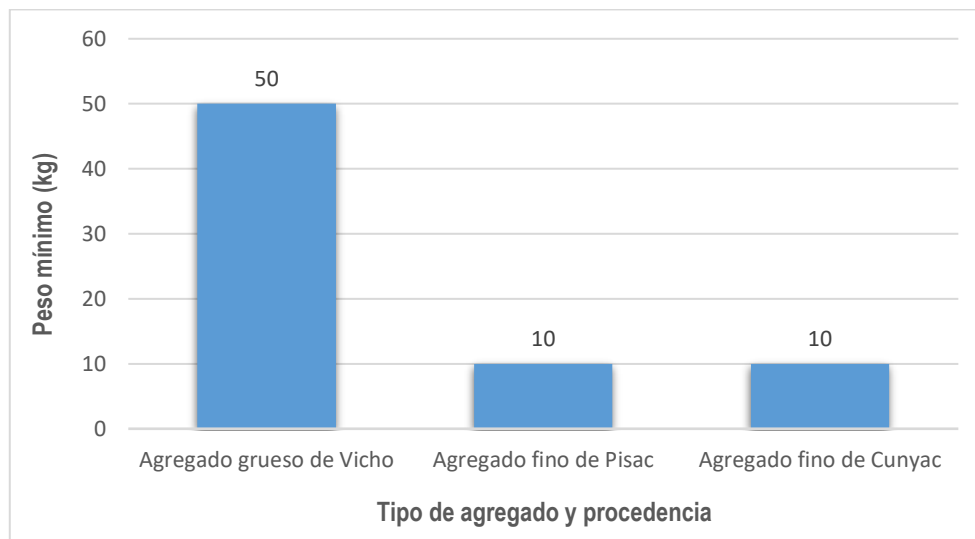
A continuación, se muestran los pesos reducidos a tamaño de muestra necesarios para su posterior ensayo y caracterización del agregado.

Tabla N° 57: Pesos reducidos de muestra de agregados de las canteras de Vicho, Pisac y Cunyac para pruebas de laboratorio

MATERIAL	PESO (KG)
Agregado Grueso de Vicho	50
Agregado Fino de Pisac	10
Agregado Fino de Cunyac	10

#### 3.6.1.2.2. Diagramas

Tabla N° 58: Comparación de pesos reducidos de muestra de agregados para pruebas de laboratorio



#### 3.6.1.2.3. Análisis

En la Tabla N° 58 se detalla las cantidades de muestras para agregados de carácter representativo que serán utilizados para el desarrollo de los ensayos para su caracterización y



obtención de sus propiedades mecánicas para un posterior diseño de mezcla de concreto permeable.

Al ser únicamente cantidades establecidas mediante normas y consideradas a criterio de los investigadores no se procede a realizar ningún procesamiento a los datos mencionados en la tabla anterior.

### 3.6.1.3. Porcentaje total de humedad evaporable del agregado por secado

#### 3.6.1.3.1. Procesamiento

Para el agregado fino a utilizarse para el diseño de mezcla, es decir, agregado fino de la cantera de Pisac y agregado fino de la cantera de Cunyac en proporciones de 75% y 25% respectivamente. Se procede al cálculo de su porcentaje total de humedad.

Tabla N° 59: Porcentaje total de humedad del agregado fino de Cunyac 25% y Pisac 75% respectivamente

	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
<b>Peso del material Húmedo</b>	gr	500.00	500.00	500.00
<b>Peso del material seco + recipiente</b>	gr	575.00	570.00	570.00
<b>Peso del recipiente</b>	gr	80.00	75.00	75.00
<b>% Contenido de humedad</b>	gr	<b>1.01%</b>	<b>1.01%</b>	<b>1.01%</b>
<b>Promedio :</b>		<b>1.01%</b>		

Para el agregado grueso a utilizarse para el diseño de mezcla, procedente de la cantera de Vicho se procede al cálculo de su porcentaje total de humedad.

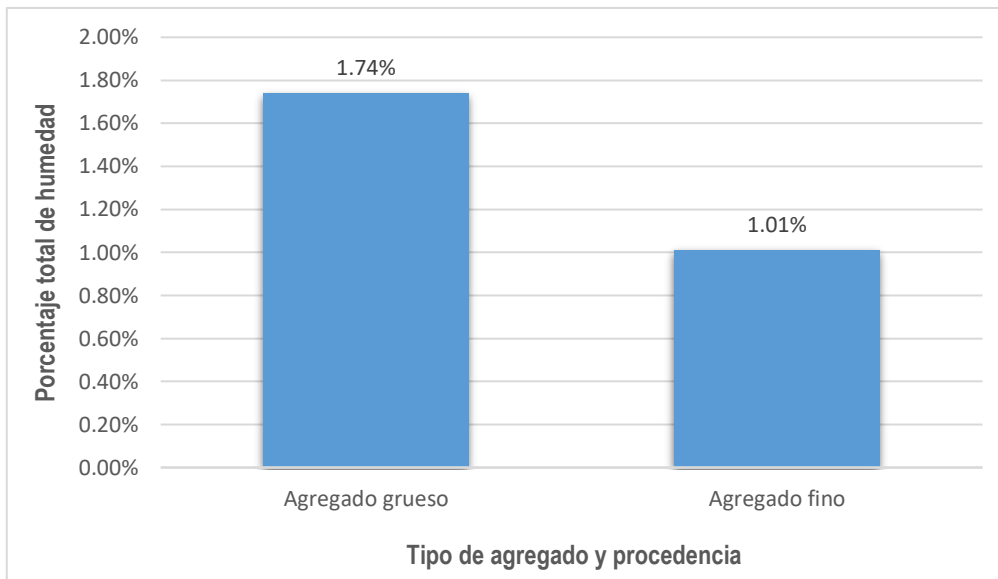
Tabla N° 60: Porcentaje total de humedad del agregado grueso de Vicho

	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
<b>Peso del material Húmedo</b>	gr	3000.50	3000.20	3000.20
<b>Peso del material seco + recipiente</b>	gr	3510.60	3373.70	3612.60
<b>Peso del recipiente</b>	gr	561.90	423.70	664.50
<b>Contenido de humedad</b>	gr	<b>51.80</b>	<b>50.20</b>	<b>52.10</b>
<b>% Contenido de humedad</b>	gr	<b>1.76%</b>	<b>1.70%</b>	<b>1.77%</b>
<b>Promedio :</b>		<b>1.74%</b>		



### 3.6.1.3.2. Diagramas

Tabla N° 61: Comparación del porcentaje total de humedad de los agregados



### 3.6.1.3.3. Análisis

De acuerdo a la

Tabla N° 61, se tiene como porcentajes de contenido de humedad de 1.01% y 1.74% para el agregado fino de Cunyac y Pisac, y el agregado grueso de Vicho respectivamente.

### 3.6.1.3.4. Cálculos. -

$$P = 100 \times \frac{(W - D)}{D}$$

Donde:

- P: Porcentaje total de humedad evaporable del agregado por secado, porcentaje.
- W: Peso original del espécimen, gr
- D: Peso seco del material seco, gr

### 3.6.1.4. Material más fino que pasa por la malla N° 200

#### 3.6.1.4.1. Procesamiento

A continuación, se muestra los cálculos efectuados para calcular el material que pasa la malla número 200 para el agregado fino y agregado grueso respectivamente.



Tabla N° 62: Cálculo del material que pasa la malla número 200 del agregado fino de Cunyac 25% y Pisac 75% respectivamente

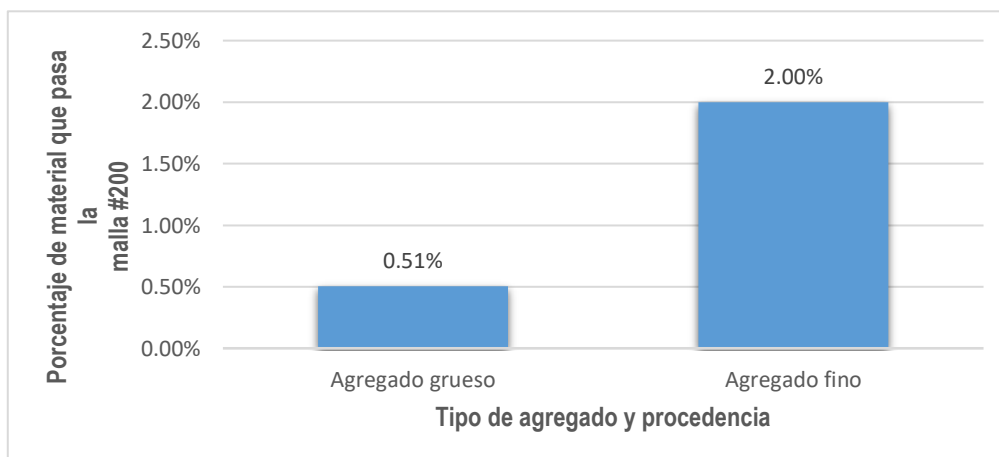
	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
Peso del material seco antes del lavado	gr	500.00	500.00	500.00
Peso del material seco + Recipiente después del lavado	gr	550.00	715.00	580.00
Peso del recipiente vacío	gr	65.00	225.00	85.00
Perdida por lavado	gr	<b>15.00</b>	<b>10.00</b>	<b>5.00</b>
Perdida por lavado	%	<b>3.00%</b>	<b>2.00%</b>	<b>1.00%</b>
<b>Promedio :</b>		<b>2.00%</b>		

Tabla N° 63: Cálculo del material que pasa la malla número 200 del agregado grueso de Vicho

	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
Peso del material seco antes del lavado	gr	2502.60	2513.70	2494.50
Peso del material seco + Recipiente después del lavado	gr	3150.08	3062.10	2904.00
Peso del recipiente vacío	gr	657.70	561.90	423.70
Perdida por lavado	gr	<b>10.22</b>	<b>13.50</b>	<b>14.20</b>
Perdida por lavado	gr	<b>0.41%</b>	<b>0.54%</b>	<b>0.57%</b>
<b>Promedio :</b>		<b>0.50%</b>		

### 3.6.1.4.2. Diagramas

Tabla N° 64: Comparación del porcentaje de material que pasa la malla #200 de los agregados



### 3.6.1.4.3. Análisis de la prueba

Según la Tabla N° 64 respecto al ensayo del material que pasa la malla número 200 se obtiene los valores de 2.00% para el agregado fino y 0.51% para el agregado grueso de Vicho. Valores los cuales están dentro de los estándares especificados para agregados de concreto (ASTM C





33). Por lo que no es necesario realizar un lavado del agregado a usarse en la elaboración del concreto permeable.

#### 3.6.1.4.4. Cálculos. -

$$A = \frac{B - C}{B} \times 100$$

Donde:

- P: Porcentaje total de humedad evaporable del agregado por secado, porcentaje.
- W: Peso original del espécimen, gr
- D: Peso seco del material seco, gr

#### 3.6.1.5. Análisis granulométrico

##### 3.6.1.5.1. Procesamiento

Se procede a realizar los cálculos del análisis granulométrico del agregado grueso de la cantera de Vicho.

Tabla N° 65: Cálculo del análisis granulométrico del agregado grueso de Vicho

MALLA ASTM	ABERTURA (MM)	PESO RETENIDO (GR)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ASTM C33	ASTM C33
2 1/2"	-	-	0.00%	0.00%	100.00%		
2"	50.00	-	0.00%	0.00%	100.00%		
1 1/2"	37.50	-	0.00%	0.00%	100.00%		
1"	25.00	-	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
3/4"	19.00	448.80	9.00%	9.00%	91.00%	100.00%	90.00%
1/2"	12.50	2,839.40	56.92%	65.92%	34.08%	55.00%	20.00%
3/8"	9.50	1,033.90	20.73%	86.65%	13.35%	15.00%	0.00%
N° 4	4.75	596.00	11.95%	98.60%	1.40%	5.00%	0.00%
N° 8	2.36	69.90	1.40%	100.00%	0.00%		
N° 16	1.18	-	0.00%	100.00%	0.00%		
N° 30	0.60	-	0.00%	100.00%	0.00%		
N° 50	0.30	-	0.00%	100.00%	0.00%		
N° 100	0.15	-	0.00%	100.00%	0.00%		
N° 200	0.08	-	0.00%	100.00%	0.00%		
Fondo	-	-	0.00%	100.00%	0.00%		
<b>Total</b>		<b>4988.00</b>	<b>100%</b>				



A continuación, se muestra los cálculos del análisis granulométrico del agregado fino de la cantera de Cunyac.

Tabla N° 66: Cálculo del análisis granulométrico del agregado fino de Cunyac

MALLA ASTM	ABERTURA (MM)	PESO RETENIDO (GR)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ASTM C33	ASTM C33
2 1/2"		-	0.00%	0.00%	100.00%		
2"	50.00	-	0.00%	0.00%	100.00%		
1 1/2"	37.50	-	0.00%	0.00%	100.00%		
1"	25.00	-	0.00%	0.00%	100.00%		
3/4"	19.00	-	0.00%	0.00%	100.00%		
1/2"	12.50	-	0.00%	0.00%	100.00%		
3/8"	9.50	-	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
1/4"	6.30	-	0.00%	0.00%	100.00%		
N° 4	4.75	9.30	0.47%	0.47%	99.53%	100%	95%
N° 8	2.36	7.80	0.39%	0.86%	99.14%	100%	80%
N° 16	1.18	24.30	1.23%	2.09%	97.91%	85%	50%
N° 30	0.60	199.00	10.03%	12.12%	87.88%	60%	25%
N° 50	0.30	1,172.90	59.14%	71.26%	28.74%	30%	5%
N° 100	0.15	483.50	24.38%	95.64%	4.36%	10%	0%
N° 200	0.08	85.30	4.30%	99.94%	0.06%	5%	0%
Fondo	-	1.10	0.06%	100.00%	0.00%		
<b>Total</b>		<b>1983.20</b>	100.00%				

A continuación, se muestra los cálculos del análisis granulométrico del agregado fino de la cantera de Pisac.



Tabla N° 67: Cálculo del análisis granulométrico del agregado fino de Pisac

MALLA ASTM	ABERTURA MM	PESO RETENIDO (GR)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ASTM C33	ASTM C33
2 1/2"		-	0.00%	0.00%	100.00%		
2"	50.00	-	0.00%	0.00%	100.00%		
1 1/2"	37.50	-	0.00%	0.00%	100.00%		
1"	25.00	-	0.00%	0.00%	100.00%		
3/4"	19.00	-	0.00%	0.00%	100.00%		
1/2"	12.50	-	0.00%	0.00%	100.00%		
3/8"	9.50	-	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
1/4"	6.30	-	0.00%	0.00%	100.00%		
N° 4	4.75	26.90	1.35%	1.35%	98.65%	100%	95%
N° 8	2.36	100.70	5.04%	6.39%	93.61%	100%	80%
N° 16	1.18	373.30	18.70%	25.09%	74.91%	85%	50%
N° 30	0.60	946.30	47.40%	72.49%	27.51%	60%	25%
N° 50	0.30	472.30	23.66%	96.15%	3.85%	30%	5%
N° 100	0.15	50.90	2.55%	98.70%	1.30%	10%	0%
N° 200	0.08	15.30	0.77%	99.47%	0.53%	5%	0%
Fondo	-	10.60	0.53%	100.00%	0.00%		
<b>Total</b>		<b>1996.30</b>	<b>100.00%</b>				

Se procede a realizar los cálculos del análisis granulométrico del agregado fino compensado en proporciones 25% y 75% de las canteras de Cunyac y Pisac respectivamente.



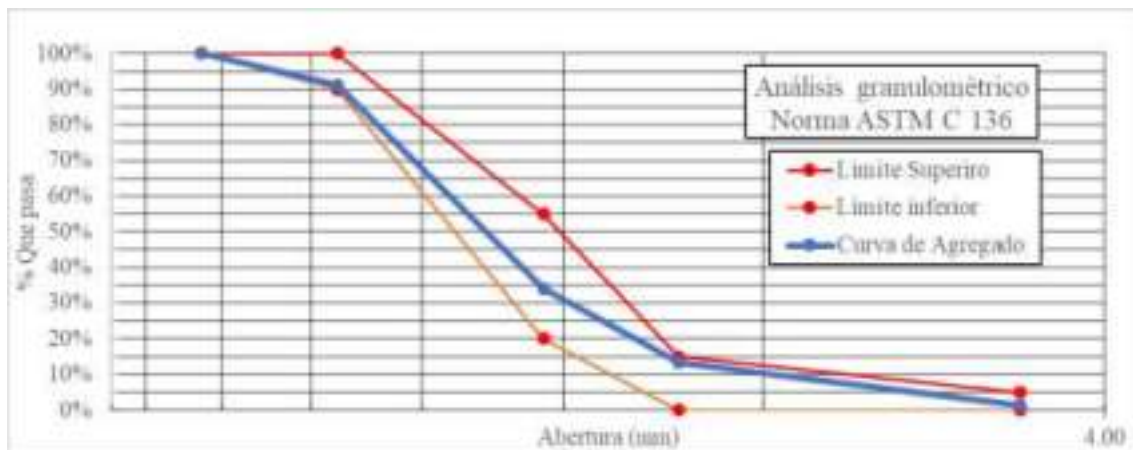
Tabla N° 68: Cálculo del análisis granulométrico del agregado fino compensado de Cunyac 25% y Pisac 75% respectivamente

MALLA ASTM	ABERTURA MM	PESO RETENIDO (GR)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ASTM C33	ASTM C33
2 1/2"		-	0.00%	0.00%	100.00%		
2"	50.00	-	0.00%	0.00%	100.00%		
1 1/2"	37.50	-	0.00%	0.00%	100.00%		
1"	25.00	-	0.00%	0.00%	100.00%		
3/4"	19.00	-	0.00%	0.00%	100.00%		
1/2"	12.50	-	0.00%	0.00%	100.00%		
3/8"	9.50	-	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
1/4"	6.30	-	0.00%	0.00%	100.00%		
N° 4	4.75	22.50	1.13%	1.13%	98.87%	100%	95%
N° 8	2.36	77.48	3.89%	5.02%	94.98%	100%	80%
N° 16	1.18	286.05	14.35%	19.37%	80.63%	85%	50%
N° 30	0.60	759.48	38.11%	57.48%	42.52%	60%	25%
N° 50	0.30	647.45	32.49%	89.96%	10.04%	30%	5%
N° 100	0.15	159.05	7.98%	97.94%	2.06%	10%	0%
N° 200	0.08	32.80	1.65%	99.59%	0.41%	5%	0%
Fondo	-	8.23	0.41%	100.00%	0.00%		
<b>Total</b>		<b>1993.03</b>	<b>100.00%</b>				

### 3.6.1.5.2. Diagramas

Para el agregado grueso de la cantera de Vicho:

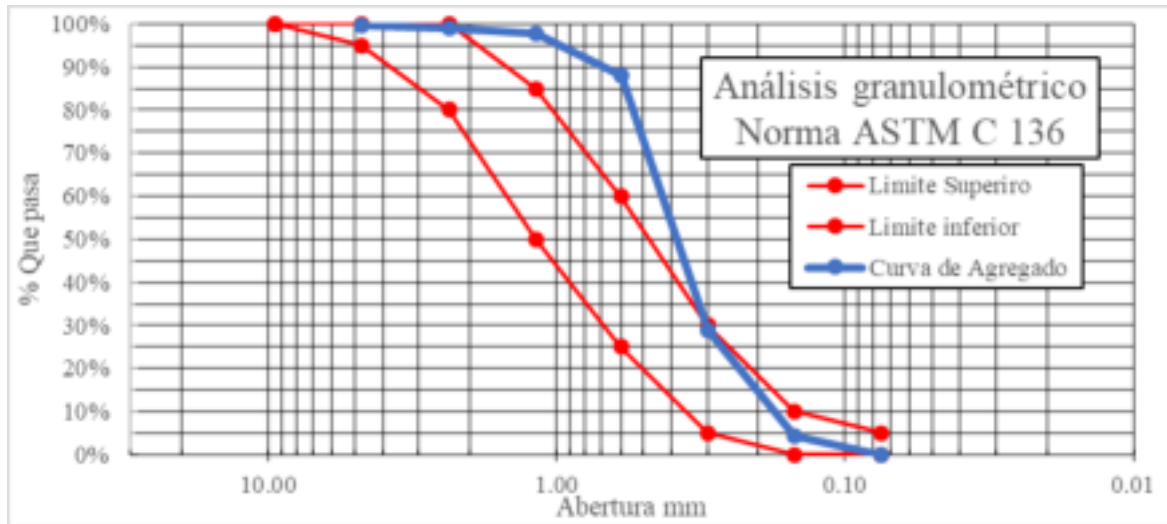
Tabla N° 69: Comparación del análisis granulométrico y curva de agregado grueso de Vicho





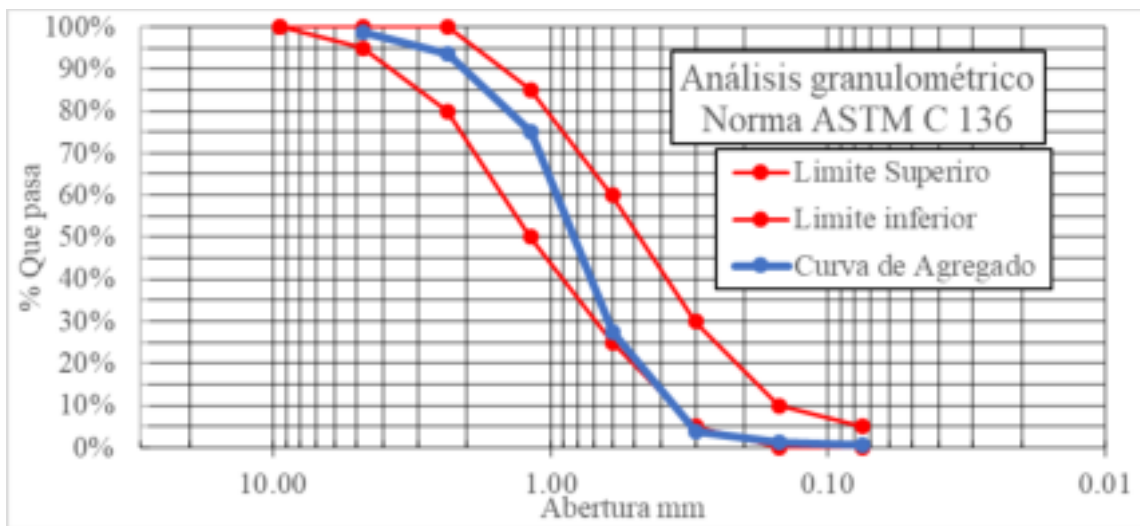
Para el agregado fino de la cantera de Cunyac:

Tabla N° 70: Comparación del análisis granulométrico y curva de agregado fino de Cunyac



Para el agregado fino de la cantera de Pisac:

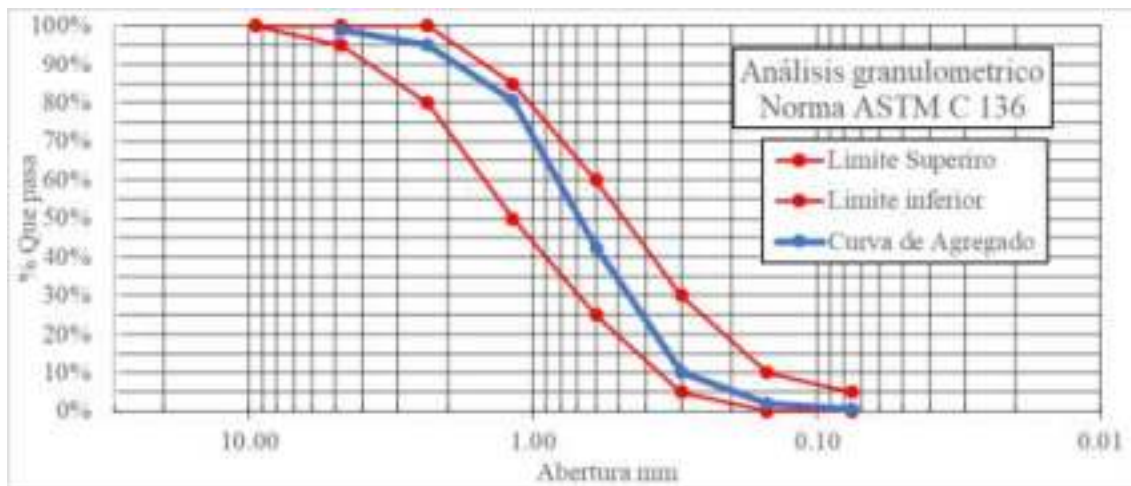
Tabla N° 71: Comparación del análisis granulométrico y curva de agregado fino de Pisac





Para el agregado fino de la cantera de Cunyac y Pisac compensado en proporciones 25% y 75% respectivamente:

Tabla N° 72: Comparación del análisis granulométrico y curva de agregado fino compensado de Cunyac y Pisac



### 3.6.1.5.3. Análisis

Para el agregado grueso de la cantera de Vicho:

- \* Como se puede observar en la Tabla N° 69 (pág. 151), la curva granulométrica se encuentre dentro de los parámetros que estipula la norma ASTM C 33 para el HUSO 6. Por lo cual, se utilizará el agregado para la elaboración del concreto permeable.

Para el agregado fino de la cantera de Cunyac:

- \* Como se puede observar en la Tabla N° 70 (pág. 152), la curva granulométrica no cumple con los parámetros que estipula la norma ASTM C 33 para el agregado fino.
- \* Se tiene un módulo de finura de 1.82 el cual no está dentro del rango establecido por la norma de 2.3 a 3.1

Para el agregado fino de la cantera de Pisac:

- \* Como se puede observar en la Tabla N° 71 (pág. 152), la curva granulométrica no cumple con los parámetros que estipula la norma ASTM C 33 para el agregado fino.
- \* Se tiene un módulo de finura de 3.0 el cual está dentro del rango establecido por la norma de 2.3 a 3.1.



Consideraciones para la granulometría del agregado fino a usarse para la elaboración del concreto permeable.

- \* En vista de que las especificaciones granulométricas del agregado fino respecto a las normas ASTM C 33 no son satisfactorias, se realiza una compensación de los agregados finos de las distintas canteras de procedencia (Cunyac y Pisac) en proporciones de 25% y 75% respectivamente.

Es por ello que se realizó un ensayo extra de granulometría para el agregado fino compensado, y a continuación se realiza su análisis.

- \* Como se puede observar en la
- \* Tabla N° 72 (pág. 153), la curva granulométrica compensada cumple con los parámetros que estipula la norma ASTM C 33 para el agregado fino.
- \* Se tiene un módulo de finura de 2.71 el cual está dentro del rango establecido por la norma de 2.3 a 3.1.

### 3.6.1.6. Resistencia al desgaste del agregado grueso por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles

#### 3.6.1.6.1. Procesamiento

A continuación, se detalla los cálculos para la determinación del desgaste por abrasión del agregado grueso de la cantera de Vicho mediante la máquina de los Ángeles.

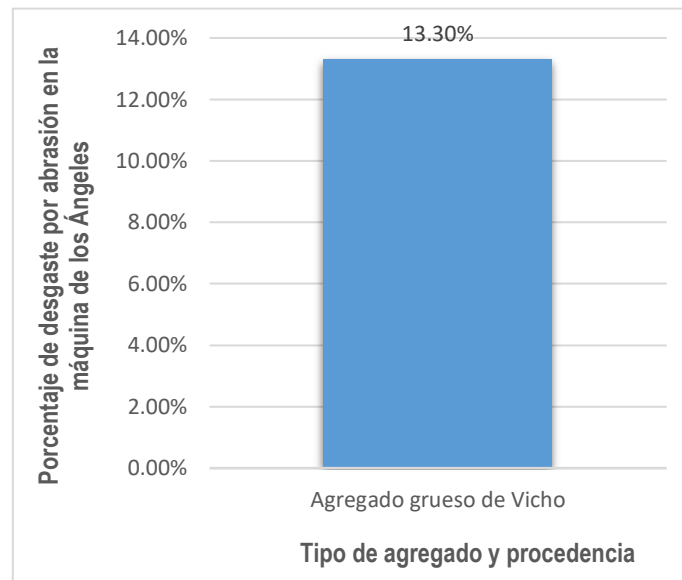
Tabla N° 73: Cálculos del desgaste por abrasión del agregado grueso en la máquina de los Ángeles

	UNIDADES	MUESTRA 1
<b>Peso del material + molde</b>	gr	5662.30
<b>Peso del material + molde después de abrasión retenido malla #10</b>	gr	4901.60
<b>Peso del molde A</b>	gr	657.20
<b>Peso del molde B</b>	gr	562.10
<b>Abrasión</b>	%	<b>13.30%</b>



### 3.6.1.6.2. Diagramas

Tabla N° 74: Comparación del desgaste por abrasión en la máquina de los Ángeles del agregado grueso de Vicho



### 3.6.1.6.3. Análisis

Según la Tabla N° 74 se tiene:

- \* El valor obtenido cumple con los parámetros de resistencia a la abrasión (desgaste menor al 50%).
- \* Se tiene a la Cantera de Vicho con un porcentaje de desgaste del 13.30 % motivo por el cual fue seleccionado como el material para la presente investigación.

### 3.6.1.6.4. Cálculos. -

- Se calcula la pérdida como un porcentaje de la masa original de la muestra de ensayo.

$$\% \text{ Perdida} = \frac{A - B}{A} \times 100$$

Dónde:

- B: Peso de la muestra final después del ensayo.
- A: Peso de la muestra inicial antes del ensayo.

### 3.6.1.7. Peso específico y absorción del agregado grueso

#### 3.6.1.7.1. Procesamiento

Se tiene el siguiente cálculo para la obtención del peso específico y absorción de los agregados.





Para el agregado grueso de la cantera de Vicho:

Tabla N° 75: Cálculo del peso específico y absorción del agregado grueso de Vicho

	NOMENCLATURA	MUESTRA 1
Peso de Muestra (SSS) (g)	B	3000.20
Peso de la Muestra secado al horno (g)	A	2948.10
Peso de la muestra saturada dentro del agua (g)+ peso de la canastilla (g)		2638.30
Peso de canastilla (g)		754.30
Peso de la muestra saturada dentro del agua (g)	C	<b>1884.00</b>
Porcentaje de ABSORCIÓN (%)	$((B-A)/A) \times 100$	<b>1.77%</b>
Peso específico de la masa Ag (g/cm <sup>3</sup> )	A/(B-C)	<b>2.64</b>
Peso específico SSS de Ag (g/cm <sup>3</sup> )	B/(B-C)	<b>2.69</b>

### 3.6.1.7.2. Diagramas

Tabla N° 76: Comparación del peso específico del agregado grueso de Vicho

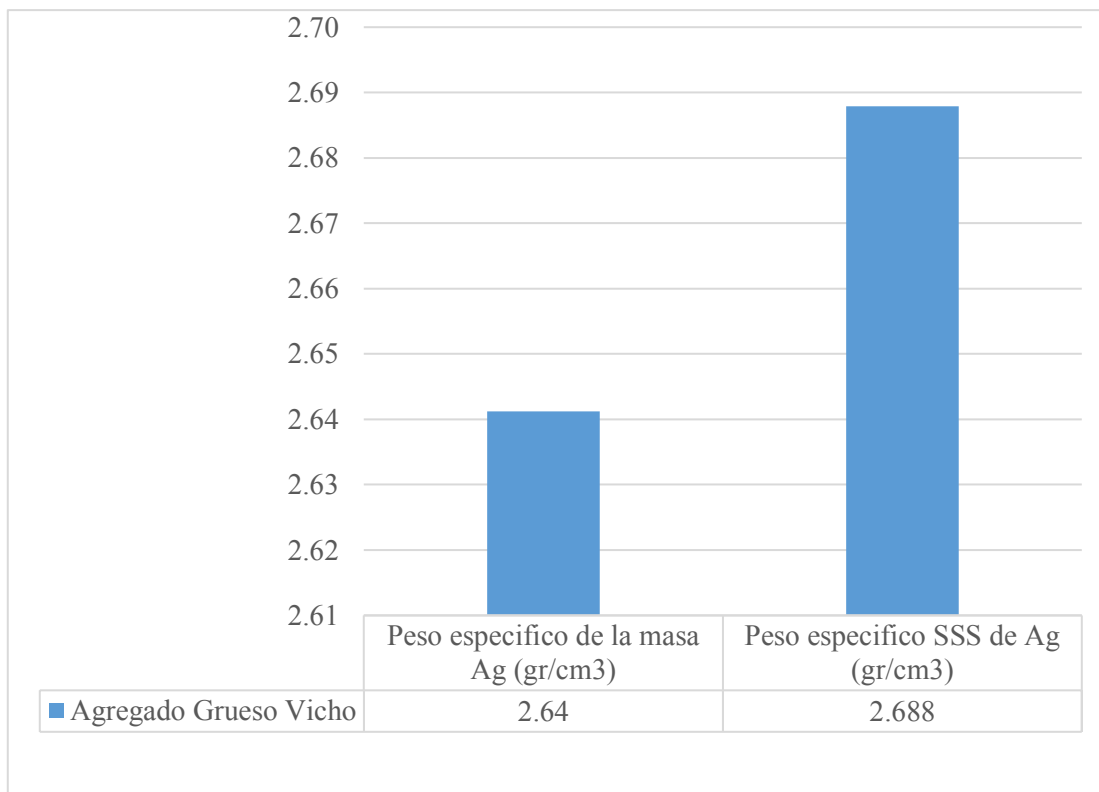
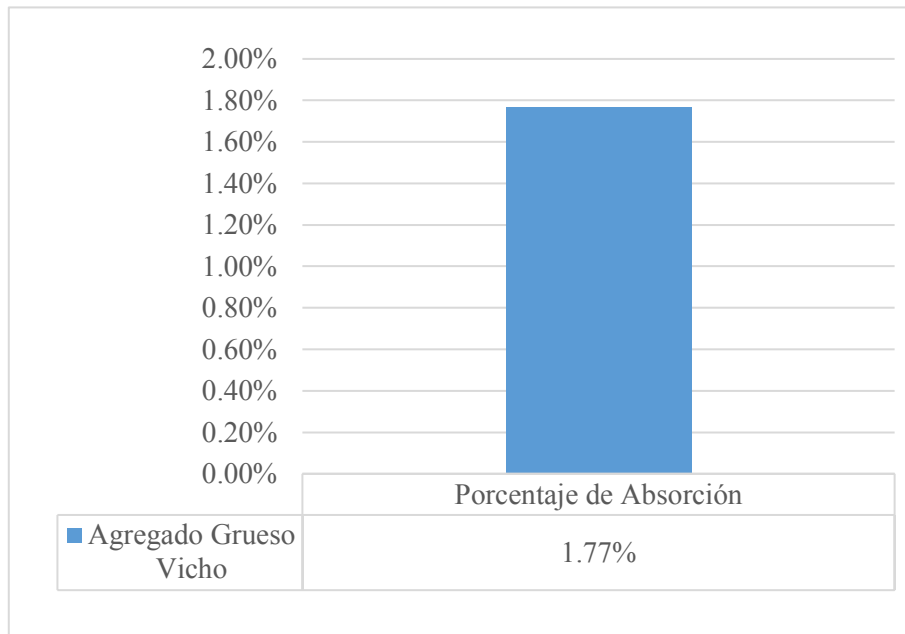




Tabla N° 77: Comparación del porcentaje de absorción del agregado grueso de Vicho



### 3.6.1.7.3. Análisis

Según las Tabla N° 76 (pág. 156) y Tabla N° 77 (pág. 157), se tiene lo siguiente:

El agregado grueso de Vicho tiene un peso específico de la masa de 2.64 gr/cm<sup>3</sup>, un peso específico saturado superficialmente seco 2.688 gr/cm<sup>3</sup> y un porcentaje de absorción del 1.77%.

### 3.6.1.7.4. Cálculos. -

$$\text{Peso Específico} = \frac{B}{B - C} \times 100$$

$$\% \text{ Absorción} = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Dónde:

- B: Peso de la muestra saturada superficialmente seca.
- C: Peso de la muestra saturada superficialmente seca Sumergido.
- A: Peso de la muestra seca.



### 3.6.1.8. Peso específico y absorción del agregado fino

#### 3.6.1.8.1. Procesamiento

Se tiene el siguiente cálculo para la obtención del peso específico y absorción de los agregados finos a usarse en la elaboración del concreto permeable:

Para el agregado fino de la cantera de Cunyac:

Tabla N° 78: Cálculo del peso específico y absorción del agregado fino de la cantera de Cunyac

	NOMENCLATURA	MUESTRA 1
Peso de la arena SSS (g)	S	500.00
Peso de la arena SSS + Peso Picnómetro + Peso del agua (g)	C	995.50
Peso Picnómetro (g)	P	187.60
Peso Picnómetro (g) + AGUA (g)	B	684.30
Peso de la arena secada al horno (g)	A	492.80
Porcentaje de absorción (%)	$((S-A)/A) \times 100$	<b>1.46%</b>
Peso específico de la masa Fino (g/cm <sup>3</sup> )	$A/(B+S-C)$	<b>2.61</b>
Peso específico de Fino SSS (g/cm <sup>3</sup> )	$S/(B+S-C)$	<b>2.65</b>

Para el agregado fino de la cantera de Pisac:

Tabla N° 79: Cálculo del peso específico y absorción del agregado fino de la cantera de Pisac

	NOMENCLATURA	MUESTRA 1
Peso de la arena SSS (g)	S	500.00
Peso de la arena SSS + Peso Picnómetro + Peso del agua (g)	C	978.80
Peso Picnómetro (g)	P	187.60
Peso Picnómetro (g) + AGUA (g)	B	684.30
Peso de la arena secada al horno (g)	A	495.70
Porcentaje de absorción (%)	$((S-A)/A) \times 100$	<b>0.87%</b>
Peso específico de la masa Fino (g/cm <sup>3</sup> )	$A/(B+S-C)$	<b>2.41</b>
Peso específico de Fino SSS (g/cm <sup>3</sup> )	$S/(B+S-C)$	<b>2.43</b>



### 3.6.1.8.2. Diagramas

Tabla N° 80: Comparación del peso específico del agregado fino de Cunyac y Pisac

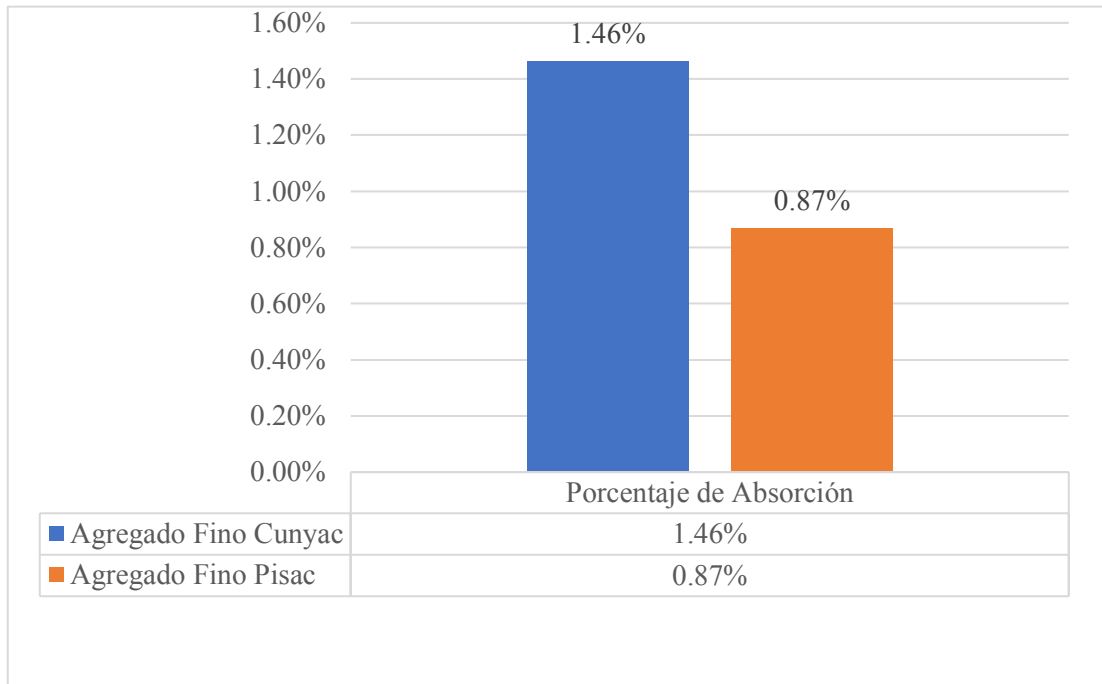
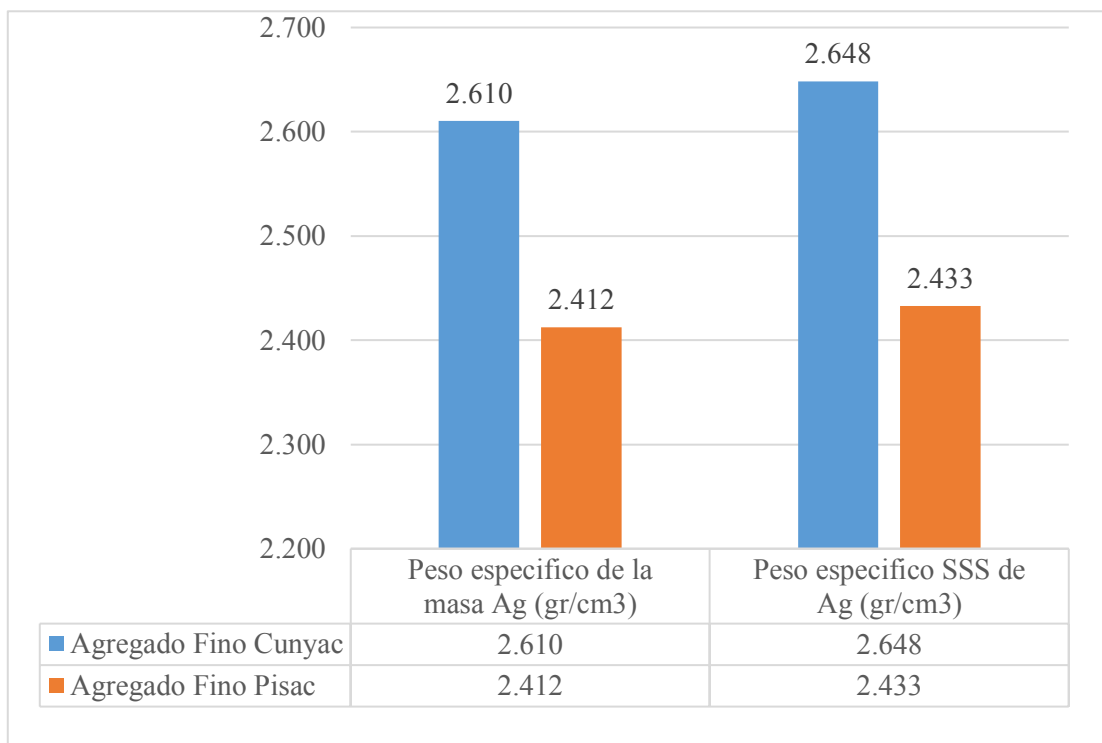


Tabla N° 81: Comparación del porcentaje de absorción del agregado fino de Cunyac y Pisac





### 3.6.1.8.3. Análisis

Según las Tabla N° 80 (pág. 159) y Tabla N° 81 (pág. 159), se tiene lo siguiente:

- \* El agregado fino de Cuyac tiene un peso específico de la masa de 2.61 gr/cm<sup>3</sup>, un peso específico saturado superficialmente seco 2.648 gr/cm<sup>3</sup> y un porcentaje de absorción del 1.46%
- \* El agregado fino de Pisac tiene un peso específico de la masa de 2.412 gr/cm<sup>3</sup>, un peso específico saturado superficialmente seco 2.433 gr/cm<sup>3</sup> y un porcentaje de absorción del 0.87 %

### 3.6.1.8.4. Cálculos. -

$$\text{Peso Específico} = \frac{S}{B + S - C} \times 100$$

$$\% \text{ Absorción} = \frac{S - A}{A} \times 100$$

Dónde:

- S: Peso de la muestra saturada superficialmente seca.
- C: Peso de la muestra saturada superficialmente seca + Peso del Picnómetro con agua hasta la marca de calibración.
- B: Peso del picnómetro con agua hasta la marca de calibración.
- A: Peso de la muestra seca.

### 3.6.1.9. Peso Volumétrico de los agregados

#### 3.6.1.9.1. Procesamiento

Se procede a realizar los cálculos para el peso unitario o volumétrico del agregado grueso y fino:



Para el agregado grueso de la cantera de Vicho:

Tabla N° 82: Cálculo del peso volumétrico del agregado grueso de Vicho

	UNIDADES	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
Peso del material suelto + molde	gr	11685.00	11725.00	11755.00
Peso del material compactado + molde	gr	12150.00	12130.00	12150.00
Peso del molde	gr	7500.00	7500.00	7500.00
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	3040.48	3040.48	3040.48
Peso volumétrico Suelto	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.38</b>	<b>1.39</b>	<b>1.40</b>
<b>Peso volumétrico Suelto</b>		<b>1.39</b>		
Peso volumétrico Compactado	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.53</b>	<b>1.52</b>	<b>1.53</b>
<b>Peso volumétrico Compactado</b>		<b>1.53</b>		
<b>Contenido de vacíos Suelto</b>		<b>47.43%</b>		
<b>Contenido de vacíos Compactado</b>		<b>42.18%</b>		

Para el agregado fino de la cantera de Cunyac:

Tabla N° 83: Cálculo del peso volumétrico del agregado fino de Cunyac

	UNIDADES	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
Peso del material suelto + molde	gr	5455.40	5449.70	5453.10
Peso del material compactado + molde	gr	5579.10	5582.70	5584.10
Peso del molde	gr	4173.30	4173.30	4173.30
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	940.67	940.67	940.67
Peso volumétrico Suelto	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.36</b>	<b>1.36</b>	<b>1.36</b>
<b>Peso volumétrico Suelto</b>		<b>1.36</b>		
Peso volumétrico Compactado	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.49</b>	<b>1.50</b>	<b>1.50</b>
<b>Peso volumétrico Compactado</b>		<b>1.50</b>		



Para el agregado fino de la cantera de Pisac:

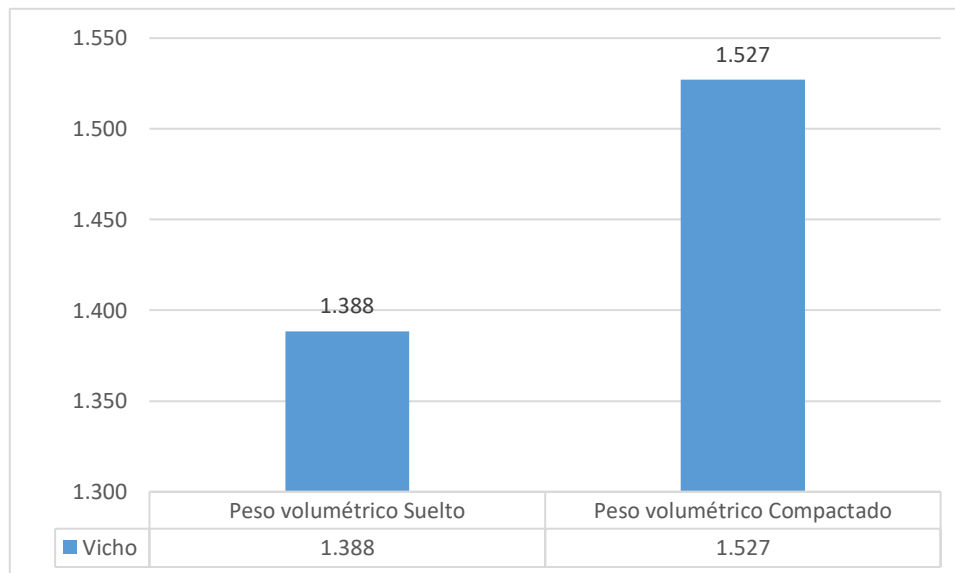
Tabla N° 84: Cálculo del peso volumétrico del agregado fino de Pisac

	UNIDADES	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
<b>Peso del material suelto + molde</b>	gr	5554.90	5557.20	5556.90
<b>Peso del material compactado + molde</b>	gr	5674.30	5677.50	5686.20
<b>Peso del molde</b>	gr	4173.30	4173.30	4173.30
<b>Volumen del molde</b>	cm3	940.67	940.67	940.67
<b>Peso volumétrico Suelto</b>	gr/cm3	<b>1.47</b>	<b>1.47</b>	<b>1.47</b>
<b>Peso volumétrico Suelto</b>		<b>1.47</b>		
<b>Peso volumétrico Compactado</b>	gr/cm3	<b>1.60</b>	<b>1.60</b>	<b>1.61</b>
<b>Peso volumétrico Compactado</b>		<b>1.60</b>		

### 3.6.1.9.2. Diagramas

Para el agregado grueso de la cantera de Vicho:

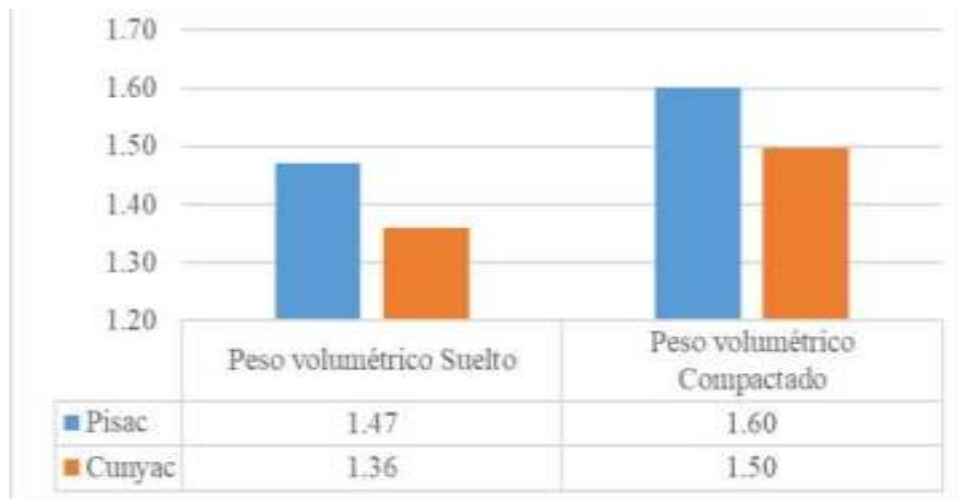
Tabla N° 85: Comparación del peso volumétrico del agregado grueso de Vicho





Para el agregado fino de la cantera de Cunyac y Pisac:

Tabla N° 86: Comparación del peso volumétrico del agregado fino de Cunyac y Pisac



### 3.6.1.9.3. Análisis

Para el agregado grueso de la cantera de Vicho:

Según la Tabla N° 85 (pág. 162) se tiene un peso volumétrico suelto de 1.388 gr/cm<sup>3</sup> y 1.527 gr/cm<sup>3</sup>.

Para el agregado fino de la cantera de Cunyac y Pisac:

Según la Tabla N° 86 (pág. 163) se tiene un peso volumétrico suelto de 1.47 gr/cm<sup>3</sup> y 1.36 gr/cm<sup>3</sup> para Pisac y Cunyac respectivamente; además, se tiene un peso volumétrico compactado de 1.60 gr/cm<sup>3</sup> para Pisac y 1.50 gr/cm<sup>3</sup> para Cunyac.

### 3.6.1.9.4. Cálculos. -

$$PV \text{ Compactado} = \frac{\text{peso de la muestra compactada}(kg)}{\text{volumen del recipiente (m}^3\text{)}}$$

$$PV \text{ Suelto} = \frac{\text{peso de la muestra suelta}(kg)}{\text{volumen del recipiente (m}^3\text{)}}$$

$$\% \text{ de Vacíos} = \frac{(\text{Peso específico}) - PV}{\text{Peso específico}} \times 100$$



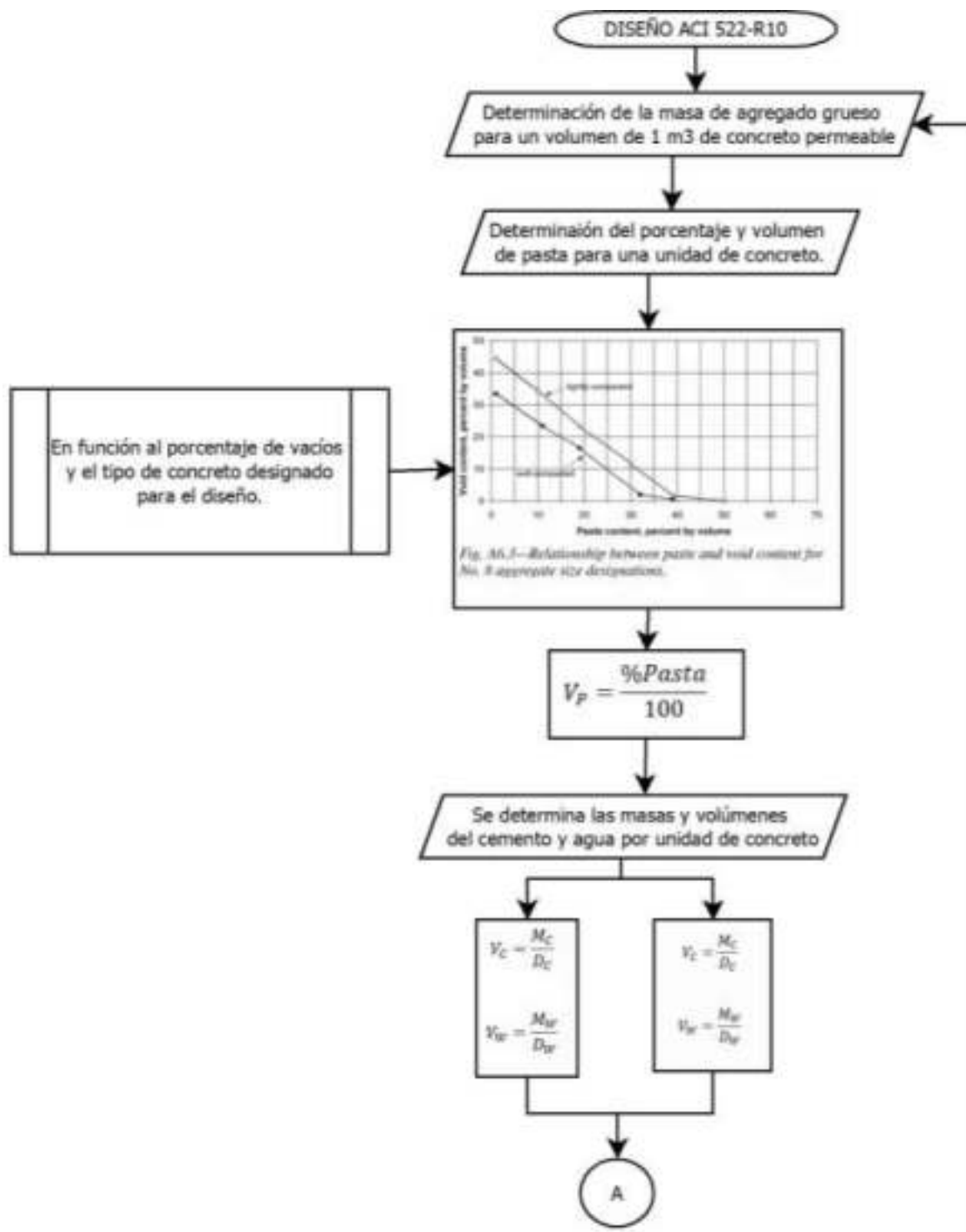


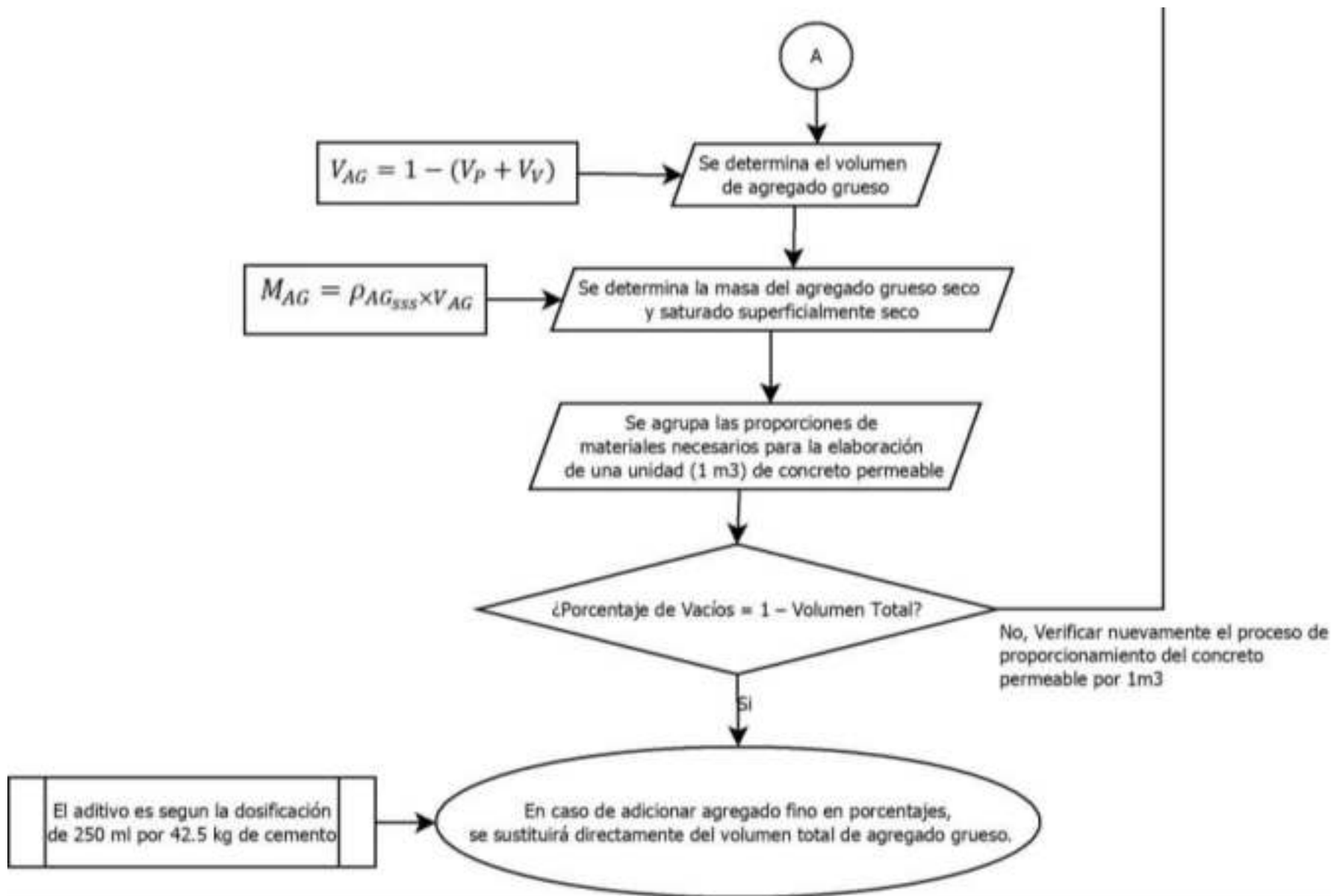
### 3.6.2. Elaboración de especímenes

#### 3.6.2.1. Diseño de mezclas del concreto permeable

##### 3.6.2.1.1. Procesamiento

A continuación, se muestran los cálculos respectivos para la dosificación del concreto mediante un diseño de mezcla por el método ACI 522R-10, para los distintos porcentajes de adición de agregado fino en dicha dosificación. Todo esto se detalla a continuación:



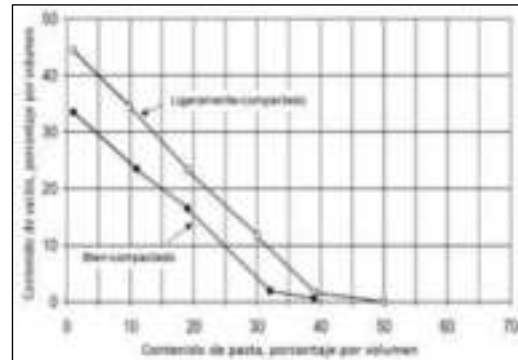




\* Diseño de mezclas del concreto permeable con 0% de agregado fino

Tabla N° 87: Cálculos de dosificación del C°P° con 0% de agregado fino

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO							
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA							
Escuela Profesional de Ingeniería Civil							
<b>TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES CUSCO 2019"</b>							
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO							
<b>ENSAYO: Diseño de Mezclas</b>							
<b>NORMA: ACI 522R-10</b>							
<b>Tesistas</b>	: - Jhonatan Hiroshi Kanashiro Vergara - Emanuel Monzón Cárdenas						
<b>Asesor (a)</b>	: - Ing. Mitsy Elena Gudiel Cárdenas						
<b>Tipo de material</b>	: Concreto Permeable						
<b>Lugar de ensayo</b>	: Gabinete del Laboratorio Universidad Andina del Cusco						
<b>Paso 1.- Determinación de los Materiales</b>							
<b>Material</b>	<b>Procedencia</b>	<b>Peso Especifico SSS Kg/m3</b>	<b>% Absorción</b>	<b>Modulo de Finura</b>	<b>Peso especifico suelto</b>	<b>Peso Compactado</b>	<b>%Humedad</b>
Cemento IP	Yura IP	2850.00					
Agua	Parque Industrial	1000.00					
Arena	Cunyac/Pisac	2486.89	1.02%	2.71	1442.72	1575.14	1.01%
Agregado Grueso	Vicho	2687.87	1.77%		1388.49	1527.17	1.74%
Aditivo	Sika Cem	1200.00					
<b>Paso 2.- Características en el diseño de mezcla</b>							
Relación A/C	0.37						
Contenido de Vacíos	0.15						
% Arena	0.00%						
<b>Paso 3.- Determinación del volumen de pasta.</b>							
Vp	0.30	Grafico ACI 522 R10					
<b>Paso 4.- Determinación del volumen de agregado</b>							
Vol Agregado	0.55	m3					
Vag	0.55	m3					
Vaf	0.00	m3					
<b>Ajuste del peso de agregado</b>							
Peso Agregado Grueso SSS	1478.33	kg					
Peso Humedo Grueso	25.75	Kg					
Peso Absorción Grueso	26.13	Kg					
Corrección por Humedad Grueso	1477.95	kg					
Peso Agregado Fino SSS	0.00	kg					
Peso Humedo Fino	0.00	Kg					
Peso Absorción Fino	0.00	Kg					
Corrección por Humedad Fino	0.00	kg					
<b>Paso 5.- Determinación del peso de cemento</b>							
Cemento	416.16	kg					
$Vp = \frac{C}{Pesp(gr/cm3) \times 1000} + \frac{(a/c) \times C}{1000}$							
<b>Paso 6.- Determinación del volumen del cemento</b>							
Vc	0.15	m3					
<b>Paso 7.- Determinación del contenido de agua</b>							
Agua	153.98	kg					
Agua Corregido	154.35	kg					
<b>Paso 8.- Determinación del volumen de agua</b>							
Va	0.15	m3					
<b>Paso 9.-Volumen Total solidos</b>							
Vol total	0.85	m3					
<b>Paso 10.-Aditivo</b> <span style="float: right;">250 mL/bls(cemento)</span>							
Volumen Aditivo	0.0024	m3					
Peso Aditivo	2.94	Kg					





\* Diseño de mezclas del concreto permeable con 5% de agregado fino

Tabla N° 88: Cálculos de dosificación del C°P° con 5% de agregado fino

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO							
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA							
Escuela Profesional de Ingeniería Civil							
<b>TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"</b>							
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL LABORATORIO</b>							
<b>ENSAYO: Diseño de Mezclas</b>	<b>NORMA: ACI 522R-10</b>						
<b>Tesistas</b>	: - Jhonatan Hiroshi Kanashiro Vergara - Emanuel Monzón Cárdenas						
<b>Asesor (a)</b>	: - Ing. Mitsy Elena Gudiel Cárdenas						
<b>Tipo de material</b>	: Concreto Permeable						
<b>Lugar de ensayo</b>	: Gabinete del Laboratorio Universidad Andina del Cusco						
<b>Paso 1.- Determinación de los Materiales</b>							
Material	Procedencia	Peso Especifico SSS Kg/m <sup>3</sup>	% Absorción	Modulo de Finura	Peso especifico suelto	Peso Compactado	%Humedad
Cemento IP	Yura IP	2850.00					
Agua	Parque Industrial	1000.00					
Arena	Cunyac/Pisac	2486.89	1.02%	2.71	1442.72	1575.14	1.01%
Agregado Grueso	Vicho	2687.87	1.77%		1388.49	1527.17	1.74%
Aditivo	Sika Cem	1200.00					
<b>Paso 2.- Características en el diseño de mezcla</b>							
Relación A/C	0.37						
Contenido de Vacíos	0.15						
% Arena	5.00%						
<b>Paso 3.- Determinación del volumen de pasta.</b>							
Vp	0.30	Grafico ACI 522 R10					
<b>Paso 4.- Determinación del volumen de agregado</b>							
Vol Agregado	0.56	m <sup>3</sup>					
Vag	0.53	m <sup>3</sup>					
Vaf	0.03	m <sup>3</sup>					
<b>Ajuste del peso de agregado</b>							
Peso Agregado Grueso SSS	1417.18	kg					
Peso Humedo Grueso	24.69	Kg					
Peso Absorción Grueso	25.04	Kg					
Corrección por Humedad Grueso	1416.82	kg					
Peso Agregado Fino SSS	69.01	kg					
Peso Humedo Fino	0.70	Kg					
Peso Absorción Fino	0.70	Kg					
Corrección por Humedad Fino	69.01	kg					
<b>Paso 5.- Determinación del peso de cemento</b>							
Cemento	409.22	kg					
<b>Paso 6.- Determinación del volumen del cemento</b>							
Vc	0.14	m <sup>3</sup>					
<b>Paso 7.- Determinación del contenido de agua</b>							
Agua	151.41	kg					
Agua Corregido	151.78	kg					
<b>Paso 8.- Determinación del volumen de agua</b>							
Va	0.15	m <sup>3</sup>					
<b>Paso 9.- Volumen Total solidos</b>							
Vol total	0.85	m <sup>3</sup>					
250 mL/bls(cemento)							
<b>Paso 10.- Aditivo</b>							
Volumen Aditivo	0.0024	m <sup>3</sup>					
Peso Aditivo	2.89	Kg					



\* Diseño de mezclas del concreto permeable con 10% de agregado fino

Tabla N° 89: Cálculos de dosificación del C°P° con 10% de agregado fino

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		Escuela Profesional de Ingeniería Civil			
<b>TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"</b>							
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO							
ENSAYO: Diseño de Mezclas			NORMA: ACI 522R-10				
<b>Tesistas</b>	:	- Jhonatan Hiroshi Kanashiro Vergara - Emanuel Monzón Cárdenas					
<b>Asesor (a)</b>	:	- Ing. Mitsy Elena Gudiel Cárdenas					
<b>Tipo de material</b>	:	Concreto Permeable					
<b>Lugar de ensayo</b>	:	Gabinete del Laboratorio Universidad Andina del Cusco					
<b>Paso 1.- Deteminacion de los Materiales</b>							
Material	Procedencia	Peso Especifico SSS Kg/m3	% Absorción	Modulo de Finura	Peso especifico suelto	Peso Compactado	%Humedad
Cemento IP	Yura IP	2850.00					
Agua	Parque Industrial	1000.00					
Arena	Cunyac/Pisac	2486.89	1.02%	2.71	1442.72	1575.14	1.01%
Agregado Grueso	Vicho	2687.87	1.77%		1388.49	1527.17	1.74%
Aditivo	Sika Cem	1200.00					
<b>Paso 2.- Características en el diseño de mezcla</b>							
Relación A/C	0.37						
Contenido de Vacíos	0.15						
% Arena	10.00%						
<b>Paso 3.- Determinación del volumen de pasta.</b>							
Vp	0.29 <small>Grafico ACI 522 R10</small>						
<b>Paso 4.- Determinación del volumen de agregado</b>							
Vol Agregado	0.56	m3					
Vag	0.50	m3					
Vaf	0.06	m3					
<b>Ajuste del peso de agregado</b>							
Peso Agregado Grueso SSS	1354.69	kg					
Peso Humedo Grueso	23.60	Kg					
Peso Absorción Grueso	23.94	Kg					
Corrección por Humedad Grueso	1354.34	kg					
Peso Agregado Fino SSS	139.27	kg					
Peso Humedo Fino	1.41	Kg					
Peso Absorción Fino	1.41	Kg					
Corrección por Humedad Fino	139.26	kg					
<b>Paso 5.- Determinación del peso de cemento</b>							
Cemento	402.29	kg					
$Vp = \frac{C}{Pesp(gr/cm^3) \times 1000} + \frac{(a/e) \times C}{1000}$							
<b>Paso 6.- Determinación del volumen del cemento</b>							
Vc	0.14	m3					
<b>Paso 7.- Determinación del contenido de agua</b>							
Agua	148.85	kg					
Agua Corregido	149.20	kg					
<b>Paso 8.- Determinación del volumen de agua</b>							
Va	0.15	m3					
<b>Paso 9.-Volumen Total solidos</b>							
Vol total	0.85	m3					
250 mL/bls(cemento)							
<b>Paso 10.-Aditivo</b>							
Volumen Aditivo	0.0024	m3					
Peso Aditivo	2.84	kg					



\* Diseño de mezclas del concreto permeable con 15% de agregado fino

Tabla N° 90: Cálculos de dosificación del C°P° con 15% de agregado fino

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO							
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA							
Escuela Profesional de Ingeniería Civil							
<b>TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"</b>							
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO</b>							
<b>ENSAYO: Diseño de Mezclas</b>	<b>NORMA: ACI 522R-10</b>						
<b>Tesistas</b>	: - Jhonatan Hiroshi Kanashiro Vergara - Emanuel Monzón Cárdenas						
<b>Asesor (a)</b>	: - Ing. Mitsy Elena Gudiel Cárdenas						
<b>Tipo de material</b>	: Concreto Permeable						
<b>Lugar de ensayo</b>	: Gabinete del Laboratorio Universidad Andina del Cusco						
<b>Paso 1.- Determinación de los Materiales</b>							
Material	Procedencia	Peso Especifico SSS Kg/m3	% Absorción	Modulo de Finura	Peso especifico suelto	Peso Compactado	%Humedad
Cemento IP	Yura IP	2850.00					
Agua	Parque Industrial	1000.00					
Arena	Cunyac/Pisac	2486.89	1.02%	2.71	1442.72	1575.14	1.01%
Agregado Grueso	Vicho	2687.87	1.77%		1388.49	1527.17	1.74%
Aditivo	Sika Cem	1200.00					
<b>Paso 2.- Características en el diseño de mezcla</b>							
Relación A/C	0.37						
Contenido de Vacíos	0.15						
% Arena	15.00%						
<b>Paso 3.- Determinación del volumen de pasta.</b>							
Vp	0.29	Grafico ACI 522 R10					
<b>Paso 4.- Determinación del volumen de agregado</b>							
Vol Agregado	0.57	m3					
Vag	0.48	m3					
Vaf	0.08	m3					
<b>Ajuste del peso de agregado</b>							
Peso Agregado Grueso SSS	1290.85	kg					
Peso Humedo Grueso	22.49	Kg					
Peso Absorción Grueso	22.81	Kg					
Corrección por Humedad Grueso	1290.52	kg					
Peso Agregado Fino SSS	210.76	kg					
Peso Humedo Fino	2.13	Kg					
Peso Absorción Fino	2.14	Kg					
Corrección por Humedad Fino	210.75	kg					
<b>Paso 5.- Determinación del peso de cemento</b>							
Cemento	395.35	kg					
<b>Paso 6.- Determinación del volumen del cemento</b>							
Vc	0.14	m3					
<b>Paso 7.- Determinación del contenido de agua</b>							
Agua	146.28	kg					
Agua Corregido	146.62	kg					
<b>Paso 8.- Determinación del volumen de agua</b>							
Va	0.15	m3					
<b>Paso 9.-Volumen Total solidos</b>							
Vol total	0.85	m3					
250 mL/bls(cemento)							
<b>Paso 10.-Aditivo</b>							
Volumen Aditivo	0.0023	m3					
Peso Aditivo	2.79	Kg					



- \* Diseño de mezclas del concreto permeable con 20% de agregado fino

Tabla N° 91: Cálculos de dosificación del C°P° con 20% de agregado fino

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO							
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA							
Escuela Profesional de Ingeniería Civil							
TESIS: "DETERMINACIÓN DEL RANGO ÓPTIMO DE AGREGADO FINO EN CONCRETO PERMEABLE EVALUADO A PARTIR DE CURVAS DE APROXIMACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS ESPECIALES, CUSCO 2019"							
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO							
ENSAYO: Diseño de Mezclas							
NORMA: ACI 522R-10							
<b>Tesistas</b>	: - Jhonatan Hiroshi Kanashiro Vergara - Emanuel Monzón Cárdenas						
<b>Asesor (a)</b>	: - Ing. Mitsy Elena Gudiel Cárdenas						
<b>Tipo de material</b>	: Concreto Permeable						
<b>Lugar de ensayo</b>	: Gabinete del Laboratorio Universidad Andina del Cusco						
<b>Paso 1.- Determinación de los Materiales</b>							
<b>Material</b>	<b>Procedencia</b>	<b>Peso Especifico SSS Kg/m3</b>	<b>% Absorción</b>	<b>Modulo de Finura</b>	<b>Peso especifico suelto</b>	<b>Peso Compactado</b>	<b>%Humedad</b>
Cemento IP	Yura IP	2850.00					
Agua	Parque Industrial	1000.00					
Arena	Cunyac/Pisac	2486.89	1.02%	2.71	1442.72	1575.14	1.01%
Agregado Grueso	Vicho	2687.87	1.77%		1388.49	1527.17	1.74%
Aditivo	Sika Cem	1200.00					
<b>Paso 2.- Características en el diseño de mezcla</b>							
Relación A/C	0.37						
Contenido de Vacíos	0.15						
% Arena	20.00%						
<b>Paso 3.- Determinación del volumen de pasta.</b>							
Vp	0.28	Grafico ACI 522 R10					
<b>Paso 4.- Determinación del volumen de agregado</b>							
Vol Agregado	0.57	m3					
Vag	0.46	m3					
Vaf	0.11	m3					
<b>Ajuste del peso de agregado</b>							
Peso Agregado Grueso SSS	1225.67	kg					
Peso Humedo Grueso	21.35	Kg					
Peso Absorción Grueso	21.66	Kg					
Corrección por Humedad Grueso	1225.36	kg					
Peso Agregado Fino SSS	283.51	kg					
Peso Humedo Fino	2.86	Kg					
Peso Absorción Fino	2.88	Kg					
Corrección por Humedad Fino	283.49	kg					
<b>Paso 5.- Determinación del peso de cemento</b>							
Cemento	388.42	kg					
$Vp = \frac{C}{Pesp(gr/cm^3) \times 1000} + \frac{(a/c) \times C}{1000}$							
<b>Paso 6.- Determinación del volumen del cemento</b>							
Vc	0.14	m3					
<b>Paso 7.- Determinación del contenido de agua</b>							
Agua	143.71	kg					
Agua Corregido	144.04	kg					
<b>Paso 8.- Determinación del volumen de agua</b>							
Va	0.14	m3					
<b>Paso 9.-Volumen Total solidos</b>							
Vol total	0.85	m3					
<b>Paso 10.-Aditivo</b> 250 mL/bls(cemento)							
Volumen Aditivo	0.0023	m3					
Peso Aditivo	2.74	Kg					

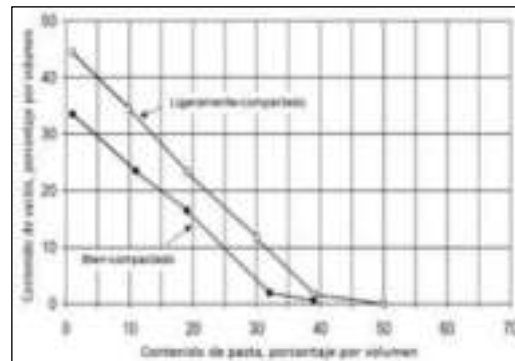




Tabla N° 92: Tabla de dosificaciones del concreto permeable

	Componente	Peso (kg)	Volumen (m3)
<b>0 % de adición de agregado fino</b>	agregado grueso	1477.95	0.55
	agregado fino	0	0
	cemento	416.16	0.15
	agua	154.35	0.15
	aditivo	2.94	0.0024
<b>5 % de adición de agregado fino</b>	agregado grueso	1416.82	0.53
	agregado fino	69.01	0.03
	cemento	409.22	0.14
	agua	151.78	0.15
	aditivo	2.89	0.0024
<b>10 % de adición de agregado fino</b>	agregado grueso	1354.34	0.5
	agregado fino	139.26	0.06
	cemento	402.29	0.14
	agua	149.2	0.15
	aditivo	2.84	0.0024
<b>15 % de adición de agregado fino</b>	agregado grueso	1290.52	0.48
	agregado fino	210.75	0.08
	cemento	395.35	0.14
	agua	146.62	0.15
	aditivo	2.79	0.0023
<b>20 % de adición de agregado fino</b>	agregado grueso	1225.36	0.46
	agregado fino	283.49	0.11
	cemento	388.42	0.14
	agua	144.04	0.14
	aditivo	2.74	0.0023

### 3.6.3. Ensayos para el concreto

#### 3.6.3.1. Verificación del porcentaje de vacíos en las muestras

##### 3.6.3.1.1. Procesamiento

A continuación, se procede al cálculo del porcentaje de vacíos de las muestras de concreto permeable con distintos porcentajes de adición de agregado fino:





\* Porcentaje de vacíos del concreto permeable con 0% de agregado fino

Tabla N° 93: Cálculos del porcentaje de vacíos del C°P° con 0% de agregado fino

MUESTRA 0% A.F.	UNIDAD	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Peso del agua desplazado	gr	4293.70	4304.00	4425.40	4366.10	4337.70	4407.50	4386.80	4417.80	4314.40
Peso específico de agua desplazado	gr/cm3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Volumen de Agua desplazado	cm3	4296.58	4306.89	4428.37	4369.03	4340.61	4410.46	4389.74	4420.76	4317.29
Volumen de Muestra	cm3	5336.84	5479.62	5354.58	5336.84	5533.66	5319.12	5461.67	5319.12	5390.16
Volumen de Vacíos	cm3	1040.26	1172.74	926.22	967.81	1193.05	908.67	1071.93	898.36	1072.87
% de Vacíos	%	19.49%	21.40%	17.30%	18.13%	21.56%	17.08%	19.63%	16.89%	19.90%
Promedio =										19.04 %

\* Porcentaje de vacíos del concreto permeable con 5% de agregado fino

Tabla N° 94: Cálculos del porcentaje de vacíos del C°P° con 5% de agregado fino

MUESTRA 5% A.F.	UNIDAD	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Peso del agua desplazado	gr	4381.60	4443.70	4350.60	4345.40	4481.20	4417.80	4464.40	4386.80	4510.90
Peso específico de agua desplazado	gr/cm3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Volumen de Agua desplazado	cm3	4384.54	4446.68	4353.52	4348.31	4484.20	4420.76	4467.39	4389.74	4513.92
Volumen de Muestra	cm3	5319.12	5425.86	5301.44	5408.00	5319.12	5336.84	5425.86	5408.00	5390.16
Volumen de Vacíos	cm3	934.59	979.18	947.92	1059.68	834.92	916.08	958.47	1018.26	876.24
% de Vacíos	%	17.57%	18.05%	17.88%	19.59%	15.70%	17.17%	17.66%	18.83%	16.26%
Promedio =										17.63 %

\* Porcentaje de vacíos del concreto permeable con 10% de agregado fino

Tabla N° 95: Cálculos del porcentaje de vacíos del C°P° con 10% de agregado fino

MUESTRA 10% A.F.	UNIDAD	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Peso del agua desplazado	gr	4562.70	4557.50	4707.50	4588.50	4624.70	4624.70	4588.50	4686.80	4723.00
Peso específico de agua desplazado	gr/cm3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Volumen de Agua desplazado	cm3	4565.76	4560.56	4710.66	4591.58	4627.80	4627.80	4591.58	4689.94	4726.17
Volumen de Muestra	cm3	5375.92	5390.16	5319.12	5354.58	5319.12	5425.86	5319.12	5408.00	5408.00
Volumen de Vacíos	cm3	810.16	829.61	608.47	763.01	691.32	798.06	727.55	718.05	681.83
% de Vacíos	%	15.07%	15.39%	11.44%	14.25%	13.00%	14.71%	13.68%	13.28%	12.61%
Promedio =										13.71 %



\* Porcentaje de vacíos del concreto permeable con 15% de agregado fino

Tabla N° 96: Cálculos del porcentaje de vacíos del C°P° con 15% de agregado fino

Muestra 15% A.F.	Unidad	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Peso del agua desplazado	gr	4909.30	4795.50	4745.20	4723.00	4836.80	4898.90	4785.10	4661.00	4676.52
Peso específico de agua desplazado	gr/cm3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Volumen de Agua desplazado	cm3	4912.59	4798.72	4748.38	4726.17	4840.04	4902.18	4788.31	4664.13	4679.66
Volumen de Muestra	cm3	5411.57	5479.62	5301.44	5372.36	5479.62	5354.58	5408.00	5425.86	5354.58
Volumen de Vacíos	cm3	498.98	680.91	553.06	646.19	639.58	452.40	619.69	761.73	674.93
% de Vacíos	%	9.22%	12.43%	10.43%	12.03%	11.67%	8.45%	11.46%	14.04%	12.60%
Promedio =									11.37 %	

\* Porcentaje de vacíos del concreto permeable con 20% de agregado fino

Tabla N° 97: Cálculos del porcentaje de vacíos del C°P° con 20% de agregado fino

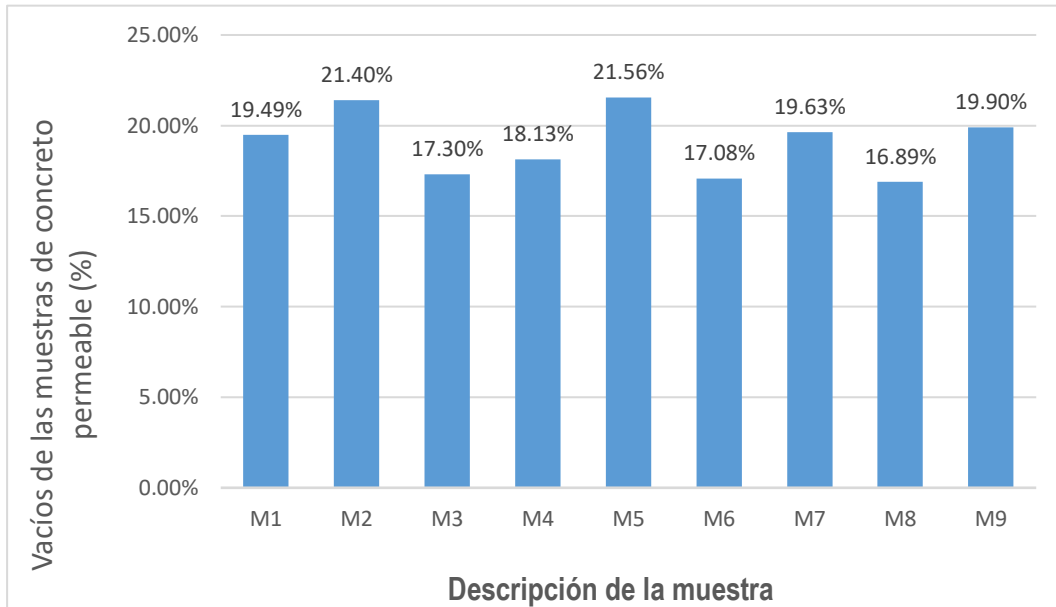
MUESTRA 20% A.F.	UNIDAD	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Peso del agua desplazado	gr	4875.20	4909.30	4976.50	5017.90	4955.80	4826.50	4930.00	4964.20	4862.70
Peso específico de agua desplazado	gr/cm3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Volumen de Agua desplazado	cm3	4878.47	4912.59	4979.84	5021.26	4959.12	4829.74	4933.31	4967.53	4865.96
Volumen de Muestra	cm3	5404.43	5461.67	5336.84	5336.84	5515.62	5390.16	5425.86	5443.75	5390.16
Volumen de Vacíos	cm3	525.96	549.08	357.00	315.58	556.49	560.43	492.55	476.22	524.20
% de Vacíos	%	9.73%	10.05%	6.69%	5.91%	10.09%	10.40%	9.08%	8.75%	9.73%
Promedio =									8.94 %	



### 3.6.3.1.2. Diagramas

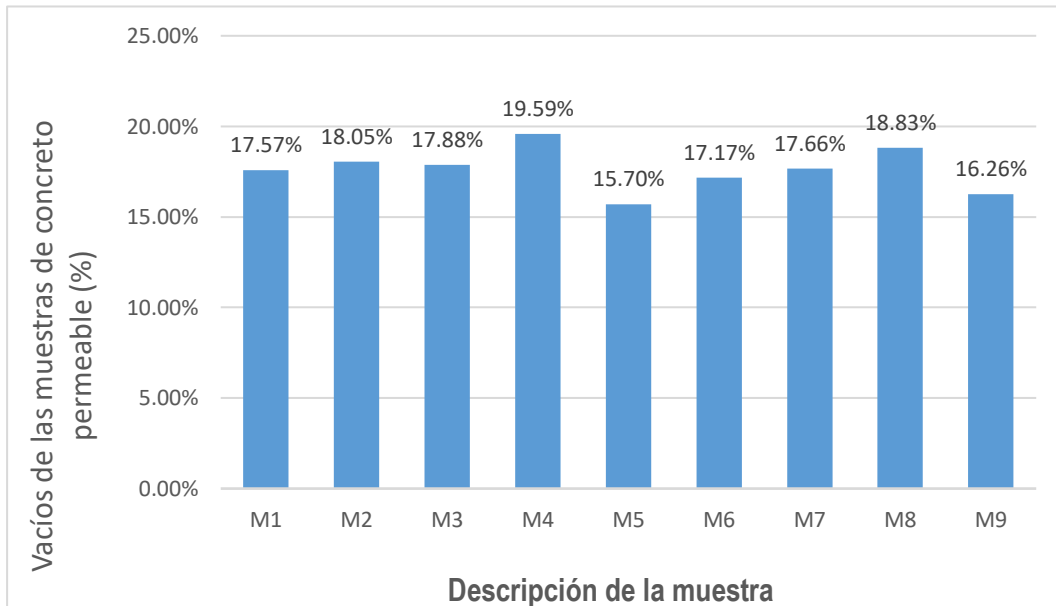
- \* Porcentaje de vacíos del concreto permeable con 0% de agregado fino

Tabla N° 98: Comparación del porcentaje de vacíos del C°P° con 0% de agregado fino



- \* Porcentaje de vacíos del concreto permeable con 5% de agregado fino

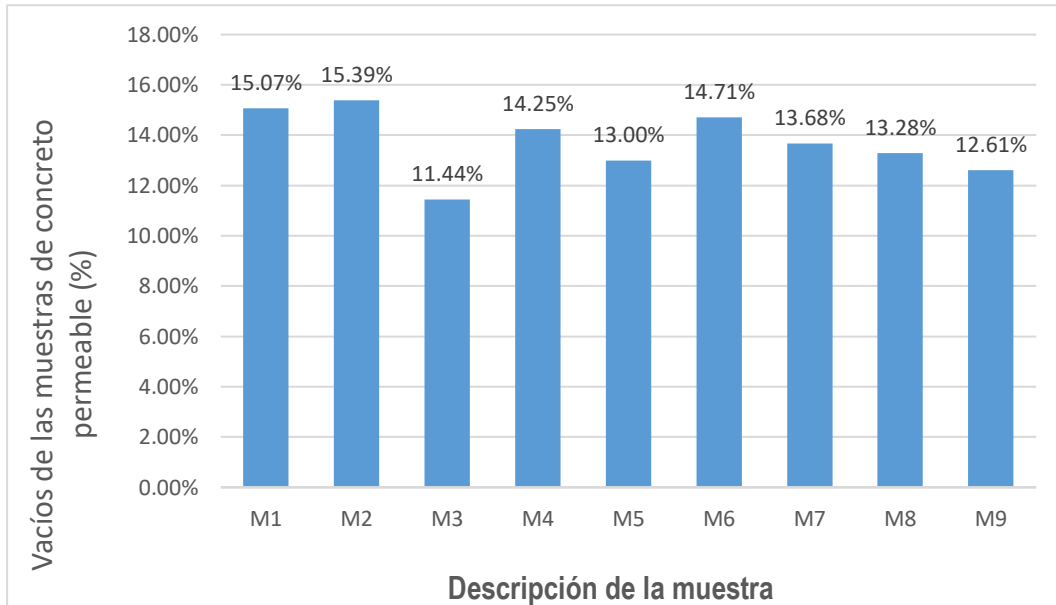
Tabla N° 99: Comparación del porcentaje de vacíos del C°P° con 5% de agregado fino





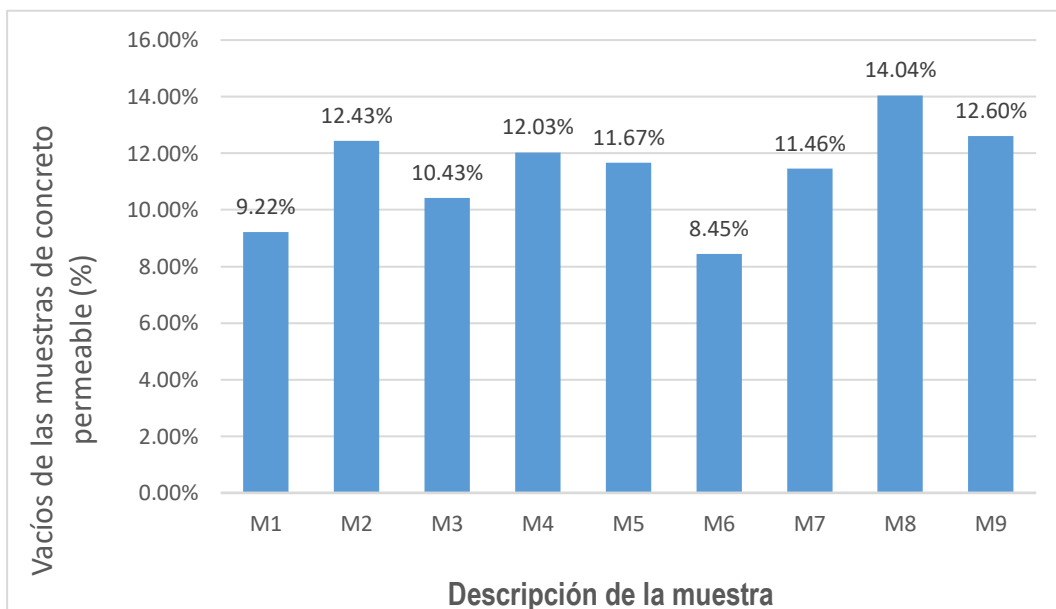
\* Porcentaje de vacíos del concreto permeable con 10% de agregado fino

Tabla N° 100: Comparación del porcentaje de vacíos del C°P° con 10% de agregado fino



\* Porcentaje de vacíos del concreto permeable con 15% de agregado fino

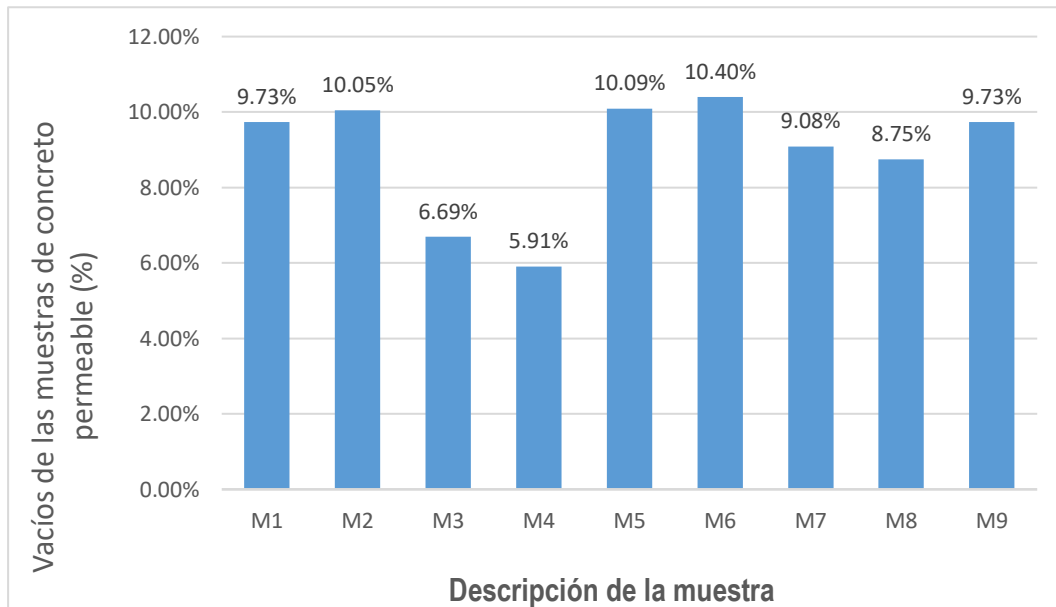
Tabla N° 101: Comparación del porcentaje de vacíos del C°P° con 15% de agregado fino





- \* Porcentaje de vacíos del concreto permeable con 20% de agregado fino

Tabla N° 102: Comparación del porcentaje de vacíos del C°P° con 20% de agregado fino



### 3.6.3.1.3. Análisis

A continuación, se muestran los resultados de la verificación del porcentaje de vacíos del Concreto Permeable:

- \* El porcentaje de vacíos del concreto permeable con 0% de agregado fino, según las Tabla N° 93 (pág. 172) y Tabla N° 98 (pág. 174). Se llega a un porcentaje promedio de 19.04 % con un coeficiente de variación de 9.38 %.
- \* El porcentaje de vacíos del concreto permeable con 5% de agregado fino, según las Tabla N° 94 (pág. 172) y Tabla N° 99 (pág. 174). Se llega a un porcentaje promedio de 17.63 % con un coeficiente de variación de 6.75 %.
- \* El porcentaje de vacíos del concreto permeable con 10% de agregado fino, según las Tabla N° 95 (pág. 172) y Tabla N° 100 (pág. 175). Se llega a un porcentaje promedio de 13.71 % con un coeficiente de variación de 9.30 %.
- \* El porcentaje de vacíos del concreto permeable con 15% de agregado fino, según las Tabla N° 96 (pág. 173) y Tabla N° 101 (pág. 175). Se llega a un porcentaje promedio de 11.37 % con un coeficiente de variación de 15.34 %.
- \* El porcentaje de vacíos del concreto permeable con 20% de agregado fino, según las Tabla N° 97 (pág. 173) y Tabla N° 102 (pág. 176). Se llega a un porcentaje promedio de 8.94 % con un coeficiente de variación de 17.80 %.



### 3.6.3.1.4. Cálculos. -

$$V_{a.d.} = \frac{P_{a.d.}}{\rho_{agua}} \quad V_v = V_m - V_{a.d.}$$

Dónde:

- $V_v$ : Volumen de vacíos,  $\text{cm}^3$
- $V_m$ : Volumen de muestra de concreto permeable,  $\text{cm}^3$
- $V_{a.d.}$ : Volumen de agua desplazada,  $\text{cm}^3$
- $P_{a.d.}$ : Peso del agua desplazada, gr.
- $\rho_{agua}$ : Peso específico del agua,  $\text{gr}/\text{cm}^3$ .

### 3.6.3.2. Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto

#### 3.6.3.2.1. Procesamiento

A continuación, se procede al cálculo de la resistencia a compresión de las muestras de concreto permeable con distintos porcentajes de adición de agregado fino:

- \* Resistencia a compresión de concreto permeable con 0% de agregado fino

Tabla N° 103: Cálculos de resistencia a compresión de C°P° con 0% de agregado fino

N°	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIÁMETRO PROMEDIO (cm)	ÁREA ( $\text{cm}^2$ )	CARGA (kgf)	RESISTENCIA ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
1	0% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.05	177.8946	14370	80.778
2	0% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.25	182.6542	13280	72.706
3	0% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.075	178.4862	14950	83.760
4	0% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.05	177.8946	17260	97.024
5	0% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.325	184.4552	14930	80.941
6	0% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.025	177.3041	14550	82.062
7	0% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.225	182.0558	14810	81.349
8	0% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.025	177.3041	14240	80.314
9	0% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.125	179.6721	13620	75.805
<b>Promedio (<math>\text{kg}/\text{cm}^2</math>)</b>								<b>81.638</b>
<b>Coefficiente de Variación</b>								<b>8.20%</b>



\* Resistencia a compresión de concreto permeable con 5% de agregado fino

Tabla N° 104: Cálculos de resistencia a compresión de C°P° con 5% de agregado fino

N°	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIÁMETRO PROMEDIO (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA (kgf)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	5% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.025	177.3041	22620	127.577
2	5% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.175	180.862	23330	128.993
3	5% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15	176.7146	21700	122.797
4	5% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.15	180.2665	22070	122.430
5	5% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.025	177.3041	21550	121.543
6	5% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.05	177.8946	19700	110.740
7	5% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.175	180.862	21130	116.829
8	5% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.15	180.2665	22010	122.097
9	5% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.125	179.6721	20960	116.657
<b>Promedio (kg/cm2)</b>								<b>121.074</b>
<b>Coefficiente de Variación</b>								<b>4.67%</b>

\* Resistencia a compresión de concreto permeable con 10% de agregado fino

Tabla N° 105: Cálculos de resistencia a compresión de C°P° con 10% de agregado fino

N°	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIÁMETRO PROMEDIO (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA (kgf)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	10% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.105	179.1972	33170	185.103
2	10% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.125	179.6721	31800	176.989
3	10% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.025	177.3041	34820	196.386
4	10% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.075	178.4862	31930	178.893
5	10% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.025	177.3041	32790	184.936
6	10% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.175	180.862	33180	183.455
7	10% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.025	177.3041	32350	182.455
8	10% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.15	180.2665	32640	181.065
9	10% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.15	180.2665	33510	185.891
<b>Promedio (kg/cm2)</b>								<b>183.908</b>
<b>Coefficiente de Variación</b>								<b>3.01%</b>



\* Resistencia a compresión de concreto permeable con 15% de agregado fino

Tabla N° 106: Cálculos de resistencia a compresión de C°P° con 15% de agregado fino

N°	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIÁMETRO PROMEDIO (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA (kgf)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	15% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.155	180.39	43800	242.813
2	15% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.25	182.65	39300	215.161
3	15% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15	176.71	42020	237.785
4	15% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.1	179.08	40930	228.559
5	15% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.25	182.65	45320	248.119
6	15% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.075	178.49	44070	246.910
7	15% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.15	180.27	41990	232.933
8	15% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.175	180.86	40630	224.646
9	15% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.075	178.49	37470	209.932
<b>Promedio (kg/cm2)</b>								<b>231.873</b>
<b>Coefficiente de Variación</b>								<b>5.85%</b>

\* Resistencia a compresión de concreto permeable con 20% de agregado fino

Tabla N° 107: Cálculos de resistencia a compresión de C°P° con 20% de agregado fino

N°	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIÁMETRO PROMEDIO (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA (kgf)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	20% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.145	180.15	50010	277.606
2	20% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.225	182.06	53290	292.712
3	20% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.05	177.89	54640	307.148
4	20% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.05	177.89	59080	332.107
5	20% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.3	183.85	51450	279.842
6	20% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.125	179.67	51210	285.019
7	20% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.175	180.86	49640	274.463
8	20% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.2	181.46	48940	269.704
9	20% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	15.125	179.67	49380	274.834
<b>Promedio (kg/cm2)</b>								<b>288.159</b>
<b>Coefficiente de Variación</b>								<b>6.95%</b>





### 3.6.3.2.2. Diagramas

Tabla N° 108: Comparación de la resistencia a compresión del C°P° con 0% de agregado fino

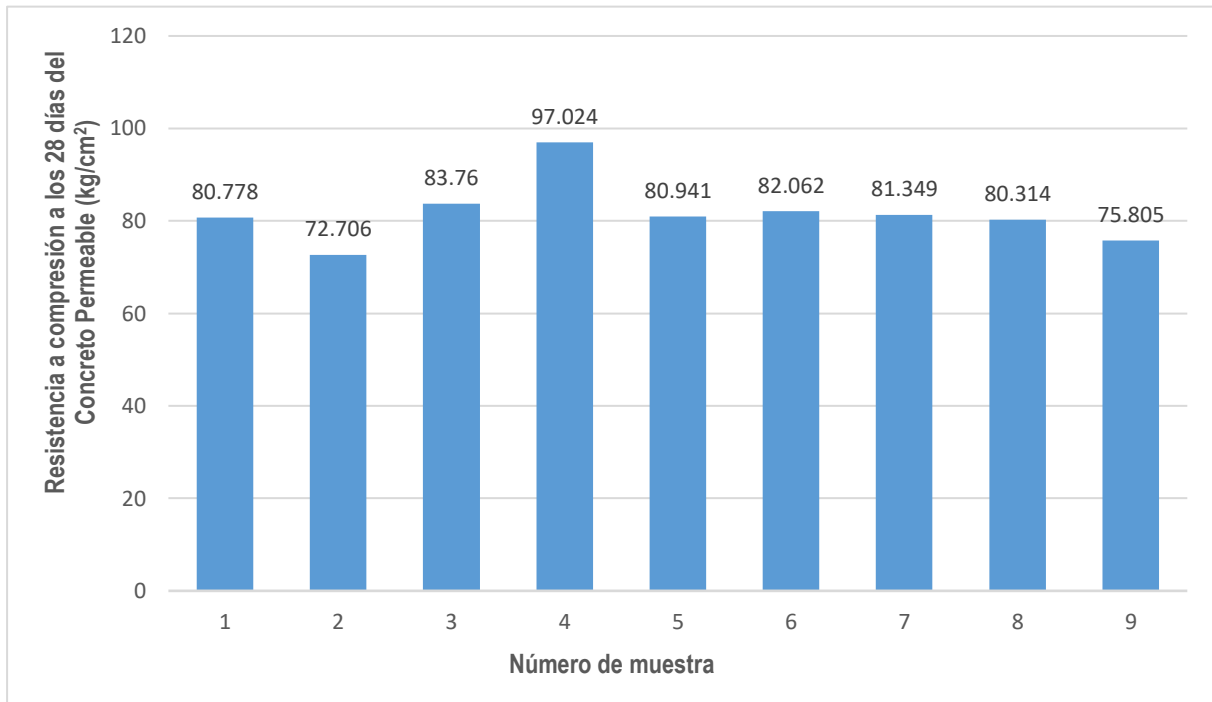


Tabla N° 109: Comparación de la resistencia a compresión del C°P° con 5% de agregado fino

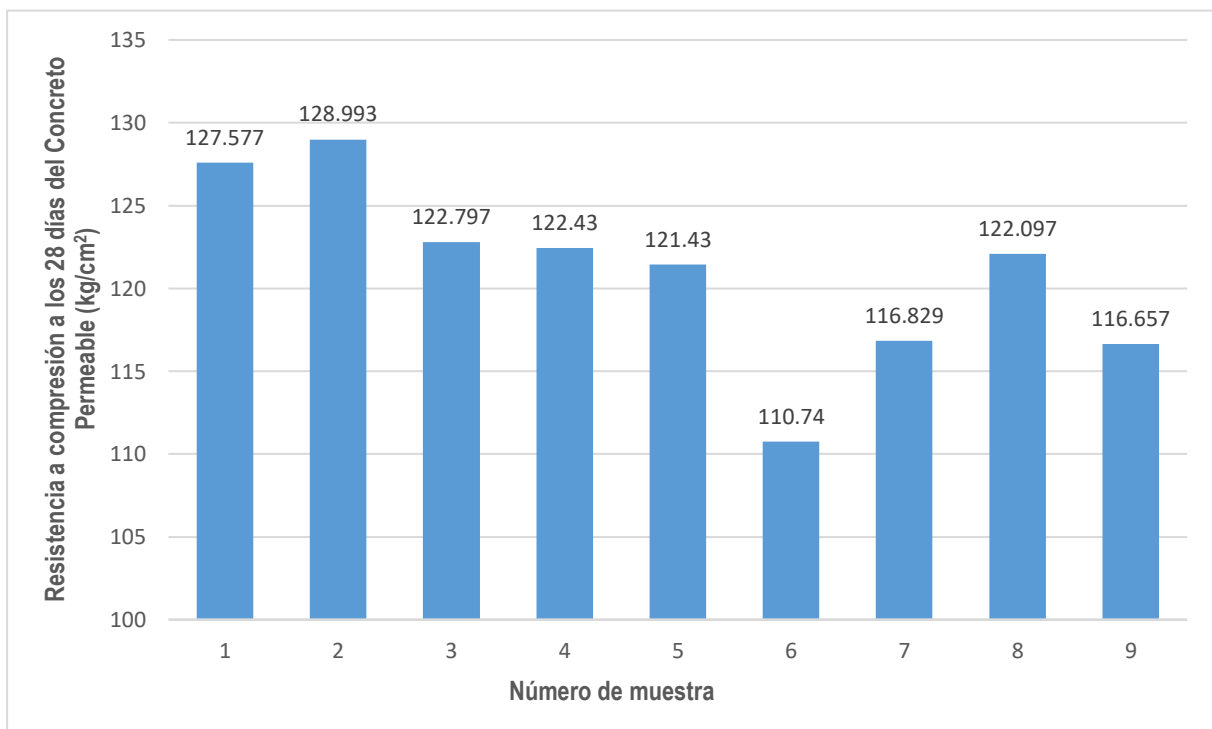




Tabla N° 110: Comparación de la resistencia a compresión del C°P° con 10% de agregado fino

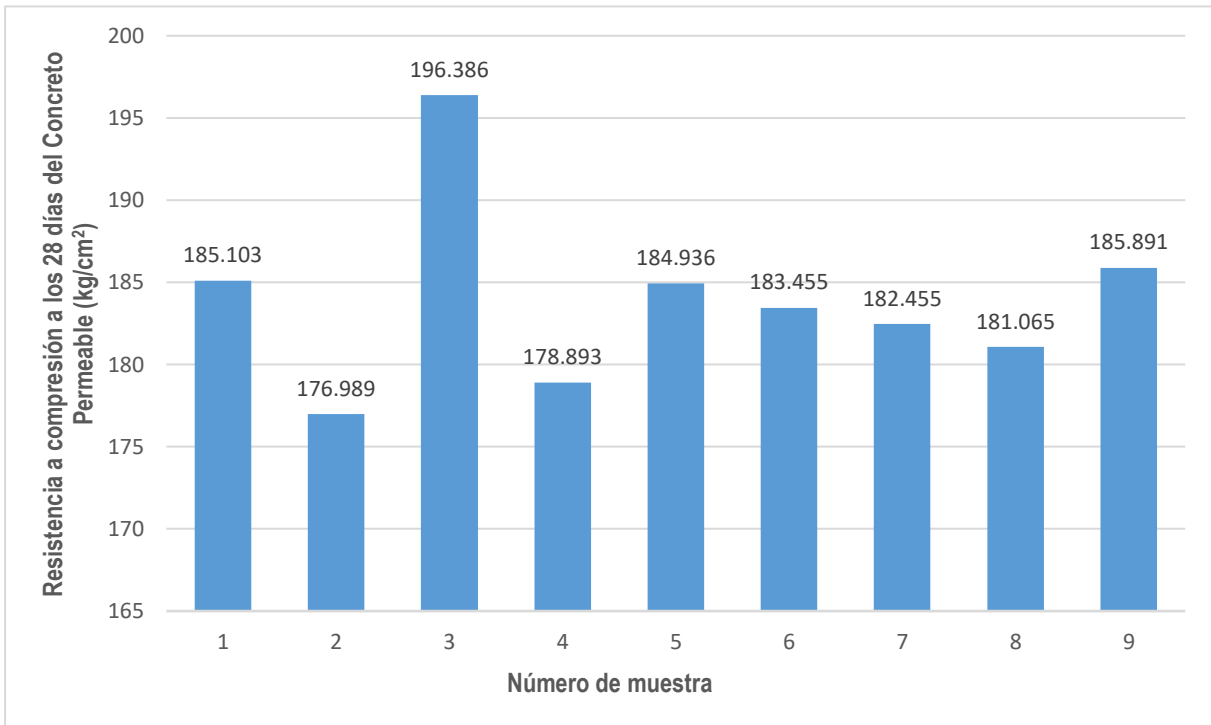


Tabla N° 111: Comparación de la resistencia a compresión del C°P° con 15% de agregado fino

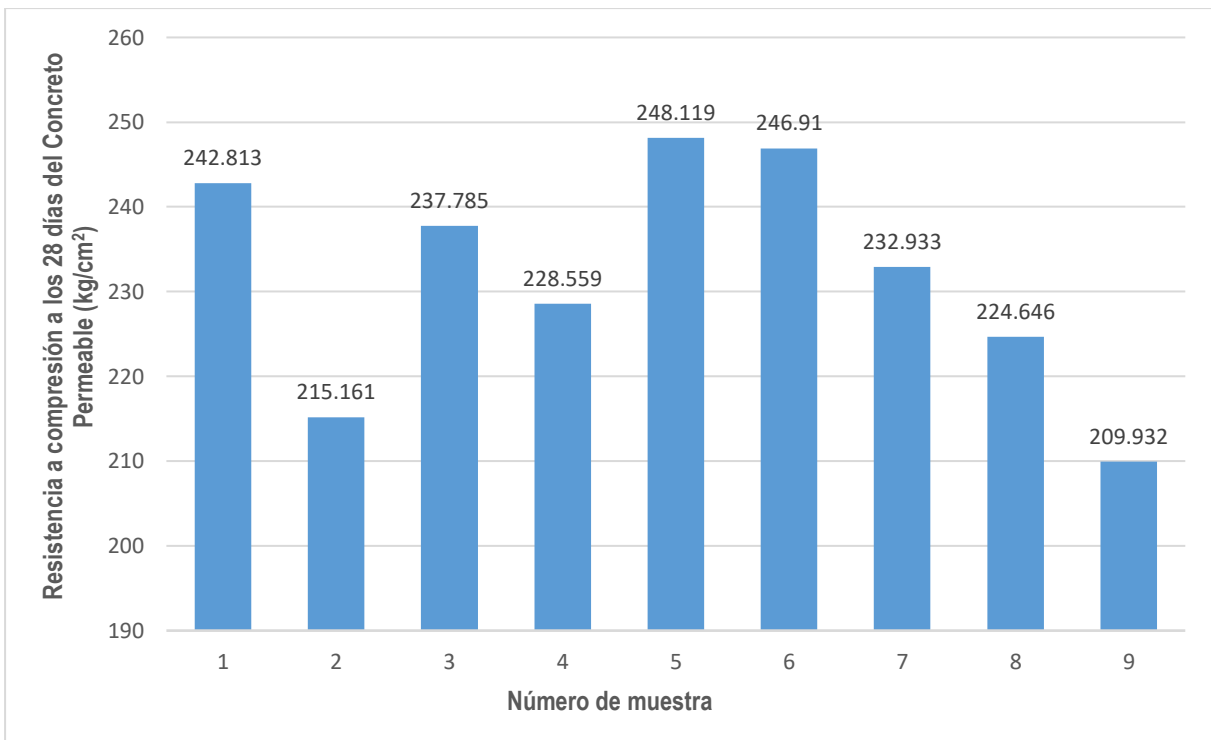
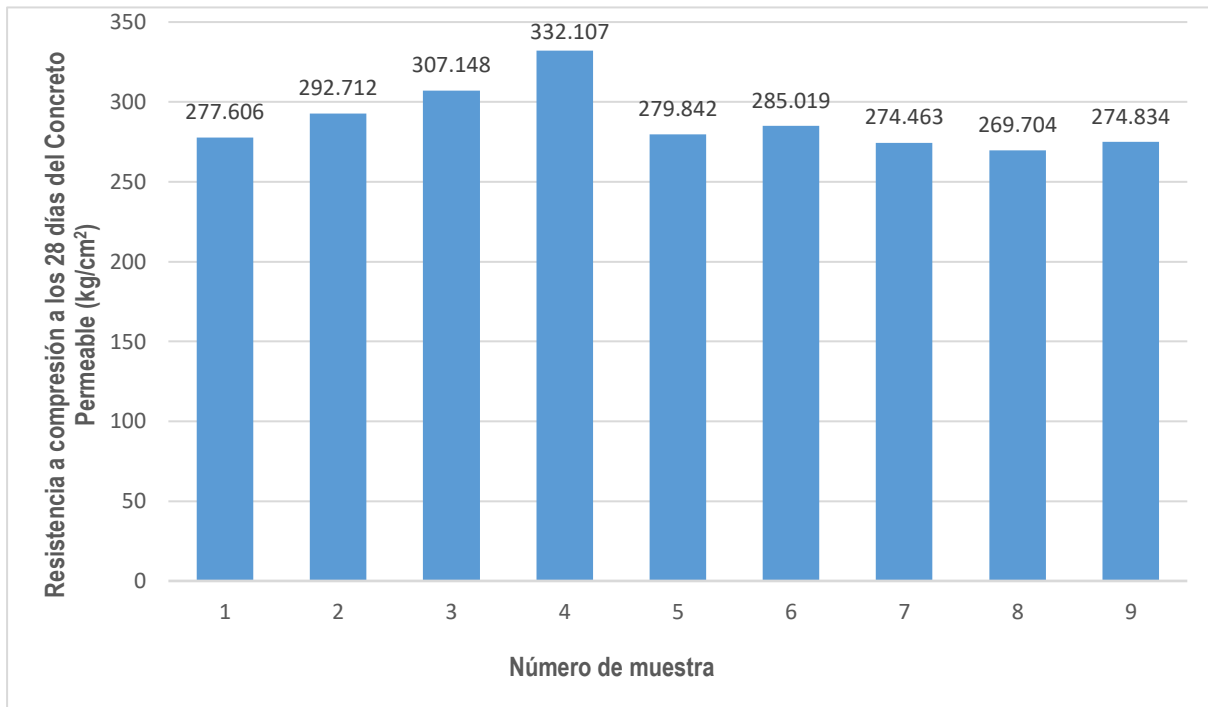




Tabla N° 112: Comparación de la resistencia a compresión del C°P° con 20% de agregado fino



### 3.6.3.2.3. Análisis

A continuación, se muestran los resultados del análisis de la prueba de resistencia a compresión del Concreto Permeable a los 28 días de curado:

- \* Resistencia a compresión de concreto permeable con 0% de agregado fino, según la Tabla N° 103 (pág. 177) y Tabla N° 108 (pág. 180). Se llega a una resistencia promedio de 81.638 kg/cm<sup>2</sup> con un coeficiente de variación de 8.2% el cual es menor a 10.56% valor establecido por la norma ASTM C 39 para 9 resultados de ensayo.
- \* Resistencia a compresión de concreto permeable con 5% de agregado fino, según las Tabla N° 104 (pág. 178) y Tabla N° 109 (pág. 180). Se llega a una resistencia promedio de 121.074 kg/cm<sup>2</sup> con un coeficiente de variación de 4.67% el cual es menor a 10.56% valor establecido por la norma ASTM C 39 para 9 resultados de ensayo.
- \* Resistencia a compresión de concreto permeable con 10% de agregado fino, según las Tabla N° 105 (pág. 178) y Tabla N° 110 (pág. 181). Se llega a una resistencia promedio de 183.908 kg/cm<sup>2</sup> con un coeficiente de variación de 3.01% el cual es menor a 10.56% valor establecido por la norma ASTM C 39 para 9 resultados de ensayo.
- \* Resistencia a compresión de concreto permeable con 15% de agregado fino, según las Tabla N° 106 (pág. 179) y Tabla N° 111 (pág. 181). Se llega a una resistencia promedio de 231.873 kg/cm<sup>2</sup> con un coeficiente de variación de 5.85% el cual es menor a 10.56% valor establecido por la norma ASTM C 39 para 9 resultados de ensayo.



- \* Resistencia a compresión de concreto permeable con 20% de agregado fino, según las Tabla N° 107 (pág. 179) y Tabla N° 112 (pág. 182). Se llega a una resistencia promedio de 288.159 kg/cm<sup>2</sup> con un coeficiente de variación de 6.95% el cual es menor a 10.56% valor establecido por la norma ASTM C 39 para 9 resultados de ensayo.

### 3.6.3.2.4. Cálculos. -

$$f_c = \frac{4 \times P}{\pi \times D^2}$$

Dónde:

- o F<sub>c</sub>: Resistencia a compresión, kg/cm<sup>2</sup>
- o P: Carga Máxima, kg.
- o D: Diámetro del espécimen, cm.

### 3.6.3.3. Resistencia a flexión del concreto (utilizando viga simple con carga en los tercios)

#### 3.6.3.3.1. Procesamiento

A continuación, se procede al cálculo de la resistencia flexión utilizando viga simple con carga en los tercios de las muestras de concreto permeable con distintos porcentajes de adición de agregado fino:

- \* Resistencia a flexión del concreto permeable con 0% de agregado fino

Tabla N° 113: Cálculos de resistencia a flexión de C°P° con 0% de agregado fino

N°	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	LONG. DE SEPARACIÓN DE APOYOS (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	CARGA (kgf)	MÓDULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	0% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	15.000	15.050	1310	18.122
2	0% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	15.017	15.050	1490	20.589
3	0% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	14.933	14.983	1360	19.066
4	0% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	14.967	15.017	1460	20.332
5	0% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	15.033	14.867	1190	16.833
6	0% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	15.067	15.033	1660	22.913
7	0% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	14.933	15.000	1370	19.164
8	0% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	14.917	15.067	1440	19.987
9	0% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	14.950	14.967	1220	17.122
<b>Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>									<b>19.348</b>
<b>Coficiente de Variación</b>									<b>9.76%</b>



\* Resistencia a flexión del concreto permeable con 5% de agregado fino

Tabla N° 114: Cálculos de resistencia a flexión de C°P° con 5% de agregado fino

N°	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	LONG. DE SEPARACIÓN DE APOYOS (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	CARGA (kgf)	MÓDULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	5% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	15.033	15.083	1800	24.735
2	5% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	15.000	15.067	1560	21.533
3	5% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	14.917	14.950	1580	22.274
4	5% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	14.900	15.000	1830	25.655
5	5% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	15.000	14.883	1610	22.774
6	5% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	14.967	15.017	1520	21.167
7	5% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	14.950	14.967	1440	20.210
8	5% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	14.900	14.950	1830	25.827
9	5% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	14.917	14.983	1950	27.368
<b>Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>									<b>23.505</b>
<b>Coefficiente de Variación</b>									<b>10.50%</b>

\* Resistencia a flexión del concreto permeable con 10% de agregado fino

Tabla N° 115: Cálculos de resistencia a flexión de C°P° con 10% de agregado fino

N°	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	LONG. DE SEPARACIÓN DE APOYOS (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	CARGA (kgf)	MÓDULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	10% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	15.000	15.100	2210	30.370
2	10% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	15.067	15.050	2050	28.233
3	10% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	14.950	14.983	2670	37.390
4	10% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	14.917	15.067	2070	28.732
5	10% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	14.983	14.900	1980	27.976
6	10% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	15.017	15.000	2180	30.325
7	10% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	15.000	14.950	2050	28.739
8	10% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	15.000	14.967	2300	32.172
9	10% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	15.000	14.950	2210	30.983
<b>Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>									<b>30.547</b>
<b>Coefficiente de Variación</b>									<b>9.56%</b>



\* Resistencia a flexión del concreto permeable con 15% de agregado fino

Tabla N° 116: Cálculos de resistencia a flexión de C°P° con 15% de agregado fino

N°	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	LONG. DE SEPARACIÓN DE APOYOS (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	CARGA (kgf)	MÓDULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	15% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	15.033	15.083	2610	35.866
2	15% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	15.033	15.067	2460	33.880
3	15% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	14.950	14.950	2190	30.805
4	15% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	14.917	15.000	2500	35.009
5	15% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	15.017	14.883	2130	30.096
6	15% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	15.000	15.050	2530	34.999
7	15% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	14.983	14.933	2600	36.572
8	15% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	14.983	14.950	2260	31.719
9	15% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	14.967	14.933	2410	33.937
<b>Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>									<b>33.654</b>
<b>Coefficiente de Variación</b>									<b>6.79%</b>

\* Resistencia a flexión del concreto permeable con 20% de agregado fino

Tabla N° 117: Cálculos de resistencia a flexión de C°P° con 20% de agregado fino

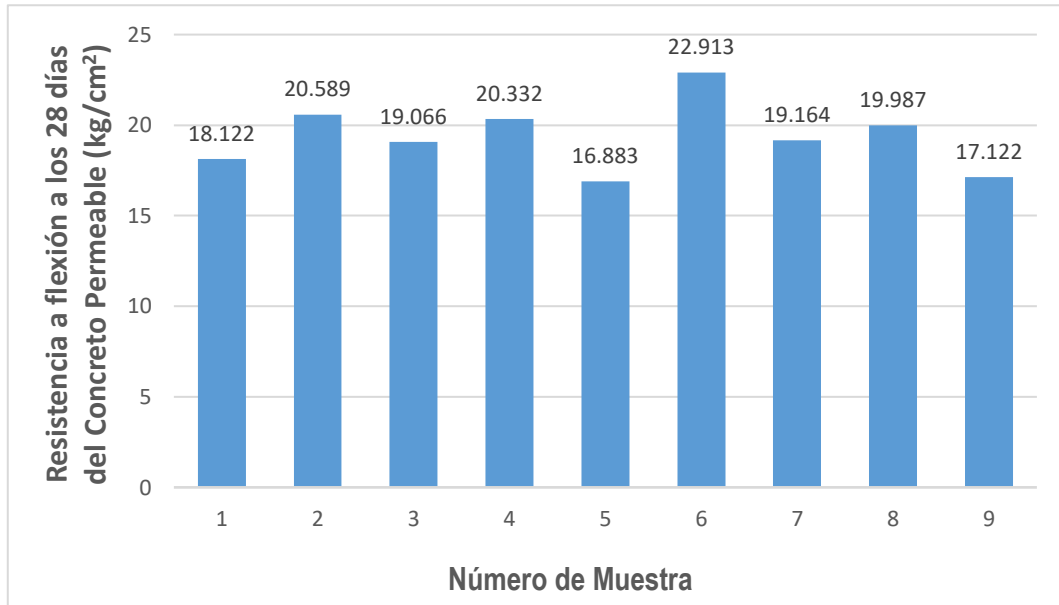
N°	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	LONG. DE SEPARACIÓN DE APOYOS (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	CARGA (kgf)	MÓDULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	20% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	15.067	15.133	3300	44.950
2	20% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	15.033	15.067	2670	36.772
3	20% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	15.123	15.123	2940	39.949
4	20% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	15.035	14.900	2870	40.411
5	20% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	15.050	14.917	2770	38.877
6	20% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	15.017	14.983	2650	36.945
7	20% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	15.017	14.933	2630	36.912
8	20% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	14.983	14.917	2680	37.782
9	20% A.F.	17/05/2019	15/06/2019	28	47	14.967	14.933	3180	44.780
<b>Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>									<b>39.709</b>
<b>Coefficiente de Variación</b>									<b>8.07%</b>

### 3.6.3.3.2. Diagramas



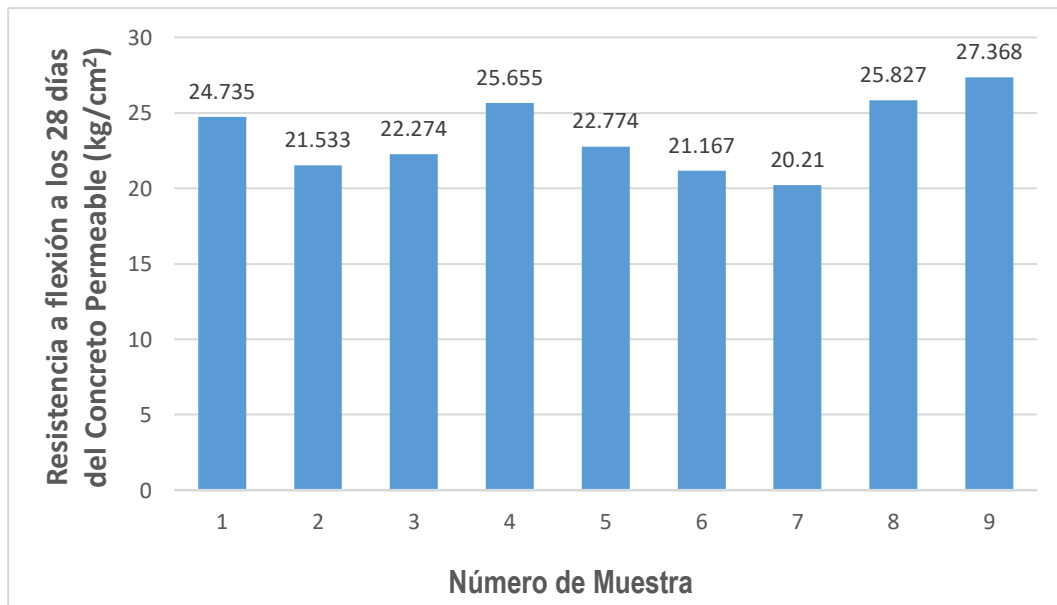
\* Resistencia a flexión del concreto permeable con 0% de agregado fino

Tabla N° 118: Comparación de la resistencia a flexión del C°P° con 0% de agregado fino



\* Resistencia a flexión del concreto permeable con 5% de agregado fino

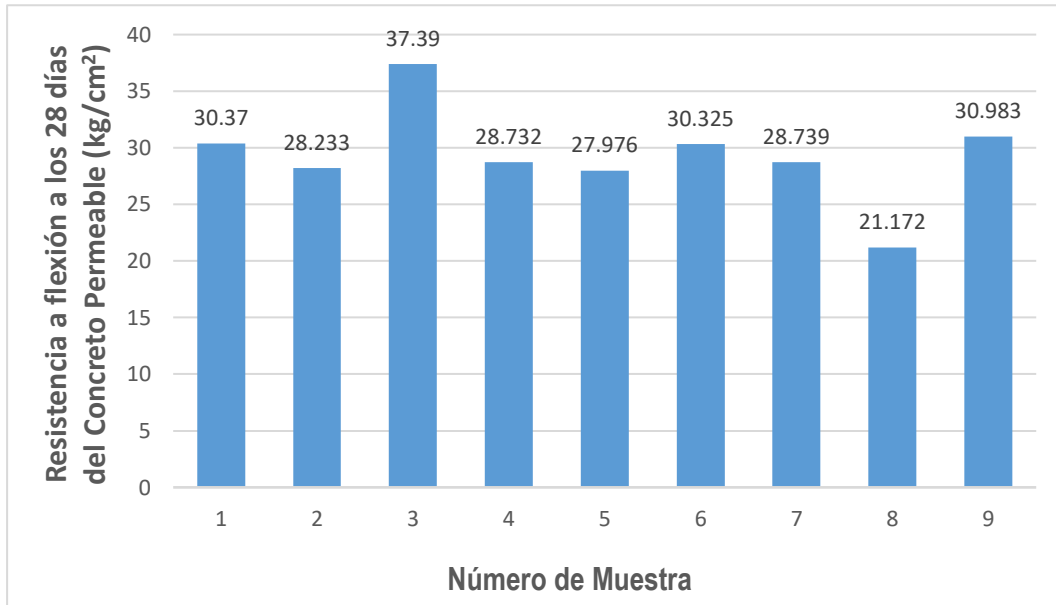
Tabla N° 119: Comparación de la resistencia a flexión del C°P° con 5% de agregado fino





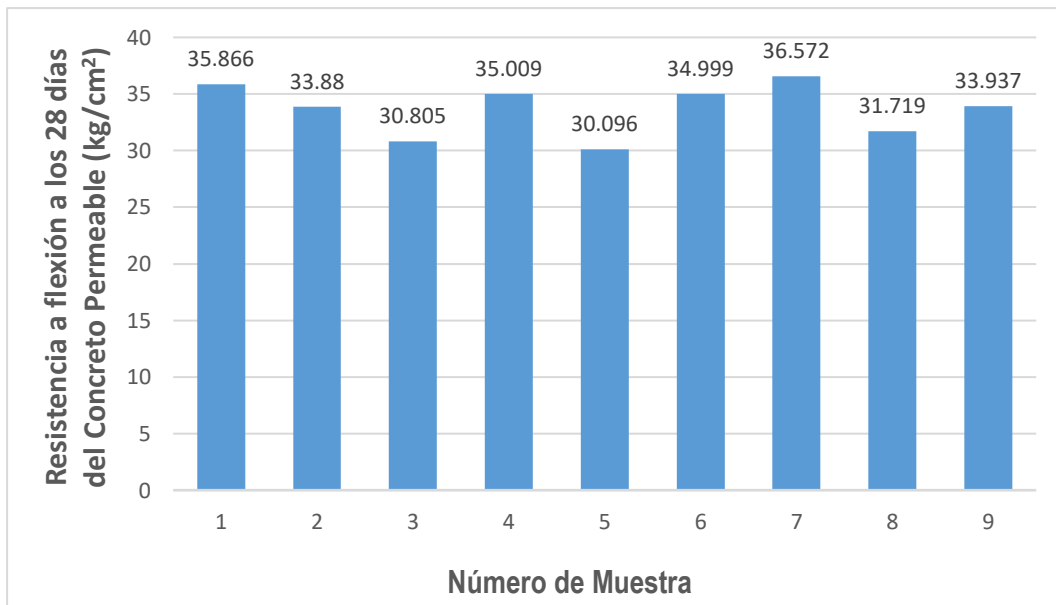
\* Resistencia a flexión del concreto permeable con 10% de agregado fino

Tabla N° 120: Comparación de la resistencia a flexión del C°P° con 10% de agregado fino



\* Resistencia a flexión del concreto permeable con 15% de agregado fino

Tabla N° 121: Comparación de la resistencia a flexión del C°P° con 15% de agregado fino

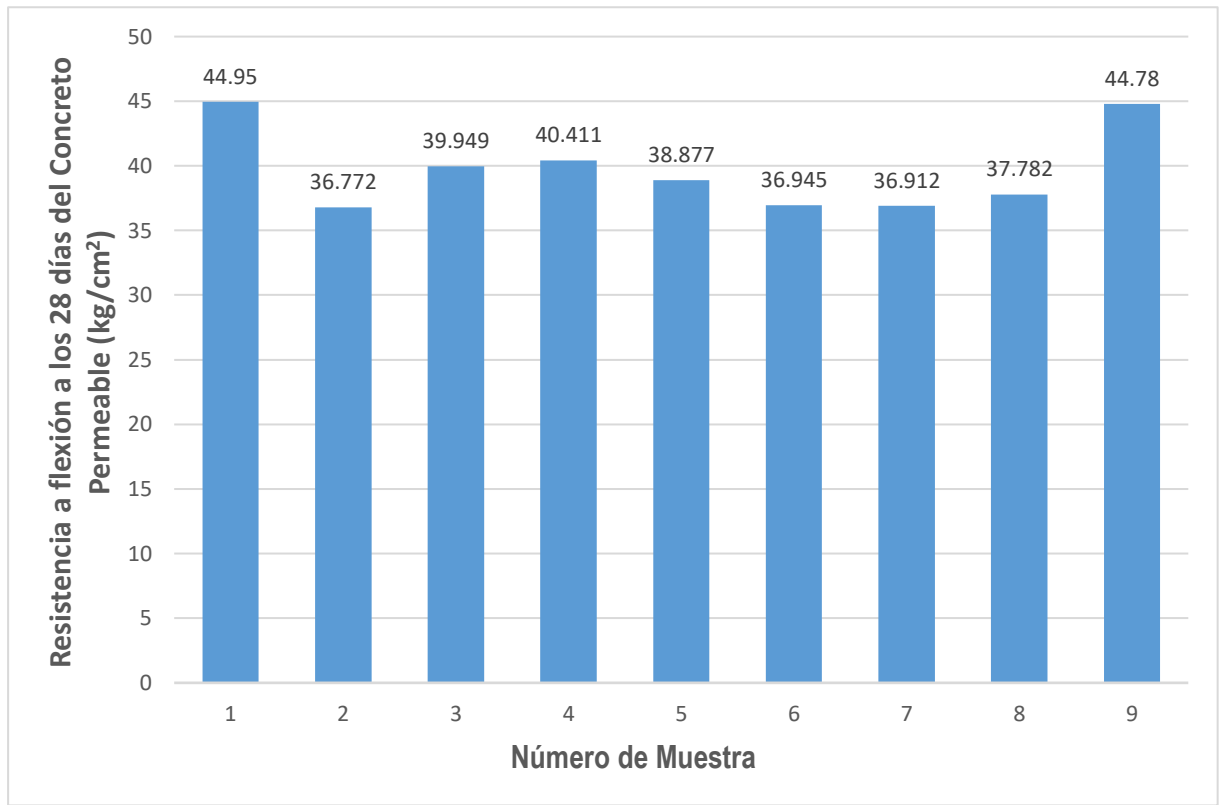






- \* Resistencia a flexión del concreto permeable con 20% de agregado fino

Tabla N° 122: Comparación de la resistencia a flexión del C°P° con 20% de agregado fino



### 3.6.3.3.3. Análisis

A continuación, se muestran los resultados del análisis de la prueba de resistencia a flexión del Concreto Permeable a los 28 días de curado:

- \* Resistencia a flexión de concreto permeable con 0% de agregado fino, según las Tabla N° 113 (pág. 183) y Tabla N° 118 (pág. 186). Se llega a una resistencia promedio de 19.348 kg/cm<sup>2</sup> con un coeficiente de variación de 9.76% el cual es menor a 25.08% valor establecido por la norma ASTM C 78 para 9 resultados de ensayo.
- \* Resistencia a flexión de concreto permeable con 5% de agregado fino, según las Tabla N° 114 (pág. 184) y Tabla N° 119 (pág. 186). Se llega a una resistencia promedio de 23.505 kg/cm<sup>2</sup> con un coeficiente de variación de 10.5% el cual es menor a 25.08% valor establecido por la norma ASTM C 78 para 9 resultados de ensayo.
- \* Resistencia a flexión de concreto permeable con 10% de agregado fino, según las Tabla N° 115 (pág. 184) y Tabla N° 120 (pág. 187). Se llega a una resistencia promedio de 30.547 kg/cm<sup>2</sup> con un coeficiente de variación de 9.56% el cual es menor a 25.08% valor establecido por la norma ASTM C 78 para 9 resultados de ensayo.



- \* Resistencia a flexión de concreto permeable con 15% de agregado fino, según las Tabla N° 116 (pág. 185) y Tabla N° 121 (pág. 187). Se llega a una resistencia promedio de 33.654 kg/cm<sup>2</sup> con un coeficiente de variación de 6.79% el cual es menor a 25.08% valor establecido por la norma ASTM C 78 para 9 resultados de ensayo.
- \* Resistencia a flexión de concreto permeable con 20% de agregado fino, según las Tabla N° 117 (pág. 185) y Tabla N° 122 (pág. 188). Se llega a una resistencia promedio de 39.709 kg/cm<sup>2</sup> con un coeficiente de variación de 8.07% el cual es menor a 25.08% valor establecido por la norma ASTM C 78 para 9 resultados de ensayo.

#### 3.6.3.3.4. Cálculos. -

$$R = \frac{P \times L}{b \times d^2}$$

Dónde:

- R: módulo de rotura, kg/cm<sup>2</sup>
- P: carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayo, kg.
- L: Longitud del tramo, cm.
- b: Ancho promedio de la muestra, cm.
- d: altura media del espécimen, cm.

#### 3.6.3.4. Coeficiente de permeabilidad

##### 3.6.3.4.1. Procesamiento

A continuación, se muestran los cálculos del coeficiente de permeabilidad del concreto permeable para los distintos porcentajes de adición de agregado fino, habiéndose ensayado dos veces las dos muestras existentes de cada uno de los porcentajes, todo esto se detalla en las tablas siguientes:



\* Coeficiente de permeabilidad de concreto permeable con 0% de agregado fino

Tabla N° 123: Cálculos de coeficiente de permeabilidad del C°P° con 0% de agregado fino

Diseño	% de Finos	d	D	L	a	A	h1	h2	t	k
	%	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	cm	cm	s	cm/s
0-A-1	0	10.51	10.16	15.00	86.76	81.07	15.30	10.30	3.79	1.676
0-A-2	0	10.51	10.16	15.00	86.76	81.07	20.30	10.30	6.31	1.726
0-B-1	0	10.51	10.16	15.00	86.76	81.07	15.30	10.30	3.85	1.650
0-B-2	0	10.51	10.16	15.00	86.76	81.07	20.30	10.30	6.45	1.688
<b>Promedio =</b>										1.685

\* Coeficiente de permeabilidad de concreto permeable con 5% de agregado fino

Tabla N° 124: Cálculos de coeficiente de permeabilidad del C°P° con 5% de agregado fino

Diseño	% de Finos	d	D	L	a	A	h1	h2	t	k
	%	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	cm	cm	s	cm/s
5-A-1	5	10.51	10.21	15.00	86.76	81.87	15.30	10.30	6.39	0.984
5-A-2	5	10.51	10.21	15.00	86.76	81.87	20.30	10.30	12.54	0.860
5-B-1	5	10.51	10.21	15.00	86.76	81.87	15.30	10.30	6.46	0.974
5-B-2	5	10.51	10.21	15.00	86.76	81.87	20.30	10.30	13.14	0.821
<b>Promedio =</b>										0.910

\* Coeficiente de permeabilidad de concreto permeable con 10% de agregado fino

Tabla N° 125: Cálculos de coeficiente de permeabilidad del C°P° con 10% de agregado fino

Diseño	% de Finos	d	D	L	a	A	h1	h2	t	k
	%	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	cm	cm	s	cm/s
10-A-1	10	10.51	10.25	15.00	86.76	82.52	15.30	10.30	13.18	0.473
10-A-2	10	10.51	10.25	15.00	86.76	82.52	20.30	10.30	24.54	0.436
10-B-1	10	10.51	10.25	15.00	86.76	82.52	15.30	10.30	12.40	0.503
10-B-2	10	10.51	10.25	15.00	86.76	82.52	20.30	10.30	24.56	0.436
<b>Promedio =</b>										0.462



\* Coeficiente de permeabilidad de concreto permeable con 15% de agregado fino

Tabla N° 126: Cálculos de coeficiente de permeabilidad del C°P° con 15% de agregado fino

Diseño	% de Finos	d	D	L	a	A	h1	h2	t	k
	%	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	cm	cm	s	cm/s
15-A-1	15	10.51	10.10	15.00	86.76	80.12	15.30	10.30	46.50	0.138
15-A-2	15	10.51	10.10	15.00	86.76	80.12	20.30	10.30	73.80	0.149
15-B-1	15	10.51	10.10	15.00	86.76	80.12	15.30	10.30	47.40	0.136
15-B-2	15	10.51	10.10	15.00	86.76	80.12	20.30	10.30	75.50	0.146
<b>Promedio =</b>										0.142

\* Coeficiente de permeabilidad de concreto permeable con 20% de agregado fino

Tabla N° 127: Cálculos de coeficiente de permeabilidad del C°P° con 20% de agregado fino

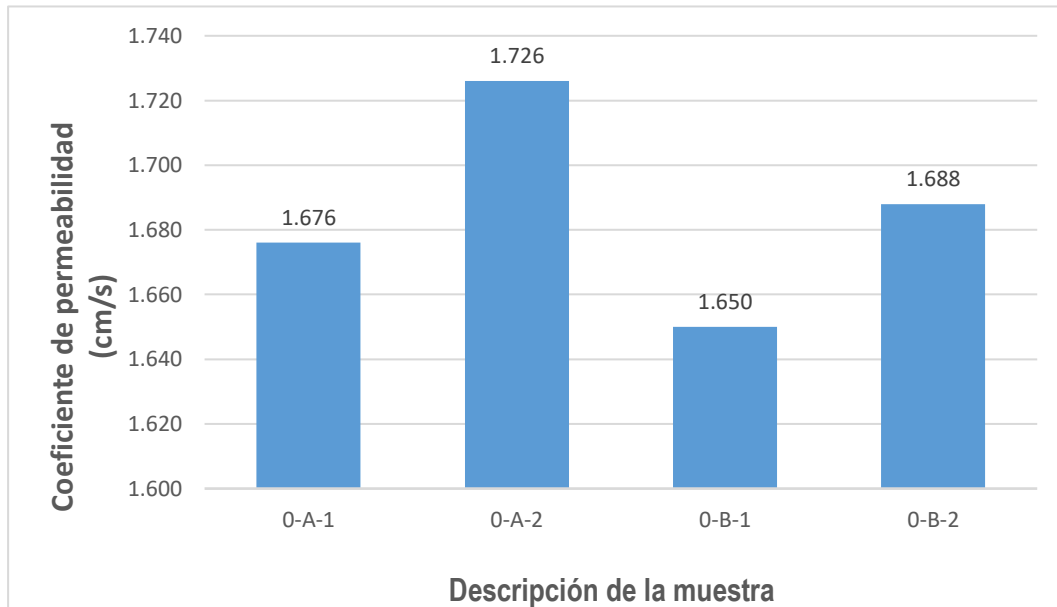
Diseño	% de Finos	d	D	L	a	A	h1	h2	t	k
	%	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	cm	cm	s	cm/s
20-A-1	20	10.51	10.16	15.00	86.76	81.07	15.30	10.30	69.20	0.092
20-A-2	20	10.51	10.16	15.00	86.76	81.07	20.30	10.30	132.10	0.082
20-B-1	20	10.51	10.16	15.00	86.76	81.07	15.30	10.30	67.90	0.094
20-B-2	20	10.51	10.16	15.00	86.76	81.07	20.30	10.30	122.50	0.089
<b>Promedio =</b>										0.089



### 3.6.3.4.2. Diagramas

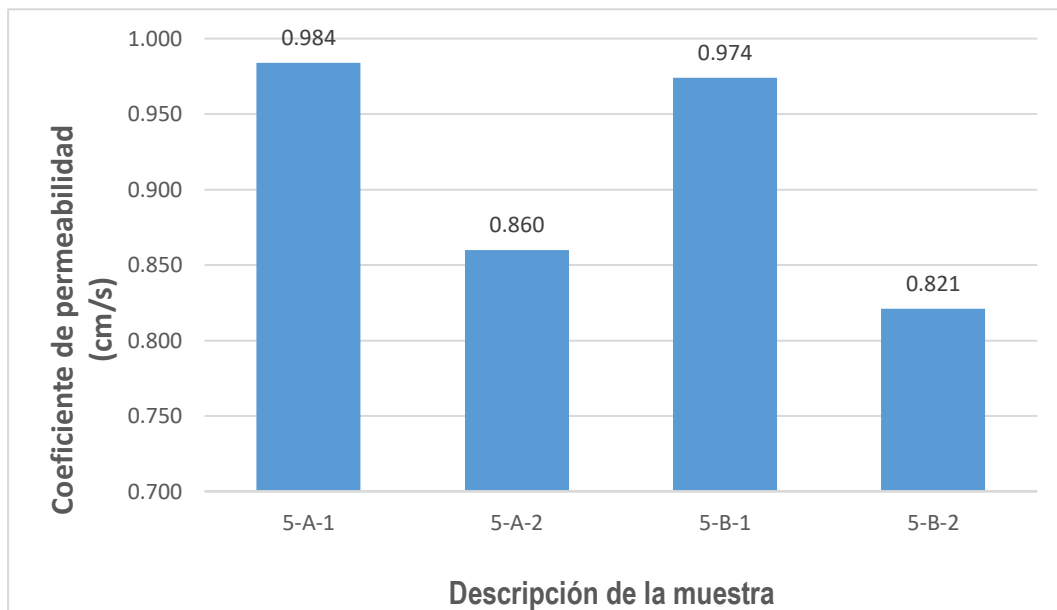
- \* Coeficiente de permeabilidad de concreto permeable con 0% de agregado fino

Tabla N° 128: Comparación del coeficiente de permeabilidad del C°P° con 0% de agregado fino



- \* Coeficiente de permeabilidad de concreto permeable con 5% de agregado fino

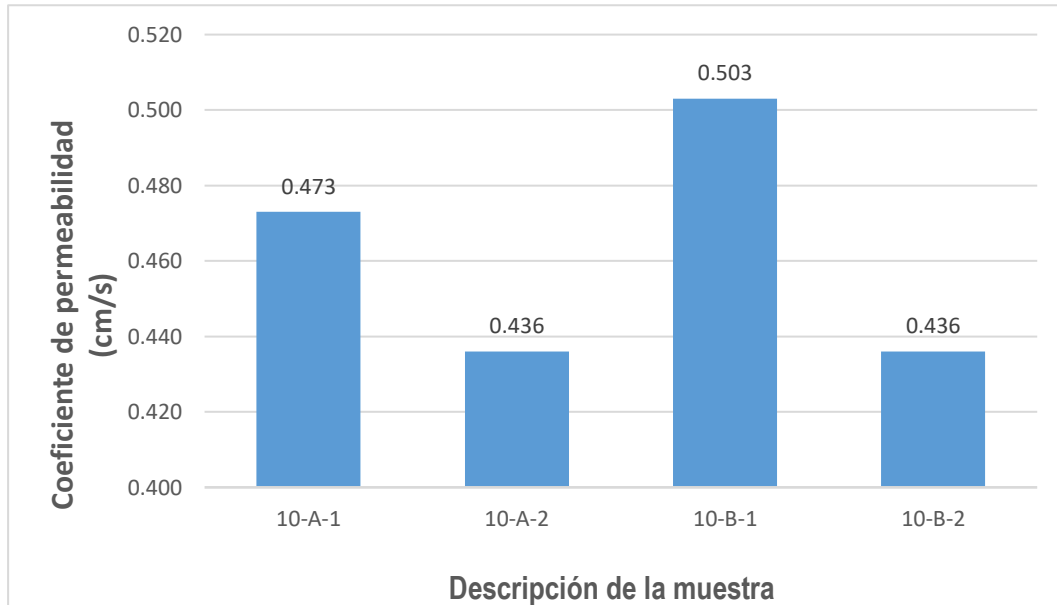
Tabla N° 129: Comparación del coeficiente de permeabilidad del C°P° con 5% de agregado fino





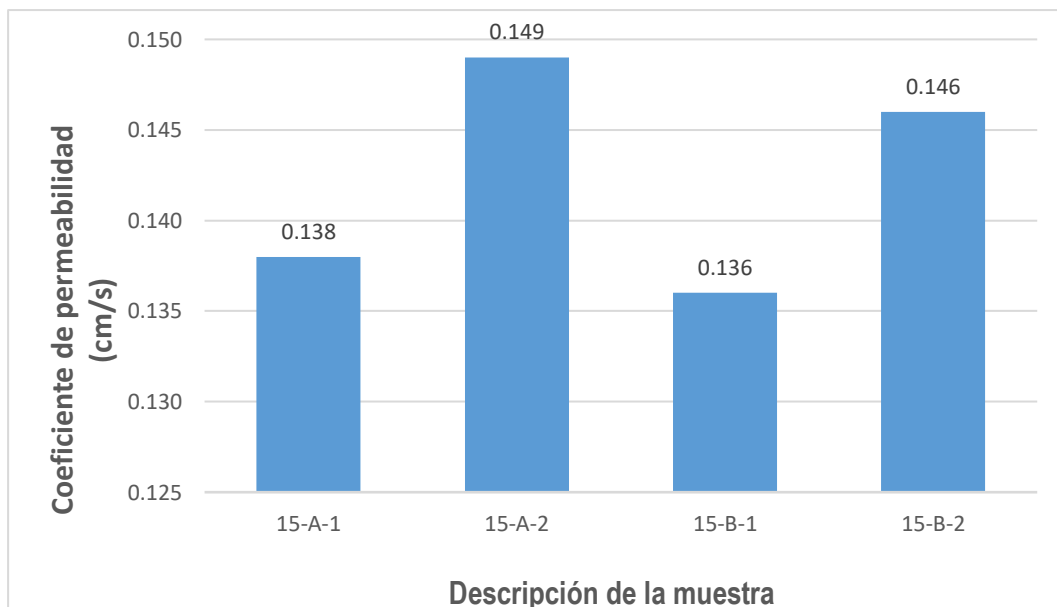
\* Coeficiente de permeabilidad de concreto permeable con 10% de agregado fino

Tabla N° 130: Comparación del coeficiente de permeabilidad del C°P° con 10% de agregado fino



\* Coeficiente de permeabilidad de concreto permeable con 15% de agregado fino

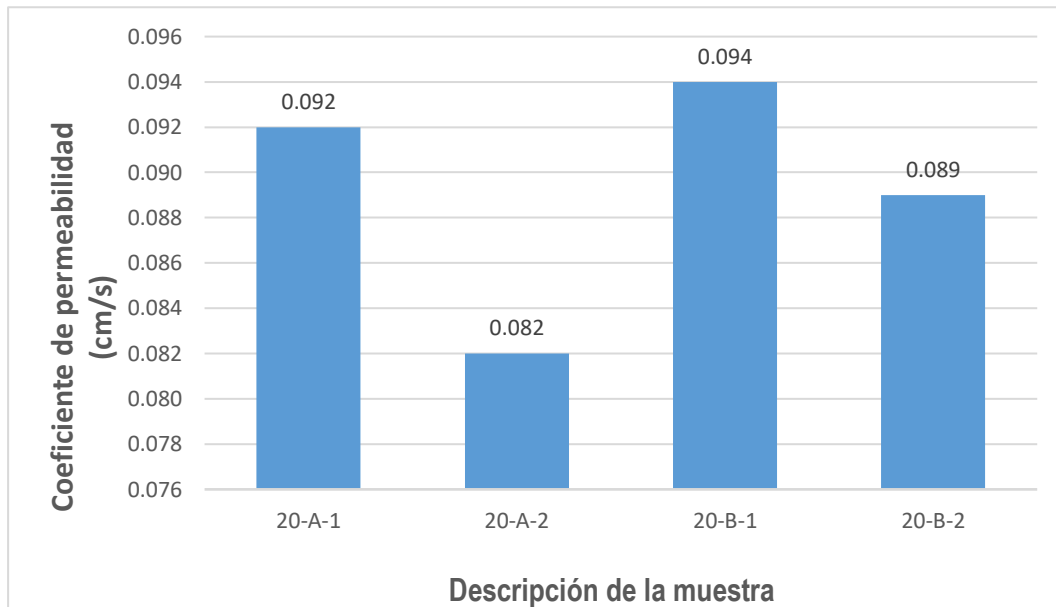
Tabla N° 131: Comparación del coeficiente de permeabilidad del C°P° con 15% de agregado fino





- \* Coeficiente de permeabilidad de concreto permeable con 20% de agregado fino

Tabla N° 132: Comparación del coeficiente de permeabilidad del C°P° con 20% de agregado fino



### 3.6.3.4.3. Análisis

A continuación, se muestran los resultados del análisis de la prueba de coeficiente de permeabilidad del Concreto Permeable para los diferentes porcentajes de adición de agregado fino, los cuales se detallan a continuación:

- \* Coeficiente de permeabilidad del concreto permeable con 0% de agregado fino, según las Tabla N° 123 (pág. 190) y Tabla N° 128 (pág. 192). Se llega a un coeficiente de permeabilidad promedio de 1.685 cm/s con un coeficiente de variación de 1.88%.
- \* Coeficiente de permeabilidad del concreto permeable con 5% de agregado fino, según las Tabla N° 124 (pág. 190) y Tabla N° 129 (pág. 192). Se llega a un coeficiente de permeabilidad promedio de 0.910 cm/s con un coeficiente de variación de 8.99%.
- \* Coeficiente de permeabilidad del concreto permeable con 10% de agregado fino, según las Tabla N° 125 (pág. 190) y Tabla N° 130 (pág. 193). Se llega a un coeficiente de permeabilidad promedio de 0.462 cm/s con un coeficiente de variación de 7.07%.
- \* Coeficiente de permeabilidad del concreto permeable con 15% de agregado fino, según las Tabla N° 126 (pág. 191) y Tabla N° 131 (pág. 193). Se llega a un coeficiente de permeabilidad promedio de 0.142 cm/s con un coeficiente de variación de 4.52%.



- \* Coeficiente de permeabilidad del concreto permeable con 20% de agregado fino, según las Tabla N° 127 (pág. 191) y Tabla N° 132 (pág. 194). Se llega a un coeficiente de permeabilidad promedio de 0.089 cm/s con un coeficiente de variación de 5.47%.

#### 3.6.3.4.4. Cálculos. -

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

Dónde:

- o k: Coeficiente de permeabilidad, cm/seg.
- o L: Longitud de la muestra, cm.
- o t: Tiempo, seg.
- o a: Área de la tubería de carga, cm<sup>2</sup>.
- o A: Área de la muestra, cm<sup>2</sup>.
- o h1: altura de la columna de agua en el tubo graduado al inicio de la prueba, cm.
- o h2: altura de la columna de agua en el tubo graduado al final de la prueba, cm.

### 3.6.4. Análisis estadístico de dispersión y tendencia

#### 3.6.4.1. Para la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto y el porcentaje de agregado fino

##### 3.6.4.1.1. Procesamiento

A continuación, se muestra el cuadro de datos de resistencia a compresión, para realizar el diagrama de dispersión y determinar la tendencia de los datos.

Tabla N° 133: Datos de resistencia a compresión respecto a la adición de agregado fino para análisis de dispersión

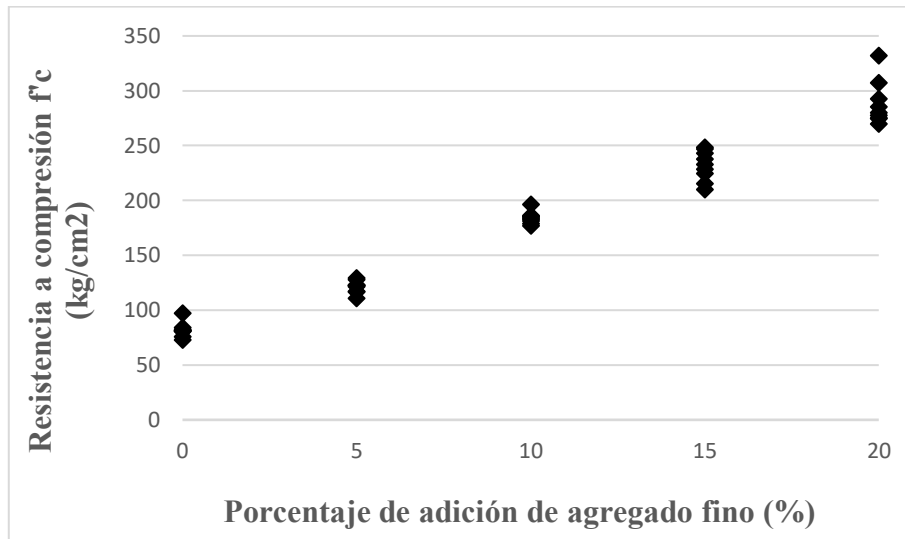
		Resistencia a compresión								
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9
Adición de agregado fino	0%	80.78	72.71	83.76	97.02	80.94	82.06	81.35	80.31	75.81
	5%	127.58	128.99	122.80	122.43	121.43	110.74	116.83	122.10	116.66
	10%	185.10	176.99	196.39	178.89	184.94	183.46	182.46	181.07	185.89
	15%	242.81	215.16	237.79	228.56	248.12	246.91	232.93	224.65	209.93
	20%	277.61	292.71	307.15	332.11	279.84	285.02	274.46	269.70	274.83





### 3.6.4.1.2. Diagramas

Tabla N° 134: Dispersión entre la resistencia a compresión respecto del porcentaje de adición de agregado fino



### 3.6.4.1.3. Análisis

En la Tabla N° 134, se muestra la dispersión de los datos de resistencia a compresión respecto a la adición del agregado fino y se observa que la tendencia de los datos es de tipo lineal.

### 3.6.4.2. Para la resistencia a flexión del concreto y el porcentaje de agregado fino

#### 3.6.4.2.1. Procesamiento

A continuación, se muestra el cuadro de datos de resistencia a flexión, para realizar el diagrama de dispersión y determinar la tendencia de los datos.

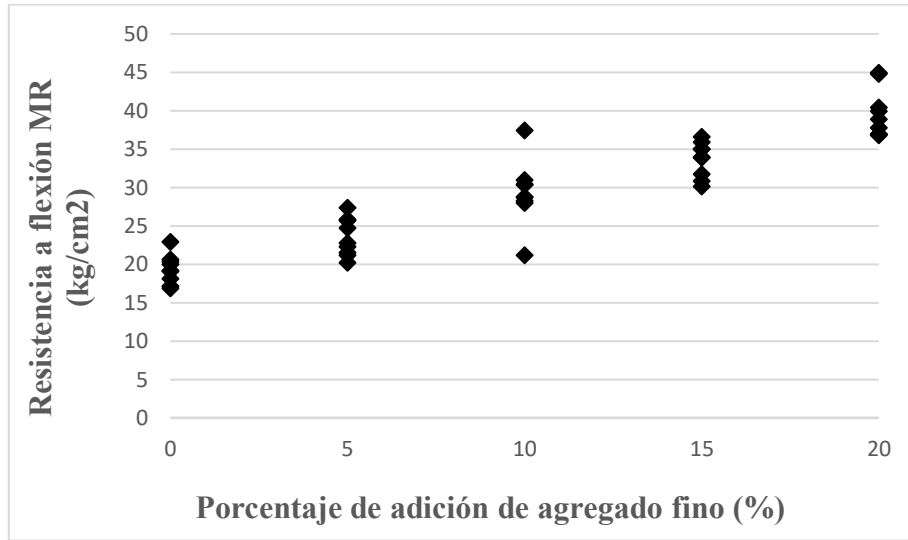
Tabla N° 135: Datos de resistencia a flexión respecto a la adición de agregado fino para análisis de dispersión

		Resistencia a flexión								
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9
Adición de agregado fino	0%	18.12	20.59	19.07	20.33	16.88	22.91	19.16	19.99	17.12
	5%	24.74	21.53	22.27	25.66	22.77	21.17	20.21	25.83	27.37
	10%	30.37	28.23	37.39	28.73	27.98	30.33	28.74	21.17	30.98
	15%	35.87	33.88	30.81	35.01	30.10	35.00	36.57	31.72	33.94
	20%	44.95	36.77	39.95	40.41	38.88	36.95	36.91	37.78	44.78



### 3.6.4.2.2. Diagramas

Tabla N° 136: Dispersión entre la resistencia a flexión respecto del porcentaje de adición de agregado fino



### 3.6.4.2.3. Análisis

En la Tabla N° 136, se muestra la dispersión de los datos de resistencia a flexión respecto a la adición del agregado fino y se observa que la tendencia de los datos es de tipo lineal.

### 3.6.4.3. Para el coeficiente de permeabilidad y el porcentaje de agregado fino

#### 3.6.4.3.1. Procesamiento

A continuación, se muestra el cuadro de datos de coeficiente de permeabilidad, para realizar el diagrama de dispersión y determinar la tendencia de los datos.

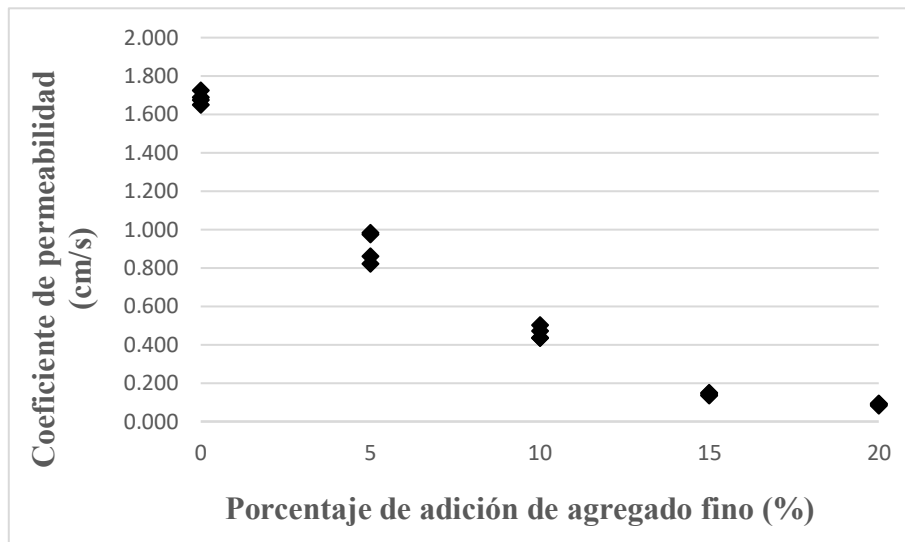
Tabla N° 137: Datos de coeficiente de permeabilidad respecto a la adición de agregado fino para análisis de dispersión

		Coeficiente de permeabilidad			
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Adición de agregado fino	0%	1.68	1.73	1.65	1.69
	5%	0.98	0.86	0.97	0.82
	10%	0.47	0.44	0.50	0.44
	15%	0.14	0.15	0.14	0.15
	20%	0.09	0.08	0.09	0.09



### 3.6.4.3.2. Diagramas

Tabla N° 138: Dispersión entre el coeficiente de permeabilidad respecto del porcentaje de adición de agregado fino



### 3.6.4.3.3. Análisis

En la Tabla N° 138, se muestra la dispersión de los datos de coeficiente de permeabilidad respecto a la adición del agregado fino y se observa que la tendencia de los datos es de tipo exponencial.

### 3.6.4.4. Para la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto y la resistencia a flexión del concreto

#### 3.6.4.4.1. Procesamiento

A continuación, se muestra el cuadro de datos de resistencia a compresión y resistencia a la flexión, para realizar el diagrama de dispersión y determinar la tendencia de los datos.

Tabla N° 139: Datos de resistencia a compresión y resistencia a flexión (kg/cm<sup>2</sup>)

	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9
Resistencia a flexión	18.12	20.59	19.07	20.33	16.83	22.91	19.16	19.99	17.12
Resistencia a compresión	80.78	72.71	83.76	97.02	80.94	82.06	81.35	80.31	75.80
Resistencia a flexión	24.74	21.53	22.27	25.66	22.77	21.17	20.21	25.83	27.37
Resistencia a compresión	127.58	128.99	122.80	122.43	121.54	110.74	116.83	122.10	116.66
Resistencia a flexión	30.37	28.23	37.39	28.73	27.98	30.32	28.74	32.17	30.98
Resistencia a compresión	185.10	176.99	196.39	178.89	184.94	183.45	182.45	181.07	185.89
Resistencia a flexión	35.87	33.88	30.80	35.01	30.10	35.00	36.57	31.72	33.94



<b>Resistencia a compresión</b>	242.81	215.16	237.78	228.56	248.12	246.91	232.93	224.65	209.93
<b>Resistencia a flexión</b>	44.95	36.77	39.95	40.41	38.88	36.94	36.91	37.78	44.78
<b>Resistencia a compresión</b>	277.61	292.71	307.15	332.11	279.84	285.02	274.46	269.70	274.83

El conjunto de pares ordenados obtenidos de acuerdo a la tabla N° 139 serán procesados de acuerdo a la ecuación establecida por Ahmad and Shah (1985) la cual es citada en el reporte de concreto permeable (ACI 522R-10, 2010).

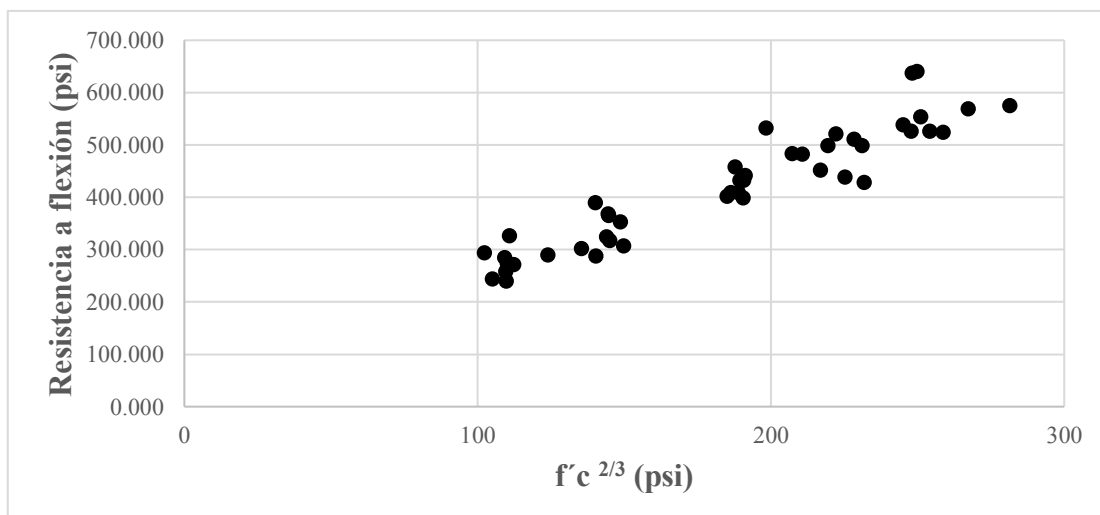
$$f_r = 2.3 \times f_c^{2/3} \text{(en unidades psi)}$$

Tabla N° 140: Datos de resistencia a compresión y resistencia a flexión (psi)

	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9
<b>Resistencia a flexión</b>	257.75	292.84	271.18	289.18	239.42	325.89	272.57	284.28	243.53
<b>Resistencia a compresión<sup>2/3</sup></b>	109.70	102.26	112.38	123.95	109.84	110.86	110.21	109.28	105.15
<b>Resistencia a flexión</b>	351.81	306.26	316.80	364.90	323.91	301.07	287.45	367.34	389.26
<b>Resistencia a compresión<sup>2/3</sup></b>	148.77	149.87	145.03	144.74	144.04	135.37	140.29	144.48	140.15
<b>Resistencia a flexión</b>	431.95	401.56	531.79	408.65	397.90	431.31	408.76	457.59	440.66
<b>Resistencia a compresión<sup>2/3</sup></b>	190.66	185.05	198.34	186.38	190.55	189.53	188.84	187.88	191.21
<b>Resistencia a flexión</b>	510.13	481.88	438.14	497.94	428.05	497.79	520.16	451.14	482.69
<b>Resistencia a compresión<sup>2/3</sup></b>	228.48	210.78	225.31	219.45	231.79	231.04	222.24	216.93	207.35
<b>Resistencia a flexión</b>	639.32	523.01	568.19	574.77	552.95	525.47	525.00	537.37	636.91
<b>Resistencia a compresión<sup>2/3</sup></b>	249.81	258.79	267.23	281.52	251.15	254.24	247.92	245.05	248.15

### 3.6.4.4.2. Diagramas

Tabla N° 141: Dispersión entre la resistencia a flexión respecto de la resistencia a compresión





### 3.6.4.4.3. Análisis

En la Tabla N° 141, se muestra la dispersión de los datos de resistencia a compresión respecto a la resistencia a la flexión y se observa que la tendencia de los datos es de tipo lineal.

### 3.6.4.5. Para la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto y el coeficiente de permeabilidad

#### 3.6.4.5.1. Procesamiento

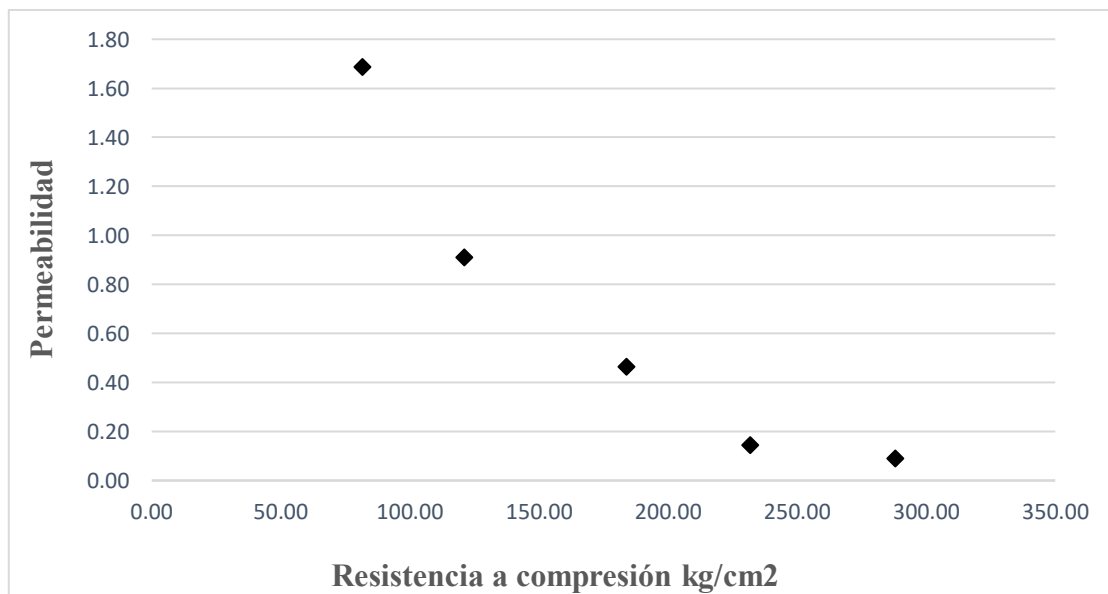
A continuación, se muestra el cuadro de datos de resistencia a compresión y permeabilidad, para realizar el diagrama de dispersión y determinar la tendencia de los datos.

Tabla N° 142: Datos de resistencia a compresión y permeabilidad

		Resistencia a compresión kg/cm <sup>2</sup>	Permeabilidad
Adición de agregado fino	0%	81.64	1.68499984
	5%	121.0736786	0.90964285
	10%	183.9082524	0.46211302
	15%	231.8731051	0.14227679
	20%	288.1594582	0.08916811

#### 3.6.4.5.2. Diagramas

Tabla N° 143: Dispersión entre el coeficiente de permeabilidad respecto de la resistencia a compresión





### 3.6.4.5.3. Análisis

En la Tabla N° 143, se muestra la dispersión de los datos de resistencia a compresión respecto a la permeabilidad y se observa que la tendencia de los datos es de tipo exponencial.

### 3.6.4.6. Para la resistencia a resistencia a flexión del concreto y el coeficiente de permeabilidad

#### 3.6.4.6.1. Procesamiento

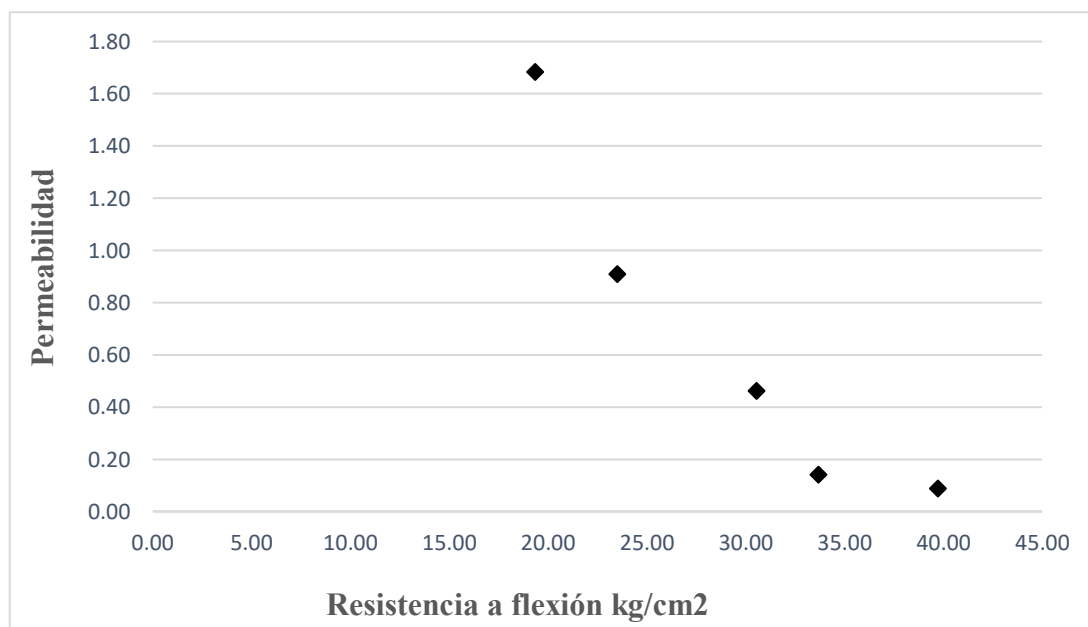
A continuación, se muestra el cuadro de datos de resistencia a flexión y permeabilidad, para realizar el diagrama de dispersión y determinar la tendencia de los datos.

Tabla N° 144: Datos de resistencia a flexión y permeabilidad

		Resistencia a flexión kg/cm2	Permeabilidad
Adición de agregado fino	0%	19.34760382	1.68499984
	5%	23.50492971	0.90964285
	10%	30.54662849	0.46211302
	15%	33.65367148	0.14227679
	20%	39.70864838	0.08916811

#### 3.6.4.6.2. Diagramas

Tabla N° 145: Dispersión entre el coeficiente de permeabilidad respecto de la resistencia a flexión





### 3.6.4.6.3. Análisis

En la Tabla N° 145, se muestra la dispersión de los datos de resistencia a flexión respecto a la permeabilidad y se observa que la tendencia de los datos es de tipo exponencial.

### 3.6.5. Análisis estadístico, parámetros de la curva de aproximación

#### 3.6.5.1. Para la resistencia a compresión y el porcentaje de agregado fino

##### 3.6.5.1.1. Procesamiento

A continuación, se muestra los datos para el procesamiento del análisis para la obtención de los parámetros de la curva resistencia a compresión y el porcentaje de agregado fino.

Tabla N° 146: Datos de resistencia a compresión respecto a la adición de agregado fino para la obtención de los parámetros de la curva.

		Resistencia a compresión								
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9
Adición de agregado fino	0%	80.78	72.71	83.76	97.02	80.94	82.06	81.35	80.31	75.81
	5%	127.58	128.99	122.80	122.43	121.43	110.74	116.83	122.10	116.66
	10%	185.10	176.99	196.39	178.89	184.94	183.46	182.46	181.07	185.89
	15%	242.81	215.16	237.79	228.56	248.12	246.91	232.93	224.65	209.93
	20%	277.61	292.71	307.15	332.11	279.84	285.02	274.46	269.70	274.83

Se calcula los argumentos  $b_0$  y  $b_1$  para la obtención de los parámetros de la curva resistencia a compresión y el porcentaje de agregado fino.

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - b_1 \sum_{i=1}^n x_i}{n} = \bar{y} - b_1 \bar{x}$$

$$b_1 = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}$$

$$\text{Resistencia a compresión} = b_0 + b_1 \times \% \text{ de agregado fino}$$

Se tiene los siguientes resultados para el análisis:

Tabla N° 147: Resultados del análisis para la obtención de los parámetros de la curva resistencia a compresión y porcentaje de agregado fino

Estimaciones de parámetro	
$b_0$	$b_1$
76.562	10.477

Obteniendo la siguiente ecuación.



$$\text{Resistencia a Compresión} = 10.477 (\% \text{ de A.F.}) + 76.562$$

### 3.6.5.1.2. Análisis

Según la Tabla N° 147 se tiene el valor de 76.562 y 10.477 para los parámetros de la curva  $b_0$  y  $b_1$  respectivamente.

### 3.6.5.2. Para la resistencia a flexión del concreto y el porcentaje de agregado fino

#### 3.6.5.2.1. Procesamiento

A continuación, se muestra los datos para el procesamiento del análisis para la obtención de los parámetros de la curva resistencia a flexión y el porcentaje de agregado fino.

Tabla N° 148: Datos de resistencia a flexión respecto a la adición de agregado fino para la obtención de los parámetros de la curva

		Resistencia a flexión								
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9
Adición de agregado fino	0%	18.12	20.59	19.07	20.33	16.88	22.91	19.16	19.99	17.12
	5%	24.74	21.53	22.27	25.66	22.77	21.17	20.21	25.83	27.37
	10%	30.37	28.23	37.39	28.73	27.98	30.33	28.74	21.17	30.98
	15%	35.87	33.88	30.81	35.01	30.10	35.00	36.57	31.72	33.94
	20%	44.95	36.77	39.95	40.41	38.88	36.95	36.91	37.78	44.78

Se calcula los argumentos  $b_0$ ,  $b_1$  para la obtención de los parámetros de la curva resistencia a flexión y el porcentaje de agregado fino.

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - b_1 \sum_{i=1}^n x_i}{n} = \bar{y} - b_1 \bar{x}$$

$$b_1 = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}$$

$$\text{Resistencia a flexión} = b_0 + b_1 \times \% \text{ de agregado fino}$$

Se tiene los siguientes resultados para el análisis:

Tabla N° 149: Resultados del análisis para la obtención de los parámetros de la curva resistencia a flexión y porcentaje de agregado fino

Estimaciones de parámetro	
$b_0$	$b_1$
19.178	1.017

Obteniendo la siguiente ecuación.





$$\text{Resistencia a Flexión} = 1.017 (\% \text{ de A.F.}) + 19.178$$

### 3.6.5.2.2. Análisis

Según la Tabla N° 149 se tiene el valor de 1.017 y 19.178 para los parámetros de la curva  $b_0$  y  $b_1$  respectivamente.

### 3.6.5.3. Para el coeficiente de permeabilidad y el porcentaje de agregado fino

#### 3.6.5.3.1. Procesamiento

A continuación, se muestra los datos para el procesamiento del análisis para la obtención de los parámetros de la curva coeficiente de permeabilidad y el porcentaje de agregado fino.

Tabla N° 150: Datos de coeficiente de permeabilidad respecto a la adición de agregado fino para la obtención de los parámetros de la curva

		Coeficiente de permeabilidad			
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Adición de agregado fino	0%	1.68	1.73	1.65	1.69
	5%	0.98	0.86	0.97	0.82
	10%	0.47	0.44	0.50	0.44
	15%	0.14	0.15	0.14	0.15
	20%	0.09	0.08	0.09	0.09

Se calcula los argumentos  $b_0$ ,  $b_1$  para la obtención de los parámetros de la curva coeficiente de permeabilidad y el porcentaje de agregado fino.

$$\ln(b_0) = \frac{\sum_{i=1}^n (\ln(y_i)) - b_1 \sum_{i=1}^n x_i}{n} = \overline{\ln(y)} - b_1 \bar{x}$$

$$b_1 = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i (\ln(y_i)) - (\sum_{i=1}^n x_i) (\sum_{i=1}^n (\ln(y_i)))}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}$$

$$\text{Coeficiente de permeabilidad} = b_0 \times e^{b_1 \times (\% \text{ de agregado fino})}$$

$$\ln(\text{Coeficiente de permeabilidad}) = \ln(b_0) + b_1 \times (\% \text{ de agregado fino})$$

Se tiene los siguientes resultados para el análisis:

Tabla N° 151: Resultados del análisis para la obtención de los parámetros de la curva coeficiente de permeabilidad y porcentaje de agregado fino

Estimaciones de parámetro	
$b_0$	$b_1$
1.827	-0.155



Obteniendo la siguiente ecuación.

$$\text{Coeficiente de Permeabilidad} = 1.827 e^{-0.155(\% \text{ de A.F.})}$$

### 3.6.5.3.2. Análisis

Según la Tabla N° 151 se tiene el valor de 1.827 y -0.155 para los parámetros de la curva  $b_0$  y  $b_1$  respectivamente.

### 3.6.5.4. Para la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto y la resistencia a flexión del concreto

#### 3.6.5.4.1. Procesamiento

A continuación, se muestra los datos para el procesamiento del análisis para la obtención de los parámetros de la curva resistencia a compresión y resistencia a flexión.

Tabla N° 152: Datos de resistencia a compresión y resistencia a flexión

	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9
Resistencia a flexión	257.75	292.84	271.18	289.18	239.42	325.89	272.57	284.28	243.53
Resistencia a compresión <sup>2/3</sup>	109.70	102.26	112.38	123.95	109.84	110.86	110.21	109.28	105.15
Resistencia a flexión	351.81	306.26	316.80	364.90	323.91	301.07	287.45	367.34	389.26
Resistencia a compresión <sup>2/3</sup>	148.77	149.87	145.03	144.74	144.04	135.37	140.29	144.48	140.15
Resistencia a flexión	431.95	401.56	531.79	408.65	397.90	431.31	408.76	457.59	440.66
Resistencia a compresión <sup>2/3</sup>	190.66	185.05	198.34	186.38	190.55	189.53	188.84	187.88	191.21
Resistencia a flexión	510.13	481.88	438.14	497.94	428.05	497.79	520.16	451.14	482.69
Resistencia a compresión <sup>2/3</sup>	228.48	210.78	225.31	219.45	231.79	231.04	222.24	216.93	207.35
Resistencia a flexión	639.32	523.01	568.19	574.77	552.95	525.47	525.00	537.37	636.91
Resistencia a compresión <sup>2/3</sup>	249.81	258.79	267.23	281.52	251.15	254.24	247.92	245.05	248.15

Se calcula los argumentos  $b_0$ ,  $b_1$  para la obtención de los parámetros de la curva resistencia a compresión y resistencia a flexión.

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2}$$

$$\text{Resistencia a Flexión} = b_1 (\text{Resistencia a Compresión})^{2/3}$$



Se tiene los siguientes resultados para el análisis:

Tabla N° 153: Resultados del análisis para la obtención de los parámetros de la curva resistencia a compresión y resistencia a flexión

Estimaciones de parámetro
b1
2.2407

Obteniendo la siguiente ecuación.

$$\text{Resistencia a Flexión} = 2.2407 (\text{Resistencia a Compresión})$$

### 3.6.5.4.2. Análisis

Según la Tabla N° 153 se tiene el valor de 2.2407 para el parámetro de la curva b1.

### 3.6.5.5. Para la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto y el coeficiente de permeabilidad

#### 3.6.5.5.1. Procesamiento

A continuación, se muestra los datos para el procesamiento del análisis para la obtención de los parámetros de la curva resistencia a compresión y coeficiente de permeabilidad.

Tabla N° 154: Datos de resistencia a compresión y coeficiente de permeabilidad

		Resistencia a compresión kg/cm <sup>2</sup>	Permeabilidad
Adición de agregado fino	0%	81.64	1.68499984
	5%	121.0736786	0.90964285
	10%	183.9082524	0.46211302
	15%	231.8731051	0.14227679
	20%	288.1594582	0.08916811

Se calcula los argumentos b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub> para la obtención de los parámetros de la curva resistencia a compresión y coeficiente de permeabilidad.

$$\ln(b_0) = \frac{\sum_{i=1}^n (\ln(y_i)) - b_1 \sum_{i=1}^n x_i}{n} = \overline{\ln(y)} - b_1 \bar{x}$$



$$b_1 = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i (\ln (y_i)) - (\sum_{i=1}^n x_i) (\sum_{i=1}^n (\ln (y_i)))}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}$$

$$\text{Coeficiente de permeabilidad} = b_0 \times e^{b_1 \times (\text{Resistencia a Compresión})}$$

$$\ln (\text{Coeficiente de permeabilidad}) = \ln (b_0) + b_1 \times (\text{Resistencia a Compresión})$$

Se tiene los siguientes resultados para el análisis:

Tabla N° 155: Resultados del análisis para la obtención de los parámetros de la curva resistencia a compresión y coeficiente de permeabilidad

Estimaciones de parámetro	
b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>
5.610	-0.015

Obteniendo la siguiente ecuación.

$$\text{Coeficiente de Permeabilidad} = 5.610 e^{-0.015(F \cdot c)}$$

### 3.6.5.5.2. Análisis

Según la Tabla N° 155 se tiene el valor de 5.610 y -0.015 para los parámetros de la curva b<sub>0</sub> y b<sub>1</sub> respectivamente.

### 3.6.5.6. Para la resistencia a flexión del concreto y el coeficiente de permeabilidad

#### 3.6.5.6.1. Procesamiento

A continuación, se muestra los datos para el procesamiento del análisis para la obtención de los parámetros de la curva resistencia a flexión y coeficiente de permeabilidad.

Tabla N° 156: Datos de resistencia a flexión y coeficiente de permeabilidad

		Resistencia a flexión kg/cm <sup>2</sup>	Permeabilidad
Adición de agregado fino	0%	19.34760382	1.68499984
	5%	23.50492971	0.90964285
	10%	30.54662849	0.46211302
	15%	33.65367148	0.14227679
	20%	39.70864838	0.08916811



Se calcula los argumentos  $b_0$ ,  $b_1$  para la obtención de los parámetros de la curva resistencia a compresión y coeficiente de permeabilidad.

$$\ln(b_0) = \frac{\sum_{i=1}^n (\ln(y_i)) - b_1 \sum_{i=1}^n x_i}{n} = \overline{\ln(y)} - b_1 \bar{x}$$

$$b_1 = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i (\ln(y_i)) - (\sum_{i=1}^n x_i) (\sum_{i=1}^n (\ln(y_i)))}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}$$

$$\text{Coeficiente de permeabilidad} = b_0 \times e^{b_1 \times (\text{Resistencia a Flexión})}$$

$$\ln(\text{Coeficiente de permeabilidad}) = \ln(b_0) + b_1 \times (\text{Resistencia a Flexión})$$

Se tiene los siguientes resultados para el análisis:

Tabla N° 157: Resultados del análisis para la obtención de los parámetros de la curva resistencia a flexión y coeficiente de permeabilidad

Estimaciones de parámetro	
$b_0$	$b_1$
31.087	-0.149

Obteniendo la siguiente ecuación.

$$\text{Coeficiente de Permeabilidad} = 31.087 e^{-0.149(F^t)}$$

### 3.6.5.6.2. Análisis

Según la Tabla N° 157 se tiene el valor de 31.087 y -0.140 para los parámetros de la curva  $b_0$  y  $b_1$  respectivamente.

## 3.6.6. Análisis estadístico de correlación de los resultados

### 3.6.6.1. Para la resistencia a compresión y el porcentaje de agregado fino

#### 3.6.6.1.1. Procesamiento

A continuación, se muestra los datos para el procesamiento del análisis de correlación de los resultados de resistencia a compresión y el porcentaje de agregado fino.



Tabla N° 158: Datos de resistencia a compresión respecto a la adición de agregado fino para análisis de correlación

		Resistencia a compresión								
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9
Adición de agregado fino	0%	80.78	72.71	83.76	97.02	80.94	82.06	81.35	80.31	75.81
	5%	127.58	128.99	122.80	122.43	121.43	110.74	116.83	122.10	116.66
	10%	185.10	176.99	196.39	178.89	184.94	183.46	182.46	181.07	185.89
	15%	242.81	215.16	237.79	228.56	248.12	246.91	232.93	224.65	209.93
	20%	277.61	292.71	307.15	332.11	279.84	285.02	274.46	269.70	274.83

Se tienen los resultados del análisis.

Tabla N° 159: Resultados del análisis de correlación entre resistencia a compresión y porcentaje de agregado fino

Correlación de Pearson	0.987
------------------------	-------

### 3.6.6.1.2. Análisis

Según la Tabla N° 159 se tiene un coeficiente de Pearson de 0.987 lo cual indica que:

- La resistencia a compresión es directamente proporcional al porcentaje de agregado fino,
- La correlación entre la resistencia a compresión y el porcentaje de agregado fino es positiva fuerte,

### 3.6.6.2. Para la resistencia a flexión del concreto y el porcentaje de agregado fino

#### 3.6.6.2.1. Procesamiento

A continuación, se muestra los datos para el procesamiento del análisis de correlación de los resultados de resistencia a flexión y el porcentaje de agregado fino.

Tabla N° 160: Datos de resistencia a flexión respecto a la adición de agregado fino para análisis de correlación

		Resistencia a flexión								
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9
Adición de agregado fino	0%	18.12	20.59	19.07	20.33	16.88	22.91	19.16	19.99	17.12
	5%	24.74	21.53	22.27	25.66	22.77	21.17	20.21	25.83	27.37
	10%	30.37	28.23	37.39	28.73	27.98	30.33	28.74	21.17	30.98
	15%	35.87	33.88	30.81	35.01	30.10	35.00	36.57	31.72	33.94
	20%	44.95	36.77	39.95	40.41	38.88	36.95	36.91	37.78	44.78



Se tienes los resultados del análisis.

Tabla N° 161: Resultados del análisis de correlación entre resistencia a flexión y porcentaje de agregado fino

Correlación de Pearson	0.942
------------------------	-------

### 3.6.6.2.2. Análisis

Según la Tabla N° 161 se tiene un coeficiente de Pearson de 0.942 lo cual indica que:

- La resistencia a flexión es directamente proporcional al porcentaje de agregado fino,
- La correlación entre la resistencia a flexión y el porcentaje de agregado fino es positiva fuerte.

### 3.6.6.3. Para el coeficiente de permeabilidad y el porcentaje de agregado fino

#### 3.6.6.3.1. Procesamiento

A continuación, se muestra los datos para el procesamiento del análisis de correlación de los resultados de coeficiente de permeabilidad y el porcentaje de agregado fino.

Tabla N° 162: Datos de coeficiente de permeabilidad respecto a la adición de agregado fino para análisis de correlación

		Coeficiente de permeabilidad			
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Adición de agregado fino	0%	1.68	1.73	1.65	1.69
	5%	0.98	0.86	0.97	0.82
	10%	0.47	0.44	0.50	0.44
	15%	0.14	0.15	0.14	0.15
	20%	0.09	0.08	0.09	0.09

Se tienes los resultados del análisis.

Tabla N° 163: Resultados del análisis de correlación entre coeficiente de permeabilidad y porcentaje de agregado fino

Correlación de Pearson	-0.991
------------------------	--------

### 3.6.6.3.2. Análisis

Según la Tabla N° 163 se tiene un coeficiente de Pearson de -0.991 lo cual indica que:

- El coeficiente de permeabilidad es inversamente proporcional al porcentaje de agregado fino,



- La correlación entre el coeficiente de permeabilidad y el porcentaje de agregado fino es negativa fuerte,

### 3.6.6.4. Para la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto y la resistencia a flexión del concreto

#### 3.6.6.4.1. Procesamiento

A continuación, se muestra el cuadro de datos de resistencia a compresión y resistencia a la flexión, para el procesamiento del análisis de correlación.

Tabla N° 164: Datos de resistencia a compresión y resistencia a flexión

	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9
<b>Resistencia a flexión</b>	257.75	292.84	271.18	289.18	239.42	325.89	272.57	284.28	243.53
<b>Resistencia a compresión<sup>2/3</sup></b>	109.70	102.26	112.38	123.95	109.84	110.86	110.21	109.28	105.15
<b>Resistencia a flexión</b>	351.81	306.26	316.80	364.90	323.91	301.07	287.45	367.34	389.26
<b>Resistencia a compresión<sup>2/3</sup></b>	148.77	149.87	145.03	144.74	144.04	135.37	140.29	144.48	140.15
<b>Resistencia a flexión</b>	431.95	401.56	531.79	408.65	397.90	431.31	408.76	457.59	440.66
<b>Resistencia a compresión<sup>2/3</sup></b>	190.66	185.05	198.34	186.38	190.55	189.53	188.84	187.88	191.21
<b>Resistencia a flexión</b>	510.13	481.88	438.14	497.94	428.05	497.79	520.16	451.14	482.69
<b>Resistencia a compresión<sup>2/3</sup></b>	228.48	210.78	225.31	219.45	231.79	231.04	222.24	216.93	207.35
<b>Resistencia a flexión</b>	639.32	523.01	568.19	574.77	552.95	525.47	525.00	537.37	636.91
<b>Resistencia a compresión<sup>2/3</sup></b>	249.81	258.79	267.23	281.52	251.15	254.24	247.92	245.05	248.15

Se tiene los resultados del análisis.

Tabla N° 165: Resultados del análisis de correlación entre la resistencia a compresión y resistencia a flexión

Correlación de Pearson	0.938
------------------------	-------

#### 3.6.6.4.2. Análisis

Según la Tabla N° 165 se tiene un coeficiente de Pearson de 0.938 lo cual indica que:

- La resistencia a flexión es directamente proporcional a la resistencia a compresión.
- La correlación entre la resistencia a flexión y la resistencia a compresión es positiva fuerte.





### 3.6.6.5. Para la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto y el coeficiente de permeabilidad

#### 3.6.6.5.1. Procesamiento

A continuación, se muestra el cuadro de datos de resistencia a compresión y permeabilidad, para el procesamiento del análisis de correlación.

Tabla N° 166: Datos de resistencia a compresión y coeficiente de permeabilidad

		Resistencia a compresión kg/cm <sup>2</sup>	Permeabilidad
Adición de agregado fino	0%	81.64	1.68499984
	5%	121.0736786	0.90964285
	10%	183.9082524	0.46211302
	15%	231.8731051	0.14227679
	20%	288.1594582	0.08916811

Se tiene los resultados del análisis.

Tabla N° 167: Resultados del análisis de correlación entre la resistencia a compresión y coeficiente de permeabilidad

Correlación de Pearson	-0.990
------------------------	--------

#### 3.6.6.5.2. Análisis

Según la Tabla N° 167 se tiene un coeficiente de Pearson de -0.990 lo cual indica que:

- La permeabilidad es inversamente proporcional a la resistencia a compresión.
- La correlación entre la permeabilidad y la resistencia a compresión es negativa fuerte.

### 3.6.6.6. Para la resistencia a resistencia a flexión del concreto y el coeficiente de permeabilidad

#### 3.6.6.6.1. Procesamiento

A continuación, se muestra el cuadro de datos de resistencia a flexión y permeabilidad, para el procesamiento del análisis de correlación.

Tabla N° 168: Datos de resistencia a flexión y coeficiente de permeabilidad



		Resistencia a flexión kg/cm <sup>2</sup>	Permeabilidad
Adición de agregado fino	0%	19.34760382	1.68499984
	5%	23.50492971	0.90964285
	10%	30.54662849	0.46211302
	15%	33.65367148	0.14227679
	20%	39.70864838	0.08916811

Se tiene los resultados del análisis.

Tabla N° 169: Resultados del análisis de correlación entre la resistencia a flexión y coeficiente de permeabilidad

Correlación de Pearson	-0.978
------------------------	--------

#### 3.6.6.2. Análisis

Según la Tabla N° 169 se tiene un coeficiente de Pearson de -0.978 lo cual indica que:

- La permeabilidad es inversamente proporcional a la resistencia a flexión.
- La correlación entre la permeabilidad y la resistencia a flexión es negativa fuerte.



## Capítulo IV: Resultados

### 4.1. Resultado N° 1: Características de los agregados

#### 4.1.1. Características del agregado grueso de la cantera de Vicho

Tabla N° 170: Resumen de las características del agregado grueso

CARACTERÍSTICAS DEL AGREGADO GRUESO DE VICHO				PARÁMETRO DEL AGREGADO GRUESO PARA USO EN CONCRETO PERMEABLE SEGÚN ASTM C 33
NOMBRE DEL ENSAYO	NORMATIVA DEL ENSAYO	UNIDAD	VALOR	
Porcentaje total de humedad evaporable del agregado por secado	ASTM C 566	%	1.74	-
Material más fino que pasa por la malla N° 200	ASTM C 117	%	0.51	Valor máximo de 1 %, para considerar el lavado del agregado para su uso en la elaboración de concreto permeable.
Análisis granulométrico	ASTM C 136	HUSO	6	De acuerdo al parámetro y criterio de diseño de mezcla se usa para esta investigación el tamaño de HUSO 6
Resistencia al desgaste por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles	ASTM C 131	%	13.30	Valor máximo de 50 %, para considerar el uso del agregado en la elaboración de concreto permeable.
Peso específico en masa	ASTM C 127	gr/cm <sup>3</sup>	2.64	-
Peso específico saturado superficialmente seco	ASTM C 127	gr/cm <sup>3</sup>	2.688	-
Absorción	ASTM C 127	%	1.77	-
Peso unitario suelto	ASTM C 29	gr/cm <sup>3</sup>	1.388	-
Peso unitario compactado	ASTM C 29	gr/cm <sup>3</sup>	1.527	-

#### Análisis:

En la Tabla N° 170, se muestra los valores diferentes obtenidos mediante los ensayos de laboratorio para el agregado grueso de Vicho, considerando las normativas del ASTM C 33. Estos parámetros se encuentran dentro de los rangos permitidos para su utilización para el diseño de mezclas del concreto permeable.



#### 4.1.2. Características del agregado fino de Pisac y Cunyac en proporciones de 75% y 25% respectivamente

Tabla N° 171: Resumen de las características del agregado fino

CARACTERÍSTICAS DEL FINO COMPENSADO DE CUNYAC Y PISAC				PARÁMETRO DEL AGREGADO FINO PARA USO EN CONCRETO PERMEABLE SEGÚN ASTM C 33
NOMBRE DEL ENSAYO	NORMATIVA DEL ENSAYO	UNIDAD	VALOR	
Porcentaje total de humedad evaporable del agregado por secado	ASTM C 566	%	1.01	-
Material más fino que pasa por la malla N° 200	ASTM C 117	%	2.00	Valor máximo de 3 %, para considerar el lavado del agregado para su uso en la elaboración de concreto permeable.
Análisis granulométrico	ASTM C 136	-	-	La arena debe de cumplir con la granulometría especificada según ASTM C 33.
Módulo de Fineza	ASTM C 136	-	2.71	Se tiene un módulo de finura de 2.71 el cual está dentro del rango establecido por la norma de 2.3 a 3.1.
Peso específico en masa	ASTM C 127	gr/cm <sup>3</sup>	2.462	-
Peso específico saturado superficialmente seco	ASTM C 127	gr/cm <sup>3</sup>	2.487	-
Absorción	ASTM C 127	%	1.02	-
Peso unitario suelto	ASTM C 29	gr/cm <sup>3</sup>	1.388	-
Peso unitario compactado	ASTM C 29	gr/cm <sup>3</sup>	1.525	-

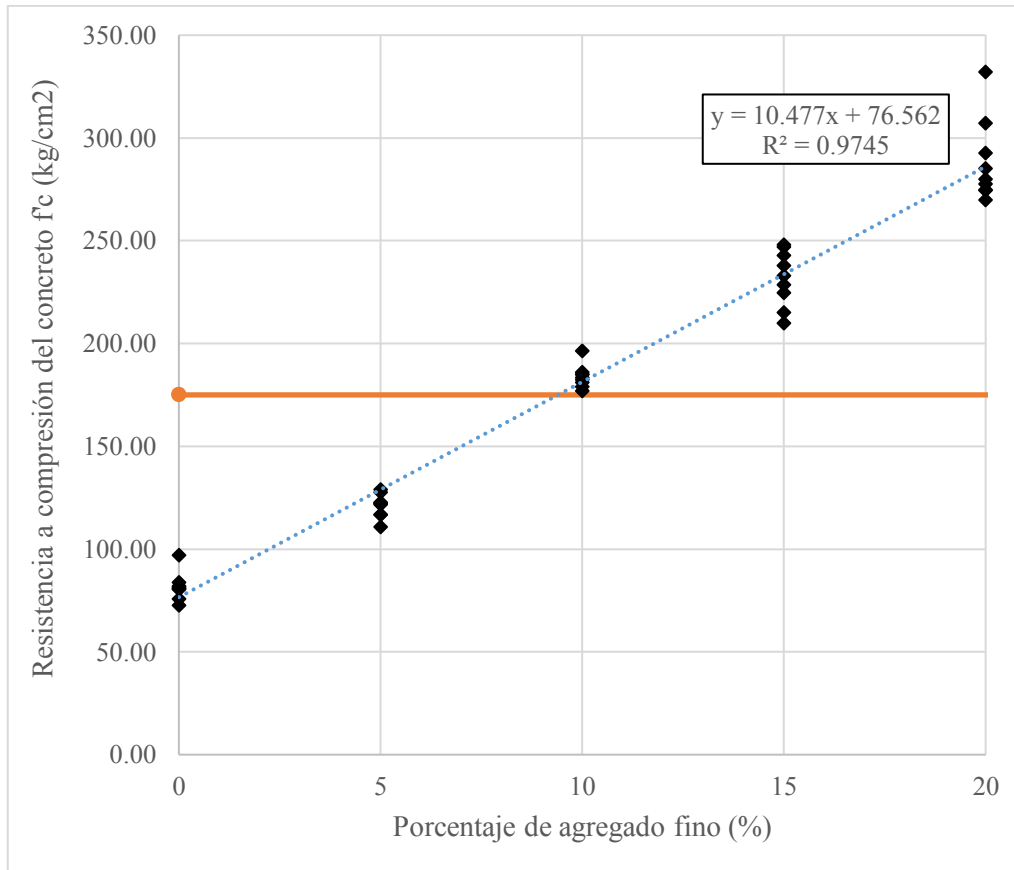
#### Análisis:

En la Tabla N° 171, se muestra los valores diferentes obtenidos mediante los ensayos de laboratorio para el agregado fino de las canteras de Pisac y Cunyac en proporciones 75% y 25%, considerando las normativas del ASTM C 33. Estos parámetros se encuentran dentro de los rangos permitidos para su utilización para el diseño de mezclas del concreto permeable.



#### 4.2. Resultados N° 2: Curva de aproximación porcentaje de agregado fino – resistencia a compresión

Tabla N° 172: Curva de aproximación porcentaje de agregado fino – resistencia a compresión



#### Ejemplo de estimación de porcentaje de agregado fino para solicitaciones específicas de resistencia a compresión

- 1° Se selecciona la especificación de resistencia a compresión necesaria para diseño.
- 2° Se procede a reemplazar el valor de la resistencia a compresión por el valor de “y” en la fórmula modelo de estimación siguiente:

$$y = 10.477x + 76.562 \quad \text{ó} \quad x = (y - 76.562) / 10.477$$

- 3° El resultado obtenido es “x” que viene a ser el estimado de agregado fino necesario para lograr la resistencia a compresión requerida.
- 4° A continuación se muestra una tabla con las solicitaciones de resistencia a compresión del concreto permeable más comunes en nuestro medio:



Tabla N° 173: Solicitaciones de resistencia a compresión del concreto permeable

Solicitud de Resistencia a Compresión del Concreto Permeable	Estimado de Adición de Agregado Fino en la mezcla
175 kg/cm <sup>2</sup>	9.40 %
210 kg/cm <sup>2</sup>	12.74%
245 kg/cm <sup>2</sup>	16.08 %

Tabla N° 174: Resumen de modelo y estimaciones de parámetro de la curva porcentaje de agregado fino - resistencia a compresión

**Resumen de modelo y estimaciones de parámetro**

Variable dependiente: Resistencia a Compresión

Ecuación	Resumen del modelo	Estimaciones de parámetro	
	R cuadrado	Constante	b1
Lineal	0.975	76.562	10.477

**Análisis:**

En la Tabla N° 174, se muestran las estimaciones de parámetro para la curva de aproximación “Porcentaje de agregado fino - Resistencia a Compresión”, obteniendo la siguiente ecuación:

$$\text{Resistencia a Compresión} = 10.477 (\% \text{ de A.F.}) + 76.562$$

Según la ecuación de la curva de aproximación “Porcentaje de agregado fino - Resistencia a Compresión” se determina que el rango de porcentaje de agregado fino que satisface la resistencia a compresión de 175 kg/cm<sup>2</sup> es del 9.40% al 20%.



### 4.3. Resultados N° 3: Curva de aproximación porcentaje de agregado fino – resistencia a flexión

Tabla N° 175: Curva de aproximación porcentaje de agregado fino – resistencia a flexión

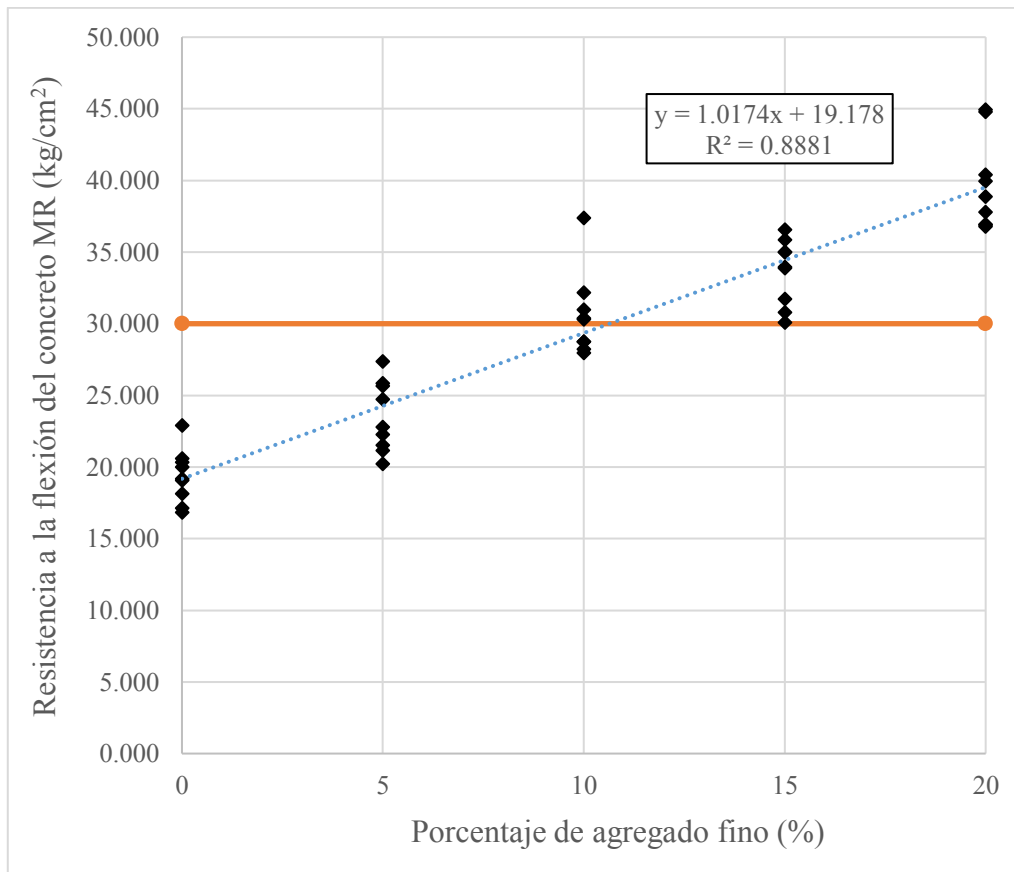


Tabla N° 176: Resumen de modelo y estimaciones de parámetro de la curva porcentaje de agregado fino - resistencia a flexión

#### Resumen de modelo y estimaciones de parámetro

Variable dependiente: Resistencia a Flexión

Ecuación	Resumen del modelo		Estimaciones de parámetro	
	R cuadrado	Constante	b1	
Lineal	0.888	19.178	1.017	

#### Análisis:

En la Tabla N° 176, se muestran las estimaciones de parámetro para la curva de aproximación “Porcentaje de agregado fino - Resistencia a Flexión”, obteniendo la siguiente ecuación:

$$\text{Resistencia a Flexión} = 1.017 (\% \text{ de A.F.}) + 19.178$$



Según la ecuación de la curva de aproximación “Porcentaje de agregado fino - Resistencia a Flexión” se determina que el rango de porcentaje de agregado fino que satisface la resistencia a flexión de 30 kg/cm<sup>2</sup> es del 10.64% al 20%.

#### 4.4. Resultados N° 4: Curva de aproximación porcentaje de agregado fino – coeficiente de permeabilidad

Tabla N° 177: Curva de aproximación porcentaje de agregado fino – coeficiente de permeabilidad

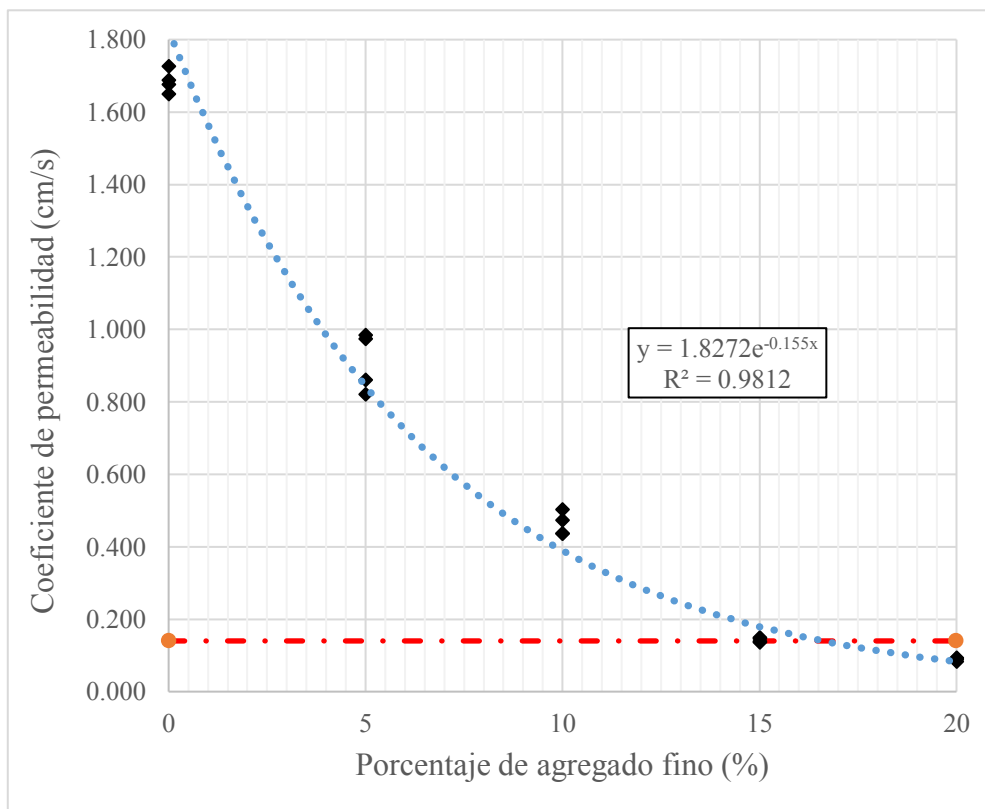


Tabla N° 178: Resumen de modelo y estimaciones de parámetro de la curva porcentaje de agregado fino – coeficiente de permeabilidad

#### Resumen de modelo y estimaciones de parámetro

Variable dependiente: Coeficiente de Permeabilidad

Ecuación	Resumen del modelo		Estimaciones de parámetro	
	R cuadrado	Constante	b1	
Exponencial	0.981	1.827	-0.155	





### Análisis:

En la Tabla N° 178, se muestran las estimaciones de parámetro para la curva de aproximación “Porcentaje de agregado fino - Coeficiente de permeabilidad” obteniendo la siguiente ecuación:

$$\text{Coeficiente de Permeabilidad} = 1.827 e^{-0.155(\% \text{ de A.F.})}$$

Según la ecuación de la curva de aproximación “Porcentaje de agregado fino - Coeficiente de permeabilidad” se determina que el rango de porcentaje de agregado fino que satisface el coeficiente de permeabilidad de 1.4 cm/s es del 0.00% al 16.61%.

### 4.5. Resultados N° 5: Curva de aproximación resistencia a compresión – resistencia a flexión

Tabla N° 179: Curva de aproximación resistencia a compresión – resistencia a flexión

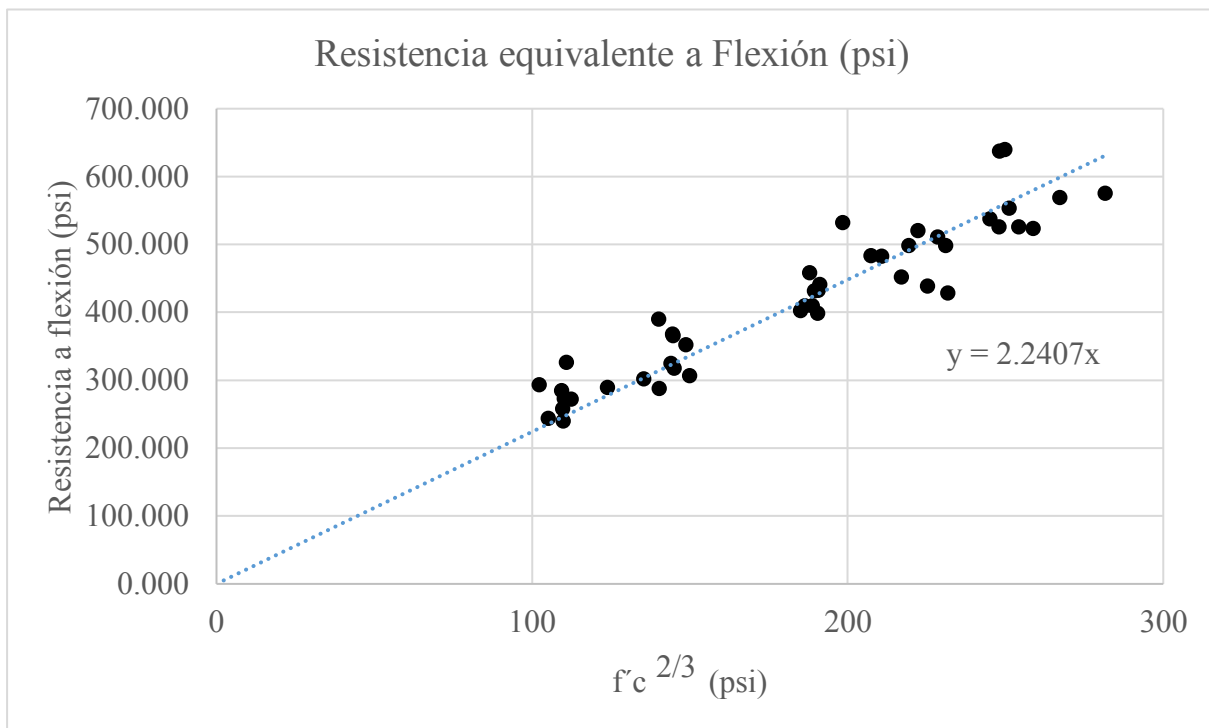




Tabla N° 180: Resumen de modelo y estimaciones de parámetro de la curva resistencia a compresión – resistencia a flexión

**Resumen de modelo y estimaciones de parámetro**

Variable dependiente: Resistencia a Flexión

Ecuación	Resumen del modelo	Estimaciones de parámetro
	R	b1
Lineal	0.938	2.241

**Análisis:**

En la Tabla N° 180, se muestran las estimaciones de parámetro para la curva de aproximación “resistencia a compresión – resistencia a flexión”, obteniendo la siguiente ecuación:

$$\text{Resistencia a Flexión} = 2.241 (\text{Resistencia a Compresión})^{2/3} (\text{psi})$$

**4.6. Resultados N° 6: Curva de aproximación resistencia a compresión – coeficiente de permeabilidad**

Tabla N° 181: Curva de aproximación resistencia a compresión – coeficiente de permeabilidad

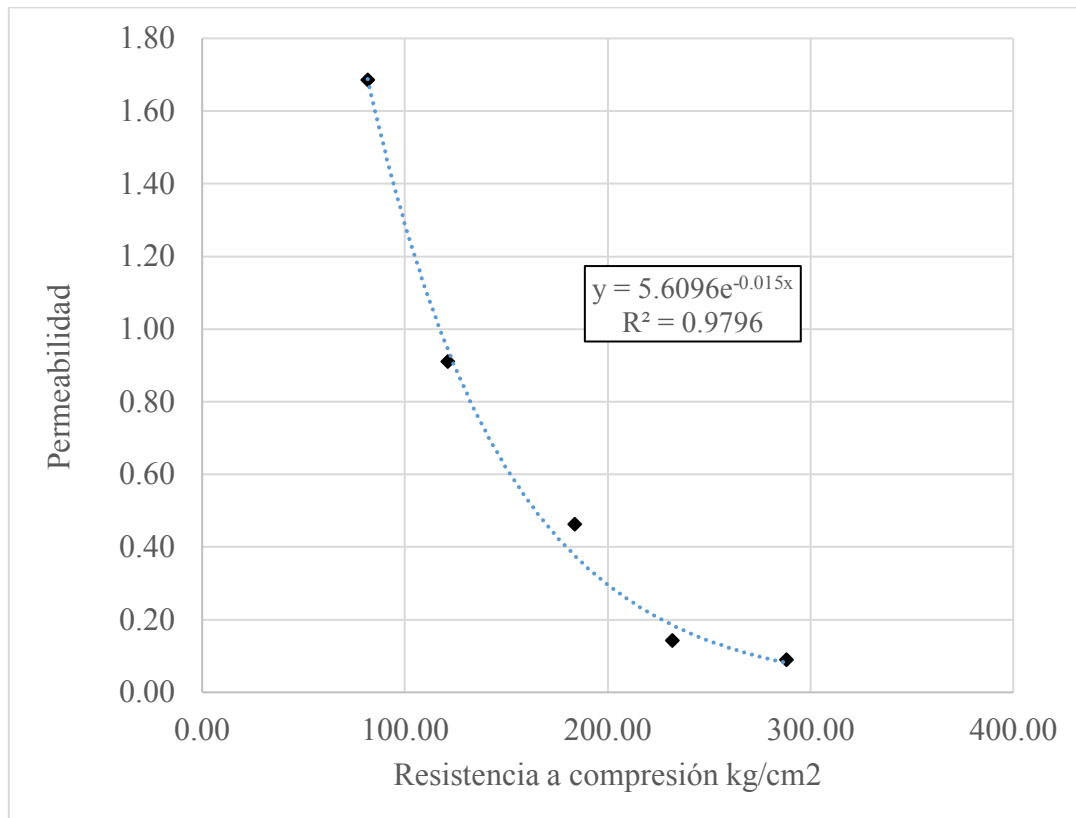




Tabla N° 182: Resumen de modelo y estimaciones de parámetro de la curva resistencia a compresión – coeficiente de permeabilidad

**Resumen de modelo y estimaciones de parámetro**

Variable dependiente: Permeabilidad

Ecuación	Resumen del modelo	Estimaciones de parámetro	
	R cuadrado	Constante	b1
Exponencial	0.980	5.610	-0.015

**Análisis:**

En la Tabla N° 182, se muestran las estimaciones de parámetro para la curva de aproximación “resistencia a compresión – coeficiente de permeabilidad”, obteniendo la siguiente ecuación:

$$\text{Coeficiente de Permeabilidad} = 5.610 e^{-0.015(F \cdot c)}$$

**4.7. Resultados N° 7: Curva de aproximación resistencia a flexión – coeficiente de permeabilidad**

Tabla N° 183: Curva de aproximación resistencia a flexión – coeficiente de permeabilidad

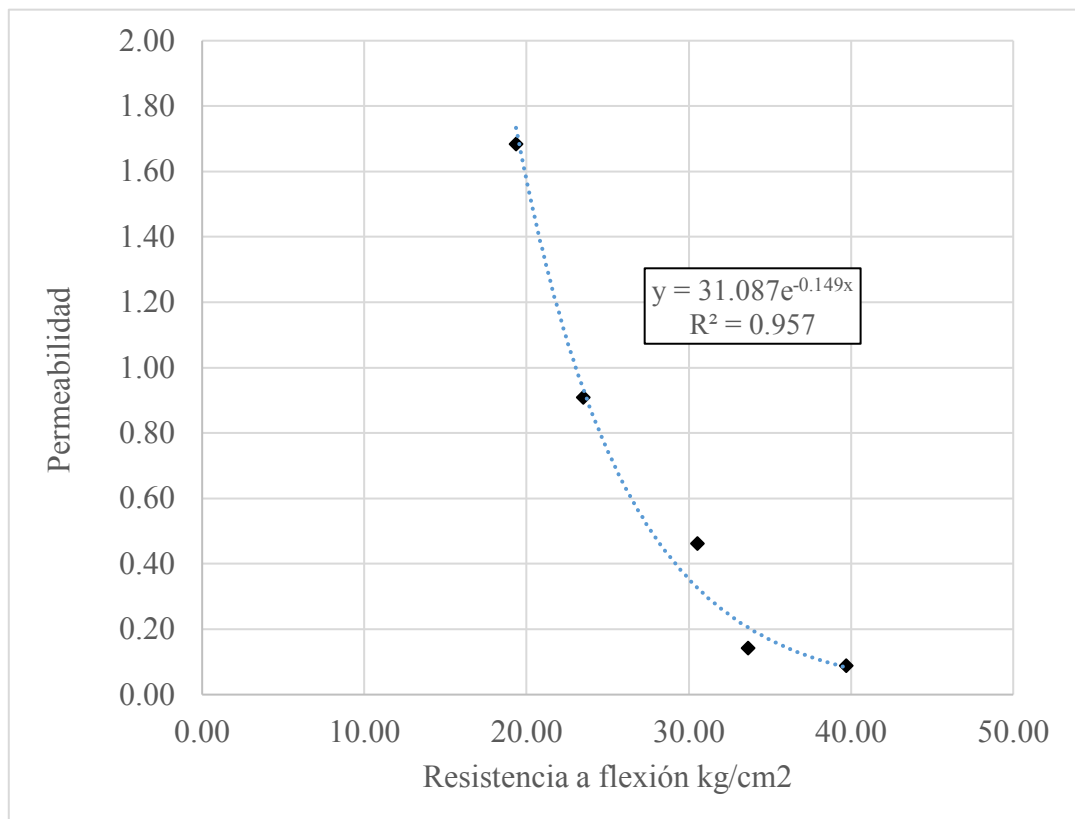




Tabla N° 184: Resumen de modelo y estimaciones de parámetro de la curva resistencia a flexión – coeficiente de permeabilidad

**Resumen de modelo y estimaciones de parámetro**

Variable dependiente: Permeabilidad

Ecuación	Resumen del modelo	Estimaciones de parámetro	
	R cuadrado	Constante	b1
Exponencial	0.957	31.087	-0.149

**Análisis:**

En la Tabla N° 184, se muestran las estimaciones de parámetro para la curva de aproximación “resistencia a flexión – coeficiente de permeabilidad”, obteniendo la siguiente ecuación:

$$\text{Coeficiente de Permeabilidad} = 31.087 e^{-0.149(F't)}$$

**4.8. Resultados N° 8: Porcentaje óptimo de agregado fino**

Tabla N° 185: Intersección de curvas de aproximación de resistencia a compresión, flexión y coeficiente de permeabilidad

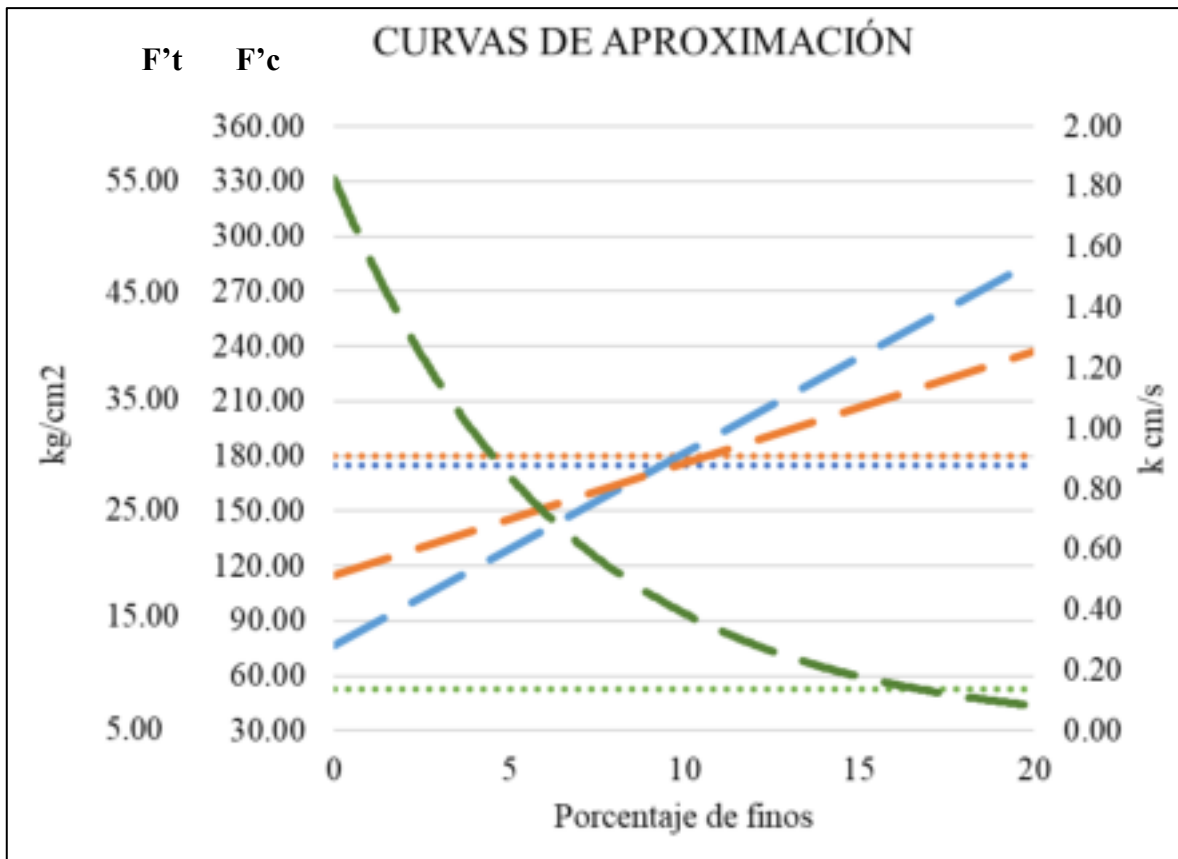




Tabla N° 186: Intersección de rangos individuales de las propiedades del concreto permeable para determinación de rango óptimo de agregado fino

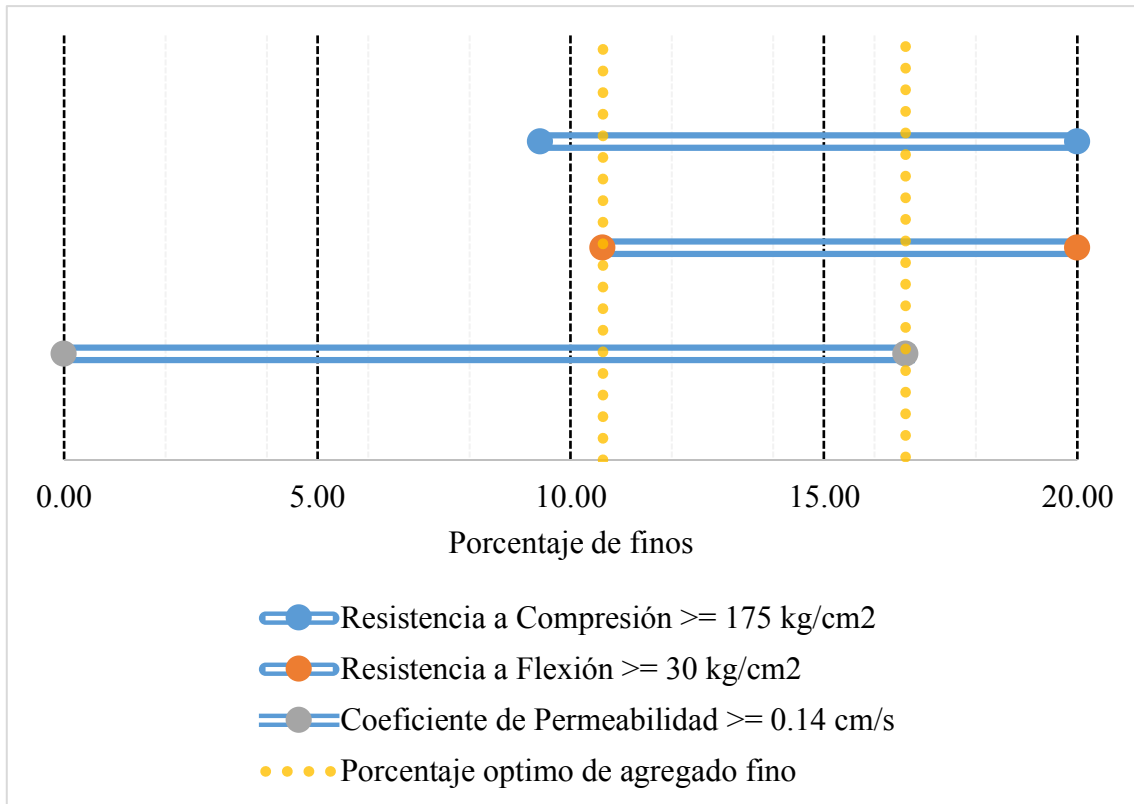


Tabla N° 187: Resumen de parámetros calculados del porcentaje óptimo de agregado fino

Resistencia a Compresión $\geq 175$ kg/cm <sup>2</sup>		
% A.F entre:	9.40	20.00
Resistencia a Flexión $\geq 30$ kg/cm <sup>2</sup>		
% A.F entre:	10.64	20.00
Coeficiente de Permeabilidad $\geq 0.14$ cm/s		
% A.F entre:	00.00	16.61
<b>Porcentaje óptimo de A.F.</b>	<b>10.64</b>	<b>16.61</b>

### Análisis:

Según la Tabla N° 187, se obtiene el porcentaje óptimo de agregado fino en el intervalo del 11% al 16%.



## Capítulo V: Discusión

### 5.1. Contraste de resultados con los parámetros necesarios para uso de los agregados en la elaboración de concreto permeable

#### ¿Cumple el agregado grueso con los requerimientos para su uso en la elaboración del concreto permeable?

De acuerdo a los parámetros obtenidos habiendo desarrollado los ensayos establecidos, podemos afirmar que, el agregado grueso de la cantera de Vicho si es apto para su utilización en el diseño de mezcla y posterior elaboración de muestras de concreto. A continuación, se detallan los parámetros y sus descripciones:

Tabla N° 188: Parámetros y características del agregado grueso de Vicho

CARACTERÍSTICAS DEL AGREGADO GRUESO DE VICHO			PARÁMETRO DEL AGREGADO GRUESO PARA USO EN CONCRETO PERMEABLE SEGÚN ASTM C 33
NOMBRE DEL ENSAYO	UNIDAD	VALOR	
Material más fino que pasa por la malla N° 200	%	0.51	Valor máximo de 1 %, para considerar el lavado del agregado para su uso en la elaboración de concreto permeable.
Análisis granulométrico	HUSO	6	De acuerdo al parámetro y criterio de diseño de mezcla se usa para esta investigación el tamaño de HUSO 6
Resistencia al desgaste por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles	%	13.30	Valor máximo de 50 %, para considerar el uso del agregado en la elaboración de concreto permeable.

#### ¿Cumple el agregado fino con los requerimientos para su uso en la elaboración del concreto permeable?

De acuerdo a los parámetros obtenidos habiendo desarrollado los ensayos establecidos, se puede afirmar que, el agregado fino compensado de las canteras de Pisac y Vicho en proporciones 75% y 25%, si es apto para su utilización en el diseño de mezcla y posterior elaboración de muestras de concreto. A continuación, se detallan los parámetros y sus descripciones:



Tabla N° 189: Parámetros y características del agregado fino compensado de Pisac y Cunyac

CARACTERÍSTICAS DEL FINO COMPENSADO DE CUNYAC Y PISAC			
NOMBRE DEL ENSAYO	UNIDAD	VALOR	DESCRIPCIÓN
Material más fino que pasa por la malla N° 200	%	2.00	Valor máximo de 3 %, para considerar el lavado del agregado para su uso en la elaboración de concreto permeable.
Análisis granulométrico	-	-	La arena debe de cumplir con la granulometría especificada según ASTM C 33.
Módulo de Fineza	-	2.71	Se tiene un módulo de finura de 2.71 el cual está dentro del rango establecido por la norma de 2.3 a 3.1.

### ¿Por qué se realizó una compensación de agregado fino de las canteras de Cunyac y Pisac?

En un principio solo se pensaba diseñar el concreto permeable con el agregado fino procedente de la cantera de Cunyac, pero al ver que no cumplía con los parámetros establecidos en la norma (curva granulométrica y módulo de finura) se optó por recurrir al agregado fino de la cantera de Pisac. Teniendo una combinación de ambas canteras él cual cumple con los límites superior e inferior de la curva granulométrica, brindando así un adecuado módulo de fineza con las proporciones de 75% y 25% tanto de la cantera de Pisac y Cunyac respectivamente.

### 5.2. Contraste de resultados referentes a los antecedentes

#### ¿Los ensayos realizados al agregado grueso de la cantera de Vicho guardan relación respecto a los ensayos realizados por los investigadores en el antecedente Nacional N° 1?

El agregado grueso utilizado para la elaboración de concreto permeable en esta investigación presenta características similares para los resultados de los ensayos de peso específico en masa, peso específico saturado superficialmente seco y absorción respecto de los resultados obtenidos por los investigadores del antecedente Nacional N° 1, de quienes se muestra la Tabla N° 190 (pág. 227), pero por otro lado los resultados de peso unitario suelto y peso unitario compactado no presentan resultados aproximados a los datos obtenidos en esta investigación, que se detalla en la Tabla N° 170 (pág. 214). Esto puede ser debido a que se toman diferentes granulometrías para cada investigación, pero ambos son de la misma procedencia.



Tabla N° 190: Cuadro resumen, características de los agregados Vicho y Zurite

CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS VICHO Y ZURITE			
NOMBRE DEL ENSAYO	SIEMBOLOGIA	UND	VALOR
Módulo de fineza del agregado fino Vicho yZurite:	M.F.		2.98
Peso unitario suelto A.G.	P.U.	kg/m <sup>3</sup>	1740.93
Peso unitario compactado A.G.	P.U.	kg/m <sup>3</sup>	1570.88
Peso unitario A.F.	P.U.	kg/m <sup>3</sup>	1673.02
Peso específico en masa de A.F.	Pem	gr/cm <sup>3</sup>	2.35
Peso específico con satura y superficie seca A.F.	Psas	gr/cm <sup>3</sup>	2.4
Peso específico aparente A.F.	Pea	gr/cm <sup>3</sup>	2.47
Absorción A.F.	ABS	%	2.03
Peso específico en masa de A.G.	Pem	gr/cm <sup>3</sup>	2.58
Peso específico con satura y superficie seca A.G.	Psas	gr/cm <sup>3</sup>	2.62
Peso específico aparente A.G.	Pea	gr/cm <sup>3</sup>	2.7
Absorción A.G.	ABS	%	1.74

Fuente: (CHOQUE CCARITAYÑA & CCANA SICOS, 2016)

¿Los resultados de resistencia a compresión de la presente investigación son similares a las obtenidas por los investigadores en el antecedente Nacional N° 2?

Efectivamente, se cuenta con la coincidencia en el diseño de concreto permeable con 15% de vacíos y sin la adición de agregado fino, y a continuación se detalla el resultado del antecedente para el diseño ya mencionado:

Tabla N° 191: Cuadro Resumen de todos los Ensayos Realizados en la Investigación

CUADRO RESUMEN DE TODOS LOS ENSAYOS REALIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN						
CARACTERÍSTICA DEL ENSAYO	Edad (Días)	Resistencia a la Compresión (MPa/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la Tracción (MPa/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la Flexión (MPa/cm <sup>2</sup> )	Resistencia al Desglose (%)	Porcentaje de Vacíos (%)
PP1 - SPA (R <sub>ac</sub> = 0.30) 10% vacíos, SIN FINOS	7	55	-	-	-	-
PP1 - SPA (R <sub>ac</sub> = 0.30) 10% vacíos, SIN FINOS	28	55	-	-	-	-
PP2 - SPA (R <sub>ac</sub> = 0.30) 10% vacíos, SIN FINOS	7	54	-	-	-	-
PP2 - SPA (R <sub>ac</sub> = 0.30) 10% vacíos, SIN FINOS	28	54	-	-	-	-
PP3 - SPA (R <sub>ac</sub> = 0.40) 10% vacíos, SIN FINOS	7	65	-	-	-	-
PP3 - SPA (R <sub>ac</sub> = 0.40) 10% vacíos, SIN FINOS	28	65	-	-	-	-
PP4 - SPA (R <sub>ac</sub> = 0.50) 10% vacíos, SIN FINOS	7	55	-	-	-	-
PP4 - SPA (R <sub>ac</sub> = 0.50) 10% vacíos, SIN FINOS	28	67	-	-	-	-
PP5 - SPA (R <sub>ac</sub> = 0.30) 10% vacíos, SIN FINOS	7	111	-	-	-	-
PP5 - SPA (R <sub>ac</sub> = 0.30) 10% vacíos, SIN FINOS	28	147	-	-	-	-
PP6 - SPA (R <sub>ac</sub> = 0.40) 10% vacíos, SIN FINOS	7	104	-	-	-	-
PP6 - SPA (R <sub>ac</sub> = 0.40) 10% vacíos, SIN FINOS	28	119	-	-	-	-
PP7 - SPA (R <sub>ac</sub> = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	7	150	35	33.8	-	-
PP7 - SPA (R <sub>ac</sub> = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	28	281	37	43.8	25.43	3.87
PP8 - SPA (R <sub>ac</sub> = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	7	437	44	42.0	-	-
PP8 - SPA (R <sub>ac</sub> = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	28	515	47	58.0	12.08	0.68
PP9 - SPA (R <sub>ac</sub> = 0.40) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	7	437	45	44.6	-	-
PP9 - SPA (R <sub>ac</sub> = 0.40) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	28	509	51	56.8	11.15	0.62
PP10 - SPA (R <sub>ac</sub> = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	7	154	33	30.8	-	-
PP10 - SPA (R <sub>ac</sub> = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	28	250	41	42.4	19.07	4.51
PP11 - SPA (R <sub>ac</sub> = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	7	156	33	32.1	-	-
PP11 - SPA (R <sub>ac</sub> = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	28	267	35	44.5	18.04	3.52
PP12 - SPA (R <sub>ac</sub> = 0.40) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	7	188	35	35.0	-	-
PP12 - SPA (R <sub>ac</sub> = 0.40) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	28	324	37	45.0	16.60	3.07
PP13 - SUCO (R <sub>ac</sub> = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	7	181	32	34.3	-	-
PP13 - SUCO (R <sub>ac</sub> = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	28	294	39	43.3	22.29	3.91
PP14 - SUCO (R <sub>ac</sub> = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	7	480	45	43.7	-	-
PP14 - SUCO (R <sub>ac</sub> = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	28	507	48	60.1	11.34	0.70
PP15 - SUCO (R <sub>ac</sub> = 0.40) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	7	419	41	41.7	-	-
PP15 - SUCO (R <sub>ac</sub> = 0.40) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	28	490	44	55.0	16.25	0.81
PP16 - SUCO (R <sub>ac</sub> = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	7	190	29	32.4	-	-
PP16 - SUCO (R <sub>ac</sub> = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	28	276	32	43.2	25.82	3.28
PP17 - SUCO (R <sub>ac</sub> = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	7	220	35	36.3	-	-
PP17 - SUCO (R <sub>ac</sub> = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	28	313	40	45.0	20.68	4.32
PP18 - SUCO (R <sub>ac</sub> = 0.40) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	7	231	39	36.0	-	-
PP18 - SUCO (R <sub>ac</sub> = 0.40) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	28	324	39	48.0	22.03	3.82

Fuente: (CHAIÑA QUISPE & VILLANUEVA ESCOBEDO, 2017)





De acuerdo a los resultados del antecedente, se llegó a una resistencia a compresión a los 28 días de 95 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que en la presente investigación se obtuvo una resistencia promedio de 81.638 kg/cm<sup>2</sup>, que puede ser constatado en la Tabla N° 103 (pág. 177).

### 5.3. Contraste de resultados referentes del marco teórico

#### ¿Se corrobora la característica del revenimiento del concreto permeable en estado fresco de cero?

Efectivamente, de acuerdo al desarrollo de elaboración de las muestras de concreto permeable, se realizó un ensayo de revenimiento para corroborar la característica del mismo respecto al marco teórico, teniendo un resultado de revenimiento cero, del cual se tiene registro fotográfico del ensayo realizado por los investigadores en calidad de verificación teórica, que se muestra a continuación.

Figura N° 87: Proceso de ensayo de revenimiento del concreto permeable





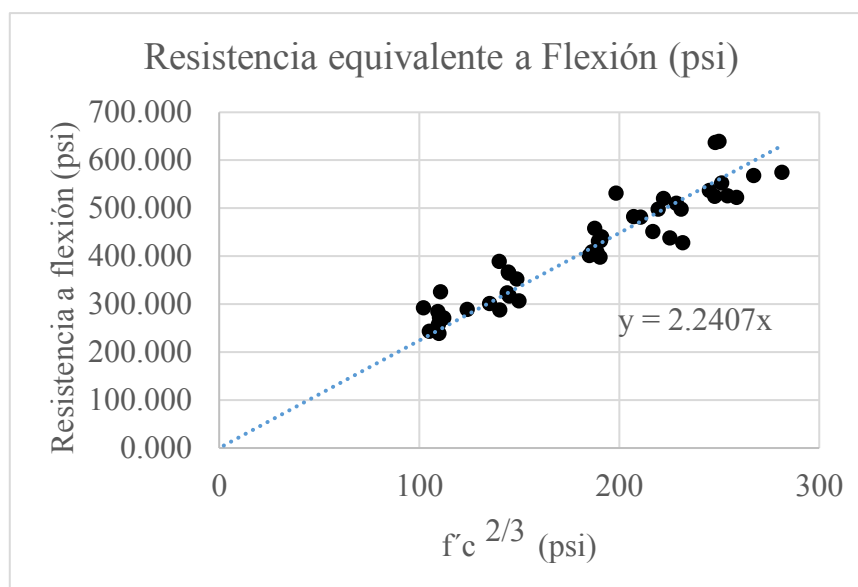
Figura N° 88: Ensayo de Revenimiento del Concreto Permeable



**¿Se cumple la relación establecida en el ACI 522R-10 entre la resistencia a flexión y la resistencia a compresión para concretos permeables?**

Según los datos obtenidos de resistencia a compresión y resistencia a flexión se tiene el diagrama de dispersión, el cual genera una tendencia que puede ser expresada mediante una ecuación, que se muestra a continuación.

Tabla N° 192: Diagrama de comparación de los datos obtenidos de resistencia a compresión y resistencia a flexión en psi





El cual se expresa en:

$$\text{Resistencia a flexión (psi)} = k \times f'c^{2/3} \text{ (psi)}$$

Según la presente investigación se tiene un valor promedio para  $k$  de 2.241; por lo que, se cumple la ecuación descrita en la norma ACI 522.R10 establecida por Ahmad y Shah (1985).

**¿Las resistencias típicas de 28 kg/cm<sup>2</sup> a 280 kg/cm<sup>2</sup> son de acuerdo a variaciones del contenido de vacíos de 18% a 35%?**

Con los resultados obtenidos de resistencia a compresión y verificación de contenido de vacíos en la presente investigación mostrados en las Tabla N° 98 (pág. 174), Tabla N° 99 (pág. 174), Tabla N° 100 (pág. 175), Tabla N° 101 (pág. 175), Tabla N° 102 (pág. 176), Tabla N° 108 (pág. 180), Tabla N° 109 (pág. 180), Tabla N° 110 (pág. 181), Tabla N° 111 (pág. 181) y Tabla N° 112 (pág. 182); son necesarios contenidos de vacíos menores para lograr las resistencias mencionadas según el ACI 522R-10, 2010.

**¿La adición de agregado fino incrementa la fuerza de compresión, pero correspondiente a esta adición se reduce la tasa de flujo y el paso a través del concreto permeable?**

Según el ACI 522R-10, se afirma que la adición de agregado fino dentro de la estructura de mezcla para elaboración de concreto permeable permite elevar la resistencia a la compresión pero esta adición a su vez merma la tasa de flujo de agua que pasa a través del mismo, todo se corrobora con los datos obtenidos de los ensayos de resistencia a compresión y el coeficiente de permeabilidad a las muestras concreto permeable con distintos porcentajes de agregado fino adicionado a su estructura, los cuales se encuentran en las Tabla N° 172 (pág. 216) y Tabla N° 174 (pág. 217).

**¿Es un contenido de vacíos mínimo de aproximadamente 15% para lograr una filtración significativa en el concreto permeable?**

De acuerdo a los resultados que se muestran en la Tabla N° 96 (pág. 173), en donde el porcentaje de vacíos resultante respecto a la adición de agregado fino de 15% es de 11.37% en promedio y para la misma adición de agregado fino se tiene en la Tabla N° 126 (pág. 191) un coeficiente de permeabilidad de 0.142 cm/s, siendo el mínimo 0.14 cm/s, afirmando que no es necesario



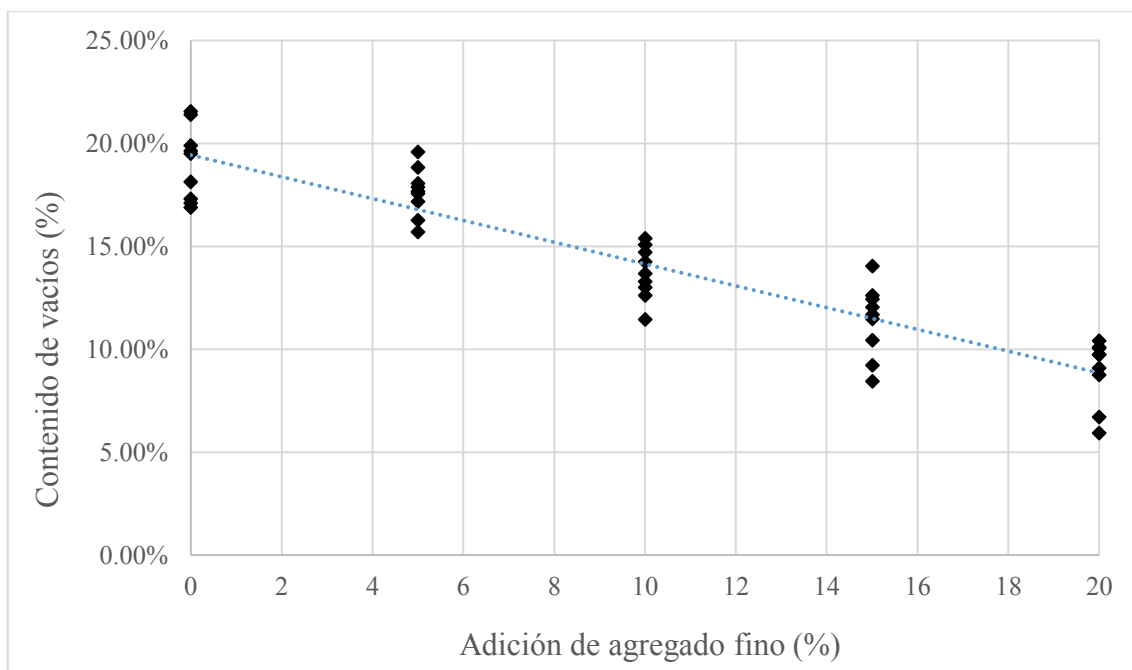
un 15% de vacíos mínimo para generar una infiltración significativa. Por el contrario, para nuestro diseño estaría entre un 11% aproximadamente.

#### 5.4. Interpretación de los resultados encontrados en la investigación

##### Comparación del contenido de vacíos - porcentaje de finos

De acuerdo a la Tabla N° 193(pág 231), se observa que a mayor porcentaje de agregado fino en una mezcla de concreto permeable menor es el porcentaje de vacíos en dicha mezcla.

Tabla N° 193: Diagrama de comparación de los datos obtenidos de contenido de vacíos respecto al porcentaje de agregado fino

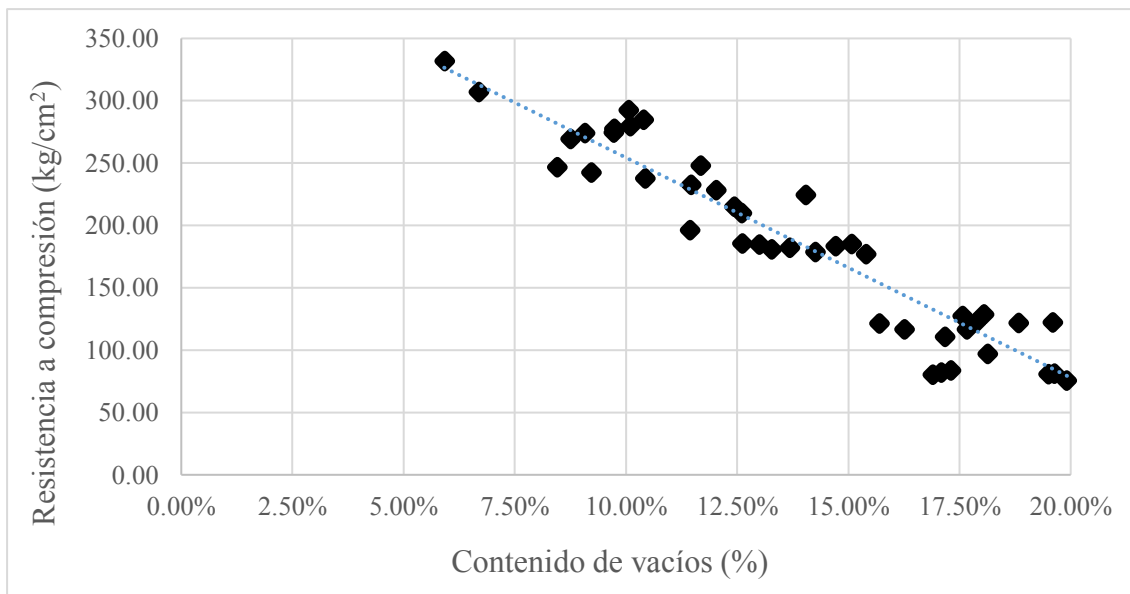


##### Comparación de la resistencia a compresión - contenido de vacíos

De acuerdo a la Tabla N° 194 (pág 232), se observa que a mayor porcentaje de vacíos en una mezcla de concreto permeable menor es la resistencia a compresión.



Tabla N° 194: Diagrama de comparación de los datos obtenidos de resistencia a compresión respecto al contenido de vacíos



Esto es debido a que la adición de agregado fino mejora la gradación dentro de la estructura del concreto, por ende, mejora la cohesión entre las partículas de agregado y la pasta obteniendo una mayor resistencia a compresión, pero correspondientemente reduce el porcentaje de vacíos de la mezcla.

### 5.5. Comentario de la demostración de la hipótesis

La investigación estaba enfocada en determinar el rango óptimo de adición de agregado fino en un concreto permeable para su aplicación en pavimentos especiales, podemos decir, que efectivamente se pudo obtener el intervalo de acuerdo a las especificaciones consideradas. Entonces, es factible afirmar que, haciendo el uso de adición de agregado fino en la mezcla del concreto permeable, que este dentro del rango de 11% a 16% cumplirá con las especificaciones necesarias (resistencia a compresión, resistencia a flexión equivalente y coeficiente de permeabilidad) para su aplicación dentro de una estructura de un pavimento especial según el Reglamento Nacional de Edificaciones, específicamente en la Norma CE.010 Pavimentos Urbanos.

El valor del rango mencionado anteriormente para cumplir con la resistencia a compresión, flexión y coeficiente de permeabilidad, fue determinado mediante la intersección del cumplimiento de cada uno de las magnitudes especificadas, las cuales se mencionan a continuación:



- Para alcanzar una resistencia a compresión del concreto permeable de 175 kg/cm<sup>2</sup>, se determina que es necesario adicionar agregado fino entre un 10% a 20% del volumen total de agregado.
- Para alcanzar una resistencia a flexión del concreto permeable de 30 kg/cm<sup>2</sup> se determina que es necesario adicionar agregado fino entre un 11% a 20% del volumen total de agregado.
- Para alcanzar un coeficiente de permeabilidad del concreto permeable de 0.14 cm/s se determina que es necesario adicionar agregado fino entre un 0% a 16% del volumen total de agregado.

La demostración se puede ver gráficamente en la Tabla N° 186 (Capítulo IV, pág. 224).

### 5.6. Aportes de la investigación

**Aporte N° 1:** El uso de un nuevo método de diseño de mezclas para concretos permeables como es la del ACI.522R-10, del cual se generó un flujograma que permite realizar un seguimiento del procedimiento de dosificación con el fin de facilitar su uso en posteriores investigaciones. Dicho flujograma se anexa al final de este documento.

**Aporte N° 2:** Haber encontrado la dosificación adecuada de componentes para generar las condiciones de mezcla del concreto permeable para su uso en pavimentos especiales.

**Aporte N° 3:** Haber obtenido la curva de aproximación **porcentaje de agregado fino – resistencia a compresión** del concreto permeable conjuntamente con su ecuación especificada en la Tabla N° 172 (pág. 216), el cual permite estimar la adición de agregado fino para diferentes solicitudes de la resistencia a compresión.

**Aporte N° 4:** Haber obtenido la curva de aproximación **porcentaje de agregado fino – resistencia a flexión** del concreto permeable conjuntamente con su ecuación especificada en la Tabla N° 175 (pág. 218), el cual permite estimar la adición de agregado fino para diferentes solicitudes de la resistencia a flexión.

**Aporte N° 5:** Haber obtenido la curva de aproximación **porcentaje de agregado fino – coeficiente de permeabilidad** del concreto permeable conjuntamente con su ecuación



especificada en la Tabla N° 177 (pág. 219), el cual permite estimar la adición de agregado fino para diferentes solicitudes de coeficiente de permeabilidad.

**Aporte N° 6:** Además de las curvas generadas de acuerdo a las variables independientes y dependientes de la investigación como son la resistencia a compresión, resistencia a flexión y coeficiente de permeabilidad, respecto a la adición de agregado fino; se adiciona las curvas en el Capítulo IV entre resistencia a compresión – resistencia a flexión detallado en la Tabla N° 179 (pág. 220), resistencia a compresión – coeficiente de permeabilidad detallado en la Tabla N° 181 (pág. 221) y resistencia a flexión – coeficiente de permeabilidad detallado en la Tabla N° 183 (pág. 222).

### **5.7. Incorporación de temas nuevos que se han presentado durante el proceso de la investigación que no estaba considerado dentro de los objetivos de la investigación**

#### **Análisis Hidrológico referencial y relación con el grado de permeabilidad del concreto permeable**

De acuerdo al desarrollo de la investigación referencial para el estudio y análisis hidrológico (Dueñas&Mayhuire, 2015) se recabó los siguientes datos:

Zona 01	Zona 03
C = 0.50	C = 0.49
Area = 0.012 km <sup>2</sup>	Area = 0.049 km <sup>2</sup>
I Max. = 23.05 mm/hr	I Max. = 23.05 mm/hr
Zona 02	Zona 04
C = 0.49	C = 0.78
Area = 0.038 km <sup>2</sup>	Area = 0.251 km <sup>2</sup>
I Max. = 23.05 mm/hr	I Max. = 23.05 mm/hr

La investigación en mención logró demostrar que los volúmenes de aguas pluviales que ingresan a la red recolectora de aguas residuales de la zona en estudio, rebasan la capacidad de conducción en la época de lluvias, donde el volumen rebasado es del 24% hasta 170% en relación a la capacidad de la red actual.



Haciendo el análisis unitario para un metro cuadrado estándar se desarrolla el siguiente procedimiento mediante el método racional, en vista de que se recomienda su uso por la norma OS.060 del Reglamento Nacional de Edificaciones:

Datos seleccionados para el desarrollo del método:

$I_{Max} [mm/hr] = 23.05$  (se toma en consideración el valor más crítico según la investigación en referencia).

$C_{Max} = 0.78$  (se toma en consideración el valor más crítico según la investigación en referencia).

$A [km^2] = 0.251$  (se toma en consideración el valor correspondiente a los datos de  $I_{max}$  y  $C_{max}$ ).

Reemplazando en la fórmula del método racional:

$$Q = 0.278 \times C \times I \times A$$
$$Q = 0.278 \times 0.78 \times 23.05 \times 0.251$$
$$Q = 1.255 \text{ m}^3/\text{s}$$

Por lo que se demuestra el valor mencionado en la descripción del problema bajo el desarrollo del método racional con datos de la investigación referencial para el desarrollo hidrológico.

Haciendo una comparación con los datos obtenidos de la tesis respecto al coeficiente de permeabilidad de las diferentes dosificaciones se tienen los siguientes casos:

- Convertimos la intensidad máxima de la investigación de mm/hr a cm/s

$$I_{Max} [mm/hr] = I_{Max} \times \frac{1}{10 \times 3600} [cm/s]$$

$$I_{Max} [mm/hr] = 23.05 \times \frac{1}{10 \times 3600} [cm/s]$$

$$I_{Max} = 0.00064 \text{ cm/s}$$

- Se procede a realizar la comparación directa con los valores de coeficiente de permeabilidad obtenidos con las diferentes dosificaciones de agregado fino en su diseño:

- Para 0% de adición de agregado fino:

$$\text{Coef. Perm} = 1.685 \text{ cm/s} \gg 0.00064 \text{ cm/s (I Max)}$$

- Para 5% de adición de agregado fino:

$$\text{Coef. Perm} = 0.910 \text{ cm/s} \gg 0.00064 \text{ cm/s (I Max)}$$

- Para 10% de adición de agregado fino:





- Coef. Perm = 0.462 cm/s >> 0.00064 cm/s (I Max)
- Para 15% de adición de agregado fino:  
Coef. Perm = 0.142 cm/s >> 0.00064 cm/s (I Max)
- Para 20% de adición de agregado fino:  
Coef. Perm = 0.089 cm/s >> 0.00064 cm/s (I Max)

En base al análisis anterior podemos indicar que el valor obtenido para la zona en estudio por la investigación referencial es mucho menor a todos los valores de coeficiente de permeabilidad del concreto permeable obtenido en la presente investigación, por lo que teóricamente todo el volumen de agua receptado en la superficie podría ser filtrado a través de los poros permeables del concreto planteado como alternativa tecnológica.

### Análisis de costo del concreto incorporando el agregado fino

De acuerdo al análisis de costos unitarios a nivel de materiales del concreto permeable y el concreto convencional se tiene en ambos casos para una resistencia de  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ .

A continuación, se muestra los análisis para cada uno de los casos y su comparación respecto al costo que representa la elaboración de cada uno.

Tabla N° 195: Análisis de costo unitario para la elaboración del concreto permeable  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

		Costo unitario por: m <sup>3</sup>		275.39
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Sub Total
Agregado grueso	m <sup>3</sup>	0.507	55	27.875
Agregado fino	m <sup>3</sup>	0.053	65	3.418
Cemento Portland IP	bls	9.485	23.5	222.902
Agua	m <sup>3</sup>	0.149	1.4	0.209
Aditivo plastificante	gln	0.6264	33.5	20.984



Tabla N° 196: Análisis de costo unitario para la elaboración del concreto convencional  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

Descripción	Unidad	Costo unitario por: m <sup>3</sup>		250.24
		Cantidad	Precio	Sub Total
Agregado grueso	m <sup>3</sup>	0.75	55	41.25
Agregado fino	m <sup>3</sup>	0.50	65	32.5
Cemento Portland IP	bls	7.5	23.5	176.25
Agua	m <sup>3</sup>	0.17	1.4	0.238

Como se observa de acuerdo a las tablas anteriores, el costo a nivel de los materiales es mayor en el caso del concreto permeable, debido a que en su estructura se cuenta con la incorporación de los vacíos, generando indirectamente que el volumen de material sin contar los vacíos sea menor a  $1 \text{ m}^3$  y, por lo tanto, esto es proporcional al costo.

#### **Uso de aditivo plastificante en la elaboración de concreto permeable**

La adición de este aditivo generó un retraso dentro del tiempo de fraguado de las muestras en aproximadamente medio día, el cual se verificó en las especificaciones del aditivo, y efectivamente, era uno de los efectos posteriores al uso del aditivo en las mezclas de concreto, pero que no afectaría en las propiedades del mismo.

#### **Depreciación del volumen de concreto permeable en el proceso de mezcla debido a la adición de agregado fino en su composición**

Dentro del diseño de mezclas según el reporte de ACI 522R-10, indica que la adición de agregado fino se puede hacer en porcentajes de 0% a 20%, en sustitución del agregado grueso. Pero, en el proceso de elaboración de las muestras de concreto permeable, se notó que la arena adicionada se acomoda en los espacios vacíos, mas no sustituían al agregado grueso, generando un déficit en el diseño, ya que las dosificaciones no serían para  $1 \text{ m}^3$ , sino que a medida que se aumentaba la arena disminuía el volumen para el cual se diseñaba. Esto se solucionó generando un desperdicio proporcional al déficit del volumen, teniendo una proporción de 3% de desperdicio por cada 5% de adición de agregado fino para garantizar el volumen para el cual se daba la dosificación.



## **GLOSARIO**

**ACI 522R-10:** Reporte del Instituto Americano del Concreto, correspondiente a los pavimentos permeables.

**Absorción:** es el fenómeno a través del cual los átomos, moléculas o iones pasan de una fase, bien sea, líquida o gaseosa a otra líquida o gaseosa. Es decir, se transfiere la materia de una fase A (absorbato) a otra fase B (absorbente) en la que queda disuelto o disperso.

**Adsorción:** es un fenómeno de superficie que se sitúa entre dos sustancias. El adsorbato se pega a la superficie de una de las sustancias sin formar parte de ninguna de ellas.

**Aglomerado:** material constituido por fragmentos o polvo de una o varias sustancias (arena, grava, madera, etc.) prensadas y endurecidas con un aglutinante, como cemento o cal, que se emplea en la construcción y en carpintería.

**Alúmina:** es el óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ). Junto con la sílice, es el componente más importante en la constitución de las arcillas y los esmaltes, confiriéndoles resistencia y aumentando su temperatura de maduración.

**Aniego:** inundar, llenar o cubrir el lugar de agua.

**Árido:** materiales rocosos naturales que se usan para hacer el hormigón; es decir, la grava y la arena.

**Asentamiento:** es una medida de la consistencia de concreto, que se refiere al grado de fluidez de la mezcla e indica qué tan seco o fluido está el concreto.

**ASTM:** siglas en inglés para la American Society of Testing Materials, que significa, Asociación Americana de Ensayo de Materiales. Esta asociación radicada en Estados Unidos se encarga de probar la resistencia de los materiales para la construcción de bienes.

**Ciclo hidrológico:** es el proceso de circulación del agua entre los distintos compartimentos que forman la hidrósfera. Se trata de un ciclo biogeoquímico en el que hay una intervención mínima de reacciones químicas, porque el agua solo se traslada de unos lugares a otros, o cambia de estado físico.

**Cohesión:** es la propiedad que mantiene al cuerpo sólido conservado en su forma, y fuerte para resistir a las presiones o aplicaciones de fuerzas externas.



**Conglomerante:** aquello que es capaz de unir fragmentos o partículas de una o más sustancias y dar cohesión al conjunto por efecto de transformaciones químicas en su masa, que originan nuevos compuestos.

**Cuantitativo:** es la propiedad numérica de los datos, investigaciones, métodos o resultados. Este concepto se encuentra asociado de manera directa con “cantidad”, por lo que sus variables siempre pueden medirse.

**Dosificación:** Son las proporciones correspondientes de material que se debe utilizar para el concreto, esto con el fin de obtener unas características que le permitan utilizarlo de manera tranquila, esas características son la resistencia, la durabilidad y adherencia adecuada.

**Elemento modular:** es una estructura o bloque de piezas que, en una construcción, se ubican en cantidad a fin de hacerla más sencilla, regular y económica. Todo módulo, por lo tanto, forma parte de un sistema y suele estar conectado de alguna manera con el resto de los componentes.

**Escorrentía:** agua de lluvia que circula libremente sobre la superficie de un terreno.

**Evapotranspiración:** cantidad de agua del suelo que vuelve a la atmósfera como consecuencia de la evaporación y de la transpiración de las plantas.

**Exponencial:** del exponente o relacionado con esta expresión matemática.

**Flexibilidad:** capacidad de doblarse un cuerpo fácilmente y sin que exista peligro de que se rompa.

**Fraguado:** es efecto de fraguar o endurecerse un material.

**Gradación:** es una propiedad clave de los agregados que se usan en las bases y superficies de las carreteras es la distribución de los tamaños de partículas al mezclarlos. Se usa un análisis granulométrico para determinar las propiedades relativas de los diferentes tamaños de partículas en una mezcla de agregados minerales.

**Hidroplaneo:** es la situación en la que un vehículo atraviesa en la carretera a cierta velocidad una superficie cubierta de agua, llevándolo a una pérdida de tracción y control del mismo por parte del conductor.

**Impermeable:** que no permite el paso de la humedad, el agua u otro líquido.



**Infiltración:** a la acción de introducir suavemente un líquido entre los poros de un sólido. Por ejemplo, en arquitectura, es la penetración del aire por fenómenos naturales en el edificio, a través de los poros de las paredes.

**Infraestructura vial:** el conjunto de componentes físicos que interrelacionados entre sí de manera coherente y bajo cumplimiento de ciertas especificaciones técnicas de diseño y construcción, ofrecen condiciones cómodas y seguras para la circulación de los usuarios que hacen uso de ella.

**Logaritmo:** es el exponente al que hay que elevar un número, llamado base, para obtener otro número determinado.

**Módulo de elasticidad:** es un tipo de constante elástica que involucra una medida relacionada con la tensión y una medida relacionada con la deformación.

**Módulo de ruptura:** la tensión máxima que un espécimen de prueba rectangular puede soportar en una prueba de flexión de 3 puntos hasta que se rompe, expresado en  $N/mm^2$  o MPa.

**Morfología:** disciplina que se ocupa del estudio y la descripción de las formas externas de un objeto. En este sentido, se puede aplicar al estudio de las palabras (Lingüística), los seres vivos (Biología) o la superficie terrestre (Geomorfología).

**Muestra:** parte o cantidad pequeña de una cosa que se considera representativa del total y que se toma o se separa de ella con ciertos métodos para someterla a estudio, análisis o experimentación.

**Pasta:** es la mezcla de cemento y agua. También llamada pasta de cemento.

**Plasticidad:** propiedad que tiene un material de ser moldeado o trabajado para cambiarlo de forma.

**Plastificante:** es una sustancia que cuando se añade a un material, normalmente a un plástico, da como resultado un producto flexible, resistente y más fácil de manejar.

**Proceso biológico:** es un proceso de un ser vivo. Los procesos biológicos están hechos de algún número de reacciones químicas u otros eventos que resultan en una transformación. La regulación de los procesos biológicos ocurre cuando algún proceso es modulado en su frecuencia, velocidad o alcance.



**Proceso químico:** es un conjunto de operaciones químicas y/o físicas destinadas a la transformación de unas materias iniciales en productos finales diferentes. Se considera que un producto químico es diferente de otro cuando tenga diferentes propiedades, esté en diferente estado o hayan cambiado sus condiciones.

**Proceso físico:** son aquellos procesos en los que no cambia la composición de una sustancia, es decir, son aquellos cambios reversibles, ya que no ocurren cambios de energía y se detectan por observación o por medición. Es fácilmente reversible mediante otro fenómeno físico.

**Propiedad mecánica:** son aquellas propiedades de los sólidos que se manifiestan cuando aplicamos una fuerza. Las propiedades mecánicas de los materiales se refieren a la capacidad de los mismos de resistir acciones de cargas: las cargas o fuerzas actúan momentáneamente, tienen carácter de choque.

**Proporcional:** relación o razón constante entre diferentes magnitudes que se pueden medir. Si uno aumenta o disminuye el otro también aumenta o disminuye proporcionalmente.

**Rango:** valor numérico que indica la diferencia entre el valor máximo y el mínimo de una población o muestra estadística

**Reglamento nacional de edificaciones (RNE):** es un reglamento que tiene por objeto normar los criterios y requisitos mínimos para el Diseño y Ejecución de las Habilitaciones Urbanas y las Edificaciones, permitiendo de esta manera una mejor ejecución de los Planes Urbanos

**Silicato:** es la sal formada por combinación del ácido silícico y una base, que se puede obtener por fusión conjunta de la sílice con un carbonato de metal alcalino; se emplea en la fabricación de vidrio y en la de materiales de construcción y refractarios.

**Sílice:** es la combinación de silicio con oxígeno ( $\text{SiO}_2$ ) que entra en la composición de ciertos minerales.

**Slump:** es el ensayo de asentamiento del concreto o prueba del cono de Abrams es un método de control de calidad cuyo objetivo principal es medir la consistencia del concreto.

**Sustento:** integrar el tema de la investigación con las teorías, enfoques teóricos, estudios y antecedentes en general que se refieren al problema de investigación.

**Tasa de flujo:** el caudal volumétrico o tasa de flujo de fluidos es el volumen de fluido que pasa por una superficie dada en un tiempo determinado.



## **CONCLUSIONES**

### **Conclusión N° 1:**

Se logró demostrar la Hipótesis General que indica: “El rango óptimo de agregado fino en concreto permeable evaluado a partir de curvas de aproximación para su aplicación en pavimentos especiales es de 11% a 16%.”.

Por lo que se concluye: La elaboración de concreto permeable con adición de agregado fino en un porcentaje que se encuentre entre el rango de 11% a 16%, permite cumplir con las especificaciones resistencia a compresión, resistencia a flexión equivalente y coeficiente de permeabilidad solicitadas para su aplicación en pavimentos especiales, lo cual se detalla en la Tabla N° 185 (Capítulo IV “Resultados”, Página 223).

### **Conclusión N° 2:**

Se logró demostrar la Sub Hipótesis N° 1 que indica: “El rango de agregado fino en concreto permeable que cumpla con la resistencia a compresión de 175 kg/cm<sup>2</sup> evaluado a partir de la curva de aproximación: porcentaje de agregado fino - resistencia a compresión es de 10% a 20%”.

Por lo que se concluye: La elaboración de concreto permeable con adición de agregado fino en un porcentaje que se encuentre entre el rango de 10% a 20%, permite cumplir con la resistencia a compresión mínima de 175 kg/cm<sup>2</sup>, lo cual se detalla en la Tabla N° 172 (Capítulo IV. Página 216) y Tabla N° 134 (Capítulo III “Procesamiento de datos”, Página 196).

### **Conclusión N° 3:**

Se logró demostrar la Sub Hipótesis N° 2 que indica: “El rango de agregado fino en concreto permeable que cumpla con la resistencia a flexión equivalente de 30 kg/cm<sup>2</sup> evaluado a partir de la curva de aproximación: porcentaje de agregado fino - resistencia a flexión es de 11% a 20%”.

Por lo que se concluye: La elaboración de concreto permeable con adición de agregado fino en un porcentaje que se encuentre entre el rango de 11% a 20%, permite cumplir con la resistencia a flexión mínima equivalente de 30 kg/cm<sup>2</sup>, lo cual se detalla en la Tabla N° 175 (Capítulo IV. Página 218) y Tabla N° 135 (Capítulo III “Procesamiento de datos”, Página 196).



**Conclusión N° 4:**

Se logró demostrar la Sub Hipótesis N° 3 que indica: “El rango de agregado fino en concreto permeable que cumpla con el coeficiente de permeabilidad de 0.14 cm/s evaluado a partir de la curva de aproximación porcentaje de agregado fino - coeficiente de permeabilidad es de 0% a 16%”.

Por lo que se concluye: la elaboración de concreto permeable con adición de agregado fino en un porcentaje que se encuentre entre el rango de 0% a 16%, permite cumplir con el coeficiente de permeabilidad mínimo de 0.14 cm/s, lo cual se detalla en la Tabla N° 177 (Capítulo IV. Página 219) y Tabla N° 138 (Capítulo III “Procesamiento de datos”, Página 198).





## **RECOMENDACIONES**

### **Recomendación N° 1:**

Se recomienda la adquisición de normas para materia de investigación y dar mayor énfasis en su uso en nuestra casa de estudios, siendo las siguientes: ACI.522R-10 para diseño de concreto permeable, ASTM C 33 para especificaciones estándar de los agregados, ASTM C 136 para determinación de la granulometría del agregado, ASTM C 39 para ensayo de resistencia a compresión del concreto, ASTM C 78 para resistencia a flexión de vigas de concreto, entre otros mencionados en la investigación.

### **Recomendación N° 2:**

Se recomienda la adquisición de equipos para la medición del contenido de aire del concreto en estado fresco y para la medición del coeficiente de permeabilidad, siendo estos la Olla de Washington y el Permeámetro (estandarizado según ACI.522R-10).

### **Recomendación N° 3:**

Se recomienda tener sumo cuidado en la elaboración del concreto permeable, especialmente en la adición del aditivo, ya que un exceso del componente, provoca una segregación de la pasta, obstruyendo los poros en la base, y por lo tanto la carencia de la pasta en la superficie superior de la muestra.

### **Recomendación N° 4:**

Se recomienda prever el tiempo de fraguado del concreto debido a la incorporación del aditivo plastificante dentro de la mezcla del concreto permeable.

### **Recomendación N° 5:**

Se recomienda para futuras investigaciones, realizar pruebas con diferentes tipos de curado para poder determinar el mejor método y consideraciones de elaboración del concreto permeable.

### **Recomendación N° 6:**

Se recomienda desarrollar investigaciones sobre comportamiento del concreto permeable sometida a cambios de temperatura causadas por la peculiaridad del clima en la ciudad del Cusco.



**Recomendación N° 7:**

Se recomienda para futuras investigaciones en las cuales intervenga el uso de arena con características de gradación de acuerdo al ASTM C33, usar una mezcla de las canteras de Pisac y Cunyac en proporciones de 75% y 25% respectivamente.

**Recomendación N° 8:**

Se recomienda generar investigaciones del concreto permeable adicionado con elementos como fibras o acero, en la composición de la mezcla para mejorar el comportamiento a flexión del material, y poder avocar el uso de este nuevo concreto en pavimentos con solicitudes mayores de carga.

**Recomendación N° 9:**

Se recomienda el uso de aditivos plastificantes de densidad 1.2 kg/l en un aproximado de 0.70% respecto del peso del cemento, esto motivado a generar una mejor manejabilidad de la muestra, ya que previo al uso del aditivo en la presente investigación se realizaron muestras con un revenimiento de 0", siendo extremadamente difícil el moldeado respectivos, además que en el proceso de mezcla se generaron residuos en las paredes del trompo mezclador de concreto, siendo un déficit al volumen inicialmente diseñado. Por todo lo anterior mencionado, se reitera la recomendación de usar aditivos plastificantes para este tipo de concretos para mejorar la trabajabilidad.

**Recomendación N° 10:**

Para el concreto en estado fresco:

Se recomienda para el moldeado del concreto, realizar el varillado en las muestras repartidas de manera uniforme por cada capa; por motivos de que se puede generar una apertura de dimensiones no deseadas, y por las cuales la pasta puede fluir a las partes mas bajas (escurrimiento), tapándose los bordes inferiores y quedandose sin pasta la superficie del concreto de la muestra.

Se recomienda tener extremada consideración respecto al tiempo desde que el concreto permeable termina su tiempo de mezclado hasta la puesta en moldes, esto porque, al usar relaciones agua cemento bajas, se tiende a acelerarse el cambio humedad y agua en la mezcla por las condiciones climáticas en las cuales se trabaja, en caso de tener condiciones de alta temperatura, el tiempo en el que la mezcla empieza a perder agua es más anticipado a comparación de un concreto convencional con relaciones agua cemento más elevadas. Por



consiguiente, se debe de realizar el vaciado con premura y cuidando que el tiempo y las condiciones climatológicas no varíen las proporciones de agua en la mezcla.

**Recomendación N° 11:**

Para el concreto en estado endurecido:

Se recomienda para el desmoldado de las muestras de concreto permeable en estado endurecido específicamente para las viguetas, tener cuidado con los vértices de los mismos, debido a que son partículas de agregado grueso adheridos por medio de pasta, son en estos puntos más frágiles; generándose roturas en las esquinas y esto dependiendo de la adición de agregado fino en el diseño; siendo los más débiles en los vértices los concretos permeables con poca o casi nada de agregado fino.

Se recomienda realizar los métodos de capping para la realización de los ensayos a compresión, debido a que la superficie de la parte superior de la muestra de concreto permeable presenta irregularidades, con el fin de darle una aplicación de las cargas en toda el área de contacto con el pistón de la máquina.

**Recomendación N° 12:**

Para la construcción y mantenimiento del concreto permeable:

De acuerdo a las indicaciones del Reporte del ACI.522 R, el concreto permeable es mas sensible al frío que un concreto convencional siendo una limitante para su etapa de curado, es por eso que se recomienda que no se ralicen vaciados de este tipo de material si las condiciones climáticas no son favorables y la temperatura ambiente se encuentre por debajo de los 4° C, para evitar los congelamientos de agua de curado y afecte la integridad de la mezcla.

En la etapa de mantenimiento se recomienda las siguientes actividades:

- Mensualmente se debe de realizar una limpieza de los segimientos en toda el área de la superficie del concreto que se encuentre hacia la interperie.
- Se debe de asegurar que la superficie a la interperie de concreto permeable se encuentre libre de escombros, esta inspección se debe realizar recomendable de forma mensual.
- Se debe de realizar una limpieza con aspiración o presión de agua a los poros permeables del concreto con el fin de evitar su colmatación; esto de recomienda realizarlo cada vez que sea necesario previo a un análisis de periodicidad.



- Se recomienda realizar inspecciones anuales respecto al deterioro o descascarado de las partículas de concreto en la superficie; de generarse el deterioro se recomienda realizar los parchados con aditivo epoxico.

**Recomendación N° 13:**

Se recomienda respecto a la relación arena – grava; de acuerdo al Reporte ACI.522R-10, que la adición de agregado fino se realice en sustitución del agregado grueso, pero el concreto permeable diseñado tiene la característica de poseer vacíos interconectados, en los cuales la adición de agregado fino se incorpora y colmatan estos espacios, reduciendo el volumen diseñado inicialmente; teniéndose que generar un adicional de mezcla de 3% proporcional a cada 5% de adición de agregado fino.

**Recomendación N° 14:**

Se recomienda realizar investigaciones sobre el concreto permeable usando agregados de mayor tamaño normalizado según la normativa ASTM C33, en vista de que es posible que al usar gradaciones con tamaños mas considerables sea factible incrementar los porcentajes de adición de agregado fino, ya que, en la presente investigación se demostró que a mayor adición de agregado fino aumentan las magnitudes de las propiedades mecánicas; y a la vez si se tienen agregados con mayor dimensión se compensaría la adición de agregado fino con los vacíos que existen entre las partículas.



## **REFERENCIAS**

- Abellán, A. (2019). *Jornadas técnicas: Pavimentos Permeables Continuos*.
- ACI 211.3R-09. (2009). *Guide for selecting proportions for no-slump concrete, Appendix 7— Pervious concrete mix proportioning*. American Concrete Institute.
- ACI 522R-10. (2010). *Pervious Concrete*. American Concrete Institute.
- ASMT C150. (2009). *Standard Specification for Portland Cement*. ASTM INTERNACIONAL.
- ASTM C 595. (2003). *Especificación estándar para Cementos hidráulicos mezclados*.
- Baquero, M. d. (1967). Conglomerantes puzolánicos. *Informes de la Construcción*, 61-75.
- Behar Rivero, D. S. (2008). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*. Editorial Shalom.
- Bojo, J., Maler, K., & Unemo, L. (1990). *Research in Philosophy and Technology* (Vol. III). Greenwich Conn: JAJ Press.
- Canavos, G. (1988). *Probabilidad y Estadística Aplicaciones y métodos*. Mexico: McGRAW-HILL.
- Carpenter, S. (1991). *The Technology of Discovery and the Discovery of Technology: Proceedings of the Sixth International Conference of the Society for Philosophy and Technology*. Blacksburg: Society for Philosophy and Technology.
- CEMEX S.A.B. de C.V. (19 de Junio de 2019). *Artículos de Construcción*. Obtenido de Hablando de Cementos Portland: <https://n9.cl/ekuc>
- CHAIÑA QUISPE, J. L., & VILLANUEVA ESCOBEDO, Y. A. (2017). *DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA*. AREQUIPA.
- CHOQQE CCARITAYÑA, H., & CCANA SICOS, J. C. (2016). *EVALUACION DE LA RESISTENCIA A COMPRESION Y PERMEABILIDAD DEL CONCRETO POROSO ELABORADO CON AGREGADO DE LAS CANTERAS VICHO Y ZURITE, ADICIONANDO ADITIVO SÚPER PLASTIFICANTE DE DENSIDAD 1.2 kg/l PARA UNA RESISTENCIA 210 kg/cm2*. CUSCO.



Comisión de la Naciones Unidas. (1987). *Nuestro Futuro Común*.

Corporación Socialista del Cemento S.A. (s.f.). *Cemento*. Obtenido de CEMENTO PORTLAND GRIS, TIPO II: <https://n9.cl/rju8>

Dueñas Palomino, O. A., & Mayhuire Ponce, H. P. (2015). *EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LAS AGUAS PLUVIALES EN LA RED COLECTORA DE AGUAS RESIDUALES DE LA URBANIZACIÓN TÚPAC AMARU DEL DISTRITO DE SAN SEBASTIÁN*. Cusco: REPOSITORIO DIGITAL DE TESIS - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO.

FORTINO, P. (2010). *ECONOMETRÍA*. Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco.

Gallopín, G. (2003). *Sostenibilidad y Desarrollo Sostenible: Un Enfoque Sistémico*.

Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de Carreteras*. Lima.

Naredo. (1990).

Niño Rojas, V. M. (2011). *Metodología de la Investigación*. Bogotá: Ediciones de la U.

Patiño, O. (2013). El concreto permeable: uso y estándares. *Revista UTP*, 22.

Perales, S., & Doménech, I. (2008). *Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible: Una Alternativa a la gestión de agua de lluvia*.

Perez, D. (2009). *Estudio Experimental de concretos permeables con agregados andesíticos*. México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.

Redclift, M. (1987). *Sustainable Development: Exploring the Contradictions*. London: Methuen.

Rivera, G. (2013). *Concreto Simple*. Cauca: Universidad de Cauca.

Rivva López, E. (2000). *Naturalez y Materiales del Concreto*. Lima: CAPITULO PERUANO ACI.

Sáez Castillo, A. (2012). *Apuntes de Estadística para Ingenieros*. Dpto de Estadística e I.O. Universidad de Jaén.



Salamanca Correa, R. (2000). *Los cementos adicionado*. Bogotá: CIENCIA Y INGENIERIA NEOGRANADINA.

Shiva, V. (1989). *The Development Dictionary*. London: Zed Books.

Spiegel, M., & Stephens, L. (2009). *Estadística*. México D.F.: McGRAW-HILL.

Tennis, P., Leming, M., & Akers, D. (2004). *Pervious Concrete Pavements*. Skokie, Illinois: Portland Cement Association.

Torres, L. (2010). *Tecnología del concreto permeable o ecológico en la construcción*. México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.

Trapote, A., & Fernández, H. (2016). *Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible*.

Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., & Ye, K. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. México: PEARSON EDUCACIÓN.



## **ANEXOS**