





## **Título**

“DISEÑO DE CONCRETO POROSO PARA LA EVALUACIÓN DE LA  
RESISTENCIA A COMPRESIÓN 210 kg/cm<sup>2</sup>, ELABORADO CON AGREGADO  
DE LAS CANTERA DEL RÍO ICHU Y CANTERA DE CERRO,  
HUANCAVELICA – 2021”

## **Autores**

Bach. CABRERA RUDAS, Rosalinda

Bach. YALLE GONZALES, Borys Hermes Leeroy

**Asesor**

M. Sc. Hugo Rubén, LUJAN JERI

**CÓDIGO ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7995-6296>

DNI: 28591429

## **Dedicatoria**

Dedico la tesis a mi familia y amistades por estar siempre a mi lado y no dejar que me rinda frente a cualquier reto.

Borys.

Dedico esta investigación a Dios por darme la sabiduría para llevar a cabo esta investigación. y a mis padres por inspirarme a crecer como profesional.

Rosalinda.

## **Agradecimiento**

El agradecimiento a la Universidad Nacional de Huancavelica, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil-Huancavelica, por brindarnos la mejor plana de docente, sus aulas, laboratorios y equipos en general que hicieron posible el desarrollo de competencias, capacidades, destrezas, habilidades dentro de nuestra formación como Ingenieros Civiles Líderes en la Región.

Asimismo, agradecemos a nuestros familiares por su apoyo incondicional y por creer en nosotros, a nuestros compañeros por hacer amena nuestra estadía en la universidad.

Finalmente, agradecemos a nuestro asesor, por darse el tiempo necesario para brindarnos las pautas para finalizar nuestra investigación.

## Tabla de contenido

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Acta de Sustentación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Título</b> .....	<b>iii</b>
<b>Autores</b> .....	<b>iv</b>
<b>Asesor</b> .....	<b>v</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>vi</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vii</b>
<b>Tabla de contenido</b> .....	<b>viii</b>
<b>Tabla de Contenidos de tablas</b> .....	<b>xi</b>
<b>Tabla de Contenidos de figuras</b> .....	<b>xiii</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>xiv</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>xv</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>xvi</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>18</b>
1.1. Descripción del problema.....	18
1.2. Formulación del problema .....	19
1.2.1. Problema general.....	19
1.2.2. Problemas específicos .....	19
1.3. Objetivos .....	20
1.3.1. Objetivo general .....	20
1.3.2. Objetivos específicos .....	20
1.4. Justificación.....	20
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>22</b>
2.1. Antecedentes .....	22
2.1.1. A nivel Internacional.....	22
2.1.2. A nivel Nacional .....	24
2.1.3. A nivel Local.....	26
2.2. Bases teóricas sobre el tema de investigación.....	27
2.2.1. Concreto .....	27
2.2.2. Concreto poroso .....	34

2.2.3.	Resistencia a la compresión .....	45
2.3.	Definición de términos .....	50
2.4.	Hipótesis.....	52
2.4.1.	Hipótesis General .....	52
2.4.2.	Hipótesis Específicas .....	52
2.5.	Variables.....	52
2.6.	Operacionalización de variables.....	53
<b>CAPÍTULO III</b>		
<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>		<b>54</b>
3.1.	Ámbito temporal y espacial.....	54
3.1.1.	Ámbito temporal .....	54
3.1.2.	Ámbito espacial.....	54
3.2.	Tipo de investigación .....	54
3.3.	Nivel de investigación.....	55
3.4.	Diseño de investigación .....	55
3.5.	Población, muestra y muestreo.....	56
3.5.1.	Población.....	56
3.5.2.	Muestra.....	56
3.6.	Instrumentos y técnicas para recolección de datos.....	57
3.6.1.	Instrumentos .....	57
3.6.2.	Técnicas.....	57
3.7.	Técnicas y procesamiento de análisis de datos .....	57
<b>CAPÍTULO IV</b>		
<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>		<b>59</b>
4.1.	Análisis de información .....	59
4.1.1.	Caracterización por tipo de cantera.....	59
4.1.2.	Diseño según tipo de cantera.....	70
4.1.3.	Ensayos en estado fresco .....	71
4.1.4.	Ensayos duros .....	75
4.2.	Prueba de hipótesis.....	91
4.2.1.	Prueba de la primera hipótesis específica .....	93
4.2.2.	Prueba de la segunda hipótesis específica.....	95
4.2.3.	Prueba de la hipótesis general .....	97

4.3. Discusión de resultados .....	98
<b>Conclusiones .....</b>	<b>101</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>102</b>
<b>Referencias Bibliográficas .....</b>	<b>103</b>
<b>Apéndice.....</b>	<b>106</b>
Apéndice 1 Matriz de Consistencia.....	107
Apéndice 2 Constancia de laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil – Huancavelica de la Universidad Nacional de Huancavelica .....	108
Apéndice 3 Certificado de calibración .....	109
Apéndice 4 Registro fotográfico .....	115
Apéndice 5 Base de datos.....	124
Apéndice 6 Ensayos de laboratorio .....	128
Ensayo de abrasión – máquina de los Ángeles .....	128
Análisis granulométrico .....	129
Peso específico y absorción .....	132
Peso unitario en estado fresco.....	133
Porcentaje de vacíos en estado fresco.....	135
Apéndice 7 Diseño de concreto poroso .....	137

## Tabla de Contenidos de tablas

Tabla 1 Tipos de Fisuraciones en el concreto .....	34
Tabla 2 Operacionalización de variables .....	53
Tabla 3 Ensayo de abrasión de la cantera Cerro y río Ichu.....	59
Tabla 4 Granulometría del agregado grueso de la cantera Cerro y río Ichu .....	61
Tabla 5 Granulometría del agregado fino .....	63
Tabla 6 Contenido de humedad del agregado grueso para la cantera Cerro y río Ichu .....	64
Tabla 7 Contenido de humedad del agregado fino.....	65
Tabla 8 Peso específico y absorción del agregado grueso de la cantera Cerro y río Ichu .....	65
Tabla 9 Peso específico y absorción del agregado fino .....	66
Tabla 10 Peso unitario suelto del agregado grueso de la cantera Cerro y río Ichu ....	67
Tabla 11 Peso unitario compactado del agregado grueso de la cantera Cerro y río Ichu .....	68
Tabla 12 Peso unitario suelto del agregado fino .....	69
Tabla 13 Peso unitario compactado del agregado fino .....	69
Tabla 14 Caracterización del agregado .....	70
Tabla 15 Material del diseño, según cantera y porcentaje de vacíos .....	70
Tabla 16 Peso unitario (P.U.) en estado fresco al 15% de vacíos - cantera Cerro y río Ichu.....	71
Tabla 17 Porcentaje de vacíos en estado fresco (15%) de la cantera Cerro y río Ichu .....	71
Tabla 18 Peso unitario en estado fresco al 20% de vacíos de la cantera Cerro y río Ichu .....	72
Tabla 19 Porcentaje de vacíos en estado fresco (20%) de la cantera Cerro y río Ichu .....	73
Tabla 20 Peso unitario en estado fresco al 22.5% de vacíos de la cantera Cerro y río Ichu.....	73
Tabla 21 Porcentaje de vacíos en estado fresco (22.5%) de la cantera Cerro y río Ichu .....	74

Tabla 22 Descriptivos de permeabilidad de la cantera Cerro y río Ichu .....	76
Tabla 23 Elementos de permeabilidad de la cantera Cerro y río Ichu, al 15% de vacíos .....	76
Tabla 24 Elementos de permeabilidad de la cantera Cerro y río Ichu, al 20% de vacíos .....	78
Tabla 25 Elementos de permeabilidad de la cantera Cerro y río Ichu, al 22.5% de vacíos .....	78
Tabla 26 Descriptivos de resistencia de la cantera Cerro y río Ichu .....	80
Tabla 27 Elementos de resistencia de la cantera Cerro y río Ichu, al 15% de vacíos	81
Tabla 28 Elementos de resistencia de la cantera Cerro y río Ichu, al 20% de vacíos	85
Tabla 29 Elementos de resistencia de la cantera Cerro y río Ichu, al 22.5% de vacíos .....	86
Tabla 30 Permeabilidad (K) por cantera de Cerro y río Ichu y por porcentajes de vacíos .....	87
Tabla 31 Resistencia por cantera de Cerro y río Ichu y por porcentajes de vacíos....	88
Tabla 32 Permeabilidad y resistencia por cantera de Cerro y río Ichu .....	89
Tabla 33 Prueba S-W para permeabilidad por % de vacíos.....	91
Tabla 34 Prueba S-W para resistencia por % de vacíos.....	92
Tabla 35 t de student para resistencia al 15% de vacíos .....	93
Tabla 36 t de student para resistencia al 20% de vacíos .....	94
Tabla 37 t de student para resistencia al 22.5% de vacíos .....	94
Tabla 38 t de student para permeabilidad al 15% de vacíos .....	95
Tabla 39 t de student para permeabilidad al 20% de vacíos .....	96
Tabla 40 t de student para permeabilidad al 22.5% de vacíos .....	96
Tabla 41 Síntesis de las pruebas de diferencias estadísticas (t-student) .....	97

## Tabla de Contenidos de figuras

<b>Figura 1</b> Gráfica de la resistencia a la compresión en el tercer cuadrante .....	48
<b>Figura 2</b> Curva granulométrica para agregado grueso – Cantera Cerro .....	60
<b>Figura 3</b> Curva granulométrica para agregado grueso – Cantera río Ichu .....	62
<b>Figura 4</b> Curva granulométrica para agregado fino .....	64
<b>Figura 5</b> Tiempo de descarga (s).....	75
<b>Figura 6</b> Distancia entre piezómetro por cantera .....	75
<b>Figura 7</b> Altura de piezómetros (cm) por cantera .....	77
<b>Figura 8</b> Diagrama de cajas para diámetro de probetas .....	82
<b>Figura 9</b> Diagrama de cajas para altura de probeta según cantera .....	82
<b>Figura 10</b> Diagrama de cajas para altura de sección transversal según cantera.....	83
<b>Figura 11</b> Diagrama de cajas para carga máxima, según cantera .....	83
<b>Figura 12</b> Diagrama de cajas para coeficiente de permeabilidad (K), según cantera y porcentaje de vacíos .....	88
<b>Figura 13</b> Diagrama de cajas para resistencia a la compresión, según cantera y porcentaje de vacíos .....	89
<b>Figura 14</b> Diagrama de cajas para coeficiente de permeabilidad (K) según cantera	90
<b>Figura 15</b> Diagrama de cajas para resistencia (kg/cm <sup>2</sup> ) según cantera .....	90

## Resumen

En este estudio se determinó la diferencia de la resistencia a la compresión de 210kg/cm<sup>2</sup> y el coeficiente de permeabilidad en el diseño de concreto poroso elaborado con las canteras del río Ichu y Cerro, para un 15%, 20% y 22.5% de vacíos. El estudio fue aplicado, explicativo, se realizó experimentos, ensayos de laboratorio, se siguió el método científico y se empleó un diseño factorial. Se realizaron 72 probetas en total. Los resultados sobre resistencia a compresión, para 15%, 20% y 22.5% de vacíos, tuvo una media de 251.750 kg/cm<sup>2</sup>, 185.767 kg/cm<sup>2</sup> y 143.433 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente, para el diseño con cantera de Cerro y para la cantera del río Ichu, fueron de 153.650 kg/cm<sup>2</sup>, 146.033 kg/cm<sup>2</sup> y 107.8 kg/cm<sup>2</sup>, evidentemente, los valores de resistencia fueron mayores para cantera de Cerro; no obstante, la resistencia disminuyó conforme el % de vacíos aumentaba. Por otro lado, se identificó que la permeabilidad aumentaba conforme mayor fue el % de vacíos. Esto se evidenció notablemente en los promedios, para el diseño con cantera de Cerro, fueron de 0.203 cm/s, 0.292 cm/s y 0.435 cm/s, para 15%, 20% y 22.5% de vacíos respectivamente. Mientras para el diseño con cantera del río Ichu, las medias fueron de 0.222 cm/s, 0.653 cm/s y 0.678 cm/s, respectivamente. En este caso, el diseño de concreto poroso con agregados del río Ichu presentaron mayores niveles de permeabilidad; no obstante, ambos diseños, cumplieron con ser concretos permeables al encontrarse en el rango que establece la norma ACI 5222 R-10. En cuanto a la significancia de las diferencias, se encontró que el p-valor (t-student) para resistencia y permeabilidad fue menor a 0.05; indicando que existe diferencia de medias entre el diseño de concreto poroso con agregado de la cantera de río Ichu y cantera Cerro, Huancavelica, 2021.

**Palabras clave:** diseño de concreto poroso, % de vacíos, resistencia a la compresión, coeficiente de permeabilidad, K, 210 kg/cm<sup>2</sup>.



## Introducción

Se considera actualmente al concreto poroso como un factor importante de la “construcción verde”, debido a que es sostenible con el ambiente, este permite que pueda ingresar agua a los subsuelos luego de las lluvias, empleando una menor cantidad cemento y agregado; adicionalmente es considerado por tener un potencial alto en las estructuras para las soluciones habitacionales (Patiño, 2013, pág. 25). El concreto poroso está establecido por una serie de especificaciones de desempeño, resistencia, el hormigón poroso cuenta con una posición relevante, por lo que resulta ser una alternativa con alto potencial para la elaboración de pavimentos que tienen un tráfico ligero, residencias familiares de poco costo, playas de estacionamiento, etc. (Ccanto & Mallco, 2019)

El concreto poroso se encuentra definido como un concreto que tiene las propiedades de trabajar en favor del ambiente, de los pavimentos, de la economía y de la sociedad, el concreto poroso es un material que se puede usar en distintas aplicaciones. Sin embargo, se debe evaluar previamente a su aplicación, esta evaluación debe constar de la evaluación de la mezcla de la resistencia frente a la tracción y compresión. Esto para que la resistencia compresiva pueda ser idóneo, teóricamente este debe tener el valor de  $210\text{kg/cm}^2$ . Es por eso que en este estudio se determinará la diferencia de resistencias a la compresión al usar agregados de las canteras del Río Ichu y cerro.

Esta investigación tiene por título “Diseño de concreto poroso para la evaluación de la resistencia a compresión  $210\text{ kg/cm}^2$ , elaborado con agregados de las canteras del Río Ichu y cantera de Cerro, Huancavelica -2021”, a partir del cual se estableció como problema general, ¿Cuál es la diferencia de la resistencia a la compresión de  $210\text{kg/cm}^2$  en el diseño de concreto poroso elaborado con las canteras del río Ichu y la cantera de Cerro?, del cual se establece como objetivo general del trabajo, determinar la diferencia de la resistencia a la compresión de  $210\text{kg/cm}^2$  en el diseño de concreto poroso elaborado con las canteras del río Ichu y Cerro. La investigación es de tipo aplicada, contando con un nivel explicativo, el diseño es el pre-experimental y el método general usado es el científico.

Para el desarrollo adecuado del informe de tesis, este se compuso de 4 capítulos principales, el primero, trata sobre la realidad problemática del estudio, así como la formulación de la interrogante de investigación, el propósito del estudio y su justificación. En el segundo capítulo, se encuentran las referencias teóricas, como la redacción de investigaciones previas y similares al estudio. El tercer capítulo corresponde al diseño metodológico del estudio. El cuarto capítulo, presenta los resultados descriptivos de la caracterización del agregado, diseño, los resultados de los ensayos de resistencia a compresión y los ensayos de permeabilidad; los cuales se detallan en tablas y figuras. Asimismo, consta de la prueba de hipótesis y su discusión. Seguidamente, se cuentan con las conclusiones del estudio, recomendaciones y referencias bibliográficas utilizadas para la culminación de la investigación. Finalmente, se encuentran los anexos.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Descripción del problema**

Estando en 3,668 m.s.n.m y contar con un clima frío, Huancavelica presenta registros de precipitaciones pluviales de gran magnitud. Por lo general sucede cuando se llega al periodo de lluvias el cual es desde diciembre a marzo, afectando de manera negativa el desarrollo urbano, la circulación peatonal y vehicular; logrando afectar puntos expuestos a más precipitaciones, siendo estos los barrios de Santa Ana, San Cristóbal, Yananaco y Ascensión (Paucar & Morales, 2018, pág. 17).

Debido a este problema, se está desarrollando investigaciones que tienen el fin de mejorar el mercado nacional, por ello se propone la implementación del concreto poroso o permeable.

El concreto poroso resulta de la mezcla del agregado grueso, arena, agua, cemento y ciertos aditivos. La mínima concentración de arena, induce al concreto a obtener una estructura que sea porosa, esto permite que el agua pueda filtrarse mediante la estructura. En la actualidad el concreto poroso se considera relevante de la construcción verde, a causa de la sostenibilidad con el ambiente, permitiendo ingreso al agua para el subsuelo, luego de las precipitaciones, empleando menos agregado grueso y arena; adicionalmente es considerado por tener un potencial alto en

las estructuras para las soluciones habitacionales. A través del tiempo en costa, sierra y selva se presentan muchos problemas de pavimento y concreto, lo cual se debe a la acelerada urbanización, y el encharcamiento de las vías, este último llega a producirse por la excesiva precipitación pluvial, lo que provoca que la rodadura superficial de los pavimentos se deterioren a menor plazo, esto, ya que no se cuenta con superficie permeable o poroso la cual pueda permitir que se filtre el agua por su estructura, para evitar que se dé la escorrentía superficial. La solución que se propone en nuestra realidad muchas veces es la más convencional, la cual está compuesta por la construcción de algunas vías con un determinado porcentaje de bombeo derivando el agua a las rejillas para finalmente ser transportadas mediante un drenaje pluvial. (Patiño, 2013, pág. 25)

Ahora, mientras el concreto sea determinado por especificaciones para la resistencia, el desempeño, el hormigón cuenta con una alta competencia, por lo que resulta ser una alternativa con alto potencial para la elaboración de pavimentos que tienen un tráfico ligero, residencias familiares de poco costo, playas de estacionamiento, etc. (Ccanto & Mallco, 2019).

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cuál es la diferencia de la resistencia a la compresión de 210kg/cm<sup>2</sup> en el diseño de concreto poroso elaborado con las canteras del río Ichu y la cantera de Cerro?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cuál es la diferencia de la resistencia a la compresión de 210kg/cm<sup>2</sup> en el diseño de concreto poroso según el contenido de vacíos de la mezcla (15%, 20%, 22.5%) elaborada con los agregados de las canteras del río Ichu y Cerro?

- ¿Cuál es la diferencia del Coeficiente de permeabilidad en el diseño de concreto poroso según el contenido de vacíos de la mezcla (15%, 20%, 22.5%) elaborada con los agregados de las canteras del río Ichu y Cerro?

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar la diferencia de la resistencia a la compresión de 210kg/cm<sup>2</sup> en el diseño de concreto poroso elaborado con las canteras del río Ichu y Cerro.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar la diferencia de la resistencia a la compresión de 210kg/cm<sup>2</sup> en el diseño de concreto poroso según el contenido de vacíos de la mezcla (15%, 20%, 22.5%) elaborada con los agregados de las canteras del río Ichu y Cerro.
  - Determinar la diferencia del Coeficiente de permeabilidad en el diseño de concreto poroso según el contenido de vacíos de la mezcla (15%, 20%, 22.5%) elaborada con los agregados de las canteras del río Ichu y Cerro.
- Justificación

### **1.4. Justificación**

En la actualidad, la región de Huancavelica aún no se ha implementado de algún modo efectivo para usar el concreto poroso y solucionar algunos problemas que son provocados por las excesivas precipitaciones pluviales. A partir de eso se consideró que este estudio aportará con datos recientes acerca del concreto poroso.

Este estudio se realizó porque no existen estudios referentes a la implementación de los agregados de las canteras del Río Ichu y Cerro como parte del diseño del concreto poroso, y debido a las altas precipitaciones pluviales en la región de Huancavelica este tipo de concreto será de buen aporte a la prevención del deterioro de un pavimento.

Tuvo como fin colaborar y aportar con información actualizada y verídica acerca de los agregados que posee la región de Huancavelica y estos pueden ser usados para la elaboración de un concreto poroso que muchos consideran sostenible.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes

##### 2.1.1. A nivel Internacional

**Bautista, et al. (2016)**, sustentaron su tesis “*Fase experimental para obtener concreto permeable a partir de un concreto convencional con agregados de los ríos Sumapaz, Magdalena y Coello*”, para ser Ingenieros Civiles en el programa de Ingeniería Civil en la facultad de Ingeniería en la Universidad Piloto de Colombia Seccional Alto Magdalena en la ciudad de Girardot – Colombia. El objetivo fue obtener concreto permeable con agregados de los ríos mencionados. Siendo de enfoque cuantitativo, realizaron experimentos y fue de tipo aplicada; se elaboraron cilindros de concreto según la norma ASTM. Los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión a la edad de 28 días del río Coello llegó al 177.8 kg/cm<sup>2</sup>, del río Sumapaz fue de 228.7 kg/cm<sup>2</sup> y del río Magdalena fue de 173.7 kg/cm<sup>2</sup>, en cuanto al coeficiente de permeabilidad de los ríos Coello, Sumapaz y Magdalena fueron de 0.62 cm/s, 0.61 cm/s y 0.59 cm/s respectivamente. Concluyeron que el concreto se considera poroso, proporcionalmente permeable y con una resistencia baja a la compresión.

**Bolívar (2018)**, en su tesis *“Análisis de la resistencia a la compresión  $f'_c$  del concreto hidráulico adicionado con silicato de sodio, mediante ensayos de madurez y resistencia a la compresión”*, establece como objetivo analizar el comportamiento mecánico luego de calcular la madurez y resistencia a la compresión del concreto hidráulico. Se realizó dos pruebas, uno de los cuales fue el ensayo de resistencia a la compresión, la otra fue hacer un ensayo de madurez del concreto, la cual tiene como fin direccionarse a calcular la resistencia por el factor temperatura/tiempo. Concluyendo que el aditivo si incrementa su resistencia del concreto solo cuando se tiene las concentraciones de 3% y 5%.

**Cervantes (2020)**, con su tesis *“Estudio de factibilidad del concreto permeable y su posible aplicación en la ciudad de Barranquilla, Colombia”*, para obtener el título de Ingeniero Civil en el departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de la Costa – CUC, en la ciudad de Barranquilla – Colombia. Estableció la evaluación de los concretos porosos que se aplicaron en la pavimentación rígida, en carreteras con un flujo bajo de vehículos y reconocer los impactos positivos sobre el ambiente y la economía en Barranquilla. El nivel del estudio fue correlacional, de enfoque cuantitativo y no hizo experimentos; se trabajó con 50 diseños de mezcla de concreto permeable, utilizando la norma ACI 522-R, para lograr la dosificación adecuada y obtener la resistencia a la compresión factible. Se concluye que el concreto permeable llega a ser una alternativa muy viable, más barato y genera menos impacto negativo en el ambiente que el concreto convencional.

**Mendoza y Ospina (2018)**, en su investigación denominada *“Mezcla de concreto permeable como parte de la estructura del pavimento rígido, aplicado a vías de tráfico medio”*, para ser Ingenieros Civiles en el área de pavimentos de la facultad tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en la ciudad de Bogotá – Colombia. Buscaron realizar una mezcla de concreto permeable con previas investigaciones hechas a nivel nacional y aplicarlas a un caso, para finalmente, proponer un nuevo diseño de pavimento. Siendo de enfoque mixto, un nivel explicativo y realizaron experimentos, la técnica usada fue la revisión documental que se ajuste a las características y objetivos del estudio. El agregado grueso, tuvo una absorción de 1.94%, el caudal máximo en el área de trabajo a través de la escorrentía

fue de 82.98 l/s con una máxima intensidad de 215 mm/h. concluyeron que la mezcla obtenida no llegó a tener la resistencia a la compresión que se requiere como mínimo para la construcción de los pavimentos de tráfico vehicular, pero el coeficiente de permeabilidad si llegó al mínimo requerido lo cual demostró que ese tipo de mezcla si puede llegar a infiltrar los grandes caudales.

**Tangarife y Silva (2019)**, sustentaron su tesis “*Determinación de la resistencia a compresión del concreto (3000 psi) modificado con material de cambio de fase orgánico PCM-OM18P*”, para obtener el título de Ingeniero Civil en el programa de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Colombia en la ciudad de Bogotá. El objetivo propuesto del estudio fue estimar la viabilidad que tiene el concreto simple modificado con PCM-OM18P para la mejora de la resistencia a la compresión y el confort de temperatura en las edificaciones. El nivel del estudio fue descriptivo, de perspectiva cuantitativa y se realizaron experimentos. En conclusión, para que el concreto adquiriera una mayor resistencia, el porcentaje más óptimo de PCM que se le debe aplicar es del 5% y el porcentaje menos favorable es con la aplicación de PCM del 10%.

### **2.1.2. A nivel Nacional**

**Choque y Ccana (2016)**, sustentaron su tesis “*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 1.2kg/l para una resistencia 210 kg/cm<sup>2</sup>*”, para ser Ingenieros Civiles de la facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Andina del Cusco. El objetivo general de dicha investigación fue monitorear la compresión y permeabilidad del concreto poroso hecho con agregado de las canteras mencionadas. De enfoque cuantitativo, el nivel del estudio fue descriptivo, se aplicó el método hipotético deductivo y realizó experimentos; la muestra comprende de 126 briquetas destinadas a las pruebas de resistencia a la compresión y 18 briquetas para realizar pruebas de permeabilidad, las cuales tendrán distintos porcentajes del aditivo plastificante, el instrumento usado en la investigación fue el formato de laboratorio, en estos fueron anotados los datos de cada ensayo. Se logró resultados que se encuentran en el rango de permeabilidad de la

normativa ACI-522R, es decir los resultados están dentro de 0.14-1.22 cm/seg, obteniendo la resistencia requerida de 210 kg/ cm<sup>2</sup> con la adición de 1.5% de aditivo súper plastificante añadido al concreto.

**Leiva y Palomino (2016)**, en su investigación: *“Evaluación comparativa de la permeabilidad, resistencia a la compresión del concreto poroso elaborado con cemento IP y agregado de 1/2”, 3/8” y 1/4” de las canteras de Machu Picchu, Abril y Huillque”*, compararon la resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto poroso hecho con cemento IP y agregados con las especificaciones mencionadas. El enfoque del informe fue cuantitativo, de nivel descriptivo relacional, se aplicó el método hipotético – deductivo, la población fue de 270 probetas con formas cilíndricas de concreto poroso, el tamaño de la muestra fue la misma cantidad; los instrumentos usados fueron fichas realizadas para el cálculo de la granulometría de agregados, la humedad, el peso específico y absorción. La permeabilidad que se obtuvo de la cantera Machu Picchu fue de 143.25 ml/s, de la cantera Abril fue de 139.89 y de la cantera Huillque fue de 144.96 ml/s. Se concluyó que la resistencia y la permeabilidad del concreto poroso que se hizo con los agregados de la cantera Machu Picchu fue de mejor eficacia que las otras canteras.

**Amorós y Bendezú (2019)**, sustentaron la tesis *“Diseño de mezcla de concreto permeable para la construcción de la superficie de rodadura de un pavimento de resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>”*, para obtener el título de Ingeniero Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas en la ciudad de Lima. En la tesis se determinó el diseño de la mezcla del concreto permeable para los pavimentos. La metodología es del tipo cuantitativa, el alcance fue explicativo; la técnica usada fue fichas de investigación. Se evidenció que la resistencia a la compresión de las muestras que fueron extraídas llegó a 261.58 kg/cm<sup>2</sup>. Finalmente, se concluyó que el diseño de la mezcla será óptimo cuando se aplique la dosificación de, factor agua/ cemento de 0.38, con un % de vacíos del 13%, se debe agregar 1.5% de aditivo Z RR PLAST-971, 1449.93 kg de piedra y 161.1 kg de arena fina, dichas cantidades especificadas para obtener una dosificación de un metro cúbico.

**Gallo y Murga (2017)**, realizaron una investigación titulada “*Evaluación de la resistencia a compresión y permeabilidad del concreto permeable  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, usando el aditivo Sikament-290N con agregados de la cantera del Río Chonta de la ciudad de Cajamarca, 2017*”, para ser Ingenieros Civiles de la Universidad Privada del Norte en la ciudad de Cajamarca. La investigación estableció como principal objetivo calcular la resistencia a la compresión y la permeabilidad del concreto poroso de 210 kg/cm<sup>2</sup>. El diseño aplicado fue experimental y el nivel del estudio fue explicativo; el tamaño de la muestra estuvo conformada de 24 probetas; realizadas en base a las normas técnicas peruanas. Se determinó una máxima compresión de 107.3 kg/cm<sup>2</sup>, a la edad de 28 días de haber agregado el aditivo Sikament y un coeficiente de permeabilidad de 22 mm/s. Concluyeron que usando el 5% de arena en la mezcla no llega a tener la cohesión entre los materiales que se usó en la elaboración del concreto, debido a esta razón no se logró resistencia esperada.

**Martell y Rojas (2019)**, en la tesis “*El estudio de la resistencia a compresión del concreto permeable  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> empleando aditivo chema megaplast en la ciudad de Trujillo*”, para obtener el título de Ingeniero Civil en la línea de investigación Construcción y Materiales en la facultad de Ingeniería de la Universidad Privada Antenor Orrego en la ciudad de Trujillo. El objetivo fue establecer la influencia del aditivo Chema Megaplast en la compresión. La investigación fue de nivel descriptivo, realizó experimentos con la muestra de 24 probetas y 6 probetas para realizar los ensayos de permeabilidad. Se llegó a tener que la resistencia a la compresión máxima es 172 kg/cm<sup>2</sup>, luego de 28 días de haber aplicado el aditivo, adicionalmente el coeficiente de permeabilidad obtenida fue de 0.77cm/s. La conclusión de la investigación fue que la mezcla presentó una cohesión menor a lo esperado utilizando 5% de agregado fino y 0.9% del aditivo determinado, no se pudo llegar a la resistencia de compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup>; no obstante, cumple con la permeabilidad según la norma ACI 522R-10.

### **2.1.3. A nivel Local**

**Ccanto y Mallico (2019)**, sustentaron la tesis “*Análisis comparativo de la resistencia de un concreto convencional  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> utilizando el agua*

*subterránea en el mezclado en el distrito de Acobamba - Huancavelica-2018*”, para ser Ingeniero Civil en la línea de investigación tecnología de los materiales en la escuela profesional de Ingeniería Civil – Lircay de la facultad de Ingeniería de Minas, Civil y Ambiental de la Universidad Nacional de Huancavelica. Buscaron establecer la comparación de la resistencia de un concreto convencional de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , utilizando el agua subterránea y potable durante la actividad del mezclado. El estudio fue de tipo aplicada, de nivel explicativo e hizo experimentos; la población fue las pozas acuíferas de Mamacona; se aplicó la observación directa y guía en campo. Las probetas preparadas con agua subterránea alcanzaron una resistencia promedio de  $231.15 \text{ kg/cm}^2$  y las probetas preparadas con agua potable alcanzó una resistencia promedio de  $224.50 \text{ kg/cm}^2$ . Por tanto, se llegó a la conclusión de que, ambas muestras, sobrepasó el valor óptimo de  $210 \text{ kg/cm}^2$  y la que representa una mejor resistencia potencial es el concreto mezclado con el agua subterránea.

**Paucar y Morales (2018)**, en su tesis denominada *“Influencia del agregado grueso de la cantera del Río Ichu en el concreto permeable para pavimentos de bajo tránsito –  $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ ”*, determinaron la influencia del agregado grueso de una cantera del río Ichu en el concreto permeable para la pavimentación. El tipo de investigación fue aplicada, nivel explicativo, su diseño fue pre-experimental, la muestra fue de 24 probetas cilíndricas; la técnica usada fue la observación directa e indirecta y el análisis documental; realizaron mezclas con agregados ( $3/8''$ ,  $1/2''$ ,  $3/4''$ ). El concreto realizado con agregado de  $3/4''$  obtuvo una resistencia promedio de  $145.21 \text{ kg/cm}^2$ , su permeabilidad promedio fue de  $1.208 \text{ cm/s}$ . Concluyendo que el agregado grueso de  $3/4''$  obtuvo una resistencia mayor a las demás, pero no se pudo llegar a la resistencia de  $175 \text{ kg/cm}^2$  planteada.

## **2.2. Bases teóricas sobre el tema de investigación**

### **2.2.1. Concreto**

#### **2.2.1.1. Definición**

Según Gutiérrez (2003). La historia de los materiales para la elaboración del cemento tiene la misma antigüedad que la humanidad; comenzando por el yeso que

fue usado por los griegos, egipcios y romanos, quienes usaron la cal hidráulica y la cal común. La primera se obtiene con las impurezas de arcilla que presenta la piedra caliza, las cuales se endurecen mediante la reacción producida entre los elementos de ésta junto con el uso del agua; la cal común es obtenida al calcinar la piedra caliza, la cual llega a endurecerse con el dióxido de carbono. Los romanos y los griegos llegaron a usar la ceniza volcánica, la cual se mezclaba con la cal para de esa manera obtener un material más resistente y de mayor calidad (pág. 34)

Según Cemarequipa (2012), el concreto es un material de uso convencional o común, obtenida de la mezcla del cemento, agua y agregados, a estos elementos normalmente se le agrega un cuarto material que se le conoce como aditivo. Cuando se mezcle esos materiales y al tener listo el concreto, muchas veces se le agrega el quinto material que es el oxígeno. La mezcla de los recursos mencionados produce una masa plástica para que se compacte y moldee fácilmente; sin embargo, esta propiedad se va perdiendo poco a poco, ya que después de algún tiempo, la masa plástica se vuelve rígida y empieza a tener la propiedad de un sólido y convertirse en un material resistente, siendo el concreto. Este se conforma de fragmentos de roca, los cuales son los agregados, estos se encuentran dispersos en una pasta de cemento que tiene una consistencia plástica (pág. 4).

#### **2.2.1.2. Características**

Existen elementos característicos del concreto, estas características son (Cemarequipa, 2012):

- Cuando está como masa plástica, es de fácil manejo para ser instalado dentro de los encofrados.
- La mayor resistencia a la compresión que posee, hace que sea el más idónea para algunos elementos que son expuestos a la compresión, así como los arcos y las columnas.
- Tiene alta resistencia al fuego y no permite la fácil infiltración.
- Poca resistencia a la tracción.

### 2.2.1.3. *Materiales*

El concreto llega a obtenerse basándose en una mezcla de hormigón, con agua, aire y agregados en las correctas proporciones para tener algunas propiedades específicas y prefijadas para cumplir con la resistencia requerida. La reacción química que se da con el agua y el cemento une las partículas de los agregados, para de esa manera lograr un material homogéneo. Muchas veces se le agrega algunos aditivos que mejoran las propiedades del concreto (Cemarequipa, 2012, pág. 4).

A continuación, se detallarán cada uno de los materiales para hacer el concreto.

#### **i. Cemento**

Es un material muy sensible a la humedad y que, al mantenerse alejado de ésta, mantendrá sus propiedades y calidad por mucho tiempo. La humedad relativa de los almacenes o sacos de cemento debe ser menor que del cemento, se debe cerrar correctamente las grietas de los techos o paredes del almacén, los sacos donde se coloque el cemento no deberán estar sobre superficies húmedas (Aragón, 2006, pág. 5).

Los cementos fabricados en el Perú están regulados según las normas del ITINTEC, el cual está basado en las normas internacionales ASTM y ACI (Cemarequipa, 2012), estas son:

- **TIPO I:** Este cemento se destina a las obras de concreto en general y para realizar trabajos de albañilería, ya que en este tipo de trabajos no es necesario cumplir algunas propiedades o estándares especiales.
- **TIPO IA:** Tiene el mismo fin que el tipo I, pero presenta una mayor resistencia ante heladas.
- **PUZOLANICO IP:** Consta de la adición de puzolana al 15% en el cemento, como máximo; este material le da un aspecto rojizo la cual es obtenida de las arcillas calcinadas. El beneficio de este elemento es que se puede retener el agua y debido a eso se obtiene una mejor capacidad de adhesión.

- **TIPO II:** Está destinado para su uso en obras en general de concreto y en obras que están propensas a los sulfatos o donde se requiera el calor para hidratarse.
- **TIPO IIA:** Cuenta con una resistencia mínima frente a los sulfatos y con una resistencia alta frente a tiempos helados.
- **TIPO III:** Tiene una alta resistencia inicial. Es recomendable usarlo cuando se necesite adelantar el desencofrado. Es muy aplicable para los climas fríos.
- **TIPO IIIA:** Cuenta con una resistencia mayor y una fuerte resistencia para las heladas.
- **TIPO IV:** Se requiere de poco calor de hidratación, se recomienda usarla para vaciar grandes masas de concreto.
- **TIPO V:** Tiene una fuerte resistencia a los sulfatos. Puede ser aplicado en estructuras hidráulicas, es decir, que se encuentre inmersas a aguas con contenido de álcalis y sales.

Es un conglomerante hidráulico que, al mezclarlo con agregado fino, agregado grueso, agua y aditivos, forma una mezcla plástica, maleable y homogéneo que se endurece a su reacción con el agua y obtiene una consistencia sólida o pétreo. En términos generales se establecen 2 tipos básicos de cemento (Concretus, 2017, pág. 4), los cuales son de origen:

- **Arcilloso:** Se logra conseguir de la arcilla y de la piedra caliza en un factor de 1 a 4 volúmenes.
- **Puzolánico:** Se refiere a que puede llegar a ser de origen volcánico u origen orgánico.

## ii. Agregados

Es muy importante tenerlos de buena calidad para lograr los concretos con los estándares normados. El contenido de limos o materia fina deber ser el mínimo

posible, ya que, si se tiene una gran cantidad de estos, se deberá usar más cemento y se encarecerá y terminará en la disminución de la resistencia a la compresión (Cemarequipa, 2012).

- **Agregado grueso**

Su tamaño varía entre 6mm y 38mm, debe ser limpio, libre de materia orgánica y alta durabilidad, se puede adquirir de distintos tamaños de acuerdo al tipo de obra en donde se vaya a usar.

- **Agregado fino**

Es la arena, pasante a la malla de 9.5 mm, este debe estar limpio y sin materias extrañas, esto con el fin de evitar el endurecimiento, no debe ser tan fina y no se debe hacer uso de la arena para realizar morteros para una mezcla de concreto,

### **iii. Aditivos**

Son productos por lo general líquidos que se agregan a la mezcla, estos poseen la función principal de innovar las propiedades que son propias del concreto, para dar más trabajabilidad a este en su estado fresco. Lo que hace que se pueda obtener una mayor fluidez en la mezcla reduciendo la cantidad de agua, mejorando su resistencia, si se utiliza una dosis correcta y por ende cumplir la ejecución de la obra eficazmente (Aragón, 2006, pág. 6).

### **iv. Agua**

El que se debe usar dentro de la realización del concreto, esta debe ser limpia y no debe contener aceites, sales, ácidos y material orgánico u otras sustancias que podrían llegar a afectar al concreto o al acero. Tener en cuenta que cuando la mezcla aun no llega a su textura deseada, no es adecuado incrementar la cantidad de agua, ya que se pueden perder ciertas propiedades que resultan relevantes en el hormigón como la resistencia, se debe tener en cuenta algunas señales, estas son:

- El agua no debe tener espuma cuando se le agite.

- El agua no debió haberse usado en otras actividades antes de usarse para hacer el concreto.
- No se recomienda el agua salada ya que las sales pueden llegar a corroer el fierro.

#### 2.2.1.4. Tipos

##### i. Concreto simple

Resulta a partir de la mezcla entre el cemento, agregado fino y grueso; y agua. Cuando se esté realizando la mezcla, el agregado debe taparse completamente por la pasta, donde el agregado fino pueda completar los vacíos del agregado grueso y el concreto. Es usado para vaciar el falso piso y el contrapiso (Cemarequipa, 2012, pág. 6).

CEMENTO + A. GRUESO+ A. FINO + AGUA = CONCRETO SIMPLE

##### ii. Concreto armado

Se logra cuando el concreto simple posee armaduras hechas de acero que son los refuerzos y que se encuentra diseñado bajo el concepto de que dichos materiales trabajan en conjunto, en donde la armadura será el soporte de tracción o para incrementar la resistencia a la compresión. Es utilizado para poder vaciar techos y columnas. Refiriéndose a la proporción que se debe usar, ésta debe ser de 1 vol. de cemento por 3 vol. de piedra previamente chancada y 3 vol. de arena gruesa, la cual se logra al usar 1 unidad de cemento, 1 carretilla de piedra chancada y 1 carretilla de arena gruesa, adicionando la cantidad que resulte necesaria de agua con el fin de lograr la pasta de cemento que deja que se tenga una mejor trabajabilidad. Se debe tener en cuenta que la cantidad que se requerirá de agua será muy dependiente de la humedad que tienen los agregados (Cemarequipa, 2012, pág. 7).

CONCRETO SIMPLE + ARMADURA = CONCRETO ARMADO

### **iii. Concreto liviano**

Es preparado con agregados que son ligeros y el peso unitario de dichos agregados se encuentra en el rango de 400 y 1700 kg/m<sup>3</sup> (Cemarequipa, 2012, pág. 7).

### **iv. Concreto normal**

Se prepara con agregados comunes y el peso unitario de dichos agregados se encuentra en el rango de 2300 y 2500 kg/m<sup>3</sup>. El peso promedio que debe contar deberá ser de aproximadamente 2400 kg/m<sup>3</sup> (Cemarequipa, 2012, pág. 7).

### **v. Concreto pesado**

Se elabora usando agregados pesados, los cuales pueden llegar a pesar entre 2800 – 6000 kg/m<sup>3</sup>. Por lo general se utilizan magnetita, hematita, baritas y limonita, también existen los agregados artificiales como las partículas de acero y el fósforo de hierro. Su aplicación se puede hacer para la protección, es decir que puede llegar a proteger de las radiaciones nucleares, se usa para la construcción de cajas fuerte o bóvedas (Cemarequipa, 2012, pág. 7).

### **vi. Concreto polimerizado**

El polímero es un aditivo con el cual se logra la impermeabilización dentro del concreto, con éste, se puede lograr un material que sea térmico y acústico. Con este aditivo se puede llegar a tener una resistencia a la compresión ascendente al 120% y una resistencia a la tracción del 60%, el polímero causa que los espacios dejados por el agua puedan ser tapados con una capa que provoca vacíos, este tipo de concreto genera que utilice un 40% menos de fierro durante la construcción (Cemarequipa, 2012, pág. 9).

#### **2.2.1.5. Fisuras**

Se manifiesta en cualquier tipo de estructura, puede aparecer en días, horas, semanas, meses o años, afectando solo la apariencia de la construcción y/o indicar que existen fallas estructurales muy significativas. Resulta necesario tener presente que las fisuras son distintivas de la edad de la estructura, pero también existen algunas variables para lograr caracterizarlas, como la posición, forma y el espacio

entre el elemento y el tamaño de la abertura. Conocer todas sus características podría orientar a descubrir las causas del porque se dio la aparición de las fisuras, estas causas podrían aparecer muchas veces alejadas de otros fenómenos o asociadas a estos. Se puede llegar a afirmar que las fisuras en las estructuras o en el concreto fuera de afectar a la estética de la construcción y representar indirectamente la inseguridad de la construcción, pueden generar que otros agentes agresivos intenten atacar al concreto. Descubrir este fenómeno no siempre es sencillo; pero, es muy importante reconocerlo para tomar ciertas medidas; así mitigar y evitar su aparición y/o propagación. Existen tipos de fisuración que se clasifican de acuerdo al momento en que aparecen (Vidaud, 2013, pág. 21), estos son:

**Tabla 1**  
*Tipos de Fisuraciones en el concreto*

<b>Fisuración durante la etapa plástica</b>	Contracción plástica	Mapeo de la superficie Contracción hidráulica.
	Descuidos durante la ejecución	Contracción a través de carbonatación. Contracción a través del secado.
<b>Fisuración durante la etapa de endurecimiento</b>	Por movimientos generados en el momento	Contracción generada por el calor. Reacción entre alcálisis y agregado.
	A través de acciones mecánicas	Flexión, tracción, compresión y/o torsión.
	Otras	Error en el diseño y prácticas inadecuadas durante la construcción.

Nota: La tabla representa los tipos de fisuraciones existentes. Tomado de “Fisuras en el concreto: ¿Síntomas o enfermedad?”, Vidaud, (2013), pp 21.

## 2.2.2. Concreto poroso

### 2.2.2.1. Definición

El concreto poroso resulta de la mezcla de agregado grueso, cemento, agua, aditivos y agregado fino para mejorar la trabajabilidad, pero deben encontrarse en un pequeño porcentaje. Ya que su porcentaje de agregado fino es poco, el concreto permite cierto pase o infiltración de algunos líquidos, y debido a esta razón este tipo de concreto es importante y muy estudiado para el mejor manejo de la escorrentía (Porrás, 2017, pág. 1)

El concreto poroso en la última década se volvió muy importante; ya que por causas del calentamiento global, se sabe que se está logrando tener sequías en

muchos lados alrededor del mundo, lo que los obliga a motivar a la preservación del agua en toda la población; una de las medidas para preservar el agua, es el concreto poroso o permeables, debido a que brinda un modelo sostenible de construcción, ya que este concreto trata las aguas pluviales, filtrándolas al subsuelo, cargando los acuíferos y dejando que el almacenamiento de estas se hagan en tanques de agua para que luego puedan ser reutilizadas como agua de regadío, para cargar los inodoros de algunas zonas urbanas y se usen como aguas industriales, etc. (EuclidGroup Toxement, 2017, pág. 2).

El concreto poroso o permeable es realizado a partir de cantidades limitadas de cemento, agregado grueso-fino, agua y/o aditivos. Cuando se llegue a combinar dichos materiales se obtendrá un material que será endurecido por la creación de poros que son encuentran conectados, los cuales variarán en tamaño entre los 2 a 8 mm, característica que dejará que se pueda filtrar el agua superficial. La mezcla obtenida es parte de la estructura de célula abierta, para de esa manera permitir la filtración hacia el subsuelo del agua de lluvia, y simulando de este modo una superficie de tierra propia del lugar, el concreto permeable es uno de los materiales que son muy eficaces para evacuar el agua pluvial. Este concreto poroso se le puede llamar como concreto discontinuo y concreto sin agregados finos (EuclidGroup Toxement, 2017, pág. 4).

El concreto poroso cuenta con un 15% a 25% de estructura vacía, lo cual deja que se filtre un aproximado de 120 a 130 l de agua por cada m<sup>2</sup>, a lado de una tasa de flujo de 200 l/m<sup>2</sup>/min a más. Cabe recalcar que dicho flujo resulta mayor que cualquier volumen generado por la lluvia, lo cual permite que fácilmente el agua pueda fluir mediante éste. Por lo que, en el momento de utilizar el concreto poroso, el agua pluvial puede ser filtrado, para de esa manera recargar la capa freática natural y se evita la erosión (Cabello et al., 2015, pág. 66).

#### **2.2.2.2. *Materiales***

##### **i. Cemento**

Se comienza con el uso del cemento Portland ordinario, este es el material más empleado para la construcción debido a sus excelentísimas propiedades

mecánicas, las cuales se presentan cuando el cemento llega a sus estado de dureza; la hidratación de dicho material llega a darse a partir de la reacción obtenida entre alguno de los materiales y el agua, formando así una pasta, la relación del agua con el cemento debe estar dentro del rango de 0.3 -0.6 para poder obtener la hidratación, plasticidad y las propiedades óptimas del material que fue hidratado. El cemento fresco, llega a fraguarse y se obtiene el cemento en un estado duro. El fraguado llega a ser la disminución de pérdida de la plasticidad que posee la pasta en su estado inicial y el cambio del material a un estado sólido (Cabello et al., 2015, pág. 67).

## **ii. Agregados o áridos**

Los áridos son materiales inertes que se encuentran dispersos en la pasta plástica del cemento y que son usados para reforzar un material compuesto, tiene como función brindar estabilidad volumétrica y mayor durabilidad del concreto. Por lo general, dichos áridos resultan ser materiales pétreos obtenidos en una condición seca y saturada, la masa tiene una gravedad específica respecto a que el agua contenida no pueda intervenir en la reacción química del cemento y para que ésta se pueda considerar dentro del diseño de la mezcla como parte de los agregados, deben cumplir con ciertos requerimientos, los cuales son el contenido de humedad, la absorción del material, el peso específico y se debe determinar su tamaño máximo (Cabello et al., 2015, pág. 67).

## **iii. Agua**

El agua juega un papel muy importante para obtener la hidratación del cemento Portland, a través de la realización de reacciones químicas, por lo que, las impurezas del agua podrían llegar a interferir en el fraguado y adicionalmente pueden llegar a afectar de manera negativa la resistencia de compresión o tracción del concreto, logrando muchos problemas superficiales, también puede llegar a conducir la corrosión del refuerzo, reduciendo su durabilidad. Debido a las razones ya mencionadas, se debería tomar presente la calidad del agua para el mezclado y curado. El agua que se encuentra destinada para realizar el mezclado no deberá tener alta concentración de sustancias orgánicas e inorgánicas, finalmente, el agua

deberá constituir entre el 14 y 18% del volumen de la mezcla (Cabello et al., 2015, pág. 68).

### **2.2.2.3. Propiedades**

Según Aire (2019), el concreto poroso posee propiedades extras de los otros tipos de concreto, estas propiedades son:

#### **i. Propiedades en estado fresco**

- **Revenimiento:** Generalmente, este valor es 0; pero, se pueden usar valores de entre 20 a 50 mm. Esta prueba se realiza bajo la norma ASTM C143, la cual no es considerada solo para lograr el cálculo del control de calidad, este valor llega a ser una referencia; ya que la mezcla en un principio es muy rígida y el revenimiento en muchos casos no llega a ser aplicable (Aire, 2019).
- **Peso unitario:** Deberá tener una concentración del 70% del concreto normal, se puede determinar con las especificaciones de la norma ASTM C1688.
- **Tiempo de fraguado:** Llega a reducirse mientras se trabaje con el concreto permeable, por lo cual en muchos de los casos se debe hacer uso de algunos aditivos que permitirán una adecuada colocación de la mezcla.

#### **ii. Propiedades en estado endurecido**

- **Porosidad:** Consta de los espacios vacíos que están presente en los agregados. Para el concreto poroso no se debe tener un porcentaje menor al 15% de espacios vacíos (Aire, 2019).
- **Permeabilidad:** Esta propiedad depende de las características y propiedades que poseen los materiales de la mezcla, la proporción de estos, las maneras de colocación y compactación que se usarán. Cuando exista una compactación excesiva se reduce la permeabilidad (Aire, 2019).

### **iii. Propiedades mecánicas**

La resistencia a la compresión adecuada es de 17MPa (173.35 kg/cm<sup>2</sup>) aproximadamente, pero, en muchos casos y de acuerdo a la aplicación se podrá tener hasta 28MPa (285.52 kg/cm<sup>2</sup>). Dicha resistencia se encuentra determinada por los materiales, la compactación y el porcentaje de vacíos de la mezcla. Referente a la resistencia a flexión, esta puede variar entre 1 y 3.8 MPa. Para establecer esta propiedad, se debe determinar la variabilidad, por lo cual es mejor calcular la resistencia a la compresión y hacer uso de las relaciones empíricas para llegar a calcular el valor de ésta (Aire, 2019).

#### **2.2.2.4. Aplicaciones**

El concreto poroso al igual que los demás tipos de concreto tiene muchas aplicaciones, estas aplicaciones podrían ser (EuclidGroup Toxement, 2017, pág. 3):

- Parques
- Vías vehiculares
- Andenes
- Canchas deportivas
- Residenciales
- Pavimentos de poco tránsito
- Áreas de drenaje
- Ciclovías
- Pasos bajos de agua
- Sub base para pavimentos que sean realizados del concreto convencional
- Arrecifes artificiales
- Revestimientos
- Bases

- Obras hidráulicas
- Barreras de ruido
- Muros estructurales

#### 2.2.2.5. *Variables*

Las variables que determinan las propiedades, características del concreto poroso son: granulometría, relación agua/cemento, dosis de cemento y el contenido de vacíos. Sin embargo, para lograr un diseño óptimo, deberá ser probado en lotes de ensayo para de esa manera determinar las propiedades que se requieran como la tasa de resistencia, la porosidad, el tiempo de asentamiento y la permeabilidad. A diferencia de un concreto normal o convencional, la relación que debe existir entre el agua y la resistencia no se encuentra totalmente clara para el concreto poroso (Cabello et al., 2015, pág. 68).

- **Granulometría:** Se deberá usar agregado chancado con la ausencia a un 90 o 100% de agregado fino o arena, ya que, éste podría impermeabilizar la mezcla. Se debe contar con un tamaño de agregado uniforme para obtener un porcentaje alto de vacíos, es decir a partir del 40% y el agregado debe tener un máximo tamaño de 10mm para que se pueda lograr una correcta terminación superficial.
- **Dosis de cemento:** Cuando se haga uso de un mayor porcentaje de cemento, se obtendrá un concreto mucho más resistente; sin embargo, cuando sea una cantidad excesiva de cemento disminuirá la concentración de vacíos que se interconectan con los agregados, perdiendo de esa manera la capacidad de filtración que caracteriza al concreto poroso. Lo recomendado es que la dosis de cemento se encuentre dentro del rango de 350-400 kg/m<sup>3</sup>, esto de acuerdo a los requisitos de resistencia y permeabilidad.
- **Dosis de agua:** Una cantidad de agua que no resulta suficiente tendrá como resultado una mezcla que no tenga consistencia y con poca trabajabilidad; mientras que, al tener una excesiva cantidad de agua, se podría obtener una pasta plástica que puede llegar a sellar todos los vacíos de la mezcla y

adicionalmente, lavará el cemento que se encuentra en la superficie del agregado, llegando así a tener una poca resistencia a la compresión.

- **Relación agua/cemento:** En el concreto permeable, el contenido de agua óptima produce una pasta de cemento totalmente húmeda con una alta viscosidad. Esta mezcla tendrá un aspecto metálico mojado o con brillo. Para una proporción mezcla dada, tipo y tamaño de los agregados, hay un estrecho rango óptimo de relación a/c; la pasta de cemento de esta mezcla óptima creará suficiente unión entre las partículas de agregado sin filtrarse a través de la red de poros y provocar el cierre de la estructura de vacío deseado. (Barahona, Martinez, & Zelaya, 2013)

La elección de la relación a/c óptima depende principalmente de la gradación y las características físicas de los agregados gruesos y del volumen de materiales cementantes de la mezcla. Por lo general dicho valor se puede encontrar en el rango de 0.3 -0.6.

- **Contenido de vacíos:** Al manifestarse un mayor porcentaje de vacíos, menora la resistencia e incrementa la permeabilidad. El porcentaje de vacíos se puede definir por la compactación y su conexión existente con las variables presentadas en los párrafos anteriores. Para lograr que una mezcla sea porosa, se debe tener un mínimo del 15% de vacíos, es recomendable que dicho contenido no sea mayor que el 25% debido a la mínima estabilidad del concreto poroso. Dicho porcentaje depende del tamaño del agregado que se usa, el agregado de 10 mm puede producir entre el 15 y 25 % de vacíos, el agregado de 12mm puede producir entre 30 a 40% de vacío.

#### **2.2.2.6. Aspectos del diseño**

El procedimiento de diseño del concreto poroso es diferente en muchos aspectos y procesos en comparación con el concreto convencional; debido a que está basado en la relación agua/cemento o en la resistencia del concreto. El concreto poroso tiene como variable más fundamental el contenido de vacíos y el volumen de la pasta, ya que el % de vacíos será el que determine la velocidad de filtración, por tanto, la permeabilidad del concreto, adicionalmente el volumen de la pasta

plástica determinará el coeficiente de adherencia que existe entre las partículas del agregado grueso. El comité 522 del ACI en el año 2013, publicó el informe 522R-10, en donde se estipula recomendaciones para el diseño del concreto poroso (Porras, 2017, pág. 15), dicha recomendación se mostrará a continuación:

- Determinar el peso de los agregados.
- Ajustar dicho peso a la superficie seca.
- Calcular el volumen de la pasta.
- Calcular el peso de cemento.
- Calcular el volumen sólido.
- Evaluar el porcentaje de vacíos.

La NRMCA, propuso otra metodología, la cual está compuesta por las siguientes actividades (Porras, 2017, pág. 15):

- Calcular el peso seco del agregado y estimar su contenido de vacíos, de acuerdo a la norma ASTM C-29.
- Definir un porcentaje aproximado de pasta requerida.
- Determinar el volumen de pasta.
- Establecer la relación agua/cemento.
- Determinar el volumen total de cemento.
- Estimar el volumen de agua.
- Especificar el volumen de agregado superficial seca.
- Realizar la conversión de volúmenes a peso por m<sup>3</sup>.

El concreto poroso depende mucho del diseño de la mezcla, contiene una estructura de vacíos que se encuentra en el rango de entre 15 y 30%. La graduación de los agregados es un elemento clave tanto como su limpieza, por lo general se usa un agregado de hasta 3/8" (EuclidGroup Toxement, 2017).

#### **2.2.2.7. Normas aplicables**

- NTP 334.048:1997 CEMENTOS. Cálculo del contenido de aire dentro de los morteros de cemento.
- NTP 334.077:1997 CEMENTOS. Ambientes, gabinetes y tanques de almacenamiento utilizados en los ensayos de cemento
- NTP 334.076:1997 CEMENTOS. Aparato para la determinación de los cambios de longitud de pastas de cementos y morteros fraguados.
- NTP 334.051:1998 CEMENTOS. Método para determinar la resistencia a la compresión de Morteros de cemento Pórtland cubos de 50mm de lado
- NTP 334.089:1999 CEMENTOS: Aditivos incorporados de aire en pastas, morteros y hormigón (concreto); especificaciones.
- NTP 334.064:1999 CEMENTOS. Método para determinar el calor de hidratación de Cementos Pórtland.
- NTP 334.055:1999 CEMENTOS. Método de ensayo para determinar el índice de actividad puzolánico.

#### **2.2.2.8. Instalación**

Para la instalación del concreto poroso es muy importante que la base esté compactada correctamente para de esa manera lograr una superficie estable y uniforme. Cuando el concreto poroso es vertido de manera directa en los suelos con grava o arenosos, es recomendable compactar entre el 92 y 96% de la máxima densidad – ASTM D-1557. En ciertos casos donde los suelos sean arcillosos o arenosos, el nivel de compactación deberá depender de las características específicas del diseño de la mezcla y debe ser colocada en una capa de piedra. La base debe ser humedecida previo de colocar el concreto y las vías de construcción deberán ser barridas con rastrillo y deben ser compactadas nuevamente. Un concreto poroso puede ser colocado con formaletas fijas o con formaletas que sean deslizantes, luego el concreto debe ser compactado de forma manual con un rodillo

que juntará las formaletas, el rodillo forma el concreto fresco para crear la conexión entre la pasta y el agregado grueso (EuclidGroup Toxement, 2017, pág. 5).

#### **2.2.2.9. Aditivos**

Los aditivos reducen el agua de medio y alto rango; debido a que el concreto poroso necesita de proporciones bajas agua/cemento encontrándose entre 0.25 y 0.40, los aditivos son necesarios ya que éstos reducen el requerimiento de agua. La línea de policarboxilatos provoca que la mezcla, la nivelación y la colocación del concreto tengan una mayor trabajabilidad. Las líneas PLASTOL y Reductores de Agua Medio son idóneas para el efecto. Los modificadores de reología TOXEMENT aditivos de línea fresca, cuenta con dos aditivos, Eucon ABS y Viscrol, los cuales modifican la viscosidad, la pasta es más trabajable, y brindándole más cuerpo y lubricación a sus partículas, mientras estas apoyan en la adhesión de la pasta a los agregados. El concreto poroso está direccionado a que la pasta se vaya a la base; el efecto de los aditivos provoca que la pasta se adhiera a los agregados, para mantener las estructuras de los vacíos (EuclidGroup Toxement, 2017, pág. 4).

#### **2.2.2.10. Impacto Ambiental**

El tema de la conservación y protección del ambiente es un eje muy importante para el desarrollo de los países, a causa de los impactos negativos observados y de acuerdo a las investigaciones realizadas, se pudo saber y descubrir que el nivel de deterioro del planeta se debe a la escasa atención a los efectos que se pueden ver en la actualidad y los cuales se están acelerando en el paso de los años. Desde hace muchos años se está usando el concreto poroso como una forma ecológica para los pavimentos, aceras, accesos, etc. Por sus propiedades como la alta capacidad de permeabilizar, esta tecnología es usada como una alternativa para lograr el manejo de las aguas pluviales, cualidades reconocidas por entidades internacionales como el EPA. Se sabe que muchas plantas encuentran muchas dificultades para poder desarrollarse en áreas cubiertas por pavimentos que no son permeables, áreas verdes y aceras; debido a la falta de agua y oxígeno en las raíces. El concreto poroso deja que los árboles que se encuentran cerca puedan recibir más agua y oxígeno. Este tipo de concreto brinda una alternativa para los arquitectos y

paisajistas que tienen la necesidad de usar vegetación en áreas urbanas que se encuentran pavimentadas. EPA atribuye ciertas ventajas al uso del concreto poroso, las cuales son: Tratamiento de agua a través de la eliminación de contaminantes, se hace uso de menos alcantarillas y puede lograr recargar los acuíferos de la localidad. Otras ventajas son que se absorbe menos calor de radiación y ayuda a reducir los efectos invernaderos de las zonas urbanas. Adicionalmente, los estudios demostraron que el concreto poroso es un método eficaz para la reducción de la escorrentía de las aguas de lluvia y algunos contaminantes de las zonas urbanas, lo cual puede desempeñarse bien con un mantenimiento eficaz. También se demostró que el concreto porosa mejora la calidad de agua que pasa a través de este, reduciendo de esta manera la carga contaminante de las aguas (Porras, 2017, pág. 2).

#### **2.2.2.11. Beneficios**

El concreto poroso tiene muchos beneficios (EuclidGroup Toxement, 2017, pág. 3), dentro de estos se tiene:

- Con el concreto poroso se pueden eliminar los charcos y, por lo tanto, también se elimina el hidroplaneo.
- Se reduce significativamente los ruidos causados por los motores de los vehículos, de esa manera disminuyendo la contaminación auditiva.
- Optimiza los drenajes que están destinados para la lluvia, en muchos casos llega a eliminarlos.
- No se requiere de cierta pendiente en las estructuras para lograr la evacuación del agua.
- Llega a adquirir su resistencia entre 24 y 72 hrs, inmediatamente puesto en obra.
- Se pueden elaborar concretos de distintos colores, logrando estructuras estéticamente aceptables.

- Puede hacerse plantas de premezclado.
- Tiene un costo competitivo.
- Disminuye la temperatura superficial, colaborando así con la disminución de la “isla de calor urbano”
- Disminuye los caudales de escorrentía.
- Mejora la recarga de agua subterránea, el desarrollo de vegetación natural, el crecimiento de especies arbóreas y colabora con la aireación de la superficie.

### **2.2.3. Resistencia a la compresión**

#### **2.2.3.1. Definición**

La resistencia a la compresión del concreto poroso es constituida por la norma ASTM C 39, la cual se debe expresar en kg/cm<sup>2</sup> y se logra obtener en los 28 días. La resistencia a la compresión es creada por los tipos de mezcla del que se encuentra conformado, y también se puede ver determinada por la compactación de dicha mezcla. Dicha resistencia puede disminuir debido al porcentaje de vacíos que posee la mezcla. El ACI elaboró un vástago de ensayos de probetas de forma cilíndrica para ejecutar la verificación de la relación que existe entre la resistencia a la compresión y el contenido de aire presente, a partir de dichas pruebas realizadas llegaron a la conclusión de que cuando se tenga un menor porcentaje de vacíos dentro del concreto, la probeta sujeta al ensayo poseerá mayor resistencia a la compresión. Cuando el porcentaje de vacíos sea del 15%, la resistencia a la compresión disminuirá. Adicionalmente se comprobó que el aumento del tamaño del agregado grueso puede lograr la disminución de la resistencia a la compresión, es debido a eso que el ACI llega a recomendar usar un agregado grueso que se encuentre en el rango de 3/4” a 3/8”. La relación entre el agua y el cemento es muy importante, porque de usarse en una alta concentración, el concreto será más líquido y se llenarán los vacíos, y en caso de usarse en una baja concentración, se podría afectar la adhesión del agregado. Por lo cual es muy importante determinar la

correcta relación para la obtención de un buen diseño. El ACI propone que dicha relación debe estar dentro del rango de 0.30 y 0.40.

Resulta ser la medida más usada por los profesionales para calcular el desempeño y diseñar cualquier estructura. Según definición un ensayo tiene como resultado al promedio resistencias de dos probetas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, los cuales tendrán una edad de 28 días (Gastañadui, 2019, pág. 24).

La pasta se controla mediante la relación agua/cemento, se debe tener en cuenta que las especificaciones de los agregados por lo general no pueden llegar a ser manipuladas, debido a que normalmente se utilizan los que se encuentren disponibles y que se encuentren cerca de la construcción (Solis, Moreno, & Arjona, 2012, pág. 21).

Es una de las mayores fortalezas del concreto y el atributo mecánico más importante; pero, la resistencia a la tensión es igual de importante debido a que es necesario para predecir ciertas grietas del material. La resistencia a la compresión del concreto puede ser diseñado de tal forma que se posea de una grande variedad de propiedades de durabilidad y mecánicas, con las cuales se llegan a cumplir los requerimientos que son necesarios para el diseño de la estructura. La resistencia a la compresión en el concreto llega a ser la medida más común e importante de desempeño, la cual es usada por los profesionales o ingenieros para realizar el diseño de estructuras y edificios; se mide con la introducción de las probetas cilíndricas en una máquina de ensayos, en donde la resistencia es calculada desde la carga de la ruptura que se divide entre el área de la sección resistente a la carga y se expresa en MPa. (IMCYC, 2006, pág. 5).

Es la capacidad que se tiene para soportar una fuerza de aplastamiento que normalmente se puede lograr ver en todos los materiales que son utilizados para realizar estructuras de todo tipo, empezando por las reticulares. El ensayo da información de las propiedades del material, las cuales pueden ser mecánicas y también brindan información del comportamiento del concreto de manera muy detallada frente a cargas que cambian gradualmente o cargas estáticas. Se analiza frente a cargas dinámicas, aunque muchas veces suele darse una carga sostenida

durante el tiempo en una carga dinámica o sísmica. Pero, no se puede obviar la especificación de cómo se logrará comportar la mezcla frente a fuerzas sísmicas (Hernandez & Contreras, 2018, pág. 1).

#### **2.2.3.2. Verificación**

La resistencia a la compresión es conforme cuando (Gastañadui, 2019, pág. 24):

- El promedio aritmético de la realización de tres ensayos de resistencia que fueron consecutivos a 28 días es  $>$  al  $f'c$ .
- Ningún ensayo individual será  $<$  al  $f'c$ .
- Ningún ensayo individual es  $<$  que  $f'c$  en más de  $0.10f'c$ .

#### **2.2.3.3. Ensayos**

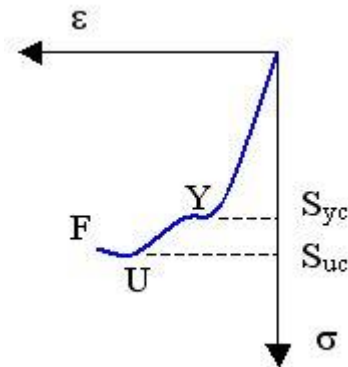
El ensayo de compresión de cilindros provee de información acerca de los comportamientos y las propiedades mecánicas de todos los materiales involucrados de una manera muy detallada frente a cargas estáticas o cargas que crecen gradualmente a través del tiempo. Adicionalmente se analizan frente a cargas dinámicas, sin embargo, pasa que muchas veces es más posible una carga sostenida en el tiempo que una carga dinámica o sísmica, lo cual llega a ser otro ensayo. Pero no se puede obviar la especificación del cómo sería su comportamiento del concreto frente a fuerzas sísmicas que parte del comportamiento frente a cargas que son estáticas (Hernandez & Contreras, 2018, pág. 1).

Es un ensayo de materiales que se usa para saber de su comportamiento frente a cargas o fuerzas de compresión. Es un ensayo que se usa en menos frecuencia que los ensayos de tracción, que se aplica en probetas de materiales que estarán expuestas a compresión, como la fundición o el hormigón e inclusive en piezas terminadas. Se realiza en una probeta del material, la cual normalmente es de forma cilíndrica, dentro de una máquina global de ensayos, donde se obtiene una curva de tensión, la cual es aplicada a deformación longitudinal unitaria; al igual que en un ensayo de tracción. Las deformaciones y tensiones en estado de

compresión son consideradas negativas, es por eso la gráfica se encuentra en el tercer cuadrante, como se mostrará en la siguiente imagen (Pérez, 2014, pág. 1).

### Figura 1

Gráfica de la resistencia a la compresión en el tercer cuadrante



*Nota:* La imagen representa la resistencia a la compresión y sus elementos ubicados en el tercer cuadrante. Tomado de “Ensayo de compresión”, Pérez, 2014, pp 1. Dónde: Y: Punto a partir del que se producen deformaciones plásticas que son permanentes – Límite de fluencia. U: Punto en donde se alcanza la tensión máxima de compresión- Límite de rotura. F: Punto en donde se realiza la rotura de la probeta - Punto de fractura.

Los cilindros que se usan en las pruebas de aceptación deben cumplir con los tamaños de 150 x 300 mm o 100 x 200 mm, en caso de que se especifique. Las probetas de menos tamaño son más fáciles de elaborar y poder manejar en laboratorio y en el campo. Los cilindros de ensayo deberán tener un diámetro de un mínimo del triple de su tamaño máximo del agregado grueso que será empleado en la preparación del concreto.

- **Realización de la prueba de resistencia del concreto**

Con el fin de obtener una distribución uniforme de cargas, por lo general los cilindros son cabeceados por almohadillas (ASTM C131) o un mortero de azufre (ASTM C167). El cabeceo de azufre debe implementarse como mínimo un par de horas antes y de preferencia con 24 horas previas a la prueba. El diámetro tiene que ser medido en 2 lugares en ángulos rectos y se deben sacar el promedio para de esa manera poder calcular el área de la sección. En caso de que los diámetros lleguen a diferir en 2% o más, no deberá aplicarse la prueba al cilindro. Los puntos extremos de las probetas no deben contar con desviaciones perpendiculares al eje del cilindro en

más de 0.5% y en aquellos extremos deben poder encontrarse planos que estén dentro del rango de 0.002 pulgadas.

Los cilindros deberán colocarse en el centro de la máquina de ensayo a la resistencia a la compresión y pueden ser cargados de modo que se puede llegar a completar la ruptura. La carga con la máquina hidráulica debe estar dentro del rango de 0.15 a 0.35MPa/s. Debe registrarse el tipo de ruptura tenido. La resistencia a la compresión se puede estimar al dividir la carga máxima soportada por la probeta para causar la ruptura entre un área promedio de la sección. La norma ASTM C39 expone los factores de corrección en ciertos casos en donde la razón longitud del diámetro del cilindro se encuentre en el rango de 1.75 a 1, lo cual es común. Se deben hacer las pruebas al menos a 2 cilindros que posean de la misma edad y la resistencia promedio es reportada como la prueba, al rango de 0.1 MPa.

El ingeniero que haga la prueba debe registrar la fecha de aceptación de las probetas en el laboratorio, la fecha de ejecución de los ensayos, realizar la identificación de la probeta, calcular el diámetro del cilindro y anotar los diámetros de estos, finalmente debe anotar que tipo de ruptura se presentó en los cilindros y la masa. El intervalo de la resistencia promedio entre los cilindros que pertenecen al mismo grupo y llegan a ser aplicados a una misma edad debe estar entre el 2 y 3%. En caso de que los dos cilindros difieran entre 8 a 9.5%, se deberá calibrar y corregir los pasos que se rigen en el ensayo dentro del laboratorio.

Los comunicados pertenecientes a las pruebas de resistencia a la compresión, representan el almacén de data muy importante para el equipo del proyecto que se da actualmente (Mario, 2008, pág. 1)

La última resistencia se calcula con la ecuación, mostrada a continuación:

Dónde:

$$R_{um} = P_{max} / S$$

R: Resistencia

P: Carga aplicada máxima

S: Sección transversal

#### **2.2.3.4. Razones para determinar la resistencia a la compresión**

- Sus productos son usados para establecer la mezcla de concreto que se suministran, la cual debe cumplir con las especificaciones de la resistencia  $f'_c$ , que se especificó (IMCYC, 2006, pág. 20).
- Sus productos obtenidos de la prueba de resistencia a la compresión que se obtuvieron de los cilindros que fueron moldeados se puedan usar para los objetivos de determinar su control de calidad o para calcular la resistencia del concreto dentro de las estructuras y proyectar aquellas operaciones de construcción, así como la remoción de cimbras o para la protección a la estructura (IMCYC, 2006, pág. 20).
- Los cilindros que fueron probados en los ensayos para la determinación de la calidad son elaborados y curados según los procedimientos detallados en las probetas que fueron previamente curadas de forma estándar para la norma ASTM C31. Para valorar la resistencia in situ, la ASTM C31 formula procedimientos para efectuar las pruebas de curado. Las probetas cilíndricas son expuestas a ensayos según la norma ASTM C39, “Método estándar de prueba de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto” (IMCYC, 2006, pág. 20).
- Los resultados de las pruebas son el promedio de como mínimo dos pruebas que fueron realizadas de una manera estándar, echas con la muestra del concreto y realizando los ensayos al mismo tiempo de edad, de 28 días (IMCYC, 2006, pág. 20).

### **2.3. Definición de términos**

1. **Concreto:** Según Cemarequipa (2012), El concreto es un material de uso convencional o común, que se obtiene a partir de la mezcla de 3 elementos principales, agua, cemento y agregados, a estos elementos normalmente se le agrega un cuarto material que se le conoce como aditivo.

2. **Concreto poroso:** El concreto poroso resulta de la mezcla de agregado grueso, cemento, agua y/o aditivos y agregado fino para mejorar la trabajabilidad, pero deben encontrarse en un pequeño porcentaje (Porras, 2017, pág. 1).
3. **Agregados:** Son materiales inertes que se encuentran dispersos en la pasta plástica del cemento y que son usados para reforzar un material compuesto, tiene como función brindar estabilidad volumétrica y mayor durabilidad del concreto (Cabello, Campuzano, Espinoza, & Sánchez, 2015, pág. 67).
4. **Cemento:** Es el material más empleado para la construcción debido a sus excelentísimas propiedades mecánicas, las cuales se presentan cuando el cemento llega a su estado de dureza (Cabello, Campuzano, Espinoza, & Sánchez, 2015, pág. 67).
5. **Resistencia:** Es una de las mayores fortalezas del concreto y el atributo mecánico más importante (Gastañadui, 2019, pág. 24).
6. **Resistencia a la compresión:** La resistencia a la compresión es establecida por los tipos de mezcla del que se encuentra conformado, y también se puede ver determinada por la compactación de dicha mezcla (Gastañadui, 2019, pág. 24)
7. **Ensayos:** El ensayo de compresión de cilindros provee de información acerca de los comportamientos y las propiedades mecánicas de todos los materiales involucrados (Hernandez & Contreras, 2018, pág. 1).
8. **Aditivos:** Son productos por lo general líquidos que se agregan a la mezcla, estos poseen la función principal de innovar las propiedades que son propias del concreto (Aragón, 2006, pág. 6).
9. **ACI:** El American Concrete Institute es una organización de Estados Unidos, sin fines de lucro que desarrolla e implementa estándares, normas y propuestas que son técnicas para el hormigón (ACI, 2021).
10. **ASTM:** American Society and Testing and Materials, es una organización que plantea normas internacionales que publica acuerdos

voluntarios de normas técnicas para materiales, productos y servicios (ASTM, 2021).

## **2.4. Hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis General**

Existe diferencia significativa de la resistencia a la compresión al aplicar los agregados de la cantera del Río Ichu y Cerro en el diseño del concreto poroso.

### **2.4.2. Hipótesis Específicas**

- Existe una diferencia significativa en la resistencia a la compresión de 210kg/cm<sup>2</sup> en el diseño de concreto poroso según el contenido de vacíos de la mezcla (15%, 20%, 22.5%) elaborada con los agregados de las canteras del Río Ichu y Cerro.
- Existe una diferencia significativa en el Coeficiente de permeabilidad en el diseño de concreto poroso según el contenido de vacíos de la mezcla (15%, 20%, 22.5%) elaborada con los agregados de las canteras del Río Ichu y Cerro.

## **2.5. Variables**

- Variable dependiente: Resistencia a la compresión
- Variable independiente: Concreto poroso

## 2.6. Operacionalización de variables

**Tabla 2**

*Operacionalización de variables*

Variable	Tipo de Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicador	Ítem	Fuente			
<b>Resistencia a la compresión</b>	Variable dependiente	Medida más usada por los profesionales para calcular el desempeño y diseñar cualquier estructura. Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión son usados básicamente para realizar la evaluación de que el concreto suministrado cumpla con la resistencia que se especificó f'c	Resistencia a la compresión	Ensayo a la compresión según la ASTM C39	Probeta en forma cilíndrica	Fuente primaria - observación directa (laboratorio)			
					Tamaño de los cilindros dentro de 150 * 300 mm.				
					Usar mortero de azufre o almohadillas				
					Carga de la máquina hidráulica entre 0.15y 0.35 MPa/s.				
					Los cilindros deben tener la misma edad, preferiblemente 28 días.				
					Diámetro de 1 - 1.75				
<b>Concreto poroso</b>	Variable independiente	Mezcla de agregado grueso, cemento hidráulico, agua y/o aditivos y agregado fino para mejorar la trabajabilidad, pero deben encontrar en un pequeño porcentaje	Granulometría	Agregado grueso	Tendrá un tamaño máximo de 10mm.	Fuente primaria - observación directa (laboratorio)			
				Agregado fino	Considerar su ausencia en un 90 - 100%				
			Dosis de cemento	Cemento	Tendrá una dosis de 350-400 kg/m3.				
			Contenido de vacíos	Porcentaje de vacíos	Los vacíos aplicados en el diseño de mezcla serán de: 15%, 20% y 22.5%				
			Dosis de agua	Excesiva cantidad	La pasta sellará todos los vacíos.				
				Cantidad insuficiente	Poca consistencia y resistencia de la masa.				
			Permeabilidad	Coeficiente de permeabilidad (K)	Tiempo total de descarga (s)		Área de la sección transversal de la muestra (cm <sup>2</sup> )	Distancia entre piezómetros (cm)	Diferencia de carga (altura) sobre los piezómetros (cm)
					Cantidad de agua que descarga (cm <sup>3</sup> )				

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Ámbito temporal y espacial**

##### **3.1.1. Ámbito temporal**

La investigación fue realizada durante el periodo del mes de mayo 2021 a mayo 2022.

##### **3.1.2. Ámbito espacial**

El ámbito espacial estuvo determinado por los sectores de estudio, los cuales son el río Ichu y Cerro, de donde se obtuvo la muestra de agregados, específicamente el agregado grueso, los ensayos de laboratorios se realizaron en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil – Huancavelica de la Universidad Nacional de Huancavelica.

#### **3.2. Tipo de investigación**

Según Hernández et al. (2014), la investigación aplicada, es la investigación enfocada en la resolución de problemas, pueden existir temas referidos al mismo, pero con esta investigación se llegará a tener un conjunto de posibles soluciones a un problema específico.

El trabajo de investigación es de tipo aplicada, porque se da solución a un problema concreto, en este estudio el problema a resolver fue la poca aplicación del concreto poroso elaborado con agregados de las canteras del río Ichu y Cerro en la región de Huancavelica.

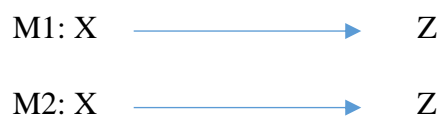
### 3.3. Nivel de investigación

Las investigaciones que tienen nivel explicativo, no solo describen fenómenos o conceptos o solo establecer las relaciones entre los conceptos; es decir, se encuentran direccionados a contestar por algunas causas de los eventos y los fenómenos sociales. Se centra básicamente en explicar por qué sucede cierta actividad o fenómeno y de qué modo se manifestó dicha razón (Hernández et al., 2014, pág. 95).

### 3.4. Diseño de investigación

El diseño de investigación es: pre-experimental. Este tipo de diseño se usa cuando el que investiga desea determinar el efecto probable de una causa, la cual es manipulable; sin embargo, para determinar las influencias, se deberían cubrir algunas especificaciones, las cuales son: la situación de control en donde se realiza la manipulación de una o dos variables independientes, las cuales son llegan a ser las causas para lograr analizar sus consecuencias, que para tal caso son los efectos (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

El diseño de investigación pre-experimental presenta el siguiente esquema:



Donde:

M1 y M2: Muestra de concreto poroso con agregado de cantera Rio Ichu y Cerro, respectivamente.

X: Es la variable independiente o la causa, para fines de esta investigación:  
Concreto poroso

Z: Es la variable dependiente o el efecto, para fines de esta investigación:  
Resistencia a la compresión

## **3.5. Población, muestra y muestreo**

### **3.5.1. Población**

Para Hernández et al. (2014) La población es el conjunto de todos los casos que tienen relación con algunas especificaciones determinadas y determinísticas, también es llamado universo, para la población es conveniente definir esas especificaciones o características, ya que de esta manera se puede limitar ciertos parámetros (pág. 174). La población para este estudio estuvo determinada por el concreto microporoso. Además, se compuso de 72 probetas realizadas; 36 para medir la resistencia y 36 para medir la permeabilidad.

### **3.5.2. Muestra**

La muestra es un subgrupo de la población, a lo cual se concluye que los individuos que se encuentren dentro de la muestra tienen las mismas características o especificaciones referidas al estudio. La muestra fue dada debido a que muchas veces es complicado realizar las pruebas o aplicar técnicas a toda la población, para lo cual la muestra es un reflejo de todo lo que la población podría tener como resultados (Hernández et al., 2014, pág. 175). La muestra también se compuso del concreto microporoso y la cantidad de ensayos.

Para determinar el tamaño de la muestra, se aplicó un muestreo no probabilístico. Por tanto, el tamaño de la muestra al ser igual que el tamaño de la población, se compuso de las 72 probetas; siendo 36 para ensayos de resistencia y 36 para ensayo de permeabilidad.

## **3.6. Instrumentos y técnicas para recolección de datos**

### **3.6.1. Instrumentos**

Resulta ser una medición efectiva, este debe contener a los indicadores de las variables que se desee medir. El instrumento contó con ciertos requisitos, los cuales son: la confiabilidad y la validez. Se dice que el instrumento es confiable cuando a partir de ser aplicado muchas veces siempre se obtienen resultados iguales, y se dice que un instrumento es válido cuando su único fin es medir la variable y se tienen datos objetivos y reales (Espinoza, 2010, pág. 133).

El instrumento para esta investigación fue la guía de ficha técnica, la cual fue realizada de acuerdo a los indicadores de la resistencia a la compresión y del concreto poroso.

### **3.6.2. Técnicas**

La observación permite estructurar y acumular la información requerida para cumplir con el objetivo de la investigación y el cual se encuentra vinculado con el problema general del estudio. Esta técnica permitió la obtención de datos de acuerdo a la tendencia que tiene el objetivo del estudio. Algunos instrumentos usados para esta técnica son: formularios, hojas de cotejo, fichas de observación, listas de verificación, cámaras y filmadoras, etc. (Espinoza, 2010, pág. 111).

## **3.7. Técnicas y procesamiento de análisis de datos**

La técnica que se usó fueron los estadísticos descriptivos, el cual fue procesado con el uso de la estadística descriptiva, la cual hizo uso de porcentaje, mediana, coeficiente de variación, medias aritméticas y desviación estándar.

Para el análisis de datos, se realizaron:

- Desarrollo de estadística descriptiva para la variable concreto poroso y resistencia a la compresión.
- Uso de tablas, gráficos de dispersión, histogramas de frecuencia.

- Porcentajes y frecuencias.
- Tablas comparativas con el fin de entender la explicación que brinda la variable concreto poroso para entender la variable resistencia a la compresión.

## CAPÍTULO IV

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Análisis de información

##### 4.1.1. Caracterización por tipo de cantera

A. *Ensayo de abrasión*

**Tabla 3**

*Ensayo de abrasión de la cantera Cerro y río Ichu*

Tamiz	A		B		C		D	
	Cerro	Ichu	Cerro	Ichu	Cerro	Ichu	Cerro	Ichu
1 1/2"	-	-	-	-	-	-	-	-
1"	-	-	-	-	-	-	-	-
3/4"	-	-	-	-	-	-	-	-
1/2"	-	-	-	-	-	-	-	-
3/8"	-	-	-	-	-	-	-	-
1/4"	-	-	-	-	2500	2500	-	-
Nº4	-	-	-	-	2500	2500	-	-
Peso Total	-	-	-	-	5000	5000	-	-
Material Retenido Tamiz Nº12 (g)	-	-	-	-	3530	3760	-	-
Material Pasante Tamiz Nº12 (g)	-	-	-	-	1470	1240	-	-
Porcentaje Obtenido	-	-	-	-	29.40%	24.80%	-	-

*Nota.* Datos provenientes de los ensayos.

En la **Tabla 3** se presentaron datos en relación al ensayo de abrasión de los agregados obtenidos de las canteras tanto del Cerro, cómo del río Ichu; estos se dividieron en cuatro graduaciones; cabe resaltar que se empleó la máquina de los ángeles (MTC E-207, AASHTO T.96). Se encontró que el tamiz de un cuarto de pulgada para el Cerro en la tercera graduación fue de 2500g esto también se evidenció en la cantera del río Ichu, asimismo en el tamiz número 4 se evidenció este mismo valor respecto al peso total tanto la cantera del Cerro como la cantera Ichu presentó un valor de 5000g. Respecto al material retenido tamiz número 12 en cantera del Cerro se evidenció un valor de 3530g y para la cantera de hecho fue de 3760g. El porcentaje obtenido fue de 29.40% y 24.80% para Cerro y Rio respectivamente. Estos porcentajes de ensayo de abrasión son importantes porque identifica el desgaste o roce superficial del pavimento.

### B. Análisis granulométrico

**Figura 2**

*Curva granulométrica para agregado grueso – Cantera Cerro*



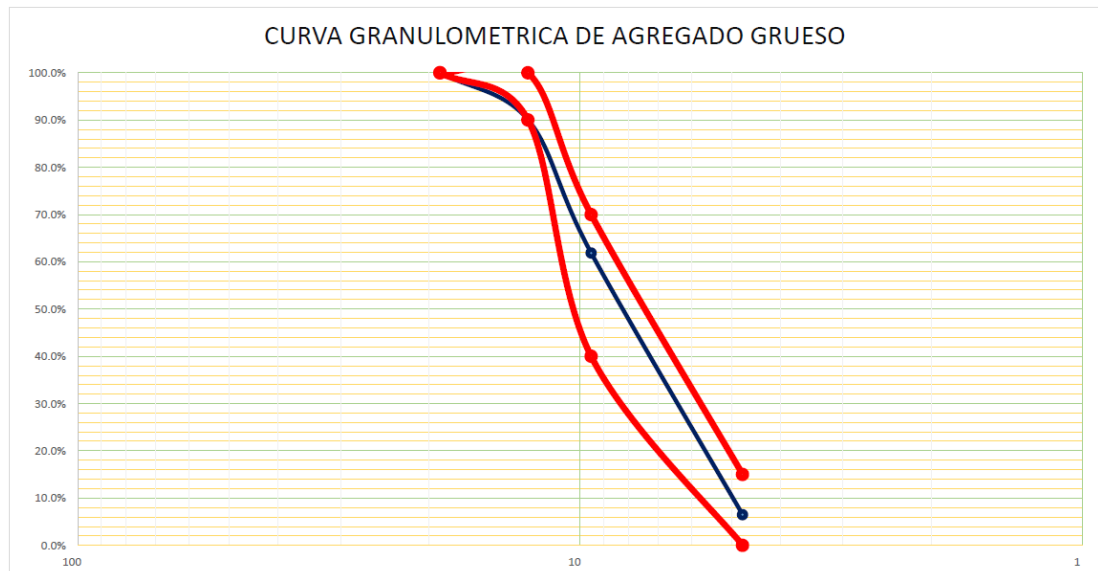
**Tabla 4***Granulometría del agregado grueso de la cantera Cerro y río Ichu*

Indicador	Cantera	Tamiz						Fondo	Total
		3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16		
Peso retenido (g)	Cerro	0	0	443.13	2068.19	300.119	180	9.751	3001.19
	Ichu	0	299.53	848.53	1667.81			194.79	3010.66
% retenido	Cerro	0	0	14.77	68.91	10	6	0.32	100
	Ichu	0	9.95	28.18	55.4			6.47	100
% Retenido acumulado	Cerro	0	0	14.77	83.68	93.68	99.68	100	
	Ichu	0	9.95	38.13	93.53			100	
% pasa	Cerro	100	100	85-23	16.32	6.32	0.32	0	
	Ichu	100	90.05	61.87	6.47			0	
Límite inferior	Cerro*		100	85	10	0	0		
	Ichu**	100	90	40	0			0	
Límite superior	Cerro*		100	100	30	10	5		
	Ichu**	100	100	70	15			5	
Módulo de fineza	Cerro					5.92			
	Ichu					6.32			

Nota. \*Huso N°8, \*\*Huso N°7. Datos provenientes de los ensayos.

**Figura 3**

*Curva granulométrica para agregado grueso – Cantera río Ichu*



En la **Tabla 4** se presentó la granulometría del agregado grueso de la cantera cerro como de la cantera río Ichu. Se evidencia que la diferencia se da en el agregado grueso de Cerro, el cual pasa para los tamices N° 8 Y N° 16, mientras que el de Ichu solo llega hasta el tamiz N° 4, ello también se observa en la curva granulométrica (ver **Figura 2** y **Figura 3**). Por ello, es que el agregado grueso de Cerro tiene partículas mucho más finas que el de Ichu. Lo cual estaría provocando que el concreto diseñado con el agregado de cantera de Cerro, sea más compacto y menos poroso.

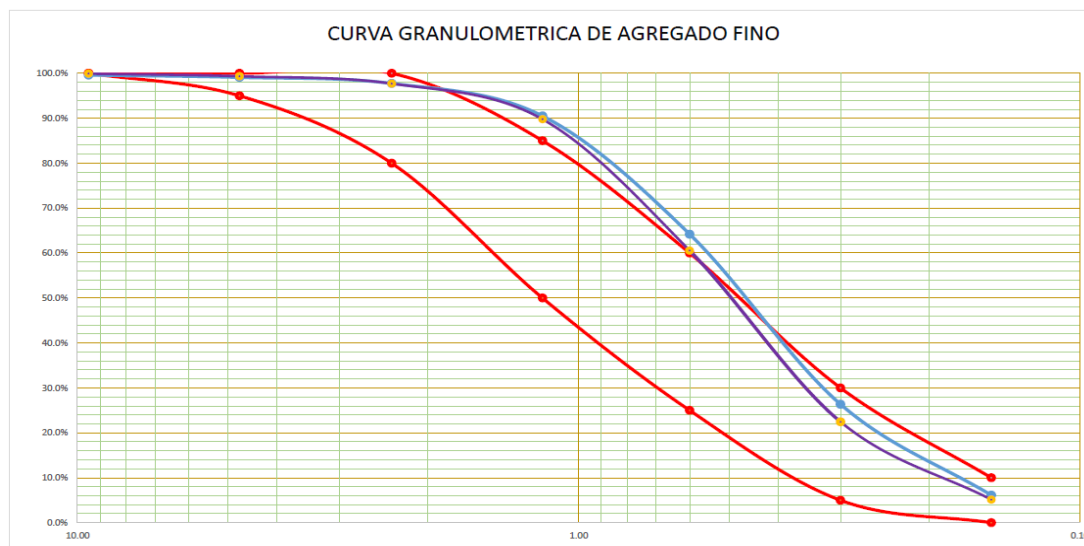
**Tabla 5***Granulometría del agregado fino*

Indicador	Ensayo	Tamiz (Pulg.)										Total
		1/2"	3/8"	4	8	16	30	50	100	200	Fondo	
Peso retenido (g)	1	0	7.88	10.33	26.95	144.8	525.98	757.09	404.59	85.4	37.31	2000.33
	2	0	1.76	11.4	32.79	158.79	585.6	763.27	346.98	73.93	29.1	2000.62
% retenido	1	0	0.394	0.52	1.35	7.24	26.29	37.85	20.23	4.27	1.87	-
	2		0.088	0.57	1.64	7.93	29.23	38.09	17.32	3.69	1.45	-
% Retenido acumulado	1	0	0.394	0.91	2.26	9.50	35.79	73.64	93.87	98.13	100.00	-
	2	0	0.088	0.66	2.29	10.22	39.45	77.54	94.86	98.55	100.00	-
% pasa	1	100	99.61	99.09	97.74	90.50	64.21	26.36	6.13	1.87	0.00	100.00
	2	100	99.61	99.34	97.71	89.78	60.55	22.46	5.14	1.45	0.00	100.00
Límite inferior	1		100	95	80	50	25	5	0	0	0	-
	2		100	95	80	50	25	5	0	0	0	-
Límite superior	1		100	100	100	85	60	30	10	0	0	-
	2		100	100	100	85	60	30	10	0	0	-
Módulo de fineza	1						2.164					-
	2						2.25					-

*Nota.* Datos provenientes de los ensayos.

**Figura 4**

*Curva granulométrica para agregado fino*



En la **Tabla 5** se presentaron los resultados granulométricos del agregado fino. Donde se evidencia los resultados de dos ensayos de granulometría, la adición de agregado fino es sumamente medida, controlada e igual para los diseños del concreto con agregado grueso de Cerro e Ichu, esto porque una mayor adición de agregado fino estaría reduciendo el % de vacíos, disminuyendo su porosidad y por ende su permeabilidad (Ver **Figura 4**).

*C. Humedad natural*

**Tabla 6**

*Contenido de humedad del agregado grueso para la cantera Cerro y río Ichu*

N° de ensayos	Cantera	1	2	3
Peso Tara + suelo húmedo (g)	Cerro	1320.0	1115.0	1230.0
	Ichu	1495.000	1550.000	1500.0
Peso Tara + suelo seco (g)	Cerro	1305.0	1095.0	1213.7
	Ichu	1450.000	1505.000	1455.0
Peso Tara (g)	Cerro	320.0	115.0	299.0
	Ichu	495.000	550.000	500.0
Peso Agua (g)	Cerro	15.0	20.0	16.3
	Ichu	45.000	45.000	45.0
Peso Suelo Seco (g)	Cerro	985.0	980.0	914.7
	Ichu	955.000	955.000	955.0
Contenido de humedad (%)	Cerro	1.523	2.041	1.8
	Ichu	4.712	4.712	4.7

N° de ensayos	Cantera	1	2	3
Promedio	Cerro		1.782	
	Ichu		4.712	

*Nota.* Datos provenientes de los ensayos.

En la **Tabla 6** se presentaron los resultados relacionados con el contenido de humedad del agregado grueso de las canteras analizadas. Respecto al promedio de la humedad para la cantera del Cerro fue de 1.782%, mientras que para la cantera Ichu fue de 4.712%. En relación al contenido de humedad, se encontró que para la cantera el Cerro se tuvo cantidades de 1.523%, 2.041% y 1.8%, mientras que para la cantera Ichu sus valores fueron de 4.712% en las primeras muestras y 4.7% en la tercera muestra. Es importante contar con una humedad adecuada al ambiente, ya que una baja humedad puede generar la fisuración por un choque térmico entre los ambientes.

**Tabla 7**

*Contenido de humedad del agregado fino*

N° de ensayos	1	2	3
Peso Tara + suelo húmedo (g)	147.2	147.959	147.300
Peso Tara + suelo seco (g)	134.8	135.8	135
Peso Tara (g)	30.47	29.96	30
Peso Agua (g)	12.4	12.2	12.3
Peso Suelo Seco(g)	104.4	105.8	105.0
Contenido de humedad (%)	11.9	11.5	11.7
<b>Promedio</b>		11.709	

*Nota.* Datos provenientes de los ensayos.

En la **Tabla 7** se presentaron los resultados relacionados con el contenido de humedad para el agregado fino. En este caso se evidenció un promedio de humedad de 11.709%, siendo esta la misma para los dos diseños de concreto.

*D. Peso específico y absorción*

**Tabla 8**

*Peso específico y absorción del agregado grueso de la cantera Cerro y río Ichu*

N° de ensayos	Cantera	1	2	Promedio
Peso de muestra seca al horno (g)	Cerro	2485	2480	-
	Ichu	2440	2440	-
Peso de muestra saturada superf. Seca (g)	Cerro	2500.000	2500.000	-
	Ichu	2500.000	2500.000	-

Peso de muestra saturada superf. Seca sumergida (g)	Cerro	1568.600	1565.700	-
	Ichu	1539.500	1537.200	-
Peso específico sobre base seca A/(B-C)	Cerro	2.668	2.654	2.661
	Ichu	2.540	2.534	2.537
Peso específico sobre base saturada superficialmente seca B/(B-C)	Cerro	2.684	2.676	2.680
	Ichu	2.603	2.597	2.600
Peso específico aparente A/(A-C)	Cerro	2.712	2.712	2.712
	Ichu	2.710	2.703	2.706
Absorción de agua ((B-A)*100)/A (%)	Cerro	0.604	0.806	0.705
	Ichu	2.459	2.459	2.459

*Nota.* Datos provenientes de los ensayos.

Cómo se observaron los resultados respecto al peso específico y la absorción del agregado de las dos canteras trabajadas. El peso aparente específico para la cantera del Cerro tuvo un promedio de 2.712, mientras que el peso específico aparente para la cantera del río Ichu tuvo un promedio 2.706; en relación a la absorción de agua en la cantera del Cerro se tuvo un promedio de 0.705% y respecto a la cantera del río Ichu se evidenció un valor promedio de 2.459%. Es importante determinar el nivel de absorción de agua que tienen estos agregados ya que de acuerdo a ellos se puede evidenciar si el pavimento va a tener una textura muy seca la cual puede generar fisuras o fracturas (ver **Tabla 8**).

### **Tabla 9**

*Peso específico y absorción del agregado fino*

N° de ensayos	1	2	Promedio
P. Picnómetro más agua aforado (g)	695.1	-	-
P. de la muestra seca al horno (g)	494.390	-	-
P. de la muestra saturada superficialmente seca (g)	500.000	-	-
P. Picnómetro más agua más muestra aforado (g)	1008.050	-	-
Peso específico sobre base seca B/(C-(D-A))	2.643	-	2.643
Peso específico sobre base saturada superficialmente seca C/(C-(D-A))	2.673	-	2.673
Peso específico aparente B/(B-(D-A))	2.725	-	2.725
Absorción de agua ((C-B)*100)/B (%)	1.130	-	1.135

*Nota.* Datos provenientes de los ensayos.

Se evidencia que en la **Tabla 9** se encuentra los resultados relacionados al peso específico y la absorción del agregado fino. Con ello se ve que el promedio del peso

específico sobre la base seca es de 2.643, respecto al peso específico aparente promedio este es de 2.725 y peso específico sobre base saturada superficialmente seca promedio es de 2.673 kg y la absorción del agua del agregado fino tiene un promedio de 1.135%.

*E. Peso unitario*

**Tabla 10**

*Peso unitario suelto del agregado grueso de la cantera Cerro y río Ichu*

<b>Peso Unitario Suelto</b>					
<b>Descripción</b>	<b>Cantera</b>	<b>Und.</b>	<b>Identificación</b>		
			<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso del recipiente + muestra	Cerro	Kg	17.25	17.25	17.27
	Ichu	Kg	17.39	17.42	17.43
Peso del recipiente	Cerro	Kg	10.16	10.16	10.16
	Ichu	Kg	10.16	10.16	10.16
Peso de la muestra	Cerro	Kg	7.09	7.09	7.11
	Ichu	Kg	7.23	7.26	7.27
Volumen	Cerro	m <sup>3</sup>	0.01	0.01	0.01
	Ichu	m <sup>3</sup>	0.01	0.01	0.01
Peso unitario suelto	Cerro	kg/m <sup>3</sup>	1266.07	1265.18	1269.64
	Ichu	kg/m <sup>3</sup>	1291.07	1295.54	1298.21
<b>Peso unitario suelto promedio</b>	Cerro	kg/m <sup>3</sup>	1267.00		
	Ichu	kg/m <sup>3</sup>	1294.90		

*Nota.* Datos provenientes de los ensayos.

Se evidencia que el peso unitario suelto del agregado grueso presentó en una serie de datos los cuales se expusieron en la **Tabla 10**. Se encontró que el peso unitario suelto promedio para la cantera Cerro fue de 1267.00 kg/m<sup>3</sup>. Mientras que para la cantera Ichu fue de 1294.90 kg/m<sup>3</sup>. En relación al peso del recipiente y la muestra, se encontró que los dos recipientes de la cantera Cerro pesaron 17.25 kg y la tercera fue de 17.27 kg. Mientras que para la cantera Ichu, el primer recipiente con la muestra fue de 17.39 kg seguido de 17.42 y 17.43 kg, el volumen para ambas canteras, el valor fue de 0.01 m<sup>3</sup>.

**Tabla 11***Peso unitario compactado del agregado grueso de la cantera Cerro y río Ichu*

Descripción	Cantera	Und.	Identificación		
			1	2	3
<b>Peso del recipiente + muestra</b>	Cerro	Kg	18.66	18.67	18.69
	Ichu	Kg	18.33	18.34	18.38
<b>Peso del recipiente</b>	Cerro	Kg	10.16	10.16	10.16
	Ichu	Kg	10.16	10.16	10.16
<b>Peso de la muestra</b>	Cerro	Kg	8.50	8.51	8.53
	Ichu	Kg	8.17	8.18	8.22
<b>Volumen</b>	Cerro	m <sup>3</sup>	0.006	0.006	0.006
	Ichu	m <sup>3</sup>	0.006	0.006	0.006
<b>Peso unitario suelto</b>	Cerro	kg/m <sup>3</sup>	1516.96	1519.64	1523.21
	Ichu	kg/m <sup>3</sup>	1458.04	1460.71	1467.86
<b>Peso unitario compactado promedio</b>	Cerro	kg/m <sup>3</sup>	1519.90		
	Ichu	kg/m <sup>3</sup>	1462.20		

*Nota.* Datos provenientes de los ensayos.

En la **Tabla 11** se presenta el resultado de peso unitario compactado del agregado grueso de las dos canteras en cuestión. Se obtuvo que el peso unitario compactado promedio para el cerro fue de 1519.90 kg/m<sup>3</sup>, mientras que para la cantera Ichu fue de 1462.20 kg/m<sup>3</sup>. Sobre el peso unitario suelto, la cantera cerro presentó valores de 1516.96 kg/m<sup>3</sup>, 1519.64 kg/m<sup>3</sup> y 1523.21 kg/m<sup>3</sup>; en relación a la cantera Ichu, tuvo valores de 1458.04 kg/m<sup>3</sup>, 1460.71 kg/m<sup>3</sup> y 1467.86 kg/m<sup>3</sup>.

Respecto al peso unitario suelto del agregado fino, estos fueron presentados en la **Tabla 12**. Se evidenció que el peso unitario suelto promedio fue de 1259.8 kg/m<sup>3</sup>. En relación al peso unitario suelto para las muestras fueron 1258.9 kg/m<sup>3</sup>, 1258.0 kg/m<sup>3</sup> y 1262.5kg/m<sup>3</sup> respectivamente. Sobre el peso del recipiente con la muestra; las primeras dos presentaron 17.21 kg, mientras que la tercera fue de 17.23 kg.

**Tabla 12***Peso unitario suelto del agregado fino*

<b>Peso Unitario Suelto</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Und.</b>	<b>Identificación</b>		
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso del recipiente + muestra	Kg	17.21	17.21	17.23
Peso del recipiente	Kg	10.16	10.16	10.16
Peso de la muestra	Kg	7.05	7.05	7.07
Volumen	m <sup>3</sup>	0.006	0.006	0.006
Peso unitario suelto	kg/m <sup>3</sup>	1258.9	1258.0	1262.5
<b>Peso unitario suelto promedio</b>	kg/m <sup>3</sup>		1259.8	

*Nota.* Datos provenientes de los ensayos.**Tabla 13***Peso unitario compactado del agregado fino*

<b>Descripción</b>	<b>Und.</b>	<b>Identificación</b>		
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso del recipiente + muestra	Kg	18.42	18.42	18.42
Peso del recipiente	Kg	10.16	10.16	10.16
Peso de la muestra	Kg	8.26	8.26	8.29
Volumen	m <sup>3</sup>	0.006	0.006	0.006
Peso unitario compactado	kg/m <sup>3</sup>	1474.1	1474.1	1480.4
<b>Peso unitario compactado promedio</b>	kg/m <sup>3</sup>		1476.2	

*Nota.* Datos provenientes de los ensayos.

En la **Tabla 13** se presentaron los resultados relacionados con el peso unitario compactado del agregado fino. Donde se presentó el peso unitario compactado promedio de 1476.2 kg/m<sup>3</sup>. El peso unitario compactado fue de 1474.1 kg/m<sup>3</sup> para las primeras dos y para la tercera fue de 1480.4 kg/m<sup>3</sup>. En relación al peso recipiente con la muestra se obtuvo un peso de 18.42 kg para las tres.

#### 4.1.2. Diseño según tipo de cantera

**Tabla 14**

*Resumen de la caracterización del agregado*

Resumen de la caracterización del agregado						
Insumo	P.U. Suelto	P.U. Compactad	P. Específico gr	Módulo de fineza	% Absorción	% Humedad
<b>Arena</b>	1259.82	1476.19	2.673	2.207	1.135	11.709
<b>Agregado – Río</b>	1294.94	1462.202	2.6	6.317	2.459	4.712
<b>Agregado - Cerro</b>	1266.96	1519.940	2.68	5.918	0.705	1.782
<b>Cemento</b>	-	-	3.15			
<b>Agua</b>	-	-	1			

*Nota.* Datos provenientes de los ensayos.

En la **Tabla 14** se presentaron los datos de la caracterización del agregado, se encuentra compuesto de arena, agregado de río, agregado de Cerro, cemento y agua. El % de absorción de la arena es de 1.135%, del agregado de río es de 2.459%, y del agregado de cerro fue de 0.705%. El cemento tuvo un peso específico de 3.15. Respecto al agregado de río se tuvo un % de humedad de 4.712.

**Tabla 15**

*Material del diseño, según cantera y porcentaje de vacíos*

% vacíos	Cantera	Material			
		Cemento (kg/m <sup>3</sup> )	Agua (kg/m <sup>3</sup> )	Grava (kg/m <sup>3</sup> )	Arena (kg/m <sup>3</sup> )
<b>15%</b>	Cerro	376.327	119.072	1423.870	173.193
	Ichu	376.327	103.562	1420.989	173.193
<b>20%</b>	Cerro	306.637	91.196	1423.870	173.193
	Ichu	306.637	75.686	1420.989	173.193
<b>22.5%</b>	Cerro	271.792	77.258	1423.870	173.193
	Ichu	271.792	61.748	1420.989	173.193

*Nota.* Datos provenientes de los ensayos.

En la **Tabla 15** se presentaron los resultados relacionados con el 15% de vacíos, donde el cemento de la cantera del Cerro y de río, presentan un mismo valor 376.327 kg/m<sup>3</sup>. En relación al 20% de vacíos, el cemento tuvo un mismo valor para las dos canteras, siendo de 306.637 kg/m<sup>3</sup>. En relación al 22.5% de vacíos, las dos canteras

tuvieron un valor de 271.792 kg/m<sup>3</sup>, en relación a la arena, en todos los % de vacíos se obtuvo 173.190 kg/m<sup>3</sup>. Respecto al agregado grueso, la cantera de Cerro en los tres porcentajes obtuvo un valor de 1423.870 kg/m<sup>3</sup> y 1420.989 kg/m<sup>3</sup> para la cantera de río con los tres porcentajes de vacíos.

### 4.1.3. Ensayos en estado fresco

#### A. Ensayos con el 15% de vacíos

**Tabla 16**

*Peso unitario (P.U.) en estado fresco al 15% de vacíos - cantera Cerro y río Ichu*

<b>15% vacíos - A/C 0.40</b>	<b>Cantera</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
Masa de briqueta + concreto (kg)	Cerro	21.85	21.72	21.9
	Ichu	20.97	20.805	21.29
Briqueta (Mm)kg	Cerro	10.19	10.06	10.21
	Ichu	10.18	10.10	10.16
Volumen de (Vm)m <sup>3</sup>	Cerro	0.005	0.005	0.005
	Ichu	0.005	0.005	0.005
P.U. en estado fresco (D)	Cerro	2165.7	2164.8	2171.3
	Ichu	2004.2	1988.4	2067.3
<b>Promedio de P.U. fresco kg/m<sup>3</sup></b>	Cerro	2167.2		
	Ichu	2019.9		

*Nota.* Datos provenientes de los ensayos.

En la **Tabla 16** se presentaron los resultados relacionados al peso unitario en estado fresco al 15% de vacíos para ambas canteras. Para la masa de briqueta más concreto 21.85kg a 21.9kg por parte de la cantera de cerro. La cantera del Cerro tuvo un volumen de 0.005m<sup>3</sup> igual que la cantera del río Ichu. Presentan peso unitario fresco promedio de 2167.2kg/m<sup>3</sup> y 2019.9 kg/m<sup>3</sup> para el Cerro y el Ichu respectivamente.

**Tabla 17**

*Porcentaje de vacíos en estado fresco (15%) de la cantera Cerro y río Ichu*

<b>Descripción</b>	<b>Cantera</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
Masa total Mezcla (M) (g)	Cerro	2092.46	2092.46	2092.46
	Ichu	2074.07	2074.07	2074.07

Volumen Absoluto (V)(m <sup>3</sup> )	Cerro	0.85	0.85	0.85
	Ichu	0.85	0.85	0.85
Densidad Teórica del concreto (T)=M/V	Cerro	2461.72	2461.72	2461.72
	Ichu	2440.08	2440.08	2440.08
P.U. del concreto (D)	Cerro	2165.69	2164.76	2171.26
	Ichu	2004.17	1988.39	2067.29
% vacíos en fresco (U)	Cerro	13.67	13.72	13.38
	Ichu	21.75	22.72	18.03
<b>Promedio de % Vacíos</b>	Cerro		13.6	
	Ichu		20.8	

*Nota.* Datos provenientes de los ensayos.

En la **Tabla 17** se presentaron los resultados relacionados al 15% de vacíos en estado fresco de ambas canteras. Se aprecia que, para la cantera del Cerro, la masa total fue de 2092.46g, respecto a su volumen absoluto se obtuvo un valor de 0.85m<sup>3</sup> en relación a la densidad teórica del concreto de 2461.72kg/m<sup>3</sup>, el % vacíos promedio en estado fresco para la cantera de Cerro fue de 13.6%. En relación a la cantera del río Ichu, se encontró que la masa total de la mezcla fue de 2074.07g para las tres muestras, con un volumen absoluto de 0.85m<sup>3</sup>, la densidad obtenida fue de 2440.08kg/m<sup>3</sup>, su P.U. del concreto más alto es de 2067.29kg/m<sup>3</sup>, el % de vacíos promedio en estado fresco para la cantera del río Ichu fue de 20.8%

#### *B. Ensayos con el 20% de vacíos*

**Tabla 18**

*Peso unitario en estado fresco al 20% de vacíos de la cantera Cerro y río Ichu*

<b>20% vacíos - A/C 0.40</b>	<b>Cantera</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
Masa de briqueta + concreto (kg)	Cerro	21.29	21.02	21.33
	Ichu	20.81	20.50	20.45
Briqueta (Mm)kg	Cerro	10.09	10.10	10.18
	Ichu	10.01	10.18	10.07
Volumen de (Vm)m <sup>3</sup>	Cerro	0.005	0.005	0.005
	Ichu	0.005	0.005	0.005
P.U. en estado fresco (D)	Cerro	2079.4	2027.4	2071.0
	Ichu	2005.1	1916.0	1927.1
<b>Promedio de P.U. fresco kg/m<sup>3</sup></b>	Cerro		2059.2	
	Ichu		1949.4	

*Nota.* Datos provenientes de los ensayos.

En relación al peso unitario en estado fresco al 20% de vacío de las dos canteras, se evidencia el promedio del peso unitario fresco para el Cerro siendo esto de 2059.2 Kg/m<sup>3</sup> y 1949.4 Kg/m<sup>3</sup> para el río Ichu. Asimismo, se evidencia que el volumen para el Cerro y en sus tres muestras fue de 0.005 m<sup>3</sup>, el mismo valor fue obtenido para la cantera del Río Ichu (Ver **Tabla 18**).

**Tabla 19**

*Porcentaje de vacíos en estado fresco (20%) de la cantera Cerro y río Ichu*

<b>Descripción</b>	<b>Cantera</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
Masa total Mezcla (M)	Cerro	1994.9	1994.9	1994.9
	Ichu	1976.5	1976.5	1976.5
Volumen Absoluto (V)	Cerro	0.80	0.80	0.80
	Ichu	0.80	0.80	0.80
Densidad Teórica del concreto (T)=M/V	Cerro	2493.6	2493.6	2493.6
	Ichu	2470.6	2470.6	2470.6
P.U. del concreto (D)	Cerro	2079.4	2027.4	2071.0
	Ichu	2005.1	1916.0	1927.1
% vacíos en fresco (U)	Cerro	19.92	23.00	20.41
	Ichu	23.22	28.95	28.20
<b>Promedio de % Vacíos</b>	Cerro	21.10		
	Ichu	26.80		

*Nota.* Datos provenientes de los ensayos.

En la **Tabla 19** se presentaron los resultados relacionados con el porcentaje de vacíos en estado fresco con 20% para las dos canteras. Se evidencia un promedio de vacíos de 21.10% para Cerro y 26.80% para la cantera Ichu. Respecto a la densidad teórica del concreto, se obtuvo que la cantera del Cerro tuvo un valor de 2493.6 Kg/m<sup>3</sup> y para la cantera de Ichu fue de 2470.6 Kg/m<sup>3</sup>.

*C. Ensayos con el 22.5% de vacíos*

**Tabla 20**

*Peso unitario en estado fresco al 22.5% de vacíos de la cantera Cerro y río Ichu*

<b>22.5% vacíos - A/C 0.40</b>	<b>Cantera</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
Masa de briqueta + concreto	Cerro	20.74	21.18	20.87
	Ichu	20.19	20.48	20.50
Briqueta (Mm)kg	Cerro	10.01	10.21	10.13
	Ichu	10.09	10.10	10.17
Volumen de (Vm)m <sup>3</sup>	Cerro	0.005	0.005	0.005
	Ichu	0.005	0.005	0.005
P.U. en estado fresco (D)	Cerro	1993.0	2036.7	1994.0

	Ichu	1874.2	1927.1	1916.9
<b>Promedio de P.U. fresco kg/m<sup>3</sup></b>	Cerro		2007.9	
	Ichu		1906.1	

*Nota.* Datos provenientes de los ensayos.

En la **Tabla 20** se presentaron los resultados relacionados al precio unitario en estado fresco al 22.5% de vacíos para las dos canteras. Evidencia que el peso unitario en estado fresco para el Cerro fue de 1993.0kg/m<sup>3</sup> para la primera muestra; la muestra de la cantera de Río Ichu muestra un valor de 1874.2 kg/m<sup>3</sup>. el promedio del peso unitario fresco fue de 2007.9 kg/m<sup>3</sup> para la cantera del Cerro y 1900 06.1 kg/m<sup>3</sup> para la cantera del río Ichu.

**Tabla 21**

*Porcentaje de vacíos en estado fresco (22.5%) de la cantera Cerro y río Ichu*

<b>Descripción</b>	<b>Cantera</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
Masa total Mezcla (M)	Cerro	1946.1	1946.1	1946.1
	Ichu	1927.7	1927.7	1927.7
Volumen Absoluto (V)	Cerro	0.78	0.78	0.78
	Ichu	0.78	0.78	0.78
Densidad Teórica del concreto (T)=M/V	Cerro	2511.1	2511.1	2511.1
	Ichu	2487.4	2487.4	2487.4
P.U. del concreto (D)	Cerro	1993.0	2036.7	1994.0
	Ichu	1874.2	1927.1	1916.9
% vacíos en fresco (U)	Cerro	25.99	23.30	25.94
	Ichu	32.72	29.07	29.76
<b>Promedio de % Vacíos</b>	Cerro		25.08	
	Ichu		30.50	

*Nota.* Datos provenientes de los ensayos.

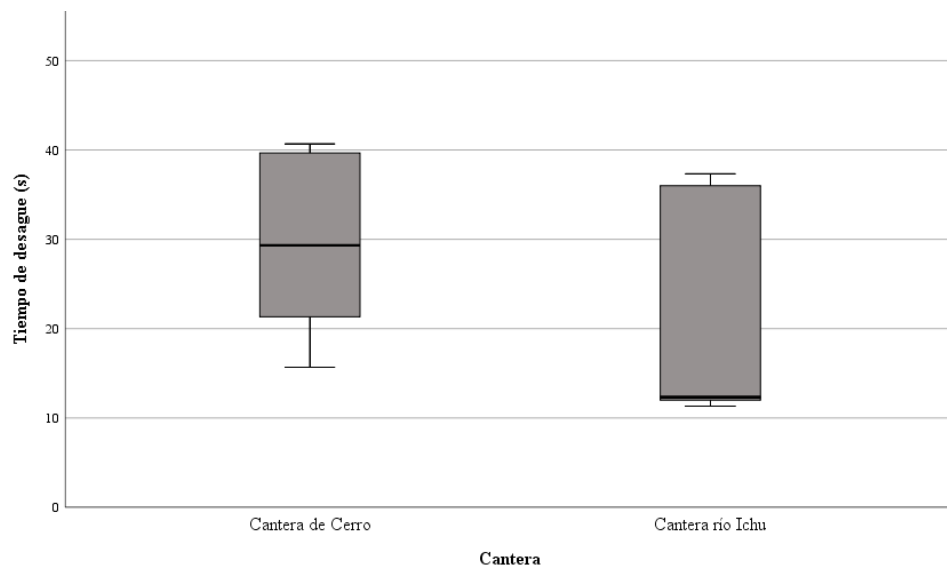
En la **Tabla 21** se presentaron los resultados relacionados a porcentaje de vacíos en 22.5% para ambas canteras. Se encontró que la masa total de la mezcla para el Cerro fue de 1946.1g para las tres muestras en relación a la cantera de hecho fue de 1927.7g. Respecto al volumen absoluto el Cerro obtuvo un 0.78m<sup>3</sup> para las tres muestras, mientras que la cantera de Ichu también tuvo este mismo valor. Respecto al porcentaje de vacíos en estado fresco la cantera de Cerro tuvo un promedio de 25.08% y la cantera de Ichu un promedio de 30.50% de vacíos.

#### 4.1.4. Ensayos duros

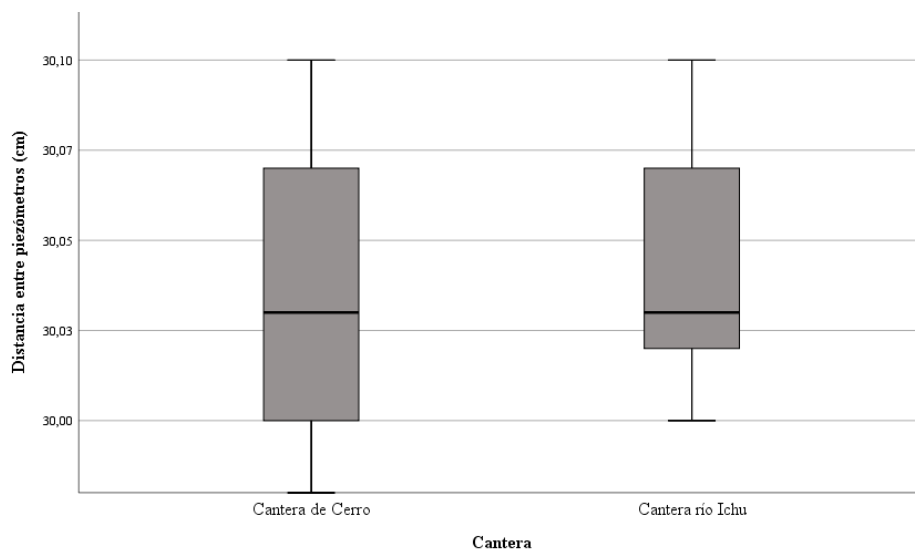
##### A. Permeabilidad

En la **Tabla 22** se presentan resultados descriptivos respecto a la permeabilidad de las dos canteras analizadas, se encontró que para la descarga hubo una media de 20.39s y 20.35s, para el Cerro y el río respectivamente; asimismo, respecto a la distancia se encontró que la media fue de 30.04 cm para las dos canteras. Respecto a la altura ambas canteras presentaron 40.84 cm de media.

**Figura 5**  
*Tiempo de descarga(s)*



**Figura 6**  
*Distancia entre piezómetros por cantera*



**Tabla 22***Descriptivos de permeabilidad de la cantera Cerro y río Ichu*

Descriptivos de permeabilidad	N° de Probetas	Media		Mediana		D.E.		Mín.		Máx.	
		Cerro	Ichu	Cerro	Ichu	Cerro	Ichu	Cerro	Ichu	Cerro	Ichu
Descarga (s)	18	29.39	20.35	29.34	12.33	9.66	11.84	15.67	11.33	40.67	37.33
Distancia* (cm)	18	30.04	30.04	30.03	30.03	0.04	0.03	29.98	30.00	30.10	30.10
Altura* (cm)	18	40.84	40.84	40.83	40.83	0.04	0.03	40.78	40.80	40.90	40.90
Agua descargada (cm <sup>3</sup> )	18	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	0.00	0.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00
<b>K (cm/s)</b>	18	0.31	0.52	0.28	0.66	0.11	0.22	0.20	0.22	0.52	0.72

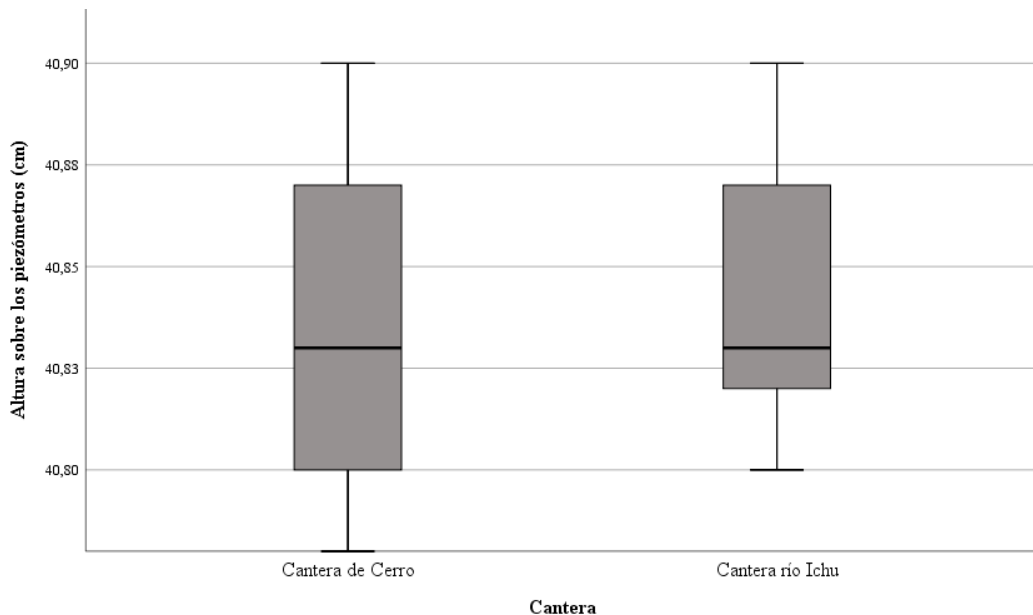
*Nota.* \*para piezómetros. Datos provenientes de los ensayos.**Tabla 23***Elementos de permeabilidad de la cantera Cerro y río Ichu, al 15% de vacíos*

Elementos de permeabilidad (al 15% de vacíos)	N° de probetas	Media		Mediana		Max.		Mín.		D.E.	
		Cerro	Ichu	Cerro	Ichu	Cerro	Ichu	Cerro	Ichu	Cerro	Ichu
Descarga (s)	6	39.89	36.61	40.00	36.84	40.67	37.33	38.67	35.67	0.69	0.65
Distancia* (cm)	6	30.03	30.02	30.01	30.03	30.10	30.05	29.98	30.00	0.05	0.02
Altura* (cm)	6	40.83	40.82	40.81	40.83	40.90	40.85	40.78	40.80	0.05	0.02
Agua descargada (cm <sup>3</sup> )	6	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	0	0
<b>K (cm/s)</b>	6	0.20	0.22	0.20	0.22	0.21	0.23	0.20	0.22	0.00	0.00

*Nota.* Datos provenientes de los ensayos

**Figura 7**

*Altura de piezómetros (cm) por cantera*



En relación a la **Tabla 23** en esta se presentaron los datos relacionados a la permeabilidad con 15% de vacíos dónde se encontró que la descarga tuvo una media de 39.89s para el Cerro y una media para el río Ichu de 36.61s. Respecto a la altura, la media fue de 30.03cm y 30.02cm tanto para el Cerro como para Ichu respectivamente. El agua descargada, obtuvo una media de 2000cm<sup>3</sup> para ambas canteras (Ver **Figura 5**, **Figura 6** y **Figura 7**).

En relación a la permeabilidad de las dos canteras con un 20% de vacíos se obtuvo que para la descarga hubo un rango de 37s y 12s para ambas canteras, en relación a la altura el Cerro presentó un máximo de 40.88cm y el río Ichu presentó un valor de 40.90cm como máximo. El agua descargada tanto para la cantera de cerro y río Ichu presenta una media de 2000cm<sup>3</sup> (**Tabla 24**).

**Tabla 24***Elementos de permeabilidad de la cantera Cerro y río Ichu, al 20% de vacíos*

Elementos de permeabilidad (al 20% de vacíos)	N° de Probetas	Media		Mediana		Máx.		Mín.		D.E.	
		Cerro	Ichu	Cerro	Ichu	Cerro	Ichu	Cerro	Ichu	Cerro	Ichu
Descarga (s)	6	29.22	12.44	29.34	12.33	37.00	13.00	21.33	12.00	6.88	0.35
Distancia* (cm)	6	30.04	30.05	30.03	30.04	30.08	30.10	30.00	30.02	0.03	0.03
Altura* (cm)	6	40.84	40.85	40.83	40.84	40.88	40.90	40.80	40.82	0.03	0.03
Agua descargada (cm <sup>3</sup> )	6	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	0	0
<b>K (cm/s)</b>	6	0.29	0.65	0.28	0.66	0.38	0.68	0.22	0.62	0.07	0.02

*Nota.* Datos provenientes de los ensayos.**Tabla 25***Elementos de permeabilidad de la cantera Cerro y río Ichu, al 22.5% de vacíos*

Elementos de permeabilidad (al 22.5% de vacíos)	N° de Probetas	Media		Mediana		Máx.		Mín.		D.E.	
		Cerro	Ichu	Cerro	Ichu	Cerro	Ichu	Cerro	Ichu	Cerro	Ichu
Descarga(s)	6	19.06	12.00	19.00	12.00	22.67	12.33	15.67	11.33	2.98	0.37
Distancia* (cm)	6	30.05	30.05	30.05	30.06	30.10	30.08	30.00	30.00	0.04	0.03
Altura* (cm)	6	40.85	40.85	40.85	40.86	40.90	40.88	40.80	40.80	0.04	0.03
Agua descargada (cm <sup>3</sup> )	6	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	0	0
<b>K (cm/s)</b>	6	0.43	0.68	0.43	0.68	0.52	0.72	0.36	0.66	0.07	0.02

*Nota.* Datos provenientes de los ensayos.

En relación a los elementos de las dos canteras analizadas con un 22.5% de vacíos se encontró que en relación a la descarga entre ambas canteras tuvo un rango de 22.67s y 11.33s. Respecto al agua descargada se obtuvo un valor de 2000cm<sup>3</sup> esto fue tanto para el Cerro y para la cantera del Río Ichu (ver **Tabla 25**).

*B. Resistencia a la compresión*

Se evidencia que los datos descriptivos de resistencia de la cantera del Cerro y río Ichu se presentaron en la **Tabla 26** donde se señala que la edad de las muestras son 28 días. Respecto al diámetro el rango fue de 152.7mm y 151.1mm para cada uno de los ensayos realizados. Las dos canteras muestran valores de porcentaje de resistencia dentro del rango de 139.00% y 43.00%.

**Tabla 26***Descriptivos de resistencia de la cantera Cerro y río Ichu*

Descriptivos de resistencia	N° de Probetas	Media		Mediana		D.E.		Mín.		Máx.	
		Cerro	Ichu	Cerro	Ichu	Cerro	Ichu	Cerro	Ichu	Cerro	Ichu
Edad (días)	18	28	28	28	28	1.50	0.62	28	28	28	28
Diámetro* (mm)	18	152.1	152.2	152.2	152.3	0.4	0.2	151.1	151.9	152.6	152.7
Altura* (mm)	18	306.4	306.3	306.3	306.3	0.1	0.0	306.3	306.3	306.6	306.4
Sección transversal (mm <sup>2</sup> )	18	18176.5	18201.6	18193.6	18205.6	98.7	43.6	17919.7	18122.0	18277.4	18301.4
Carga máx. (KN)	18	352.1	247.3	320.4	229.0	104.0	55.7	204.3	164.8	532.2	346.3
Resistencia (Mpa)	18	19.37	13.58	17.60	12.60	5.69	3.05	11.20	9.10	29.20	19.00
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	18	193.65	135.83	175.85	125.95	56.87	30.50	112.30	90.70	291.70	190.10
% de Resistencia	18	92.33%	64.67%	83.50%	60.00%	27.04%	14.56%	53.00%	43.00%	139.00%	91.00%

*Nota.* \*de probeta. Datos provenientes de los ensayos.

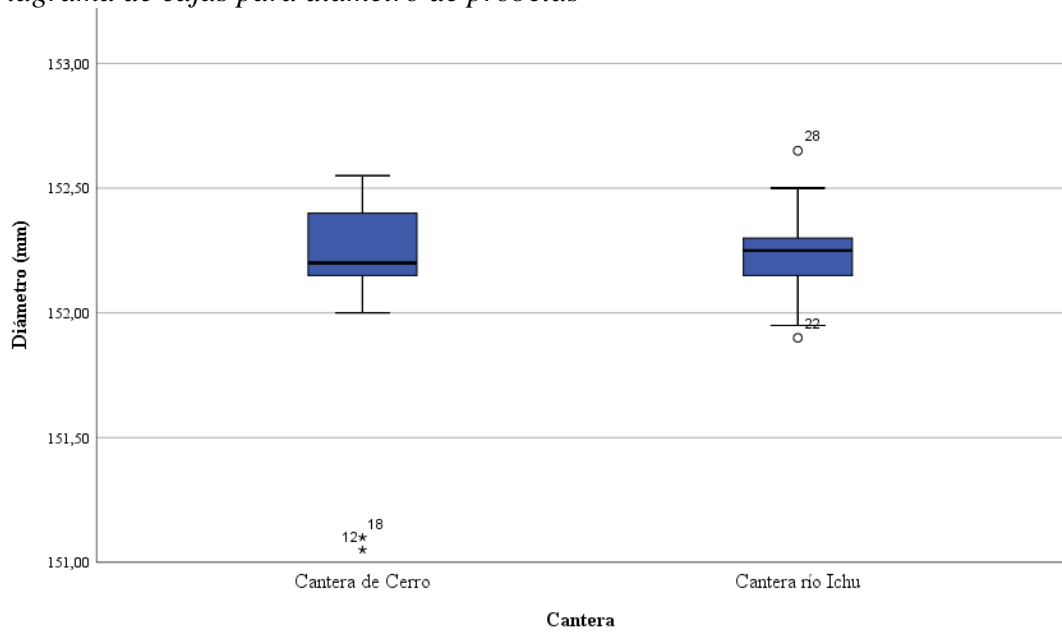
**Tabla 27***Elementos de resistencia de la cantera Cerro y río Ichu, al 15% de vacíos*

Elementos de resistencia	N° de Probetas	Estadísticos (al 15% de vacíos)									
		Media		Mediana		Máx.		Mín.		D.E.	
		Cerro	Ichu	Cerro	Ichu	Cerro	Ichu	Cerro	Ichu	Cerro	Ichu
Edad (días)	6	28	28	28	28	28	28	28	28	0	0
Diámetro* (mm)	6	152.36	152.18	152.35	152.23	152.55	152.40	152.20	151.90	0.15	0.19
Altura* (mm)	6	306.39	306.34	306.35	306.32	306.56	306.43	306.34	306.31	0.09	0.05
Sección transversal (mm <sup>2</sup> )	6	18231.51	18187.67	18229.51	18199.60	18277.40	18241.47	18193.62	18121.97	35.84	45.19
Carga máx. (KN)	6	459.02	279.48	501.15	281.02	532.17	346.30	273.19	221.45	99.48	48.10
Resistencia (Mpa)	6	25.18	15.37	27.50	15.45	29.20	19.00	15.00	12.20	5.46	2.63
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	6	251.75	153.65	274.90	154.60	291.70	190.10	150.20	122.20	54.52	26.28
% de Resistencia	6	120.00%	73.17%	131.00%	73.50%	139.00%	91.00%	72.00%	58.00%	25.74%	12.61%

*Nota.* Datos provenientes de los ensayos.

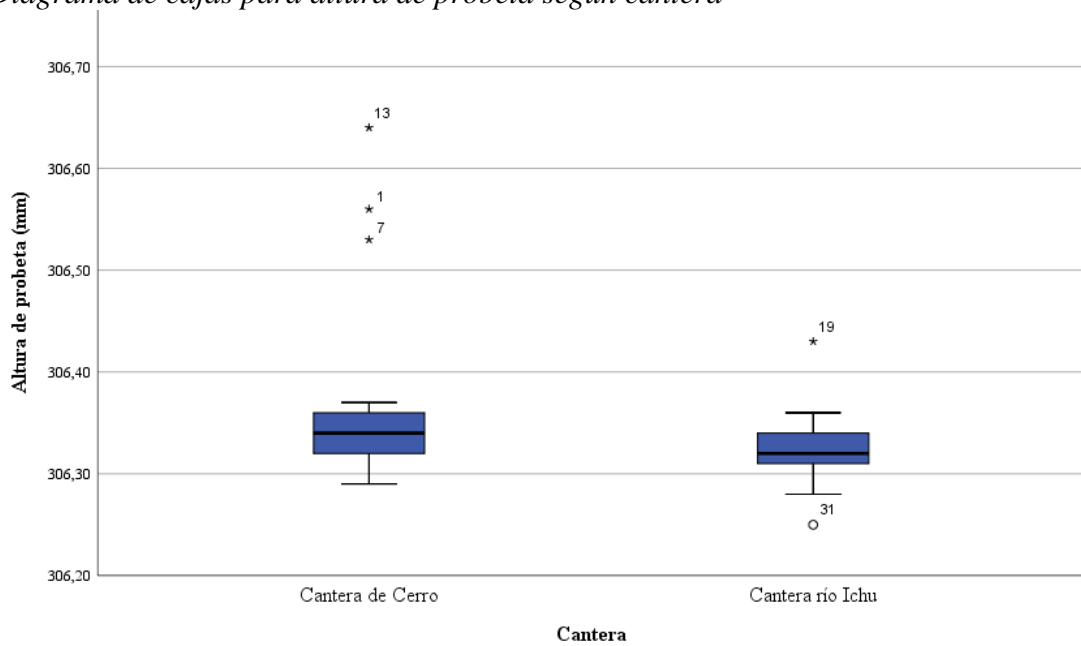
**Figura 8**

*Diagrama de cajas para diámetro de probetas*



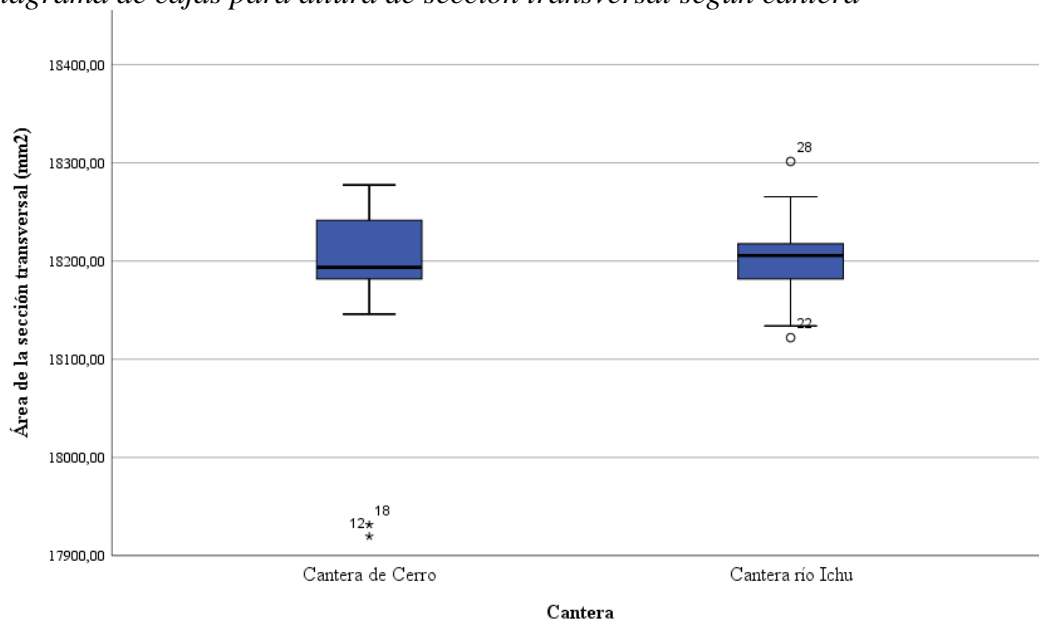
**Figura 9**

*Diagrama de cajas para altura de probeta según cantera*



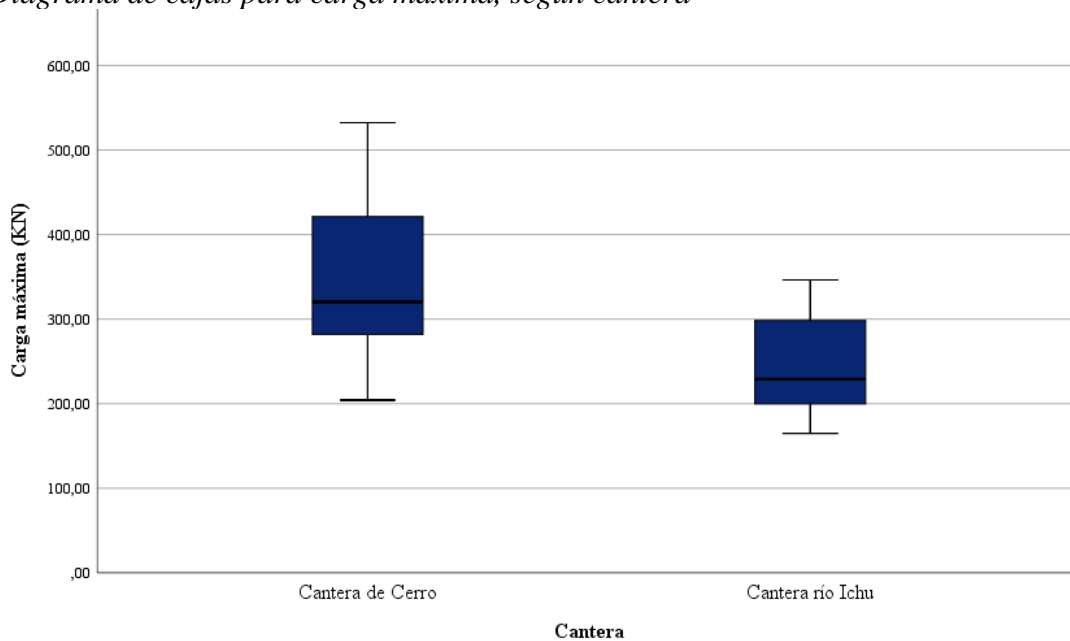
**Figura 10**

*Diagrama de cajas para altura de sección transversal según cantera*



**Figura 11**

*Diagrama de cajas para carga máxima, según cantera*



En la **Tabla 27** se presentaron los valores de resistencia de la cantera del Cerro y de la cantera de río Ichu con un 15% de vacíos. Dónde se evidenció que la carga máxima tanto del Cerro hecho como del río Ichu fue de 532.17 KN mientras que el mínimo fue de 221.45KN. Respecto a la resistencia se obtuvo que de las dos canteras los valores presentados estuvieron dentro de un rango de 29.20Mpa y 15.00Mpa,

presentando un máximo de 139% y el mínimo fue de 58.00% siendo esto un rango tanto para la cantera del Cerro como para la cantera de río Ichu (Ver **Figura 8**,

**Figura 9, Figura 10 y Figura 11**).

Por otro lado, en la **Tabla 28** se presentaron los resultados de resistencia a la compresión de las dos canteras analizadas, con un 20% de vacíos a una edad de 28 días, sobre la altura se encontró que hubo una media de 306.33mm para la cantera de Cerro y una altura de 306.33mm para la cantera del río Ichu. La sección transversal, presenta un mínimo de 17919.72mm<sup>2</sup> y un máximo de 18253.44mm<sup>2</sup>. El rango de resistencia se encontró entre los 10.90Mpa y 21.30Mpa. Finalmente, en relación al porcentaje de resistencia se tuvo un mínimo de 52% y un máximo de 102%.

**Tabla 28***Elementos de resistencia de la cantera Cerro y río Ichu, al 20% de vacíos*

Elementos de resistencia	N° de Probetas	Estadísticos (al 20% de vacíos)									
		Media		Mediana		Máx.		Mín.		D.E.	
		Cerro	Ichu	Cerro	Ichu	Cerro	Ichu	Cerro	Ichu	Cerro	Ichu
Edad (días)	6	28	28	28	28	28	28	28	28	0	0
Diámetro* (mm)	6	151.99	152.27	152.15	152.25	152.45	152.65	151.05	151.95	0.48	0.23
Altura* (mm)	6	306.37	306.33	306.34	306.34	306.53	306.36	306.31	306.28	0.08	0.03
Sección transversal (mm <sup>2</sup> )	6	18144.00	18209.60	18181.67	18205.58	18253.44	18301.37	17919.72	18133.90	115.36	55.94
Carga máx. (KN)	6	336.99	266.03	323.01	277.66	386.85	341.11	318.05	197.40	27.62	55.98
Resistencia (Mpa)	6	18.58	14.60	17.75	15.25	21.30	18.70	17.50	10.90	1.57	3.04
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	6	185.77	146.03	177.30	152.50	213.20	187.10	174.90	108.90	15.79	30.44
% de Resistencia	6	88.50%	69.50%	84.50%	72.50%	102.00%	89.00%	83.00%	52.00%	7.82%	14.57%

*Nota.* Datos provenientes de los ensayos.

**Tabla 29***Elementos de resistencia de la cantera Cerro y río Ichu, al 22.5% de vacíos*

Elementos de resistencia	N° de Probetas	Estadísticos (al 22.5% de vacíos)									
		Media		Mediana		Máx.		Mín.		D.E.	
		Cerro	Ichu	Cerro	Ichu	Cerro	Ichu	Cerro	Ichu	Cerro	Ichu
Edad (días)	6	28	28	28	28	28	28	28	28	0	0
Diámetro* (mm)	6	152.03	152.26	152.18	152.25	152.40	152.50	151.10	152.15	0.48	0.13
Altura* (mm)	6	306.37	306.31	306.32	306.32	306.64	306.34	306.29	306.25	0.13	0.03
Sección transversal (mm <sup>2</sup> )	6	18153.95	18207.58	18187.65	18205.58	18241.47	18265.42	17931.59	18181.67	114.21	30.66
Carga máx. (KN)	6	260.25	196.27	280.11	196.66	307.68	218.35	204.31	164.82	44.34	18.12
Resistencia (Mpa)	6	14.35	10.77	15.40	10.75	17.20	12.00	11.20	9.10	2.53	0.98
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	6	143.43	107.80	153.80	107.90	171.60	119.90	112.30	90.70	24.97	9.87
% de Resistencia	6	68.50%	51.33%	73.50%	51.50%	82.00%	57.00%	53.00%	43.00%	12.05%	4.68%

*Nota.* Datos provenientes de los ensayos.

En la **Tabla 29** se presentaron los resultados de resistencia de las canteras analizadas, como es la cantera de río y la cantera de Cerro. Se evidenció que la edad de cada una de las muestras estuvo en los 28 días, de ambas canteras, el diámetro presentado se encontró en un rango de 152.20mm y 152.15mm, en relación a la altura, se obtuvo una altura que oscila en un rango de 306.29mm y 306.24mm, la carga máxima fue de 307.68KN y 164.82 KN de ambas canteras. Esto se evaluó para cada muestra y tipo de agregado.

*C. Síntesis del ensayo en estado duro*

**Tabla 30**

*Permeabilidad (K) por cantera de Cerro y río Ichu y por porcentajes de vacíos*

<b>% Vacíos</b>	<b>N=6</b>	<b>Media*</b>	<b>Mediana</b>	<b>D.E.</b>	<b>Min.</b>	<b>Máx.</b>
<b>15.0%</b>	Cerro	0.203	0.202	0.004	0.199	0.209
	Río	0.222	0.221	0.005	0.217	0.229
<b>20.0%</b>	Cerro	0.292	0.280	0.071	0.220	0.381
	Río	0.653	0.656	0.019	0.624	0.679
<b>22.5%</b>	Cerro	0.435	0.427	0.069	0.360	0.518
	Río	0.678	0.677	0.024	0.656	0.721

*Nota.* \*cm/s. Datos provenientes de los ensayos.

En la **Tabla 30** Se presentaron los resultados relacionados con la permeabilidad por cantera analizada (Cerro y río Ichu) y porcentajes de vacíos. Respecto al 15% de vacíos tuvo una media de 0.203cm/s y 0.222cm/s tanto para el Cerro como para el río respectivamente. En relación al 20% se obtuvo una media de 0.292cm/s y 0.60653cm/s, respecto al porcentaje de 22.5% de vacíos en el concreto se obtuvo una media de 0.435cm/s y 0.678cm/s para el Cerro y el río respectivamente. Se evidencia que la permeabilidad fue aumentando en base al incremento de los vacíos, cómo se puede observar en el 15% de vacíos, la media fue mínima a diferencia del 22.5% de vacíos dónde se obtuvieron altos valores de permeabilidad. Cabe resaltar que según la norma ACI 5222 R-10, un concreto es permeable, si su K está entre los valores 0.14 – 1.22 cm/s.

**Tabla 31**

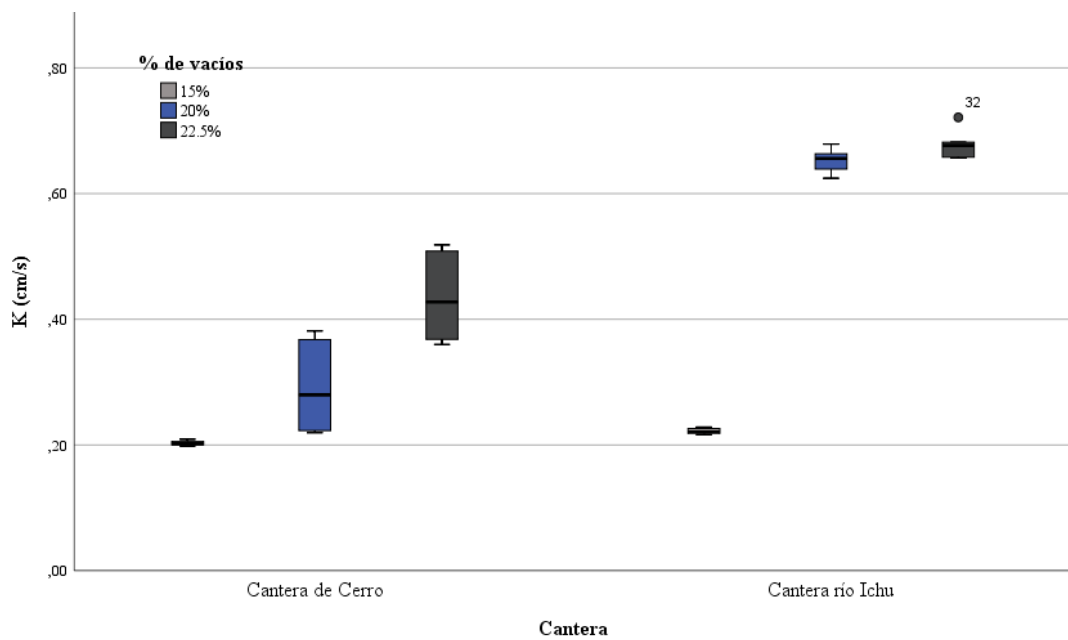
*Resistencia por cantera de Cerro y río Ichu y por porcentajes de vacíos*

% Vacíos	N=6	Media*	Mediana	D.E.	Min.	Máx.
15.0%	Cerro	251.75	274.90	54.52	150.20	291.70
	Río	153.65	154.60	26.28	122.20	190.10
20.0%	Cerro	185.77	177.30	15.79	174.90	213.20
	Río	146.03	152.50	30.44	108.90	187.10
22.5%	Cerro	143.43	153.80	24.97	112.30	171.60
	Río	107.80	107.90	9.87	90.70	119.90

Nota. \*kg/cm<sup>2</sup> – 210 kg/cm<sup>2</sup>. Datos provenientes de los ensayos.

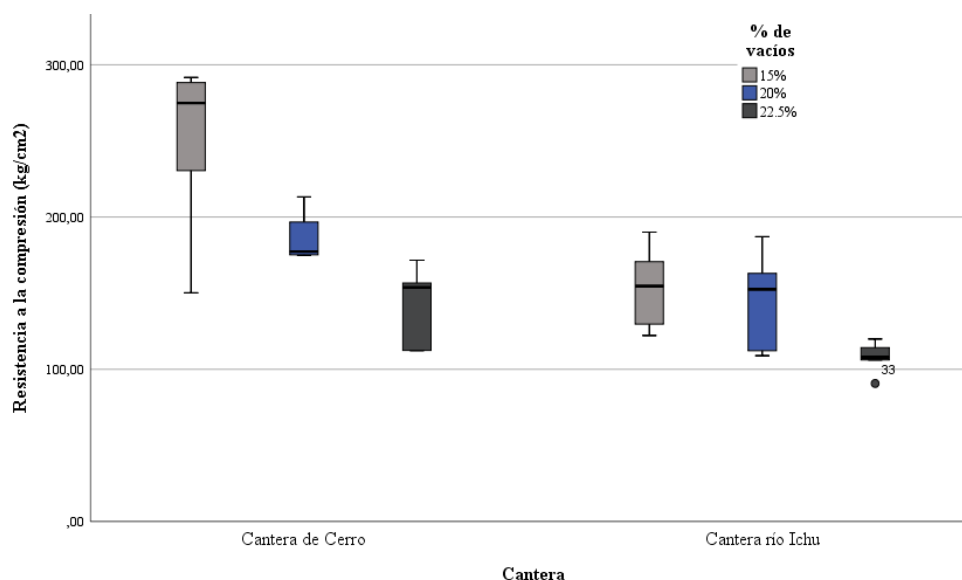
**Figura 12**

*Diagrama de cajas para coeficiente de permeabilidad (K), según cantera y porcentaje de vacíos*



**Figura 13**

Diagrama de cajas para resistencia a la compresión, según cantera y porcentaje de vacíos



En la **Tabla 31** Se presentaron los resultados relacionados a la resistencia por cantera de río y cantera de Cerro en el porcentaje de vacíos. Se halló que para el 15% de vacíos, de concreto elaborado con agregados de Cerro y el río obtuvieron una media de 251.75kg/cm<sup>2</sup> y 153.60kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, estos valores se redujeron en el 20% de vacíos donde se obtuvo 185.77kg/cm<sup>2</sup> para cerro y 146.03kg/cm<sup>2</sup> para Río Ichu. En relación al 22 5% se presentó que el agregado del Cerro tuvo un valor medio de 143.43kg/cm<sup>2</sup> y el río obtuvo un valor de 147.80kg/cm<sup>2</sup>. Con ello se evidencia que la resistencia se fue reduciendo en base al aumento del % de vacíos en las muestras.

**Tabla 32**

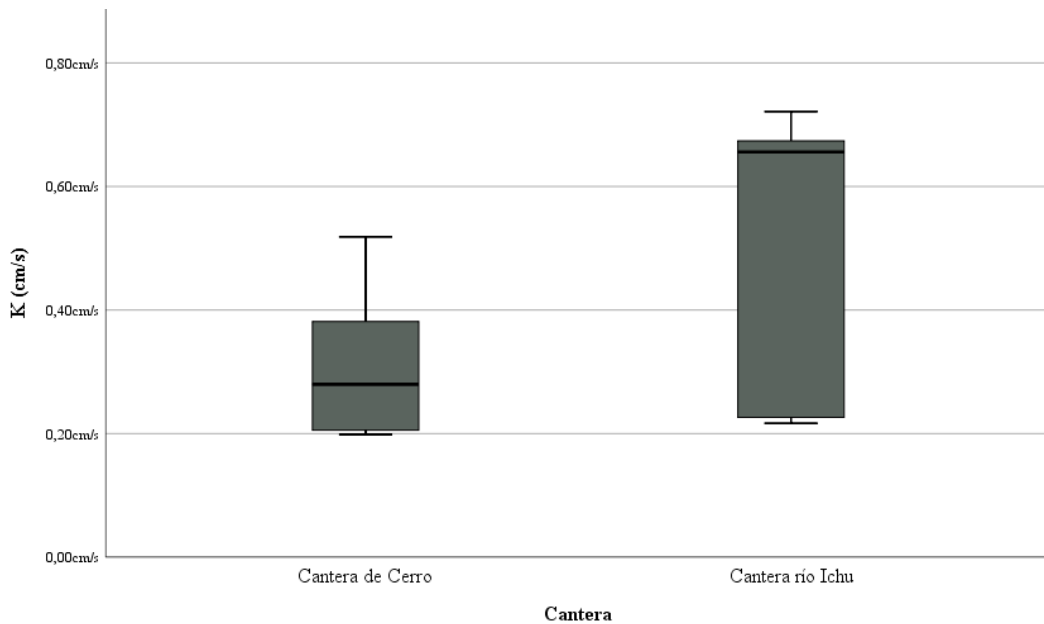
Permeabilidad y resistencia por cantera de Cerro y río Ichu

Estadísticos	Coeficiente de permeabilidad (K) (cm/s)		Resistencia a la compresión (210 kg/cm <sup>2</sup> )	
	Cerro	Ichu	Cerro	Ichu
Media	0.310	0.518	193.65	135.83
Mediana	0.280	0.656	175.85	125.95
D.E.	0.112	0.216	56.87	30.50
Mínimo	0.199	0.217	112.30	90.70
Máximo	0.518	0.721	291.70	190.10

Nota. Datos provenientes de los ensayos.

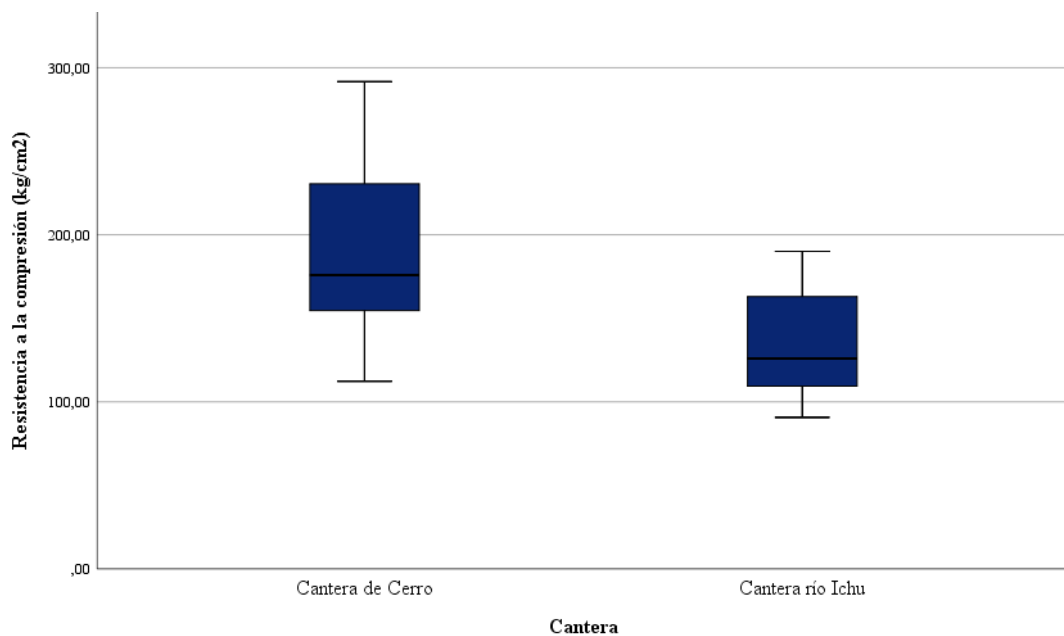
**Figura 14**

*Diagrama de cajas para coeficiente de permeabilidad (K) según cantera*



**Figura 15**

*Diagrama de cajas para resistencia (kg/cm<sup>2</sup>) según cantera*



En la **Tabla 32** se presentaron los resultados permeabilidad y resistencia por cantera de Cerro y río Ichu. Se encontró que el coeficiente de permeabilidad para el Cerro tuvo una media de 0.310cm/s y para el río fue de 0.518cm/s, respecto a la resistencia a la compresión promedio, se obtuvo para la cantera del Cerro de 193.65kg/cm<sup>2</sup> y para la cantera de río se halló un dato de 135.83kg/cm<sup>2</sup>. Como se

evidencia se obtuvo de manera general los datos para ambas variables, evidenciando mejores valores para el Cerro a diferencia de la cantera del río Ichu

## 4.2. Prueba de hipótesis

El estudio al ser comparativo, tiene el objetivo de evaluar las diferencias en resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto poroso diseñado con dos tipos de agregados, los cuales provienen de la cantera de Cerro, y la cantera del río Ichu de la ciudad de Huancavelica. Para lograr el dicho fin, se requirió la ayuda de la estadística inferencial; en específico de la prueba de diferencia de medias o medianas; dependiendo del tipo de distribución de los datos, ya sea normal o no normal. Por lo mencionado; antes de las pruebas de hipótesis, se realizó el análisis de normalidad con la prueba Shapiro – Wilk (S-W); tales pruebas se presentan en la **Tabla 33** y **Tabla 34**.

**Tabla 33**

*Prueba S-W para permeabilidad por % de vacíos*

Coeficiente de permeabilidad (K) (cm/s)		% de vacíos					
		15%		20%		22.50%	
Cantera	gl	Estad.	Sig.	Estad.	Sig.	Estad.	Sig.
Cantera de Cerro	6	0.934	0.610	0.883	0.281	0.895	0.347
Cantera río Ichu	6	0.928	0.566	0.969	0.888	0.861	0.192
<b>Resultado</b>		Normalidad		Normalidad		Normalidad	

*Nota.* Procesado con los datos de los ensayos.

Las pruebas de normalidad (S-W) para permeabilidad, muestran un resultado de normalidad para los 3 porcentajes de vacíos; esto porque, su nivel de significancia (en ambas canteras), es superior a 0.05; y con ello se aprueba la hipótesis que existe normalidad en los datos. Esto estaría indicando realizar el contraste de hipótesis con la t-student, para muestras sin dependencia.

**Tabla 34***Prueba S-W para resistencia por % de vacíos*

Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )		% de vacíos					
		15%		20%		22.50%	
Cantera	Gl	Estad.	Sig.	Estad.	Sig.	Estad.	Sig.
Cantera de Cerro	6	0.791	0.049	0.761	0.026	0.825	0.097
Cantera río Ichu	6	0.948	0.724	0.924	0.536	0.931	0.585
<b>Resultado</b>		Normalidad		No hay normalidad		Normalidad	

*Nota.* Procesado con los datos de los ensayos.

Respecto a la normalidad de los datos de resistencia, para el 15% y 22.5% de vacíos, existe normalidad, ya que la significancia fue mayor a 0.05. Sin embargo, para el 20% de vacíos, los datos de cantera de Cerro, no son normales; sin embargo, de los de cantera de Río Ichu, siguen una distribución normal ( $\text{sig.}=0.026 < 0.05$ ); lo cual causa una disyuntiva. No obstante, en términos globales, la mayor parte de los datos siguen una curva normal; por ello, se empleó la t de student para comparar la diferencia de medias entre las canteras y por porcentaje de vacíos. Por lo tanto, los datos de resistencia siguen una normal, al igual que los datos de permeabilidad; por esa razón, se utilizó la prueba t de student, para muestras sin algún tipo de asociación. Asimismo, para seguir un proceso adecuado en la prueba de hipótesis, se establecieron 5 pasos:

- i. Mencionar la hipótesis a probar; así como sus respectivas hipótesis estadísticas relacionadas a la diferencia de medias.
- ii. Indicar el alfa de comparación y establecer la regla de decisión estadística.
- iii. Hallar el valor y significancia del t de student.
- iv. Analizar los valores de la prueba.
- v. Concluir con la aceptación o rechazo de la hipótesis.

### 4.2.1. Prueba de la primera hipótesis específica

i. Hipótesis:

Existe una diferencia significativa en la resistencia a la compresión de 210kg/cm<sup>2</sup> en el diseño de concreto poroso según el contenido de vacíos de la mezcla (15%, 20%, 22.5%) elaborada con los agregados de las canteras del río Ichu y Cerro.

- H0. Nula: No existe diferencias en las medias de resistencia entre las canteras de río Ichu y Cerro, para 15%, 20% y 22.5% de vacíos.
- H1. del investigador: Las medias de resistencia entre las canteras de río Ichu y Cerro, para 15%, 20% y 22.5% de vacíos, son distintas,

ii. Alfa de comparación  $\rightarrow \alpha = 5\% = 0.05$

iii. Decisión:

- Si sig.(t-student) >  $\alpha = 0.05 \rightarrow$  Las medias de resistencia no son diferentes.
- Si sig.(t-student) <  $\alpha = 0.05 \rightarrow$  Existe diferencia de medias de resistencia de compresión.

iv. Pruebas estadísticas:

**Tabla 35**

*t de student para resistencia al 15% de vacíos*

Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Test de Levene		Prueba t			
	F	Sig.	t	Gl	Sig.	Diferencia de medias
Varianzas iguales	2.006	0.187	3.971	10	0.003	98.100
Varianzas diferentes			3.971	7.205	0.005	98.100

*Nota.* Hallado con el procesamiento de datos de los ensayos.

**Tabla 36***t de student para resistencia al 20% de vacíos*

Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Test de Levene		Prueba t			
	F	Sig.	t	Gl	Sig.	Diferencia de medias
Varianzas iguales	2.302	0.160	2.839	10	0.018	39.733
Varianzas diferentes			2.839	7.510	0.023	39.733

*Nota.* Hallado con el procesamiento de datos de los ensayos.**Tabla 37***t de student para resistencia al 22.5% de vacíos*

Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Test de Levene		Prueba t			
	F	Sig.	t	Gl	Sig.	Diferencia de medias
Varianzas iguales	7.772	0.019	3.251	10	0.009	35.633
Varianzas diferentes			3.251	6.524	0.015	35.633

*Nota.* Hallado con el procesamiento de datos de los ensayos.

## v. Análisis:

En las tablas evaluadas, la prueba t de student al asumir varianzas iguales o varianzas distintas; en los 3 casos se evidenció una significancia calculada (p-valor) inferior a 0.05; corroborando que las medias de ambas canteras son distintas a nivel estadístico. De manera específica, para un 15% de vacíos, la significancia fue de 0.003, para el concreto poroso diseñado con 20% de vacíos, la significancia fue de 0.018; y para un 22.5% de vacíos, la significancia fue de 0.009; en todos los casos, el p-valor fue inferior a 0.05; y conforme con los parámetros de decisión, las medias de la resistencia a la compresión son diferentes significativamente. Asimismo, la cantera con una media de resistencia más alta fue la que se diseñó con los agregados de cantera Cerro (ver

## vi. Conclusión estadística:

La resistencia a la compresión es significativamente diferente para el diseño de concreto poroso con agregados de cantera del río Ichu y cantera

Cerro, para los porcentajes de vacíos de 15%, 20% y 22.5%. Además, la resistencia a la compresión del concreto diseñado con la cantera Cerro fue mayor que la diseñada con cantera río Ichu.

#### 4.2.2. Prueba de la segunda hipótesis específica

- i. Hipótesis: Existe una diferencia significativa en el Coeficiente de permeabilidad en el diseño de concreto poroso según el contenido de vacíos de la mezcla (15%, 20%, 22.5%) elaborada con los agregados de las canteras del Río Ichu y Cerro.
  - H. Nula: No existe diferencias en las medias de permeabilidad entre las canteras de río Ichu y Cerro, para 15%, 20% y 22.5% de vacíos.
  - H. del investigador: Las medias de permeabilidad son diferentes, entre las canteras de río Ichu y Cerro, para 15%, 20% y 22.5% de vacíos.
- ii. Alfa de comparación  $\rightarrow \alpha = 5\% = 0.05$
- iii. Decisión:
  - Si  $\text{sig.}(t\text{-student}) > \alpha = 0.05 \rightarrow$  Las medias de permeabilidad no son diferentes.
  - Si  $\text{sig.}(t\text{-student}) < \alpha = 0.05 \rightarrow$  Existe diferencia de medias de permeabilidad.
- iv. Pruebas estadísticas:

**Tabla 38**

*t de student para permeabilidad al 15% de vacíos*

Coeficiente de permeabilidad (K) (cm/s)	Test de Levene		Prueba t			
	F	Sig.	t	gl	Sig.	Diferencia de medias
Varianzas iguales	0.300	0.596	-7.882	10	0.000	-0.019
Varianzas diferentes	-	-	-7.882	9.701	0.000	-0.019

*Nota.* Hallado con el procesamiento de datos de los ensayos.

**Tabla 39***t de student para permeabilidad al 20% de vacíos*

Coeficiente de permeabilidad (K) (cm/s)	Test de Levene		Prueba t			
	F	Sig.	t	gl	Sig.	Diferencia de medias
Varianzas iguales	11.561	0.007	-12.070	10	0.000	-0.361
Varianzas diferentes			-12.070	5.715	0.000	-0.361

*Nota.* Hallado con el procesamiento de datos de los ensayos.**Tabla 40***t de student para permeabilidad al 22.5% de vacíos*

Coeficiente de permeabilidad (K) (cm/s)	Test de Levene		Prueba t			
	F	Sig.	t	gl	Sig.	Diferencia de medias
Varianzas iguales	9.824	0.011	-8.221	10	0.000	-0.243
Varianzas diferentes			-8.221	6.160	0.000	-0.243

*Nota.* Hallado con el procesamiento de datos de los ensayos.

## v. Análisis:

En los 3 casos de porcentaje de vacíos evaluados, se obtuvo una significancia calculada de 0.00; indicando que la diferencia de medias evaluadas es distinta. Tanto para el concreto diseñado con 15% de vacíos. 20% y 22.5%, las medias no son iguales. Asimismo, se considera al concreto poroso con mayor permeabilidad al que fue diseñado con los agregados del río Ichu.

## vi. Conclusión estadística:

Se comprueba que existen diferencias significativas entre el coeficiente de permeabilidad del concreto poroso elaborado con cantera río Ichu y Cerro, tanto para los diseños con 15%, 20% y 22.5% de vacíos.

### 4.2.3. Prueba de la hipótesis general

i. Hipótesis a probar:

Existe diferencia significativa de la resistencia a la compresión al aplicar los agregados de la cantera del río Ichu y cerro en el diseño del concreto poroso.

ii. Pruebas:

**Tabla 41**

*Síntesis de las pruebas de diferencias estadísticas (t-student)*

Indicador	% de vacíos	Cantera		Sig. (t-student)	Resultado
		Cerro Media	Ichu Media		
Resistencia a la compresión	15%	251.750	153.650	0.003	Existe diferencia
	20%	185.767	146.033	0.018	Existe diferencia
	22.5%	143.433	107.800	0.009	Existe diferencia
Permeabilidad	15%	0.203	0.222	0.000	Existe diferencia
	20%	0.292	0.653	0.000	Existe diferencia
	22.5%	0.435	0.678	0.000	Existe diferencia

*Nota.* Hallado con el procesamiento de datos de los ensayos.

iii. Análisis:

De la **Tabla 41** se observa que para un 15% de vacíos, existen diferencias significativas entre el diseño con agregados de la cantera Cerro y de río Ichu para la resistencia a la compresión (p-valor =0.003) y para el coeficiente de permeabilidad (p-valor=0.00). De manera similar, para un 20% de vacíos, la resistencia y permeabilidad fueron diferentes para ambos diseños de diferentes canteras; lo mismo ocurre con un diseño al 22.5% de vacíos. Cabe resaltar que el diseño con agregados de la cantera de Cerro, obtuvo mejores resultados para la resistencia a la compresión; mientras que el diseño con agregados de río Ichu, tuvo mejores resultados para permeabilidad. Además, se identificó que la relación entre % de vacíos y resistencia a la compresión es inversa y directa a la permeabilidad.

iv. Conclusión:

Se evidencia diferencias significativas entre el diseño de concreto con agregados de cantera Cerro y río Ichu, tanto para el diseño con 15%, 20% y 22.5%. Por lo tanto, la hipótesis planteada resultó ser verdadera.

### **4.3. Discusión de resultados**

Entre los resultados se encontró que existe diferencia significativa de la resistencia a la compresión al aplicar los agregados de la cantera del Río Ichu y Cerro en el diseño del concreto poroso. Similar resultado se obtuvo en la tesis de Bautista, et al. (2016), quienes emplearon una diferencia entre tres ríos de Colombia, evidenciando que en el caso de los ríos, la resistencia es menor a diferencia de otros agregados, en este caso la resistencia de compresión del río Coello llegó al 177.8 kg/cm<sup>2</sup>, del río Sumapaz fue de 228.7 kg/cm<sup>2</sup> y del río Magdalena fue de 173.7 kg/cm<sup>2</sup>, entre los tres, se tuvo que el río Sumapaz tuvo una mayor compresión en el diseño del concreto poroso. Asimismo, se encontró en el estudio de Bolívar (2018), que no solo con el agregado de Cerro se puede mejorar la resistencia, sino también con el silicato de sodio, el cual incrementa este índice con concentraciones de 3% y 5%. Cervantes (2020) acota que el concreto poroso o permeable y su aplicación llega a ser una alternativa muy viable, más barato y genera menos impacto negativo en el ambiente. Similar acotación dio Leiva y Palomino (2016), también evaluaron a la resistencia del concreto poroso, con agregados de diferentes canteras, se encontró que la resistencia del concreto poroso hecho con los agregados de la cantera Machu Picchu presentó mejor eficiencia a diferencia de las demás

Como se evidencia la resistencia a la compresión y la permeabilidad variaron entre los agregados tomados del cerro y del río. Respecto a la teoría, Porras (2017) indica que el concreto poroso es el resultado de una serie de recursos como el agua, cemento y aditivos que mejoren su trabajabilidad, estos aditivos tienden a incrementar ciertas propiedades como son la resistencia y la permeabilidad. En el caso de los agregados obtenidos del río Ichu, entre las propiedades que tienen se encuentra una mayor permeabilidad, por encontrarse en contacto directo con el agua (Cabello et al., 2015). Cabe resaltar que la permeabilidad depende de las propiedades de la mezcla, la

proporción de estos y como serán compactados; sin embargo, el tener una mayor permeabilidad se relaciona con la porosidad alta, la cual reduce la resistencia. Se concluye que la resistencia a la compresión y la permeabilidad, tienen diferencias entre el concreto elaborado con agregados de dos tipos de canteras (cantera Cerro y cantera del río Ichu). Asimismo, se halló que el concreto hecho con los agregados finos y grueso de la cantera Cerro es mejor en resistencia y menos permeable que el concreto hecho con los agregados del río Ichu.

Otro de los resultados evidenció una diferencia significativa en la resistencia a la compresión de 210kg/cm<sup>2</sup> en el diseño de concreto poroso según el contenido de vacíos de la mezcla (15%, 20%, 22.5%) elaborada con los agregados de las canteras del Río Ichu y Cerro. En la investigación de Choque y Ccana (2016), se presentaron los resultados relacionados con la resistencia a la compresión, con un aditivo súper plastificante, mencionó que, al añadir el aditivo, a un vacío de 20% permite que esta resistencia se fortalezca frente a la compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup>. Asimismo, Gallo y Murga (2017), en su investigación también analizó la resistencia a la compresión de concreto  $f'_c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, con un aditivo, encontró que contar con 15% de vacíos brinda una resistencia mínima a la compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup>. En la teoría se señala que la resistencia a la compresión está basada en la norma ASTM C 39, indica que la resistencia a la compresión es creada por los tipos de mezcla del que se encuentra conformado, y también se puede ver determinada por la compactación de dicha mezcla (Gastañadui, 2019, pág. 24). Es importante que se mantenga la resistencia a la compresión en el concreto tanto poroso como no poroso, ello con el objetivo de soportar las cargas aplicadas, dependiendo del nivel de tráfico presente en la carretera (Gastañadui, 2019, pág. 24). Se concluye que el diseño de concreto poroso, realizado con los agregados del río Ichu resulta ser menos resistente a diferencia del diseño con agregados de cantera de cerro.

Finalmente, se comprobó una diferencia significativa en el coeficiente de permeabilidad para el diseño de concreto poroso, según el contenido de vacíos de la mezcla (15%, 20%, 22.5%) elaborada con los agregados de las canteras del río Ichu y Cerro. Este resultado, primero indicó que la permeabilidad de la cantera del río Ichu es mayor que la permeabilidad de la cantera de Cerro, y como segundo que, a un mayor

porcentaje de vacíos, el coeficiente de permeabilidad es mayor; a su vez, las diferencias fueron significativas ( $p\text{-valor}=0.000$ ) entre el diseño con las dos canteras para 15%, 20% y 22.5%. Similar resultado se evidenció en el estudio de Martell y Rojas (2019) quienes señalaron que un 20% de vacíos de un agregado grueso permite que se mantenga una resistencia adecuada a la compresión. Similar dato fue brindado por Ccanto y Mallcco (2019), quien señaló que, si se agrega agua subterránea, la resistencia con un 15% de vacíos tiende a ser de 231.15 kg/cm<sup>2</sup> y las mezclas con agua potable, presentaron la resistencia de 224.50 kg/cm<sup>2</sup>. Similar resultado se obtuvo en la tesis de Bautista, et al. (2016), quienes emplearon una diferencia entre tres ríos de Colombia, evidenciando que hay una diferencia con respecto a la permeabilidad, ya que estos resultados son; la del río Sumapaz fue de 0.61 cm/s, del río Coello fue de 0.62 cm/s y del río Magdalena fue de 0.59 cm/s.

## Conclusiones

Se determinó que si existen diferencias significativas de la resistencia a la compresión de 210kg/cm<sup>2</sup> en el diseño de concreto poroso elaborado con las canteras del río Ichu y la cantera de Cerro. Estas diferencias, principalmente se dieron en dos indicadores, el coeficiente de permeabilidad y la resistencia a la compresión; a pesar de estar diferencias, ambos diseños se calificaron como permeables, ya que estuvieron dentro del rango de 0.14 – 1.22 cm/s (norma ACI 5222 R-10); pero la resistencia óptima se obtuvo diseñado con agregado de cantera de Cerro.

- Se estableció que existen diferencias significativas en la resistencia a la compresión del concreto poroso diseñado con agregado de la cantera Cerro y de Río Ichu, para los tres porcentajes de vacíos, 15%, 20% y 22.5%. viendo que el mejor rendimiento fue el que se diseñó con 15% de vacíos utilizando agregado de la cantera Cerro; obteniendo una resistencia promedio de 251.75 kg/cm<sup>2</sup>.
- Se determinó que existen diferencias significativas del Coeficiente de Permeabilidad en el diseño de concreto poroso según el contenido de vacíos de la mezcla (15%, 20%, 22.5%) elaborada con los agregados de las canteras del río Ichu y Cerro. Concluyendo que el que presenta mejor capacidad de filtración, fue diseñado con agregado del Rio Ichu con 22.5 % de vacíos, obteniendo valor promedio de coeficiente de permeabilidad de 0.678 cm/s.

## Recomendaciones

- A los futuros investigadores, y diseñadores de concreto poroso, tomar en cuenta un diseño con 15% de vacíos y con agregados provenientes de la cantera Cerro, para obtener un concreto poroso, permeable y con una adecuada resistencia a la compresión.
- A los investigadores, se les sugiere realizar más estudios relacionados con las variables, donde se puedan añadir aditivos que ayuden con la resistencia a la compresión.
- A la comunidad científica se les recomienda mayores experimentos en el diseño del concreto poroso, en el cual, a la mezcla se le añada aditivos de impermeabilidad; a fin de corroborar las diferencias entre el uso de agregados, y obtener un mayor coeficiente de permeabilidad.

## Referencias Bibliográficas

- ACI. (2021). *American Concrete Institute*. Obtenido de Concrete: <https://www.concrete.org/>
- Aire, C. (11 de Junio de 2019). *Concreto permeable, alternativas sustentables*. Obtenido de Construcción y tecnología en concreto: <http://www.imcyc.com/revistacyt/jun11/arttecnologia.htm>
- Amorós, C., & Bendezú, J. (2019). *Diseño de mezcla de concreto permeable para la construcción de la superficie de rodadura de un pavimento de resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>*. Lima: Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Aragón, S. (2006). *Manual de elaboración de concreto en obra*. Costa Rica: Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto.
- ASTM. (2021). *American Society for Testing and Materials*. Obtenido de ASTM: <https://www.astm.org/FAQ/index-spanish.html>
- Bautista, C., Rivera, J., & Cantillo, N. (2016). *Fase experimental para obtener concretos permeable a partir de un concreto convencional con agregados de los ríos Sumapaz, Magdalena y Coello*. Girardot: Programa de Ingeniería Civil de la facultad de Ingeniería de la Universidad Piloto de Colombia Seccional Alto Magdalena.
- Bolívar, G. (2018). *Análisis de la resistencia a la compresión  $f_c$  del concreto hidráulico adicionado con silicato de sodio, mediante ensayos de madurez y resistencia a la compresión*. Bogotá: Facultad tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Cabello, S., Campuzano, L., Espinoza, J., & Sánchez, C. (2015). Concreto poroso: constitución, variables influyentes y protocolos para su caracterización. *Científica*, 64-69.
- Ccanto, F., & Mallco, A. (2019). *Análisis comparativo de la resistencia de un concreto convencional  $f_c=210$  kg/cm<sup>2</sup> utilizando el agua subterránea en el mezclado en el distrito de Acobamba, Huancavelica - 2018*. Huancavelica: Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de Minas, Civil y Ambiental de la Universidad Nacional de Huancavelica.
- Cemarequipa. (2012). *Concreto, generalidades y propiedades*. Arequipa: Cementos Arequipa.
- Cervantes, A. (2020). *Estudio de factibilidad del concreto permeable y su posible aplicación en la ciudad de Barranquilla*. Barranquilla: Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la Costa - CUC.

- Choque, H., & Ccana, J. (2016). *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>*. Cusco: Escuela profesional de Ingeniería Civil de la facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Andina del Cusco.
- Concretus. (2017). Caracterización básica del concreto. *Concretusblog*, 1-58.
- Espinoza, C. (2010). *Metodología de investigación tecnológica*. Huancayo: Imagen Gráfica.
- EuclidGroup Toxement. (2017). Concreto poroso o concreto permeable. *Toxement*, 1-8.
- Gallo, F., & Murga, C. (2017). *Evaluación de la resistencia a compresión y permeabilidad del concreto permeable  $f_c=210\text{kg/cm}^2$ , usando el aditivo sikament-290N con agregados de la cantera del Río Chonta de la Ciudad de Cajamarca, 2017*. Cajamarca: Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Privada del Norte.
- Gastañadui, F. (Noviembre de 2019). *Control de calidad de concreto*. Obtenido de DINO:  
file:///C:/Users/James/Downloads/100600\_Control\_de\_Calidad\_de\_Concreto.pdf
- Gutiérrez, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- Hernandez, L., & Contreras, A. (2018). Resistencia a la compresión del concreto. *RESEARCH*, 1-9.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. México: McGrawHill.
- IMCYC. (06 de Junio de 2006). *Problemas, causas y soluciones*. Obtenido de IMCYC:  
<http://www.imcyc.com/ct2006/junio06/PROBLEMAS.pdf>
- Leiva, M., & Palomino, B. (2016). *Evaluación comparativa de la permeabilidad, resistencia a la compresión del concreto poroso elaborado con cemento IP y agregado de 1/2", 3/8" y 1/4" de las canteras de MachuPicchu, Abril y Huillque*. Cusco: Escuela profesional de Ingeniería Civil de la facultad de Ingeniería y Arquitectura.
- Mario, J. (7 de Octubre de 2008). *Ingeniería Civil*. Obtenido de Ingevil:  
<http://ingevil.blogspot.com/2008/10/ensayo-compresin-de-cilindros-de.html>
- Martell, J., & Rojas, H. (2019). *Estudio de la resistencia a compresión del concreto permeable  $f_c=210\text{ kg/cm}^2$  empleando aditivo chema megaplast en la ciudad*

*de Trujillo*. Trujillo: Escuela profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada Antenor Orrego.

- Mendoza, E., & Ospina, J. (2018). *Mezcla de concreto permeable como parte de la estructura del pavimento rígido, aplicado a vías de tráfico medio*. Bogotá: Área de pavimentos de la facultad tecnológica, tecnología en construcciones civiles de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Patiño, O. (Diciembre de 2013). El concreto permeable: uso y estándares. *Mente y materia*, págs. 22-23.
- Paucar, Y., & Morales, F. (2018). *Influencia del agregado grueso de la cantera del Río Ichu en el concreto permeable para pavimentos de bajo tránsito -  $f'c=175$  kg/cm<sup>2</sup>*. Huancavelica: Escuela profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias de Ingeniería de la Universidad Nacional de Huancavelica.
- Pérez, A. (24 de Junio de 2014). *Ensayo de compresión*. Obtenido de Mecapedia: [http://www.mecapedia.uji.es/ensayo\\_de\\_compresion.htm](http://www.mecapedia.uji.es/ensayo_de_compresion.htm)
- Porras, J. (2017). Metodología de diseño para concretos permeables y sus respectivas correlaciones de permeabilidad. *CORE*, 1-74.
- Raffino, M. (13 de Agosto de 2020). *Métodos de Investigación*. Obtenido de Conceptode: <https://concepto.de/metodos-de-investigacion/>
- Solis, R., Moreno, E., & Arjona, E. (2012). Resistencia de concreto con agregado de alta absorción y baja relación a/c. *ALCONPAT*, 21-29.
- Tangarife, O., & Silva, C. (2019). *Determinación de la resistencia a compresión del concreto modificado con material de cambio de fase orgánico PCM -OM18P*. Bogotá: Programa de Ingeniería de la facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Colombia.
- Vidaud, E. (2013). Fisuras en el concreto ¿Síntomas o enfermedad? *IMCYC*, 20-24.

## **Apéndice**

## Apéndice 1

### Matriz de Consistencia

**TÍTULO: “DISEÑO DE CONCRETO POROSO PARA LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN 210kg/cm<sup>2</sup>, ELABORADO CON AGREGADO DE LAS CANTERAS DEL RÍO ICHU Y CANTERA DE CERRO, HUANCVELICA – 2021”**

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA	MUESTRA	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p><b>Problema General:</b> ¿Cuál es la diferencia de la resistencia a la compresión de 210kg/cm<sup>2</sup> en el diseño de concreto poroso elaborado con las canteras del río Ichu y la cantera de Cerro?</p> <p><b>Problemas Específicos:</b> •¿Cuál es la diferencia de la resistencia a la compresión de 210kg/cm<sup>2</sup> en el diseño de concreto poroso según el contenido de vacíos de la mezcla (15%, 20%, 22.5%) elaborada con los agregados de las canteras del Río Ichu y Cerro?  •¿Cuál es la diferencia del Coeficiente de permeabilidad en el diseño de concreto poroso según el contenido de vacíos de la mezcla (15%, 20%, 22.5%) elaborada con los agregados de las canteras del Río Ichu y Cerro?</p>	<p><b>Objetivo General:</b> Determinar la diferencia de la resistencia a la compresión de 210kg/cm<sup>2</sup> en el diseño de concreto poroso elaborado con las canteras del Río Ichu y Cerro.</p> <p><b>Objetivos Específicos:</b> •Determinar la diferencia de la resistencia a la compresión de 210kg/cm<sup>2</sup> en el diseño de concreto poroso según el contenido de vacíos de la mezcla (15%, 20%, 22.5%) elaborada con los agregados de las canteras del Río Ichu y Cerro.  •Determinar la diferencia del Coeficiente de permeabilidad en el diseño de concreto poroso según el contenido de vacíos de la mezcla (15%, 20%, 22.5%) elaborada con los agregados de las canteras del Río Ichu y Cerro.</p>	<p><b>Hipótesis General:</b> Existe diferencia significativa de la resistencia a la compresión al aplicar los agregados de la cantera del Río Ichu y Cerro en el diseño del concreto poroso.</p> <p><b>Hipótesis Específicas:</b> •Existe una diferencia significativa en la resistencia a la compresión de 210kg/cm<sup>2</sup> en el diseño de concreto poroso según el contenido de vacíos de la mezcla (15%, 20%, 22.5%) elaborada con los agregados de las canteras del Río Ichu y Cerro.  •Existe una diferencia significativa en el Coeficiente de permeabilidad en el diseño de concreto poroso según el contenido de vacíos de la mezcla (15%, 20%, 22.5%) elaborada con los agregados de las canteras del Río Ichu y Cerro.</p>	<p><b>Variable Dependiente</b> - Resistencia a la compresión</p> <p><b>Dimensiones:</b> - Resistencia a la compresión</p> <p><b>Variable Independiente</b> - Concreto poroso</p> <p><b>Dimensiones:</b> - Granulometría - Dosis de cemento - Contenido de vacíos - Dosis de agua</p>	<p><b>Tipo de Investigación:</b> - Aplicada</p> <p><b>Nivel de Investigación:</b> - Explicativo</p> <p><b>Diseño:</b> - Pre-experimental</p>	<p><b>Población:</b> La población para este estudio estará determinada por de 72 probetas.</p> <p><b>Muestra:</b> El tamaño de la muestra para este estudio será el mismo tamaño de la población, la cual estará determinada por 72 probetas. Las cuales 36 probetas son de las canteras del Río Ichu y 36 de Cerro.</p> <p><b>Método General:</b> - Método científico</p>	<p><b>Técnicas:</b> - Observación directa, de campo.</p> <p><b>Instrumentos:</b> - Guía de observación</p>

## Apéndice 2

# Constancia de laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil – Huancavelica de la Universidad Nacional de Huancavelica



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA**  
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERIA  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL HUANCAMELICA**  
ÁREA DE PRODUCCIÓN DE LA EPICH



"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

EL JEFE DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL HUANCAMELICA, DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA, otorga la presente:

## CONSTANCIA

A: **CABRERA RUDAS Rosalinda** y **YALLE GONZALES Borys Hermes Leeroy**, bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil - Huancavelica, Facultad de Ciencias de Ingeniería, de la Universidad Nacional de Huancavelica, quienes han concluido con el desarrollo los siguientes ensayos en el laboratorio de **TECNOLOGÍA DEL CONCRETO** de la EPICH:

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO DEL AGREGADO GRUESO	02
2	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO	02
3	PESO UNITARIO SUELTO DE AGREGADO GRUESO	02
4	PESO UNITARIO COMPACTO DE AGREGADO GRUESO	02
5	CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO GRUESO	02
6	ENSAYO DE CONSISTENCIA "SLUMP"	02
7	ABRASIÓN LOS ANGELES DE AGREGADO GRUESO	02
8	USO DE MEZCLADORA	06
9	ANÁLISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO DE AGREGADO FINO	01
10	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO	01
11	PESO UNITARIO SUELTO DE AGREGADO FINO	01
12	PESO UNITARIO COMPACTADO DE AGREGADO FINO	01
13	CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO FINO	01

Durante el periodo de ejecución comprendido del 03 de febrero del 2022 al 19 de abril del 2022, del proyecto de tesis titulado: "DISEÑO DE CONCRETO POROSO PARA LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN 210 Kg/cm<sup>2</sup>, ELABORADO CON AGREGADO DE LAS CANTERAS DEL RIO ICHU Y CANTERA DE CERRO, HUANCAMELICA - 2021"

Se expide la presente constancia a solicitud de los interesados para fines que estimen por conveniente.

Huancavelica, 09 de Mayo de 2022

Nº 003-2022

C. c.  
Archivo  
AP



# Apéndice 3

## Certificado de calibración



### Certificado de Calibración - Laboratorio de Fuerza

**F-25433-006 R1**

Calibration Certificate - Laboratory of Force

Page / Pág. 1 de 5

<b>Equipo</b> <i>Instrument</i>	MÁQUINA DOBLE RANGO DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN	Los resultados emitidos en este Certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Dichos resultados solo corresponden al ítem que se relaciona en esta página. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos y/o de la información suministrada por el solicitante.
<b>Fabricante</b> <i>Manufacturer</i>	PINZUAR S.A.S	
<b>Modelo</b> <i>Model</i>	PC-42-D	
<b>Número de Serie</b> <i>Serial Number</i>	308	Este Certificado de Calibración documenta y asegura la trazabilidad de los resultados a patrones nacionales e internacionales, que reproducen las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
<b>Identificación Interna</b> <i>Internal Identification</i>	NO INDICA	
<b>Capacidad Máxima</b> <i>Maximum Capacity</i>	1000 kN	
<b>Solicitante</b> <i>Customer</i>	INVERSIONES GENERALES CENTAURO INGENIEROS S.A.C.	El usuario es responsable de la Calibración de los instrumentos en apropiados intervalos de tiempo.
<b>Dirección</b> <i>Address</i>	AV. MARISCAL CASTILLA NRO. 3950 (FRENTE UNCP-SÑOS.GDE-AV MCAL. CASTILLA) JUNIN - HUANCAYO - EL TAMBO	The results issued in this Certificate relates to the time and conditions under which the measurements. These results correspond to the item that relates on page number one. The laboratory, which will not be liable for any damages that may arise from the improper use of the instruments and/or the information provided by the customer.
<b>Ciudad</b> <i>City</i>	Huancayo - Perú	
<b>Fecha de Calibración</b> <i>Date of calibration</i>	2022 - 01 - 19	
<b>Fecha de Emisión</b> <i>Date of issue</i>	2022 - 03 - 29	This Calibration Certificate documents and ensures the traceability of the reported results to national and international standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).
<b>Número de páginas del certificado, incluyendo anexos</b> <i>Number of pages of the certificate and documents attached</i>	05	The user is responsible for Calibration the measuring instruments at appropriate time intervals.

Sin la aprobación del Laboratorio de Metrología Pinzuar no se puede reproducir el Certificado, excepto cuando se reproduce en su totalidad, ya que proporciona la seguridad que las partes del Certificado no se sacan de contexto. Los certificados de calibración sin firma no son válidos.

Without the approval of the Pinzuar Metrology Laboratory, the report can not be reproduced, except when it is reproduced in its entirety, since it provides the security that the parts of the Certificate are not taken out of context. Unsigned calibration certificates are not valid.

#### Firmas que Autorizan el Certificado

Signatures Authorizing the Certificate

**Ing. Miguel Andrés Vela Avelaneda**  
Métrólogo Laboratorio de Metrología

**Tecg. Jaiver López Poveda**  
Métrólogo Laboratorio de Metrología

LMPC-05-F-01 R12.4

ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO

Laboratorio de Metrología: Cl 18 #1038-72 | PBX, 57 (1) 745 4555 - 3174233640 | labmetrologia@pinzuar.com.co | WWW.PINZUAR.COM.CO



**DATOS TÉCNICOS**

<b>Máquina de Ensayo Bajo Calibración</b>	
<b>Clase</b>	1,0
<b>Dirección de Carga</b>	Compresión
<b>Tipo de Indicación</b>	Digital
<b>División de Escala</b>	0,1 kN
<b>Resolución</b>	0,1 kN
<b>Intervalo de Medición Calibrado</b>	Del 20 % al 100 % de la carga máxima.
<b>Límite Inferior de la Escala</b>	20 kN

**RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN**

La calibración se efectuó siguiendo los lineamientos establecidos en el documento de referencia ISO 7500-1:2018 Metallic materials - Calibration and verification of static uniaxial testing machines - Part 1: Tension/compression testing machines - Calibration and verification of the force-measuring system, en donde se especifica un intervalo de temperatura comprendido entre 10°C a 35°C, con una variación máxima de 2°C durante cada serie de medición. Se utilizó el método de comparación directa aplicando Fuerza Indicada Constante.

Se realizó una inspección general de la máquina y se determina que: Se puede continuar la calibración como se recibe el equipo

**Tabla 1.**  
Indicaciones como se entrega la máquina

Indicación del IBC	Indicaciones Registradas del Equipo Patrón para Cada Serie					
	$S_1$	$S_2$	$S_2'$	$S_3$	$S_4$	Promedio $S_{1,2 y 3}$
	Ascendente kN	Ascendente kN	No Aplica ---	Ascendente kN	No Aplica ---	
20	200,0	200,88	200,84	200,47	---	200,73
30	300,0	300,60	300,41	300,27	---	300,43
40	400,0	400,81	400,33	400,33	---	400,49
50	500,0	501,21	500,41	500,81	---	500,81
60	600,0	600,74	600,42	600,42	---	600,53
70	700,0	700,64	700,81	700,94	---	700,80
80	800,0	800,60	800,42	800,21	---	800,41
90	900,0	900,72	900,47	900,53	---	900,57
100	1 000,0	1 000,5	1 000,9	1 000,4	---	1 000,6

LM-PC-05-F-01 R12.4



**RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN Continuación...**

**Tabla 2.**

Error realtivo de cero,  $f_0$ , calculado para cada serie de medición a partir de su cero residual

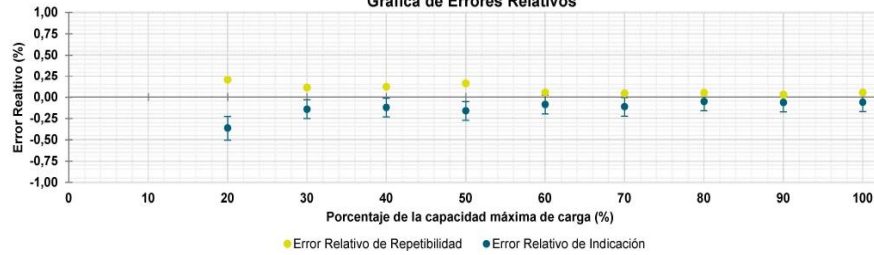
$f_{0,S1}$ %	$f_{0,S2}$ %	$f_{0,S2'}$ %	$f_{0,S3}$ %	$f_{0,S4}$ %
0,010	0,012	---	0,012	---

**Tabla 3.**

Resultados de la Calibración de la máquina de ensayo.

Indicación del IBC %	Indicación kN	Errores Relativos			Resolución Relativa a %	Incertidumbre Expandida U		$k_{p=95\%}$ -----
		Indicación q %	Repetibilidad b %	Reversibilidad v %		kN	%	
20	200,00	-0,37	0,21	---	0,050	0,28	0,14	2,01
30	300,00	-0,14	0,11	---	0,033	0,33	0,11	2,01
40	400,00	-0,12	0,12	---	0,025	0,44	0,11	2,01
50	500,00	-0,16	0,16	---	0,020	0,55	0,11	2,01
60	600,00	-0,09	0,05	---	0,017	0,66	0,11	2,01
70	700,00	-0,11	0,04	---	0,014	0,77	0,11	2,01
80	800,00	-0,05	0,05	---	0,013	0,88	0,11	2,01
90	900,00	-0,06	0,03	---	0,011	0,99	0,11	2,01
100	1 000,0	-0,06	0,05	---	0,010	1,1	0,11	2,01

**Gráfica de Errores Relativos**



**CONDICIONES AMBIENTALES**

El lugar de la Calibración fue Área de ensayos especiales de la empresa INVERSIONES GENERALES CENTAURO INGENIEROS S.A.C. ubicada en Huancayo. Durante la Calibración se presentaron las siguientes condiciones ambientales.

Temperatura Ambiente Máxima:	17,7 °C	Temperatura Ambiente Mínima:	17,5 °C
Humedad Relativa Máxima:	57 % HR	Humedad Relativa Mínima:	51 % HR

LM-PC-05-F-01 R12.4

ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO

Laboratorio de Metrología: Cl 18 #1038-72 | PBX: 57 (1) 745 4555 - 3174233640 | labmetrologia@pinzuar.com.co | WWW.PINZUAR.COM.CO





**RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN Continuación...**

**Tabla 4.**

Coefficientes para el cálculo de la fuerza en función de su deformación y su R<sup>2</sup>, el cual refleja la bondad del ajuste del modelo a la variable.

A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	---	R <sup>2</sup>
7,80397 E-01	9,98860 E-01	2,10097 E-06	-1,18098 E-09		1,0000 E00

Ecuación 1: donde F (kN) es la fuerza calculada y X (kN) es el valor de deformación evaluado

$$F = A_0 + (A_1 * X) + (A_2 * X^2) + (A_3 * X^3)$$

**Tabla 5.**

Valores calculados en función de la fuerza aplicada ( kN )

Indicación kN	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0
200,0	200,63	210,62	220,62	230,61	240,61
250,0	250,61	260,61	270,60	280,60	290,60
300,0	300,60	310,59	320,59	330,59	340,59
350,0	350,59	360,59	370,59	380,59	390,59
400,0	400,58	410,58	420,58	430,58	440,58
450,0	450,59	460,59	470,59	480,59	490,59
500,0	500,59	510,59	520,59	530,59	540,59
550,0	550,59	560,59	570,59	580,60	590,60
600,0	600,60	610,60	620,60	630,60	640,60
650,0	650,60	660,60	670,60	680,61	690,61
700,0	700,61	710,61	720,61	730,61	740,61
750,0	750,61	760,61	770,61	780,61	790,61
800,0	800,61	810,61	820,61	830,61	840,61
850,0	850,60	860,60	870,60	880,60	890,60
900,0	900,60	910,59	920,59	930,59	940,58
950,0	950,58	960,58	970,57	980,57	990,57
1 000,0	1 000,6				

**Tabla 6.**

Valores Residuales

Indicación del IBC kN	Promedio S1, 2 y 3 kN	Por Interpolación kN	Residuales kN
200,0	200,73	200,63	- 0,1
300,0	300,43	300,60	0,2
400,0	400,49	400,58	0,1
500,0	500,81	500,59	- 0,2
600,0	600,53	600,60	0,1
700,0	700,80	700,61	- 0,2
800,0	800,41	800,61	0,2
900,0	900,57	900,60	0,0
1 000,0	1 000,6	1 000,6	- 0,1

LM-PC-05-F-01 R12.4





**INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN**

La incertidumbre expandida de la medición reportada se establece como la incertidumbre estándar de medición multiplicada por el factor de cobertura  $k=2,013$  y la probabilidad de cobertura, la cual debe ser aproximada al 95% y no menor a este valor. La incertidumbre expandida fue estimada bajo los lineamientos del documento: JCGM 100:2008. GUM 1995 with minor corrections. Evaluation of measurement data Guide to the expression of uncertainty in measurement. First Edition. September 2008.

**TRAZABILIDAD**

**Instrumento de Referencia**

<b>Instrumento</b>	Transductor de Fuerza de 1 MN.
<b>Modelo</b>	KAL 1MN.
<b>Clase</b>	0,5.
<b>Número de Serie</b>	017403.
<b>Certificado de Calibración</b>	5047 del INM.
<b>Próxima Calibración</b>	2023-02-03.



El/Los certificado(s) de calibración de el/los patrón(es) usado(s) como referencia para la Calibración que se mencionan en la Pág. 2, se pueden descargar accediendo al enlace en el código QR.

**CRITERIOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE LA MÁQUINA DE ENSAYO**

La siguiente Tabla proporciona los valores máximos permitidos, para los diferentes errores relativos del sistema de medición de fuerza y para la resolución relativa del indicador de fuerza que caracteriza una escala de la máquina de ensayo de acuerdo con la clase apropiada para sus ensayos según la sección 7 de la Norma ISO 7500-1:2018 Metallic materials - Calibration and verification of static uniaxial testing machines - Part 1: Tension/compression testing machines - Calibration and verification of the force-measuring system

Clase de la escala de la máquina	Indicación	Repetibilidad	Reversibilidad*	Cero	Resolución relativa
0,5	0,5	0,5	0,75	0,05	0,25
1	1	1	1,5	0,1	0,5
2	2	2	3	0,2	1
3	3	3	4,5	0,3	1,5

\*El error relativo de reversibilidad se determina solamente cuando es previamente solicitado por el cliente.

**OBSERVACIONES**

- Se emplea la coma (,) como separador decimal.
- En cualquier caso, la máquina debe calibrarse si se realiza un cambio de ubicación que requiera desmontaje, o si se somete a ajustes o reparaciones importantes. Numeral 9. ISO 7500-1:2018
- El presente Certificado reemplaza al Certificado de Calibración F-25433-006 R0, expedido el 2022-02-09, el motivo del cambio es: Se corrige la dirección del solicitante por AV. MARISCAL CASTILLA NRO. 3950 (FRENTE UNCP-SÑOS.GDE-AV MCAL. CASTILLA) JUNIN -HUANCAYO - EL TAMBO**
- Con el presente Certificado de Calibración se adjunta la etiqueta de Calibración No. F-25433-006

Fin del Certificado

LM-PC-05-F-01 R12.4

ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO

Laboratorio de Metrología: Cl 18 #1038-72 | PBX. 57 (1) 745 4555 - 3174233640 | labmetrologia@pinzuar.com.co | WWW.PINZUAR.COM.CO



# Certificado de INACAL

## Certificado



**INACAL**  
Instituto Nacional  
de Calidad  
Acreditación

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad – INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, OTORGA el presente certificado de Acreditación a:

### **INVERSIONES GENERALES CENTAURO INGENIEROS S.A.C.**

#### **Laboratorio de Ensayo**

En su sede ubicada en: Av. Mariscal Castilla N° 3950, distrito de El Tambo, provincia de Huancayo y departamento de Junín

Con base en la norma

**NTP-ISO/IEC 17025:2006 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración**

Facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-06P-21F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número del registro indicado líneas abajo.

Fecha de Acreditación: 17 de agosto de 2019

Fecha de Vencimiento: 16 de agosto de 2022

**ESTELA CONTRERAS JUGO**  
Directora, Dirección de Acreditación - INACAL

Cédula N° : 835-2019-INACAL/DA  
Contrato N° : 028-2019/INACAL-DA  
Registro N° : LE-141

Fecha de emisión: 17 de setiembre de 2019

El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y símbolo de notificación dado que el alcance puede estar sujeto a ampliaciones, reducciones, actualizaciones y suspensiones temporales. El alcance y vigencia debe confirmarse en la página web [www.inacal.gob.pe/acreditacion/categoria/acreditados](http://www.inacal.gob.pe/acreditacion/categoria/acreditados) al momento de hacer uso del presente certificado.  
La Dirección de Acreditación del INACAL es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Multilateral (MLA) del Inter American Accreditation Co-operation (IAAC) e International Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo con la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

DA-907-01P-02M Ver. 02

## Apéndice 4

### Registro fotográfico

#### Foto 1

Localización de la cantera



#### Foto 2

Compra de material de agregado de Cerro



### Foto 3

Medida de tara 1 piedra río



### Foto 4

Secado de las muestras 1



**Foto 5**

Cuarteo del material 2



**Foto 6**

Tamizado de muestras



**Foto 7**

Peso unitario suelto de piedra de río



**Foto 8**

Peso unitario compactado de arena



**Foto 9**

Muestras pesadas para peso específico y absorción



**Foto 10**

Muestras saturadas para peso específico y absorción



**Foto 11**

Peso del material del Cerro después del ensayo



**Foto 12**

Peso del material de río después del ensayo



**Foto 13**

Mezclado para realizar los especímenes de concreto



**Foto 14**

Ensayo de slump para todos los diseños



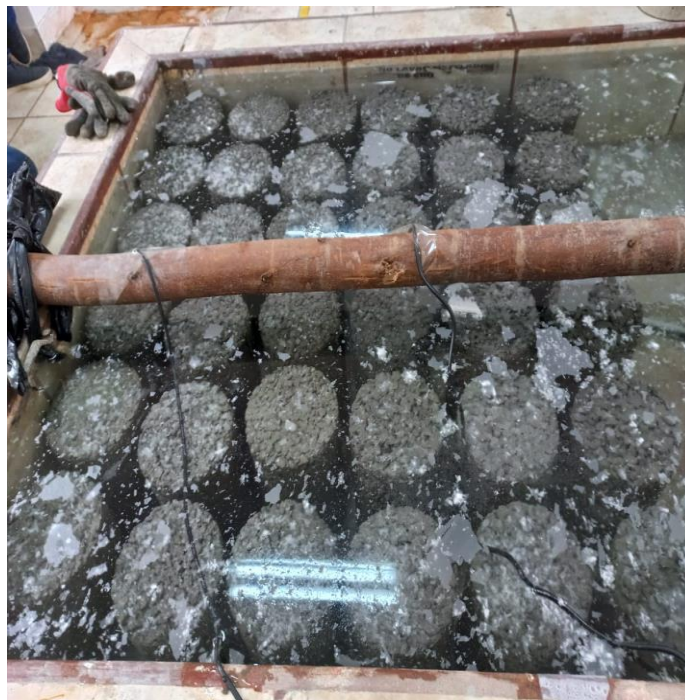
**Foto 15**

Desencofrado de probetas



**Foto 16**

Curado de probetas



**Foto 17**

Ensayo de coeficiente de permeabilidad



**Foto 18**

Ensayo de resistencia de compresión de probetas



## Apéndice 5

### Base de datos

Cantera	Muestra	Edad (días)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Área de la sección transversal (mm <sup>2</sup> )	Carga máxima (KN)	Resistencia (Mpa)	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia	Tipo de fractura	Defectos
Cerro	15%-1-C	28	152.55	306.56	18277.4	421.34	23.1	230.5	110%	2	2
Cerro	15%-2-C	28	152.5	306.37	18265.42	489.77	26.8	268.1	128%	5	2
Cerro	15%-3-C	28	152.4	306.35	18241.47	532.17	29.2	291.7	139%	2	2
Cerro	15%-4-C	28	152.2	306.34	18193.62	512.52	28.2	281.7	134%	5	2
Cerro	15%-5-C	28	152.3	306.35	18217.54	525.14	28.8	288.3	137%	6	2
Cerro	15%-6-C	28	152.2	306.35	18193.62	273.19	15	150.2	72%	5	2
Cerro	20%-1-C	28	152.45	306.53	18253.44	322.23	17.70	176.50	84%	5	2
Cerro	20%-2-C	28	152.15	306.36	18181.67	318.05	17.50	174.90	83%	5	2
Cerro	20%-3-C	28	152.15	306.33	18181.67	318.58	17.50	175.20	83%	5	2
Cerro	20%-4-C	28	152.00	306.32	18145.84	386.85	21.30	213.20	102%	2	2
Cerro	20%-5-C	28	152.15	306.34	18181.67	323.79	17.80	178.10	85%	5	2
Cerro	20%-6-C	28	151.05	306.31	17919.72	352.46	19.70	196.70	94%	5	2
Cerro	22.5%-1-C	28	152.00	306.64	18145.84	284.43	15.70	156.70	75%	5	2
Cerro	22.5%-2-C	28	152.20	306.32	18193.62	204.31	11.20	112.30	53%	5	2
Cerro	22.5%-3-C	28	152.35	306.31	18229.50	204.84	11.20	112.40	54%	5	2
Cerro	22.5%-4-C	28	152.15	306.29	18181.67	278.11	15.30	153.00	73%	5	2

<b>Cerro</b>	22.5%-5-C	28	152.40	306.31	18241.47	282.10	15.50	154.60	74%	5	2
<b>Ichu</b>	22.5%-6-C	28	151.10	306.33	17931.59	307.68	17.20	171.60	82%	5	2
<b>Ichu</b>	15%-1-R	28	152.40	306.43	18241.47	236.58	13.00	129.70	62%	5	2
<b>Ichu</b>	15%-2-R	28	152.30	306.31	18217.54	346.30	19.00	190.10	91%	2	2
<b>Ichu</b>	15%-3-R	28	152.20	306.31	18193.62	310.51	17.10	170.70	81%	2	2
<b>Ichu</b>	15%-4-R	28	151.90	306.32	18121.97	221.45	12.20	122.20	58%	5	2
<b>Ichu</b>	15%-5-R	28	152.00	306.32	18145.84	259.46	14.30	143.00	68%	6	2
<b>Ichu</b>	15%-6-R	28	152.25	306.36	18205.58	302.57	16.60	166.20	79%	5	2
<b>Ichu</b>	20%-1-R	28	152.15	306.34	18181.67	204.07	11.20	112.20	53%	5	2
<b>Ichu</b>	20%-2-R	28	151.95	306.28	18133.90	197.40	10.90	108.90	52%	6	2
<b>Ichu</b>	20%-3-R	28	152.35	306.36	18229.50	341.11	18.70	187.10	89%	5	2
<b>Ichu</b>	20%-4-R	28	152.65	306.32	18301.37	298.26	16.30	163.00	78%	6	2
<b>Ichu</b>	20%-5-R	28	152.30	306.34	18217.54	286.91	15.70	157.50	75%	5	2
<b>Ichu</b>	20%-6-R	28	152.20	306.34	18193.62	268.40	14.80	147.50	70%	5	2
<b>Ichu</b>	22.5%-1-R	28	152.50	306.25	18265.42	199.89	10.90	109.40	52%	5	2
<b>Ichu</b>	22.5%-2-R	28	152.25	306.32	18205.58	218.35	12.00	119.90	57%	5	2
<b>Ichu</b>	22.5%-3-R	28	152.15	306.29	18181.67	164.82	9.10	90.70	43%	5	2
<b>Ichu</b>	22.5%-4-R	28	152.25	306.33	18205.58	207.85	11.40	114.20	54%	5	2
<b>Ichu</b>	22.5%-5-R	28	152.25	306.31	18205.58	193.28	10.60	106.20	51%	5	2
<b>Ichu</b>	22.5%-6-R	28	152.15	306.34	18181.67	193.42	10.60	106.40	51%	5	2

<b>Cantera</b>	<b>Muestra</b>	<b>t promedio (S)</b>	<b>d promedio (cm)</b>	<b>A (cm2)</b>	<b>L promedio (cm)</b>	<b>h (cm)</b>	<b>Q (cm3)</b>	<b>K (cm/s)</b>
<b>Cerro</b>	15%-1-CP	40.00	15.23	182.10	30.07	40.87	2000	0.2020
<b>Cerro</b>	15%-2-CP	40.00	15.23	182.10	30.02	40.82	2000	0.2019
<b>Cerro</b>	15%-3-CP	39.67	15.16	180.43	30.00	40.80	2000	0.2055
<b>Cerro</b>	15%-4-CP	40.33	15.22	181.86	30.00	40.80	2000	0.2005
<b>Cerro</b>	15%-5-CP	38.67	15.22	181.94	30.10	40.90	2000	0.2092
<b>Cerro</b>	15%-6-CP	40.67	15.22	182.02	29.98	40.78	2000	0.1986
<b>Cerro</b>	20%-1-CP	36.33	15.21	181.70	30.05	40.85	2000	0.2229
<b>Cerro</b>	20%-2-CP	21.33	15.17	180.74	30.00	40.80	2000	0.3814
<b>Cerro</b>	20%-3-CP	22.00	15.22	181.86	30.03	40.83	2000	0.3677
<b>Cerro</b>	20%-4-CP	37.00	15.19	181.22	30.08	40.88	2000	0.2195
<b>Cerro</b>	20%-5-CP	31.67	15.16	180.43	30.03	40.83	2000	0.2575
<b>Cerro</b>	20%-6-CP	27.00	15.16	180.51	30.03	40.83	2000	0.3018
<b>Cerro</b>	22.5%-1-CP	22.67	15.15	180.27	30.00	40.80	2000	0.3599
<b>Cerro</b>	22.5%-2-CP	15.67	15.19	181.14	30.03	40.83	2000	0.5184
<b>Cerro</b>	22.5%-3-CP	20.00	15.20	181.54	30.10	40.90	2000	0.4054
<b>Cerro</b>	22.5%-4-CP	18.00	15.22	181.86	30.03	40.83	2000	0.4494
<b>Cerro</b>	22.5%-5-CP	22.00	15.21	181.70	30.07	40.87	2000	0.3681
<b>Ichu</b>	22.5%-6-CP	16.00	15.18	180.90	30.08	40.88	2000	0.5084
<b>Ichu</b>	15%-1-RP	37.00	15.22	181.94	30.03	40.83	2000	0.2185
<b>Ichu</b>	15%-2-RP	37.33	15.21	181.70	30.02	40.82	2000	0.2168
<b>Ichu</b>	15%-3-RP	35.67	15.15	180.35	30.00	40.80	2000	0.2286
<b>Ichu</b>	15%-4-RP	36.67	15.21	181.62	30.03	40.83	2000	0.2209

<b>Ichu</b>	15%-5-RP	37.00	15.13	179.87	30.05	40.85	2000	0.2211
<b>Ichu</b>	15%-6-RP	36.00	15.16	180.51	30.00	40.80	2000	0.2263
<b>Ichu</b>	20%-1-RP	12.33	15.22	181.94	30.07	40.87	2000	0.6558
<b>Ichu</b>	20%-2-RP	12.33	15.13	179.87	30.05	40.85	2000	0.6632
<b>Ichu</b>	20%-3-RP	12.00	15.17	180.74	30.10	40.90	2000	0.6786
<b>Ichu</b>	20%-4-RP	13.00	15.19	181.22	30.02	40.82	2000	0.6243
<b>Ichu</b>	20%-5-RP	12.33	15.21	181.78	30.02	40.82	2000	0.6561
<b>Ichu</b>	20%-6-RP	12.67	15.21	181.78	30.03	40.83	2000	0.6389
<b>Ichu</b>	22.5%-1-RP	12.33	15.20	181.38	30.08	40.88	2000	0.6579
<b>Ichu</b>	22.5%-2-RP	11.33	15.14	180.03	30.07	40.87	2000	0.7212
<b>Ichu</b>	22.5%-3-RP	12.00	15.13	179.79	30.02	40.82	2000	0.6817
<b>Ichu</b>	22.5%-4-RP	12.33	15.21	181.78	30.08	40.88	2000	0.6564
<b>Ichu</b>	22.5%-5-RP	12.00	15.22	181.86	30.00	40.80	2000	0.6739
<b>Ichu</b>	22.5%-6-RP	12.00	15.16	180.51	30.05	40.85	2000	0.6792

## Apéndice 6

### Ensayos de laboratorio

#### Ensayo de abrasión – máquina de los Ángeles

##### 1. Cantera de Cerro-Agregado Grueso

TAMIZ	GRADACIONES g			
	A	B	C	D
1 1/2"				
1"				
3/4"				
1/2"				
3/8"				
1/4"			2500.0	
Nº 4			2500.0	
PESO TOTAL (g)			5000.0	
MATERIAL RETENIDO TAMIZ Nº 12 (g)			3530.0	
MATERIAL PASANTE TAMIZ Nº 12 (g)			1470.0	
PORCENTAJE OBTENIDO (%)			<b>29.40</b>	

##### 2. Cantera de Río- Agregado grueso

TAMIZ	GRADACIONES g			
	A	B	C	D
1 1/2"				
1"				
3/4"				
1/2"				
3/8"				
1/4"			2500.0	
Nº 4			2500.0	
PESO TOTAL			5000.0	
MATERIAL RETENIDO TAMIZ Nº 12 (g)			3760.0	
MATERIAL PASANTE TAMIZ Nº 12 (g)			1240.0	
PORCENTAJE OBTENIDO (%)			<b>24.80</b>	

## Análisis granulométrico

### 3. Cantera de Cerro – Agregado Grueso

AGREGADO DE CERRO						HUSO N°8	
TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA	LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
PULG	MM						
3/4"	19	0	0	0	100		
1/2"	12.7	0	0.00	0.00	100.00	100	100
3/8"	9.51	443.13	14.77	14.77	85.23	85	100
N°4	4.75	2068.19	68.91	83.68	16.32	10	30
N°8	2.36	300.119	10.00	93.68	6.32	0	10
MN°16	1.18	180	6.00	99.68	0.32	0	5
FONDO		9.751	0.32	100.00	0.00		
TOTAL		3001.19	100				

### 4. Cantera de Río – Agregado Grueso

AGREGADO DE RÍO						HUSO N°7	
TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA	LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
PULG	MM						
3/4"	19	0	0	0	100	100	100
1/2"	12.7	299.53	9.95	9.95	90.05	90	100
3/8"	9.51	848.53	28.18	38.13	61.87	40	70
N°4	4.75	1667.81	55.40	93.53	6.47	0	15
FONDO		194.79	6.47	100.00	0.00	0	5
TOTAL		3010.66	100				

## 5. Agregado Fino

MUESTRA 1							
TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA	LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
PULG	MM						
1/2"	12.5	0	0	0	100		
3/8"	9.50	7.88	0.394	0.394	99.61	100	100
4	4.75	10.33	0.52	0.91	99.09	95	100
8	2.36	26.95	1.35	2.26	97.74	80	100
16	1.18	144.8	7.24	9.50	90.50	50	85
30	0.60	525.98	26.29	35.79	64.21	25	60
50	0.30	757.09	37.85	73.64	26.36	5	30
100	0.15	404.59	20.23	93.87	6.13	0	10
200	0.075	85.4	4.27	98.13	1.87	0	0
FONDO		37.31	1.87	100.00	0.00	0	0
TOTAL		2000.33	100.00				

---

**MUESTRA 2**

---

TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA	LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
PULG	MM						
		0			100		
3/8"	9.50	1.76	0.088	0.088	99.91	100	100
4	4.75	11.4	0.57	0.66	99.34	95	100
8	2.36	32.79	1.64	2.29	97.71	80	100
16	1.18	158.79	7.93	10.22	89.78	50	85
30	0.60	585.6	29.23	39.45	60.55	25	60
50	0.30	763.27	38.09	77.54	22.46	5	30
100	0.15	346.98	17.32	94.86	5.14	0	10
200	0.075	73.93	3.69	98.55	1.45	0	0
FONDO		29.1	1.45	100.00	0.00	0	0
TOTAL		2003.62	100.00				

## Peso específico y absorción

### 6. Cantera de Cerro – Agregado Grueso

N.º DE ENSAYOS		1	2	
Peso de muestra seca al horno	A gr.	2485. 0	2480. 0	
Peso de muestra saturada superf. Seca	B gr.	2500. 0	2500. 0	
Peso de muestra saturada superf. seca Sumergida	C gr.	1568. 6	1565. 7	<b>PROMEDIO</b>
Peso específico sobre base seca A/(B-C)		2.668	2.654	<b>2.661</b>
Peso específico sobre base saturada superficialmente seca B/(B-C)		2.684	2.676	<b>2.680</b>
Peso específico aparente A/(A-C)		2.712	2.712	<b>2.712</b>
Absorción de agua (B-A)*100)/A		0.604	0.806	<b>0.705</b>

### 7. Cantera de Río- Agregado Grueso

N.º DE ENSAYOS		1	2	
Peso de muestra seca al horno	A gr.	2440. 0	2440. 0	
Peso de muestra saturada superf. Seca	B gr.	2500. 0	2500. 0	
Peso de muestra saturada superf. seca Sumergida	C gr.	1539. 5	1537. 2	<b>PROMEDIO</b>
Peso específico sobre base seca A/(B-C)		2.540	2.534	<b>2.537</b>
Peso específico sobre base saturada superficialmente seca B/(B-C)		2.603	2.597	<b>2.600</b>
Peso específico aparente A/(A-C)		2.710	2.703	<b>2.706</b>
Absorción de agua (B-A)*100)/A		2.459	2.459	<b>2.459</b>

### 8. Agregado Fino

Nº DE ENSAYOS		1	
P. Picnómetro + agua aforada	A	gr. 695.10	
P. de la muestra seca al horno	B	gr. 494.39	
P. de la muestra saturada superficialmente seca	C	gr. 500.00	
P. Picnómetro + agua + muestra aforada	D	gr. 1008.05	<b>PROMEDIO</b>
Peso específico sobre base seca B/(C-(D-A))		2.643	<b>2.643</b>
Peso específico sobre base saturada superficialmente seca C/(C-(D-A))		2.673	<b>2.673</b>
Peso específico aparente B/(B-(D-A))		2.725	<b>2.725</b>
Absorción de agua ((C-B)*100)/B		1.13	<b>1.135</b>

## Peso unitario en estado fresco

### 9. Cantera de Cerro

<b>CERRO- 15%VACÍOS -A/C 0.40</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
Masa de concreto + masa de briqueta (Mc) kg	21.85	21.72	21.9
Masa de Briqueta (Mm)kg	10.185	10.06	10.205
Volumen de Briqueta (V)m3	0.0054	0.0054	0.0054
Peso unitario en estado fresco (D)	2165.690	2164.762	2171.260
Promedio de Peso Unitario fresco kg/m3	2167.2		

<b>CERRO- 20%VACÍOS -A/C 0.40</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
Masa de concreto + masa de briqueta (Mc) kg	21.285	21.015	21.33
Masa de Briqueta (Mm)kg	10.085	10.095	10.175
Volumen de Briqueta (V)m3	0.0054	0.0054	0.0054
Peso unitario en estado fresco (D)	2079.3598	2027.3758	2071.0052
Promedio de Peso Unitario fresco kg/m3	2059.2		

<b>CERRO- 22.5%VACÍOS -A/C 0.40</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
Masa de concreto + masa de briqueta (Mc) kg	20.74	21.18	20.87
Masa de Briqueta (Mm)kg	10.005	10.21	10.13
Volumen de Briqueta (Vm)m3	0.0054	0.0054	0.0054
Peso unitario en estado fresco (D)	1993.0292	2036.6587	1993.9575
Promedio de Peso Unitario fresco kg/m3	2007.9		

## 10. Cantera de Río

<b>RÍO- 15%VACÍOS -A/C 0.40</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
Masa de concreto + masa de briqueta (Mc) kg	20.97	20.805	21.29
Masa de Briqueta (Mm)kg	10.175	10.095	10.155
Volumen de Briqueta (V)m <sup>3</sup>	0.0054	0.0054	0.0054
Peso unitario en estado fresco (D)	2004.1687	1988.3878	2067.2921
Promedio de Peso Unitario fresco kg/m <sup>3</sup>	2019.949527		

<b>RÍO- 20%VACÍOS -A/C 0.40</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
Masa de concreto + masa de briqueta (Mc) kg	20.805	20.5	20.445
Masa de Briqueta (Mm)kg	10.005	10.18	10.065
Volumen de Briqueta (V)m <sup>3</sup>	0.0054	0.0054	0.0054
Peso unitario en estado fresco (D)	2005.0970	1915.9815	1927.1210
Promedio de Peso Unitario fresco kg/m <sup>3</sup>	1949.4		

<b>RÍO- 22.5%VACÍOS -A/C 0.40</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
Masa de concreto + masa de briqueta (Mc) kg	20.185	20.475	20.495
Masa de Briqueta (Mm)kg	10.09	10.095	10.17
Volumen de Briqueta (V)m <sup>3</sup>	0.0054	0.0054	0.0054
Peso unitario en estado fresco (D)	1874.2087	1927.1210	1916.9098
Promedio de Peso Unitario fresco kg/m <sup>3</sup>	1906.0798		

## Porcentaje de vacíos en estado fresco

### 11. Cantera de Cerro

<b>CERRO- 15%VACÍOS -A/C 0.40</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
Masa total de todos los materiales de la mezcla (Ms)	2092.5	2092.5	2092.5
Volumen Absoluto de cada ingrediente (Vs)	0.85	0.85	0.85
Densidad Teórica del concreto (T)= Ms/Vs	2461.72	2461.72	2461.72
Peso unitario del concreto (D)	2165.69	2164.76	2171.26
Porcentaje de Vacíos en Estado Fresco (U)	13.67	13.72	13.38
Promedio de % Vacíos	13.59		

<b>CERRO- 20%VACÍOS -A/C 0.40</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
Masa total de todos los materiales de la mezcla (Ms)	1994.90	1994.90	1994.90
Volumen Absoluto de cada ingrediente (Vs)	0.8	0.8	0.8
Densidad Teórica del concreto (T)= Ms/Vs	2493.62	2493.62	2493.62
Peso unitario del concreto (D)	2079.36	2027.38	2071.01
Porcentaje de Vacíos en Estado Fresco (U)	19.92	23.00	20.41
Promedio de % Vacíos	21.11		

<b>CERRO- 22.5%VACÍOS -A/C 0.40</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
Masa total de todos los materiales de la mezcla (Ms)	1946.11	1946.11	1946.11
Volumen Absoluto de cada ingrediente (Vs)	0.78	0.78	0.78
Densidad Teórica del concreto (T)= Ms/Vs	2511.11	2511.11	2511.11
Peso unitario del concreto (D)	1993.03	2036.66	1993.96
Porcentaje de Vacíos en Estado Fresco (U)	25.99	23.30	25.94
Promedio de % Vacíos	25.08		

## 12. Cantera de Río

<b>RÍO- 15%VACÍOS -A/C 0.40</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
Masa total de todos los materiales de la mezcla (Ms)	2074.07	2074.07	2074.07
Volumen Absoluto de cada ingrediente (Vs)	0.85	0.85	0.85
Densidad Teórica del concreto (T)= Ms/Vs	2440.08	2440.08	2440.08
Peso unitario del concreto (D)	2004.17	1988.39	2067.29
Porcentaje de Vacíos en Estado Fresco (U)	21.75	22.72	18.03
Promedio de % Vacíos		20.83	

<b>RÍO- 20%VACÍOS -A/C 0.40</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
Masa total de todos los materiales de la mezcla (Ms)	1976.50	1976.50	1976.50
Volumen Absoluto de cada ingrediente (Vs)	0.8	0.8	0.8
Densidad Teórica del concreto (T)= Ms/Vs	2470.63	2470.63	2470.63
Peso unitario del concreto (D)	2005.10	1915.98	1927.12
Porcentaje de Vacíos en Estado Fresco (U)	23.22	28.95	28.20
Promedio de % Vacíos		26.79	

<b>RÍO- 22.5%VACÍOS -A/C 0.40</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
Masa total de todos los materiales de la mezcla (Ms)	1927.72	1927.72	1927.72
Volumen Absoluto de cada ingrediente (Vs)	0.78	0.78	0.78
Densidad Teórica del concreto (T)= Ms/Vs	2487.38	2487.38	2487.38
Peso unitario del concreto (D)	1874.21	1927.12	1916.91
Porcentaje de Vacíos en Estado Fresco (U)	32.72	29.07	29.76
Promedio de % Vacíos		30.52	

## Apéndice 7

### Diseño de concreto poroso

#### DISEÑO

Datos:	Und.	VARIACIÓN	volumen
GRAVA =	CERRO		
ARENA=	10	%	
% VACÍOS =	15	%	15% a 25%
A/C=	0.4		0.26 a 0.45
COMPACTACIÓN	LIGERO		

#### Procedimiento:

- 1\_. Determinar el volumen de pasta según el cuadro

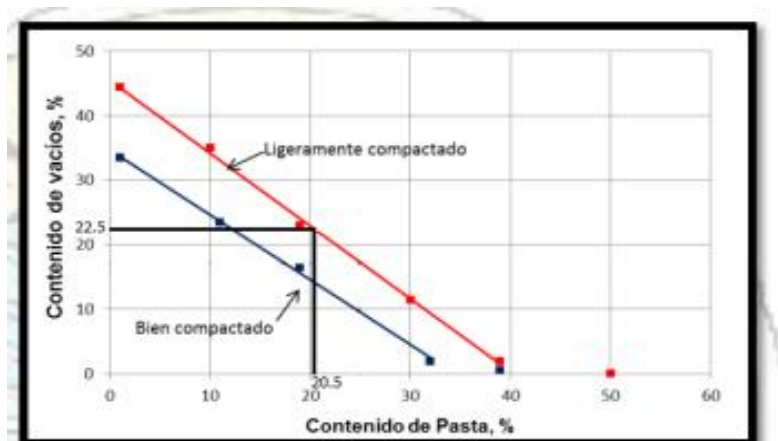


Figura 36: Contenido de pasta vs Contenido de Vacíos (Adaptado de: ACI 522E-10, 2010)

Para un % de vacíos = 15%

$$V_{\text{pasta}} = (\% \text{ pasta} - 1) * V_{\text{total}}$$

$$V_{\text{pasta}} = 27/100 * 1$$

$$V_{\text{pasta}} = \mathbf{0.27 \text{ m}^3}$$

- 2\_. Determinar el volumen de grava

$$V_{\text{grava}} = 1 - (V_{\text{pasta}} + V_{\text{vacíos}})$$

$$V_{\text{grava}} = \mathbf{0.58 \text{ m}^3}$$

3\_. Determinar el peso de grava

$$P_{grava} = P_{e.s.s} * V_{grava} * 1000$$
$$P_{grava} = \mathbf{1554.380 \quad kg}$$

4\_. Determinar el peso del cemento

$$V_p = \frac{c}{P.E.c} + \frac{a}{P.E.a}$$

$$V_p = \frac{c}{3.15 * 1000} + \frac{\frac{a}{c} * c}{1.00 * 1000}$$

$$\text{peso del cemento } C = \mathbf{376.327 \quad kg}$$

4\_. Determinar el Volumen del cemento

$$V_{cemento} = P_{cemento} / P.e. \text{ cemento}$$
$$V_{cemento} = \mathbf{0.1195 \quad m^3}$$

5\_. Determinar el Peso del Agua

$$P_{agua} = (a/c) * P_{cemento}$$
$$P_{agua} = \mathbf{150.531 \quad kg} \quad a/c = \text{relación agua cemento}$$

6\_. Determinar el Volumen del Agua

$$V_{agua} = P_{agua} / P.e. \text{ agua}$$
$$V_{agua} = \mathbf{0.151 \quad m^3}$$

7\_. RESUMEN

Para 1 m3 de concreto  
Permeable

Paso 3		
Material	Peso kg	Volumen m3
cemento	376.327	0.1195
agua	150.531	0.151
grava	1398.942	0.52
arena	155.039	0.058
total 1	2080.839	0.850
<b>VACÍOS</b>		<b>0.150</b>
		1.0000

\* Confirmando el % Vacíos

$$\% \text{ Vacíos} = (1 - V_{\text{total}}) * 100$$

% Vacíos = 15 %  
VVacíos 0.15 m3

Paso 1		
Material	Peso kg	Volumen m3
cemento	376.327	0.1195
agua	150.531	0.151
vacíos		0.15
PARCIAL	0	0.4200
GRAVA	1554.380	0.580
<b>TOTAL</b>		<b>1.000</b> M3

Corrección por incorporación de arena			
Paso 2			
Insumo	Peso kg	Peso específico kg/m3	Volumen m3
arena	155.03876	2673	0.058
grava	1398.94212	2680	0.522

8\_.

Corrección por Humedad, Absorción y Aporte

	GRAVA	ARENA	
<b>Humedad (%)</b>	1.782	11.709	
<b>Absorción (%)</b>	0.705	1.135	
<b>Aporte</b>	15.06	16.39453	$\text{Aporte} = \frac{(\%H - \%Abs)}{100} * P_{grava}$

Valores corregidos por

9\_ Humedad

Insumo	Cantidad	Unidad
<b>Cemento</b>	376.327	kg/m3
<b>Agua efectiva</b>	119.072	kg/m3
<b>Grava húmeda</b>	1423.870	kg/m3
<b>Arena húmeda</b>	173.192567	kg/m3
	2092.462	

---

10\_. Proporciones de diseño por peso

Insumo	Cantidad
Cemento	1.000
Agua efectiva	0.316
Grava húmeda	3.784
Arena húmeda	0.4602

11\_. Proporciones para probetas de concreto

DIMENSION DE LA BRIQUETA	
Diámetro (m)	0.1524
Alto (m)	0.3048
Radio (m)	0.075
Volumen (m3)	0.005386273

12\_. PARA VARIAS BRIGETAS (UNA TANDA)

N° de briguetas de ensayo=	13	
Volumen total de Brigetas=	0.070	m3

				REDONDE ANDO	PROPORCION
<b>Cemento</b>	376.327	KG	0.07002155 26.3510308	<b>26.35</b>	1
<b>Agua efectiva</b>	119.072	LT	0.07002155 8.33760012	<b>8.34</b>	0.32
<b>Grava húmeda</b>	1423.870	KG	0.07002155 99.7015655	<b>99.7</b>	3.78
<b>Arena húmeda</b>	173.192567	KG	0.07002155 12.1272123	<b>12.13</b>	0.46034156