

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**Resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto
utilizando agregado grueso de la cantera Rola – Huaraz**

Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil

Autor:

León Anaya, Larissa Katering

Asesor:

López Carranza, Rubén

Huaraz – Perú

2018

PALABRAS CLAVE

TEMA	Concreto Permeable
ESPECIALIDAD	Tecnología del Concreto

KEY WORDS

THEME	Permeable Concrete
SPECIALTY	Concrete Technology

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD	Área	Sub área	Disciplina
1. INGENIERÍA	2. Ingeniería y Tecnología	2.1. Ingeniería Civil	<ul style="list-style-type: none">• Ingeniería Civil

TÍTULO

**“RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD DEL
CONCRETO UTILIZANDO AGREGADO GRUESO DE LA CANTERA
ROLA – HUARAZ”**

RESUMEN

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo general determinar la resistencia a la compresión y la permeabilidad del concreto elaborado con el agregado grueso de la Cantera Rola – Huaraz; puesto que el agregado grueso va a variar sus propiedades mecánicas de acuerdo a la zona de donde es extraído.

Es una investigación descriptiva y de diseño experimental, la población de estudio está constituida por la Cantera Rola – Huaraz, para poder utilizar el agregado grueso del mencionado lugar y el laboratorio de análisis de suelos de la Universidad San Pedro, donde se trabajó con 18 probetas para compresión y 8 probetas para permeabilidad, el análisis se basó en el porcentaje de relación de vacíos el cual fue en un 20% y 30%.

La metodología de análisis del comportamiento del concreto se hizo utilizando las normas ACI y ASTM. Después de haber realizado los ensayos, se obtuvo que a una relación de vacíos menor, es mejor la resistencia a la compresión; por lo que la relación de vacíos a un 20%, fue la que obtuvo mejores resultados en cuanto a dicho ensayo, llegando a un valor de 171.53 kg/cm^2 a los 28 días y la menor resistencia que se obtuvo fue en la relación de vacíos de 30%, en la que se obtuvo un valor de 97.09 kg/cm^2 a los 28 días; con respecto al coeficiente de permeabilidad después de haber realizado los ensayos se obtuvo que a mayor relación de vacíos mayor es el coeficiente de permeabilidad, la variación del coeficiente de permeabilidad respecto a la relación de vacíos es directamente proporcional; los resultados obtenidos del ensayo de permeabilidad fueron del 20% de vacíos 2.184 cm/seg , y del 30% de vacíos 3.288 cm/seg .

ABSTRACT

The general objective of this research project is to determine the compressive strength and permeability of concrete made with the coarse aggregate of the Quarry Rola - Huaraz; since the coarse aggregate will vary its mechanical properties according to the area from which the material is extracted.

It is descriptive research and experimental design, the study population is constituted by the Quarry Rola – Huaraz, to be able to use the coarse aggregate of the mentioned place and the laboratory of soil analysis of the San Pedro University, where it was worked with 18 test tubes for compression and 8 specimens for permeability, the analysis was based on the percentage of void ratio, which was 20% and 30%.

The concrete behavior analysis methodology was made using the ACI and ASTM standards. After having carried out the tests, it was obtained that at a lower void ratio, the compression resistance is better; so the ratio of voids to 20%, was the one that obtained better results regarding this trial, reaching a value of 171.53 kg / cm² at 28 days and the lowest resistance was obtained in the relation of voids of 30%, in which a value of 97.09 kg / cm² was obtained after 28 days; with respect to the coefficient of permeability after having performed the tests, it was obtained that the higher the void ratio, the greater the permeability coefficient, the variation of the permeability coefficient with respect to the void ratio is directly proportional; the results obtained from the permeability test were 20% of voids 2,184 cm / sec, and 30% of voids 3,288 cm / sec.

ÍNDICE

PALABRAS CLAVE	i
TÍTULO	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT.....	iv
ÍNDICE.....	v
INTRODUCCIÓN.....	1
METODOLOGÍA.....	36
RESULTADOS	47
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....	69
CONCLUSIONES.....	85
RECOMENDACIONES.....	86
AGRADECIMIENTO	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
ANEXOS Y APÉNDICE.....	92

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1. Propiedades Físicas de los Agregados para su Aceptabilidad.	13
Tabla N° 2. Diferencias entre Diseño ACI de Concreto Convencional y el Diseño de Concreto Permeable.	26
Tabla N° 3. Rangos Típicos de las Proporciones de Materiales en el concreto Permeable.	26
Tabla N° 4. Marco Normativo Internacional.	28
Tabla N° 5. Marco Normativo ASTM (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS)	29
Tabla N° 6. Marco Normativo ACI (American Concrete Institute).	32
Tabla N° 7. Variable Independiente.	33
Tabla N° 8. Variable Dependiente.	34
Tabla N° 9. Diseño Para la Elaboración de Probetas Para la Prueba de Resistencia a la Compresión.	37
Tabla N° 10. Diseño Para la Elaboración de Probetas Para la Prueba de Permeabilidad.	38
Tabla N° 11. Técnicas de Recolección de Información.	39
Tabla N° 12. Coordenadas UTM de la Cantera Rola.	40
Tabla N° 13. Contenido de Humedad del Agregado Grueso.	49
Tabla N° 14. Peso Específico y Absorción de Agregado Grueso.	53
Tabla N° 15. Peso Específico y Absorción de Agregado Grueso.	53
Tabla N° 16. Peso Unitario Suelto del Agregado Grueso.	55
Tabla N° 17. Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso.	56
Tabla N° 18. Porcentaje de Vacíos del Agregado Grueso Suelto.	56
Tabla N° 19. Porcentaje de Vacíos del Agregado Grueso Compactado.	56
Tabla N° 20. Porcentaje de Vacíos del Agregado Grueso.	57
Tabla N° 21. Valores de Diseño de Mezcla de Concreto Permeable 20% de Vacíos.	57
Tabla N° 22. Proporciones por Probeta para la Elaboración de Concreto Permeable 20% de Vacíos.	58

Tabla N° 23. Valores de Diseño de Mezcla de Concreto Permeable 30% de Vacíos.	58
Tabla N° 24. Proporciones por Probeta para la Elaboración de Concreto Permeable 30% de Vacíos.	58
Tabla N° 25. Peso del Probetas Según los Días de Curado, con 20% de Vacíos.	59
Tabla N° 26. Peso del Probetas Según los Días de Curado, con 30% de Vacíos.	60
Tabla N° 27. Resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión con el 20% de Vacíos.	61
Tabla N° 28. Resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión con el 30% de Vacíos.	62
Tabla N° 29. Valores de Diseño de Mezcla de Concreto Permeable 20% de Vacíos.	64
Tabla N° 30. Proporciones por Probeta para la Elaboración de Concreto Permeable 20% de Vacíos.	64
Tabla N° 31. Valores de Diseño de Mezcla de Concreto Permeable 30% de Vacíos.	65
Tabla N° 32. Proporciones por Probeta para la Elaboración de Concreto Permeable 30% de Vacíos.	65
Tabla N° 33. Resultados del Ensayo de Permeabilidad con el 20% de Vacíos.	66
Tabla N° 34. Resultados del Ensayo de Permeabilidad con el 30% de Vacíos.	67
Tabla N° 35. Resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión del Concreto Experimental con 20% de Relación de Vacíos a los 7 Días de Curado.	69
Tabla N° 36. Resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión del Concreto Experimental con 20% de Relación de Vacíos a los 14 Días de Curado.	69
Tabla N° 37. Resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión del Concreto Experimental con 20% de Relación de Vacíos a los 28 Días de Curado.	70

Tabla N° 38. Resumen de resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión del Concreto Experimental con 20% de Relación de Vacíos.	70
Tabla N° 39. Resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión del Concreto Experimental con 30% de Relación de Vacíos a los 7 Días de Curado.	71
Tabla N° 40. Resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión del Concreto Experimental con 30% de Relación de Vacíos a los 14 Días de Curado.	71
Tabla N° 41. Resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión del Concreto Experimental con 30% de Relación de Vacíos a los 28 Días de Curado.	72
Tabla N° 42. Resumen de resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión del Concreto Experimental con 30% de Relación de Vacíos.	72
Tabla N° 43. Cuadro de Cálculo de la Prueba ANOVA del Ensayo de Resistencia a la Compresión a los 7 días de Edad.	74
Tabla N° 44. Cuadro de Cálculo de la Prueba ANOVA del Ensayo de Resistencia a la Compresión a los 14 días de Edad.	76
Tabla N° 45. Cuadro de Cálculo de la Prueba ANOVA del Ensayo de Resistencia a la Compresión a los 28 días de Edad.	78
Tabla N° 46. Comparación de Resistencias a la Compresión del Concreto con Porcentajes de vacíos y Días de Curado.	81
Tabla N° 47. Fórmulas de Análisis de Varianza (ANOVA).	83
Tabla N° 48. Análisis de Varianza para Determinar las Diferencias de las Resistencias de los Concretos Experimentales $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$.	83

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1. Inundación de la Av. Luzuriaga - Huaraz, por Altas Precipitaciones (Huaraz Noticias).	9
Figura N° 2. Estructura Interna del Concreto Permeable (Flores y Pacompia, 2015).	15
Figura N° 3. Relación Entre el Contenido de Vacíos y la Resistencia a la Compresión (Flores y Pacompia, 2015).	16
Figura N° 4. Resistencia a la Compresión a los 28 Días vs Peso Unitario (Flores y Pacompia, 2015).	16
Figura N° 5. Relación Entre Resistencia a la Compresión a los 28 Días y la Relación Agua y Cemento (Flores y Pacompia, 2015).	17
Figura N° 6. Relación Entre el Contenido de Vacíos y la Resistencia a la Flexión Para el Concreto Permeable (Flores y Pacompia, 2015).	18
Figura N° 7. Relación Entre la Resistencia a la Flexión y la Resistencia a la Compresión Para el Concreto Permeable (Flores y Pacompia, 2015).	19
Figura N° 8. Relación Entre el Contenido de Aire y la Tasa de Percolación (Flores y Pacompia, 2015).	20
Figura N° 9. Factores que Influyen en la Permeabilidad del Concreto.	21
Figura N° 10. Vista Panorámica de la Cantera de Agregado, Rola – Huaraz.	40
Figura N° 11. Cantera de Agregado, Rola – Huaraz.	40
Figura N° 12. Piedra chancada de ½” de la Cantera Rola - Huaraz.	41
Figura N° 13. Contenido de Vacíos Vs. Filtración Requerida (Adaptado de: ACI 522R-10, 2010).	42
Figura N° 14. Contenido de Vacíos Vs. Filtración Requerida (Adaptado de: ACI 522R-10, 2010).	43
Figura N° 15. Relación Entre el Contenido de Vacíos y la Resistencia a la Compresión a los 28 Días Para Tamaño de Agregados N° 67 y N° 8 (Adaptado de ACI 522-10, ACI 211.3R-02).	43
Figura N° 16. Relación Entre el Porcentaje de Vacíos y el Contenido de Pasta Para Tamaños de Agregados N° 8 (Adaptado ACI 522-10, ACI 211.3R-02).	44

Figura N° 17. Selección del Material Para la Elaboración de Contenido de Humedad.	48
Figura N° 18. El Peso del Tarro + Suelo Húmedo de Cada una de las Muestras.	48
Figura N° 19. Las Muestras Sometidas 24 Horas al Horno.	49
Figura N° 20. Muestra Saturada en Agua Durante 24 Horas.	50
Figura N° 21. Muestra Seca con un Paño Absorbente.	51
Figura N° 22. Muestra en Tres Recipientes Para la Prueba del Peso Específico.	51
Figura N° 23. Prueba del Peso Específico al Agregado Grueso.	52
Figura N° 24. Prueba del Peso Unitario Suelto.	54
Figura N° 25. Prueba del Peso Unitario Compactado.	55
Figura N° 26. Elaboración de Probetas Para el Ensayo de Resistencia a la Compresión.	59
Figura N° 27. Formas de Fallas de Probetas de Concreto.	60
Figura N° 28. Ensayo de Resistencia a la Compresión.	63
Figura N° 29. Elaboración de Probetas Para el Ensayo de Permeabilidad.	65
Figura N° 30. Ensayo de Permeabilidad.	68
Figura N° 31. Resistencia con 20% Vacíos Vs. Edad (días).	70
Figura N° 32. Resistencia con 30% Vacíos Vs. Edad (días).	72
Figura N° 33. Cuadro Comparativo Entre el 20% y 30% de Vacíos.	73
Figura N° 34. Resistencia a la Compresión del Concreto a los 7 Días de Curado.	75
Figura N° 35. Resistencia a la Compresión del Concreto a los 14 Días de Curado.	77
Figura N° 36. Resistencia a la Compresión del Concreto a los 28 Días de Curado.	79
Figura N° 37. Promedio de Infiltración de los Concretos Experimentales.	81
Figura N° 38. Promedio de Resistencia a la Compresión de los Concretos Experimentales.	82

INTRODUCCIÓN

En Estados Unidos, el concreto permeable surgió en la década del 70 como una respuesta ante el aumento en los niveles de escorrentía superficial producto de un aumento en áreas urbanizadas con coeficientes de escorrentía altos. Con el tiempo, se dio paso al uso de un material poroso que permitiera transformar la escorrentía superficial en infiltración y además cumpliera una función práctica dentro del desarrollo urbano. (Fernández et al., 2008).

Los primeros usos reconocidos del concreto permeable se dieron en Europa en el siglo XIX. Sin embargo, sus aplicaciones crecieron especialmente al concluir la Segunda Guerra Mundial, como una respuesta ante la necesidad de reconstruir edificaciones y carreteras con medios limitados. La escasez de materiales, así como el alto costo de estos y su transporte, dieron paso a la utilización de un concreto sin finos que disminuía los contenidos de cemento (pasta) en las mezclas y permitía reciclar escombros. (Fernández y Navas, 2008).

Los antecedentes científicos para la presente investigación se presentan a continuación: Fernández Arrieta, R. & Navas, A. (2008), en su tesis: “Diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad”, realizada en la Universidad de Costa Rica, facultad de ingeniería civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica 2008. Concluye con ayuda de los resultados que el concreto permeable es un material cuya resistencia y permeabilidad dependen de la influencia de ciertas variables; por lo general, las variables que afectan de forma positiva la resistencia del material, lo hacen de forma negativa con la permeabilidad, las cuales analizaron sobre 19 mezclas de concreto permeable, la relación agua/cemento, la relación agregado grueso/cemento y el tipo de agregado grueso utilizado (procedencia y tamaño máximo); dando como resultado obtenido general observar tendencias de comportamiento entre las distintas propiedades y la resistencia y permeabilidad del material.

Perez, D., (2009), en su tesis para master: “Estudio Experimental de Concretos Permeables con Agregados Andesíticos”, realizada en la Universidad Nacional Autónoma de México, México, llega a la conclusión que una alternativa para manejar el agua de una tormenta consiste en infiltrarla directamente a través de un concreto permeable utilizado como pavimento. El concreto permeable en pavimentos es una práctica ideal del mejor manejo para lograr esto, permitiendo que el agua de lluvia pase directamente a través del pavimento y entre a la tierra, de modo que pueda penetrar directamente al suelo. Con la utilización de pavimentos de concreto permeable se consigue recargar el acuífero, preservar los recursos hídricos, reducir el escurrimiento del agua pluvial o eliminarlo y remover algunos contaminantes, mejorando la calidad del agua. Además, esta práctica reduce o elimina en gran medida la necesidad áreas de retención costosas y el costo de alcantarillas para la conducción del agua. La elaboración de mezclas de concreto permeable con agregados andesíticos diseñadas para un 15% y 20% de vacíos, así como la realización de su estudio experimental permitiría evaluar si éstas cumplen con las propiedades mecánicas y de permeabilidad adecuadas para su utilización en pavimentos con tránsito ligero u otras aplicaciones.

Así mismo se revisó la investigación de Candelas (2010) en su investigación, se han basado principalmente en pruebas de laboratorio con pocos datos obtenidos de las instalaciones de campo, se concluyó que; debido al agotamiento de los mantos acuíferos, tal vez el mayor problema al cual se están enfrentando nuestras autoridades en varias ciudades de la República Mexicana y en otros países del mundo, por lo que el uso de un pavimento permeable ayudaría en mucho a mantener el medio ambiente en el que vivimos, ya que permite la recuperación de agua de lluvia a los mantos acuíferos que son las fuentes naturales de suministro de agua de las ciudades. Si se lograran recargar los mantos acuíferos mediante el uso de pavimentos permeables, se podrían reducir los costos de extracción de agua, que en nuestros días suelen ser muy elevados, debido a que en algunos lugares, el agua se tiene que extraer de pozos muy profundos, este trabajo trata de plasmar los puntos principales relacionados con el concreto permeable, tal vez parezca muy somera la información, pero se realizó una búsqueda exhaustiva para encontrar esta información, ya que no se ha realizado tanta

investigación de este tema, debido a que no fue un material con el éxito que se esperaba.

García, H., (2011), en su tesis para master: “Control de Escorrentías urbanas mediante pavimentos permeables: aplicación a climas mediterráneos”, realizada en la Universidad Politécnica de Valencia, España, llega a la conclusión que en las situaciones más desfavorables (suelos impermeables), será necesario considerar un drenaje adicional para conseguir eficiencias superiores al 80%. En este caso, la capacidad del drenaje será superior a 0,1 l/s/ha. Técnicamente a partir de este valor, ligeros incrementos de la capacidad de drenaje del dren, mejoran la eficiencia completamente. En general, un pavimento permeable que contemple un drenaje adicional con una capacidad de desagüe superior a 0,1 l/s/ha, se comportará eficientemente independientemente del espesor de la sub-base. En este caso, la elección de dicho espesor recaerá con mayor peso atendiendo a criterios estructurales; Particularmente, en cuencas del tamaño entre 0,4 ha y 1 ha, es recomendable considerar caudales de drenaje superiores a 1 l/s/ha. Mientras que en pequeñas cuencas (de tamaño inferior a 0,4 ha), se aconseja un ratio de caudales de drenaje comprendido entre 0,1 l/s/ha y 1 l/s/ha. Finalmente para concluir este trabajo, el análisis del funcionamiento hidráulico realizado sobre el pavimento permeable ejecutado en Benaguacil, pone de manifiesto que aún en climas mediterráneos, con características propias como la torrencialidad, este tipo de estructuras proporcionan resultados favorables para la gestión de la escorrentía en el origen del sistema.

Rodas (2012) en este proyecto, tiene como objetivo principal Desarrollar bloques de concreto permeable en senderos ecológicos, es decir en lugares de paso peatonal donde el agua precipitada pueda ser infiltrada; concluyo que, Los vacíos del concreto permeable provocan una disminución en la resistencia a compresión y flexión, por lo que se utilizó material cementante de alta resistencia, presentando resistencias entre los límites establecidos de 28 - 280 kilogramos por centímetro cuadrado para compresión y 10 - 38 kilogramos por centímetro cuadrado para flexión. Con el mismo fin, se utilizó agregado fino, determinando que, al incrementarlo en pequeña cantidad, el porcentaje de vacíos y la tasa de infiltración disminuyen significativamente. Así

mismo, se demostró que el uso de aditivos en las mezclas no es necesario en cuanto a resistencia y trabajabilidad, considerando las condiciones climáticas de la ciudad de Guatemala y que los bloques serán prefabricados para senderos peatonales.

Barahona, R., Martínez, M., Zelaya, S., (2013), en su tesis: “Comportamiento del Concreto Permeable Utilizando Agregado Grueso de las Canteras, El Carmen, Aramuaca y la Pedrera, de la Zona Oriental de El Salvador”, realizada en la Universidad de El Salvador, Centro America, llega a la conclusión que el concreto permeable es un concreto de desempeño, fabricado en base a cantidades controladas de cemento, agregado grueso, agua y aditivos para crear una masa de partículas de agregado cubierta con una capa delgada de pasta. Una mezcla de concreto permeable contiene poca o ninguna arena, lo que crea un contenido de vacío substancial., logrando una configuración en su estructura que permite ciertas ventajas de funcionalidad como son la resistencia y permeabilidad. Siendo una de las primordiales características su capacidad para absorber agua, ya que su contenido de aire o de vacíos varia, según el comité American Concrete Institute (ACI) 522 R, en la cual se menciona que existe un intervalo en el contenido de vacíos que es del 18%-35%; el mismo comité nos brinda otras características que definen el concreto permeable, como su capacidad de infiltración que varía entre 81 a 731 L/min/m² y su resistencia de 2.8 28 MPA, al igual que menciona el rango del agregado grueso que se puede usar menor a un tercio del espesor de la capa de pavimento. En el tema propuesto de investigación se verificará el comportamiento del concreto permeable al usar diferentes clases de agregado grueso; provenientes de las canteras Aramuaca, La Pedrera, El Carmen, e identificar como varían las propiedades del concreto con respecto al agregado y de esa manera seleccionar el concreto permeable más eficiente según su el agregado a usarse.

Moujir & Castañeda (2014), en su tesis: “Diseño y aplicación de concreto poroso para pavimentos”, Pontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia 2014, relaciona el concreto poroso tipo I que contribuye a la disminución de escorrentía superficial, según los resultados de los ensayos realizados y la información que se recolecto para la elaboración, el concreto poroso tipo I se puede utilizar para una estructura de

concreto como capa de rodadura en tráfico ligero o liviano, implementándose en estacionamientos, ciclo vías, andenes, entre otras, el concreto tipo I, contribuye con la disminución de escorrentía superficial, ya que la gran cantidad de poros que contiene le otorga la propiedad mecánica de la permeabilidad, el agregado grueso de ½ pulgada en la mezcla del concreto tipo I, le permite una mejor manejabilidad a la mezcla, de aquí se infiere que para estos concretos lo ideal es utilizar agregados gruesos con tamaños máximos inferiores, para su elaboración se usó aditivos AD-20 y viscocrete, la resistencia promedio a la compresión y a la flexión de la mezcla Tipo I con Finos, 7.71% y 3.0% mayor que la mezcla Tipo II sin finos respectivamente, se asegura que la presencia de finos brinda una mayor cohesión a la pasta que llena intersticios del agregado grueso. El porcentaje de vacíos de la mezcla tipo II sin finos, es mayor que la mezcla tipo I con finos, esto se debe a que la pasta de la mezcla tipo I, por defecto de los finos, brinda mayor cohesión entre partículas y disminuye el volumen de vacíos, por el contrario, la parte de la mezcla Tipo II es más fluida y solo recubre la superficie del agregado, dejando un volumen mayor de vacíos en la estructura de la mezcla, el módulo de rotura de la mezcla tipo I con finos, es 3.0% mayor que la mezcla tipo II sin finos, el asentamiento de la mezcla tipo I con finos es menor que la mezcla tipo II sin finos, esto se debe a la fluidez de la pasta y a la cohesión entre partículas de la mezcla.

Benites, J. (2014), en su tesis, “Características Físicas y Mecánicas del Concreto Permeable Usando Agregados de la Cantera Río Jequetepeque y el Aditivo Chemaplast”, realizada en la Universidad Nacional del Cajamarca, Perú. Concluye que la no aplicación de la tecnología del concreto permeable en la ciudad de Cajamarca para revestimiento de superficies sometidas a un bajo esfuerzo como respuesta ecológica a la impermeabilización del suelo y sus consecuencias negativas, conlleva a que se desconozca sobre si dicho concreto elaborado con materiales propios cumplen con los valores establecidos en la definición que le da la norma del Instituto Americano del Concreto (ACI). Este desconocimiento puede ser uno de los factores que conllevan a la nula aplicación de este tipo de concreto para combatir el aumento de la escorrentía superficial que produce: contaminación, colapso de sistemas de drenaje pluvial,

inundaciones, entre otros. En la presente investigación se busca comparar si la resistencia y permeabilidad del concreto elaborado con materiales de Cajamarca se encuentran dentro del rango definido por la norma antes mencionada. El experimento ha consistido en diseñar una mezcla utilizando el valor medio del rango recomendado de la relación agua - cemento, con un porcentaje de vacíos del 20% que es adecuado según la literatura y con el valor medio de un aditivo tipo A según su hoja técnica. A continuación en laboratorio, siguiendo los procedimientos de la literatura se han moldeado y curado probetas para luego de 7, 14 y 28 días ensayarlas a compresión y permeabilidad obteniendo resultados donde la resistencia promedio es de 6.030 MPa, 7.148 MPa y 7.556 MPa respectivamente siendo baja pero que está dentro del rango de 2.8 MPa a 28 MPa que especifica la norma ACI 522R-1 O y la permeabilidad medida a través de su coeficiente de permeabilidad promedio es de 0.321 cm/s que está dentro del rango de 0.2 cm/s a 0.54 cm/s que también establece la norma antes mencionada.

Cruz y Segovia (2014) en su proyecto diseñaron un concreto permeable para su utilización en estaciones de lavado de autos, de manera que el agua pueda recuperarse para su tratamiento y reutilización o bien, descarga en los sistemas de alcantarillado con una menor carga de contaminantes. En el proceso se utilizaron como aditivos al mismo cemento, así como ceniza volante y arena de sílice. Los resultados mostraron el concreto sin agregado fino y humo de sílice como aditivo al 15% desarrolla a los 21 días de edad las propiedades de resistencia necesarias para esta aplicación.

Flores, C. & Pacompia, I., (2015), en su tesis: “Diseño de mezcla de concreto permeable con adición de tiras de plástico para pavimentos $f'c$ 175 Kg/cm² en la ciudad de Puno”, realizada en la Universidad Nacional del Antiplano, Facultad de Ingeniería civil, Universidad de Puno, Puno, Perú 2015. Concluye que el agregado más óptimo para el diseño de este concreto permeables agregados gruesos de menor tamaño (Curva Normalizada: Huso N° 8), puesto que permite que el concreto permeable desarrolle mayores valores de resistencia a la compresión. Y respecto al coeficiente de permeabilidad y contenido de vacíos, los valores determinados, se encuentran dentro del rango establecido por el ACI para ser denominado concreto permeable. La resistencia a la Compresión desarrollada a los 28 días por el Concreto

Permeable elaborado con el diseño óptimo, aumenta en un 16.7% y 4.2%, al adicionar las Tiras de Polipropileno en 0.05% y 0.10% respectivamente. Mientras que al incorporar las tiras en un 0.15% disminuye su resistencia a la compresión en un 10.7%. Concluyendo que el óptimo porcentaje de incorporación de Tiras de Polipropileno es 0.05% respecto al peso de todos los materiales del diseño de mezclas. El contenido de vacíos de diseño del concreto permeable, en todos los casos de estudio es menor comparado con el contenido de vacíos en estado fresco y endurecido. Y la incorporación de tiras de polipropileno hace que los valores obtenidos del contenido de vacíos en estado fresco tiendan a reducir conforme se incrementa el porcentaje de tiras añadidas; se observa el mismo escenario para el estado endurecido. El coeficiente de permeabilidad determinado para todos los grupos de prueba (Curva Natural, Curva Normalizada-Sin Tiras, Con Tiras al 0.05%, Con Tiras al 0.10% y Con Tiras al 0.15%) se encuentran dentro del rango definido por el reporte ACI 522, el cual es 0.14 a 1.22 cm/s, por lo que podemos concluir que todos los testigos elaborados cumplen con los requisitos de permeabilidad mínimos establecidos.

La investigación se fundamenta en la tecnología de concreto; el Concreto Permeable, corresponde a una de las alternativas factibles ante los daños que ocasiona el ser humano a los mantos acuíferos y a los suelos. Por lo tanto, el concreto permeable se puede establecer como de las medidas innovadoras ante tales problemas, en el ámbito de la Ingeniería Civil.

La presente investigación se justifica que en nuestro país, la tecnología del concreto permeable todavía no se viene implementando como solución a los problemas acarreados por la evacuación de aguas pluviales y el uso generalizado de pavimento convencional (impermeable); no siendo el caso de otros países como, México, Colombia o Chile, donde se realizaron estudios a nivel de pre y postgrado para lograr la inclusión de este tipo de concreto en su infraestructura vial, la posibilidad de utilizar este material en Perú, brindando así una alternativa de solución a los problemas que conlleva la evacuación de aguas pluviales (condiciones de escurrimiento), evitando así el arrastre de materiales sólidos y eventuales inundaciones urbanas en las zonas bajas.

El incremento de la población junto con la urbanización ha creado problemas sin precedentes en las ciudades del mundo, dentro de ellos la escasez de agua, problema que se incrementa debido a que las urbanizaciones requieren de construcciones que impermeabilizan grandes superficies de terreno produciendo una pérdida de grandes cantidades de agua de lluvia aumentando la escorrentía superficial pues dicha agua ya no se infiltra en el terreno y es arrojada incluso sin tratamiento a los cauces naturales produciendo contaminación y muchas veces inundaciones en los sectores bajos.

Muchos países como EEUU, México, Inglaterra, Francia, Japón, entre otros han optado por medidas correctivas para evitar el aumento de la escorrentía superficial mediante la tecnología de concreto permeable aplicado en pavimentos, veredas, calles peatonales, parqueos, es decir en toda superficie que sea posible, consiguiendo buenos resultados ya que el agua de lluvia no solo puede infiltrarse en el suelo natural sino que mediante tuberías o geomembranas el agua de lluvia puede ser dirigida a almacenes temporales donde se le puede dar un tratamiento para evitar contaminar y luego de pasada la tormenta arrojar el agua a los cauces naturales o incluso utilizar el agua por ejemplo en regar jardines, en industria, etc.

La necesidad de reducir el escurrimiento del agua de lluvia y así evitar las frecuentes inundaciones de las pistas así como reducir los altos niveles de accidentes de tránsito por motivo del escurrimiento del agua. Actualmente en el Perú, aun no se ha implementado el uso del concreto permeable, solo se ha desarrollado temas de investigación dirigidas por el ACI Asociación Interamericana del concreto.

La necesidad de brindar seguridad a nuestra población es nuestra principal responsabilidad en buscar nuevos métodos para así minimizar la cantidad de accidente de tránsito y generalmente por la acumulación de aguas de lluvia y saturación por la alta precipitación de las alcantarillas, obstaculizando así el tránsito y sobre todo poniendo en riesgo a la población.

En la ciudad de Huaraz en los meses de Enero a Marzo, épocas de altas precipitaciones, la Av. Luzuriaga que es la principal avenida de alto tránsito se inunda todo el pavimento a una altura promedio de 0.30 m, por lo que es nuestra

responsabilidad estudiar ciertos factores del concreto permeable para su posterior aplicación en nuestra ciudad. Es una responsabilidad que se tiene hacia las personas que habitan dentro de esta localidad como para los transportistas que continuamente circulan por estas vías, las cuales deben estar en óptimas condiciones para que en ningún momento ocurra algún accidente en el que se ponga en riesgo la vida de alguna persona.



Figura N° 1. Inundación de la Av. Luzuriaga - Huaraz, por Altas Precipitaciones (Huaraz Noticias).

Si las obras de drenaje no evacuan el agua de las superficies de las aceras, pasos peatonales, puede ocasionar problemas de estancamiento de aguas en las estructuras ya mencionadas; dicho suceso deteriora tales obras viales, lo que implica costos de mantenimiento en las estructuras y al mismo tiempo dichos estancamiento en las superficies peatonales también pueden ser fuentes de vectores de enfermedades.

Si la situación actual prevalece, año tras año durante el periodo de lluvias se seguirán presentando los problemas de circulación en las zonas céntricas y bajas de la ciudad de Huaraz (escurrimiento de aguas pluviales con considerables caudales e

inundaciones en zonas bajas). Para afrontar los efectos negativos mencionados, se propone la implementación de técnicas de drenaje sostenible como el uso de concreto permeable en pavimentos de la ciudad de Huaraz.

En las últimas décadas se vienen presentando problemas en la evacuación de aguas pluviales y en las condiciones de escurrimiento aguas abajo (arrastre de materiales sólidos y varios contaminantes depositados en las calles), principalmente por el crecimiento acelerado de las ciudades, asociado al amplio uso de pavimentos convencionales (impermeables). El uso indiscriminado de estas estructuras en áreas urbanas incrementa notablemente el volumen y el caudal del escurrimiento superficial, aumentando los riesgos de eventuales inundaciones en los sectores más bajos de las zonas urbanas, desfavoreciendo de esta manera las condiciones de escurrimiento de agua pluvial y disminuyendo la capacidad de recarga natural en los terrenos.

Las ciudades del Perú han venido experimentando un crecimiento urbano acelerado y año tras año; durante las estaciones lluviosas se dan importantes inundaciones en zonas urbanas. La ciudad de Huaraz no es ajena a esta situación, pues la evacuación de aguas pluviales genera escurrimientos superficiales, generalmente este fenómeno sucede durante el periodo de lluvias (noviembre-febrero), afectando negativamente el desarrollo urbano, la circulación vehicular y peatonal. Si la situación actual prevalece, año tras año durante el periodo de lluvias se seguirán presentando los problemas de circulación en las zonas céntricas y bajas de la ciudad de Huaraz (escurrimiento de aguas pluviales con considerables caudales e inundaciones en zonas bajas).

Se consideró el estudio del concreto permeable con los agregados que se encuentran en la zona de Huaraz, debido a que no se realizó investigaciones sobre dicho tema en nuestro entorno tomando como muestra para la realización de nuestra investigación los agregados de la Cantera Rola – Huaraz.

El problema para la construcción y mantenimiento de los pavimentos, se desarrolló en función de conseguir su durabilidad y mantener un nivel de servicio que permanentemente brinde confort y seguridad a los usuarios.

Existen varias formas de saber las propiedades del concreto permeable, evaluando cada una de sus propiedades, pero en este caso evaluaremos el coeficiente de permeabilidad y resistencia a la compresión del concreto permeable por ser las propiedades más representativas para este tipo de concreto para así poder la funcionalidad de su capa de rodadura o el estado de su estructura (sub base, base y capa de rodadura). Por ello la evaluación en los pavimentos informa sobre su condición y las causas posibles de la misma y sobre todo cuales son las posibles soluciones que se puede dar a los problemas de inundación de los pavimentos.

Por tal motivo necesariamente se determinó la eficiencia del comportamiento del concreto permeable en diferentes porcentajes de vacíos y analizar la eficiencia de cada una de ellas para posteriormente proceder a aplicarlas, las mismas que han sido muestras de inspección visual, para tomar datos y determinar la condición actual en que se encuentran.

Y tratándose de la zona Sierra del Perú, podemos observar los problemas frecuentes por las precipitaciones intensas así también en este último año el fenómeno del niño que se dio en la costa del Perú, causando gran cantidad de daños como pérdidas de vidas humanas y materiales.

Por lo expuesto anteriormente nos planteamos el siguiente problema de investigación: ¿Cuál es la resistencia a la compresión y la permeabilidad de un concreto elaborado con el agregado grueso de la Cantera Rola – Huaraz?

El concreto permeable o concreto poroso, es definido como un concreto con revenimiento cero con alto grado de porosidad, y con una relación de vacíos alta; consiste de cemento portland, agregado grueso, poco o nada de agregado fino y agua. La combinación de estos ingredientes producirá un material endurecido con poros conectados, que varía de tamaño de 2 a 8 mm, lo cual permite que el agua pase fácilmente a través de él. El contenido de vacíos puede variar de 15% a 35%, y se pueden alcanzar resistencias a la compresión entre 28 a 280 kg/cm². La capacidad de drenaje de un pavimento de concreto permeable variará con el tamaño del agregado y

la densidad de la mezcla, pero generalmente varía en el rango de 81 a 730 L/min/m² o 0.14 a 1.22 cm/s. (ACI 522R-10).

La calidad del agregado es importante desde que aproximadamente $\frac{3}{4}$ partes del volumen de concreto es ocupada por éste. Desde los estudios iniciales de Gilkey en 1923, se dejó de considerar al agregado como un material inerte de relleno cuya aplicación permitía disminuir únicamente el costo de la unidad cúbica del concreto. Hoy se sabe que el agregado debido a sus propiedades físicas, químicas y térmicas, tiene influencia determinante sobre las propiedades del concreto, especialmente su resistencia y durabilidad (Rivva López, 2010a).

Según Rivva (2007), en su libro “Tecnología del Concreto”. Diseño de mezclas., el agregado grueso, es aquel que queda retenido en el tamiz N°4 y proviene de la desintegración de las rocas y que cumple con la norma NTP 400.037; puede a su vez clasificarse en piedra chancada y grava.

Se denomina agregado grueso al material retenido en el tamiz N° 4 y cumple los límites establecidos en la NTP 400.037. Puede consistir de grava natural o triturada, piedra partida, o agregados metálicos naturales o artificiales. Debe estar conformado por partículas limpias, estables, libres de escamas, tierra, polvo, limo, humus, incrustaciones superficiales, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas, de perfil preferentemente angular o semiangular, duras, compactas, resistentes y de textura preferentemente rugosa (Neville, 1999).

Neville (1999), en su libro “Tecnología del Concreto”, señala que la granulometría es la operación de separar una muestra de agregado en fracciones, cada una de las cuales consta de partículas del mismo tamaño. En la práctica cada fracción contiene partículas que se encuentran dentro de límites específicos, que son las aberturas de los tamices normales de muestreo

Según Céspedes (2003), en su libro “Resistencia a la comprensión del concreto a partir de la Velocidad de pulsos de Ultrasonido”, la granulometría se entiende como la distribución de los tamaños de las partículas o granulometría de un agregado es una

característica importante debido a que determina los requerimientos de la pasta para lograr un concreto trabajable. Debido a que el cemento es el componente más costoso del concreto, es deseable, minimizar el costo del concreto utilizando la menor cantidad de pasta consistente con la producción de un concreto que pueda ser manejado, compactado, acabado y proporcionar la resistencia y durabilidad necesaria.

Los ensayos realizados nos permiten conocer las propiedades físicas del agregado y diseñar un concreto permeable aceptable, las condiciones de los ensayos ponen a prueba a los agregados, su respuesta condiciona y pronostica su comportamiento durante el vaciado y en el concreto terminado. Los ensayos normalizados por la ASTM-C33 están descritos en la Tabla N° 1.

Tabla N° 1. Propiedades Físicas de los Agregados para su Aceptabilidad.

ENSAYO - NORMA		ASTM	NTP	AASHTO
A	Análisis Granulométrico – Agregado grueso	C136	400.012	T27
B	Peso unitario	C29	400.017	T19
C	Desgaste de agregado – Método de los Ángeles	C131	400.019	T96
D	Gravedad específica y Absorción.	C127	400.021	T81

Fuente: Norma, American Society for testing and materials – ASTM, Norma técnica peruana – NTP y la Norma American Association of state highway and transportation officials – AASHTO.

Granulometría es la distribución por tamaños del agregado por medio del tamizado, que consiste en pasar el material a través de mallas de diferentes aberturas; estas son: 1", ¾", 1/2", 3/8", #8 y #4 para agregados gruesos, con el peso de material retenido en cada malla, se obtuvo el porcentaje retenido, así como, el porcentaje de material pasante en cada malla y se tuvo el porcentaje de material retenido respecto al total de la muestra. Las Normas ASTM C136, AASHTO T27 y NTP 400.012, indican el procedimiento para desarrollar el análisis granulométrico de los agregados gruesos, cada gradación es representada por una medida numérica a la que se denomina huso granulométrico.

Las propiedades del concreto permeable dependen de sus materiales, diseño de mezclas y proceso constructivo; generalmente de su contenido de material cementante

(c), la relación agua-cemento (a/c), el nivel de compactación, la gradación del agregado y su calidad.

Una de las propiedades del concreto permeable en estado fresco es el Peso Unitario (peso volumétrico, densidad o masa unitaria) del concreto permeable en estado fresco en general varía entre el 70% y 85% de una mezcla fresca de concreto convencional, oscilando entre 1,600 a 2,000 kg/m³, dependiendo del porcentaje de vacíos de diseño del mismo.

El revenimiento o asentamiento (slump) generalmente es usado para medir la consistencia de una mezcla de concreto fresco. Cuanto mayor sea este, implica que más húmeda es la mezcla, el procedimiento de la realización de este ensayo esta descrito en la norma ASTM C143. Sin embargo, la mezcla del concreto permeable se caracteriza por ser de “cero slump” y al ser medido generalmente se obtienen valores de 0 a 1 cm.

El contenido de vacíos (porosidad) se calcula como porcentaje de aire, y está directamente relacionado con el peso unitario de una mezcla dada de concreto permeable. El contenido de vacíos es altamente dependiente de varios factores: gradación del agregado, el contenido de material cementante, la relación agua-cemento (a/c) y el nivel de compactación.

La energía de compactación aplicada en la elaboración de un concreto permeable influye de sobremanera en el porcentaje de vacíos y por consiguiente en su peso volumétrico. En una serie de pruebas de laboratorio (Meininger, 1988), para una sola mezcla de concreto permeable, compactado con ocho niveles diferentes de esfuerzo, los valores de peso de unidades producidas, variaban desde 1680-1920 kg/m³.

Conforme la magnitud de la porosidad incrementa, la resistencia a la compresión que desarrolla un concreto permeable disminuye, en cambio si la porosidad disminuye la resistencia aumenta. Estudios han demostrado que el porcentaje de vacíos para concretos permeables se encuentran entre 14% a 31%. Utilizándose en general un porcentaje de vacíos entre 15% a 25% para obtener resistencias mayores a 140 kg/cm².

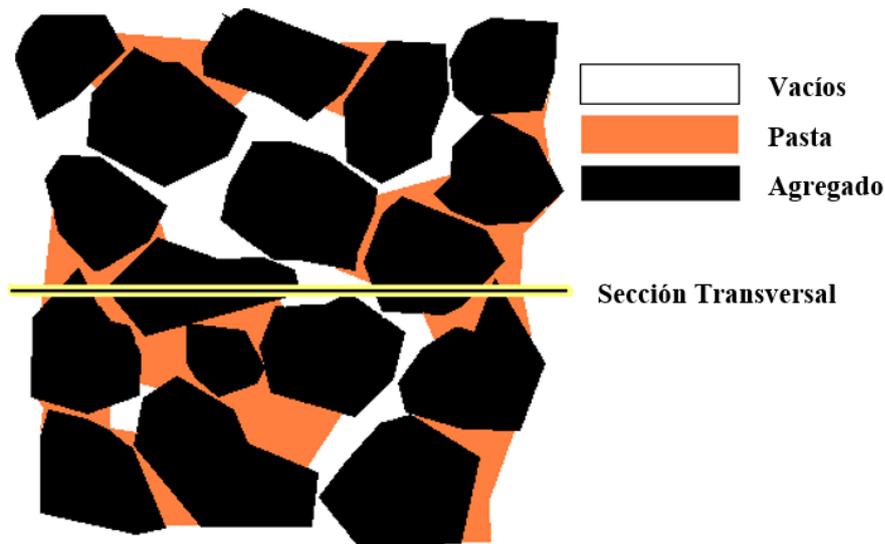


Figura N° 2. Estructura Interna del Concreto Permeable (Flores y Pacompia, 2015).

Una de las propiedades del concreto permeable en estado endurecido es la Resistencia a la Compresión puede ser definida como la máxima medida de resistencia que ofrece un espécimen de concreto a una carga axial. Esta se determina de acuerdo a lo estipulado en la norma ASTM C39.

Las mezclas de concreto permeable pueden alcanzar resistencias a compresión en el rango de 35 a 280 kg/cm², que es apropiada para una amplia gama de aplicaciones (ACI 522, 2006). Los valores típicos son alrededor de 175 kg/cm². Como con cualquier tipo de concreto, las propiedades y la mezcla de materiales específicos, así como las técnicas de colocación y condiciones ambientales, dictarán la resistencia en el lugar.

La resistencia a la compresión que desarrolla el concreto permeable está fuertemente afectada por el esfuerzo de compactación durante la colocación. En la Figura N° 3, Meininger muestra la relación entre la resistencia a la compresión del concreto permeable y el contenido de vacíos. La figura se basa en los resultados de una serie de ensayos de laboratorio, considerando dos tamaños de agregado grueso para un esfuerzo de compactación.

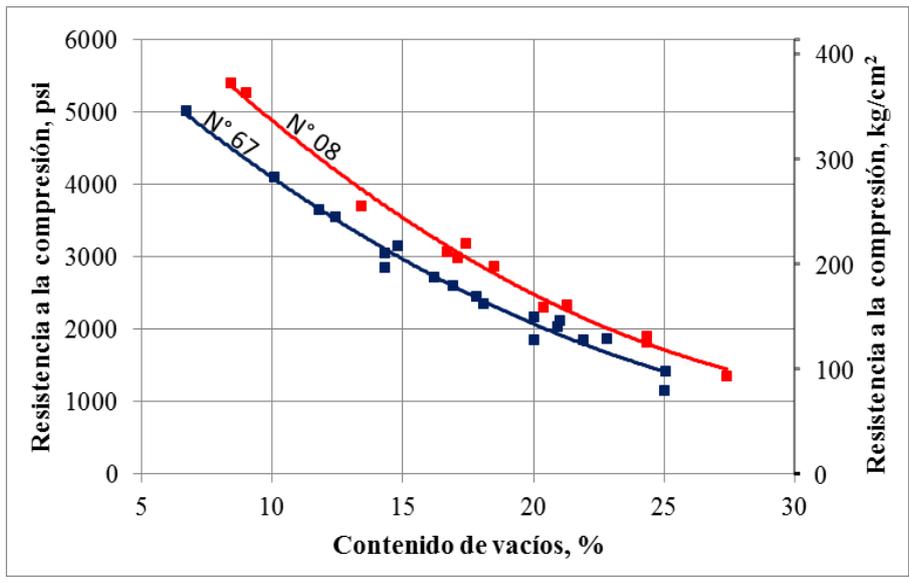


Figura N° 3. Relación Entre el Contenido de Vacíos y la Resistencia a la Compresión (Flores y Pacompia, 2015).

En la Figura N° 4, Mulligan muestra una relación entre la resistencia a la compresión del concreto permeable y el peso de la unidad. La figura se basa en otra serie de pruebas de laboratorio donde fue utilizado un tamaño de agregado grueso y un esfuerzo de compactación, variándose la relación de agua-cemento (a/c).

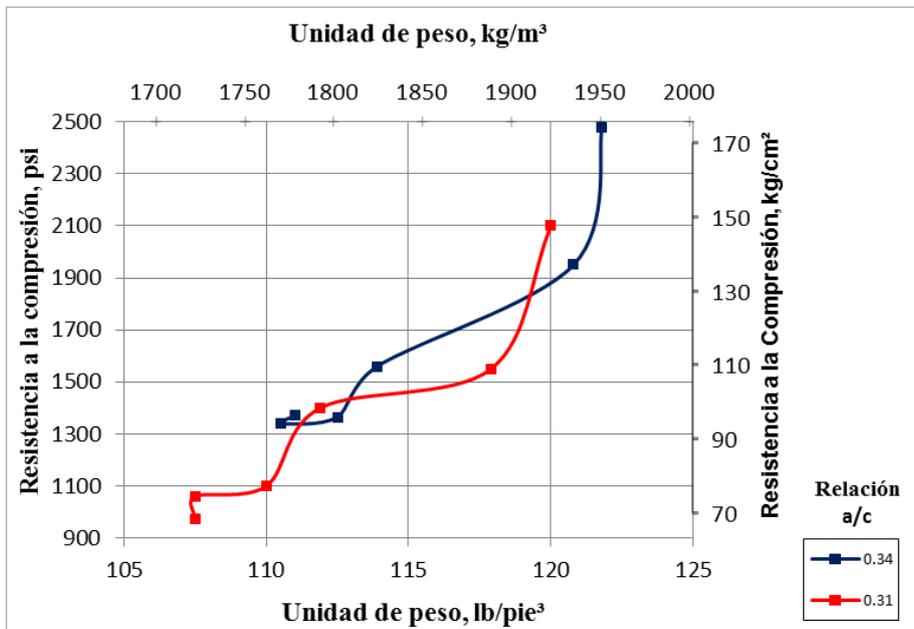


Figura N° 4. Resistencia a la Compresión a los 28 Días vs Peso Unitario (Flores y Pacompia, 2015).

En la Figura N° 5 muestra que resistencias a la compresión relativamente altas del concreto permeable son posibles, con relaciones agua - cemento (a/c) aproximadamente de 0.4, y con gradaciones de agregado grueso de menor tamaño.

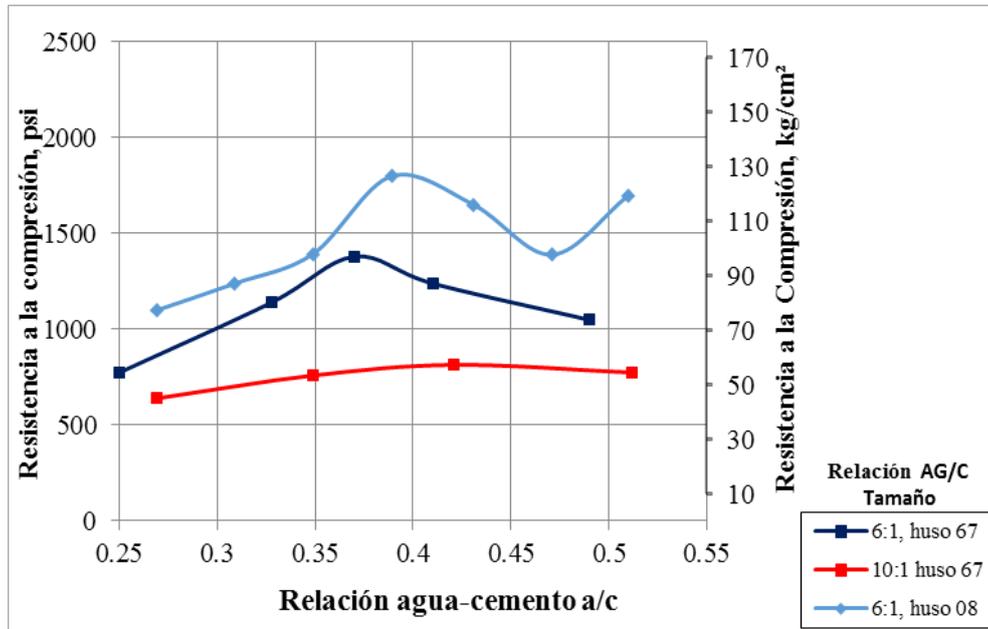


Figura N° 5. Relación Entre Resistencia a la Compresión a los 28 Días y la Relación Agua y Cemento (Flores y Pacompia, 2015).

Los valores típicos de resistencias a la compresión, según antecedentes se encuentran al alrededor de 175 kg/cm². La resistencia a la compresión en campo estuvo supeditada a la calidad de los materiales empleados, técnicas de colocación y condiciones ambientales, de manera similar a cualquier tipo de concreto. Para mejorar la resistencia a la compresión desarrollada por el concreto permeable, se deben mejorar: La resistencia de la pasta, y la cohesión entre el agregado y la pasta. Esto es posible con la utilización de agregados gruesos con menores tamaños y/ usando aditivos o materiales adicionales en la mezcla.

La resistencia a la flexión es una de las características técnicas más importantes que presenta el concreto permeable, debido a que su resistencia a la flexión es mejor que la del concreto hidráulico convencional, comúnmente es 30% de la resistencia a la compresión, es decir, relativamente más alta que en el concreto convencional (Pérez,

2009). La resistencia a la compresión la cual es más fácil de medir que la resistencia a la flexión, se puede usar como un índice de la resistencia a la flexión, una vez que la relación empírica entre ambas ha sido establecida para los materiales y los tamaños de los elementos involucrados.

En la Figura N° 6, Meininger muestra la relación entre la resistencia a la flexión del concreto permeable y el contenido de vacíos basado en muestras de vigas ensayadas en la misma serie de pruebas de laboratorio descritos para la Figura N° 3. Aunque estos resultados se basan en un número limitado de muestras, comparando los datos de las Figuras N° 3 y N° 6, se puede observar que existe una relación entre la resistencia a la compresión y a la flexión del concreto permeable.

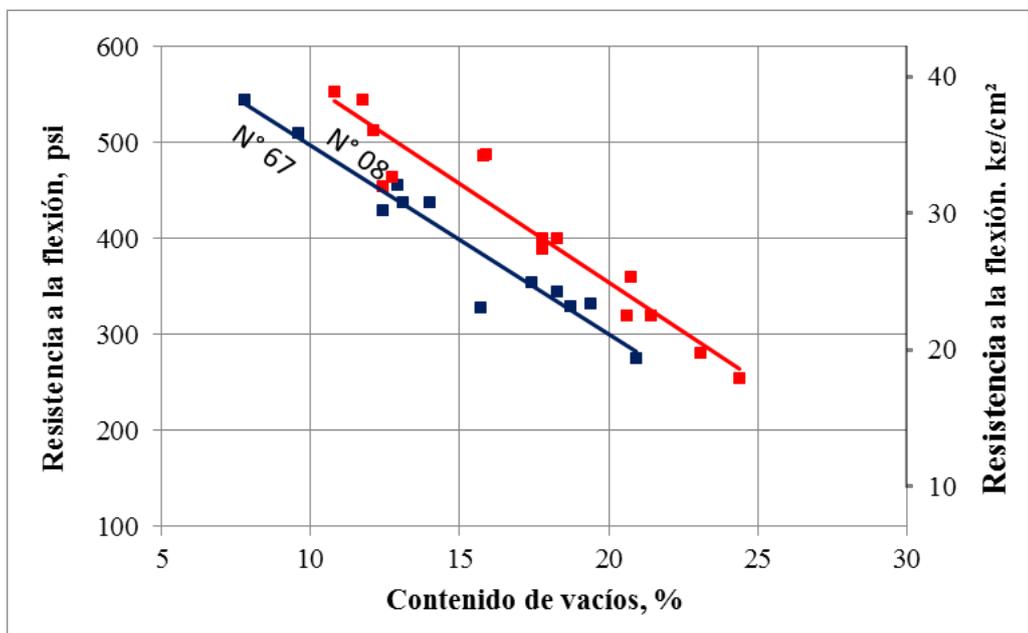


Figura N° 6. Relación Entre el Contenido de Vacíos y la Resistencia a la Flexión Para el Concreto Permeable (Flores y Pacompia, 2015).

En la Figura N° 7, Meininger muestra esta relación.

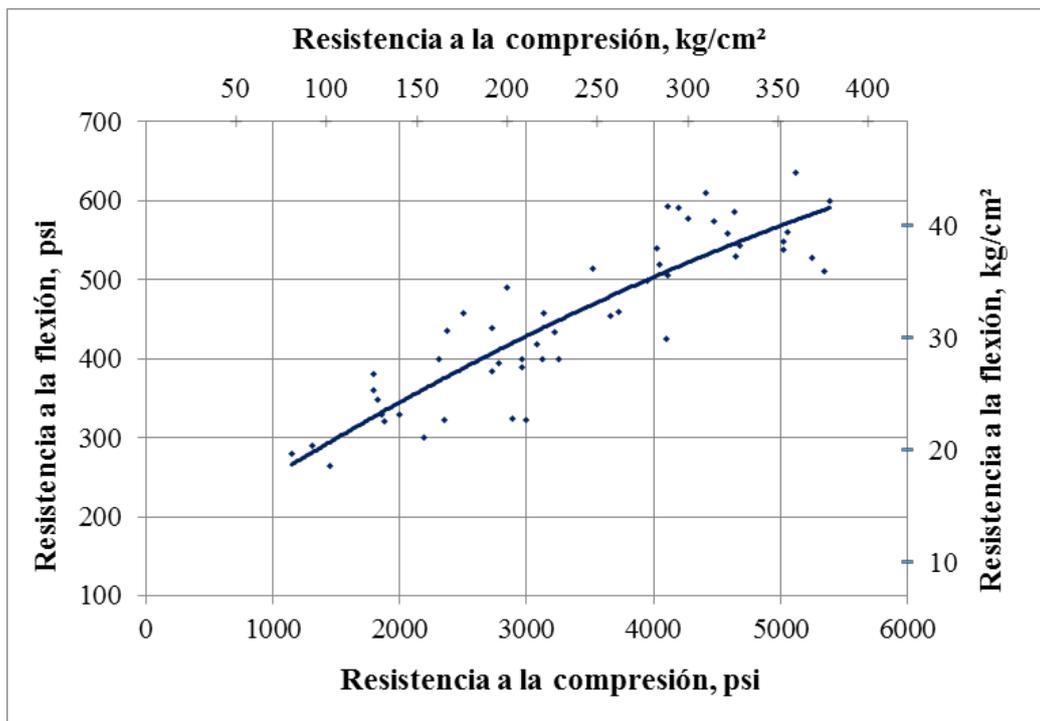


Figura N° 7. Relación Entre la Resistencia a la Flexión y la Resistencia a la Compresión Para el Concreto Permeable (Flores y Pacompia, 2015).

La resistencia a la flexión en concretos permeables generalmente se encuentra en el rango de 10.5 kg/cm² y 40 kg/cm². Existen varios factores que influyen en la resistencia a la flexión, principalmente el grado de compactación, porosidad, y la relación agregado-cemento (AG/C).

Una de las características más importantes del concreto permeable es su capacidad para filtrar agua a través de su matriz, y su magnitud es medida por la tasa de filtración. La tasa de filtración del concreto permeable está directamente relacionada con el contenido de vacíos. Las pruebas han demostrado (Meininger 1988) que se requiere un mínimo contenido de vacíos de aire de aproximadamente 15% para lograr una filtración significativa. En la Figura 8 (Meininger 1988) muestra la relación entre el contenido de vacíos y la tasa de filtración de una mezcla de concreto permeable. Debido a que las tasas de filtración aumentan a medida que el contenido de vacíos aumenta, y, en consecuencia, la resistencia a la compresión disminuye, el reto en la

dosificación de mezcla de concreto permeable es lograr un equilibrio entre una tasa de percolación y una resistencia a la compresión aceptables.

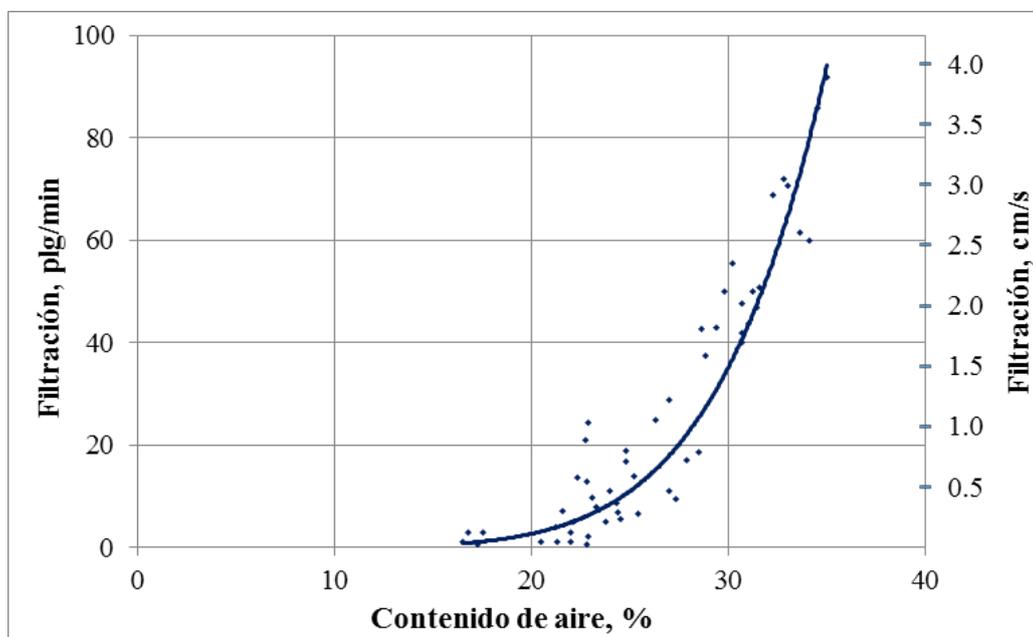


Figura N° 8. Relación Entre el Contenido de Aire y la Tasa de Percolación (Flores y Pacompia, 2015).

La capacidad de filtración del concreto permeable normalmente se encuentra en el rango de 0.2 a 0.54 cm/s). Para que se pueda asegurar el flujo del agua se recomienda al menos el 15% del contenido de vacíos (Meininger, 1988).

Una de las características más importantes del concreto permeable es su capacidad para filtrar el agua a través de la matriz. Un concreto, cuanto más poroso sea, será más permeable y tendrá una posibilidad de absorción capilar más importante. Por lo tanto, la capacidad de filtración del concreto permeable está directamente relacionada con el contenido de huecos de aire. Las pruebas han demostrado que se requiere un contenido mínimo de huecos de aire de aproximadamente 15% para lograr una filtración significativa (Meininger, 1988).

La capacidad de filtración del concreto permeable normalmente se encuentra en el rango de 120 a 320 L /m²/min (0.2 a 0.54 cm/s). Para que se pueda asegurar el flujo

del agua se recomienda al menos 15% de contenido de vacíos (Meininger, 1988), como se muestra en la Figura N° 9.

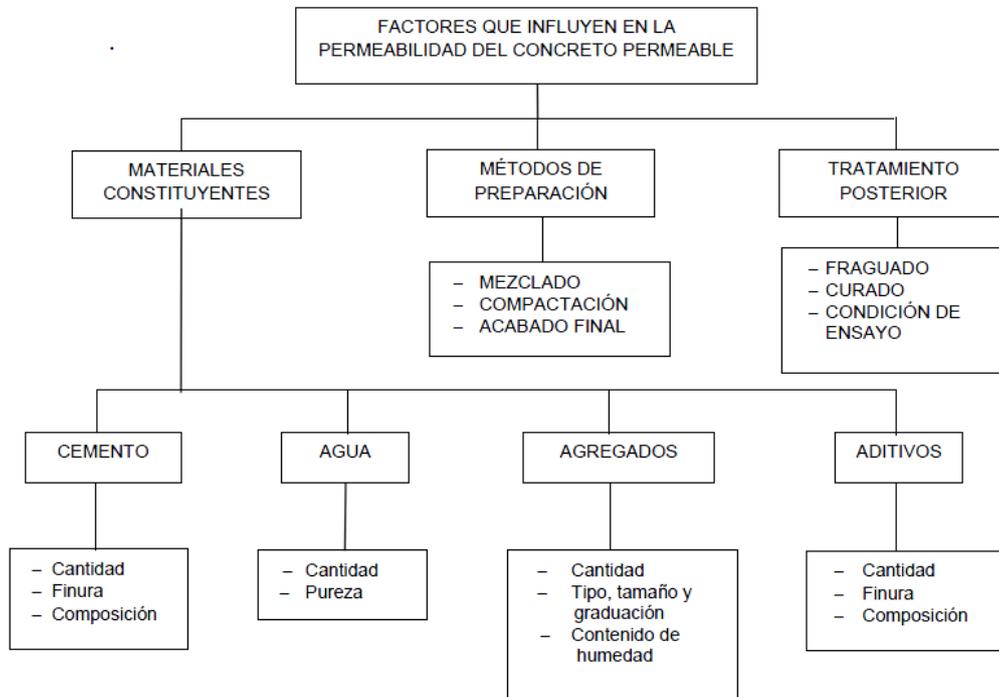


Figura N° 9. Factores que Influyen en la Permeabilidad del Concreto (Elaboración Propia).

Debido a la presencia de un gran volumen de poros interconectados de tamaños considerables en el material, el concreto permeable es altamente eficaz en la absorción acústica. El material puede ser empleado como un medio para reducir el ruido generado por interacción neumático-pavimento en pavimentos de concreto. La reducción del ruido se produce debido a la combinación de la menor generación de este y una mayor absorción de sonido. Los pavimentos permeables alteran la generación de ruido, minimizando el bombeo del aire entre el neumático y la superficie del pavimento. Además, los poros absorben el sonido a través de la fricción interna entre el moviendo de las moléculas de aire y las paredes de los poros. El coeficiente de absorción “a” es una medida de la capacidad de un material de para absorber el sonido. Un material con un coeficiente de absorción de 1,0 indica un material puramente absorbente, mientras que un material con un coeficiente de absorción de 0

indica que el material es puramente reflectante. El concreto convencional, por ejemplo, tiene típicamente un coeficiente de absorción de 0,03 a 0,05 (Neithalath, Weiss y Olek, 2005). El concreto permeable tiene típicamente un intervalo de absorción de 0,1 (para mezclas con mal desempeño) a casi 1,0 (para mezclas con volumen óptimo de poros). El coeficiente de absorción depende de la frecuencia de las ondas sonoras que inciden, y por lo tanto, es importante seleccionar un espesor de concreto permeable adecuado a fin de minimizar sonidos de la frecuencia deseada (ACI 522R-10, 2010).

La durabilidad del concreto permeable se refiere a la vida útil bajo las condiciones ambientales dadas. Los efectos físicos que influyen negativamente en la durabilidad del concreto incluyen la exposición a temperaturas extremas y los productos químicos, tales como sulfatos y ácidos. No se han realizado investigaciones sobre la resistencia de concreto permeable al ataque agresivo por los sulfatos o agua ácida; la durabilidad del concreto permeable bajo condiciones de congelación – descongelación, tampoco está bien documentada. (ACI 522R-10, 2010).

Se desea que el concreto permeable empleado en pavimentos cumpla con su vida útil y necesite poco mantenimiento. La durabilidad que presente el concreto permeable debería permitirle resistir las condiciones y solicitaciones tomadas en cuenta al momento de diseñarlos. La influencia de los ciclos de hielo y deshielo mientras el concreto esté saturado, es principalmente el agente más destructivo.

Cuando el agua se congela, se expande en aproximadamente un 9%. El crecimiento de cristales de hielo expandidos desplaza el agua. Si los microporos en la pasta están saturados o casi saturados durante el proceso de congelación, entonces la presión hidrostática se acumula cuando la congelación progresa (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese y Tanesi, 2004).

Las pruebas en condiciones de congelación y descongelación indican poca durabilidad si toda la estructura de vacíos del concreto permeable se encuentra llena con agua. Ciclos de congelación lento (un ciclo por día – ASTM C 666), permiten que el agua presente en el concreto permeable drene, mejorando la durabilidad del mismo. Se debe tener precaución, cuando se utiliza el concreto permeable en condiciones en

las que su estructura esté saturada completamente antes de que pueda producirse una helada. Las pruebas indican que la incorporación de aire en la pasta de cemento puede mejorar la durabilidad del concreto permeable ante la congelación y descongelación. (ACI 522R-10, 2010).

Para que el concreto permeable mejore su resistencia a los procesos de hielo y deshielo el ACI 522R-10 recomienda: Utilizar espesores de capa de 20 a 60 cm en bases granulares sin finos, por debajo del concreto permeable. El concreto permeable que está parcialmente saturado debería tener suficientes huecos para el desplazamiento del agua, obteniendo así una buena resistencia a la congelación y deshielo. Garantizar el rápido drenado del concreto permeable, evitando la saturación.

Muchos sulfatos presentes en el suelo y en el agua pueden atacar y destruir un concreto permeable o convencional que no fue adecuadamente diseñado. Los sulfatos (por ejemplo sulfato de calcio, sulfato de sodio y sulfato de magnesio) pueden atacar un concreto pues éstos reaccionan con los compuestos hidratados en la pasta de cemento.

Estas reacciones pueden crear presiones suficientes para romper la pasta del cemento, resultando en desintegración del concreto (pérdida de cohesión de la pasta y de resistencia). El sulfato de calcio ataca el aluminato de calcio hidratado y forma etringita. El sulfato de sodio reacciona con el hidróxido de calcio y aluminato de calcio hidratado, formando etringita y yeso. El sulfato de magnesio ataca, de manera similar, al sulfato de sodio y forma etringita, yeso y también brucita (hidróxido de magnesio). La brucita se forma en primer lugar en la superficie del cemento, consume el hidróxido de calcio, baja el pH en la solución de los poros y entonces descompone el silicato de calcio hidratado (Kosmatka et al., 2004).

Por presentar una estructura abierta, el concreto permeable es más susceptible, al ataque sobre una gran área. La utilización de concreto permeable en áreas donde existan alto contenido de sulfatos y agua contaminada puede ser posible siempre y cuando se encuentre aislado de estos.

La colocación del concreto permeable sobre una base de 15 cm. Con tamaño máximo de agregados de 25 mm proporciona una base para el pavimento, almacenamiento de las aguas de lluvia, y aislamiento para el concreto permeable.

Los pisos, pavimentos y estructuras hidráulicas son expuestos a abrasión o al desgaste, por lo que en estas aplicaciones el concreto permeable necesita tener alta resistencia a abrasión. Resultados de pruebas indican que la resistencia a la abrasión está relacionada directamente con la resistencia a la compresión del concreto. Un concreto con mayor resistencia a compresión tiene mayor resistencia a la abrasión que el concreto con menor resistencia a la compresión (Kosmatka et al., 2004).

Debido a que en el concreto permeable la textura de la superficie es más áspera y presenta una estructura abierta; la abrasión y desintegración de las partículas de agregados puede ser un problema (Tennis, Leming y Akers, 2004).

El tipo de agregado y el acabado realizado en la superficie del concreto permeable tienen gran influencia. Los agregados duros presentan mayor resistencia a la abrasión que los agregados blandos y una superficie con una terminación alisada presenta mejor comportamiento que otra que cuyo acabado es irregular. En general en los pavimentos de concreto permeable que han sido puestos en servicio, a las pocas semanas, éstos tendrán menor cantidad de agregados sobre su superficie, debido a que estas partículas son desprendidas de la superficie y desalojadas por el tráfico. Después de pocas semanas, la desintegración de la superficie disminuye considerablemente, permaneciendo la superficie del pavimento más estable. Una compactación y técnicas de curado adecuadas pueden reducir la ocurrencia de la desintegración de la superficie. (Pérez, 2009).

El peso volumétrico de las mezclas de concreto permeable es aproximadamente 70% del peso volumétrico de las mezclas de concreto convencional. Se determina de acuerdo a la norma ASTM C29. El peso volumétrico del concreto permeable oscila entre 1,600 a 2,000 kg/m³, dependiendo del porcentaje de vacíos.

El revenimiento (asentamiento) se usa para medir la consistencia del concreto. Para una proporción dada de cemento y agregado, sin aditivos, cuanto mayor sea el revenimiento, más húmeda es la mezcla. Se determina de acuerdo a la norma ASTM C143.

El cemento Portland que satisface las normas ASTM C150, C595, ó C1157, se usa como el aglomerante principal. También pueden usarse materiales suplementarios como la ceniza volante, el cemento de escoria, y el humo de sílice, los cuales deben de satisfacer los requisitos de las normas ASTM C618, C989, y C1240, respectivamente (ACI 522, 2006).

Una mayor dosis de cemento generará un concreto más resistente, pero demasiado cemento disminuirá el porcentaje de vacíos interconectados en el concreto, perdiendo este su capacidad de infiltración (De Solminihac et al., 2002).

Es recomendable utilizar una cantidad que fluctúe entre los 270 a 415 kg/m³, según requisitos de resistencia y permeabilidad (Kosmatka et al., 2004).

El concreto permeable no contiene agregado fino, o tal vez muy poco; y el agregado grueso utilizado debe ser de tamaño uniforme. Comúnmente las granulometrías de agregado grueso utilizadas deben de cumplir con la norma ASTM C33, estas son: No. 67 (3/4" a No. 4), No. 8 (3/8" a No. 16), o No. 8 (3/8" a No. 50). La norma ASTM D448 también puede ser usada para definir las granulometrías. Los agregados grandes proporcionan una superficie más porosa.

Los concretos permeables deben ser proporcionados con una relación de agua-cemento (a/c) relativamente baja (0.30 a 0.40), ya que una cantidad excesiva de agua conducirá a drenar la pasta y el atascamiento de sistema de poros (ACI 522, 2006). La adición de agua, por lo tanto, tiene que ser vigilada cuidadosamente en el campo.

Tabla N° 2. Diferencias entre Diseño ACI de Concreto Convencional y el Diseño de Concreto Permeable.

	DISEÑO ACI CONVENCIONAL (Método: Modulo de Fineza)	DISEÑO CONCRETO PERMEABLE ACI 211 3R 02/ACI 522 R-10
Datos Iniciales	- Resistencia Requerida	- Filtración del concreto permeable
	- Slump – revenimiento	(Intensidad de lluvia de diseño)
	- Con o sin Aire incluido	
	- Tamaño Máximo Nominal	
Datos Externos (Tablas)	- Agua	- Verificación de resistencia a compresión
	- Relación A/C	
	- Volumen del agregado grueso	- Tipo de Compactación
		- Elección de la Relación A/C
Datos Obtenidos	- Cantidad de agregado fino	- Volumen de vacíos
		- Volumen de pasta
		- Porcentaje de agregado
Diseño Final	- Diseño Por Volúmenes Absolutos y corrección por humedad	- Diseño por volúmenes absolutos y corrección por humedad, absorción y aporte.

Fuente: Flores & Pacompia 2015.

Tabla N° 3. Rangos Típicos de las Proporciones de Materiales en el concreto Permeable.

Parámetro	Rango
Materiales Cementantes, Kg/m ³	270 a 415
Agregado, Kg/m ³	1190 a 1480
Relación agua – cemento, en peso	0.26 a 0.45
Relación agregado – cemento, en peso	4 a 4.5:1
Relación agregado fino – agregado grueso, en peso	0 a 1:1

Fuente: Kosmatka et al., 2004.

Para el concreto permeable, las relaciones agregado/cemento y a/c son las variables más importantes que afectan las propiedades mecánicas. Se ha encontrado como aceptable un amplio rango de valores de cemento, dependiendo de la aplicación

específica. Los aditivos químicos, además de afectar la relación a/c, se usan para influir en la trabajabilidad y los tiempos de fraguado, para mejorar las varias características del concreto permeable, y para mejorar la durabilidad a largo plazo. Proporciona los rangos típicos del proporcionamiento de materiales en el concreto permeable, y son solo valores de referencia (Kosmatka et al., 2004).

Los cilindros sometidos a ensayo de aceptación y control de calidad se elaboraron y curaron siguiendo los procedimientos descritos en probetas curadas de manera estándar según la norma ASTM C31 Práctica Estándar para Elaborar y Curar Probetas de Ensayo de Concreto en Campo. Para estimar la resistencia del concreto in situ, la norma ASTM C31 formula procedimientos para las pruebas de curado en campo. Las probetas cilíndricas se someten a ensayo de acuerdo a ASTM C39, Método Estándar de Prueba de Resistencia a la Compresión de Probetas Cilíndricas de Concreto (National Ready Mixed Concrete Association, s/f).

La resistencia del concreto se calcula dividiendo la máxima carga soportada por la probeta para producir la fractura por (\div) el área promedio de la sección. C 39 presenta los factores de corrección en caso de que la razón longitud-diámetro del cilindro se halle entre 1.75 y 1.00, lo cual es poco común. Se someten a prueba por lo menos 2 cilindros de la misma edad y se reporta la resistencia promedio como el resultado de la prueba, al intervalo más próximo de 10 psi (0.1 MPa) (National Ready Mixed Concrete Association, s/f).

Hamsem, (2005), en su libro “Diseño de estructuras de concreto”, afirma que el curado es el proceso por el cual se busca mantener saturado el concreto hasta que los espacios de cemento fresco, originalmente llenos de agua sean reemplazados por los productos de la hidratación del cemento. El curado pretende controlar el movimiento de temperatura y humedad hacia dentro y hacia afuera del concreto. Busca también, evitar la contracción de fragua hasta que el concreto alcance una resistencia mínima que le permita soportar los esfuerzos inducidos por ésta. La falta de curado del concreto reduce drásticamente su resistencia.

Actualmente el Perú no cuenta con Normas específicas que regulen el uso de concretos permeables. Pero se han adoptado normas del concreto convencional para aplicarlas en el concreto permeable; como ejemplo de ello tenemos las Normas que se aplican para conocer las características de los agregados; las cuales se basan en las Normas ASTM que son aplicadas en nuestro país.

De igual forma por el hecho de ser concreto también se mide su trabajabilidad y su resistencia por lo tanto se aplica la norma ASTM C-94, ASTM C39 respectivamente, que también han sido adoptadas.

Actualmente se han hecho investigaciones en la zona central de Perú y en la zona Sur acerca del concreto permeable, aplicando las normas de otros países; considerándolas como ciertos parámetros y bases para los resultados aquí obtenidos.

En otros países ya ha sido implementado con éxito, el concreto permeable, obteniendo los resultados manifestados en las Normas (ASTM /ACI), empleándolas como base para el fundamento de sus propias Normas.

En tales países se ha obtenido condiciones iguales al concreto permeable manifestado en las Normas. En otros sectores se ha sometido el concreto permeable bajo otras variables que modifican sus características convencionales.

Y Cada uno de los países donde se aplicado el concreto permeable ha adoptado Normas y Leyes para su empleo las cuales se manifiestan a continuación:

Tabla N° 4. Marco Normativo Internacional.

PAIS	TIPO DE REGULACION	INSTITUTO	AÑO	DESCRIPCION
	NORMA	ASTM	2009 y 2011	Taza de infiltración, medida in situ
ESTADOS UNIDOS	NORMA	ACI	2002, 2006, 2010	Taza de infiltración de especímenes de concreto

Fuente: Elaboración Propia.

Las Normas “American Society for Testing and Materials (ASTM)”, Dicha asociación fue creada en el año de 1898 debido al convenio realizado por setenta miembros de la aquella entonces denominada International Association for Testing Materials (IATM) y la necesidad de regular el control de calidad en los aceros de los ferrocarriles en Pensilvania.

El desarrollo de las normas fue en los años 1923 al 1930 llevó a un gran desarrollo de la ASTM ya que debido a los estragos que causó la segunda guerra mundial se vio la necesidad de investigar los materiales de construcción de las obras civiles, consiguiendo conciliar las dificultades bélicas con las exigencias de calidad de la producción en masa.

En cuanto al Concreto Permeable la ASTM en el año de 2009, creó Normas para medir la tasa de infiltración en un pavimento de concreto permeable; empleando un anillo de infiltración el cual es sellado temporalmente a la superficie de un pavimento permeable. Después de pre humectación la ubicación de prueba y determinada masa de agua se introduce en el anillo y se registra el tiempo en que el agua tarda en infiltrarse en el pavimento.

Tabla N° 5. Marco Normativo ASTM (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS).

NORMA	NOMBRE	CONTENIDO
ASTM C-31	Practica Estándar para hacer y curar especímenes de prueba de Concreto en El Campo	Esta práctica cubre procedimientos para hacer y curar especímenes de cilindros y vigas de muestras representativas de Concreto Fresco.
ASTM C-33	Especificación Estándar para Agregados de Concreto	Define los requerimientos para gradación y calidad de los agregados finos y gruesos (diferente de los agregados ligeros y pesados) para uso en concreto.

ASTM C-39	Método de Prueba Estándar para Resistencia a Compresión de especímenes de Concreto	Este método de prueba cubre la determinación de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto, tales como cilindros moldeados y núcleos perforados
ASTM C – 293	Método de Prueba Estándar para Resistencia a Flexión de Concreto usando vigas simplemente apoyadas con carga puntual.	Este método de prueba cubre la determinación de la resistencia a flexión de especímenes de concreto, por el uso de una viga simplemente apoyada con carga puntual al centro.
ASTM C-75	Muestreo de agregados	
ASTM C-128	Método de prueba estándar para densidad, densidad relativa (gravedad específica), y absorción de agregado	Este método de prueba cubre la determinación de la densidad promedio de una cantidad de partículas del agregado fino, la densidad relativa y absorción de agregado grueso.
ASTM C-136	Método de Prueba estándar para análisis de tamices de agregado fino y grueso.	Este método de prueba cubre la determinación de la distribución de los tamaños de partículas de los agregados.
ASTM C-143	Método de Prueba Estándar para revenimiento de concreto de cemento hidráulico	Este método de prueba cubre la determinación de revenimiento de concreto de cemento hidráulico ambos en laboratorio y en campo.
ASTM C-150	Especificación Estándar para cemento Portland	Esta especificación cubre ocho tipos de cemento portland.
ASTM C-172-99	Práctica estándar para muestreo de concreto fresco	Esta práctica cubre procedimientos para obtener muestras representativas de concreto fresco, como es entregado al sitio de proyecto para determinar la conformidad.
ASTM C-187-98	Método de prueba estándar para consistencia normal de cemento hidráulico	Este método de prueba cubre la determinación de la consistencia normal del cemento hidráulico
ASTM C-188	Método de Prueba Estándar para densidad de cemento hidráulico.	Este método de prueba cubre la determinación de la densidad del cemento hidráulico, esta particular utilidad está en conexión con el diseño y control de mezcla del concreto.
ASTM C-192	Practica estándar para hacer y	Esta práctica cubre los procedimientos para hacer y curar especímenes de prueba de

	curar especímenes de concreto en el laboratorio	concreto en el laboratorio bajo un control de materiales y condiciones de prueba usando concreto que puede ser consolidado por varillado o vibración
ASTM C-511	Especificación para cabinas de humedad, cuartos húmedos y tanques para almacenamiento de agua usados en el ensayo de cementos hidráulicos	
ASTM C-617-09	Practica estándar de límites de probetas de cilíndricas de concreto	Esta práctica cubre aparatos, materiales y procedimientos para el cabeceo de cilindros de concreto recién moldeados y núcleos endurecidos de hormigón
ASTM C-702	Reducción de las muestras de campo de agregado para ensayos de laboratorio	Esta práctica cubre tres métodos de grandes muestras los métodos para la reducción de muestra que sean representativas de un Universo.
ASTM C-1064	Método de ensayo para la temperatura de concreto mezclado fresco de cemento Portland	Este método de ensayo cubre la determinación de la temperatura, del concreto hidráulico recién mezclado.
ASTM C 1701	Taza de infiltración de concreto permeable en el Sitio	Este método de ensayo cubre la determinación en campo de la tasa de infiltración de concreto permeable.

Fuente: Norma ASTM.

Las Normas American Concrete Institute (ACI) es una asociación técnica y educacional cuyo objetivo es promocionar el diseño, la construcción, la fabricación de materiales, los programas de certificación y el mantenimiento de las estructuras de concreto.

Actualmente cuenta con aproximadamente dieciocho mil miembros Ingenieros Civiles, Ingenieros Estructurales, Arquitectos, Constructores y miembros representantes de los fabricantes de materiales, de sus distribuidores y de los laboratorios a nivel mundial. Con esta diversidad de miembros, el Instituto pretende

dar a conocer los conocimientos, las innovaciones y las ideas para promover una tecnología superior del concreto.

Con esta diversidad de miembros, el Instituto pretende dar a conocer los conocimientos, las innovaciones y las ideas para promover una tecnología superior del concreto.

Con publicaciones de alta calidad en investigación, análisis, convenciones y seminarios, así como con sus programas de certificación, el ACI refuerza y amplía los conocimientos de los profesionales dedicados a esta tecnología en todo el mundo.

Tabla N° 6. Marco Normativo ACI (American Concrete Institute).

NORMA	NOMBRE	CONTENIDO
ACI 211.3	GUIA PARA LA SELECCIÓN DE CONCRETO CON POCO REVENIMIENTO	APENDICE 6 “Criterios de Dosificación para Concreto Permeable”
ACI 522 R	PREVIOUS CONCRETE	CAPITULO 1 “Introducción” CAPITULO 2 “Aplicaciones” CAPITULO 3 “Materiales” CAPITULO 4 “Propiedades” CAPITULO 5 “Criterios para la Mezcla” CAPITULO 6 “Diseño de Pavimento” CAPITULO 7 “Instalación de Pavimento” CAPITULO 8 “Control de Calidad y Mantenimiento” CAPITULO 9 “Pruebas” CAPITULO 10 “Limitantes” CAPITULO 11 “Referencias”.

Fuente: Norma ACI.

Operacionalización de Variables:

Tabla N° 7. Variable Independiente.

VARIABLE	CONCEPTO	NORMA	INDICADOR
Agregado Grueso de la Cantera Rola	Clasificaciones del agregado utilizado en el concreto permeable son típicamente ya sea de un solo tamaño de agregado grueso o la clasificación de entre 3/8 pulgadas (19 y 9,5 mm). Agregados redondeados y aplastados (piedra chancada), normal y ligero, se han utilizado para hacer concreto permeable.	ASTM D - 448 ASTM C 33	Resistencia a la compresión y coeficiente de permeabilidad

Fuente: Elaboración Propia del Estudio de Investigación.

Tabla N° 8. Variable Dependiente.

VARIABLE	CONCEPTO	NORMA	INDICADOR
Resistencia a la Compresión	Evaluaremos resistencia a compresión. Según los objetivos de la investigación. La resistencia a la compresión se realizará a los 7, 14 y 28 días.	ASTM C - 39 ASTM C - 78	Kg/cm ²
Permeabilidad	La tasa de drenaje de concreto permeable pavimento varía con el tamaño total y la densidad de la mezcla, sino que generalmente se clasifican en el rango de 2 a 18 gal./min/ft ² (desde 81 hasta 730 l/min/m ²).	ACI 522. R ASTM 1701	m/s o cm/s

Fuente: Elaboración Propia del Estudio de Investigación.

La hipótesis de esta investigación es: Si se utiliza el agregado grueso de la Cantera Rola se tendrá una resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto según las normas.

El objetivo general de esta investigación es: Determinar la resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto elaborado con el agregado grueso de la Cantera Rola – Huaraz; mientras que los objetivos específicos son:

- Realizar el análisis granulométrico del agregado grueso de la Cantera Rolan – Huaraz.
- Determinar el diseño de mezcla con los datos del análisis granulométrico.
- Realizar la elaboración de probetas.

- Realizar el ensayo de resistencia a la compresión y permeabilidad de las probetas a los 7, 14 y 28 días.
- Compara los resultados para la resistencia y permeabilidad.

METODOLOGÍA

El tipo de investigación, según el proceso es aplicada – experimental, ya que se emplearon variables dependientes e independientes; porque la investigación está orientada a lograr un nuevo conocimiento destinado a determinar la resistencia a la compresión del concreto con la relación de vacíos de 20% y 30% y utilizando agregado grueso de la Cantera Rola - Huaraz, así como también se determinó el coeficiente de permeabilidad con la relación de vacíos de 20% y 30%.

Para la presente investigación se definió como variable independiente el agregado grueso obtenido de la Cantera Rola – Huaraz; y como variables dependientes la resistencia a la compresión (Kg/cm^2) y permeabilidad (cm/s) a la cual serán sometidos los testigos elaborados con dicho agregado.

La unidad de análisis para esta investigación fueron las diferentes pruebas que se le hizo al agregado y al concreto. Las pruebas que se realizaron son las siguientes: Se usó como método de diseño de mezcla el utilizado en la ACI 211.3 (para concreto de bajo revenimiento); prueba de granulometría para grueso (ASTM C-136); prueba de la resistencia a la compresión de cilindros testigos de concreto (ASTM C-39); prueba de permeabilidad de especímenes de concreto (ACI 522R). Se usó agregado grueso de tamaño nominal 1/2” de piedra chancada, y se usó cemento Portland de uso general (ASTM 150 y C1157).

Tabla N° 9. Diseño Para la Elaboración de Probetas Para la Prueba de Resistencia a la Compresión.

DISEÑO PARA LA ELABORACIÓN DE PROBETAS				
Resistencia a la Compresión del Concreto Permeable con Relación de Vacíos de 20% y 30%				
Días de Curado	20% de Vacíos		30% de Vacíos	
7	E1		E10	
	E2		E11	
	E3		E12	
14	E4		E13	
	E5		E14	
	E6		E15	
28	E7		E16	
	E8		E17	
	E9		E18	

Fuente: Elaboración Propia.

Así también se presenta la cantidad de muestras para la determinación del coeficiente de permeabilidad.

Tabla N° 10. Diseño Para la Elaboración de Probetas Para la Prueba de Permeabilidad.

DISEÑO PARA LA ELABORACIÓN DE PROBETAS				
Permeabilidad del Concreto Permeable con Relación de Vacíos de 20% y 30%				
Días de Curado	20% de Vacíos		30% de Vacíos	
7	E1		E10	
	E2		E11	
	E3		E12	
	E4		E4	

Fuente: Elaboración Propia.

La población estuvo conformada por probetas que han sido elaboradas en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad San Pedro y la muestra es un subconjunto de casos o individuos de una población estadística, que en esta investigación se trabajó con 18 testigos de concreto, 09 con relación de vacíos de 20% y 09 con relación de vacíos de 30%; así también se hizo 08 testigos dimensiones diferentes para determinar el coeficiente de permeabilidad, 04 para 20% de vacíos y 04 para 30% de vacíos.

Se aplicó como técnica la observación ya que la percepción del material debe ser registrada en forma cuidadosa y experta. Todo lo observado se debe poner por escrito lo antes posible, cuando no se puede tomar notas en el mismo momento. Para esto utilizaremos como instrumento una guía de observación resumen porque nos permitirá elaborar sistemas de organización y clasificación de la información de los ensayos de la resistencia a la compresión y permeabilidad. Las técnicas e instrumentos de investigación se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N° 11. Técnicas de Recolección de Información.

Técnicas de Recolección de Información	Instrumento
La Observación	Ficha Técnica del Laboratorio de Mecánica de suelo y ensayo de materiales

Fuente: Elaboración Propia.

Para el presente proyecto de investigación el procesamiento de datos fue posterior a los ensayos respectivos apoyados en una hoja de cálculo Excel y el SPSS.

Para realizar el análisis de los datos se realizó los siguientes procedimientos:

Los agregados que se usó en el presente trabajo fueron extraídos de la Cantera de Rola - Huaraz, el motivo por la que se utilizó la presente cantera es por la cantidad de material que produce, por ser accesibles y de buena calidad.

El agregado de la Cantera Rola - Huaraz, si bien es cierto este material presenta mejores cualidades físicas del agregado, actualmente debido al incremento poblacional y la gran cantidad de comerciantes que hay, se ha dañado el lecho del río y este en la actualidad representa un problema de encontrarse gran cantidad de residuos sólidos.

Son en su mayoría de origen sedimentario, donde la acción erosiva de las aguas pluviales, la fuerza hidráulica y el acarreo de estos minerales, nos proporcionan un agregado de forma redondeada, denominados cantos rodados, pero también en la Cantera de Rola existen varias máquinas chancadoras, para triturar el material de diferentes medidas.

La ubicación de la Cantera permite conocer la accesibilidad al material, así como la influencia en el mercado, y su aplicación en la Ciudad de Huaraz, y sus características son las siguientes de la Cantera de Rola como: Ubicación: Carretera Huaraz - Taclán, Acceso: Carretera Huaraz - Pativilca. Material: Arena y grava de río.

Tabla N° 12. Coordenadas UTM de la Cantera Rola.

COORDENADAS UTM: ZONA 18				
N°	Nombre	Sur	Oeste	Elevación
1.	ROLA	9°32'49.35"	77°32'09.94"	3048 m.s.n.m

Fuente: Elaboración Propia.



Figura N° 10. Vista Panorámica de la Cantera de Agregado, Rola – Huaraz.



Figura N° 11. Cantera de Agregado, Rola – Huaraz.



Figura N° 12. Piedra chancada de ½" de la Cantera Rola - Huaraz.

Los ensayos mencionados a continuación se realizaron basándose en el Manual de Ensayo de Materiales (EM 2000 del MTC), estos se hicieron para el agregado grueso con algunas distinciones según indica el manual.

Los ensayos que se tuvieron que seguir para obtener los datos deseados fueron el contenido de humedad, peso específico y absorción del agregado grueso, peso unitario del agregado grueso (peso unitario suelto y peso unitario compactado).

Una vez que se conocen las propiedades inherentes a cada uno de los componentes del concreto permeable, es necesario que éstos se combinen en proporciones adecuadas para cumplir con las especificaciones solicitadas (resistencia a la compresión y permeabilidad), y tener un comportamiento eficiente ante las condiciones a las que estará expuesto.

El diseño de mezclas del concreto permeable se asemeja al diseño de mezclas del concreto convencional por el método del ACI, ambos utilizan cuadros obtenidos empíricamente de ensayos realizados, sin embargo, en cuanto a los alcances de ambos diseños son totalmente diferentes.

Los diseños se harán de acuerdo con las recomendaciones del ACI-211.3R aplicable a concreto permeable y ACI 211.1 a concreto convencional.

Elección del porcentaje de vacíos

La elección del porcentaje de vacíos se hará de acuerdo a la norma ACI 522R, la cual varía del 15% al 35% obteniendo un 20% para una mayor resistencia en nuestras probetas.

La Figura N° 13 se muestra la relación entre el contenido de vacíos y la tasa de filtración de una mezcla de concreto permeable, para el 20% de vacíos.

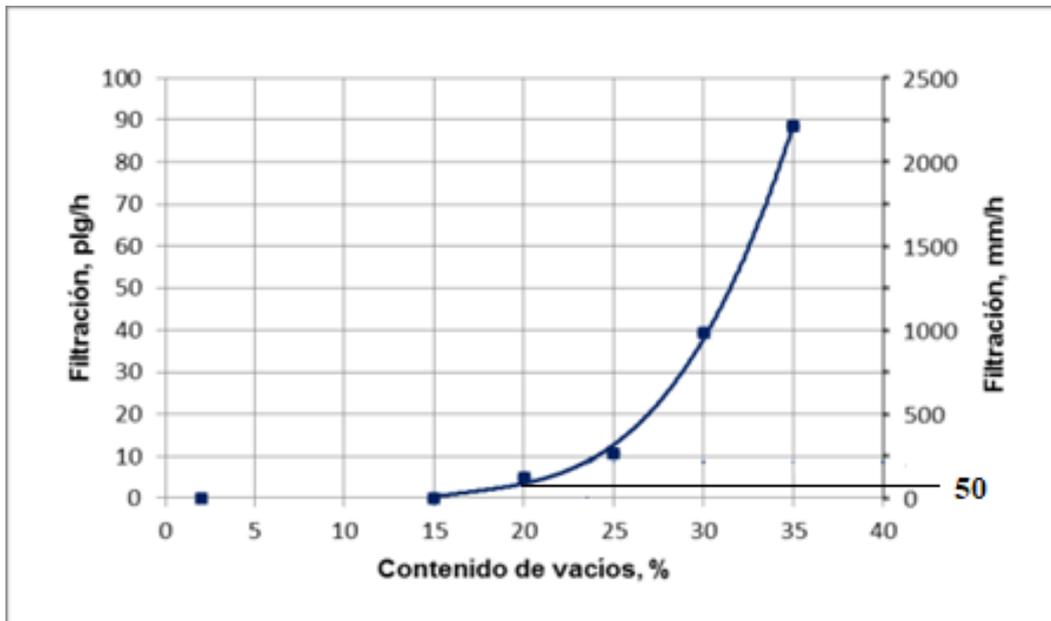


Figura N° 13. Contenido de Vacíos Vs. Filtración Requerida (Adaptado de: ACI 522R-10, 2010).

En la Figura N° 14 se muestra la relación entre el contenido de vacíos y la tasa de filtración de una mezcla de concreto permeable, para el 30% de vacíos.

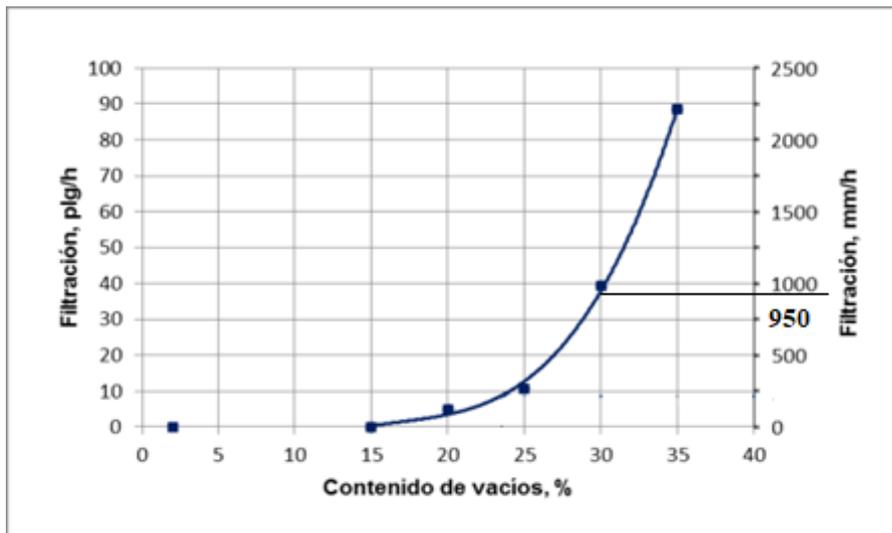


Figura N° 14. Contenido de Vacíos Vs. Filtración Requerida (Adaptado de: ACI 522R-10, 2010).

Resistencia Referencial según Contenido de Vacíos, a los 28 días

Luego de haber determinado el porcentaje de vacíos, se puede suponer la resistencia a compresión de acuerdo a la gráfica de la Figura N° 15. En este gráfico podemos observar los valores de resistencia a la compresión desarrollados a los 28 días por testigos de concreto permeable elaborados con dos tamaños estándar de agregado gruesos: No 08 y No 67.

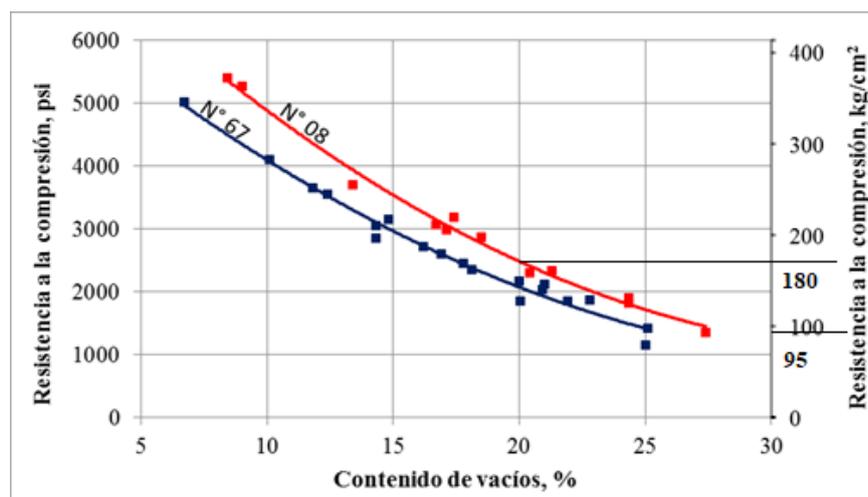


Figura N° 15. Relación Entre el Contenido de Vacíos y la Resistencia a la Compresión a los 28 Días Para Tamaño de Agregados N° 67 y N° 8 (Adaptado de ACI 522-10, ACI 211.3R-02).

En la Figura N° 15 se puede observar que para un contenido de vacíos mínimo recomendado (15%) los valores de resistencia a la compresión desarrollados por testigos de concreto permeable elaborados con agregados gruesos de tamaños No 8 y No 67; varían alrededor de 210 kg/cm². De esta manera podemos obtener valores de resistencias a compresión referenciales para el diseño del concreto permeable con 20% y 30% de vacíos.

Determinación del Volumen de Pasta

Luego de haber verificado las resistencias a compresión referenciales, se procedió a calcular el volumen de pasta de acuerdo al (ACI 522R-10 y ACI-211.3R-02), en el cual a partir del contenido de vacíos elegido, podemos obtener el porcentaje del volumen de pasta en la mezcla.

La Figura N° 16 se muestra la relación entre el contenido de vacíos y el volumen de pasta necesario para concretos permeables elaborados con tamaño de agregado grueso No. 8.

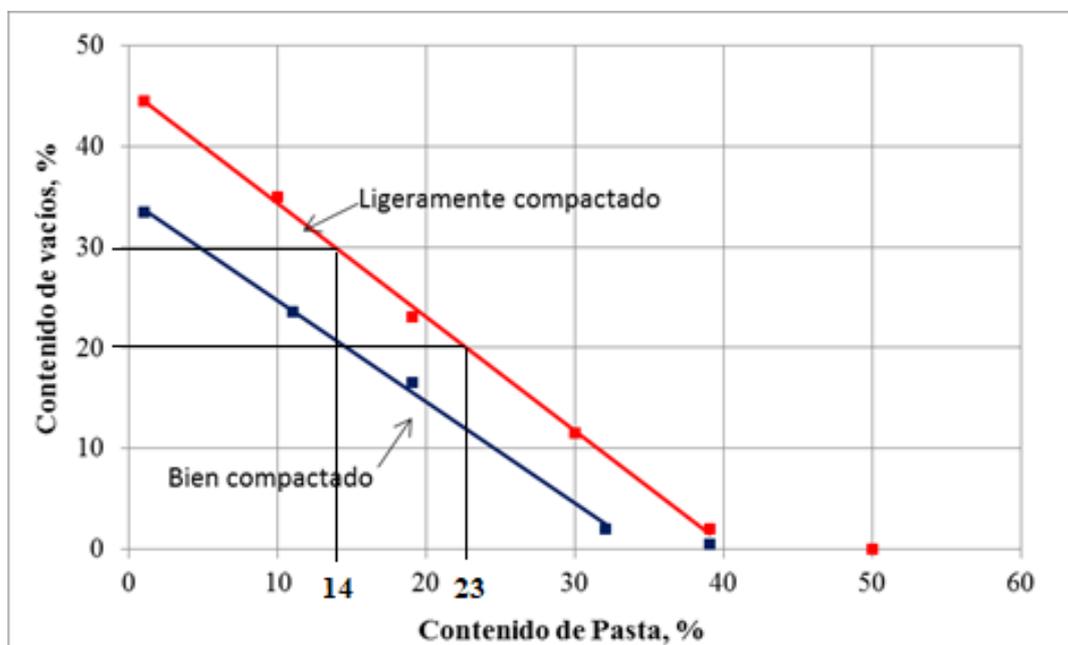


Figura N° 16. Relación Entre el Porcentaje de Vacíos y el Contenido de Pasta Para Tamaños de Agregados N° 8 (Adaptado ACI 522-10, ACI 211.3R-02).

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

Una vez determinado el volumen de pasta necesario, se determinan los pesos de cemento y agua por metro cúbico de mezcla, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Vp = Vc + Va$$

Donde:

Vp : Volumen de Pasta

Vc : Volumen de cemento.

Va : Volumen de agua

La cual se expresa como:

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

Donde:

c : Peso del cemento por m^3 de mezcla.

a : Peso del agua por m^3 de mezcla.

P.E.c : Peso específico del cemento.

P.E.a : Peso específico del agua

Considerando que el peso específico del cemento y agua son **3.15 gr/cm³** y 1.00 respectivamente, se tiene:

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

Y con relación a/c, obtenemos:

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

Reemplazando el volumen de pasta y la relación a/c:

$$0.23 = \frac{c}{3.15 * 1000} + \frac{0.40 * c}{1.00 * 1000}$$

Culminado el diseño paso a paso y obtenidos las dosificaciones, calculamos en peso todos los materiales necesarios para una tanda de concreto para la elaboración de los especímenes cilíndricos de 15 cm x 30 cm aproximadamente, que fueron sometidos al ensayo de resistencia a la compresión y la elaboración de los especímenes cilíndricos de 10 cm x 15 cm aproximadamente que serán sometidos al ensayo de permeabilidad.

Una vez obtenido el diseño de mezclas se procedió a realizar el vaciado del concreto permeable en los moldes, siendo necesario la realización de ensayos en estado fresco del concreto permeable (ACI 522R-10 “Reporte en el concreto permeable”), con la finalidad de controlar el contenido de vacíos de diseño y la trabajabilidad de la mezcla de concreto, parámetros principales de control en lo que al concreto permeable respecta. Para tener la certeza de que el concreto vaciado cumpla con las características de diseño.

Se aplicó un registro de apuntes, mediante fotografía, videos y fichas de registro para ver el desarrollo de nuestras probetas en sus diferentes días de análisis.

Los datos han sido procesados con los programas Excel y SPSS.

El análisis de los datos se realizó con tablas, gráficos, porcentajes, promedios, varianzas y una prueba de hipótesis (ANOVA).

RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados de la presente investigación, que se desarrollaron cada una de ellas para poder determinar cada uno de los objetivos específicos planteados en la presente investigación así como los resultados de la caracterización del agregado grueso, los resultados de resistencia a la compresión del concreto experimental de relación de vacíos de 20% y 30% así también los resultados de coeficiente de permeabilidad del concreto experimental de cada uno de los porcentajes de vacíos y por último se determinó el análisis estadístico de los resultados obtenidos.

CONTENIDO DE HUMEDAD

Este ensayo se realizó de acuerdo al EM 2000, MTC E 108 – 2000; “Método de Ensayo Para Determinar el Contenido de Humedad de un Suelo”, el cual está basado en la norma ASTM D2216.

Equipo utilizado

- Balanza con precisión a 0.1% del peso de la muestra ensayada.
- Taras
- Horno a 105 +/- 5°C

Descripción del proceso

- En nuestro caso por ser concreto permeable solo se utilizó agregado grueso, se toma una muestra de 1450 gr aproximadamente y se coloca en dos recipientes previamente tarados.
- Se registra el peso de las dos taras la cual será el material “húmedo” se lleva al horno 24 horas a 105 +/- 5°C; pasado el tiempo, luego del enfriado, se vuelve a pesar el material, la cual representa el material seco.
- De las dos muestras sacadas trabajadas se saca un promedio para tener un ensayo aproximado y con el valor poder trabajar el diseño de mezcla.

$$W = \frac{\text{Peso del Agua}}{\text{Peso Suelo Seco}} * 100$$



Figura N° 17. Selección del Material Para la Elaboración de Contenido de Humedad.



Figura N° 18. El Peso del Tarro + Suelo Húmedo de Cada una de las Muestras.



Figura N° 19. Las Muestras Sometidas 24 Horas al Horno.

Cálculos

Se desarrolló el cálculo del contenido de humedad para el agregado grueso dando los resultados como se muestran en la Tabla N° 13.

Tabla N° 13. Contenido de Humedad del Agregado Grueso.

AGREGADO GRUESO (PIEDRA CHANCADA ½")			
N° de Tarro		# 10	# 48
Peso Tarro + Suelo Húmedo	g	1447.0	1354.5
Peso Tarro + Suelo Seco	g	1434.5	1343.0
Peso del Agua (1) – (2)	g	12.50	11.50
Peso del Tarro	g	170.20	168.90
Peso Suelo Seco (2) – (4)	g	1264.30	1174.10
Contenido de Humedad (3/5) x 100(%)	%	0.99	0.98
HUMEDAD PROMEDIO	%	0.98%	

Fuente: Laboratorio Mecánica de Suelos de USP.

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

El presente ensayo se realizó de acuerdo al EM 2000, MTC E 206 – 2000; Peso Específico y Absorción de los Agregados Gruesos, el cual está basado en la norma ASTM C127.

Equipo utilizado

- Balanza con precisión a 0.1% del peso con su juego de pesas.
- Taras
- Horno a 105 +/- 5°C

Descripción del proceso

- Se tomó una muestra de 2000 gr. Aproximadamente de nuestra piedra chancada de 1/2" tamaño nominal, la cual fue saturada en agua durante 24 horas, seguido se secó con un paño a temperatura de ambiente.



Figura N° 20. Muestra Saturada en Agua Durante 24 Horas.

- Luego de absorber la humedad con el paño para obtener el estado saturado superficialmente seco se toma tres cantidades de la muestra aproximadamente 1130 gr en tres recipientes, se pesa en los recipientes previamente tarados y se introduce a una

canasta sumergida en agua y que pende de una balanza de precisión adecuada, se determina el peso sumergido y a continuación el material se lleva al horno para determinar el peso seco.



Figura N° 21. Muestra Seca con un Paño Absorbente.



Figura N° 22. Muestra en Tres Recipientes Para la Prueba del Peso Específico.



Figura N° 23. Prueba del Peso Específico al Agregado Grueso.

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{B - C}$$

$$\text{Peso específico aparente (S.S.S.)} = \frac{B}{B - C}$$

$$\text{Peso específico nominal} = \frac{A}{A - C}$$

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

Dónde:

A: Peso al aire del a muestra seca al horno. (gr.)

B: Peso de la muestra S.S.S. (gr.)

C: Peso en el agua de la muestra saturada. (gr.)

Cálculos

Tabla N° 14. Peso Específico y Absorción de Agregado Grueso.

IDENTIFICACIÓN		# 7	# 26	#41
A	Peso Mat. Sat. Sup. Seca (Al aire)	1117.0	1126.0	1120.5
B	Peso Mat. Sat. Sup. Seca (En agua)	707.7	707.3	704.1
C	Vol. De Masa/Vol. de vacíos= A-B	409.3	418.7	416.4
D	Peso Mat. Seco en horno (105°C)	1105.5	1115.0	1109.5
E	Vol. de Masa = C – (A – D)	397.8	407.7	405.4
	Pe Bulk (Base seca) = D/C	2.70	2.66	2.66
	Pe Buk (Base Saturada) = A/C	2.73	2.69	2.69
	Pe Aparente (Base Seca) = D/E	2.78	2.73	2.74
	Absorción (%) = ((A-D)/D)*100	1.04	0.99	0.99
ABSORCIÓN PROMEDIO			1.01	

Fuente: Laboratorio Mecánica de Suelos de USP.

Resultados

Se muestra a continuación en la Tabla N° 15 los valores promedios obtenidos del ensayo de gravedad específica y Absorción de los agregados de la cantera de Rola – Huaraz:

Tabla N° 15. Peso Específico y Absorción de Agregado Grueso.

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN		
Peso específico aparente	2.68	gr/cm ³
Peso específico aparente S.S.S.	2.71	gr/cm ³
Peso específico nominal	2.76	gr/cm ³
Absorción	1.01	%

Fuente: Laboratorio Mecánica de Suelos de USP.

PESOS UNITARIOS

Este ensayo nos permite conocer el peso unitario del agregado en su condición compactada o suelta, así como el porcentaje de vacíos del agregado grueso, el tamaño del agregado tiene que estar por debajo de 5 pulgadas (125 mm). Se realizó de acuerdo

al EM 2000, MTC E 203 – 2000; Peso Unitario y Porcentaje de Vacíos de los Agregados, el cual está basado en la norma ASTM C29.

Equipo utilizado

- Balanza
- Varilla compactadora
- Recipientes de volúmenes adecuados

Descripción del proceso

- Se eligió el molde con dimensiones adecuadas, de acuerdo al tamaño nominal del agregado, debido a que nuestro agregado tiene un tamaño de 1/2" la cual el volumen del molde es de 2.776 cm³. Se tomaron 3 muestras con una diferencia de peso máximo de 20gr.

- Para determinar el peso unitario compactado se colocó el material en tres capas de igual volumen; en cada capa 25 golpes con la varilla sin que este choque a la base o altere capas inferiores de agregado, enrasando finalmente, pesando y tomando tres muestras para su respectivo promedio.



Figura N° 24. Prueba del Peso Unitario Suelto.



Figura N° 25. Prueba del Peso Unitario Compactado.

Cálculos del Peso Unitario Suelto del Agregado Grueso

Tabla N° 16. Peso Unitario Suelto del Agregado Grueso.

PESO UNITARIO SUELTO			
ENSAYO N°	1	2	3
Peso de Molde + Muestra	17615	17630	17655
Peso de Molde	3420	3420	3420
Peso de Muestra	14195	14210	14235
Volumen de Molde	2776	2776	2776
Peso Unitario	5113	5119	5128
Peso Unitario Promedio	5120 kg/m³		

Fuente: Laboratorio Mecánica de Suelos de USP.

Cálculos del Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso

Tabla N° 17. Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso.

PESO UNITARIO COMPACTADO			
ENSAYO N°	1	2	3
Peso de Molde + Muestra	18620	18613	18641
Peso de Molde	3420	3420	3420
Peso de Muestra	15200	15193	15221
Volumen de Molde	2776	2776	2776
Peso Unitario	5476	5473	5483
Peso Unitario Promedio	5477 kg/m³		

Fuente: Laboratorio Mecánica de Suelos de USP.

PORCENTAJE DE VACIOS AGREGADO GRUESO

Tabla N° 18. Porcentaje de Vacíos del Agregado Grueso Suelto.

AGREGADO GRUESO SUELTO		
Peso específico aparente gr/cm ³	(A)	2.68
Peso unitario suelto gr/cm ³	(B)	1.43
Peso unitario del agua (1gr/cm ³)	(W)	1
% Vacíos del agregado suelto $((A*W)-B)*100/A*W$		46.64

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 19. Porcentaje de Vacíos del Agregado Grueso Compactado.

AGREGADO GRUESO COMPACTADO		
Peso específico aparente gr/cm ³	(A)	2.89
Peso unitario compactado gr/cm ³	(B)	1.58
Peso unitario del agua (1gr/cm ³)	(W)	1
% Vacíos del agregado compactado $((A*W)-B)*100/A*W$		45.33

Fuente: Elaboración Propia.

Resultados

Tabla N° 20. Porcentaje de Vacíos del Agregado Grueso.

Descripción	Suelto		Compactado	
	Peso Unitario	Porcentaje de	Peso Unitario	Porcentaje de
	Suelto	Vacíos	Compactado	Vacíos
Agregado Grueso Piedra Chancada ½"	1.43	46.64 %	1.58	45.33 %

Fuente: Elaboración Propia.

RESULTADOS PARA EL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Resultados del Diseño de Mezcla Para el 20% de Vacíos

En la Tabla N° 21, se muestra los valores del diseño de mezcla para un concreto permeable de 20% de relación de vacíos.

Tabla N° 21. Valores de Diseño de Mezcla de Concreto Permeable 20% de Vacíos.

PROPIEDAD		AGREGADO GRUESO		UND.
Tamaño Máximo Nominal	TMN	1/2"		
Peso Especifico	Pe	2680		kg/m ³
Peso Específico SSS	Pe(sss)	2.70		gr/cm ³
Peso Unitario Suelto	Pus	1425		kg/m ³
Peso Unitario Compactado	Puc	1584		kg/m ³
Absorción	a%	1.01		%
Contenido de Humedad	C.H.%	0.98	1.0098	%

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 22. Proporciones por Probeta para la Elaboración de Concreto Permeable 20% de Vacíos.

CANTIDADES		
Cemento	2.04	Kg
Agregado Grueso	9.89	Kg
Agua Efectiva	0.82	Lt

Fuente: Elaboración Propia.

Resultados del Diseño de Mezcla Para el 30% de Vacíos

En la Tabla N° 23, se muestra los valores del diseño de mezcla para un concreto permeable de 30% de relación de vacíos.

Tabla N° 23. Valores de Diseño de Mezcla de Concreto Permeable 30% de Vacíos.

PROPIEDAD		AGREGADO GRUESO	UND.
Tamaño Máximo Nominal	TMN	1/2"	
Peso Específico	Pe	2680	kg/m ³
Peso Específico SSS	Pe(sss)	2.70	gr/cm ³
Peso Unitario Suelto	Pus	1425	kg/m ³
Peso Unitario Compactado	Puc	1584	kg/m ³
Absorción	a%	1.01	%
Contenido de Humedad	C.H.%	0.98	1.0098
			%

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 24. Proporciones por Probeta para la Elaboración de Concreto Permeable 30% de Vacíos.

CANTIDADES		
Cemento	2.04	Kg
Agregado Grueso	8.15	Kg
Agua Efectiva	0.82	Lt

Fuente: Elaboración Propia.



Figura N° 26. Elaboración de Probetas Para el Ensayo de Resistencia a la Compresión.

Una vez que se obtuvo cada uno de los diseños de mezcla se procedió a elaborar cada uno de la mezcla y el llenado de testigos según la metodología mencionada líneas arriba, dando estas probetas como resultado de la resistencia a la compresión.

El proceso que se llevó a cabo para ejercer la prueba fue lo siguiente. Para iniciar con el ensayo a compresión se tomó la medida tanto del diámetro como la altura del cilindro en dos extremos opuestos, básicamente las probetas son de 15 cm de Diámetro con 30 cm de Altura. Una vez que se ha obtenido el promedio de altura y diámetro se prosigue a pesar la muestra cilíndrica, como se muestran los valores a continuación:

Tabla N° 25. Peso del Probetas Según los Días de Curado, con 20% de Vacíos.

PESO DE MUESTRAS			
CANTERA	EDAD		
	7	14	28
	10.715	10.670	9.820
ROLA	9.978	10.245	10.330
	10.615	10.340	10.040

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 26. Peso del Probetas Según los Días de Curado, con 30% de Vacíos.

PESO DE MUESTRAS			
CANTERA	EDAD		
	7	14	28
	8.990	9.265	9.810
ROLA	9.435	9.375	9.275
	9.310	9.195	9.340

Fuente: Elaboración Propia.

Una vez que los cilindros que los cilindros han sido pesados y medidos los cilindros, coloca el espécimen sobre la placa inferior, se alinea cuidadosamente el eje del mismo con respecto al centro de la placa de asiento inferior. Al tener perfectamente colocado el espécimen, se le aplica la carga hasta que falle, se registra la carga soportada durante la prueba y anotar el tipo de falla, siguiendo como patrón, las siguientes figuras que muestra las formas de:

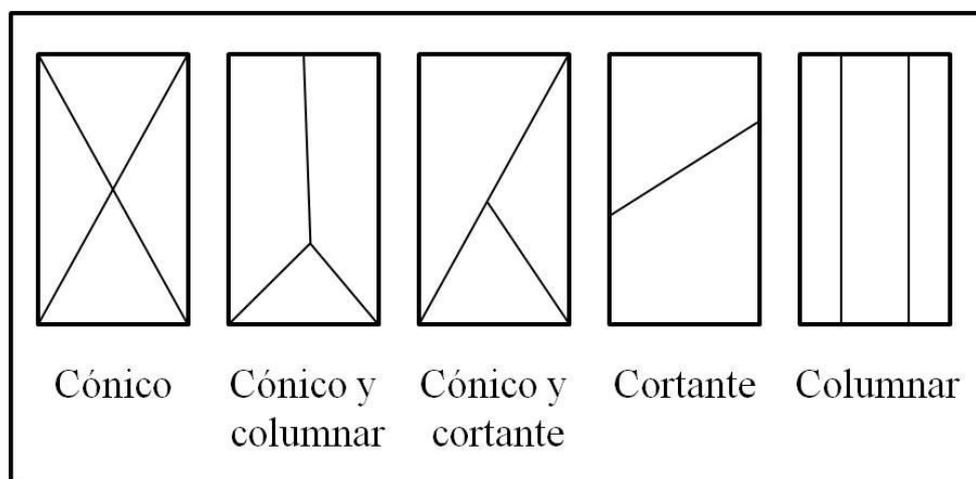


Figura N° 27. Formas de Fallas de Probetas de Concreto (Kosmatka et al., 2004).

Resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión con el 20% de Vacíos

Tabla N° 27. Resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión con el 20% de Vacíos.

	TESTIGO	SLUMP	FECHA		EDAD	FC	FC/F'C
N°	ELEMENTO	(")	MOLDEO	ROTURA	DIAS	Kg/cm2	(%)
1	20% DE VACÍOS	-	22/02/2018	01/03/2018	7	60.4	34.5
2	20% DE VACÍOS	-	22/02/2018	01/03/2018	7	60.6	34.7
3	20% DE VACÍOS	-	22/02/2018	01/03/2018	7	58.5	33.4
4	20% DE VACÍOS	-	22/02/2018	08/03/2018	14	124.0	70.9
5	20% DE VACÍOS	-	22/02/2018	08/03/2018	14	121.4	69.4
6	20% DE VACÍOS	-	22/02/2018	08/03/2018	14	118.7	67.8
7	20% DE VACÍOS	-	22/02/2018	22/03/2018	28	173.9	99.4
8	20% DE VACÍOS	-	22/02/2018	22/03/2018	28	169.3	96.7
9	20% DE VACÍOS	-	22/02/2018	22/03/2018	28	171.4	97.9

Fuente: Laboratorio Mecánica de Suelos de USP.

Resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión con el 30% de Vacíos

Tabla N° 28. Resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión con el 30% de Vacíos.

	TESTIGO	SLUMP	FECHA		EDAD	FC	FC/F'C
N°	ELEMENTO	(")	MOLDEO	ROTURA	DIAS	Kg/cm2	(%)
1	30% DE VACÍOS	-	22/02/2018	01/03/2018	7	33.9	19.4
2	30% DE VACÍOS	-	22/02/2018	01/03/2018	7	38.0	21.7
3	30% DE VACÍOS	-	22/02/2018	01/03/2018	7	35.9	20.5
4	30% DE VACÍOS	-	22/02/2018	08/03/2018	14	56.2	32.1
5	30% DE VACÍOS	-	22/02/2018	08/03/2018	14	55.5	31.7
6	30% DE VACÍOS	-	22/02/2018	08/03/2018	14	56.6	32.3
7	30% DE VACÍOS	-	22/02/2018	22/03/2018	28	96.4	55.1
8	30% DE VACÍOS	-	22/02/2018	22/03/2018	28	95.1	54.4
9	30% DE VACÍOS	-	22/02/2018	22/03/2018	28	99.7	57.0

Fuente: Laboratorio Mecánica de Suelos de USP.



Figura N° 28. Ensayo de Resistencia a la Compresión.

RESULTADOS PARA EL ENSAYO DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD

La segunda variable que se evaluó en la presente investigación es el coeficiente de permeabilidad de acuerdo a la relación de vacíos, para ello se elaboró probetas de otras dimensiones que son de 0.10 x 0.15 m; se realizó su diseño de mezcla por separado como se muestra su resultado a continuación:

Resultados del Diseño de Mezcla Para el 20% de Vacíos

En la Tabla N° 29, se muestra los valores del diseño de mezcla para un concreto permeable de 20% de relación de vacíos.

Tabla N° 29. Valores de Diseño de Mezcla de Concreto Permeable 20% de Vacíos.

PROPIEDAD	AGREGADO		UND.
		GRUESO	
Tamaño Máximo Nominal	TMN	1/2"	
Peso Específico	Pe	2680	kg/m ³
Peso Específico SSS	Pe(sss)	2.70	gr/cm ³
Peso Unitario Suelto	Pus	1425	kg/m ³
Peso Unitario Compactado	Puc	1584	kg/m ³
Absorción	a%	1.01	%
Contenido de Humedad	C.H.%	0.98	1.0098 %

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 30. Proporciones por Probeta para la Elaboración de Concreto Permeable 20% de Vacíos.

CANTIDADES		
Cemento	0.55	Kg
Agregado Grueso	2.66	Kg
Agua Efectiva	0.22	Lt

Fuente: Elaboración Propia.

Resultados del Diseño de Mezcla Para el 30% de Vacíos

En la Tabla N° 31, se muestra los valores del diseño de mezcla para un concreto permeable de 30% de relación de vacíos.

Tabla N° 31. Valores de Diseño de Mezcla de Concreto Permeable 30% de Vacíos.

PROPIEDAD	AGREGADO		UND.
		GRUESO	
Tamaño Máximo Nominal	TMN	1/2"	
Peso Especifico	Pe	2680	kg/m ³
Peso Específico SSS	Pe(sss)	2.70	gr/cm ³
Peso Unitario Suelto	Pus	1425	kg/m ³
Peso Unitario Compactado	Puc	1584	kg/m ³
Absorción	a%	1.01	%
Contenido de Humedad	C.H.%	0.98	1.0098 %

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 32. Proporciones por Probeta para la Elaboración de Concreto Permeable 30% de Vacíos.

CANTIDADES		
Cemento	0.55	Kg
Agregado Grueso	2.19	Kg
Agua Efectiva	0.22	Lt

Fuente: Elaboración Propia.

Una vez que se obtuvo cada uno de los diseños de mezcla se procedió a elaborar cada uno de la mezcla y el llenado de testigos según la metodología mencionada líneas arriba, dando estas probetas como resultado el coeficiente de permeabilidad.



Figura N° 29. Elaboración de Probetas Para el Ensayo de Permeabilidad.

Resultados del Ensayo de Permeabilidad con el 20% de Vacíos

Tabla N° 33. Resultados del Ensayo de Permeabilidad con el 20% de Vacíos.

N°	Moldeo	Fecha de Ensayo	t (seg.)	L (cm)	A (cm ²)	a (cm ²)	h1 (cm)	h2 (cm)	k (cm/seg)	k (mm/seg)
1	01/05/2018	08/05/2018	29.92	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	2.324	23.238
2	01/05/2018	08/05/2018	33.67	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	2.065	20.650
3	01/05/2018	08/05/2018	31.85	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	2.183	21.830
4	01/05/2018	08/05/2018	32.12	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	2.165	21.647
PROMEDIO									2.184	21.841

Fuente: Laboratorio Mecánica de Suelos de USP.

Leyenda:

t: Tiempo en Segundos.

L: Longitud de la muestra cm

A: Área de la muestra en cm²

a: Área del cilindro de carga en cm²

h1: Altura de la columna de agua en cm

h2: altura de la tubería de salida

k : coeficiente de permeabilidad

En la tabla N° 33, se muestra el resultados de coeficiente de permeabilidad para 20% de relación de vacíos, el coeficiente de este caso va aumentando, es decir a mayor vacíos del concreto el coeficiente de permeabilidad va aumentando, por ello en este caso da un resultado de 2.184 cm/segundo es decir por cada segundo se discurre agua por el concreto permeable 2.184 cm.

Resultados del Ensayo de Permeabilidad con el 30% de Vacíos

Tabla N° 34. Resultados del Ensayo de Permeabilidad con el 30% de Vacíos.

N°	Moldeo	Fecha de Ensayo	t (seg.)	L (cm)	A (cm ²)	a (cm ²)	h1 (cm)	h2 (cm)	k (cm/seg)	k (mm/seg)
1	01/05/2018	08/05/2018	20.62	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	3.372	33.719
2	01/05/2018	08/05/2018	21.96	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	3.166	31.662
3	01/05/2018	08/05/2018	19.65	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	3.538	35.384
4	01/05/2018	08/05/2018	22.61	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	3.075	30.752
PROMEDIO									3.288	32.879

Fuente: Laboratorio Mecánica de Suelos de USP.

Leyenda:

t: Tiempo en Segundos.

L: Longitud de la muestra cm

A: Área de la muestra en cm²

a: Área del cilindro de carga en cm²

h1: Altura de la columna de agua en cm

h2: altura de la tubería de salida

k : coeficiente de permeabilidad

En la tabla N° 34, se muestra el resultados de coeficiente de permeabilidad para 30% de relación de vacíos, el coeficiente de en este caso va aumentando, es decir a mayor vacíos del concreto el coeficiente de permeabilidad va aumentando, por ello en este caso da un resultado de 3.288 cm/segundo es decir por cada segundo se discurre agua por el concreto permeable de 3.288 cm.



Figura N° 30. Ensayo de Permeabilidad.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

En los testigos que se realizaron en el laboratorio de Suelos de la Universidad San Pedro Huaraz, de la resistencia a la compresión del concreto, con el diseño de mezcla convencional respecto a ellos la norma NTP 0.60, que nos dice que las resistencias esperadas son: 1 día = 16%, 3 días = 40%, 7 días = 65%, 14 días = 90% y 28 días = 99%.

Resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión con 20% de Vacíos

Tabla N° 35. Resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión del Concreto Experimental con 20% de Relación de Vacíos a los 7 Días de Curado.

TESTIGO	7 días	
	F´C	%
Concreto Permeable con 20 % de Vacíos	60.4	34.5
	60.6	34.7
	58.5	33.4
PROMEDIO	59.85	34.20

Fuente: Laboratorio Mecánica de Suelos de USP.

Tabla N° 36. Resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión del Concreto Experimental con 20% de Relación de Vacíos a los 14 Días de Curado.

TESTIGO	14 días	
	F´C	%
Concreto Permeable con 20 % de Vacíos	124.0	70.9
	121.4	69.4
	118.7	67.8
PROMEDIO	121.37	69.37

Fuente: Laboratorio Mecánica de Suelos de USP.

Tabla N° 37. Resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión del Concreto Experimental con 20% de Relación de Vacíos a los 28 Días de Curado.

TESTIGO	28 días	
	F´C	%
Concreto Permeable con 20 % de Vacíos	173.9	99.4
	169.3	96.7
	171.4	97.9
PROMEDIO	171.53	98.02

Fuente: Laboratorio Mecánica de Suelos de USP.

Tabla N° 38. Resumen de resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión del Concreto Experimental con 20% de Relación de Vacíos.

EDAD (días)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	%
7	59.85	34.20
14	121.37	69.37
28	171.53	98.02

Fuente: Elaboración Propia.

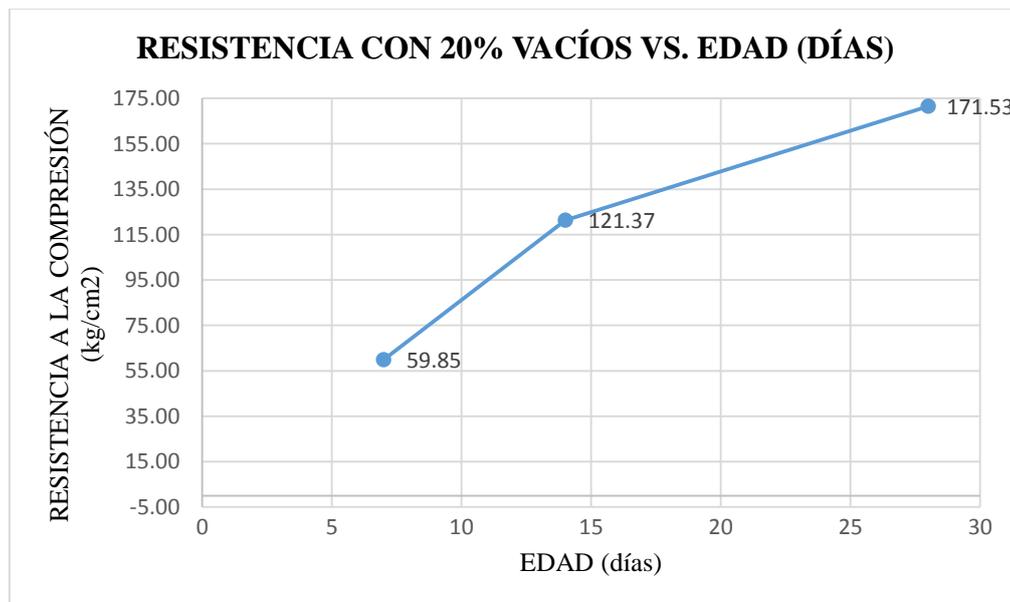


Figura N° 31. Resistencia con 20% Vacíos Vs. Edad (días) (Elaboración Propia).

Se verificó que la resistencia a la compresión a 20% de Relación de Vacíos va aumentando conforme aumenta los días de curado, a los 7 días de curado la resistencia a la compresión es de 59.85 kg/cm², a los 14 días de curado sigue aumentando la resistencia a la compresión y llega a 112.37 kg/cm²; así también a los 28 días de curado llega a la resistencia a la compresión más alta que es de 171.53 kg/cm². Según Meininger 1998, indica que es un resultado favorable ya que la resistencia a la compresión está ligado fuertemente a dos grandes factores que es el esfuerzo de compactación y el porcentaje de vacíos; de la presente investigación a mayor porcentaje de vacíos, menor será la resistencia a la compresión; por ello este es un resultado favorable en lo que son los concretos permeables.

Resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión con 30% de Vacíos

Tabla N° 39. Resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión del Concreto Experimental con 30% de Relación de Vacíos a los 7 Días de Curado.

TESTIGO	7 días	
	F´C	%
	33.9	19.4
Concreto Permeable con 30 % de Vacíos	38.0	21.7
	35.9	20.5
PROMEDIO	35.91	20.52

Fuente: Laboratorio Mecánica de Suelos de USP.

Tabla N° 40. Resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión del Concreto Experimental con 30% de Relación de Vacíos a los 14 Días de Curado.

TESTIGO	14 días	
	F´C	%
	56.2	32.1
Concreto Permeable con 30 % de Vacíos	55.5	31.7
	56.6	32.3
PROMEDIO	56.10	32.06

Fuente: Laboratorio Mecánica de Suelos de USP.

Tabla N° 41. Resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión del Concreto Experimental con 30% de Relación de Vacíos a los 28 Días de Curado.

TESTIGO	28 días	
	F´C	%
Concreto Permeable con 30 % de Vacíos	96.4	55.1
	95.1	54.4
	99.7	57.0
PROMEDIO	97.09	55.48

Fuente: Laboratorio Mecánica de Suelos de USP.

Tabla N° 42. Resumen de resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión del Concreto Experimental con 30% de Relación de Vacíos.

EDAD (días)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	%
7	35.91	20.52
14	56.10	32.06
28	97.09	55.48

Fuente: Elaboración Propia.

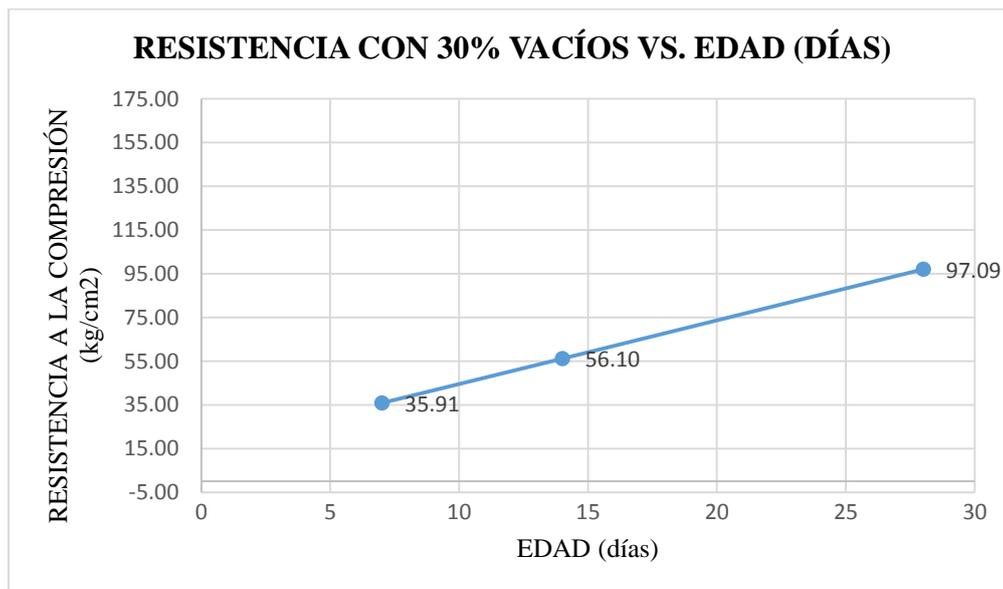


Figura N° 32. Resistencia con 30% Vacíos Vs. Edad (días) (Elaboración Propia).

Se verificó que la resistencia a la compresión a 30% de Relación de Vacíos va aumentando conforme aumenta los días de curado, a los 7 días de curado la resistencia a la compresión es de 35.91 kg/cm², a los 14 días de curado sigue aumentando la resistencia a la compresión y llega a 56.10 kg/cm²; así también a los 28 días de curado llega a la resistencia a la compresión más alta que es de 97.09 kg/cm². Según Meininger 1998, indica que es un resultado favorable ya que la resistencia a la compresión está ligado fuertemente a dos grandes factores que es el esfuerzo de compactación y el porcentaje de vacíos; de la presente investigación a mayor porcentaje de vacíos, menor será la resistencia a la compresión; por ello este es un resultado favorable en lo que son los concretos permeables.

Gráfico Comparativo Entre el 20% y 30% de Vacíos

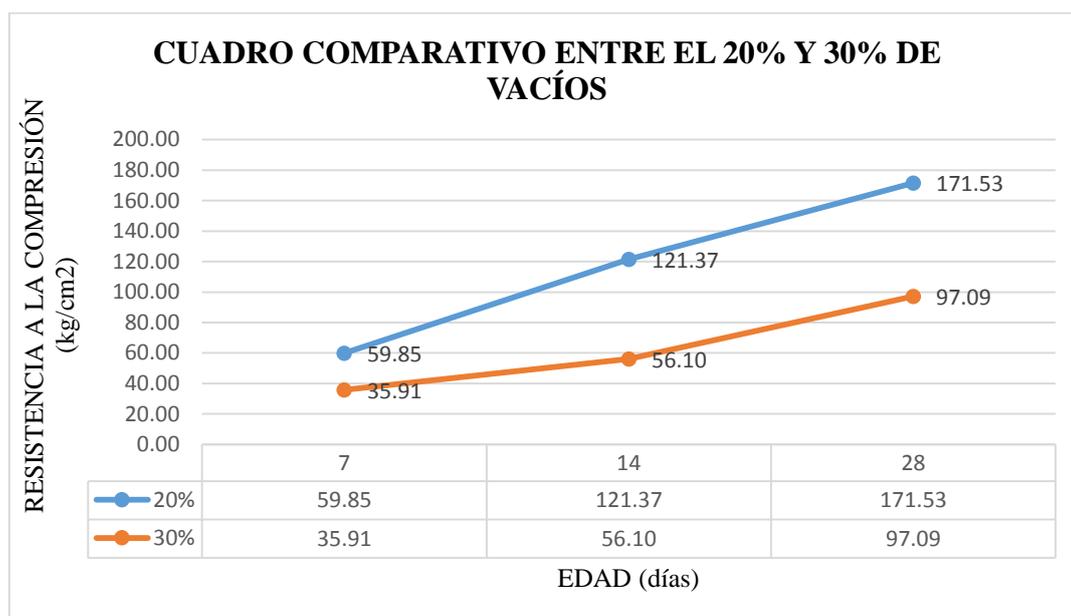


Figura N° 33. Cuadro Comparativo Entre el 20% y 30% de Vacíos (Elaboración Propia).

Obteniendo nuestra grafica se pudo observar que la Cantera Rola de la ciudad de Huaraz tiene un mejor comportamiento mecánico a los 28 días en cuanto a un 20% de y 30% de vacío, se observa que la mayor resistencia alcanzada es con el 20% de vacíos,

a comparación del de 30% de vacíos. Se realizó en cuatro capas con 5 golpes en cada capa, esto contribuye a una compactación ligera y una mejor obtención de resultados.

La resistencia a la compresión del concreto en cada uno de los tipos diseñados ha ido evolucionando directamente proporcional con el tiempo.

Tabla N° 43. Cuadro de Cálculo de la Prueba ANOVA del Ensayo de Resistencia a la Compresión a los 7 días de Edad.

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS DE EDAD											
Probetas	% de vacíos	ϕ cm	h cm	$V m^3$	Peso kg	Densidad del H° kg/m ³	Densidad promedio kg/m ³	Área cm ²	Carga (P) kg	Esfuerzo de compresión kg/cm ²	f'c kg/cm ²
1		15.00	30	0.005	12.38	2476.00		176.71	10670	60.38	
2	20%	15.01	30	0.005	12.21	2440.37	2458.12	176.95	10715	60.55	59.85
3		15.00	30	0.005	12.29	2458.00		176.71	10340	58.51	
4		15.00	30	0.005	12.17	2434.20		176.71	5990	33.90	
5	30%	15.00	30	0.005	12.57	2513.60	2480.93	176.71	6710	37.97	35.91
6		15.00	30	0.005	12.48	2495.00		176.71	6335	35.85	

Fuente: Elaboración Propia.

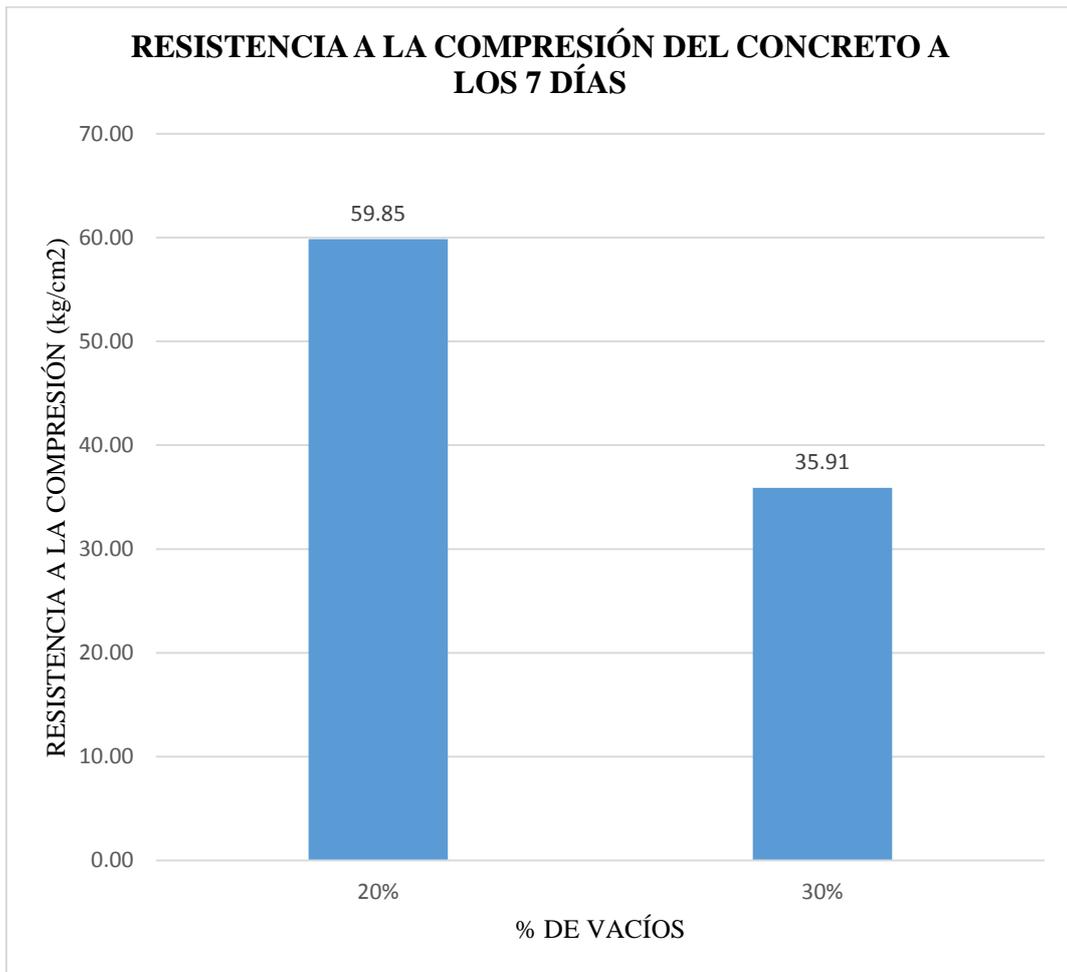


Figura N° 34. Resistencia a la Compresión del Concreto a los 7 Días de Curado (Elaboración Propia).

Tabla N° 44. Cuadro de Cálculo de la Prueba ANOVA del Ensayo de Resistencia a la Compresión a los 14 días de Edad.

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS DE EDAD											
Probetas	% de vacíos	ϕ cm	h cm	V m ³	Peso kg	Densidad del H ^o	Densidad promedio kg/m ³	Área cm ²	Carga (P) kg	Esfuerzo de compresión kg/cm ²	f'c kg/cm ²
						kg/m ³					
1		15.01	30	0.005	12.38	2474.35		176.95	21910	123.82	
2	20%	15.00	30	0.005	12.21	2442.00	2458.12	176.71	21460	121.44	121.37
3		15.00	30	0.005	12.29	2458.00		176.71	20970	118.67	
4		15.00	30	0.005	12.17	2434.20		176.71	9930	56.19	
5	30%	15.01	30	0.005	12.57	2511.93	2480.38	176.95	9810	55.44	56.10
6		15.00	30	0.005	12.48	2495.00		176.71	10000	56.59	

Fuente: Elaboración Propia.

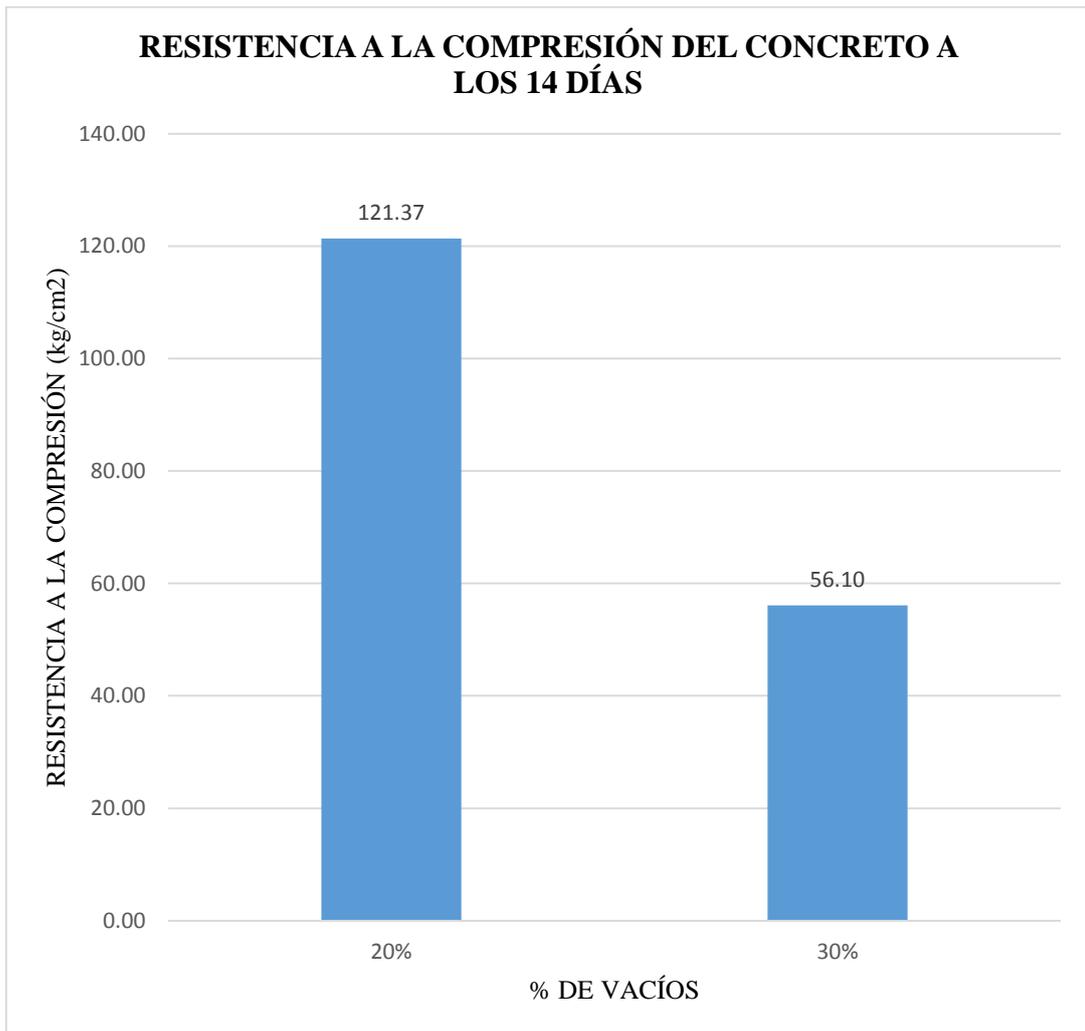


Figura N° 35. Resistencia a la Compresión del Concreto a los 14 Días de Curado (Elaboración Propia).

Se tiene la evolución de la resistencia alcanzado con respecto a los días de Curado, como se observó en la figura, la variación de la resistencia a la compresión respecto al porcentaje de vacíos es inversamente proporcional, a mayor porcentaje de vacíos menor será la resistencia a la compresión y a menor porcentaje de vacíos mayor será la resistencia a la compresión.

Tabla N° 45. Cuadro de Cálculo de la Prueba ANOVA del Ensayo de Resistencia a la Compresión a los 28 días de Edad.

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS DE EDAD											
Probetas	% de vacíos	ϕ cm	h cm	V m ³	Peso kg	Densidad del H° kg/m ³	Densidad promedio kg/m ³	Área cm ²	Carga (P) kg	Esfuerzo de compresión kg/cm ²	f'c kg/cm ²
2	20%	15.00	30	0.005	12.21	2442.00	2458.67	176.71	2991.3	169.27	171.53
3		15.00	30	0.005	12.29	2458.00		176.71	3028.2	171.36	
4		15.00	30	0.005	12.17	2434.20		176.71	1703.4	96.39	
5	30%	15.01	30	0.005	12.57	2511.93	2480.38	176.95	1681.3	95.02	97.09
6		15.00	30	0.005	12.48	2495.00		176.71	1762.1	99.71	

Fuente: Elaboración Propia.

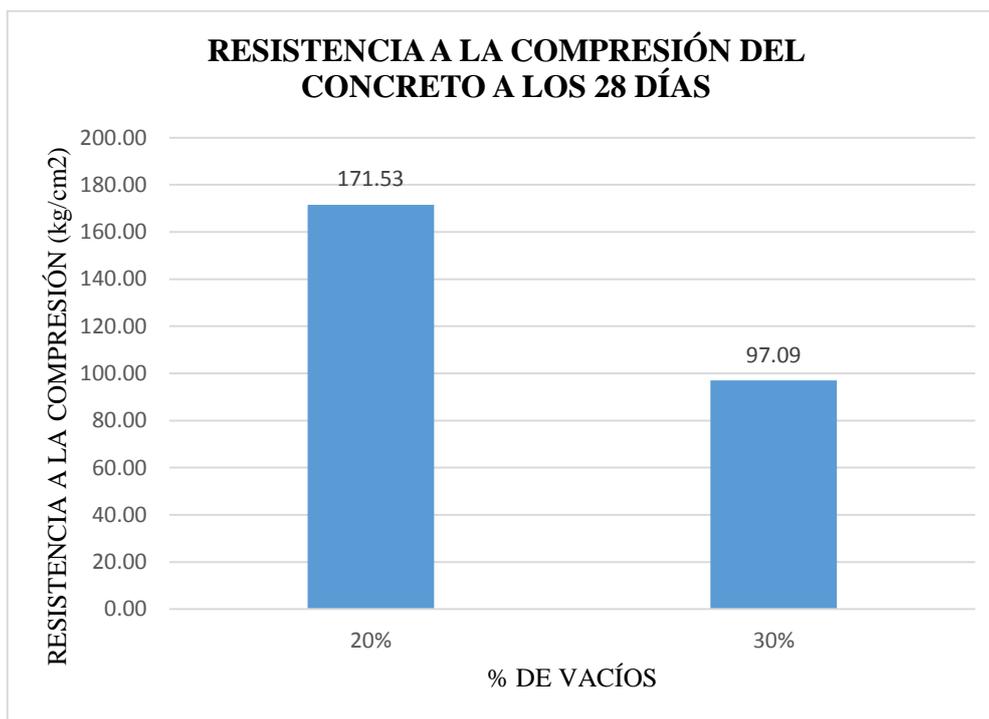


Figura N° 36. Resistencia a la Compresión del Concreto a los 28 Días de Curado (Elaboración Propia).

Para realizar el análisis se tomó en cuenta la norma ACI 522 (Pervious Concrete), que toma como referencia las investigaciones de Richard C. Meininger (No-Fines Pervious Concrete for paving, 1988), sus indicaciones para obtener un concreto permeable con óptimas características la cual se siguió para la realización de la presente tesis de investigación.

De esta manera se pudo discutir los resultados obtenidos con las indicaciones de Richard C. Meininger, teniendo los siguientes puntos:

Como se muestran los resultados, en el figura se pudo apreciar que la más eficiente de los dos porcentajes de vacíos estudiados en la presente investigación es el porcentaje de 20% de relación de vacíos, que alcanza una resistencia máxima de 171.53 kg/cm² a los 28 días y por último la relación de vacíos de 30% es la que menor resistencia tiene a lo largo de los días de curado alcanzado una resistencia a la compresión de 97.09 kg/cm²; sin embargo haciendo una comparación con resultados

de investigaciones pasadas con respecto al concreto permeable se indica que los datos obtenidos en la presente investigación son favorables.

Se utilizó agregado grueso de TN 1/2" de piedra chancada (ASTM C 33, tamaño N° 8), y un porcentaje de vacíos de 20% y 30%, que de acuerdo a los cuadros dados por Meininger nos debe dar una resistencia de 175 Kg/cm², viendo nuestros resultados se usó una compactación ligera es decir 3 capas con 5 golpes usando Martillo Compactador (Proctor Estándar), la cual me resulta una resistencia de 171.53 Kg/cm² es decir el 98.02 % de la resistencia referencial.

El diseño de mezcla se realizó de acuerdo a el contenido de vacíos (20% y 30%) la cual ACI 522 nos referencia valores para el contenido de pasta (0.23) que utilizamos para la realización de nuestro diseño de mezcla final.

Se utilizó las indicaciones de Meininger en cuanto a la relación a/c la cual nos da las óptimas que varían entre 0.35 a 0.45, se utilizó para esta investigación el promedio de ambos la cual es 0.40.

Meininger recomienda una relación a/c de 0.35 a 0.45 para tener una mezcla correcta, sin embargo, se notó que al momento de realizar la mezcla en la maquina mezcladora (trompito) se apelmazo nuestro agregado por ello se utilizó un 20% de desperdicio para el correcto llenado de las probetas.

El coeficiente de permeabilidad promedio hallado de las probetas de concreto permeable elaboradas al 30% de relación de vacíos, presenta un menor comportamiento en comparación con el coeficiente de permeabilidad obtenido de la relación de vacíos de 20%.

El coeficiente de permeabilidad mejoró mucho respecto al porcentaje de vacíos de 30%; dado estos resultados vemos que la relación de vacíos respecto al coeficiente de permeabilidad varían directamente proporcional, a mayor porcentaje de vacíos mejor es el coeficiente de permeabilidad y a menor porcentaje de vacíos menor en el coeficiente de permeabilidad; en el porcentaje de vacíos de 20% el coeficiente de permeabilidad resulto de 2.184 cm/seg; mientras que en la relación de vacíos de 30%

el coeficiente de permeabilidad resulto 3.288 cm/seg; como vemos cada uno de los resultados obtenidos están dentro del rango de los coeficientes de permeabilidad.

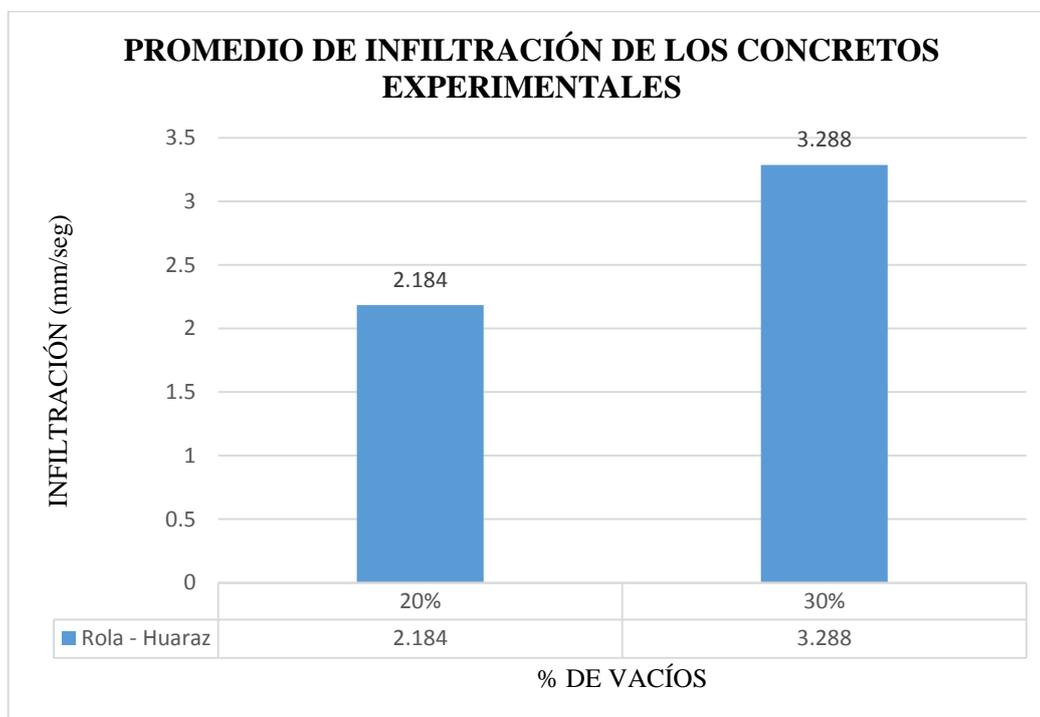


Figura N° 37. Promedio de Infiltración de los Concretos Experimentales (Elaboración Propia).

A mayor relación de vacíos, menor es el peso específico, por ello que para una relación de vacíos de 20%, mayor será la capacidad de resistencia a la compresión ya que hay menos espacios vacíos.

Tabla N° 46. Comparación de Resistencias a la Compresión del Concreto con Porcentajes de vacíos y Días de Curado.

DÍAS DE CURADO	RESISTENCIA DE CONCRETO CON PORCENTAJE DE VACÍOS	
	20%	30%
7	59.85	35.91
14	121.37	56.10
28	171.53	97.09

Fuente: Laboratorio Mecánica de Suelos de USP.

En la Tabla N° 46 se puede apreciar que las resistencias a la compresión de las probetas de concreto son mayores a los 28 días de curado.

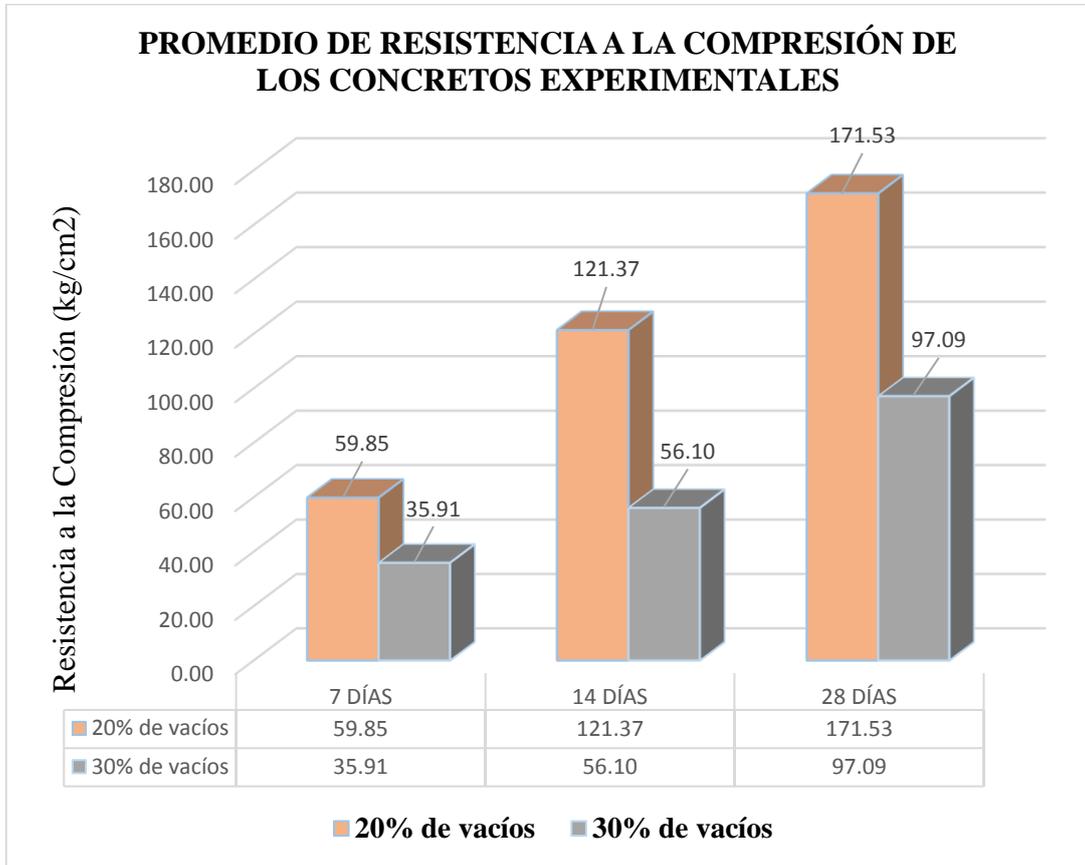


Figura N° 38. Promedio de Resistencia a la Compresión de los Concretos Experimentales (Elaboración Propia).

Después de verificar el cumplimiento de los supuestos de normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (Contraste de Levene) de las resistencias medias obtenidas en las probetas de concreto para cada tratamiento (porcentaje de vacíos) se procedió a realizar la prueba ANOVA.

DISEÑO DE BLOQUES COMPLETOS AL AZAR (DBCA)

Modelo Aditivo Lineal

$$\gamma_{ij} = \mu + \beta_j + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

- γ_{ij} : Valor observado en la unidad experimental
- μ : Efecto de la media general
- β_j : Efecto del j-esimo bloque j:1,2,3
- τ_i : Efecto del i-esimo tratamiento i:1,2,3,4,5.
- ϵ_{ij} : Efecto aleatorio del error experimental

Análisis de la Varianza

Tabla N° 47. Fórmulas de Análisis de Varianza (ANOVA).

FV	GL	SC	CM	Fcal
Bloques	(b-1)	$\sum x^2_{.j}/t - (\sum x)^2/bt$	$Sc_b/b-1$	CM_b/CMe
Tratamientos	(t-1)	$\sum x^2_{i.}/b - (\sum x)^2/bt$	$Sc_t/t-1$	CM_t/CMe
Error Experimental	(b-1)(t-1)	$Sc_{total} - Sc_{bloque} - Sc_{tratamiento}$	$Sce/(b-1)(t-1)$	
Total	bt-1	$\sum x^2_{.} - (\sum x)^2/bt$		

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 48. Análisis de Varianza para Determinar las Diferencias de las Resistencias de los Concretos Experimentales $f'_c=175 \text{ kg/cm}^2$.

Origen de las variaciones	Suma de Cuadrados	gl	Promedio de los Cuadrados	F	Prob	Valor Crítico Para F
Días	7475.121	2	3737.560	10.308	0.05	5.14
Tipos de concreto	4462.463	1	4462.463	12.308	0.05	5.32
Error	725.145	2	362.573			
Total	12662.729	3				

Fuente: Elaboración Propia.

Al ser los valores de la Probabilidad menores que 0.05 y la $F_{calculada} > F_{crítico}$, tal como se puede observar en la presente Tabla ($10.308 > 5.14$ y $12.308 > 5.32$), indica que existen diferencias significativas entre las resistencias a la compresión de los concretos experimentales con 20% y 30% de vacíos.

Se tiene que la mayor resistencia a la compresión le corresponde a la probeta de 20% de vacíos y finalmente se tienen que la resistencia a la compresión en la probeta con 30% de vacío es menor.

Los especímenes elaborados de los concretos experimentales no alcanzaron su resistencia óptima.

CONCLUSIONES

La relación agua cemento para el concreto experimental fue de 0.40, dentro del parámetro considerado por Meininger (0.35 – 0.45).

La Norma ACI 522 maneja un rango referencial de valores para el ensayo de resistencia a la compresión del concreto permeable, y el rango es de 28.55 kg/cm² a 285.51 kg/cm², quedando dentro de esta variación todas las muestras elaboradas.

La resistencia a la compresión del concreto a los 7, 14 y 28 días, se determinó en que a los 28 días alcanzó su máxima resistencia obteniendo así 171.53 kg/cm² y 97.09 kg/cm², a 20% de relación de vacíos y 30% de relación de vacíos respectivamente.

Las variaciones de la resistencia a la compresión con respecto al porcentaje de vacíos van inversamente proporcionales, esto quiere decir que a menor porcentaje de vacíos mayor será la resistencia a la compresión.

El coeficiente de permeabilidad según el porcentaje de vacíos se dio de la siguiente manera, para el 20% de vacíos el coeficiente de permeabilidad resulto de 2.184 cm/seg; mientras que en la relación de vacíos de 30% el coeficiente de permeabilidad resulto de 3.288 cm/seg, cada uno de los resultados obtenidos están dentro del rango de los coeficientes de permeabilidad.

Las variaciones del coeficiente de permeabilidad con respecto al porcentaje de vacíos van directamente proporcionales, esto quiere decir que a mayor porcentaje de vacíos mayor es el coeficiente de permeabilidad.

A los 28 días, la resistencia a la compresión con 30% de sustitución de cemento está por debajo que la resistencia a la compresión con 20% de vacíos en 43.42%.

En el cuadro ANOVA se puede ver que existen diferencias **significativas** entre las resistencias a la compresión de los concretos experimentales al 20% y 30%.

RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones recomendaría analizar la con diferentes relaciones de vacíos, y poder determinar la resistencia a la compresión y el coeficiente de permeabilidad; ya que podrían dar resultados favorables.

Utilizar los métodos que proponen el ACI 211.3R-02 “Guía para el Proporcionamiento de Concretos de Cero Slump”, y el ACI 522R-10 “Reporte en Concreto Permeable”.

Estudiar el empleo de otros materiales añadidos en el diseño de mezcla del concreto permeable. A modo de verificar la viabilidad técnica y económica de su incorporación.

Para la recolección de nuestro agregado grueso (piedra chancada de 1/2”) se observó muchas impurezas en la Cantera y por ello se necesita pasar por una limpieza y tamizado, para obtener un agregado grueso puro y con el mismo tamaño nominal.

El concreto permeable es un producto diseñado para permitir el paso del agua, recreando su ciclo natural y facilitando su almacenamiento y posterior reutilización; como por ejemplo para el riego de jardines.

AGRADECIMIENTO

En este momento de mi vida, quiero dedicar este triunfo a las personas que a través del tiempo me han apoyado y han hecho que este logro se haga realidad: a Dios por ser la base y guía de mi vida, a mis padres JORGE LEÓN DÁVILA y JULIA ANAYA FERNÁNDEZ, ellos han hecho de mí la persona que soy hoy, me han ofrecido el amor, la confianza y el respeto, me brindaron su apoyo incondicional en todo momento; a mis abuelitos ELVIRA, JULIANA y NAZARIO quienes han sido un excelente apoyo en mi vida, a los Docentes de la Universidad, que nos han formado como profesionales con ética y valores. Y que a través de ellos nos desempeñaremos en la vida como grandes personas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI-522R.6. (2006). Pervious Concrete. American Concrete Institute.
- ACI Committee 522R-10 (2010). Report on Pervious Concrete.
- ACI 211.3R-97 (1998), Guide for selecting proportions for no-slump concrete. Appendix 7 Pervious concrete mix proportioning. 211.3R-21. American Concrete Institute.
- ASTM_C127. (1993). Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate. USA: ASTM International.
- ASTM_C131. (1996). Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. USA: ASTM International.
- ASTM-C1688/ C 1688M.-08. (2010). Standard Test Method for Density and Void.
- Calderón Colca, Y. & Charca Chura J. (2013). Análisis y diseño de pavimentos permeables de concreto Poroso. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.
- Candelas L. (2010). “Tecnología del Concreto Permeable o Ecológico En La Construcción” (Proyecto Terminal en Extenso para Obtener el Grado de Especialista en Construcción) Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/6287/disenio_de_un_concreto_permeable_para_la_recuperacion_de_agua.pdf.
- Castro J., De Solminihac H., Videla C. y Bonifacio Fernández (2009). Estudio de dosificaciones en laboratorio para pavimentos porosos de hormigón. Ingeniería de Construcción vol. 24 N° 3 Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile. Recuperado de www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732009000300005.

- Cruz P. & Segovia A. (2014). "Diseño de un concreto permeable para la recuperación de agua" (Programa Educativo de Ingeniería Civil) Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo – México. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/322845217/disen-de-un-concreto-permeable-para-la-recuperacion-de-agua-pdf>
- Debo T. y Reese A. (1995), "Municipal Storm Water Management", Lewis Publishers. Londres, Inglaterra.
- EPA (1999), "Storm Water Technology Fact Sheet, Porous Pavement", EPA 832-F-99-023, Washington DC, USA
- FCCA (1990), Florida Concrete and Products Association, Pervious Pavement Manual, Orlando, Florida. Recuperado de <http://stars.library.ucf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4071&context=etd>.
- Fernández Arrieta, R. y Navas Carro A. (2008). Diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad. Costa Rica: Universidad de Costa Rica. Recuperado de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/vial/article/download/1982/1949>.
- Flores C. & Pacompia I. (2015). Universidad Nacional del Altiplano Puno. Repositorio Tesis UNAP: Tesis Concreto Permeable. Recuperado de https://www.UNAP/repositorio.unap.edu.pe/FLORES_QUISPE_CESAR_EDDY_PACOMPIA_CALCINA_IVA_ALEXANDER.
- García Haba et al (2011). Control de escorrentías urbanas mediante pavimentos permeables: aplicación a climas mediterráneos. Tesis de Master en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia. España.
- Godoy A., Ramírez R. (2006). "Patología de pavimentos rígidos de la ciudad de Asunción". (Tesis Para Optar el Título Profesional en Ingeniería Civil)

- Universidad Nacional de Asunción – Paraguay. Recuperado de http://www.academia.edu/12129244/TESIS_4_COMPLETA_FINAL.
- Kosmatka, Steven H.; Kerkhoff, Beatrix; Panarese, William C.; y Tanesi, Jussara (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*, EE.UU: Portland Cement Association. Illinois. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/189238711/Libro-Diseño-y-control-de-mezclas-de-concreto-PCA-1>.
- Meininger (1988), No-Fines Pervious Concrete for Paving. *Concrete International*, Vol. 10, No. 8.
- Ministerio de Vivienda y Construcción (2006), *Reglamento Nacional de Edificaciones*, 1ra. Edición, Lima, Perú.
- Moujir Salazar, Y. F. & Castañeda Urrego, L. F. (2014). *Diseño y aplicación de concreto poroso para pavimentos*. Tesis de título en ingeniería civil. Pontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia.
- Pérez D. (2009). “Estudio Experimental de Concretos Permeables con Agregados Andesíticos” (Tesis para Optar el grado de maestro en Ingeniería) Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3443/perezramos.pdf?sequence=1>.
- Rodas N. (2012). “Desarrollo y Uso de Bloques de Concreto Permeable en Senderos Ecológicos” (Tesis para Optar el título Profesional de Ingeniero Civil) Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3428_C.pdf.
- Ruíz C. (2011) “Análisis de los factores que producen el deterioro de los pavimentos rígidos”. Sangolquí, Ecuador. Recuperado de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/3033/1/T-ESPE-030924.pdf>.

Navas Carro, A. & Fernández Arrieta., R. (2008). Diseño de mezcla para evaluar su resistencia al a compresión uniaxial y su permeabilidad. Universidad de Costa Rica, Costa Rica.

NTP-400.012. (2002). Análisis granulométrico del agregado fino y grueso global. Norma Técnica Peruana.

NTP-400.021. (2002). Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción de agregado grueso. Norma técnica Peruana.

Pérez Ramos, D. (2009). Estudio Experimental de concretos permeables con Agregados Andesíticos. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Tennis, P.D.; Leming, M. L.; & Akers, D. J. (2004). Pervious Concrete Pavements, EB302, Portland cement Association, Skokie, Illinois, and National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring, Maryland.

ANEXOS Y APÉNDICE

Anexo N° 1. Matriz de Consistencia.

PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES
<p>¿Cuál es la resistencia a la compresión y la permeabilidad de un concreto elaborado con el agregado grueso de la Cantera Rola – Huaraz?</p>	<p>Si se utiliza el agregado grueso de la Cantera Rola se tendrá una resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto según las normas.</p>	<p>Objetivo general:</p> <p>Determinar la resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto elaborado con el agregado grueso de la Cantera Rola – Huaraz.</p> <p>Objetivos Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Realizar el análisis granulométrico del agregado grueso de la Cantera Rolan – Huaraz. ✓ Determinar el diseño de mezcla con los datos del análisis granulométrico. ✓ Realizar la elaboración de probetas. ✓ Realizar el ensayo de resistencia a la compresión y permeabilidad de las probetas a los 7, 14 y 28 días. ✓ Comparar los resultados para la resistencia y permeabilidad. 	<p style="text-align: center;">Variable Independiente:</p> <p style="text-align: center;">Agregado grueso de la Cantera Rola.</p> <p style="text-align: center;">Variable dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Resistencia a la compresión. ✓ Permeabilidad.

Anexo N° 2. Resultados de Diseño de Mezcla del Concreto Experimental de 20% de Vacíos Para el Ensayo de Resistencia a la Compresión.

DISEÑO DE MEZCLA (AGREGADO DE 1/2")
HUARAZ
ROLA



NORMATIVIDAD:

ACI 211.3R-02 "Guía para la Selección de proporciones para Concreto de Cero Slump"
 ACI 522R-10 "Reporte de Concreto permeable"

DATOS INICIALES:

MATERIALES:

CANTERA: ROLA

PROPIEDAD	AGREGADO GRUESO			UND.
Tamaño Maximo Nominal	TMN	1/2"		
Peso Especifico	Pe	2680		kg/m ³
Peso Especifico SSS	Pe(sss)	2.70		gr/cm ³
Peso Unitario Suelto	Pus	1425		kg/m ³
Peso Unitario Compactado	Puc	1584		kg/m ³
Absorcion	a%	1.01		%
Contenido de Humedad	C.H.%	0.98	1.0098	%

EL PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO PORTLAND TIPO 1 VARIA DE 2.90 a 3.15

PROPIEDAD		Valor	Und.
Peso Especifico del Cemento	Pec	3.15	gr/cm ³
Peso Especifico del Agua	Pew	1	gr/cm ³

CALCULOS:

$$V_p = V_c + V_a$$

Donde:

V_p : Volumen de Pasta
 V_c : Volumen de cemento.
 V_a : Volumen de agua

La cual se expresa como:

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

Considerando peso específico del cemento y agua son 3.15 gr/cm³ y 1.00 gr/cm³ respectivamente, se tiene:

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

Y con relación a/c, obtenemos:

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

Reemplazando el volumen de pasta y la relación a/c:

$$0.23 = \frac{c}{3.15 * 1000} + \frac{0.40 * c}{1.00 * 1000}$$

De donde:

c: 320.57
a: 128.23

CALCULO DE VOLUMENES ABSOLUTOS:

	Pesos SSS (Kg)	P.E (Kg/m ³)	Volumen (m ³)
Agua	128.23	1000	0.128
Cemento	320.57	3150	0.102
Vacios			0.200
		Parcial	0.430
		Agregado Grueso	0.570
		Total	1.000

Agregado Grueso:

	Pesos SSS (Kg)	P.E (Kg/m ³)	Volumen (m ³)
Agregado Grueso	1539.00	2700	0.57

CORRECCION POR HUMEDAD, ABSORCION Y APORTE:

	Agregado Grueso
Humedad (C.H. %)	0.99
Absorcion (a%)	1.01
Aporte	-0.31

CORRECCION POR HUMEDAD DEL AGREGADO:

	CANTIDADES	UND
Cemento	320.57	Kg/m ³
Agregado Grueso	1554.09	Kg/m ³
Agua Efectiva	128.54	Kg/m ³

PROPORCIONES DE DISEÑO DE MEZCLA EN PESO:

	CANTIDADES CORREGIDAS	
Cemento	1	
Agregado Grueso	4.85	
Agua efectiva	17.04	Lts.

M3 de Cada Molde

Diametro	15
Alto	30
Radio	7.5
Volumen	0.005301438

Proporcion por molde de probeta

	CANTIDADES	
Cemento	1.70	Kg
Agregado Grueso	8.24	Kg
Agua Efectiva	0.68	Lt

MOLDE DE PROBETA CON 20% DE DESPERDICIO

ΣCANTIDADES	20%	TOTAL
10.62	2.12	12.74

***CORRECCION POR HUMEDAD DEL AGREGADO:**

	CANTIDADES	DESPERDICIO	
Cemento	320.57	12.74	2.04
Agregado Grueso	1554.09	12.74	9.89
Agua Efectiva	128.54	12.74	0.82
TOTAL	2003.19		12.74

CANTIDADES CORREGIDAS CON 20% DE DESPERDICIO POR PROBETA

	CANTIDADES	
Cemento	2.04	Kg
Agregado Grueso	9.89	Kg
Agua Efectiva	0.82	Lt

Anexo N° 3. Resultados de Diseño de Mezcla del Concreto Experimental de 30% de Vacíos Para el Ensayo de Resistencia a la Compresión.

**DISEÑO DE MEZCLA (AGREGADO 1/2")
HUARAZ
ROLA**



NORMATIVIDAD:

ACI 211.3R-02 "Guía para la Selección de proporciones para Concreto de Cero Slump"
ACI 522R-10 "Reporte de Concreto permeable"

DATOS INICIALES:

MATERIALES:

CANTERA: ROLA

PROPIEDAD	AGREGADO GRUESO			UND.
Tamaño Máximo Nominal	TMN	1/2"		
Peso Específico	Pe	2680		kg/m ³
Peso Específico SSS	Pe(sss)	2.70		gr/cm ³
Peso Unitario Suelto	Pus	1425		kg/m ³
Peso Unitario Compactado	Puc	1584		kg/m ³
Absorción	a%	1.01		%
Contenido de Humedad	C.H.%	0.98	1.0098	%

EL PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO PORTLAND TIPO 1 VARIA DE 2.90 a 3.15

PROPIEDAD		Valor	Und.
Peso Específico del Cemento	Pec	3.15	gr/cm ³
Peso Específico del Agua	Pew	1	gr/cm ³

CALCULOS:

$$Vp = Vc + Va$$

Donde:

Vp : Volumen de Pasta
Vc : Volumen de cemento.
Va : Volumen de agua

La cual se expresa como:

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

c : Peso del cemento por m³ de mezcla.
a : Peso del agua por m³ de mezcla.
P.E.c : Peso específico del cemento.
P.E.a : Peso específico del agua

Considerando peso específico del cemento y agua son 3.15 gr/cm³ y 1.00 gr/cm³ respectivamente, se tiene:

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

Y con relación a/c, obtenemos:

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

Reemplazando el volumen de pasta y la relación a/c:

$$0.23 = \frac{c}{3.15 * 1000} + \frac{0.40 * c}{1.00 * 1000}$$

De donde:

c:	320.57
a:	128.23

CALCULO DE VOLUMENES ABSOLUTOS:

	Pesos SSS (Kg)	P.E (Kg/m ³)	Volumen (m ³)
Agua	128.23	1000	0.128
Cemento	320.57	3150	0.102
Vacios			0.300
		Parcial	0.530
		Agregado Grueso	0.470
		Total	1.000

Agregado Grueso:

	Pesos SSS (Kg)	P.E (Kg/m ³)	Volumen (m ³)
Agregado Grueso	1269.00	2700	0.47

CORRECCION POR HUMEDAD, ABSORCION Y APORTE:

	Agregado Grueso
Humedad (C.H. %)	0.99
Absorcion (a%)	1.01
Aporte	-0.25

CORRECCION POR HUMEDAD DEL AGREGADO:

	CANTIDADES	UND
CEMENTO	320.57	Kg/m ³
Ag. Grueso H.	1281.44	Kg/m ³
Agua Efectiva	128.48	Kg/m ³

PROPORCIONES DE DISEÑO DE MEZCLA EN PESO:

	CANTIDADES CORREGIDAS	
Cemento	1	
Agrueso Grueso	4.00	
Agua efectiva	17.03	lt

M3 de Cada Molde

Diametro	15
Alto	30
Radio	7.5
Volumen	0.005301438

Proporcion por molde de probeta

	CANTIDADES	
Cemento	1.70	Kg
Agregado Grueso	6.79	Kg
Agua Efectiva	0.68	Lt

MOLDE DE PROBETA CON 20% DE DESPERDICIO

ΣCANTIDADES	20%	TOTAL
9.17	1.83	11.01

***CORRECCION POR HUMEDAD DEL AGREGADO:**

	CANTIDADES	DESPERDICIO	
Cemento	320.57	11.01	2.04
Agregado Grueso	1281.44	11.01	8.15
Agua Efectiva	128.48	11.01	0.82
TOTAL	1730.49		11.01

CANTIDADES CORREGIDAS CON 20% DE DESPERDICIO POR PROBETA

	CANTIDADES	
Cemento	2.04	Kg
Agregado Grueso	8.15	Kg
Agua Efectiva	0.82	Lt

Anexo N° 4. Resultados de Diseño de Mezcla del Concreto Experimental de 20% de Vacíos Para el Ensayo de Permeabilidad.

DISEÑO DE MEZCLA (AGREGADO 1/2")
HUARAZ
ROLA



NORMATIVIDAD:

ACI 211.3R-02 "Guía para la Selección de proporciones para Concreto de Cero Slump"
 ACI 522R-10 "Reporte de Concreto permeable"

DATOS INICIALES:

MATERIALES:

CANERA: ROLA

PROPIEDAD	AGREGADO GRUESO			UND.
Tamaño Máximo Nominal	TMN	1/2"		
Peso Específico	Pe	2680		kg/m ³
Peso Específico SSS	Pe(sss)	2.70		gr/cm ³
Peso Unitario Suelto	Pus	1425		kg/m ³
Peso Unitario Compactado	Puc	1584		kg/m ³
Absorción	a%	1.01		%
Contenido de Humedad	C.H.%	0.98	1.0098	%

EL PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO PORTLAND TIPO 1 VARIA DE 2.90 a 3.15

PROPIEDAD		Valor	Und.
Peso Específico del Cemento	Pec	3.15	gr/cm ³
Peso Específico del Agua	Pew	1	gr/cm ³

CALCULOS:

$$Vp = Vc + Va$$

Donde:

Vp : Volumen de Pasta
 Vc : Volumen de cemento.
 Va : Volumen de agua

La cual se expresa como:

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

c : Peso del cemento por m³ de mezcla.
 a : Peso del agua por m³ de mezcla.
 P.E.c : Peso específico del cemento.
 P.E.a : Peso específico del agua

Considerando peso específico del cemento y agua son 3.15 gr/cm³ y 1.00 gr/cm³ respectivamente, se tiene:

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

Y con relación a/c, obtenemos:

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

Reemplazando el volumen de pasta y la relación a/c:

$$0.23 = \frac{c}{3.15 * 1000} + \frac{0.40 * c}{1.00 * 1000}$$

De donde:

$$\begin{aligned} c: & 320.57 \\ a: & 128.23 \end{aligned}$$

CALCULO DE VOLUMENES ABSOLUTOS:

	Pesos SSS (Kg)	P.E (Kg/m ³)	Volumen (m ³)
Agua	128.23	1000	0.128
Cemento	320.57	3150	0.102
Vacios			0.200
		Parcial	0.430
		Agregado Grueso	0.570
		Total	1.000

Agregado Grueso:

	Pesos SSS (Kg)	P.E (Kg/m ³)	Volumen (m ³)
Agregado Grueso	1539.00	2700	0.57

CORRECCION POR HUMEDAD, ABSORCION Y APOORTE:

	Agregado Grueso
Humedad (C.H. %)	0.99
Absorcion (a%)	1.01
Aporte	-0.31

CORRECCION POR HUMEDAD DEL AGREGADO:

	CANTIDADES	UND
CEMENTO	320.57	Kg/m ³
Agregado Grueso	1554.09	Kg/m ³
Agua Efectiva	128.54	Kg/m ³

PROPORCIONES DE DISEÑO DE MEZCLA EN PESO:

	CANTIDADES CORREGIDAS	
Cemento	1	
Agregado Grueso	4.85	
Agua efectiva	17.04	Lts.

M3 de Cada Molde

Diametro	10
Alto	15
Radio	5.5
Volumen	0.001425498

Proporcion por molde de probeta

	CANTIDADES	
Cemento	0.46	Kg
Agregado Grueso	2.22	Kg
Agua Efectiva	0.18	Lt

MOLDE DE PROBETA CON 20% DE DESPERDICIO

ΣCANTIDADES	20%	TOTAL
2.86	0.57	3.43

***CORRECCION POR HUMEDAD DEL AGREGADO:**

	CANTIDADES	DESPERDICIO	
Cemento	320.57	3.43	0.55
Agregado Grueso	1554.09	3.43	2.66
Agua Efectiva	128.54	3.43	0.22
TOTAL	2003.19		3.43

CANTIDADES CORREGIDAS CON 20% DE DESPERDICIO POR PROBETA

	CANTIDADES	
Cemento	0.55	Kg
Agregado Grueso	2.66	Kg
Agua Efectiva	0.22	Lt

Anexo N° 5. Resultados de Diseño de Mezcla del Concreto Experimental de 30% de Vacíos Para el Ensayo de Permeabilidad.

DISEÑO DE MEZCLA (AGREGADO 1/2")
HUARAZ
ROLA



NORMATIVIDAD:

ACI 211.3R-02 "Guía para la Selección de proporciones para Concreto de Cero Slump"
 ACI 522R-10 "Reporte de Concreto permeable"

DATOS INICIALES:

MATERIALES:

CANTERA: ROLA

PROPIEDAD	AGREGADO GRUESO			UND.
Tamaño Máximo Nominal	TMN	1/2"		
Peso Específico	Pe	2680		kg/m ³
Peso Específico SSS	Pe(sss)	2.70		gr/cm ³
Peso Unitario Suelto	Pus	1425		kg/m ³
Peso Unitario Compactado	Puc	1584		kg/m ³
Absorción	a%	1.01		%
Contenido de Humedad	C.H.%	0.99	1.0099	%

EL PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO PORTLAND TIPO 1 VARIA DE 2.90 a 3.15

PROPIEDAD		Valor	Und.
Peso Específico del Cemento	Pec	3.15	gr/cm ³
Peso Específico del Agua	Pew	1	gr/cm ³

CALCULOS:

$$V_p = V_c + V_a$$

Donde:

V_p : Volumen de Pasta
 V_c : Volumen de cemento.
 V_a : Volumen de agua

La cual se expresa como:

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

c : Peso del cemento por m³ de mezcla.
 a : Peso del agua por m³ de mezcla.
 P.E.c : Peso específico del cemento.
 P.E.a : Peso específico del agua

Considerando peso específico del cemento y agua son 3.15 gr/cm³ y 1.00 gr/cm³ respectivamente, se tiene:

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

Y con relación a/c, obtenemos:

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

Reemplazando el volumen de pasta y la relación a/c:

$$0.23 = \frac{c}{3.15 * 1000} + \frac{0.40 * c}{1.00 * 1000}$$

De donde:

c:	320.57
a:	128.23

CALCULO DE VOLUMENES ABSOLUTOS:

	Pesos SSS (Kg)	P.E (Kg/m ³)	Volumen (m ³)
Agua	128.23	1000	0.128
Cemento	320.57	3150	0.102
Vacios			0.300
		Parcial	0.530
		Agregado Grueso	0.470
		Total	1.000

Agregado Grueso:

	Pesos SSS (Kg)	P.E (Kg/m ³)	Volumen (m ³)
Agregado Grueso	1269.00	2700	0.47

CORRECCION POR HUMEDAD, ABSORCION Y APORTE:

	Agregado Grueso
Humedad (C.H. %)	0.99
Absorcion (a%)	1.01
Aporte	-0.25

CORRECCION POR HUMEDAD DEL AGREGADO:

	CANTIDADES	UND
Cemento	320.57	Kg/m ³
Agregado Grueso	1281.57	Kg/m ³
Agua Efectiva	128.48	Kg/m ³

PROPORCIONES DE DISEÑO DE MEZCLA EN PESO:

	CANTIDADES CORREGIDAS	
Cemento	1	
Agregado Grueso	4.00	
Agua efectiva	17.03	lt

M3 de Cada Molde

Diametro	10
Alto	15
Radio	5.5
Volumen	0.001425498

Proporcion por molde de probeta

	CANTIDADES	
Cemento	0.46	Kg
Agregado Grueso	1.83	Kg
Agua Efectiva	0.18	Lt

MOLDE DE PROBETA CON 20% DE DESPERDICIO

ECANTIDADES	20%	TOTAL
2.47	0.49	2.96

***CORRECCION POR HUMEDAD DEL AGREGADO:**

	CANTIDADES	DESPERDICIO	
Cemento	320.57	2.96	0.55
Agregado Grueso	1281.57	2.96	2.19
Agua Efectiva	128.48	2.96	0.22
TOTAL	1730.62		2.96

CANTIDADES CORREGIDAS CON 20% DE DESPERDICIO POR PROBETA

	CANTIDADES	
Cemento	0.55	Kg
Agregado Grueso	2.19	Kg
Agua Efectiva	0.22	Lt

Anexo N° 6. Panel Fotográfico.



Cantera de Agregado Rola – Huaraz.



Tamizando el Agregado Grueso para uniformizarlo (piedra chancada de ½”).



Obtención de agregado grueso de $\frac{1}{2}$ " de la Cantera Rola – Huaraz.



Pesando el agregado grueso para poder realizar el análisis granulométrico.



Determinación del contenido de humedad del agregado grueso.



Secando la muestra para realizar el peso específico.



Pesando las muestras para realizar el ensayo de peso específico.



Determinación del ensayo de peso específico y absorción de agregado grueso.



Ensayo de peso específico y absorción de agregado grueso.



Muestras llevaras al horno por 24 horas.



Apisonando para el ensayo del peso unitario.



Elaboración de probetas en las Instalaciones de la USP.



Realizando la mezcla del concreto permeable.



Probetas terminadas para el ensayo de resistencia a la compresión con 20% y 30% de vacíos.



Probetas sometidas al curado, para la realización del ensayo a la compresión.



Ensayo de resistencia a la compresión.



Rotura del concreto.



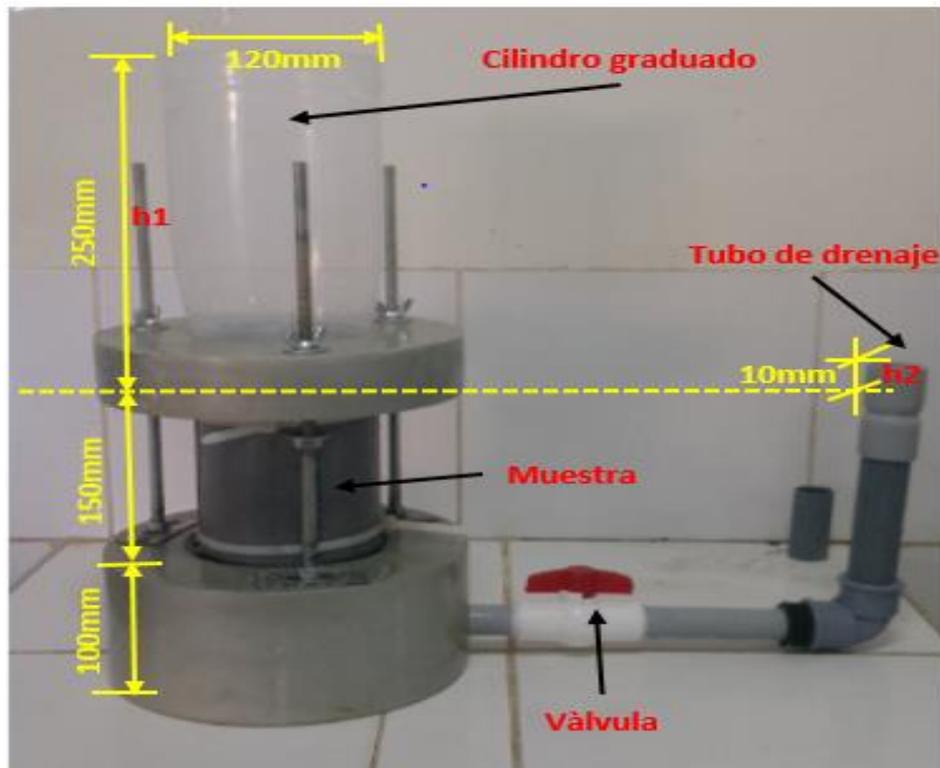
Tipos de fisuras.



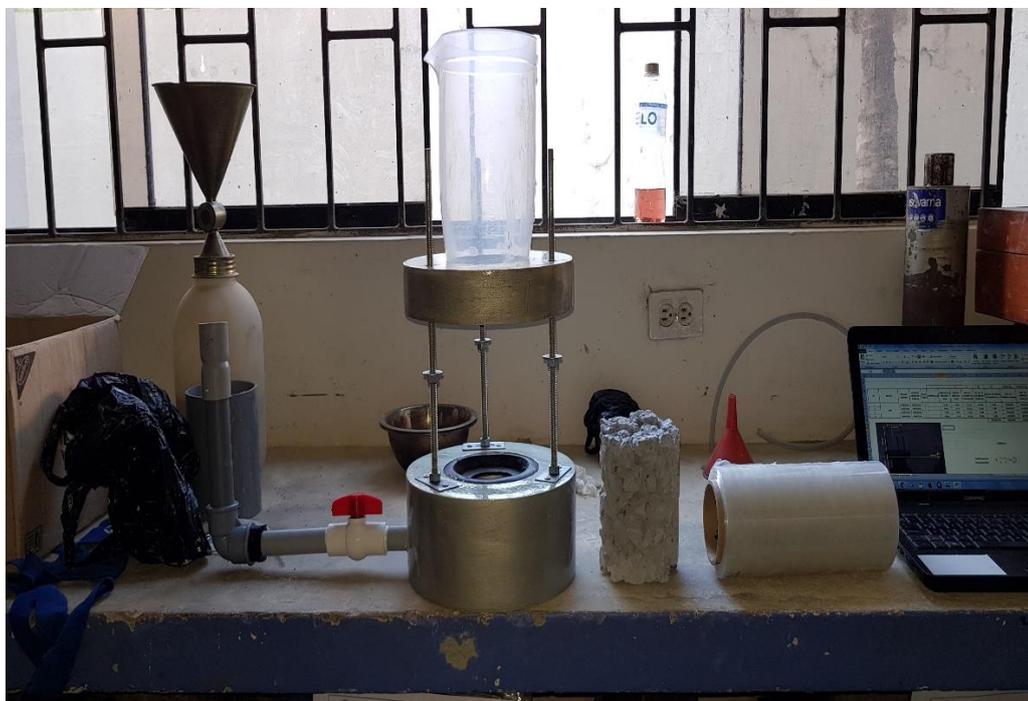
Moldes para la elaboración de probetas para el ensayo de permeabilidad.



Probetas ya elaboradas para el ensayo de permeabilidad al 20% y 30% de vacíos, 04 probetas por cada porcentaje.



Equipo para el ensayo de permeabilidad, con sus diferentes medidas.



Equipo y muestras listas para la elaboración del ensayo de permeabilidad en la Universidad San Pedro – Chimbote.



Realizando la prueba de permeabilidad.



Determinación del coeficiente de permeabilidad.

Anexo N° 7. Resultados del Laboratorio de la USP.



CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D-2216-71

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS					
TESIS : " Resistencia a la Compresion y Permeabilidad del Concreto utilizando Agregado Grueso de la Cantera Rola - Huaraz"					
SOLICITA : Bach. Leon Anaya, Larissa Katering					
DISTRITO : HUARAZ			HECHO EN : USP -HUARAZ		
PROVINCIA : HUARAZ			FECHA 20/06/2017		
PROG (KM.) :			ASESOR		
DATOS DE LA MUESTRA					
CALICATA :					
MUESTRA : AGREGADO GRUESO CANTERA ROLAN					
PROF. (m) :					
AGEGRADO GRUESO 1/2"					
N° TARRO		10	48		
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	1447.0	1354.5		
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	1434.5	1343.0		
PESO DE AGUA	(g)	12.50	11.50		
PESO DEL TARRO	(g)	170.20	168.90		
PESO DEL SUELO SECO	(g)	1264.30	1174.10		
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	0.99	0.98		
HUMEDAD PROMEDIO	(%)	0,98			



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FILIAL - HUARAZ
 FACULTAD DE INGENIERIA
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
 ENSAYOS DE MATERIALES
 Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
 CIP: 116544
 JEFE

**PESO ESPECIFICO Y ABSORCION
DEL AGREGADO GRUESO**

SOLICITA : **Bach. Leon Anaya, Larissa Katering**
OBRA : " Resistencia a la Compresion y Permeabilidad del Concreto utilizando
 Agregado Grueso de la Cantera Rola - Huaraz"
LUGAR : HUARAZ ANCASH
CANTERA : TACLLAN ROLAN
MATERIAL : **AGREGADO GRUESO 1/2"**
FECHA : **20/06/2017**

A : Peso de material saturado superficialmente seco (aire) **1117,0**
B : Peso de material saturado superficialmente seco (agua) **707,7**
C = A - B : Volumen de masa + volumen de vacios **409,3**
D : Peso de material seco en el horno **1105,5**
E = C - (A - D) : Volumen de masa **397,8**

1117,0	1126,0	1120,5
707,7	707,3	704,1
409,3	418,7	416,4
1105,5	1115,0	1109,5
397,8	407,7	405,4
1,04	0,99	0,99
1,01		

ABSORCION (%) : $((A-D/D) \times 100)$
ABS. PROM. (%) :

P.e. Bulk (Base Seca) = D/C
P.e. Bulk (Base Saturada) = A/C
P.e. Aparente (Base Seca) = D/E

PROMEDIO

2,70	2,66	2,66
2,73	2,69	2,69
2,78	2,73	2,74

PROMEDIO

P.e. Bulk (Base Seca)
P.e. Bulk (Base Saturada)
P.e. Aparente (Base Seca)

2,68
2,71
2,76



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FILIAL - HUARAZ
 FACULTAD DE INGENIERIAS
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
 ENSAYOS DE MATERIALES
 Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
 CIP: 116544
 JEFE

PESOS UNITARIOS

SOLICITA : Bach. Leon Anaya, Larissa Katering
TESIS : " Resistencia a la Compresion y Permeabilidad del Concreto utilizando Agregado Grueso de la Cantera Rola - Huaraz"
LUGAR : HUARAZ - ANCASH
CANTERA : TACLLAN ROLAN
MATERIAL : AGREGADO GRUESO 1/2"
FECHA : 20/06/2017

PESO UNITARIO SUELTO

Ensayo N°	0 1	0 2	0 3
Peso de molde + muestra	17615	17630	17655
Peso de molde	3420	3420	3420
Peso de muestra	14195	14210	14235
Volumen de molde	2776	2776	2776
Peso unitario	5113	5119	5128
Peso unitario prom.	5120 Kg/m3		

PESO UNITARIO COMPACTADO

Ensayo N°	0 1	0 2	0 3
Peso de molde + muestra	18620	18613	18641
Peso de molde	3420	3420	3420
Peso de muestra	15200	15193	15221
Volumen de molde	2776	2776	2776
Peso unitario	5476	5473	5483
Peso unitario prom.	5477 Kg/m3		



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FILIAL - HUARAZ
 FACULTAD DE INGENIERIA
 LABORATORIO DE METRERIA DE SUELOS Y
 ENSAYOS DE MATERIALES
 Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
 CIP: 116544
 JEFE



USP
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

SOLICITA : LÉON ANAYA LARISSA KATERING

OBRA : "RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD DEL CONCRETO UTILIZANDO AGREGADO GRUESO DE LA CANTERA ROLA - HUARAZ"

FECHA : 23/03/2018

F'c : 175 kg/cm²

	TESTIGO	PROGRESIVA	SLUMP	FECHA		EDAD	FC	FC/F'c
Nº	ELEMENTO	KM.	(")	MOLDEO	ROTURA	DIAS	Kg/cm ²	(%)
1	20% DE VACÍOS	-	-	22/02/2018	01/03/2018	7	60,4	34,5
2	20% DE VACÍOS	-	-	22/02/2018	01/03/2018	7	60,6	34,7
3	20% DE VACÍOS	-	-	22/02/2018	01/03/2018	7	58,5	33,4
4	20% DE VACÍOS	-	-	22/02/2018	08/03/2018	14	124,0	70,9
5	20% DE VACÍOS	-	-	22/02/2018	08/03/2018	14	121,4	69,4
6	20% DE VACÍOS	-	-	22/02/2018	08/03/2018	14	118,7	67,8
7	20% DE VACÍOS	-	-	22/02/2018	22/03/2018	28	173,9	99,4
8	20% DE VACÍOS	-	-	22/02/2018	22/03/2018	28	169,3	96,7
9	20% DE VACÍOS	-	-	22/02/2018	22/03/2018	28	171,4	97,9

ESPECIFICACIONES : El ensayo responde a la norma ASTM C-39

OBSERVACIONES : Los testigos fueron elaborados y traídos a este laboratorio por el interesado.



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FILIAL - HUARAZ
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
ENSAYO DE MATERIALES
Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 116544
JEFE

RECTORADO: Av. José Pardo 194 Chimbote / Perú - Telf.: 043 341078 / 342809 / 328034 Fax: 327896
CIUDAD UNIVERSITARIA: - Los Pinos B s/n. Urb. Los Pinos Telf.: 043 323505 / 326150 / 329486 - Bolognesi Av. Fco. Bolognesi 421 Telf.: 345042
- Nuevo Chimbote D1 -1 Urb. Las Casuarinas - Telf.: 043 312842 - San Luis Nuevo Chimbote Telf.: 043 319704
OFICINA CENTRAL DE ADMISIÓN: Esq. Aguirre y Espinar - Telf.: (043) 345899 - www.usanpedro.edu.pe - facebook/ Universidad San Pedro



USP
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

SOLICITA : LEÓN ANAYA LARISSA KATERING

OBRA : "RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD DEL CONCRETO UTILIZANDO AGREGADO GRUESO DE LA CANTERA ROLA - HUARAZ"

FECHA : 23/03/2018

F'c: 175 kg/cm2

	TESTIGO	PROGRESIVA	SLUMP	FECHA		EDAD	FC	FC/F'c
Nº	ELEMENTO	KM.	(")	MOLDEO	ROTURA	DIAS	Kg/cm2	(%)
1	30% DE VACÍOS	-	-	22/02/2018	01/03/2018	7	33,9	19,4
2	30% DE VACÍOS	-	-	22/02/2018	01/03/2018	7	38,0	21,7
3	30% DE VACÍOS	-	-	22/02/2018	01/03/2018	7	35,9	20,5
4	30% DE VACÍOS	-	-	22/02/2018	08/03/2018	14	56,2	32,1
5	30% DE VACÍOS	-	-	22/02/2018	08/03/2018	14	55,5	31,7
6	30% DE VACÍOS	-	-	22/02/2018	08/03/2018	14	56,6	32,3
7	30% DE VACÍOS	-	-	22/02/2018	22/03/2018	28	96,4	55,1
8	30% DE VACÍOS	-	-	22/02/2018	22/03/2018	28	95,1	54,4
9	30% DE VACÍOS	-	-	22/02/2018	22/03/2018	28	99,7	57,0

ESPECIFICACIONES : El ensayo responde a la norma ASTM C-39

OBSERVACIONES : Los testigos fueron elaborados y traídos a este laboratorio por el interesado.



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FILIAL - HUARAZ
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
ENSAYO DE MATERIALES

Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 116544
JEFE

RECTORADO: Av. José Pardo 194 Chimbote / Perú - Telf.: 043 341078 / 342809 / 328034 Fax: 327896
CIUDAD UNIVERSITARIA: - Los Pinos B s/n. Urb. Los Pinos Telf.: 043 323505 / 326150 / 329486 - Bolognesi Av. Fco. Bolognesi 421 Telf.: 345042
- Nuevo Chimbote D1 -1 Urb. Las Casuarinas - Telf.: 043 312842 - San Luis Nuevo Chimbote Telf.: 043 319704
OFICINA CENTRAL DE ADMISIÓN: Esq. Aguirre y Espinar - Telf.: (043) 345899 - www.usanpedro.edu.pe - facebook/ Universidad San Pedro



**UNIVERSIDAD
SAN PEDRO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

ENSAYO A PERMEABILIDAD

ACI 522R - 06

SOLICITA BACH. LEON ANAYA LARISSA KATERING
 TESIS RESISTENCIA A LA COMPRESION Y PERMEABILIDAD DEL CONCRETO UTILIZANDO AGREGADO GRUESO DE LA CANTERA ROLA - HUARAZ
 CANTERA CANTERA ROLA - GRAVA DE 1/2" (PIEDRA CHANCADA)
 LUGAR HUARAZ - PROVINCIA DE HUARAZ - ANCASH
 FECHA 25/04/2018

Nº	DISEÑO	FECHA DE VAGADO	FECHA DE ENSAYO DE PERMEAB.	EDAD (días)	TIEMPO (seg.)	LONG. DE LA MUESTRA (cm)	AREA DE MUESTRA (cm ²)	AREA DEL CILINDRO DE CARGA (cm ²)	ALT. DE LA COLUMNA DE AGUA (cm)	ALT. DE LA TUBERIA DE SALIDA DEL H ₂ O	K (cm/seg)	K (mm/seg)
M - 1	20 % relación de Vados	1/05/2018	6/05/2018	7	29.92	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	2.324	23.238
M - 2		1/05/2018	6/05/2018	7	39.67	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	2.065	20.650
M - 3		1/05/2018	6/05/2018	7	31.85	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	2.189	21.890
M - 4		1/05/2018	6/05/2018	7	32.12	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	2.165	21.647
PROMEDIO											2.184	21.841

FORMULA

Coefficiente de Permeabilidad
$$k = \frac{L}{t} * \frac{a}{A} * \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y ensayo de Materiales
 Ing. Jorge Montañez Reyes
 JEFE



**UNIVERSIDAD
SAN PEDRO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

ENSAYO A PERMEABILIDAD

ACI 522R - 06

SOLICITA BACH. LEON ANAYA LARISSA KATERING
 TESIS RESISTENCIA A LA COMPRESION Y PERMEABILIDAD DEL CONCRETO UTILIZANDO AGREGADO GRUESO DE LA CANTERA ROLA - HUARAZ
 CANTERA CANTERA ROLA - GRAVA DE 1/2" (PIEDRA CHANCADA)
 LUGAR HUARAZ - PROVINCIA DE HUARAZ - AMCASH
 FECHA 25/04/2018

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACADO	FECHA DE ENSAYO DE PERMEAB.	EDAD (días)	t		L	A	a	h1	h2	k (cm/seg)	k (mm/seg)
					TIEMPO (seg.)	LONG. DE LA MUESTRA (cm)							
M - 1	30 % reablon de vacios	1/05/2018	8/05/2018	7	20.62	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	3.372	33.719	
M - 2		1/05/2018	8/05/2018	7	21.96	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	3.166	31.662	
M - 3		1/05/2018	8/05/2018	7	19.65	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	3.538	35.384	
M - 4		1/05/2018	8/05/2018	7	22.61	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	3.075	30.752	
PROMEDIO												3.288	32.879

FORMULA

Coefficiente de Permeabilidad

$$k = \frac{L}{t} * \frac{a}{A} * \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES
 Ing. Jorge Montañez Reyes
 JEFE