

**UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN**

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



---

**“ANALISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y  
PERMEABILIDAD DEL CONCRETO POROSO USANDO  
AGREGADOS DE LA CANTERA HUACAR-AMBO-HUÁNUCO,  
ADICIONANDO FIBRAS SINTETICAS SIKACEM-1 FIBER 20MM”**

---

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO CIVIL**

**TESISTA:**  
LYLIAN ESTHER HIDALGO DE LA O

**ASESOR:**  
ING. MOISES TORRES RAMIREZ

**HUÁNUCO – PERÚ**

**2019**



## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios el dueño de mi vida, por su amor perfecto e incondicional, por darme fortaleza y valor en todo momento y por permitir que culmine esta investigación.*

*A mis padres Benancio Hidalgo Noreña y Eugenia De La O Trujillo, por sus consejos, por su apoyo en todo momento y por ser mis motores en la formación de mi carrera profesional.*

*A mis hermanos Guicela, Dorcas y Víctor por el apoyo brindado en toda esta etapa de mi vida y por haber estado conmigo siempre.*

*A mis hermanos en la Fe Misael Ventocilla y Edith Carhuaz, por sus oraciones, por sus consejos, y por ayudarme a levantarme en los momentos difíciles.*

*A mi asesor Ing. Moisés Torres Ramírez, por su enseñanza, transmisión de conocimientos en el transcurso de mi formación profesional y su apoyo como asesor de esta investigación.*

*A mis amigos por sus ánimos, por sus buenos consejos, y por demostrarme su aprecio estando conmigo en los buenos y malos momentos.*

*Estoy completamente agradecida con todos y deseo que Dios los bendiga abundantemente.*

**La Tesista**

## RESUMEN

Esta investigación estudia el efecto que tiene la resistencia y permeabilidad del concreto poroso al adicionar fibra sintética sikacem-1 fiber en el diseño de la mezcla, cabe mencionar que este concreto se realizó con agregados de la cantera Viroy-Huácar.

Esta investigación describe un estudio experimental, correlacional y explicativo, donde la variable independiente es la fibra sintética sikacem-1 fiber, las variables dependientes son las propiedades del concreto permeable tales como su resistencia y permeabilidad y las intervinientes el grado de compactación, porcentaje de vacíos y propiedades de los agregados. Los resultados fueron analizados mediante la teoría de las pequeñas muestras t student.

Los agregados de la cantera Huácar presentan las siguientes propiedades: El tamaño máximo nominal de 3/4", peso específico de 2.64gr/cm<sup>3</sup>, peso unitario compactado 1.56 gr/cm<sup>3</sup>, absorción de 1.07%, porcentaje de desgaste de 19.05%.

El diseño se desarrolló de acuerdo a las normativas del ACI 522R-10 y EL ACI 211.3R-02, donde se utilizó porcentajes de 0.05%, 0.10% y 0.15% de fibras sintéticas sikacem-1 fiber respecto al peso de los materiales, relación agua-cemento (a/c) de 0.35 y un porcentaje de vacíos 16%, para lo cual se elaboró 80 probetas: 60 probetas para el ensayo a resistencia a compresión y 20 para el ensayo a permeabilidad. Con la finalidad de analizar la variación en la resistencia y el coeficiente de permeabilidad del concreto poroso.

Finalmente se concluye que la resistencia del concreto poroso con fibra sintética varía desde 164.6 kg/cm<sup>2</sup> hasta 227.8 kg/cm<sup>2</sup>. Donde el concreto poroso con incorporación de un 0.05% de fibra sintética obtuvo la mayor resistencia a compresión: en 1.87% a los 7 días, en 15.25% a los 14 días y en 11.35% a los 28 días. Y con respecto al coeficiente de permeabilidad se obtuvieron los siguientes valores: con 0% de fibra sintética 0.708 cm/s, con 0.05% de fibra sintética 0.707cm/s, con 0.10% de fibra sintética se obtuvo 0.645cm/s y con un 0.15% se obtuvo un resultado de 0.55 cm/s.

## SUMMARY

This research studies the effect that the resistance and permeability of porous concrete has when adding synthetic fiber sikacem-1 fiber in the design of the mixture, it is worth mentioning that this concrete was made with aggregates from the Viroy - Huácar quarry.

This investigation describes an experimental, correlational and explanatory study, where the independent variable is the synthetic fiber sikacem-1 fiber, the dependent variables are the properties of permeable concrete such as its resistance and permeability and the intervening ones the degree of compaction, percentage of voids and properties of aggregates. The results were analyzed using the theory of small student t samples.

The aggregates of the Huácar quarry have the following properties: The maximum nominal size of 3/4 ", specific weight of 2.64gr / cm<sup>3</sup>, compacted unit weight 1.56gr / cm<sup>3</sup>, absorption of 1.07%, wear percentage of 19.05%,

The design was developed according to the regulations of the ACI 522R-10 and EL ACI 211.3R-02, where percentages of 0.05%, 0.10% and 0.15% of synthetic fibers sikacem-1 fiber were used with respect to the weight of the materials, ratio water-cement (a / c) of 0.35 and a percentage of voids 16%, for which 80 specimens were made: 60 specimens for the compression resistance test and 20 for the permeability test. In order to analyze the variation in resistance and the permeability coefficient of porous concrete.

Finally, it is concluded that the resistance of porous concrete with synthetic fiber varies from 164.6 kg / cm<sup>2</sup> to 227.8 kg / cm<sup>2</sup>. Where the porous concrete with the incorporation of 0.05% synthetic fiber obtained the highest resistance to compression: in 1.87% at 7 days, at 15.25% at 14 days and at 11.35% at 28 days. And with respect to the permeability coefficient, the following values were obtained: with 0% of synthetic fiber 0.708 cm / s, with 0.05% of synthetic fiber 0.707cm / s, with 0.10% of synthetic fiber, 0.645cm / s was obtained with 0.15% % a result of 0.55 cm / s was obtained.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	iv
SUMARY.....	vi
INTRODUCCIÓN .....	xv
CAPITULO I: .....	16
MARCO TEÓRICO.....	16
1.1.    Antecedentes: .....	16
1.1.1.  Antecedentes internacionales .....	16
1.1.2.  Antecedentes Nacionales .....	18
1.1.3.  Antecedentes Locales .....	20
1.2.    Fundamentación Teórica: .....	20
1.2.1.  Concreto Permeable o poroso.....	20
1.2.2.  Diseño de Mezcla: .....	22
1.2.3.  Aditivo Fibra Sikacem-1 Fiber 20mm:.....	22
1.2.4.  Resistencia a la compresión: .....	23
1.2.5.  Permeabilidad: .....	23
1.2.6.  Agregados:.....	23
1.2.7.  Porosidad: .....	24
1.3.    Formulación del problema.....	24
1.3.1.  Formulación del problema General: .....	24
1.3.2.  Formulación del problema Específicos: .....	24
1.4.    Objetivos:.....	25
1.4.1.  Objetivo General: .....	25
1.4.2.  Objetivos Específicos: .....	25
1.5.    Hipótesis: .....	26
1.5.1.  Hipótesis General: .....	26
1.5.2.  Hipótesis Específica: .....	26
1.6.    Variables. ....	27
1.6.1.  Variable Dependiente: .....	27
1.6.2.  Variable Independiente:.....	27



1.6.3.	Variable Interviniente: .....	27
1.7.	Indicadores: .....	27
1.8.	Definición operacional de variables, dimensiones e indicadores .....	28
1.9.	Tamaño de Muestra: .....	29
CAPITULO II: .....		31
MARCO METODOLÓGICO .....		31
2.1.	Tipo y Nivel de Investigación: .....	31
2.1.1.	Tipo de Investigación .....	31
2.1.2.	Nivel de Investigación: .....	31
2.2.	Diseño de contrastación de Hipótesis: .....	32
2.3.	Fuentes, Técnicas e instrumentos de recolección de datos: .....	32
2.4.	Variables Experimentales: .....	32
2.5.	Proceso constructivo y ensayo de las probetas en laboratorio .....	32
2.5.1.	Ubicación de la cantera Huácar: .....	32
2.5.2.	Ensayos del agregado de la Cantera Huácar-Ambo: .....	35
2.6.	Elaboración de probetas: .....	41
2.6.1.	Características de los materiales: .....	41
2.6.2.	Criterios de Diseño de Mezcla: .....	44
2.7.	Elaboración y curado de probetas: .....	47
2.8.	Refrentado o capping de probetas: .....	48
2.9.	Ensayos de concreto poroso: .....	49
2.9.1.	Asentamiento (SLUMP): .....	49
2.9.2.	Resistencia a la compresión: .....	49
2.9.3.	Permeabilidad: .....	50
2.10.	Diseño experimental de la investigación: .....	52
2.10.1.	Resultados de la resistencia a compresión: .....	52
2.10.2.	Resultados del ensayo de permeabilidad: .....	55
2.11.	Análisis de los resultados: .....	56
2.11.1.	Análisis Estadístico de las propiedades Físicas de los agregados de la cantera Viroy-Huácar: .....	56

2.11.2. Análisis Estadístico de la resistencia a compresión del concreto poroso:	59
2.11.3. Análisis Estadístico de permeabilidad del concreto poroso: .....	65
2.11.4. Diseño Experimental de la Investigación. ....	67
CAPITULO III:.....	94
DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	94
3.1. Interpretación de Resultados:.....	94
3.1.1. Resistencia a compresión del concreto poroso:.....	94
3.1.2. Coeficiente de Permeabilidad del concreto poroso: .....	101
3.1.3. Comparación de resultados: .....	104
CONCLUSIONES .....	108
RECOMENDACIONES Y LINEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN.....	110
BIBLIOGRAFÍA.....	111
ANEXOS .....	113
7.1. ACI 211.3R-02 .....	114
7.2. ACI 522R-10.....	120
7.3. Tabla t student: .....	135
7.4. Ficha de Laboratorio de ensayo a compresión:.....	136
7.5. Manual de ensayo MTC:.....	139

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables .....	28
Tabla 2. Esquema de muestra .....	30
Tabla 3. Coordenadas UTM de la cantera Huácar 18L.....	33
Tabla 4. Peso unitario suelto .....	35
Tabla 5. Peso unitario varillado .....	36
Tabla 6. Peso específico y Absorción .....	38
Tabla 7. Análisis granulométrico del agregado de la cantera Viroy- Huácar .....	39
Tabla 8. Abrasión de los Ángeles .....	40
Tabla 9. Diseño del concreto poroso.....	47

Tabla 10. Resultados del ensayo de resistencia a compresión a los 7 días .....	52
Tabla 11. Resultados del ensayo de resistencia a compresión a los 14 días .....	53
Tabla 12. Resultados del ensayo de resistencia a compresión a los 28 días .....	54
Tabla 13. Resultados del ensayo de resistencia a compresión a los 28 días .....	55
Tabla 14. Análisis del peso unitario suelto del agregado grueso .....	56
Tabla 15. Análisis del peso unitario varillado del agregado grueso .....	56
Tabla 16. Peso específico del agregado grueso.....	57
Tabla 17. Absorción del agregado grueso.....	57
Tabla 18. Análisis de Abrasión de los ángeles del agregado grueso .....	57
Tabla 19. Granulometría del agregado grueso de la cantera Huácar .....	58
Tabla 20. Análisis Estadístico-Concreto Patrón-Resistencia a la compresión 07 días .....	59
Tabla 21. Análisis Estadístico-Concreto Patrón-Resistencia a la compresión 14 días .....	59
Tabla 22. Análisis Estadístico-Concreto Patrón-Resistencia a la compresión 28 días .....	60
Tabla 23. Análisis Estadístico-Concreto con 0.05% de fibra sintética -Resistencia a la compresión- 7 días .....	60
Tabla 24. Análisis Estadístico-Concreto experimental con 0.05% de fibra sintética - Resistencia a la compresión- 14 días .....	61
Tabla 25. Análisis Estadístico-Concreto experimental con 0.05% de fibra sintética - Resistencia a la compresión- 28 días .....	61
Tabla 26. Análisis Estadístico-Concreto experimental con 0.10% de fibra sintética - Resistencia a la compresión- 7 días .....	62
Tabla 27. Análisis Estadístico-Concreto experimental con 0.10% de fibra sintética - Resistencia a la compresión- 14 días .....	63
Tabla 28. Análisis Estadístico-Concreto experimental con 0.10% de fibra sintética - Resistencia a la compresión - 28 días .....	63
Tabla 29. Análisis Estadístico-Concreto experimental con 0.15% de fibra sintética - Resistencia a la compresión - 7 días .....	63
Tabla 30. Análisis Estadístico-Concreto experimental con 0.15% de fibra sintética - Resistencia a la compresión - 14 días .....	63
Tabla 31. Análisis Estadístico - Concreto experimental con 0.15% de fibra sintética - Resistencia a la compresión – 28 días.....	64

Tabla 32. Análisis Estadístico-concreto Patrón - permeabilidad .....	65
Tabla 33. Análisis Estadístico- Concreto Experimental con 0.05% de fibra sintética - permeabilidad .....	65
Tabla 34. Análisis Estadístico- Concreto Experimental con 0.10% de fibra sintética- permeabilidad .....	66
Tabla 35. Análisis Estadístico- Concreto Experimental con 0.15% de fibra sintética- permeabilidad .....	66
Tabla 36. Parámetro de Peso unitario .....	68
Tabla 37. Parámetro de Peso específico.....	69
Tabla 38. Parámetro de Absorción.....	69
Tabla 39. Parámetro de Abrasión.....	69
Tabla 40. Parámetros entre el grupo CP0% y grupo CE-0.05% a los 7 días .....	69
Tabla 41. Parámetros entre el grupo CP0% y grupo CE-0.05% a los 14 días .....	72
Tabla 42. Parámetros entre el grupo CP0% y grupo CE-0.05% a los 28 días .....	74
Tabla 43. Parámetros entre el grupo CP0% y grupo CE-0.10% a los 7 días .....	76
Tabla 44. Parámetros entre el grupo CP0% y grupo CE-0.10% a los 14 días .....	78
Tabla 45. Parámetros entre el grupo CP0% y grupo CE-0.10% a los 28 días .....	80
Tabla 46. Parámetros entre el grupo CP0% y grupo CE-0.15% a los 7 días .....	82
Tabla 47. Parámetros entre el grupo CP0% y grupo CE-0.15% a los 14 días .....	84
Tabla 48. Parámetros entre el grupo CP0% y grupo CE-0.15% a los 28 días .....	86
Tabla 49. Parámetros de permeabilidad entre el grupo CP0% y grupo CE-0.05% a los 28 días .....	88
Tabla 50. Parámetros de permeabilidad entre el grupo CP0% y grupo CE-0.10% a los 28 días .....	90
Tabla 51. Parámetros de permeabilidad entre el grupo CP0% y grupo CE-0.15% a los 28 días .....	92
Tabla 52. Resistencia del concreto poroso.....	94
Tabla 53. Resistencia promedio por edades del concreto poroso .....	95
Tabla 54. coeficiente de permeabilidad .....	101
Tabla 55. Cuadro del coeficiente de permeabilidad del concreto poroso .....	102
Tabla 56. Comparación de resultados de resistencia a compresión.....	105
Tabla 57. Comparación de resultados de coeficiente de permeabilidad .....	105

## ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1. Ensayo del peso unitario.....	36
Fotografía 2. Ensayo de peso unitario Varillado.....	36
Fotografía 3. Muestra saturada superficialmente seca .....	37
Fotografía 4. Ensayo del peso específico y Absorción .....	37
Fotografía 5. Ensayo granulométrico de agregados de la cantera.....	38
Fotografía 6. Ensayo de abrasión de los ángeles .....	41
Fotografía 7. Cemento Portland tipo I .....	41
Fotografía 8. Agregados de la cantera Viroy-Huácar .....	42
Fotografía 9. Fibra sintética sika-cem fiber 1 .....	43
Fotografía 10. Elaboración del concreto poroso .....	47
Fotografía 11. Adición de fibra sintética y curado de probetas .....	48
Fotografía 12. Capping de probetas .....	48
Fotografía 13. Prueba de Revenimiento o slump en concreto poroso .....	49
Fotografía 15. Rotura de probetas.....	50
Fotografía 16. permeámetro casero construido de acuerdo al ACI 522-10R.....	51
Fotografía 17. Ensayo de Permeabilidad .....	51

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la cantera Huácar-Viroy .....	33
Figura 2. Distancia desde Huánuco hasta de la cantera Huacar-Viroy .....	34
Figura 3. Curva granulométrica del agregado de la cantera Huácar .....	40
Figura 4. Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia compresión a los 28 días para tamaños de agregados N° 67 y N°8.....	45
Figura 5. Relación entre el contenido de pasta y el contenido de vacíos.....	46
Figura 6. Análisis de Granulometría del agregado grueso .....	58
Figura 7. Distribución t student para resistencia a compresión del concreto Patrón con respecto al concreto experimental (CE-0.05%)- 7 días.....	72
Figura 8. Distribución t student para resistencia a compresión del concreto Patrón con respecto al concreto experimental (CE-0.05%)-14 días .....	74

Figura 9. Distribución t student para resistencia a compresión del concreto Patrón con respecto al concreto experimental (CE-0.05%)-28 días .....	76
Figura 10. Distribución t student para resistencia a compresión del concreto Patrón con respecto al concreto experimental (CE-0.10%)-7 días .....	78
Figura 11. Distribución t student para resistencia a compresión del concreto Patrón con respecto al concreto experimental (CE-0.10%)-14 días .....	80
Figura 12. Distribución t student para resistencia a compresión del concreto Patrón con respecto al concreto experimental (CE-0.10%)-28 días .....	82
Figura 13. Distribución t student para resistencia a compresión del concreto Patrón con respecto al concreto experimental (CE-0.15%)-7 días .....	84
Figura 14. Distribución t student para resistencia a compresión del concreto Patrón con respecto al concreto experimental (CE-0.15%)-14 días .....	86
Figura 15. Distribución t student para resistencia a compresión del concreto Patrón con respecto al concreto experimental (CE-0.15%)-28 días .....	88
Figura 16. Distribución t student par la permeabilidad del concreto Patrón con respecto al concreto experimental (CE-0.05%)-28 días .....	90
Figura 17. Distribución t student para la permeabilidad del concreto Patrón con respecto al concreto experimental (CE-0.10%)-28 días .....	91
Figura 18. Distribución t student para la permeabilidad del concreto Patrón con respecto al concreto experimental (CE-0.15%)-28 días .....	93
Figura 19. Curvas de desarrollo de resistencia en el tiempo .....	96
Figura 20. Relación entre el concreto poroso con fibra sintética vs $f'c$ .....	98
Figura 21. Grafico de barras del CP0% - CE0.05% .....	98
Figura 22. Grafico de barras del CP0% - CE0.10% .....	99
Figura 23. Grafico de barras del CP0% - CE0.15% .....	100
Figura 24. Grafico de barras de la permeabilidad del concreto poroso .....	102
Figura 25. Relación entre la permeabilidad vs resistencia a la compresión .....	103
Figura 26. Relación entre la permeabilidad del concreto poroso con % de fibra sintética .....	103

## INTRODUCCIÓN

El concreto poroso o permeable está compuesto de agregado grueso, cemento, agua con poco o nada de agregados finos. Este concreto se caracteriza por tener poros que permiten la filtración del agua la cual sirve como drenaje en épocas de lluvia por lo que es una solución al problema de inundaciones en las calles de Huánuco, y a su vez tiene la capacidad de reflejar la luz solar haciendo que la temperatura ambiental disminuya.

Esta investigación se realizó con la finalidad de analizar la resistencia a compresión y permeabilidad del concreto poroso al adicionar fibras sintéticas en diferentes porcentajes, a su vez encontrar las propiedades físicas del agregado de la cantera Viroy - Huácar, a fin de contribuir al conocimiento de este tipo de concreto.

La resistencia a compresión de este concreto depende mayormente de la relación agua -cemento ( $a/c$ ), relación agregado – cemento, tamaño de agregados, nivel de compactación, influyendo directamente en su permeabilidad.

La presente investigación se divide en tres capítulos: El primer capítulo es el marco teórico, el segundo capítulo es el marco metodológico, la tercera y última consta de la discusión de resultados e interpretación de las mismas usando la teoría de las muestras pequeñas t student donde analizamos estadísticamente la prueba de hipótesis.

## CAPITULO I:

### MARCO TEÓRICO

#### 1.1. Antecedentes:

##### 1.1.1. Antecedentes internacionales

Con respecto a los antecedentes y/o estudios realizados del concreto poroso, existen varias investigaciones de distintos niveles, como tesis de grado, revistas, manuales; a continuación, se describen algunos de ellos en los siguientes apartados.

**Barahona R., Martínez M. & Zelaya S. (2013)** “comportamiento del concreto permeable utilizando agregado grueso de las canteras, el Carmen, Aramuaca y la pedrera, de la zona oriental de el salvador” universidad de el salvador, san miguel, el salvador, centro América. En esta investigación se presenta un análisis experimental, concluyéndose que 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 una de las medidas innovadoras ante tales problemas, en el ámbito de la ingeniería civil.

**R. Fernández & A. Navas, (2011).** “Diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad”. Costa Rica. En esta investigación da a conocer que el concreto permeable es un material que puede ser usado en pavimentos de bajo volumen, calles de urbanizaciones o parqueos, entre otros. Es una mezcla de cemento, agua y agregado grueso. La resistencia



y la permeabilidad del concreto poroso son sus características más importantes y deben balancearse para lograr un desempeño adecuado del material.

**Cabello S., Zapata P., Pardo A., Campuzano L., Espinoza J., & Sánchez C. (2015).** “Concreto poroso: Constitución, Variables influyentes y Protocolos para su caracterización”. Cumbres, Revista Científica. Universidad Técnica de Machala, Ecuador. Esta revista menciona que los concretos sin finos transmiten las cargas en forma heterogénea a diferencia de los concretos convencionales que lo hacen en forma homogénea. En los concretos sin finos la transmisión de cargas se realiza por puntos de contacto, originando que las cargas sean repartidas en forma aleatoria, dando como resultado que éstas sean distribuidas en una superficie mucho mayor. La transmisión heterogénea de las cargas provoca que la superficie sobre la cual éstas se reparten, sea varias veces mayor al producto de la repartición de cargas en un piso hecho con un concreto convencional o con asfalto. Aunado a esto, las bases diseñadas para pisos permeables son más económicas, más eficientes y no generan baches. Adicionalmente, dada la repartición heterogénea de las cargas, casi nunca hace falta mejorar el terreno natural.

**Moreno E., Valera J., Solís R., & Sánchez O., (2013).** En su investigación denominado: “Efectos de fibras poliméricas en la permeabilidad y características mecánicas del concreto con agregado calizo de alta absorción” nos explica acerca de la influencia que tienen las fibras en la permeabilidad del concreto, que La reducción de la permeabilidad podría atribuirse

principalmente a la acción de las fibras durante la etapa del concreto en estado fresco. Como tuvieron una distribución uniforme, contribuyeron con la disminución tanto del sangrado como de la segregación del material. Estas condiciones redujeron la formación de poros capilares que son los que rigen la porosidad del concreto

**Reyes F. & Torres A, (2009).** en su tesis “Pavimentos Drenantes en Concreto con Adiciones de Tiras Plásticas” de la Universidad Javeriana de Colombia; en donde se concluye que la adición de Tiras de desechos plásticos de 4mm x 20 mm en un 0.10% respecto al peso, permite que el concreto poroso mejore sus Características en cuanto al comportamiento ante los esfuerzos de compresión y flexión. Y recomienda el uso de tiras como el mismo espesor, pero con un largo mayor, ya que de esta manera se garantizaría una mayor resistencia debida al mayor envolvimiento de la tira sobre el perímetro del agregado.

#### **1.1.2. Antecedentes Nacionales**

**Flores, C. & Pacompia, I. (2015).** “Diseño de mezcla de concreto permeable con adición de tiras de plástico para pavimentos  $f'c$  175 kg/cm<sup>2</sup> en la ciudad de Puno”. Universidad Nacional de Altiplano, Perú. En su tesis investigó la incorporación de las tiras de plástico de 3mm x 30mm a las mezclas de concreto poroso elaboradas con granulometría Normalizada (tamaño estándar N° 8) en 0.05%, 0.10% y 0.15% con respecto al peso de diseño por metro cúbico y ha determinado que la adición de dichas tiras en dos porcentajes

de 0.05% y 0.10% (de los tres estudiados), incrementa la resistencia a la compresión del concreto permeable. Y respecto a las otras propiedades estudiadas, como el contenido de vacíos y coeficiente de permeabilidad, se ha determinado que la adición de tiras de polipropileno produce una variación ligera en sus magnitudes, presentando una tendencia a la reducción de los mismos conforme se incrementa el porcentaje de adición de las Tiras.

**Guizado A. & Curi E. (2017)**, “Evaluación del concreto permeable como una alternativa para el control de las aguas pluviales en vías locales y pavimentos especiales de la costa noroeste del Perú”. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima. En su tesis investigó acerca de la resistencia del concreto poroso con gravas angulosas y gravas redondeas llegando a la conclusión de que todos superaban el  $f'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$  que es el requisito mínimo de resistencia para los pavimentos especiales descritos en la norma C.E. 010 Pavimentos Urbanos.

**Quispe I. & Ticona E. (2017)**. En su investigación denominado “Influencia de la incorporación de fibras de polipropileno en concreto permeable  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ” estudió sobre el efecto que tiene la adición de fibras de polipropileno en las propiedades del concreto permeable  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  fabricado con agregado grueso artificial y natural donde los resultados muestran que el tamaño óptimo para la adición fibras de polipropileno en 10, 25, 40 y 55 % respecto al peso del cemento es el huso 7; esto le permitió llegar a la conclusión de que las fibras de polipropileno en el diseño de mezcla del concreto

permeable con  $f'c=219$  kg/cm<sup>2</sup> mejora la propiedad de resistencia a la compresión y el desgaste de abrasión e impacto. El investigador menciona que este comportamiento es debido a que las fibras de polipropileno juntamente con la pasta y aditivo proporcionan mejor enlace y mayor área de contacto entre los agregados, por consiguiente, se incrementa la resistencia.

En cambio, en las propiedades del contenido de vacíos y permeabilidad presentan tendencias a la reducción a medida que se incrementa la cantidad de fibras de polipropileno, este comportamiento es debido a que la fibra de polipropileno al enlazarse conjuntamente con la pasta al agregado genera menor contenido de vacío, como consecuencia, la permeabilidad disminuye.

### **1.1.3. Antecedentes Locales**

**Sális B. (2016)**, estudió acerca de la “Influencia del contenido de aire en el concreto poroso con agregados de la cantera Yanag-Huánuco 2016” y argumentó que los resultados obtenidos en esta investigación de los estudios realizados a las muestras de concreto poroso diseñadas con contenido de aire de 15%, 16%, 17%, 18%, 19% y 20% elaborados con agregados de la cantera Yanag, permiten concluir el alto coeficiente de permeabilidad que varía entre 0.49 cm/s y 2.32 cm/s. y la resistencia a la compresión promedio a los 28 días varía entre 261.37 kg/cm<sup>2</sup> y 148.63 kg/cm<sup>2</sup> para 15% y 20% de vacíos respectivamente.

## **1.2. Fundamentación Teórica:**

### **1.2.1. Concreto Permeable o poroso**

El concreto permeable es definido como un material conformado por cemento portland, agregado grueso, poco o nada de agregado fino, aditivos y agua. La combinación de estos ingredientes producirá un material endurecido con poros conectados permitiéndose así la infiltración del agua de lluvia a través de ella.

**Cabello S., Campuzano L., Espinoza J. & Sánchez C. (2015)**, En su artículo científico nos menciona las variables influyentes en las propiedades del concreto poroso:

- **Granulometría:** Se debe utilizar árido chancado con ausencia casi total de finos, pues impermeabilizarían la mezcla; tener un tamaño de grano bastante uniforme para obtener un porcentaje elevado de vacíos (de orden del 40%) y un tamaño máximo de árido de 10 mm para permitir una adecuada terminación superficial.
- **Dosis de cemento:** Se ha reportado como recomendable una dosis que fluctúe en el intervalo 350-400 kg/m<sup>3</sup>, según requisitos de resistencia y permeabilidad.
- **Dosis de agua:** Una cantidad insuficiente de agua, resultará una mezcla sin consistencia y con una baja resistencia. Una cantidad excesiva de agua, generará una pasta que sellará los vacíos de la mezcla y que, además, lavará el cemento desde la superficie del agregado, produciendo una baja resistencia al desgaste superficial.

- **Relación agua/cemento:** Se suele utilizar como criterio para determinar este valor, el encontrar la cantidad de agua con la cual la pasta adquiere un brillo metálico. Generalmente este valor está en el intervalo de 0,3 a 0,6.
- **Contenido de vacíos:** debe tener como mínimo un 15% de huecos, se recomienda además que este contenido no supere el 25%.
- **Estabilidad de la mezcla:** La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna en las partículas de agregado (fricción entre partículas) está relacionada con características del agregado tales como forma y textura superficial. la cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto. Un grado propio de fricción y cohesión interna, en la mezcla, previene que las partículas de agregado se desplacen unas respecto a otras debido a las fuerzas ejercidas por el tráfico.

### 1.2.2. Diseño de Mezcla:

El concreto permeable es un material utilizado actualmente como pavimento, sus propiedades físicas son similares al pavimento rígido.

Cuando un pavimento se diseña se pretende siempre simular las condiciones de apoyo más especulativo, debiendo tomar en cuenta que el pavimento permeable será apoyado en el terreno natural del sitio ya preparado e incluso compactado, y la capa sub-base. (López E., 2010).

### 1.2.3. Aditivo Fibra Sikacem-1 Fiber 20mm:

Sika en su nuevo producto de fibra Sintética Sikacem-1 Fiber 20mm menciona que la fibra sintética sirve como refuerzo de alta tenacidad que evita

el agrietamiento de concretos y morteros. Está compuesto por una mezcla de monofilamentos reticulados y enrollados. Durante la mezcla SikaCem®-1 Fiber se distribuye aleatoriamente dentro de la masa de concreto o mortero formando una red tridimensional muy uniforme. (**Hoja Técnica Sikacem-1 fiber, 2019**)

#### **1.2.4. Resistencia a la compresión:**

La resistencia a compresión se puede definir como la medida máxima de la resistencia a carga axial de especímenes de concreto. Normalmente, se expresa en kilogramos por centímetros cuadrados (kg/cm<sup>2</sup>), mega pascales (Mpa). (**Chaiña J. & Villanueva Y., 2017**).

#### **1.2.5. Permeabilidad:**

La permeabilidad es una propiedad que permite la filtración de un fluido, a través de sus espacios interconectados. Un material será permeable cuando contenga espacios vacíos interconectados (porosidad). La circulación de agua a través de una masa (suelo, pasta de cemento, agregado, concreto, etc. Permitiendo de ese modo el paso del agua, a través de los poros interconectado que este posee y de esa manera eliminar la escorrentía y problemas de saturación de agua. (**Vallejo M. & Amaguaya V., 2016**).

#### **1.2.6. Agregados:**

Los agregados, conformados por las arenas (agregado fino) y las gravas (agregado grueso), constituyen más del 70% en una mezcla para la elaboración del hormigón u concreto, material estructural y de construcción por excelencia.

Se conocen también como áridos, expresión utilizada para definir un material que no debe tener reacción química de ningún tipo con el cementante, el agua o con otros aditivos naturales o químicos; sin embargo, el fenómeno de la reacción álcalis agregado descubierta muchos años atrás, muestra que esta pasividad no es tan evidente. **(Gonzáles, 2008)**

#### **1.2.7. Porosidad:**

Es la capacidad de un material de absorber líquidos o gases. También es el tamaño y número de los poros de un filtro o de una membrana semipermeable. La porosidad de la pasta de cemento es la suma del volumen de los huecos capilares y de los huecos de la pasta, y representa el espacio no llenado por los componentes sólidos de la pasta de cemento hidratado. **(Barahona & Martínez, 2013).**

### **1.3. Formulación del problema.**

#### **1.3.1. Formulación del problema General:**

- ¿Cómo influye la incorporación de fibra Sintética Sikacem-1 Fiber 20mm en la resistencia a compresión y permeabilidad del concreto poroso elaborado con agregados de la cantera Huácar- Huánuco?

#### **1.3.2. Formulación del problema Específicos:**

- ¿Las propiedades mecánicas de los agregados de la cantera Huácar- Huánuco cumplen con la norma técnica peruana?
- ¿Cuál es la variación en la resistencia a compresión entre el Concreto Poroso sin y con aditivo de fibra Sintética Sikacem-1 Fiber 20mm de



en diferentes porcentajes, elaborado con agregado de las canteras Huácar?

- ¿Cuál es el coeficiente de permeabilidad del concreto elaborado con agregados de la cantera Huácar sin y con aditivo de fibra Sintética Sikacem-1 Fiber 20mm?
- ¿Por qué existe variación de la resistencia a compresión ( $f_c$ ) y coeficiente de permeabilidad ( $k$ ) al adicionar porcentajes de fibra sintética Sikacem-1 Fiber al concreto poroso?

#### **1.4. Objetivos:**

##### **1.4.1. Objetivo General:**

- Analizar la influencia del aditivo de fibra Sintética Sikacem-1 Fiber 20mm en la resistencia a compresión y permeabilidad del concreto permeable elaborado con agregados de la cantera Huácar- Huánuco.

##### **1.4.2. Objetivos Específicos:**

- Evaluar las propiedades mecánicas de los agregados de la cantera Huácar - Huánuco.
- Determinar si existe variación porcentual de la resistencia a compresión entre el concreto poroso sin y con aditivo fibra Sintética Sikacem-1 Fiber 20mm en diferentes porcentajes, elaborado con agregado de la cantera Huácar- Huánuco.

- Identificar el coeficiente de permeabilidad del concreto elaborado con agregados de la cantera Huácar sin y con fibra Sintética Sikacem-1 Fiber 20mm.
- Explicar la causa de la variación de la resistencia a compresión ( $f'c$ ) y el coeficiente de permeabilidad ( $k$ ) al adicionar fibra sintética sikacem-1 Fiber al concreto poroso.

### **1.5. Hipótesis:**

#### **1.5.1. Hipótesis General:**

- La incorporación del aditivo de fibra Sintética Sikacem-1 Fiber 20mm influye positivamente en la resistencia a compresión y permeabilidad elaborada con agregados de la cantera Huácar- Huánuco.

#### **1.5.2. Hipótesis Específica:**

- Las propiedades mecánicas de los agregados de la cantera Huácar - Huánuco cumplen con la norma técnica peruana.
- Existe una variación porcentual con respecto a la resistencia a compresión entre el concreto poroso sin y con aditivo de fibra sintética sikacem-1 fiber 20mm en diferentes porcentajes.
- El coeficiente de permeabilidad del Concreto Poroso elaborado con agregado de la cantera Huácar, sin y con la adición de aditivo fibra Sintética Sikacem-1 Fiber 20mm se encuentra dentro del rango establecido por la norma ACI- 522R.

- La adición de fibras sintéticas se enlaza conjuntamente con la pasta generando menor contenido de vacío, en consecuencia, esto produce una variación de la permeabilidad y resistencia a compresión

## **1.6. Variables.**

### **1.6.1. Variable Dependiente:**

- Resistencia a la compresión y la permeabilidad

### **1.6.2. Variable Independiente:**

- Agregados de la cantera Viroy - Huácar
- Aditivo de Fibra sintética sikacem-1 Fiber 20mm

### **1.6.3. Variable Interviniente:**

- Grado de compactación
- Porcentaje de vacíos

## **1.7. Indicadores:**

- Granulometría
- Peso Especifico
- Contenido de Humedad
- Absorción
- Peso Unitario
- Porcentaje de Fibras
- Ensayo a la resistencia a la compresión
- Coeficiente de permeabilidad

### 1.8. Definición operacional de variables, dimensiones e indicadores

Tabla 1. Operacionalización de variables

Variable		Dimensión	Indicadores	Unidad de medida	Escala	Instrumento
Variable independiente	Agregados de la cantera	Viroy – Huácar	Granulometría	Adimensional	Huso Granulométrico	Gradación del agregado grueso (ASTM C33)
			Peso específico	gr/cm <sup>3</sup>	-----	Formato peso unitario
			Contenido de Humedad	%	-----	Formato de contenido de humedad
			Absorción	%	-----	Formato de absorción
			Peso Unitario	gr/cm <sup>3</sup>	-----	Formato de peso unitario
	Aditivo	fibras Sintéticas Sikacem-1 Fiber 20mm	Porcentajes de fibras	%	0% 0.05% 0.10% 0.15% (Respecto al peso de los materiales)	Formato de resistencia del concreto poroso
Variable dependiente	Resistencia a compresión y permeabilidad	Resistencia a la compresión	Ensayos de resistencia a la compresión	Kg/cm <sup>2</sup>	7 días 14 días 28 días	Prensa para ensayo a compresión
		Permeabilidad	Valor de Permeabilidad	Cm/seg	0% de fibra 0.05% de fibra 0.10% de fibra 0.15% de fibra (Respecto al peso de los materiales)	Permeámetro

Fuente: Elaboración propia

### 1.9. Tamaño de Muestra:

a) Para determinar el tamaño de muestra nos basamos en el análisis que hace (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2012), indican que:

- Cuando se espera menor variabilidad de respuesta entre tratamientos se requieren mayor cantidad de muestras.
- Si recurrimos a la experiencia vemos que el número de réplicas en la mayoría de las situaciones experimentales en las que se involucra un factor varía entre cinco y diez, en algunos casos puede llegar hasta 30.
- Si se tienen varios tratamientos cuatro o más entonces es el punto para disminuir la cantidad de muestras.
- Si se espera mucha variación dentro de cada tratamiento, debido a la variación de fuentes no controladas como métodos de medición, medio ambiente, materia prima, etc., entonces se necesitarán más réplicas.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores se ha optado por:

$$n=20$$

Además:

$$N = kn$$

donde:

$n$  = Número de réplicas

$K$  = Número de tratamientos

$N$  = Número total de muestra

Finalmente:

$n= 20$  Réplicas

$k=4$  tratamientos

$N=4 \times 20= 80$  probetas

Se requiere hacer 20 muestras de concreto poroso con la adición de 0%, 0.05%, 0.10% y 0.15% de fibra sintética sikacem-1 fiber respecto al peso de diseño del concreto cuya etapa de rotura para medir la resistencia a compresión será a los: 7 días, 14 días y 28 días de edad.

También se hará 20 muestras más para el ensayo a permeabilidad esto a los 28 días de edad del concreto poroso.

Por lo tanto, la cantidad total de muestra que es:  $N=80$  probetas, distribuido como indica la tabla 2.

Tabla 2. *Esquema de muestra*

<b>Etapa \ Tratamiento</b>	<b>0%</b>	<b>0.05%</b>	<b>0.10%</b>	<b>0.15%</b>	<b>total</b>
<b>7 días</b>	5	5	5	5	20
<b>14 días</b>	5	5	5	5	20
<b>28 días</b>	5	5	5	5	20
<b>Permeabilidad</b>	5	5	5	5	20
<b>Total</b>	20	20	20	20	80

*Fuente: Elaboración propia*

## CAPITULO II:

### MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Tipo y Nivel de Investigación:

##### 2.1.1. Tipo de Investigación

La investigación será del tipo cuantitativo.

##### 2.1.2. Nivel de Investigación:

###### 2.1.2.1. Tipo Cuantitativa:

El estudio se hará de manera Experimental – Correlacional – Explicativo.

a) **Experimental.** - porque se manipularán las variables independientes para luego determinar los efectos producidos en la variable dependiente, para ello se realizarán ensayos de laboratorio para la obtención de los datos requeridos del concreto poroso.

b) **Correlacional:** Este tipo de estudios tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto en particular. **(Sampieri, Collado & Baptista, 2010).**

En ocasiones sólo se analiza la relación entre dos variables, pero con frecuencia se ubican en el estudio relaciones entre tres, cuatro o más variables. **(Sampieri et al., 2010).**

c) **Explicativo:** Está dirigido a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Se enfoca en explicar por qué ocurre un

fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, o por qué se relacionan dos o más variables. (Sampieri et al., 2010).

En este caso explicaremos la razón de la variación de la resistencia a compresión y coeficiente de permeabilidad mediante gráficos de los valores obtenidos.

## **2.2. Diseño de contrastación de Hipótesis:**

El diseño de contraste de hipótesis es de tipo experimental:

- Adición de fibra sintética Sikacem1-fiber (variable X)
- La resistencia a compresión y coeficiente de permeabilidad (variable Y)
- La prueba de Hipótesis se determinará mediante la teoría de las muestras pequeñas con la distribución “t” student.

## **2.3. Fuentes, Técnicas e instrumentos de recolección de datos:**

**Fuentes:** Físicas y electrónicas

**Técnicas:** observación de ensayos de laboratorio

**Instrumentos de recolección de datos:** equipos, herramientas y formularios

## **2.4. Variables Experimentales:**

La variable independiente considerada en esta investigación es la fibra sintética SikaCem-1 fiber, según investigación existentes, se usan porcentajes de 0.05%, 0.10% y 0.15%.

## **2.5. Proceso constructivo y ensayo de las probetas en laboratorio**

### **2.5.1. Ubicación de la cantera Huácar:**



La cantera del agregado en estudio se encuentra a 7.7km de Huácar cerca al centro poblado de Cochachinche al margen derecho del rio Chaupihuaranga, la cual se encuentra administrado por la municipalidad de Huácar.

Se optó por esta cantera ya que sus agregados se usan en obras civiles en la ciudad de Huánuco.

Tabla 3. *Coordenadas UTM de la cantera Huácar 18L*

Descripción	Coordenadas UTM		Altura (msnm)
	Este	Norte	
<b>BM-01</b>	363289.58	8869994.12	2185

*Fuente: Elaboración Propia*



*Figura 1. Ubicación de la cantera Huácar-Viroy*

*Fuente: Elaboración propia-google earth*

La accesibilidad a la cantera es por la carretera Huánuco – Lima, con un desvío hacia el distrito de Huácar, aproximadamente a 1h 10 min de la ciudad de Huánuco.

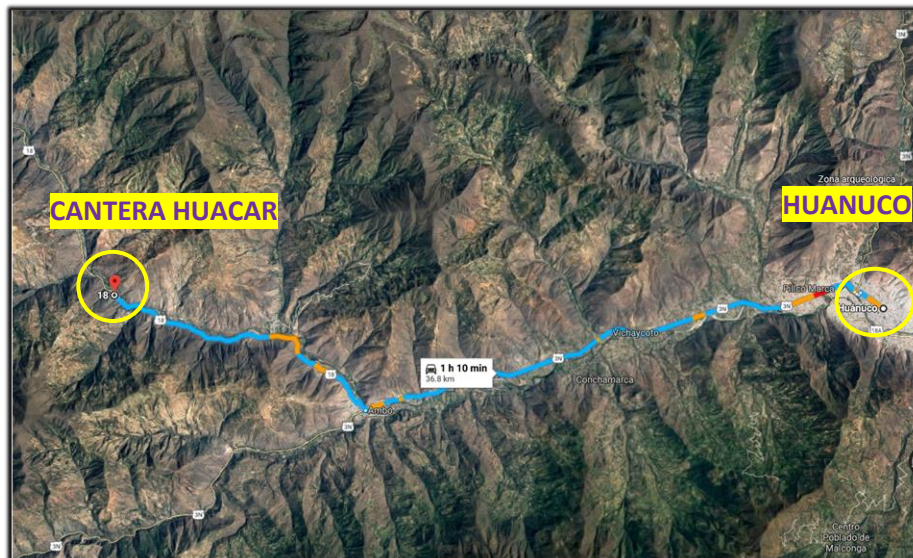


Figura 2. Distancia desde Huánuco hasta de la cantera Viroy-Huácar  
Fuente: Elaboración propia-google maps

#### 2.5.1.1. Características de la Cantera Huácar:

Ubicación	: Huácar
Propietario	: Municipalidad de Huácar
Profundidad	:4m
Estrato orgánico	:4.5cm
Área aproximada potencia bruta	:2356.46 m <sup>2</sup>
Desbroce	:47.13m <sup>3</sup>
Potencia bruta	:9425.84m <sup>3</sup>

#### 2.5.1.2. Clasificación de los agregados de la cantera Huácar:

Por su origen	: agregados naturales
Por su tamaño	: agregado fino y grueso
Por sus propiedades físicas	: buen agregado

Por sus propiedades químicas	: ino cuos
Por su peso	: agregado de peso normal
Por su perfil	: redondeados
Por su textura superficial	: suave
Por su petrografía	: arenisca y esquisto

## 2.5.2. Ensayos del agregado de la Cantera Huácar-Ambo:

### 2.5.2.1. Peso Unitario y porcentaje de vacíos de los Agregados:

Este ensayo realizó de acuerdo a los procedimientos que indica el manual de ensayo del MTC E-203 y la norma técnica peruana NTP. 400.017.

#### a) Peso unitario suelto:

Tabla 4. *Peso unitario suelto*

Muestra	Muestra-1	Muestra-2	Muestra-3
<b>Descripción</b>			
<b>Peso de la muestra(gr)</b>	6248	6297	6279
<b>Volumen de molde(cm3)</b>	3094	3094	3094
<b>Peso del molde(gr)</b>	1783	1783	1783
<b>Peso unitario suelto(gr/cm3)</b>	1.443	1.459	1.453
<b>Peso Unitario Promedio(gr/cm3)</b>	1.452		
<b>Peso específico Aparente</b>	2.71	2.71	2.71
<b>Densidad del agua ( gr/cm3)</b>	1	1	1
<b>% de vacíos</b>	46.75%	46.16%	46.38%
<b>% de vacíos promedio</b>	46.43%		

*Fuente: Elaboración propia*



Fotografía 1: Ensayo del peso unitario  
Fuente: Elaboración propia

### b) Peso unitario varillado

Tabla 5. *Peso unitario varillado*

Muestra / Descripción	Muestra-1	Muestra-2	Muestra-3
<b>Peso de la muestra(gr)</b>	6604	6601	6602
<b>Volumen de molde(cm3)</b>	3094	3094	3094
<b>Peso del molde(gr)</b>	1.783	1.783	1.783
<b>Peso unitario suelto(gr/cm3)</b>	1.558	1.557	1.558
<b>Peso Unitario Promedio(gr/cm3)</b>	1.558		
<b>Peso específico Aparente</b>	2.71	2.71	2.71
<b>Densidad del agua(gr/cm3)</b>	1	1	1
<b>% de vacíos</b>	42.50%	42.54%	42.53%
<b>% de vacíos promedio</b>	42.52%		

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 2. Ensayo de peso unitario Varillado  
Fuente: Elaboración propia

### 2.5.2.2. Peso Específico y Absorción:

Para realizar este ensayo se consideraron los procedimientos que muestran las normas del ministerio de transportes y comunicaciones MTC E 205 y la NTP. 400.022.



*Fotografía 3. Muestra saturada superficialmente seca*  
*Fuente: Elaboración propia*



*Fotografía 4. Ensayo del peso específico y Absorción*  
*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 6. *Peso específico y Absorción*

Descripción	Muestra	Muestra-1	Muestra-2	Muestra-3
Peso de la muestra seca en el aire(gr)		3000	3000	3000
peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire(gr)		3032	3030	3034
peso en el agua de la mezcla saturada(gr)		1894	1893	1895
peso específico de la masa(Pem) (gr/cm3)		2.64	2.64	2.63
peso específico de masa promedio (gr/cm3)		2.64		
peso específico de masa saturado con superficie seca(Pesss) (gr/cm3)		2.66	2.66	2.66
peso específico de masa saturada con superficie seca promedio (gr/cm3)		2.66		
peso específico aparente (Pea)		2.71	2.71	2.71
peso específico aparente promedio		2.71		
% Absorción (Ab)		1.07	1.00	1.13
% Absorción promedio		1.07		

Fuente: *Elaboración propia*

### 2.5.2.3. Análisis Granulométrico:

Para realizar este ensayo se tomó en cuenta el MTC E 204-2016; análisis granulométrico de agregados gruesos y finos, Y la NTP N° 400.012. Ambas basadas en la norma ASTM 136.



Fotografía 5. Ensayo granulométrico de agregados de la cantera

Fuente: *Elaboración propia*

A continuación, se detallan los resultados obtenidos en laboratorio después del tamizado.

Tabla 7. *Análisis granulométrico del agregado de la cantera Viroy- Huácar*

<b>Tamices ASTM</b>	<b>Diámetro del suelo</b>	<b>Peso Retenido (%)</b>	<b>Peso Retenido Parcial (%)</b>	<b>Peso retenido acumulado (%)</b>	<b>Porcentaje que pasa (%)</b>
<b>3"</b>	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00
<b>2"</b>	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
<b>1 1/2"</b>	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
<b>1"</b>	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
<b>3/4"</b>	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
<b>1/2"</b>	12.70	0.737	14.74	14.74	85.26
<b>3/8"</b>	9.53	0.362	7.24	21.98	78.02
<b>1/4"</b>	6.35	0.525	10.50	32.48	67.52
<b>Nº 4</b>	4.76	0.393	7.86	40.34	59.66
<b>Nº 8</b>	2.38	0.815	16.30	56.64	43.36
<b>Nº 10</b>	2.00	0.197	3.94	60.58	39.42
<b>Nº 16</b>	1.16	0.536	10.72	71.30	28.70
<b>Nº 20</b>	0.84	0.382	7.64	78.94	21.06
<b>Nº 30</b>	0.59	0.303	6.06	85.00	15.00
<b>Nº 40</b>	0.43	0.246	4.92	89.92	10.08
<b>Nº 50</b>	0.30	0.138	2.76	92.68	7.32
<b>Nº 60</b>	0.25	0.064	1.28	93.96	6.04
<b>Nº 80</b>	0.18	0.057	1.14	95.10	4.90
<b>Nº 100</b>	0.15	0.026	0.52	95.62	4.38
<b>Nº 200</b>	0.07	0.041	0.82	96.44	3.56
<b>Cazoleta</b>	0.00	0.178	3.56	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>		5.000	100.00		

Fuente: *Elaboración propia*

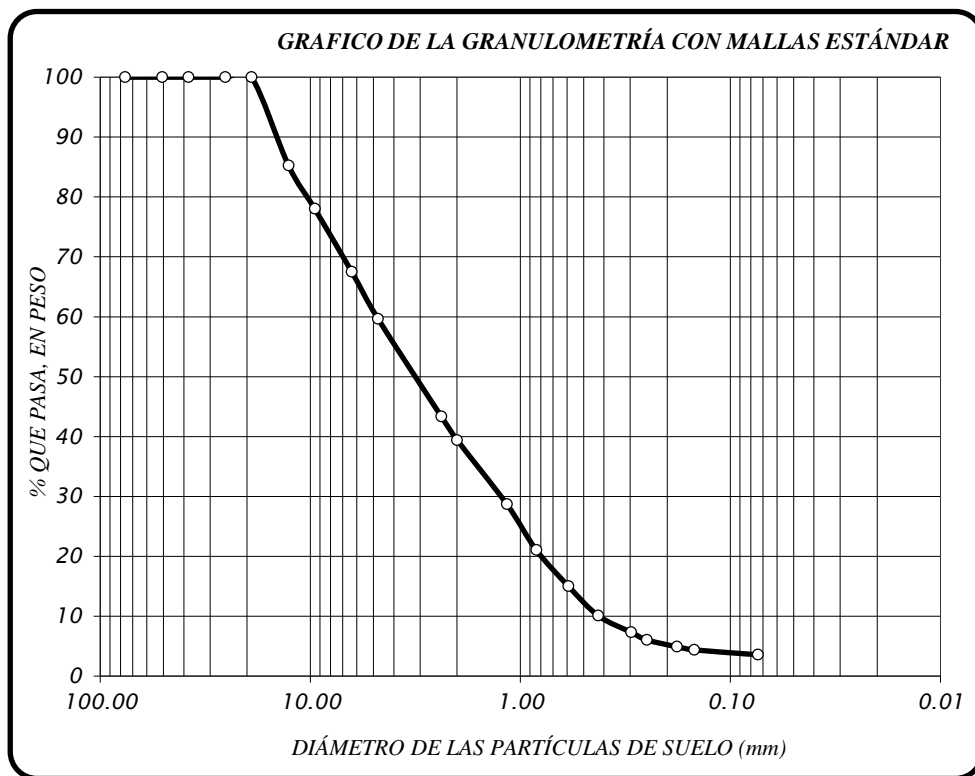


Figura 3. Curva granulométrica del agregado de la cantera Huácar

Fuente: Elaboración propia

#### 2.5.2.4. Abrasión de los Ángeles

Este método de ensayo se realizó de acuerdo a la norma NTP N° 400.019 T el manual de ensayo de materiales del ministerio de transportes y comunicaciones MTC E 207.

Tabla 8. Abrasión de los Ángeles

Muestra	Muestra-1	Muestra-2	Muestra-3
<b>Descripción</b>			
<b>Peso de la muestra antes del ensayo (kg)</b>	5	5	5
<b>Peso de la muestra después del ensayo (kg)</b>	4.059	4.034	4.05
<b>Porcentaje de desgaste</b>	18.82%	19.32%	19.00%
<b>Porcentaje de desgaste promedio</b>	19.05%		

Fuente: Elaboración propia





*Fotografía 6. Ensayo de abrasión de los ángeles  
Fuente: Elaboración propia*

## **2.6. Elaboración de probetas:**

### **2.6.1. Características de los materiales:**

#### **2.6.1.1. Cemento:**

De acuerdo a la NTP 339.009 o ASTM C 150, se utilizó el cemento portland tipo I (cemento andino).



*Fotografía 7. Cemento Portland tipo I  
Fuente: Elaboración propia*

### 2.6.1.2. Agregados:

Los agregados, conformados por las arenas (agregado fino) y las gravas (agregado grueso), constituyen más del 70% en una mezcla para la elaboración del hormigón u concreto, material estructural y de construcción por excelencia. Se conocen también como áridos, expresión utilizada para definir un material que no debe tener reacción química de ningún tipo con el cementante, el agua o con otros aditivos naturales o químicos; sin embargo, el fenómeno de la reacción álcalis agregado descubierta muchos años atrás, muestra que esta pasividad no es tan evidente. **(González, 2008).**

Se utilizaron los agregados de la cantera Viroy- Huácar, para el diseño se consideró el tamaño HUSO 67



*Fotografía 8. Agregados de la cantera Viroy-Huácar  
Fuente: Elaboración propia*

### 2.6.1.3. Agua:

Se usó agua potable de la ciudad universitaria UNHEVAL; considerada apta para uso de la mezcla de concreto poroso.

El agua en relación con su empleo en el concreto, tiene dos diferentes aplicaciones, como ingrediente en la elaboración de las mezclas y como medio de curado de las estructuras recién construidas. En el primer caso, es de uso interno como agua de mezclado, y en el segundo, se emplea exteriormente cuando el concreto se cura con agua. (Barahona R., Martínez M. & Zelaya, 2013).

### 2.6.1.4. Fibra sintética SikaCem-1 Fiber:

El tamaño es de 20mm, la cantidad y porcentaje se calculó de acuerdo al diseño de investigaciones similares con el 0%, 0.05%, 0.10% y 0.15% en relación al peso del diseño del concreto.



Fotografía 9. Fibra sintética SikaCem-1 Fiber  
Fuente: Elaboración propia

### 2.6.2. Criterios de Diseño de Mezcla:

Para el procedimiento de diseño de concreto permeable se tuvo en cuenta las consideraciones, tablas y procedimiento que brinda el ACI 211.3R-02 y ACI 522R-10.

(Sális B., 2016), recomienda utilizar porcentaje de vacíos entre 16% y 18% para mezclas de concreto poroso ya que las mezclas con mayor contenido de aire presentan muy baja resistencia, mezclas con menor contenido de aire presentan escurrimiento de la pasta de cemento y disminución notoria del porcentaje de huecos.

#### Procedimiento del diseño:

##### a) Propiedades de los materiales a usarse:

##### Grava (Ag):

- Densidad aparente : 2.64 gr/cm<sup>3</sup>
- tamaño del agregado : Huso 67
- Masa unitaria suelta : 1.45 gr/cm<sup>3</sup>
- Masa unitaria compacta : 1.56 gr/cm<sup>3</sup>
- Absorción (%) : 1.07
- Humedad (%) : 0.88

##### Cemento:

- Andino portland tipo I
- Densidad Aparente : 2.65gr/cm<sup>3</sup>
- Peso específico : 3.15gr/cm<sup>3</sup>

**Agua:**

- Potable
- Densidad :1000kg/m<sup>3</sup>

**Aditivo SikaCem-Fiber 1**

- Fibra sintética 20mm

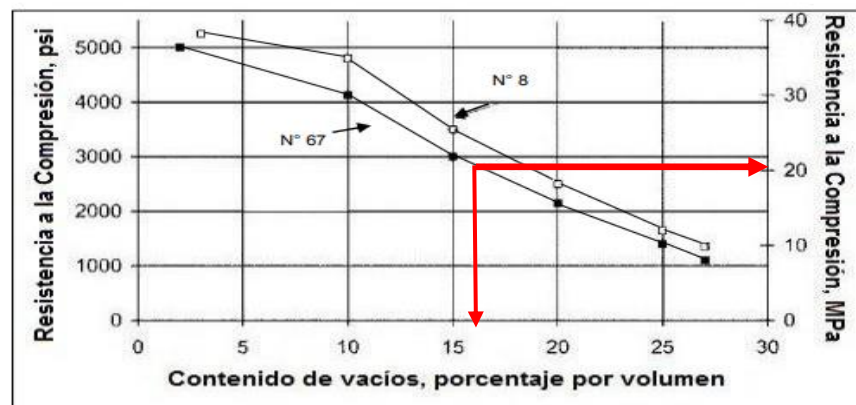
**b) Elección del  $f'c$  o resistencia a compresión del concreto:**

Figura 4. Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia compresión a los 28 días para tamaños de agregados N° 67 y N°8  
Fuente: ACI 522R-10

Luego pasamos al cálculo de resistencia de diseño según la figura 4:

Para un Porcentaje de Vacíos de 16% se tiene una resistencia a compresión de 200kg/cm<sup>2</sup>.

Según el ACI 211.3R-02 Recomienda utilizar una relación a/c entre 0.32 a 0.45.

Para este caso se trabajará con una relación agua/cemento de 0.35.

**c) Determinación del volumen de pasta según (ACI 211r-10)**

Para un porcentaje de vacíos de 16% se tiene un volumen de pasta de 27.10% (Sális B., 2016), vea la Figura 5.

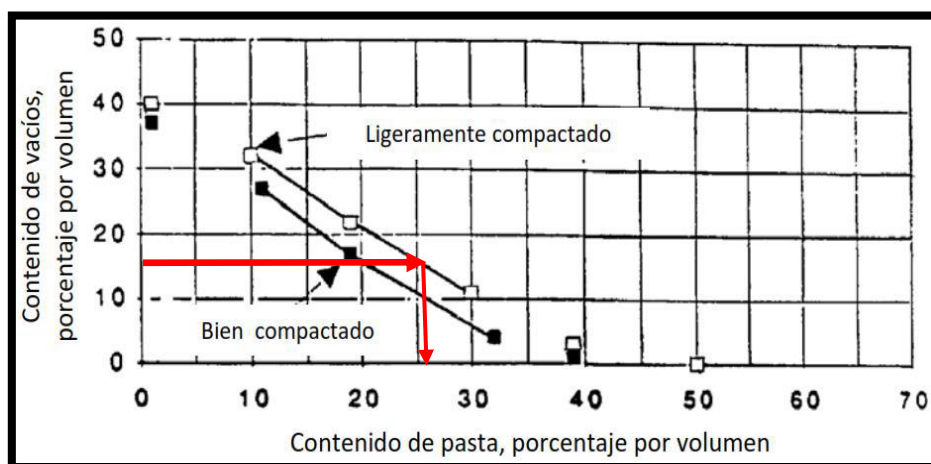


Figura 5: Relación entre el contenido de pasta y el contenido de vacíos  
Fuente: ACI 522R-10

**d) Volumen de grava**

$$V_p = 0.271 \text{ m}^3$$

$$V_v = 0.16 \text{ m}^3$$

$$V_g = 0.569 \text{ m}^3$$

$$W_g = 1502.2 \text{ kg}$$

**e) Cálculo de contenido del cemento**

Volumen pasta = Vol. Cemento + vol. Agua

$$0.2710 = \frac{c}{3.15 \times 1000} + \frac{0.35c}{1000}$$

$$C = 406.017 \text{ kg}$$

$$V_c = 0.1289 \text{ m}^3$$

**f) Cálculo de contenido de agua**

$$a = 0.35c$$

$$a = 142.107 \text{ kg}$$

$$V_a = 0.1421 \text{ m}^3$$

**g) Cálculo de contenido de aditivo sikaCem-1 Fiber:**

Porcentaje por peso del concreto 0%,0.05%,0.10 %,0.15%

Finalmente, los pesos por m<sup>3</sup> son:

Tabla 9. *Diseño del concreto poroso*

HUSO Granulométrico	HUSO 67			
	0.00% fibras	0.05% fibras	0.10% fibras	0.15% fibras
<b>Material</b>				
<b>cimento (kg)</b>	406.02	406.02	406.02	406.02
<b>grava(kg)</b>	1502.20	1502.20	1502.20	1502.20
<b>agua(kg)</b>	142.11	142.11	142.11	142.11
<b>TOTAL(kg)</b>	<b>2050.33</b>	<b>2050.33</b>	<b>2050.33</b>	<b>2050.33</b>
<b>Fibra Sintética (kg) SIKACEM- FIBER-1</b>	<b>0</b>	<b>1.03</b>	<b>2.05</b>	<b>3.09kg</b>

*Fuente: Elaboración propia*

**2.7. Elaboración y curado de probetas:**

La elaboración y curado se hizo en condiciones estándar a una temperatura de 23°C, este tipo de concreto requiere de un estricto cuidado y orden al momento de su elaboración, se realizó de acuerdo a la norma técnica NTP N° 339.183, al manual del MTC 702, y recomendaciones del ACI 511R-10.



*Fotografía 10. Elaboración del concreto poroso*

*Fuente: Elaboración propia*



*Fotografía 11. Adición de fibra sintética y curado de probetas*  
*Fuente: Elaboración propia*

## **2.8. Refrentado o capping de probetas:**

Después de la elaboración de probetas se pasó a realizar el refrentado de probetas según Norma Técnica Peruana NTP N° 339.037.

Se hizo el respectivo refrentado debido a los desniveles considerables que no permitían un correcto ensayo a compresión ya que causaban alteraciones considerables en los resultados de resistencia a compresión.



*Fotografía 12. Capping de probetas*  
*Fuente: Elaboración propia*



## 2.9. Ensayos de concreto poroso:

### 2.9.1. Asentamiento (SLUMP):

En general, es cero; sin embargo, se han usado valores en el rango de 20 a 50 mm. La prueba del revenimiento que se puede realizar de acuerdo con la ASTM C143– no es una prueba que se considera para fines de control de calidad, como en el caso del concreto convencional, sólo se considera como un valor de referencia, debido principalmente a que la mezcla es demasiado rígida y la medición del revenimiento en la mayoría de casos no es aplicable. (Instituto Mexicano del cemento y concreto, 2010).



Fotografía 13. Prueba de Revenimiento o slump en concreto poroso  
Fuente: Elaboración propia

### 2.9.2. Resistencia a la compresión:

El ensayo se realizó en especímenes cilíndricos de 15cm de diámetro y 30 cm de alto, según manual del MTC E-704 y la norma técnica peruana NTP N°339.034., el ensayo se realizó a los 7, 14 y 28 días de edad del concreto poroso, este ensayo nos permite conocer una de las propiedades más importantes para nuestra investigación.



Fotografía 14. Colocación de Probetas para ensayo a compresión

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 15. Rotura de probetas

Fuente: Elaboración propia

### 2.9.3. Permeabilidad:

La permeabilidad es otra de las propiedades importantes del concreto poroso la cual se realizó según recomendaciones de la norma ACI-522R-10 Estos especímenes tuvieron dimensiones de 10cm de diámetro y 20 cm de alto.

El cálculo del coeficiente de permeabilidad se realizó utilizando la ley de Darcy.

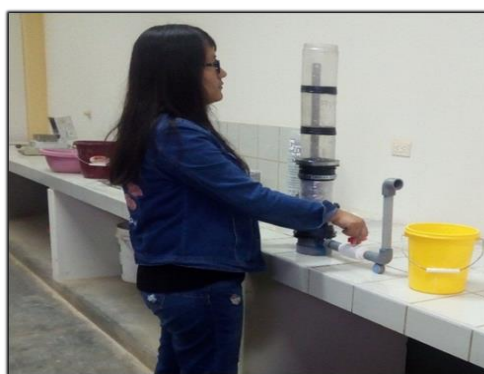
$$K = \frac{L}{t} \times \frac{a}{A} \times \ln \frac{h_1}{h_2}$$

Donde:

- k = coeficiente de permeabilidad ( $cm/s$ )
- L = Longitud de la muestra ( $cm$ )
- A = Área de la muestra ( $cm^2$ )
- a = área de la tubería de carga ( $cm^2$ )
- t = tiempo en demora en pasar de  $h_1$  a  $h_2$  (s)
- $h_1$  = altura de la columna de agua medida del nivel de referencia ( $cm$ )
- $h_2$  = altura de tubería de salida del agua con respecto al nivel de referencia ( $cm$ ).



*Fotografía 16. Permeámetro casero construido de acuerdo al ACI 522-10R  
Fuente: Elaboración propia*



*Fotografía 17. Ensayo de Permeabilidad  
Fuente: Elaboración propia*

## 2.10. Diseño experimental de la investigación:

### 2.10.1. Resultados de la resistencia a compresión:

Los resultados de los ensayos a compresión de concreto poroso se muestran a continuación desde los 7, 14 y 28 días respectivamente:

Tabla 10. Resultados del ensayo de resistencia a compresión a los 7 días

Diseño Muestra	D(cm)	L(m)	P(kg)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )
CP1-0%	15.10	31.10	26650	151.25
CP2-0%	15.10	31.00	30790	174.20
CP3-0%	15.15	31.10	30920	175.00
CP4-0%	15.10	31.15	33770	191.00
CP5-0%	15.01	31.02	29100	164.00
CE1-0.05%	15.00	31.10	31770	179.8
CE2-0.05%	15.10	31.00	33060	187.1
CE3-0.05%	15.00	31.10	30798	174.3
CE4-0.05%	15.00	31.15	37160	210.3
CE5-0.05%	15.10	31.30	20280	120.0
CE1-0.10%	15.20	31.15	29190	165.2
CE2-0.10%	15.15	31.00	34770	196.7
CE3-0.10%	15.10	31.30	29502	166.9
CE4-0.10%	15.10	31.00	24240	137.1
CE5-0.10%	15.10	31.20	17250	97.6
CE1-0.15%	15.10	31.00	23988	135.4
CE2-0.15%	15.20	31.20	25290	143.1
CE3-0.15%	15.10	31.00	24760	140.1
CE4-0.15%	15.20	31.10	23988	135.7
CE5-0.15%	15.20	31.10	21910	124.0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11: Resultados del ensayo de resistencia a compresión a los 14 días

<b>Diseño</b> <b>Muestra</b>	<b>D(cm)</b>	<b>L(m)</b>	<b>P(kg)</b>	<b>f'c</b> <b>(kg/cm2)</b>
<b>CP1-0%</b>	15.10	31.10	33270	188.3
<b>CP2-0%</b>	15.10	31.00	33770	191.0
<b>CP3-0%</b>	15.15	31.10	34710	196.4
<b>CP4-0%</b>	15.10	31.15	32830	185.8
<b>CP5-0%</b>	15.10	31.10	31469	178.1
<b>CE1-0.05%</b>	15.00	31.10	40713	230.4
<b>CE2-0.05%</b>	15.10	31.00	35571	201.3
<b>CE3-0.05%</b>	15.00	31.10	38604	218.4
<b>CE4-0.05%</b>	15.00	31.15	31600	178.8
<b>CE5-0.05%</b>	15.10	31.10	46510	263.2
<b>CE1-0.10%</b>	15.20	31.05	35510	200.9
<b>CE2-0.10%</b>	15.15	31.00	28060	158.8
<b>CE3-0.10%</b>	15.10	31.25	28355	160.5
<b>CE4-0.10%</b>	15.10	31.00	28655	162.1
<b>CE5-0.10%</b>	15.10	31.10	28950	163.8
<b>CE1-0.15%</b>	15.10	31.00	25640	145.1
<b>CE2-0.15%</b>	15.20	31.20	27672	156.6
<b>CE3-0.15%</b>	15.10	31.00	29710	168.1
<b>CE4-0.15%</b>	15.20	31.20	21279	135.4
<b>CE5-0.15%</b>	15.20	31.20	16130	102.6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Resultados del ensayo de resistencia a compresión a los 28 días

<b>Diseño</b> <b>Muestra</b>	<b>D(cm)</b>	<b>L(m)</b>	<b>P(kg)</b>	<b>f'c</b> <b>(kg/cm2)</b>
<b>CP1-0%</b>	15.10	31.10	41724	236.1
<b>CP2-0%</b>	15.10	31.00	33653	190.4
<b>CP3-0%</b>	15.15	31.10	39536	223.7
<b>CP4-0%</b>	15.10	31.15	35079	198.5
<b>CP5-0%</b>	15.10	31.10	30785	174.2
<b>CE1-0.05%</b>	15.00	31.10	38635	218.4
<b>CE2-0.05%</b>	15.10	31.00	40179	227.3
<b>CE3-0.05%</b>	15.00	31.10	39023	220.8
<b>CE4-0.05%</b>	15.00	31.15	43618	246.8
<b>CE5-0.05%</b>	15.00	31.10	39889	225.7
<b>CE1-0.10%</b>	15.20	31.20	32870	185.9
<b>CE2-0.10%</b>	15.15	31.00	27997	158.4
<b>CE3-0.10%</b>	15.100	31.30	28351	160.4
<b>CE4-0.10%</b>	15.10	31.00	26843	151.0
<b>CE5-0.10%</b>	15.10	31.00	38659	218.7
<b>CE1-0.15%</b>	15.10	31.00	29953	169.5
<b>CE2-0.15%</b>	15.20	31.20	25783	145.9
<b>CE3-0.15%</b>	15.10	31.00	34034	149.4
<b>CE4-0.15%</b>	15.20	31.00	26415	164.3
<b>CE5-0.15%</b>	15.20	31.00	26415	192.5

Fuente: Elaboración propia

### 2.10.2. Resultados del ensayo de permeabilidad:

Tabla 13: Resultados del ensayo del coeficiente de permeabilidad a los 28 días

Parámetro Muestra	a(cm <sup>2</sup> )	A(cm <sup>2</sup> )	h1(cm)	h2(cm)	t1(s)	L(cm)	k
CP1-0%	80.91	78.54	30	1.5	146	20	0.42
CP2-0%	80.91	78.54	30	1.5	105	20	0.59
CP3-0%	80.91	78.54	30	1.5	64	20	0.96
CP4-0%	80.91	78.54	30	1.5	69	20	0.89
CP5-0%	80.91	78.54	30	1.5	92	20	0.67
CE1-0.05%	80.91	78.54	30	1.5	70	20	0.88
CE2-0.05%	80.91	78.54	30	1.5	99	20	0.63
CE3-0.05%	80.91	78.54	30	1.5	105	20	0.59
CE4-0.05%	80.91	78.54	30	1.5	93	20	0.67
CE5-0.05%	80.91	78.54	30	1.5	80	20	0.77
CE1-0.10%	80.91	78.54	30	1.5	83	20	0.75
CE2-0.10%	80.91	78.54	30	1.5	127	20	0.49
CE3-0.10%	80.91	78.54	30	1.5	205	20	0.30
CE4-0.10%	80.91	78.54	30	1.5	240	20	0.26
CE5-0.10%	80.91	78.54	30	1.5	43	20	1.44
CE1-0.15%	80.91	78.54	30	1.5	127	20	0.49
CE2-0.15%	80.91	78.54	30	1.5	125	20	0.49
CE3-0.15%	80.91	78.54	30	1.5	88	20	0.70
CE4-0.15%	80.91	78.54	30	1.5	126	20	0.49
CE5-0.15%	80.91	78.54	30	1.5	107	20	0.58

Fuente: Elaboración propia

## 2.11. Análisis de los resultados:

### 2.11.1. Análisis Estadístico de las propiedades Físicas de los agregados de la cantera Viroy-Huácar:

#### 2.11.1.1. Peso Unitario Suelto y compactado

Tabla 14. Análisis del peso unitario suelto del agregado grueso

Muestra	x	x-u	(x-xp)^2
P.U-1	1.443	-0.009	0.000075
P.U-2	1.459	0.007	0.000054
P.U-3	1.453	0.001	0.000002

Fuente: Elaboración propia

n	=	3
$\sum X$	=	4.36
U	=	1.45
Variación $\sum(X_n - u)^2$	=	0.0001
Des. Estándar	=	0.01
Coefficiente de Variación	=	1%

Tabla 15: Análisis del peso unitario varillado del agregado grueso

Muestra	x	x-u	(x-xp)^2
P.U-V1	1.558	0.003	0.0000001
P.U-V2	1.557	-0.0007	0.0000004
P.U-V3	1.558	0.0003	0.0000001

Fuente: Elaboración propia

n	=	3
$\sum X$	=	4.67
U	=	1.56
Variación $\sum(X_n - u)^2$	=	0.000001
Des. Estándar	=	0.00058
Coefficiente de Variación	=	0.03%



### 2.11.1.2. Peso específico y absorción:

Tabla 16. *Peso específico del agregado grueso*

Muestra	x	x-u	(x-xp)^2
P.E-1	2.640	0.003	0.000011
P.E-2	2.640	0.003	0.000011
P.E-3	2.630	-0.007	0.000044

Fuente: *Elaboración propia*

n	=	3
$\sum X$	=	7.91
U	=	2.64
Variación $\sum(X_n - u)^2$	=	0.00006
Des. Estándar	=	0.0058
Coefficiente de Variación	=	0.23%

Tabla 17. *Absorción del agregado grueso*

Muestra	x	x-u	(x-xp)^2
Absorción-1	1.070	0.003	0.00001
Absorción-2	1.000	-0.067	0.00444
Absorción-3	1.130	0.063	0.00401

Fuente: *Elaboración propia*

n	=	3
$\sum X$	=	3.20
U	=	1.07
Variación $\sum(X_n - u)^2$	=	0.01
Des. Estándar	=	0.07
Coefficiente de Variación	=	6%

### 2.11.1.3. Abrasión de los ángeles:

Tabla 18. *Análisis de Abrasión de los ángeles del agregado grueso*

Muestra	x	x-u	(x-xp)^2
Abrasión-1	18.820	-0.23	0.051
Abrasión-2	19.320	0.27	0.075
Abrasión-3	19.000	-0.05	0.002

Fuente: *Elaboración propia*

n	=	3
$\sum X$	=	57.14
U	=	19.05

$$\begin{aligned} \text{Variación } \sum(x_n - u)^2 &= 0.13 \\ \text{Des. Estándar} &= 0.25 \\ \text{Coeficiente de Variación} &= 1\% \end{aligned}$$

#### 2.11.1.4. Granulometría del agregado grueso:

Tabla 19. Granulometría del agregado grueso de la cantera Huácar

Tamices ASTM	Diámetro del suelo	Peso Retenido (kg)	Peso Retenido Parcial (%)	Peso retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Limites según norma ASTM C33
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	100%
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00	90%-100%
1/2"	12.70	1.12	23.21	23.21	76.80	--
3/8"	9.53	1.10	22.19	45.39	54.61	20%-55%
1/4"	6.35	1.54	30.77	76.16	23.85	--
Nº 4	4.76	1.19	23.85	100	0	0%-10%
<b>Total</b>		5.00	100.00			

Fuente: Elaboración propia

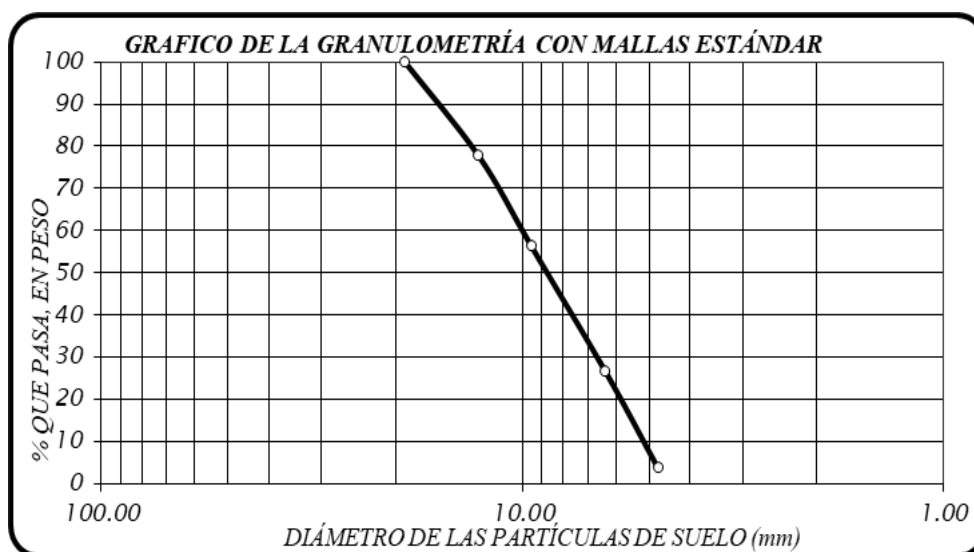


Figura 6. Análisis de Granulometría del agregado grueso

Fuente: Elaboración propia

## 2.11.2. Análisis Estadístico de la resistencia a compresión del concreto poroso:

### 2.11.2.1. Resistencia a la compresión- Concreto Patrón (CP0%) a los 7 días

Tabla 20.

*Análisis Estadístico-Concreto Patrón-Resistencia a la Compresión 07 días*

Descripción	x	x-u	(x-xp)^2
CP1-0%	151.3	-19.84	393.63
CP2-0%	174.2	3.11	9.67
CP3-0%	175.0	3.91	15.29
CP4-0%	191.0	19.91	396.41
CP5-0%	164.0	-7.09	50.29

*Fuente: Elaboración propia*

n	=	5
$\sum X$	=	885.45
U	=	171.09
Variación $\sum(X_n - u)^2$	=	865.26
Des. Estándar	=	14.71
Coefficiente de Variación	=	9%

### 2.11.2.2. Resistencia a la compresión- Concreto patrón (CP0%) a los 14 días:

Tabla 21.

*Análisis Estadístico-Concreto Patrón-Resistencia a la compresión 14 días*

Descripción	x	x-u	(x-xp)^2
CP1-0%	188.3	0.38	0.14
CP2-0%	191.0	3.08	9.49
CP3-0%	196.4	8.48	71.91
CP4-0%	185.8	-2.12	4.49
CP5-0%	178.10	-9.82	96.43

*Fuente: Elaboración propia*

n	=	5
$\sum X$	=	939.60
U	=	187.92
Variación $\sum(X_n - u)^2$	=	182.47
Des. Estándar	=	6.75
Coefficiente de Variación	=	4%

### 2.11.2.3. Resistencia a la compresión- Concreto patrón (CP) a los 28 días:

Tabla 22.

*Análisis Estadístico-Concreto Patrón-Resistencia a la compresión 28 días*

Descripción	x	x-u	(x-xp)^2
CP1-0%	236.10	31.51	993.13
CP2-0%	190.43	-14.16	200.39
CP3-0%	223.70	19.11	365.34
CP4-0%	198.50	-6.09	37.04
CP5-0%	174.20	-30.39	923.31

Fuente: Elaboración propia

n	=	5
$\sum X$	=	1022.93
U	=	204.59
Variación $\sum(X_n-u)^2$	=	2519.22
Des. Estándar	=	25.096
Coefficiente de Variación	=	12%

### 2.11.2.4. Resistencia a la compresión- Concreto experimental con 0.05% de fibra sintética (CE-0.05%) a los 7 días.

Tabla 23.

*Análisis Estadístico-Concreto con 0.05% de fibra sintética –Resistencia a la compresión- 7 días.*

Descripción	x	x-u	(x-xp)^2
CE1-0.05%	179.80	5.54	30.695
CE2-0.05%	187.10	12.80	163.840
CE3-0.05%	174.10	-0.16	0.0256
CE4-0.05%	210.30	36.04	1296.882
CE5-0.05%	120.00	-54.26	2948.148

Fuente: Elaboración propia

n	=	5
$\sum X$	=	751.5
U	=	174.26
Variación $\sum(X_n-u)^2$	=	4438.61
Des. Estándar	=	33.31
Coefficiente de Variación	=	19%

**2.11.2.5. Resistencia a la compresión- Concreto experimental con 0.05% de fibra sintética (CE-0.05%) a los 14 días:**

Tabla 24.

*Análisis Estadístico-Concreto experimental con 0.05% de fibra sintética - Resistencia a la compresión- 14 días*

Descripción	x	x-u	(x-xp)^2
CE1-0.05%	230.40	11.97	143.38
CE2-0.05%	201.30	-17.13	293.30
CE3-0.05%	218.49	0.05	0.003
CE4-0.05%	178.80	-39.63	1570.22
CE5-0.05%	263.20	44.77	2004.71

*Fuente: Elaboración propia*

n	=	5
$\sum X$	=	828.99
U	=	218.44
Variación $\sum(X_n-u)^2$	=	4011.61
Des. Estándar	=	31.67
Coeficiente de Variación	=	14%

**2.11.2.6. Resistencia a la compresión- concreto experimental con 0.05% de fibra sintética (CE-0.05%) a los 28 días:**

Tabla 25.

*Análisis Estadístico-Concreto experimental con 0.05% de fibra sintética - Resistencia a la compresión- 28 días*

Descripción	x	x-u	(x-xp)^2
CE1-0.05%	218.40	-9.40	88.360
CE2-0.05%	227.30	-0.50	0.250
CE3-0.05%	220.80	-7.00	49.000
CE4-0.05%	246.80	19.00	361.000
CE5-0.05%	225.70	-2.10	4.410

*Fuente: Elaboración propia*

n	=	5
$\sum X$	=	913.3
U	=	227.8
Variación $\sum(X_n-u)^2$	=	503.02

Des. Estándar	=	11.21
Coefficiente de Variación	=	5%

**2.11.2.7. Resistencia a la compresión- concreto experimental con 0.10% de fibra sintética (CE-0.10%) a los 7 días:**

Tabla 26.

*Análisis Estadístico-Concreto experimental con 0.15% de fibra sintética - Resistencia a la compresión- 7 días*

Descripción	x	x-u	(x-xp)^2
CE1-0.10%	165.20	12.50	156.15
CE2-0.10%	196.70	44.00	1935.65
CE3-0.10%	166.90	14.20	201.53
CE4-0.10%	137.10	-15.60	243.49
CE5-0.10%	97.62	-55.08	3034.25

*Fuente: Elaboración propia*

n	=	4
$\sum X$	=	635.34
U	=	158.84
Variación $\sum(X_n-u)^2$	=	631.18
Des. Estándar	=	14.50
Coefficiente de Variación	=	9%

**2.11.2.8. Resistencia a la compresión- concreto experimental con 0.10% de fibra sintética (CE-0.10%) a los 14 días:**

Tabla 27.

*Análisis Estadístico-Concreto experimental con 0.15% de fibra sintética - Resistencia a la compresión- 14 días*

Descripción	x	x-u	(x-xp)^2
CE1-0.10%	200.90	31.68	1003.62
CE2-0.10%	158.80	-10.42	108.58
CE3-0.10%	160.47	-8.75	76.563
CE4-0.10%	162.13	-7.09	50.27
CE5-0.10%	163.80	-5.42	29.38

*Fuente: Elaboración propia*

n	=	5
$\sum X$	=	864.10
U	=	169.22
Variación $\sum(X_n-u)^2$	=	1268.41
Des. Estándar	=	17.81
Coeficiente de Variación	=	11%

**2.11.2.9. Resistencia a la compresión- concreto experimental con 0.10% de fibra sintética (CE-0.10%) a los 28 días:**

Tabla 28.

*Análisis Estadístico-Concreto experimental con 0.10% de fibra sintética - Resistencia a la compresión- 14 días*

Descripción	x	x-u	(x-xp)^2
CE1-0.10%	185.90	11.02	121.44
CE2-0.10%	158.40	-16.48	271.59
CE3-0.10%	160.40	-14.48	209.67
CE4-0.10%	151.00	-23.88	570.25
CE5-0.10%	218.70	43.82	1920.19

*Fuente: Elaboración propia*

n	=	5
$\sum X$	=	874.40
U	=	174.8
Variación $\sum(X_n-u)^2$	=	3039.15
Des. Estándar	=	27.81
Coeficiente de Variación	=	16%

**2.11.2.10. Resistencia a la compresión- concreto experimental con 0.15% de fibra sintética (CE-0.15%) a los 7 días:**

Tabla 29.

*Análisis Estadístico-Concreto experimental con 0.15% de fibra sintética - Resistencia a la compresión - 7 días*

Descripción	x	x-u	(x-xp)^2
CE1-0.15%	135.40	-0.14	0.020
CE2-0.15%	143.10	7.56	57.154
CE3-0.15%	140.10	4.56	20.794
CE4-0.15%	135.70	-0.04	0.002
CE5-0.15%	124.00	-11.54	133.172

*Fuente: Elaboración propia*

n	=	5
$\sum X$	=	554.3
U	=	135.66
Variación $\sum(X_n - u)^2$	=	211.09
Des. Estándar	=	7.26
Coeficiente de Variación	=	5%

**2.11.2.11. Resistencia a la compresión- concreto experimental con 0.15% de fibra sintética (CE-0.15%) a los 14 días:**

Tabla 30.

*Análisis Estadístico - Concreto experimental con 0.15% de fibra sintética - Resistencia a la compresión – 14 días*

Descripción	x	x-u	(x-xp)^2
CE1-0.15%	145.10	3.55	12.60
CE2-0.15%	156.60	15.05	226.50
CE3-0.15%	168.10	26.55	704.90
CE4-0.15%	135.35	-6.20	38.44
CE5-0.15%	102.60	-38.95	1517.10

*Fuente: Elaboración propia*

n	=	5
$\sum X$	=	605.15
U	=	141.55
Variación $\sum(X_n - u)^2$	=	2499.55
Des. Estándar	=	24.99
Coeficiente de Variación	=	18%

**2.11.2.12. Resistencia a la compresión- concreto experimental con 0.15% de fibra sintética (CE-0.15%) a los 28 días:**

Tabla 31.

*Análisis Estadístico - Concreto experimental con 0.15% de fibra sintética - Resistencia a la compresión – 28 días*

Descripción	x	x-u	(x-xp)^2
CE1-0.15%	169.50	5.22	27.199
CE2-0.15%	145.90	-18.38	338.997
CE3-0.15%	149.40	-14.88	221.554
CE4-0.15%	164.12	-0.16	0.026
CE5-0.15%	192.50	28.22	796.103

*Fuente: Elaboración propia*



n	=	5
$\sum X$	=	628.92
U	=	164.28
Variación $\sum(X_n - u)^2$	=	1382.88
Des. Estándar	=	18.59
Coefficiente de Variación	=	11%

### 2.11.3. Análisis Estadístico de permeabilidad del concreto poroso:

#### 2.11.3.1. Permeabilidad del concreto poroso con 0% de fibra sintética Sikacem- 1

##### Fiber (CP-0%):

Tabla 32. Análisis Estadístico-concreto Patrón - permeabilidad

Descripción	x	x-u	(x-xp)^2
CP1-0%	0.423	-0.285	0.081
CP2-0%	0.588	-0.120	0.014
CP3-0%	0.964	0.256	0.066
CP4-0%	0.895	0.186	0.035
CP5-0%	0.671	-0.037	0.001

Fuente: Elaboración propia

n	=	5
$\sum X$	=	3.54
U	=	0.71
Variación $\sum(X_n - u)^2$	=	0.20
Des. Estándar	=	0.22
Coefficiente de Variación	=	3.1%

#### 2.11.3.2. Permeabilidad del concreto poroso experimental con 0.05% de fibra sintética SikaCem-1 Fiber (CE-0.05%):

Tabla 33.

Análisis Estadístico- Concreto Experimental con 0.05% de fibra sintética - permeabilidad

Descripción	x	x-u	(x-xp)^2
CE1-0.05%	0.88	0.18	0.0306
CE2-0.05%	0.63	-0.08	0.0067
CE3-0.05%	0.59	-0.12	0.0141
CE4-0.05%	0.67	-0.04	0.0016
CE5-0.05%	0.77	0.06	0.0042

Fuente: Elaboración propia

n	=	5
$\sum X$	=	2.76
U	=	0.71
Variación $\sum(X_n-u)^2$	=	0.06
Des. Estándar	=	0.20
Coeficiente de Variación	=	1.7%

### 2.11.3.3. Permeabilidad del concreto poroso experimental con 0.10% de fibra sintética sikacem-1 fiber (CE-0.10%):

Tabla 34:

*Análisis Estadístico- Concreto Experimental con 0.10% de fibra sintética-permeabilidad*

Descripción	x	x-u	(x-xp)^2
CE1-0.10%	0.75	0.10	0.010
CE2-0.10%	0.49	-0.16	0.025
CE3-0.10%	0.30	-0.34	0.118
CE4-0.10%	0.26	-0.39	0.151
CE5-0.10%	1.44	0.79	0.624

*Fuente: Elaboración propia*

n	=	5
$\sum X$	=	3.23
U	=	0.65
Variación $\sum(X_n-u)^2$	=	0.93
Des. Estándar	=	0.48
Coeficiente de Variación	=	7.5%

### 2.11.3.4. Permeabilidad del concreto poroso con 0.15% de fibra sintética sikacem-1 Fiber:

Tabla 35.

*Análisis Estadístico- Concreto Experimental con 0.15% de fibra sintética-permeabilidad*

Descripción	x	x-u	(x-xp)^2
CE1-0.15%	0.49	-0.06	0.0041
CE2-0.15%	0.49	-0.06	0.0032
CE3-0.15%	0.70	0.15	0.0229
CE4-0.15%	0.49	-0.06	0.0036
CE5-0.15%	0.58	0.03	0.0009

*Fuente: Elaboración propia*

n	=	5
$\sum X$	=	2.17
U	=	0.55
Variación $\sum(X_n - u)^2$	=	0.03
Des. Estándar	=	0.09
Coefficiente de Variación	=	1.7%

#### **2.11.4. Diseño Experimental de la Investigación.**

##### **2.11.4.1. Teoría de las muestras pequeñas Distribución “t” de student:**

Según (Dicovsky L., 2008) indica que:

Un investigador, **Gosset (seudónimo Student)** llegó a la conclusión que la distribución Normal no funciona bien con muestras pequeñas, de tamaño menor a 30 datos, y encontró una distribución que supera este problema. Luego esta distribución se llamaría “t” de Student en honor a Gosset.

Esta distribución es simétrica, con forma de campana y su promedio vale 0. Cuando hay pocos datos la campana es más aplanada que una campana Normal. Esta Distribución se usa mucho para construir intervalos de confianza de  $\mu$  y realizar pruebas de hipótesis de uno y dos promedios con variables continuas.

##### **2.11.4.2. Prueba de Hipótesis:**

###### **2.11.4.2.1. Propiedades físicas del agregado de la cantera Viroy-Huácar con respecto a la Norma Técnica Peruana.**

###### **a) Hipótesis:**

###### **Hipótesis Alternativa:**

**Hi:** Las propiedades físicas de los agregados de la cantera Huácar - Viroy cumplen con la norma técnica peruana.

**Hipótesis Nula:**

**Ho:** Las propiedades físicas de los agregados de la cantera Huácar - Viroy No cumplen con la norma técnica peruana.

**b) Conclusiones**

Después de haber analizado cada una de las propiedades físicas se concluye:

➤ **Peso Unitario suelto y compactado**

El peso unitario suelto del agregado de la cantera Huácar, se encuentra dentro del rango de 1500kg/m<sup>3</sup> a 1700kg/m<sup>3</sup> como se indica en la tabla 36, por lo tanto, cumple en con la N.T.P. y se acepta la hipótesis Alternativa.

Tabla 36. *Parámetro de Peso unitario*

Descripción	Peso Unitario	N.T.P 400.017
<b>Peso unitario suelto Media(u)</b>	1450 kg/m <sup>3</sup>	1500-1700kg/m <sup>3</sup>
<b>Peso unitario compactado Media(u)</b>	1560 kg/m <sup>3</sup>	1500-1700kg/m <sup>3</sup>

*Fuente: Elaboración propia*

➤ **Peso específico**

En la tabla 37, se puede observar que el peso específico promedio del agregado grueso de la cantera Viroy- Huácar, se encuentra dentro

del rango admisible 2500-2750kg/m<sup>3</sup> según la norma. Por lo tanto, se acepta la hipótesis Alternativa.

Tabla 37. *Parámetro de Peso específico*

Descripción	Peso específico	N.T.P 400.021
Media(u)	2640 kg/m <sup>3</sup>	2500-2750kg/m <sup>3</sup>

Fuente: *Elaboración propia*

### ➤ Absorción

La absorción del agregado grueso de la cantera Viroy-Huácar, se encuentra dentro del rango sugerido menor a 3% según la tabla 38. Por lo tanto, se acepta la hipótesis Alternativa.

Tabla 38: *Parámetro de Absorción*

Descripción	Absorción	N.T.P 400.021
Media(u)	1.07%	Menor a 3%

Fuente: *Elaboración propia*

### ➤ Abrasión

En la tabla 39, la abrasión del agregado grueso de la cantera Viroy-Huácar, se encuentra dentro del límite sugerido por la N.T.P. Por lo tanto, se acepta la hipótesis Alternativa.

Tabla 39. *Parámetro de Abrasión*

Descripción	Abrasión	N.T.P 400.019
Media(u)	19.05%	No mayor a 40%

Fuente: *Elaboración propia*

➤ **Análisis granulométrico**

Según la tabla 19, el análisis granulométrico del agregado grueso de la cantera Viroy-Huácar se encuentra dentro de los límites indicados por la N.T.P 400.037. Por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa.

**2.11.4.2.2. Resistencia a los 7 días del concreto Patrón con respecto al concreto experimental con 0.05% de fibra sintética:**

**a) Parámetro de Interés entre el grupo 1 y el grupo 2:**

Tabla 40. *Parámetros entre el grupo CP-0% y grupo CE-0.05% a los 7 días*

Descripción	Grupo 1	Grupo 2
	concreto patrón	concreto experimental
% de Fibra sintética	0.00%	0.05%
Número de muestras (n)	5	5
Media(u)	171.09	174.26
Desviación estándar ( $\sigma$ )	14.71	33.31

*Fuente: Elaboración propia*

**b) Hipótesis:**

**Hipótesis Nula:**  $H_0: u_2 \leq u_1$

**H<sub>0</sub>:** La incorporación del aditivo de fibra Sintética Sikacem-1 Fiber 20mm **no influye positivamente** en la resistencia a compresión del concreto poroso elaborada con agregados de la cantera Huácar- Huánuco. (A los 7 días de edad).

**Hipótesis Alternativa:**  $H_i: u_2 > u_1$

**Hi:** La incorporación del aditivo de fibra Sintética Sikacem-1 Fiber 20mm **influye positivamente** en la resistencia a compresión del concreto poroso elaborada con agregados de la cantera Huácar- Huánuco. (A los 7 días de edad)

c) **Nivel de significancia:**  $\alpha = 0.05$  ;  $GL=8$  ;  $t=1.8595$

d) **Estadístico de prueba:**

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1-1)\sigma_1^2 + (n_2-1)\sigma_2^2}{n_1+n_2-2}} = 25,75 \quad t_p = \frac{u_2 - u_1}{S_p \sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} = 0.19$$

Si:  $|t_p| > |t|$ ; se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  y se acepta la alternativa

Si:  $|t_p| \leq |t|$ ; se mantiene la hipótesis nula  $H_0$ .

e) **Conclusión:**

Puesto que  $t > t_p$  ;  $1.8595 > 0.19$  “**Se acepta  $H_0$** ”

Se concluye que la adición de fibra sintética Sikacem-1 fiber en 0.05% al concreto poroso a la edad de 7 días, **no influye positivamente** en la resistencia del concreto experimental ya que el estadístico de prueba  $t_p = 0.19$  según la figura 7 cae en la zona de aceptación. Aunque la media del concreto experimental es mayor se concluye que el número de muestras no son suficientes para rechazar la hipótesis nula y asegurar que la fibra sintética influya positivamente en la resistencia a compresión.

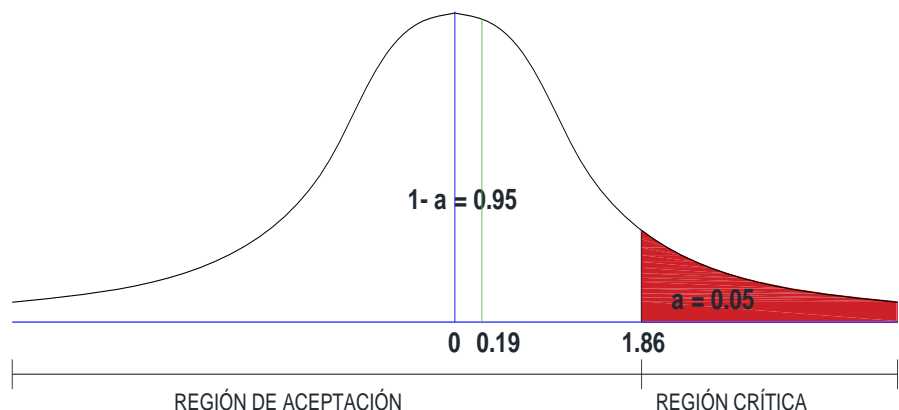


Figura 7: Distribución t student para resistencia a compresión del concreto Patrón con respecto al concreto experimental (CE-0.05%)- 7 días

Fuente: Elaboración propia

### 2.11.4.2.3. Resistencia a los 14 días del concreto Patrón con respecto al concreto experimental con 0.05 % de fibra sintética:

#### a) Parámetro de Interés:

Tabla 41. Parámetros entre el grupo CP0% y grupo CE-0.05% a los 14 días

Descripción	Grupo 1	Grupo 2
	Concreto patrón	Concreto Experimental
% de Fibra sintética	0.00%	0.05%
Numero de muestras (n)	5	5
Media(u)	189.92	218.44
Desviación estándar ( $\sigma$ )	6.75	31.67

Fuente: Elaboración propia

#### b) Hipótesis:

**Hipótesis Nula:**  $H_0: u_2 \leq u_1$

**H<sub>0</sub>:** La incorporación del aditivo de fibra Sintética Sikacem-Fiber 1 20mm **no influye positivamente** en la resistencia a compresión del



concreto poroso elaborada con agregados de la cantera Huácar- Huánuco.  
(A los 14 días de edad).

**Hipótesis Alternativa: Hi:  $u_2 > u_1$**

**Hi:** La incorporación del aditivo de fibra Sintética Sikacem-1 Fiber 20mm **influye positivamente** en la resistencia a compresión del concreto poroso elaborada con agregados de la cantera Huácar- Huánuco. (A los 14 días de edad).

b) **Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$  ; GL=8 ;  $t=1.8595$**

c) **Estadístico de prueba:**

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1-1)\sigma_1^2 + (n_2-1)\sigma_2^2}{n_1+n_2-2}} = 22.89 \qquad t_p = \frac{u_2 - u_1}{S_p \sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} = 2.11$$

Si:  $|t_p| > |t|$ ; se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  y se acepta la alternativa

Si:  $|t_p| \leq |t|$ ; se mantiene la hipótesis nula  $H_0$ .

d) **Conclusión:**

Puesto que  $t_p > t$ ;  $2.11 > 1.8595$  **“Se rechaza  $H_0$ ”**

En la figura 8,  $t_p=2.11$  cae en la región crítica por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna donde se concluye que la adición de fibra sintética sikacem- fiber 1 en 0.05% al concreto poroso a los 14 días de edad **influye positivamente en la resistencia a compresión.**

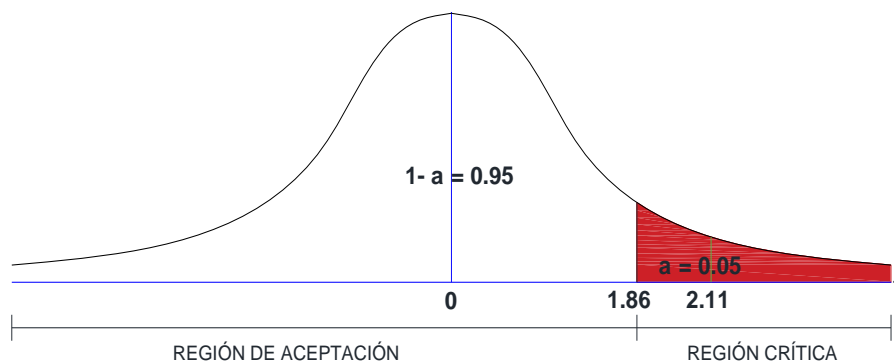


Figura 8. Distribución t student para resistencia a compresión del concreto Patrón con respecto al concreto experimental (CE-0.05%)-14 días

Fuente: Elaboración propia

#### 2.11.4.2.4. Resistencia a los 28 días del concreto Patrón con respecto al concreto experimental con 0.05% de fibra sintética sikacem-1 fiber:

##### a) Parámetro de Interés:

Tabla 42. Parámetros entre el grupo CP0% y grupo CE-0.05% a los 28 días

Descripción	Grupo 1	Grupo 2
	Concreto Patrón	Concreto Experimental
% de Fibra sintética	0.00%	0.05%
Numero de muestras (n)	5	5
Media(u)	204.59	227.80
Desviación estándar ( $\sigma$ )	25.10	11.21

Fuente: Elaboración propia

##### b) Hipótesis:

**Hipótesis Nula:**  $H_0: u_2 \leq u_1$

**H<sub>0</sub>:** La incorporación del aditivo de fibra Sintética Sikacem-1 Fiber 20mm **no influye positivamente** en la resistencia a compresión del

concreto poroso elaborada con agregados de la cantera Huácar- Huánuco.  
(A los 28 días de edad).

**Hipótesis Alternativa: Hi:  $u_2 > u_1$**

**Hi:** La incorporación del aditivo de fibra Sintética Sikacem-1 Fiber 20mm **influye positivamente** en la resistencia a compresión del concreto poroso elaborada con agregados de la cantera Huácar- Huánuco. (A los 28 días de edad)

c) **Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$  ; GL=8 ;  $t=1.8595$**

d) **Estadístico de prueba:**

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1-1)\sigma_1^2 + (n_2-1)\sigma_2^2}{n_1+n_2-2}} = 19.14 \quad t_p = \frac{u_2 - u_1}{S_p \sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} = 1.89$$

Si:  $|t_p| > |t|$ ; se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  y se acepta la alternativa

Si:  $|t_p| \leq |t|$ ; se mantiene la hipótesis nula  $H_0$ .

e) **Conclusión:**

Puesto que  $t_p > t$ ;  $1.89 > 1.86$  **“Se rechaza  $H_0$ ”**

En la figura 9 se observa que  $t_p = 1.89$  cae en la región crítica por lo tanto se acepta la hipótesis alterna y se concluye que la adición de fibra sintética Sikacem-1 Fiber en 0.05% al concreto poroso a los 28 días de edad **influye positivamente** en la resistencia a compresión.

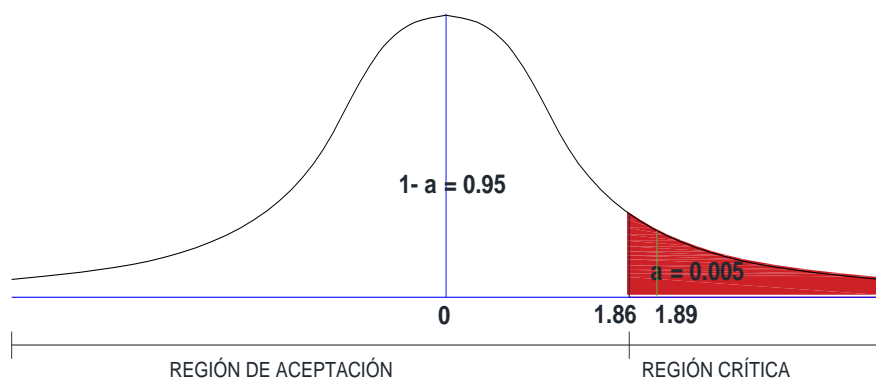


Figura 9: Distribución t student para resistencia a compresión del concreto Patrón con respecto al concreto experimental (CE-0.05%)-28 días

Fuente: Elaboración propia

#### 2.11.4.3. Resistencia a los 07 días del concreto Patrón con respecto al concreto experimental con 0.10% de fibra sintética:

##### a) Parámetro de Interés:

Tabla 43. Parámetros entre el grupo CP0% y grupo CE-0.10% a los 7 días

Descripción	Grupo 1	Grupo 3
	Concreto patrón	Concreto experimental
% de Fibra sintética	0.00%	0.10%
Numero de muestras (n)	5	5
Media(u)	171.09	152.70
Desviación estándar ( $\sigma$ )	14.71	37.32

Fuente: Elaboración propia

##### b) Hipótesis:

**Hipótesis Nula:**  $H_0: u_2 \leq u_1$

**H<sub>0</sub>:** La incorporación del aditivo de fibra Sintética Sikacem-1 Fiber 20mm **no influye positivamente** en la resistencia a compresión del concreto poroso elaborada con agregados de la cantera Huácar- Huánuco. (A los 7 días de edad).

**Hipótesis Alternativa:  $H_i: u_2 > u_1$**

**$H_i$ :** La incorporación del aditivo de fibra Sintética Sikacem-1 Fiber 20mm **influye positivamente** en la resistencia a compresión del concreto poroso elaborada con agregados de la cantera Huácar- Huánuco. (A los 7 días de edad).

c) Nivel de significancia:  $\alpha=0.05$  ;  $GL=8$  ;  $t=1.8595$

d) Estadístico de prueba:

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1-1)\sigma_1^2 + (n_2-1)\sigma_2^2}{n_1+n_2-2}} = 28.36 \quad t_p = \frac{u_2 - u_1}{S_p \sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} = -1.02$$

Si:  $|t_p| > |t|$ ; se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  y se acepta la alternativa

Si:  $|t_p| \leq |t|$ ; se mantiene la hipótesis nula  $H_0$ .

e) **Conclusión:**

Puesto que  $t_p < t$ ;  $-1.02 < 1.86$  “**se mantiene el  $H_0$** ”

Se ubica en la región de aceptación de  $H_0$  como se muestra en la figura 10. Por lo tanto, se concluye que la adición de fibra sintética sikacem fiber-1 en 0.10% al concreto poroso a los 7 días, **no influye positivamente** a la resistencia a compresión del concreto poroso.

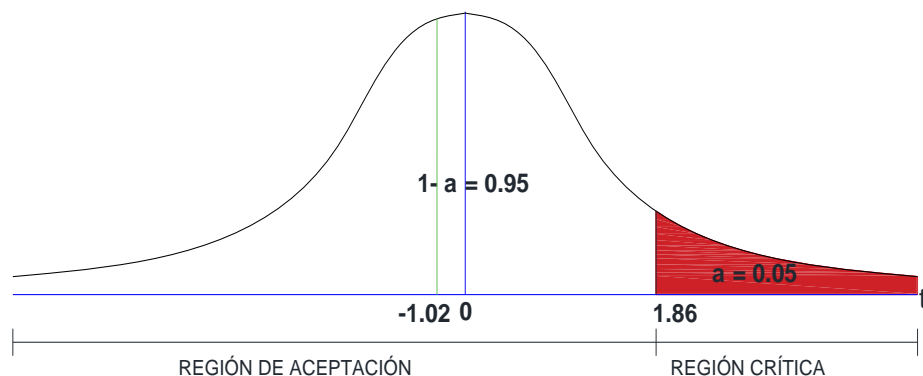


Figura 10. Distribución t student para resistencia a compresión del concreto Patrón con respecto al concreto experimental (CE-0.10%)-7 días

Fuente: Elaboración propia

#### 2.11.4.4. Resistencia a los 14 días del concreto Patrón con respecto al concreto experimental con 0.10% de fibra sintética:

##### a) Parámetro de Interés:

Tabla 44. Parámetros entre el grupo CP0% y grupo CE-0.10% a los 14 días

Descripción	Grupo 1	Grupo 3
	concreto patrón	concreto experimental
% de Fibra sintética	0.00%	0.10%
Numero de muestras (n)	5	5
Media(u)	187.92	169.22
Desviación estándar ( $\sigma$ )	6.75	31.67

Fuente: Elaboración propia

##### b) Hipótesis:

**Hipótesis Nula:**  $H_0: u_2 \leq u_1$

**H<sub>0</sub>:** La incorporación del aditivo de fibra Sintética Sikacem-1 Fiber 20mm **no influye positivamente** en la resistencia a compresión del concreto poroso elaborada con agregados de la cantera Huácar- Huánuco. (A los 14 días de edad).

**Hipótesis Alternativa:  $H_1: u_2 > u_1$**

**$H_1$ :** La incorporación del aditivo de fibra Sintética Sikacem-1 Fiber 20mm **influye positivamente** en la resistencia a compresión del concreto poroso elaborada con agregados de la cantera Huácar- Huánuco. (A los 14 días de edad).

c) **Nivel de significancia:**  $\alpha = 0.05$  ;  $GL=8$  ;  $t=1.8595$

d) **Estadístico de prueba:**

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1-1)\sigma_1^2 + (n_2-1)\sigma_2^2}{n_1+n_2-2}} = 22.89 \quad t_p = \frac{u_2 - u_1}{S_p \sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} = -1.29$$

Si:  $|t_p| > |t|$ ; se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  y se acepta la alternativa

Si:  $|t_p| \leq |t|$ ; se mantiene la hipótesis nula  $H_0$ .

e) **Conclusión:**

Puesto que  $t_p < t$ ;  $-1.29 < 1.86$  ; **“se mantiene el  $H_0$ ”**

Según la figura 11 se observa que  $t_p = -1.29$  cae en la región de aceptación, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, y se concluye que la adición de fibra sintética sikaCem-Fiber 1 en 0.10% al concreto poroso a los 14 días de edad, **no influye positivamente** en su resistencia a compresión.

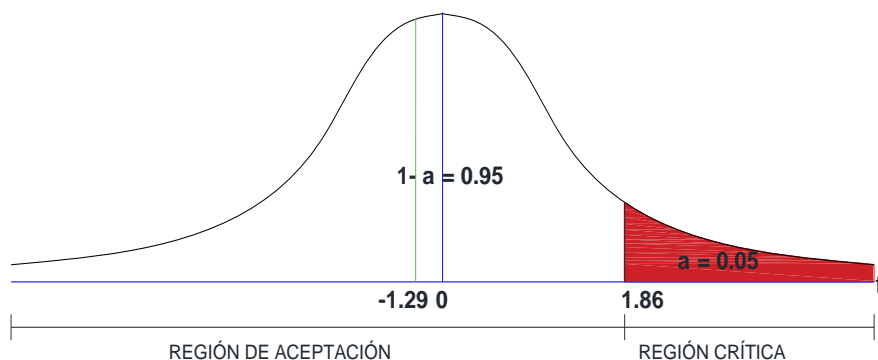


Figura 11. Distribución t student para resistencia a compresión del concreto Patrón con respecto al concreto experimental (CE-0.10%)-14 días

Fuente: Elaboración propia

#### 2.11.4.5. Resistencia a los 28 días del concreto Patrón con respecto al concreto experimental con 0.10% de fibra sintética:

##### a) Parámetro de Interés:

Tabla 45. Parámetros entre el grupo CP0% y grupo CE-0.10% a los 28 días

Descripción	Grupo 1	Grupo 3
	concreto patrón	concreto experimental
% de Fibra sintética	0.00%	0.10%
Numero de muestras (n)	5	5
Media(u)	204.59	174.88
Desviación estándar ( $\sigma$ )	25.10	27.81

Fuente: Elaboración propia

##### b) Hipótesis:

**Hipótesis Nula:  $H_0: \mu_2 \leq \mu_1$**

**H<sub>o</sub>:** La incorporación del aditivo de fibra Sintética Sikacem-1 Fiber 20mm **no influye positivamente** en la resistencia a compresión del



concreto poroso elaborada con agregados de la cantera Huácar- Huánuco.  
(A los 28 días de edad).

**Hipótesis Alternativa: Hi:  $u_2 > u_1$**

**Hi:** La incorporación del aditivo de fibra Sintética Sikacem-1 Fiber 20mm **influye positivamente** en la resistencia a compresión del concreto poroso elaborada con agregados de la cantera Huácar- Huánuco. (A los 28 días de edad).

c) **Nivel de significancia:**  $\alpha=0.05$  ; **GL=8** ; **t=1.8595**

d) **Estadístico de prueba:**

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1-1)\sigma_1^2 + (n_2-1)\sigma_2^2}{n_1+n_2-2}} = 26.49 \quad t_p = \frac{u_2 - u_1}{S_p \sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} = -1.77$$

Si:  $|t_p| > |t|$ ; se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  y se acepta la alternativa

Si:  $|t_p| \leq |t|$ ; se mantiene la hipótesis nula  $H_0$ .

e) **Conclusión:**

Puesto que  $t_p < t$ ;  $-1.77 < 1.86$  “**se mantiene el  $H_0$** ”

Se concluye que la adición de fibra sintética sikacem-1 fiber en 0.10% al concreto poroso experimental de 28 días de edad, **no influye positivamente** en la resistencia del concreto experimental, como se puede observar en la figura 12;  $t_p = -1.77$  cae en la región de aceptación del  $H_0$ :

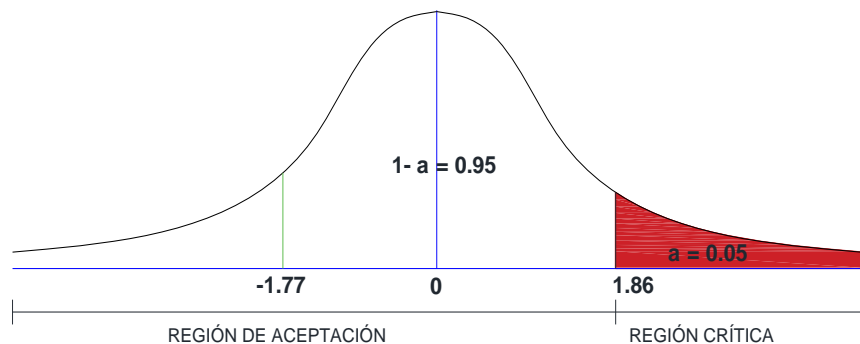


Figura 12: Distribución t student para resistencia a compresión del concreto Patrón con respecto al concreto experimental (CE-0.10%)-28 días.

Fuente: Elaboración propia

#### 2.11.4.6. Resistencia a los 07 días del concreto Patrón con respecto al concreto experimental con 0.15% de fibra sintética:

##### a) Parámetro de Interés:

Tabla 46. Parámetros entre el grupo CP0% y grupo CE-0.15% a los 7 días

Descripción	Grupo 1	Grupo 4
	concreto patrón	concreto experimental
% de Fibra sintética	0.00%	0.15%
Numero de muestras (n)	5	5
Media(u)	171.09	135.66
Desviación estándar ( $\sigma$ )	11.10	7.26

Fuente: Elaboración propia

##### b) Hipótesis:

**Hipótesis Nula:**  $H_0: u_2 \leq u_1$

**H<sub>0</sub>:** La incorporación del aditivo de fibra Sintética Sikacem-1 Fiber 20mm **no influye positivamente** en la resistencia a compresión del concreto poroso, elaborada con agregados de la cantera Huácar-Huánuco. (A los 7 días de edad).

**Hipótesis Alternativa:**

**Hi:** La incorporación del aditivo de fibra Sintética Sikacem-1 Fiber 20mm **influye positivamente** en la resistencia a compresión del concreto poroso, elaborada con agregados de la cantera Huácar- Huánuco. (A los 7 días de edad).

c) **Nivel de significancia:**  $\alpha=0.05$  **t=1.8595**

d) **Estadístico de prueba:**

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1-1)\sigma_1^2 + (n_2-1)\sigma_2^2}{n_1+n_2-2}} = 9.38 \quad t_p = \frac{u_2 - u_1}{S_p \sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} = -5.97$$

Si:  $|t_p| > |t|$ ; se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  y se acepta la alternativa

Si:  $|t_p| \leq |t|$ ; se mantiene la hipótesis nula  $H_0$ .

e) **Conclusión:**

Puesto que  $t_p < t$ ;  $-5.97 < 1.86$  ; **“No Se rechaza  $H_0$ ”**

Según la figura 13 se puede observar que  $t_p$  cae en la región de aceptación de la hipótesis nula. Por lo tanto, se concluye que la adición de fibra sintética sikacem-1 fiber en 0.15% **no influye positivamente** a la resistencia del concreto poroso experimental de 7 días edad.

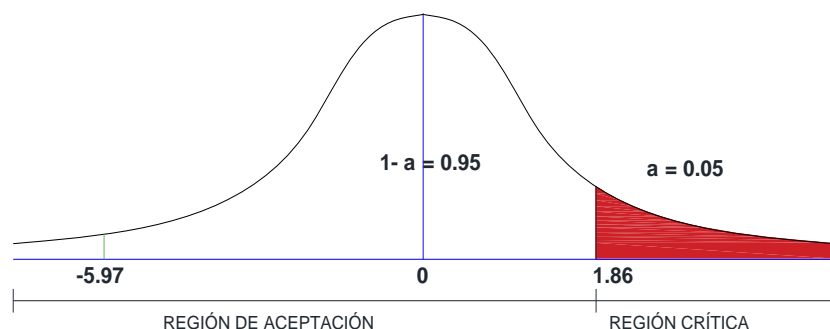


Figura 13. Distribución t student para resistencia a compresión del concreto Patrón con respecto al concreto experimental (CE-0.15%)-7 días  
Fuente: Elaboración propia

#### 2.11.4.7. Resistencia a los 14 días del concreto Patrón con respecto al concreto experimental con 0.15% de fibra sintética:

##### a) Parámetro de Interés:

Tabla 47. Parámetros entre el grupo CP0% y grupo CE-0.15% a los 14 días

Descripción	Grupo 1	Grupo 4
	Concreto patrón	concreto experimental
% de Fibra sintética	0.00%	0.15%
Numero de muestras (n)	5	5
Media(u)	187.92	141.55
Desviación estándar ( $\sigma$ )	6.75	25.00

Fuente: Elaboración propia

##### b) Hipótesis:

**Hipótesis Nula:**  $H_0: u_2 \leq u_1$

**H<sub>0</sub>:** La incorporación del aditivo de fibra Sintética Sikacem-1 Fiber 20mm **no influye positivamente** en la resistencia a compresión del concreto poroso elaborada con agregados de la cantera Huácar- Huánuco.  
(A los 14 días de edad)

**Hipótesis Alternativa:  $H_1: u_2 > u_1$**

**$H_1$ :** La incorporación del aditivo de fibra Sintética Sikacem-1 Fiber 20mm **influye positivamente** en la resistencia a compresión elaborada del concreto poroso con agregados de la cantera Huácar- Huánuco. (A los 14 días de edad).

c) **Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$**

**$t = 1.8595$**

d) **Estadístico de prueba:**

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1-1)\sigma_1^2 + (n_2-1)\sigma_2^2}{n_1+n_2-2}} = 18.31 \qquad t_p = \frac{u_2 - u_1}{S_p \sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} = -4$$

Si:  $|t_p| > |t|$ ; se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  y se acepta la alternativa

Si:  $|t_p| \leq |t|$ ; se mantiene la hipótesis nula  $H_0$ .

e) **Conclusión:**

Puesto que  $t_p < t$ ;  $-4 < 1.86$  ; **“No se rechaza  $H_0$ ”**

Se concluye que el adicionamiento de fibra sintética SikaCem-1 fiber en 0.15%, **no influye positivamente** en la resistencia del concreto experimental a los 14 días de edad, y como se observa en la figura 14 el estadístico de prueba  $t_p = -4$  cae en la región de aceptación de la hipótesis nula. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula.

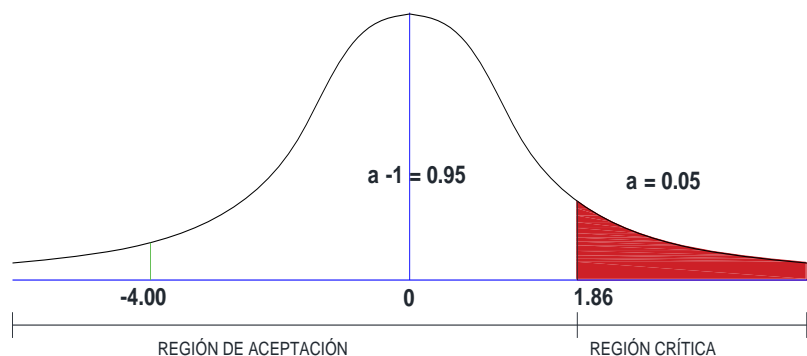


Figura 14. Distribución t student para resistencia a compresión del concreto Patrón con respecto al concreto experimental (CE-0.15%)-14 días

Fuente: Elaboración propia

#### 2.11.4.8. Resistencia a los 28 días del concreto Patrón con respecto al concreto experimental con 0.15% de fibra sintética:

##### a) Parámetro de Interés:

Tabla 48. Parámetros entre el grupo CP0% y grupo CE-0.15% a los 28 días

Descripción	Grupo 1	Grupo 4
	concreto patrón	concreto experimental
% de Fibra sintética	0.00%	0.15%
Numero de muestras (n)	5	5
Media(u)	204.59	164.28
Desviación estándar ( $\sigma$ )	25.10	18.59

Fuente: Elaboración propia

##### b) Hipótesis:

**Hipótesis Nula:**  $H_0: \mu_2 \leq \mu_1$  ;

**H<sub>0</sub>:** La incorporación del aditivo de fibra Sintética Sikacem-1 Fiber 20mm **no influye positivamente** en la resistencia a compresión del concreto poroso elaborada con agregados de la cantera Huácar-Huánuco. (A los 28 días de edad)

**Hipótesis Alternativa:  $H_i: u_2 > u_1$**

**$H_i$ :** La incorporación del aditivo de fibra Sintética Sikacem-1 Fiber 20mm **influye positivamente** en la resistencia a compresión del concreto poroso elaborada con agregados de la cantera Huácar-Huánuco. (A los 28 días de edad).

c) **Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$  ;  $GL=8$  ;  $t = 1.8595$**

d) **Estadístico de prueba:**

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1-1)\sigma_1^2 + (n_2-1)\sigma_2^2}{n_1+n_2-2}} = 22.09 \quad t_p = \frac{u_2 - u_1}{S_p \sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} = -2.88$$

Si:  $|t_p| > |t|$ ; se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  y se acepta la alternativa

Si:  $|t_p| \leq |t|$ ; se mantiene la hipótesis nula  $H_0$ .

e) **Conclusion:**

Puesto que  $t_p < t$  ;  $-2.88 < 1.86$

Según la figura 15, el estadístico de prueba  $t_p = -2.88$  se ubica en la región de aceptación, donde se concluye que la adición de fibra sintética sikacem-1 fiber en 0.15% con respecto al peso del concreto poroso de 28 días de edad **no influye positivamente** en su resistencia a compresión, por lo contrario la resistencia disminuye.

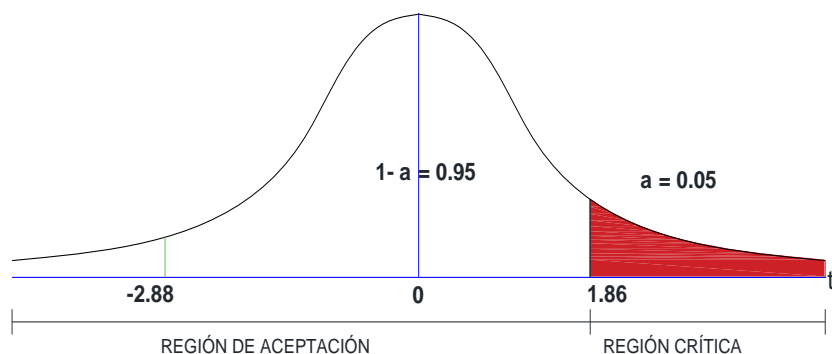


Figura 15. Distribución t student para resistencia a compresión de concreto Patrón con respecto al concreto experimental (CE-0.15%)-28 días

Fuente: elaboración propia

#### 2.11.4.9. Permeabilidad a los 28 días del concreto Patrón con respecto al concreto experimental con 0.05% de fibra sintética (CE-0.05%):

##### a) Parámetro de Interés:

Tabla 49. Parámetros de permeabilidad entre el grupo CP0% y grupo CE-0.05% a los 28 días

Descripción	Grupo 1	Grupo 2
	concreto patrón	concreto experimental
% de Fibra sintética	0.00%	0.05%
Numero de muestras (n)	5	5
Media(u)	0.71	0.71
Desviación estándar ( $\sigma$ )	0.22	0.12

Fuente: Elaboración propia

##### b) Hipótesis:

**Hipótesis Nula:**  $H_0: u_2 \leq u_1$

**H<sub>o</sub>:** La incorporación del aditivo de fibra Sintética Sikacem-1 Fiber 20mm **no influye positivamente** en la permeabilidad.



**Hipótesis Alternativa:** **Hi:**  $u_2 > u_1$

**Hi:** La incorporación del aditivo de fibra Sintética Sikacem-1 Fiber 20mm **influye positivamente** en la permeabilidad.

c) **Nivel de significancia:**  $\alpha = 0.05$  ; **GL=8** ; **t = 1.8595**

d) **Estadístico de prueba:**

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1-1)\sigma_1^2 + (n_2-1)\sigma_2^2}{n_1+n_2-2}} = 0.18 \quad t_p = \frac{u_2 - u_1}{S_p \sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} = -0.01$$

Si:  $|t_p| > |t|$ ; se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  y se acepta la alternativa

Si:  $|t_p| \leq |t|$ ; se mantiene la hipótesis nula  $H_0$ .

d) **Conclusión:**

Puesto que  $t_p < t$ ;  $-0.01 < 1.86$  ; **“No Se rechaza  $H_0$ ”**

Según la figura 16, el estadístico de prueba  $t_p = -0.01$  se ubica en la región de aceptación de la hipótesis nula. Por lo tanto que no se puede asegurar una influencia positiva en la permeabilidad al adicionar la fibra sintética SikaCem-1 fiber , ya que  $-0.01 < 1.86$  , por lo tanto se mantiene la hipótesis nula, aunque no se observa disminución en la media.

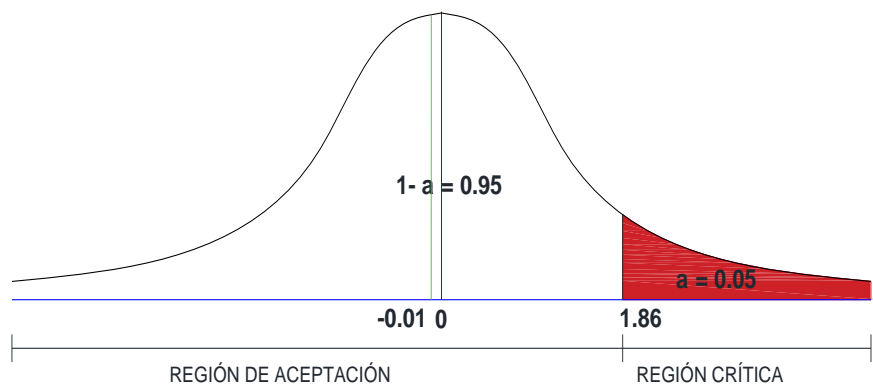


Figura16: Distribución t student para permeabilidad del concreto Patrón con respecto al concreto experimental (CE-0.05%)-28 días

Fuente: Elaboración propia

#### 2.11.4.10. Permeabilidad a los 28 días del concreto Patrón con respecto al concreto experimental con 0.10% de fibra sintética:

##### a) Parámetro de Interés:

Tabla 50. Parámetros de permeabilidad entre el grupo CP0% y grupo CE-0.10% a los 28 días

Descripción	Grupo 1	Grupo 3
	concreto patrón	concreto experimental
% de Fibra sintética	0.00%	0.10%
Numero de muestras (n)	5	5
Media(u)	0.71	0.65
Desviación estándar ( $\sigma$ )	0.22	0.48

Fuente: Elaboración propia

##### b) Hipótesis:

**Hipótesis Nula:**  $H_0: u_2 \leq u_1$

**H<sub>0</sub>:** La incorporación del aditivo de fibra Sintética Sikacem-1 Fiber 20mm **no influye positivamente** en la permeabilidad.

**Hipótesis Alternativa:**  $H_i: u_2 > u_1$

**Hi:** La incorporación del aditivo de fibra Sintética Sikacem-1 Fiber 20mm **influye positivamente** en la permeabilidad.

c) **Nivel de significancia:**  $\alpha=0.05$  ;  $GL=8$  ;  $t=1.8595$

d) **Estadístico de prueba:**

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1-1)\sigma_1^2 + (n_2-1)\sigma_2^2}{n_1+n_2-2}} = 0.38 \qquad t_p = \frac{u_2 - u_1}{S_p \sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} = -0.24$$

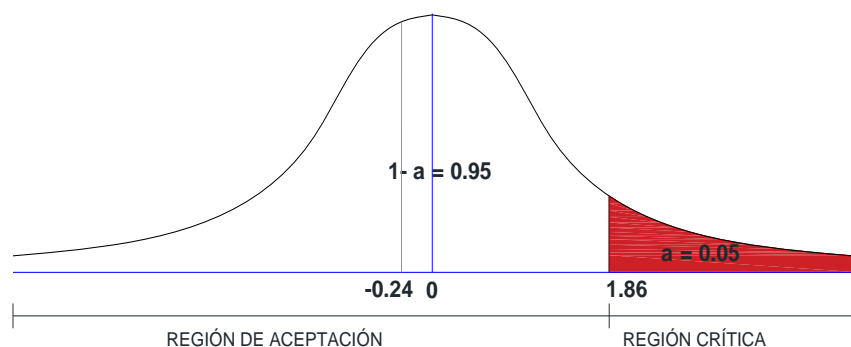
Si:  $|t_p| > |t|$ ; se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  y se acepta la alternativa

Si:  $|t_p| \leq |t|$ ; se mantiene la hipótesis nula  $H_0$ .

e) **Conclusión:**

Puesto que  $t_p < t$ ;  $-0.24 < 1.86$  ; **“No Se rechaza  $H_0$ ”**

Según la figura 17, el estadístico de prueba  $t_p = -0.24$  se ubica en la región de aceptación de la hipótesis nula, Por lo tanto la incorporación del aditivo de fibra Sintética Sikacem-1 Fiber 20mm en 0.10% con respecto a su peso **no influye positivamente** en su permeabilidad.



*Figura 17:* Distribución t student para permeabilidad del concreto Patrón con respecto al concreto experimental (CE-0.10%)-28 días

*Fuente: Elaboración propia*

**2.11.4.11. Permeabilidad a los 28 días del concreto Patrón con respecto al concreto experimental con 0.15% de fibra sintética:**

**a) Parámetro de Interés:**

Tabla 51. *Parámetros de permeabilidad entre el grupo CP0% y grupo CE-0.15% a los 28 días*

Descripción	Grupo 1	Grupo 4
	concreto patrón	concreto experimental
% de Fibra sintética	0.00%	0.15%
Numero de muestras (n)	5	5
Media(u)	0.71	0.55
Desviación estándar ( $\sigma$ )	11.10	0.09

*Fuente: Elaboración propia*

**b) Hipótesis:**

**Hipótesis Nula: Ho:  $u_2 \leq u_1$**

**Ho:** La incorporación del aditivo de fibra Sintética Sikacem-1 Fiber 20mm **no influye positivamente** en la permeabilidad.

**Hipótesis Alternativa: Hi:  $u_2 > u_1$**

**Hi:** La incorporación del aditivo de fibra Sintética Sikacem-1 Fiber 20mm **influye positivamente** en la permeabilidad.

**c) Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$  ; GL=8 ;  $t=1.8595$**

**d) Estadístico de prueba:**

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1-1)\sigma_1^2 + (n_2-1)\sigma_2^2}{n_1+n_2-2}} = 7.85 \quad t_p = \frac{u_2 - u_1}{S_p \sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} = -0.03$$

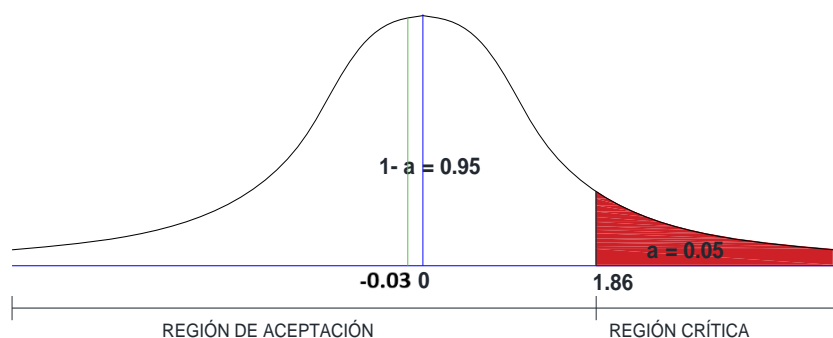
Si:  $|t_p| > |t|$ ; se rechaza la hipótesis nula Ho y se acepta la alternativa

Si:  $|t_p| \leq |t|$ ; se mantiene la hipótesis nula  $H_0$ .

**b) Conclusión:**

Puesto que  $t_p < t$ ;  $-0.03 < 1.86$  ; **“No Se rechaza  $H_0$ ”**

Según la figura 18, el estadístico de prueba  $t_p = -0.33$  se ubica en la región de aceptación de la hipótesis nula, Por lo tanto la incorporación del aditivo de fibra Sintética Sikacem-1 Fiber 20mm en 0.15% con respecto a su peso **no influye positivamente** en su permeabilidad.



*Figura 18.* Distribución t student para permeabilidad del concreto Patrón (CP) con respecto al concreto experimental (CE-0.15%) -28 días

*Fuente: Elaboración propia*

## CAPITULO III:

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 3.1. Interpretación de Resultados:

##### 3.1.1. Resistencia a compresión del concreto poroso:

En la tabla 52 se observa que la resistencia del concreto poroso con un 0.05% de fibra sintética a los 28 días alcanza un promedio máximo de 227.8 kg/cm<sup>2</sup>, por lo tanto, tiene un aumento promedio del 14% con respecto al concreto poroso sin fibra, Siendo el máximo porcentaje de aumento en esta investigación.

Tabla 52. Resistencia promedio por edades del concreto poroso

Descripción	% de fibra sintética	Resistencia promedio (kg/cm <sup>3</sup> )	Edad (días)
CP-0%	0%	171.1	7
CP-0%	0%	189.5	14
CP-0%	0%	204.6	28
CPE-0.05%	0.05%	174.3	7
CPE-0.05%	0.05%	218.4	14
CPE-0.05%	0.05%	227.8	28
CPE-0.10%	0.10%	152.7	7
CPE-0.10%	0.10%	169.2	14
CPE-0.10%	0.10%	174.9	28
CPE-0.15%	0.15%	135.7	7
CPE-0.15%	0.15%	141.6	14
CPE-0.15%	0.15%	164.3	28

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, el concreto poroso con 0.15% de fibra sintética alcanza una resistencia a la compresión de 164.3 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, lo cual indica una disminución en la resistencia a compresión del 8 % con respecto al concreto sin fibras.

En la tabla 53 se puede observar que el concreto poroso experimental con 0.10% y 0.15% de fibra sintética sikacem-1 fiber no logró alcanzar la resistencia de diseño.

Tabla 53. Resistencia del concreto poroso

Descripción	% De fibra sintética sikacem-1 fiber	Resistencia		% Resistencia	% Promedio Resistencia a compresión	F'c Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
		Rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	Diseño (kg/cm <sup>2</sup> )			
CP	0.00%	236.1	200.0	118%	102%	204.6
CP	0.00%	190.4	200.0	95%		
CP	0.00%	223.7	200.0	112%		
CP	0.00%	198.5	200.0	99%		
CP	0.00%	174.2	200.0	87%		
CPE -1	0.05%	218.4	200.0	109%	114%	227.8
CPE -2	0.05%	227.3	200.0	114%		
CPE -3	0.05%	220.8	200.0	110%		
CPE -4	0.05%	246.8	200.0	123%		
CPE -5	0.05%	225.7	200.0	113%		
CPE-1	0.10%	185.9	200.0	93%	87%	174.9
CPE-2	0.10%	158.4	200.0	79%		
CPE-3	0.10%	160.4	200.0	80%		
CPE-4	0.10%	151.0	200.0	76%		
CPE-5	0.10%	218.7	200.0	109%		
CPE-1	0.15%	169.5	200.0	85%	82%	164.3
CPE-2	0.15%	145.9	200.0	73%		
CPE-3	0.15%	149.4	200.0	75%		
CPE-4	0.15%	164.3	200.0	82%		
CPE-5	0.15%	192.5	200.0	96%		

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la figura 19 que los valores de la resistencia a la compresión en función a la variación del tiempo, tienen comportamientos similares en las curvas de desarrollo, a excepción del concreto poroso con 0.15% de fibra sintética cuya curva tiene un comportamiento poco usual con respecto a los demás concreto experimentales. También se puede observar que el concreto poroso con el 0.05% de fibra sintética obtiene mayor resistencia, a los 7, 14 y 28 días.

Los resultados de resistencia a compresión fueron validados mediante la prueba de hipótesis y se observó que el concreto experimental con 0.05% de fibra sintética influye de manera positiva en su resistencia.

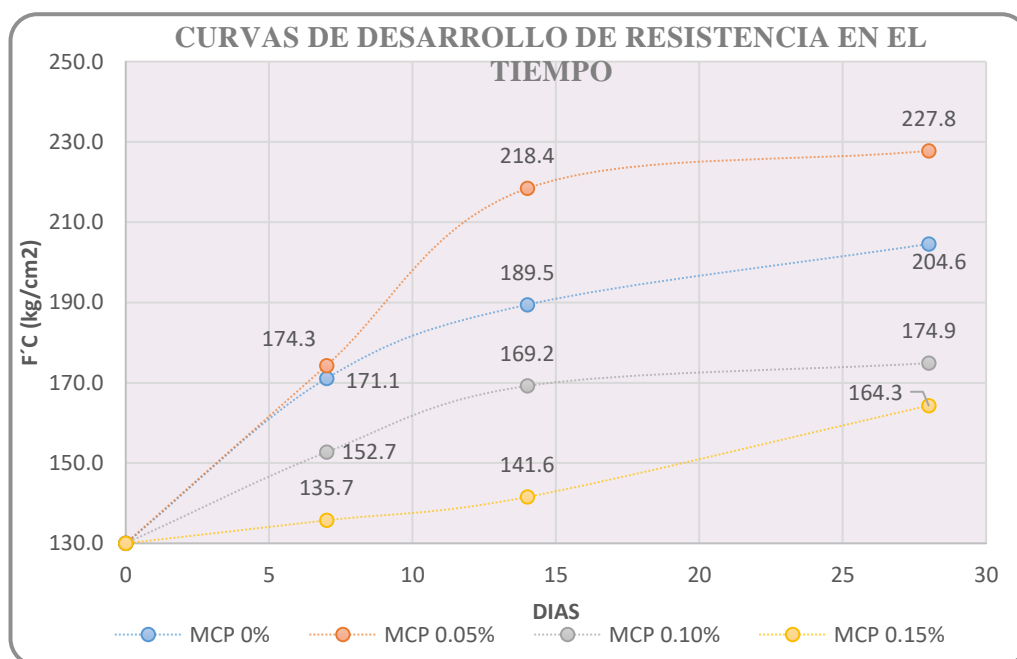


Figura 19. Curvas de desarrollo de resistencia en el tiempo

Fuente: Elaboración propia



Quispe I. & Ticona E. (2017), En su investigación concluye que la resistencia a compresión incrementa a medida que se añade fibras de polipropileno. Este comportamiento es debido a que las fibras de polipropileno juntamente con la pasta y aditivo proporcionan mejor enlace y mayor área de contacto entre los agregados, por consiguiente, se incrementa la resistencia.

En la Figura 20 para el caso de adición con fibra sintética Se observa un aumento en la resistencia a compresión al adicionar 0.05% de fibra sintética y tiende a disminuir cuando pasa este porcentaje de adición, entonces se puede decir que la adición de fibras sintéticas no siempre incrementara la resistencia a compresión, por lo tanto existe un límite de ascenso y luego tiende a descender; esto debido a que la mezcla se hace más densa y poco consistente, por ende la capacidad de adherencia entre la pasta y el agregado va disminuyendo, y esto trae como consecuencia la disminución de la resistencia.

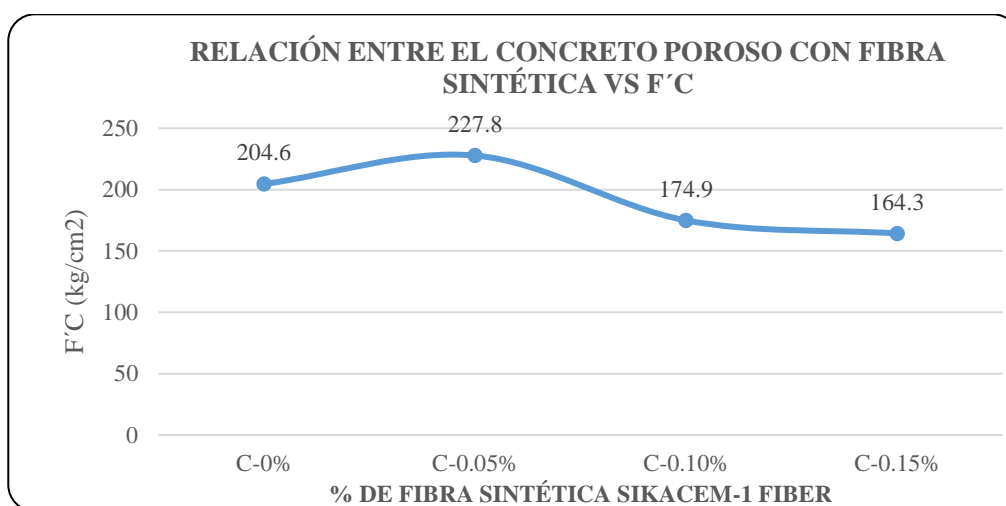


Figura 20. Relación entre el f'c del concreto poroso con % de fibra sintética

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.1.1. Concreto Patrón (CP) – concreto experimental con 0.05% fibra sintética

#### Sikacem-1 fiber con respecto al peso de los materiales:

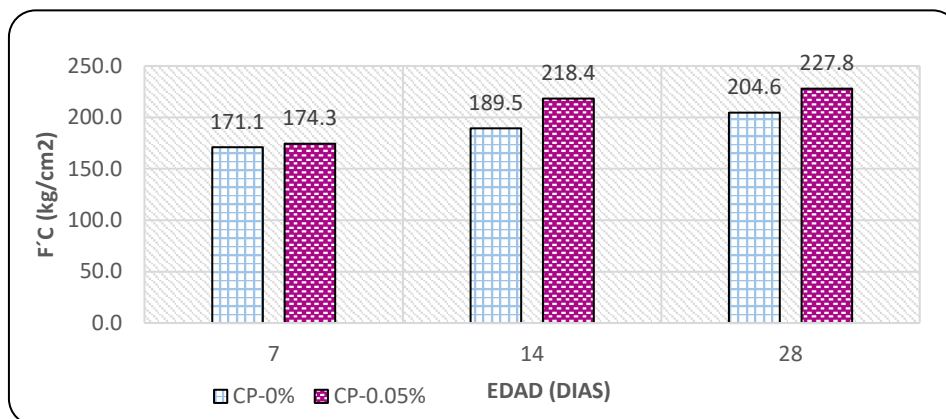


Figura 21. Gráfico de barras del CP0% - CE0.05%

Fuente: Elaboración propia

Según la figura 21, se indica que:

El  $f'c$  promedio desarrollado (u) a los 7 días por el concreto con 0.05% de fibra sintética sikacem-1 fiber es de 174.3 kg/cm<sup>2</sup>, y representa el 101.87% respecto a la resistencia alcanzada por el concreto poroso Patrón, incrementándose en 1.87% la resistencia a compresión.

El  $f'c$  promedio desarrollado (u) a los 14 días por el concreto con 0.05% de fibra sintética sikacem-1 fiber es de 218.4 kg/cm<sup>2</sup>, y representa el 115.25% respecto a la resistencia alcanzada por el concreto poroso Patrón, incrementándose en 15.25% la resistencia a compresión.

El  $f'c$  promedio desarrollado (u) a los 28 días por el concreto con 0.05% de fibra sintética sikacem-1 fiber es de 227.8 kg/cm<sup>2</sup>, y representa el 111.35%

respecto a la resistencia alcanzada por el concreto poroso Patrón, incrementándose en 11.35% la resistencia a compresión.

### 3.1.1.2. concreto Patrón (CP) – concreto experimental con 0.10% fibra sintética sikacem-1 fiber con respecto al peso de los materiales:

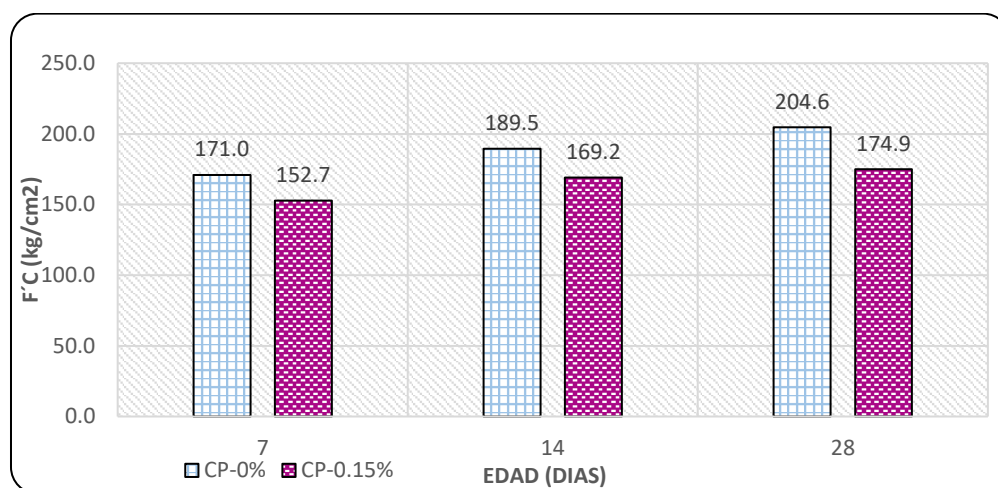


Figura 22. Gráfico de barras del CP0% - CE0.10%

Fuente: Elaboración propia

Según la figura 22, se indica que:

El  $f'c$  promedio desarrollado (u) a los 7 días por el concreto con 0.10% de fibra sintética sikacem-1 fiber es de 152.7 kg/cm<sup>2</sup>, y representa el 89.25% respecto a la resistencia alcanzada por el concreto poroso Patrón, disminuyendo su resistencia en un 10.75 %.

El  $f'c$  promedio desarrollado (u) a los 14 días por el concreto con 0.10% de fibra sintética sikacem-1 fiber es de 169.2 kg/cm<sup>2</sup>, y representa el 89.29% respecto a la resistencia alcanzada por el concreto poroso Patrón, disminuyendo su resistencia en un 10.71%.

El  $f'c$  promedio desarrollado (u) a los 28 días por el concreto con 0.10% de fibra sintética sikacem-1 fiber es de 174.9 kg/cm<sup>2</sup>, y representa el 85.48% respecto a la resistencia alcanzada por el concreto poroso Patrón, disminuyéndose su resistencia en un 14.52%.

### 3.1.1.3. Concreto Patrón (CP) – concreto experimental con 0.15% fibra sintética sikacem-1 fiber con respecto al peso de los materiales:

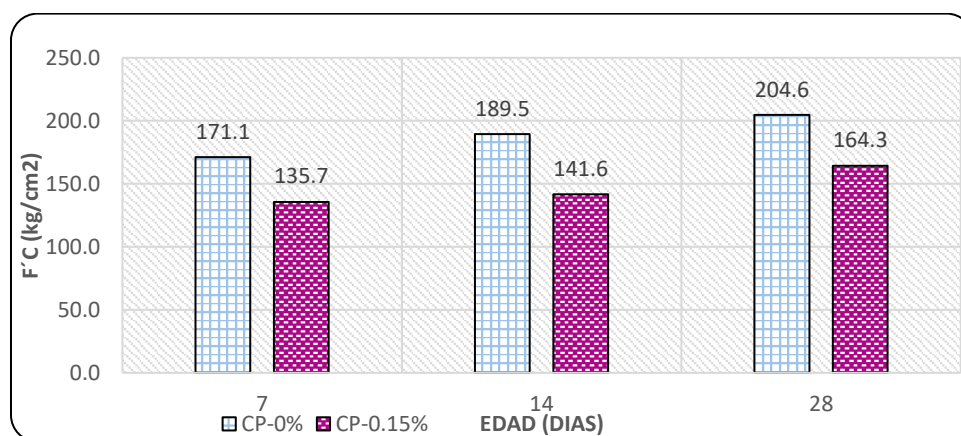


Figura 23: Grafico de barras del CP0% - CE0.15%

Fuente: Elaboración propia

Según la figura 23, se indica que:

El  $f'c$  promedio desarrollado (u) a los 7 días por el concreto con 0.15% de fibra sintética sikacem-1 fiber es de 135.7kg/Cm<sup>2</sup>, y representa el 79.31% respecto a la resistencia alcanzada por el concreto poroso Patrón, disminuyendo su resistencia en un 20.69%.

El  $f'c$  promedio desarrollado (u) a los 14 días por el concreto con 0.15% de fibra sintética sikacem-1 fiber es de 141.6 kg/Cm<sup>2</sup>, y representa el 74.72%

respecto a la resistencia alcanzada por el concreto poroso Patrón, disminuyendo su resistencia en un 25.28 %.

El  $f'c$  promedio desarrollado (u) a los 28 días por el concreto con 0.15% de fibra sintética sikacem-1 fiber es de 164.3 kg/Cm<sup>2</sup>, y representa el 80.30% respecto a la resistencia alcanzada por el concreto poroso Patrón, disminuyendo su resistencia en un 19.69%.

### 3.1.2. Coeficiente de Permeabilidad del concreto poroso:

Los resultados de esta investigación están dentro de un rango de coeficiente de permeabilidad de 0.55cm/s a 0.71cm/s, como se observa en la tabla 54.

Tabla 54. *Coeficiente de permeabilidad*

Descripción	Coeficiente de permeabilidad (k)
CP-0%	0.708 cm/s
CE-0.05%	0.707 cm/s
CE-0.10%	0.645 cm/s
CE-0.15%	0.550 cm/s

*Fuente: Elaboración propia*

Aunque algunas mezclas no alcanzaron la resistencia de diseño, se observa que en el caso de la permeabilidad si, incluso se puede observar que los valores obtenidos se encuentran dentro del rango de permeabilidad dada por el ACI 522R-10 que esta entre 0.14cm/s a 1.22cm/s. En la figura 24 se observa que a

mayor porcentaje de concreto con fibra sintética menor permeabilidad, por lo tanto son inversamente proporcionales.

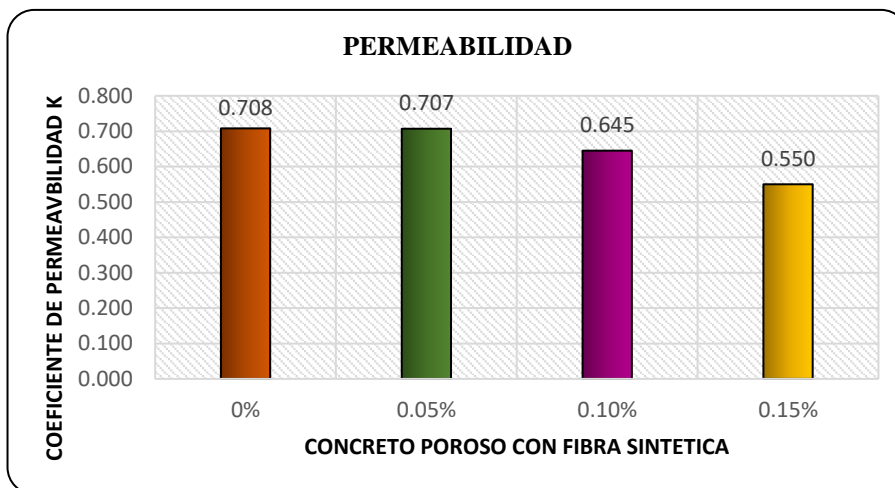


Figura 24. Gráfico de barras de la permeabilidad del concreto poroso  
Fuente: Elaboración propia

Tabla 55: Cuadro del coeficiente de permeabilidad del concreto poroso

Descripción	Resistencia la compresión	Permeabilidad
CP-0%	218.6	0.708
CE-0.05%	223.4	0.707
CE-0.10%	185.4	0.645
CE-0.15%	157.3	0.550

Fuente: Elaboración propia

En la figura 25, se puede observar la relación que existe entre la permeabilidad y la resistencia a la compresión, por lo tanto, la permeabilidad disminuye cuando la resistencia baja, a excepción del concreto que contiene el 0.05%.

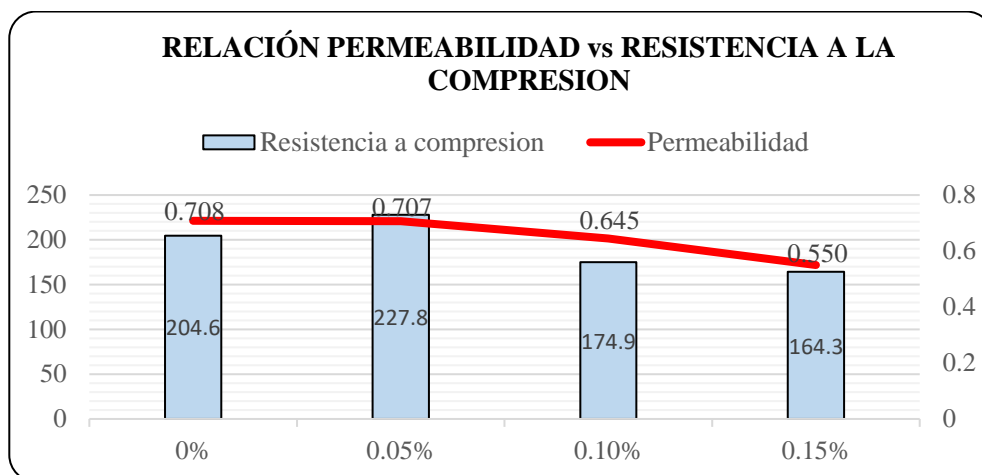


Figura 25: Relación entre la Permeabilidad vs resistencia a la compresión

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.2.1. Efecto de la fibra sintética con respecto a la Permeabilidad del concreto

#### poroso:

Según la figura 26, se puede observar que la permeabilidad disminuye cuando se adiciona porcentajes de fibra sintética. Por lo tanto, son inversamente proporcionales.

Según (Armas C,2016) en su investigación demostró que la adición de fibras sintéticas reduce el contenido de vacíos y el asentamiento, Quispe I. & Ticona E. (2017), explica que esto es debido a que las fibras se enlazan con la pasta generando la disminución del contenido de vacíos.

Así mismo Moreno E., Valera J.& Sánchez O., (2013), explica que la reducción de la permeabilidad podría atribuirse principalmente a la acción de las fibras durante la etapa del concreto en estado fresco. Como tuvieron una distribución uniforme, contribuyeron con la disminución tanto del sangrado

como de la segregación del material. Estas condiciones redujeron la formación de poros capilares que son los que rigen la porosidad del concreto.

Luego de observar los resultados del coeficiente de permeabilidad según la figura 26 se puede concluir que la adición de fibras sintética reduce la permeabilidad del concreto esto debido a que estas fibras juntamente con la pasta en una distribución uniforme logran ocupar los espacios vacíos del concreto.

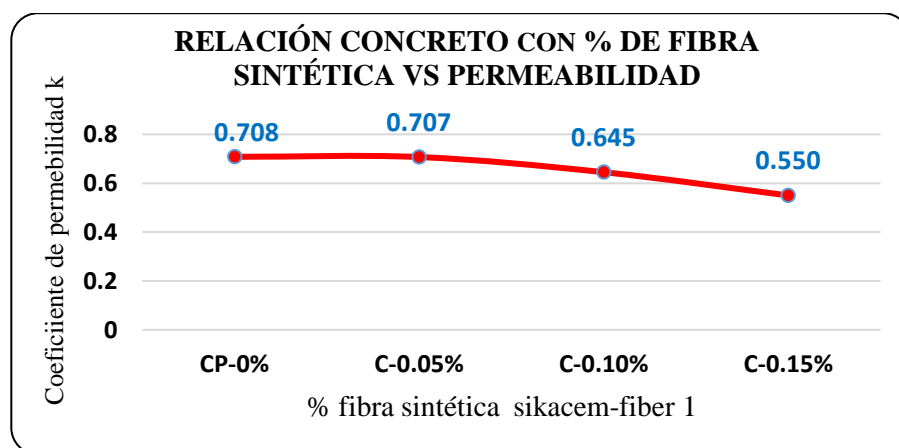


Figura 26: Relación entre la permeabilidad del concreto poroso con % de fibra sintética

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.3. Comparación de resultados:

En la tabla 56 se puede observar la comparación de resultados de resistencia a compresión de diferentes bibliografías.



Tabla 56. Comparación de resultados de resistencia a compresión

Investigaciones en concreto poroso	f'c 28 días
CP	204.6
CE-0.05%	227.8
Quispe. & Ccana J.(40% con respecto al peso del cemento)	216.77
Flores, C. & Pacompia, L. con (0.05%TP con respecto al peso del diseño de mezcla)	191.02
Reyes F. & Torres A. con (0.05%TP con respecto al peso del diseño de mezcla)	214.75

Fuente: Elaboración propia

Se hizo la comparación con respecto a la permeabilidad tal como lo indica la tabla 57.

Tabla 57. Comparación de resultados de coeficiente de permeabilidad

Investigaciones en concreto poroso	coeficiente permeabilidad(cm/s)
CP	0.708
CE-0.05%	0.707
Choque H. & Ccana J. (10% con respecto al peso del cemento)	0.354
Flores, C. & Pacompia, L. (con 0.05%TP con respecto al peso del diseño de mezcla)	0.463

Fuente: Elaboración propia

- Se puede observar que **choque H. & Ccana J. (2016)**, hizo un estudio experimental del concreto poroso adicionando fibras de polipropileno en 10, 25, 40 y 55% con respecto al peso del cemento, cuyas resistencias a compresión a los 28 días alcanzaron 187.57, 195.28, 216.77 y 202.72 kg/cm<sup>2</sup> Con respecto al coeficiente de permeabilidad Choque H. & Ccana J. (2016)

con 10, 25, 40 y 55% de fibras se obtienen permeabilidades de 0.354, 0.330, 0.285 y 0.309 cm/s, a diferencia de esta investigación que se hizo con fibras sintéticas sikacem-1 fiber lo cual logró alcanzar como se observa la tabla 57 un máximo valor de 0.707cm/s sin adición de fibras sintéticas sikacem-1 fiber.

- **Flores, C. & Pacompia, I. (2015).** Adicionó tiras de plástico de 3mmx30mm en diferentes porcentajes 0.05%, 0.10% y 0.15% con respecto al peso de diseño del concreto poroso usando agregados de huso granulométrico N°8, obteniendo resultados de resistencia a compresión de 191.02 kg/cm<sup>2</sup>, 170.62 kg/cm<sup>2</sup> y 163.67 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. Donde concluye que dos porcentajes de 0.05% y 0.10% (de los tres estudiados), incrementa la resistencia a la compresión con respecto al concreto poroso con 0% de tiras de plástico.

Con respecto al coeficiente de permeabilidad **Flores, C. & Pacompia, I. (2015)**. Obtuvo un resultado promedio de 0.463cm/seg que se encontró dentro del rango recomendado por la norma ACI 522R-10.

- **Reyes F. & Torres A, (2009).** Elaboró probetas de concreto poroso con agregados de TMN de 3/4" y Adicionó tiras de plástico de 4mmx20mm en porcentajes de 0.025%, 0.05%, 0.075%,0.10%, 0.20%, 0.30%, 0.40%, 0.50% con respecto al peso de la mezcla. Llegando a la conclusión de que la adición de tiras en 0.025%, 0.05% y 0.075% son las que producen aumento

a la resistencia a compresión, obteniéndose resultados de 188.50kg/cm<sup>2</sup>, 214.75 kg/cm<sup>2</sup> y 192.75 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.

- En esta investigación solo uno de los tres porcentajes estudiados incrementó su resistencia a compresión donde la adición de 0.05% de fibras sintéticas sikacem-1 fiber 20mm alcanzó un  $f'c = 227.8$  kg/cm<sup>2</sup> comparado con el concreto poroso con 0% de fibras.

Y con respecto a la permeabilidad su valor disminuyó al adicionársele fibra, pero los valores obtenidos lograron encontrarse dentro del rango recomendado por el ACI 522R-10.

## CONCLUSIONES

- Al realizar los ensayos respectivos según la Norma Técnica Peruana para los agregados se puede concluir que la cantera Viroy-Huácar presenta las siguientes propiedades: El tamaño máximo nominal  $3/4''$ , peso específico de  $2.64\text{gr/cm}^3$ , peso unitario compactado  $1.56\text{gr/cm}^3$ , absorción de  $1.07\%$ , porcentaje de desgaste de  $19.05\%$ . Donde efectivamente los valores obtenidos están dentro de los rangos límites de la norma, validándose así la hipótesis alternativa
- La investigación acerca del concreto poroso con adición de fibra sintética sikacem-1 fiber en  $0\%$ ,  $0.05\%$ ,  $0.10\%$ ,  $0.15\%$ , se diseñó con un porcentaje de vacíos de  $16\%$  y resistencia de diseño de  $200\text{kg/cm}^2$  elaborados con agregados de la cantera Viroy-Huácar-Huánuco.
- La mezcla de concreto poroso más resistente fue la que se diseñó con un porcentaje de  $0.05\%$  de fibra sintética, ya que obtuvo un rango promedio de resistencia a compresión de  $190\text{kg/cm}^2$  a los 7 días,  $200.5\text{kg/cm}^2$  a los 14 días y  $223.4\text{kg/cm}^2$  a los 28 días. Con una permeabilidad promedio de  $0.707\text{ cm/s}$  estos resultados se sometieron a prueba de hipótesis con la teoría de pequeñas muestras del t student permitiéndonos concluir que la adición de fibra sintética en  $0.05\%$  con respecto a su peso, influye positivamente en la resistencia a compresión del concreto.
- La adición de un porcentaje mayor al  $0.05\%$  de fibra sintética sikacem-1 fiber no influye positivamente en la resistencia a compresión del concreto poroso, se puede observar que una adición de  $0.10\%$  de fibra sintética alcanzó un promedio de

resistencia de 170,9 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días; y una adición del 0.15% de fibra sintética alcanzó un promedio de resistencia de 164 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, por lo tanto, no alcanzaron la resistencia de diseño.

- Se puede concluir también con respecto al coeficiente de permeabilidad se obtuvieron valores promedios de: 0.708 cm/s para un concreto poroso con 0%, 0.707cm/s para un concreto poroso con 0.05%, 0.645cm/s para un concreto poroso con 0.10%, 0.55 cm/s para un concreto poroso con 0.15%. Por lo tanto, cumple con el rango de 0.14cm/s a 1.22cm/s según la norma ACI 522R-10.
- Finalmente se puede concluir que el incremento de resistencia a compresión al adicionar fibras sintéticas al concreto poroso en 0.05% respecto al peso de diseño, es debido a que las fibras y la pasta generan un buen enlace y una mejor adherencia hacia los agregados. Y que mezclas de concreto poroso con fibras sintéticas mayores al 0.05% se vuelven más densas y menos consistentes, por consiguiente, esto hace que la mezcla se vuelva más seca y pierda la capacidad de adherencia entre la pasta y el agregado generando la disminución de la resistencia a compresión.

Por otro lado, la disminución de la permeabilidad se debe a que las fibras se enlazan con la pasta en una distribución uniforme ocupando los espacios vacíos y reduciendo la formación de poros.

## **RECOMENDACIONES Y LINEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN**

- Se recomienda continuar con las investigaciones acerca del concreto poroso con respecto al diseño con diferentes valores de la relación agua/cemento.
- Se propone adicionar un porcentaje mínimo de agregado fino al concreto poroso con fibra sintética, así como también realizar ensayos de la resistencia a flexión.
- Se recomienda realizar la investigación de este concreto con otra clase de aditivos que más se acomoden al incremento de sus propiedades.
- Se requiere mayor investigación con respecto a la influencia del grado de compactación en la resistencia a compresión, permeabilidad, contenido de vacíos y peso unitario.
- Se requiere mayor investigación del concreto poroso con respecto a la resistencia a la congelación y descongelación, para zonas frías.
- Se requiere mayor información con respecto a los diferentes tipos de refrentados (capping) para este tipo de concreto.

## BIBLIOGRAFÍA

- ACI COMITE 522R-10 (2010). *Report on Pervious Concrete*.
- ACI COMITE 211.3R-02 (2009). *Guide for selecting Proportions for No-slump Concrete*
- Armas C. (2016). “*Efectos de la adición de fibra de polipropileno en las propiedades plásticas y mecánicas del concreto Hidráulico*”. Universidad Señor de Sipán. Pimentel. Perú
- Barahona R., Martínez M. & Zelaya S. (2013). *Comportamiento del concreto permeable utilizando agregado grueso de las canteras, el Carmen, Aramuaca y la pedrera, de la zona oriental de el salvador*. Universidad de el salvador, san miguel, el salvador, centro América.
- Benites, J. (2014). “*Características físicas y mecánicas del concreto permeable usando agregados de la cantera rio Jequetepeque y el aditivo chemaplast*”. Universidad de Cajamarca, Perú.
- Chaiña J. & Villanueva Y. (2017). “*Diseño de concreto permeable, para pavimentos rígidos, utilizando piedra Huso 67 y arena gruesa de la cantera la Poderosa, para la ciudad de Arequipa*”. Universidad Católica de santa María. Arequipa, Perú.
- Cchoque, H. & Ccana, J. (2016). “*Evaluación de la resistencia a compresión y permeabilidad del concreto poroso elaborado con agregado de las canteras Vicho y zurite adicionando aditivo súper plastificante de densidad 1.2 kg/l para una resistencia 210kg/cm<sup>2</sup>*”. Universidad Andina del Cusco, Perú.
- Flores, c. & Pacompia, I. (2015). “*Diseño de mezcla de concreto permeable con adición de tiras de plástico para pavimentos f'c 175 kg/cm<sup>2</sup> en la ciudad de Puno*”. Universidad Nacional de Altiplano, Perú.
- Gutiérrez, H. & de la Vara, R (2012). “*Análisis y diseño de experimentos*”. México: 3<sup>a</sup> Edición, Editorial McGraw-Hill.
- Guizado A. & Curi E. (2017). “*Evaluación del concreto permeable como una alternativa para el control de las aguas pluviales en vías locales y pavimentos*

- especiales de la costa noroeste del Perú*". Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. & Baptista Lucio, P. (2006) "*Metodología de la Investigación*". 4ta Ed. México: McGraw-Hill Interamericana.
  - Meneses, C. & Bravo, C. (2007). "*Resistencia mecánica y condiciones de obra del concreto poroso en los pavimentos, según el tipo de granulometría*". Universidad de Medellín, Colombia.
  - Moreno E., Valera J., Sánchez O., (2013). "*Efecto de las fibras poliméricas en la permeabilidad y características mecánicas del concreto con agregado calizo de alta absorción*". Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, México.
  - MTC (2016). *Manual de ensayo de materiales*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Perú.
  - Patiño O. (2013), "*Concreto permeable: uso y estándares*". Panamá: Universidad Tecnológica de Panamá. Revista de Diciembre del 2013.
  - Porras M. (2017), "*Metodología de diseño para concretos permeables y sus respectivas correlaciones de permeabilidad*". Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica
  - Quispe I. & Ticona E. (2017). "*Influencia de la incorporación de fibras de polipropileno en concreto permeable  $f'c = 201 \text{ kg/cm}^2$* ". Universidad Peruana Unión, Juliaca, Perú.
  - Reyes F. & Torres A. (2002) "*Concreto poroso: Tecnología e investigación para su uso en Pavimentos*". Revista BIT, España.
  - Vallejo M. & Amaguaya V. (2016). "*Selección del material óptimo para el diseño de concreto permeable utilizando agregados de dos minas de la provincia de chimborazo y el cemento portland tipo I, en relación a la obtención de mayor permeabilidad y resistencia*" Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.



**ANEXOS**

## 7.1. ACI 211.3R-02

**ACI 211.3R-02**  
(Reapproved 2009)

## Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete

Reported by ACI Committee 211

Michael J. Boyle  
Chair

Terrence E. Arnold*	Francois de Larrard	Tarif M. Jaber	Royce J. Rhoads
William L. Barringer	Donald E. Dixon	Robert S. Jenkins	John P. Ries
Muhammed P. Basheer	Calvin L. Doodl	Frank A. Kozeliski	G. Michael Robinson
Casimir Bognacki	Darrell F. Elliot	Colin L. Lobo	Donald L. Schlegel <sup>††</sup>
Gary L. Brenno	Michael R. Gardner	Mark D. Luther	James M. Shilstone
Marshall L. Brown	John T. Guthrie	Howard P. Lux	Ava Shypula
Ramon L. Carrasquillo	G. Terry Harris, Sr.	Gart R. Mass*	Jeffrey F. Speck
James E. Cook	Godfrey A. Holmstrom	Ed T. McGuire	William X. Sypher
John F. Cook	Richard D. Hill	Dipak T. Parekh	Stanley J. Virgalitte
Raymond A. Cook	David L. Hollingsworth	James S. Pierce*	Woodward L. Vogt
David A. Crocker	George W. Hollon	Michael F. Pistilli	Dean J. White, II
D. Gene Daniel	Said Irvani	Steven A. Ragan*	Richard M. Wing

\*Members of subcommittee who prepared revisions.

<sup>†</sup>Chair of Subcommittee C.

The subcommittee thanks Gary Knight and Tom Holm for providing assistance for some of the graphics in this report.

*This guide is intended as a supplement to ACI 211.1. A procedure is presented for proportioning concrete that has slumps in the range of zero to 25 mm (1 in.) and consistencies below this range, for aggregates up to 75 mm (3 in.) maximum size. Suitable equipment for measuring such consistencies is described. Tables and charts similar to those in ACI 211.1 are provided which, along with laboratory tests on physical properties of fine and coarse aggregate, yield information for obtaining concrete proportions for a trial mixture.*

*This document also includes appendixes on proportioning mixtures for roller-compacted concrete, concrete roof tile, concrete masonry units, and pervious concrete for drainage purposes. Examples are provided as an aid in calculating proportions for these specialty applications.*

**Keywords:** durability; mixture proportioning; no-slump concrete; roller-compacted concrete; slump test; water-cementitious materials ratio.

ACI Committee Reports, Guides, Manuals, Standard Practices, and Commentaries are intended for guidance in planning, designing, executing, and inspecting construction. This document is intended for the use of individuals who are competent to evaluate the significance and limitations of its content and recommendations and who will accept responsibility for the application of the material it contains. The American Concrete Institute disclaims any and all responsibility for the stated principles. The Institute shall not be liable for any loss or damage arising therefrom.

Reference to this document shall not be made in contract documents. If items found in this document are desired by the Architect/Engineer to be a part of the contract documents, they shall be restated in mandatory language for incorporation by the Architect/Engineer.

### CONTENTS

#### Chapter 1—Scope and limits, p. 211.3R-2

#### Chapter 2—Preliminary considerations, p. 211.3R-2

- 2.1—General
- 2.2—Methods for measuring consistency
- 2.3—Mixing water requirement

#### Chapter 3—Selecting proportions, p. 211.3R-4

- 3.1—General
- 3.2—Slump and maximum-size aggregate
- 3.3—Estimating water and aggregate grading requirements
- 3.4—Selecting water-cementitious materials ratio
- 3.5—Estimate of coarse aggregate quantity

#### Chapter 4—Proportioning computations (SI units), p. 211.3R-7

- 4.1—General proportioning criteria
- 4.2—Example of proportioning computations
- 4.3—Batching quantities for production-size batching
- 4.4—Adjustment of trial mixture

ACI 211.3R-02 supersedes ACI 211.3R-97 and became effective January 11, 2002. Copyright © 2002, American Concrete Institute.

All rights reserved including rights of reproduction and use in any form or by any means, including the making of copies by any photo process, or by electronic or mechanical device, printed, written, or oral, or recording for sound or visual reproduction or for use in any knowledge or retrieval system or device, unless permission in writing is obtained from the copyright proprietors.

**Chapter 5—References, p. 211.3R-8**

- 5.1—Referenced standards and reports  
5.2—Cited references

**Appendix 1—Proportioning computations (inch-pound units), p. 211.3R-9****Appendix 2—Laboratory tests, p. 211.3R-11****Appendix 3—Roller-compacted concrete mixture proportioning, p. 211.3R-12****Appendix 4—Concrete roof tile mixture proportioning, p. 211.3R-20****Appendix 5—Concrete masonry unit mixture proportioning, p. 211.3R-21****Appendix 6—Pervious concrete mixture proportioning, p. 211.3R-24****CHAPTER 1—SCOPE AND LIMITS**

ACI 211.1 provides methods for proportioning concrete with slumps greater than 25 mm (1 in.) as measured by ASTM C 143/C 143M. This guide is an extension of ACI 211.1 and addresses the proportioning of concrete having slump in the range of zero to 25 mm (1 in.).

The paired values stated in inch-pound and SI units are the results of conversions that reflect the intended degree of accuracy. Each system is used independently of the other in the examples. Combining values from the two systems may result in nonconformance with this guide.

In addition to the general discussion on proportioning no-slump concrete, this guide includes proportioning procedures for these classes of no-slump concrete: roller-compacted concrete (Appendix 3); roof tiles (Appendix 4); concrete masonry units (CMU) (Appendix 5); and pervious concrete (Appendix 6).

**CHAPTER 2—PRELIMINARY CONSIDERATIONS**  
**2.1—General**

The general comments contained in ACI 211.1 are pertinent to the procedures discussed in this guide. The description of the constituent materials of concrete, the differences in proportioning the ingredients, and the need for knowledge of the physical properties of the aggregate and cementitious materials apply equally to this guide. The level of overdesign indicated in ACI 301 and ACI 318/318R should be applied to the compressive strength used for proportioning.

**2.2—Methods for measuring consistency**

Workability is the property of concrete that determines the ease with which it can be mixed, placed, consolidated, and finished. No single test is available that will measure this property in quantitative terms. It is usually expedient to use some type of consistency measurement as an index to workability. Consistency may be defined as the relative ability of freshly mixed concrete to flow. The slump test is the most familiar test method for consistency and is the basis for the measurement of consistency under ACI 211.1.

**Table 2.1—Comparison of consistency measurements for slump and Vebe apparatus**

Consistency description	Slump, mm	Slump, in.	Vebe, s
Extremely dry	—	—	32 to 18
Very stiff	—	—	18 to 10
Stiff	0 to 25	0 to 1	10 to 5
Stiff plastic	25 to 75	1 to 3	5 to 3
Plastic	75 to 125	3 to 5	3 to 0
Very plastic	125 to 190	5 to 7-1/2	—

**Table 2.2—Approximate relative water content for different consistencies**

Consistency description	Approximate relative water content, %	
	Thaulow <sup>5</sup>	Table 6.3.3, ACI 211.1
Extremely dry	78	—
Very stiff	83	—
Stiff	88	—
Stiff plastic	93	92
Plastic	100	100
Very plastic	106	106

No-slump concrete will have poor workability if consolidated by hand-rodming. If vibration is used, however, such concrete might be considered to have adequate workability. The range of workable mixtures can therefore be widened by consolidation techniques that impart greater energy into the mass to be consolidated. The Vebe apparatus,<sup>1,2</sup> the compacting factor apparatus,<sup>3</sup> the modified compaction test, and the Thaulow drop table<sup>4</sup> are laboratory devices that can provide a useful measure of consistency for concrete mixtures with less than 25 mm (1 in.) slump. Of the three consistency measurements, the Vebe apparatus is frequently used today in roller-compacted concrete and will be referred to in this guide. The Vebe test is described in Appendix 2. If none of these methods are available, consolidation of the trial mixture under actual placing conditions in the field or laboratory will, of necessity, serve as a means for determining whether the consistency and workability are adequate. Suitable workability is often based on visual judgement for machine-made precast concrete products.

A comparison of Vebe test results with the conventional slump test is shown in Table 2.1. Note that the Vebe test can provide a measure of consistency in mixtures termed "extremely dry." Vebe time at compaction is influenced by other factors such as moisture condition of aggregates, time interval after mixing, and climatic conditions.

**2.3—Mixing water requirement**

In ACI 211.1, approximate relative mixing water requirements are given for concrete conforming to the consistency descriptions of stiff plastic, plastic, and very plastic, as shown in Table 2.2 of this guide. Considering the water requirement for the 75 to 100 mm (3 to 4 in.) slump as 100%, the relative water contents for those three consistencies are 92, 100, and 106%, respectively. Thaulow<sup>5</sup> extended this concept of relative water contents to include stiffer mixtures, as shown in Table 2.2.

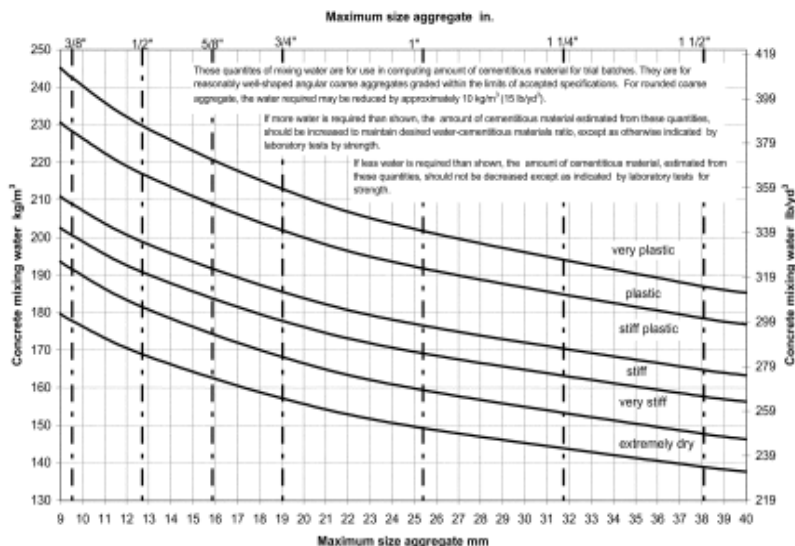


Fig. 2.1—Approximate mixing water requirements for different consistencies and maximum-size aggregate for nonair-entrained concrete.

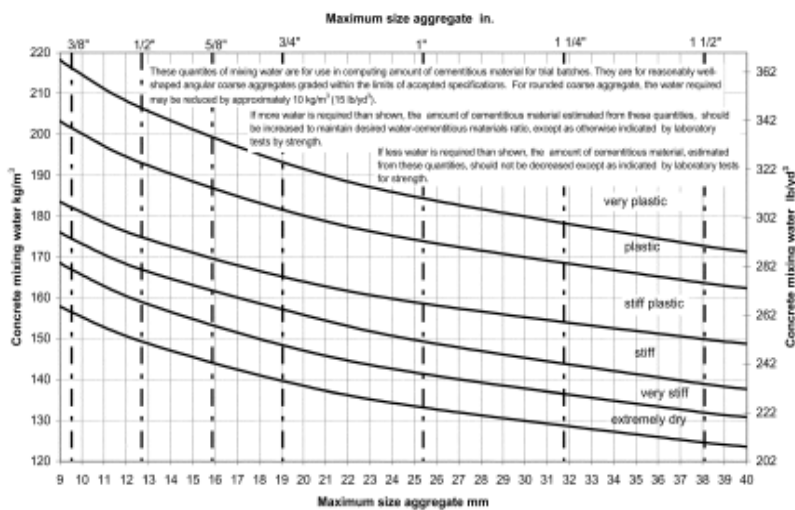


Fig. 2.2—Approximate mixing water requirements for different consistencies and maximum-size aggregate for air-entrained concrete.

Figures 2.1 and 2.2 have been prepared based on the results from a series of laboratory tests in which the average air contents were as indicated in Fig. 2.3. These tests show that the factors in Table 2.2 need to be applied to the quantities given in ACI 211.1 to obtain the approximate water content for the six consistency designations. Approximate relative mixing water requirements are given in kg/m<sup>3</sup> (lb/yd<sup>3</sup>) using the relative water contents shown by Thaulow<sup>5</sup> for the stiff, very stiff, and extremely dry consistencies. For a given

combination of materials, a number of factors will affect the actual mixing water requirement and can result in a considerable difference from the values shown in Fig. 2.1 and 2.2. These factors include particle shape and grading of the aggregate, air content and temperature of the concrete, the effectiveness of mixing, chemical admixtures, and the method of consolidation. With respect to mixing, for example, spiral-blade and pan-type mixers are more effective for no-slump concretes than are rotating-drum mixers.

$$FA\% = \frac{FM_{CA} - FM_{COMB}}{(FM_{CA} - FM_{FA}) \times 100} \quad (A5.1)$$

where  $FM_{CA}$  and  $FM_{FA}$  are the fineness modulus of coarse and fine aggregate, respectively; and  $FM_{COMB}$  is the recommended combined fineness modulus.

*Example—*

Given:  $FM_{CA} = 5.48$ ;  $FM_{FA} = 2.57$

Desired combined  $FM_{COMB} = 3.70$

$$FA\% = \frac{5.48 - 3.70}{(5.48 - 2.57) \times 100} = 61\% \quad (A5.2)$$

Therefore, the blend would consist of 39% coarse aggregate and 61% fine aggregate, by volume.

*NOTE:* Fineness modulus determinations are normally based on mass retained on given sieve sizes rather than volumes. Volume-based gradings can be developed for use in designing block mixtures; however, experience has shown that mass-determined fineness moduli provide a satisfactory basis for preliminary block mixtures because production adjustments are almost always needed. Block machine compaction and vibration will affect the surface texture of the masonry units as will the moisture content of the mixture at time of use.

*Calculation of batch quantities—*To determine batch quantities, the volume capacity of the mixer to be used and the dry mass of the aggregates must be determined. For design purposes, the full-rated volume of the mixer is used, yet, total batch size may need adjusting as trial batches are run.

Trial batch example:

Mixer volume = 2.27 m<sup>3</sup> (80 ft<sup>3</sup>)

CA density (dry-rodded) = 1218 kg/m<sup>3</sup> (76 lb/ft<sup>3</sup>)

FA density (dry-rodded) = 1522 kg/m<sup>3</sup> (95 lb/ft<sup>3</sup>)

The paste volume is only a little greater than the voids between the aggregate particles so that the dry-rodded volume is close to the concrete volume. A batch volume of 2.21 m<sup>3</sup> or 78 ft<sup>3</sup> will be used.

*Mass calculations in SI units:*

Mass of CA = 2.21 m<sup>3</sup>(0.39)1218 kg/m<sup>3</sup> = 1050 kg

Mass of FA = 2.21 m<sup>3</sup>(0.61)1522 kg/m<sup>3</sup> = 2052 kg

Total mass of aggregate = 3102 kg

Cement factor: assume 10% by mass of aggregate

Cement content = 3102(0.10) = 310 kg

*Mass calculated in inch-pound units:*

Mass of CA = 78 ft<sup>3</sup> (0.39) (76 lb/ft<sup>3</sup>) = 2312 lb

Mass of FA = 78 ft<sup>3</sup> (0.61) (95 lb/ft<sup>3</sup>) = 4520 lb

Total mass of aggregate = 6832 lb

Cement factor: assume 10% by mass of aggregate

Cement content = 6832 (0.10) = 683 lb

The water content is adjusted until the mixture will "ball" in the hand. It will have sufficient cohesion to hold its shape when squeezed but will not exhibit any free moisture.

This method is more of a trial-and-error approach than the volumetric approach and therefore, is for trial designs only. Test batches must be run through the machine to be used in production to verify such characteristics as compressive

strength, surface texture, absorption, and green strength (the ability of a freshly molded block to withstand machinery and pallet movement without cracking).

## APPENDIX 6—PERVIOUS CONCRETE MIXTURE PROPORTIONING

### A6.1—General

This guide provides a method for proportioning no-slump pervious concrete that is used for pavements and other applications where drainage and percolation are needed. Pervious concrete is an open-graded material that is bound by cement paste. The structure of the material allows the passage of water, yet provides moderate structural strength. Because of the high percentage of voids, pervious concrete has been used also as an insulating material.

### A6.2—Materials

Pervious concrete is composed of cement or a combination of cement and pozzolan, coarse aggregate, and water. Occasionally, a small amount of fine aggregate has been incorporated to increase compressive strength and to reduce percolation through the concrete. The most common gradings of coarse aggregate used in pervious concrete meet the requirements of ASTM C 33 sieve sizes 9.5 to 2.36 mm (Size No. 8), 12.5 to 4.75 mm (Size No. 7), and 19.0 to 4.75 mm (Size No. 67). Portland cement should conform to ASTM C 150 or a combination of cementitious materials can be used that conform to the appropriate ASTM specifications.

### A6.3—Water-cementitious materials ratio

The  $w/cm$  is an important consideration for maintaining strength and the void structure of the concrete. A high  $w/cm$  reduces the adhesion of the paste to the aggregate and causes the paste to flow and fill the voids even when lightly compacted. A low  $w/cm$  will tend to cause balling in the mixer and prevent an even distribution of materials. Experience has shown a range of 0.35 to 0.45 will provide the best aggregate coating and paste stability. Higher values of  $w/cm$  should only be used if the concrete is lightly tamped or compacted. The  $w/cm$  versus compressive strength relationship, which is normally used with conventional concrete, does not apply to pervious concrete.

### A6.4—Durability

Freezing-and-thawing tests of pervious concrete indicate poor durability if the void system is filled with water. Tests have indicated that durability is improved when the void structure is permitted to drain and the cement paste is air-entrained. No research has been conducted on resistance of pervious concrete to the aggressive attack by sulfate-bearing or acidic water that can percolate through the concrete. Therefore, caution should be used in applications where aggressive water may exist.

### A6.5—Percent voids

*Compressive strength versus percolation—*To ensure that water will percolate through pervious concrete, the percent voids, calculated as percent air by the gravimetric method (ASTM C 138), should be 15% or greater as shown on

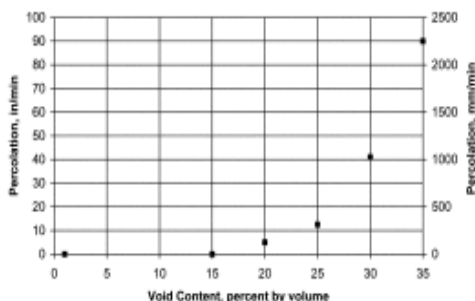


Fig. A6.1—Minimum void content for percolation based on NAA-NRMCA tests and test method.

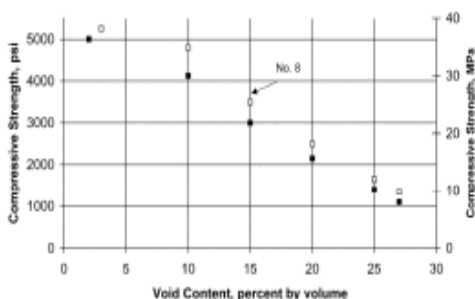


Fig. A6.2—Relationship between void content and 28-day compressive strength for No. 67 and No. 8 aggregate size.

Fig. A6.1.<sup>6</sup> At this void content, the compressive strength of the concrete as shown in Fig. A6.2 would be approximately 24 MPa (3500 psi) at 28 days. The higher the percent voids, the higher the percolation rate and the lower the compressive strength. The lower the percent voids, the lower the percolation rate and the higher the compressive strength. Also, the compressive strength increases as the nominal maximum size aggregate decreases.

**A6.6—Amount of coarse aggregate**

Coarse aggregate,  $b/b_o$ , dry-rodded density tests made by the National Aggregates Association-National Ready Mixed Concrete Association (NAA-NRMCA)<sup>6</sup> show that the dry-rodded density of coarse aggregate, as determined by ASTM C 29/C 29M, can be effectively used in proportioning pervious concrete, where:

- $b/b_o$  = dry-rodded volume of coarse aggregate in a unit volume of concrete;
- $b$  = solid volume of coarse aggregate in a unit volume of concrete; and
- $b_o$  = solid volume of coarse aggregate in a unit volume of coarse aggregate.

The  $b/b_o$  value automatically compensates for the effects of different coarse aggregate particle shape, grading, and specific gravity. Furthermore, the  $b/b_o$  values for a range of nominal maximum-size aggregates normally used in pervious concrete, 10 to 20 mm (3/8 to 3/4 in.), are very similar. Table A6.1 gives the  $b/b_o$  values for coarse aggregate

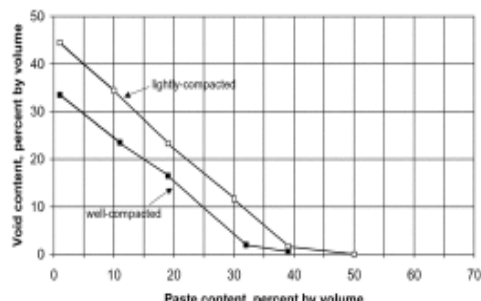


Fig. A6.3—Relationship between paste and void content for No. 8 aggregate size designations.

**Table A6.1—Effective  $b/b_o$  values**

Percent fine aggregates	$b/b_o$	
	ASTM C 33 Size No. 8	ASTM C 33 Size No. 67
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

gate sizes No. 8 and No. 67 for fine aggregate contents of 0, 10, and 20% of the total aggregate.

**A6.7—Proportioning procedure**

The proportioning procedure for pervious concrete is based on the volume of paste necessary to bind the aggregate particles together while maintaining the necessary void content, as shown in Fig. A6.3. The quantity of aggregate depends on the dry-rodded density and the  $b/b_o$  values selected from Table A6.1. Once the paste volume is determined from Fig. A6.3 and the desired  $w/cm$  is selected, the cement and water quantities can be determined from the relationship:

$$\text{Paste volume } (V_p) = \text{cement volume} + \text{water volume, or}$$

$$V_p = c/3150 + w/1000 \text{ (m}^3\text{)}$$

In inch-pound units

$$V_p = c/(3.15 \times 62.4) + w/62.4 \text{ (ft}^3\text{)}$$

where  $c$  is the mass of cement and  $w$  is the mass of water. If the water-cement ratio is ( $w/c$ ) then

$$w = (w/c)c; \text{ and}$$

$$V_p = c/3150 + [(w/c)c/1000] \text{ (m}^3\text{)}$$

In inch-pound units

$$V_p = c/(3.15 \times 62.4) + [(w/c)c/62.4] \text{ (ft}^3\text{)}$$

Therefore, once the paste volume is determined from Fig. A6.3 and the  $w/cm$  is selected, the mass of cement can be calculated. When fine aggregate is used, the paste volume should be reduced by 2% for each 10% fine aggregate of the total aggregate for well-compacted pervious concrete, and by 1% for each 10% fine aggregate of the total aggregate for lightly compacted pervious concrete. These reductions are necessary to maintain the same percent voids by volume.

*Example*—Proportion a well-compacted pervious concrete mixture with a No. 8 coarse aggregate (ASTM C 33) that has a dry-rodded density of 1742 kg/m<sup>3</sup> (108.7 lb/ft<sup>3</sup>), a bulk specific gravity (saturated surface dry) of 2.75, and an absorption of

1.2%. The mixture should have a void content of at least 20% and a compressive strength of 14 MPa or 2000 psi at 28 days. The pervious concrete will be proportioned for  $w/c = 0.38$ , which has been selected as a stable paste for this example. No fine aggregate will be used in the mixture.

Mass of aggregate ( $M_a$ ) per  $m^3$  ( $yd^3$ ):

$$\begin{aligned} M_a &= 1742 \times 0.99 = 1725 \text{ kg (dry)} \\ &= 1725 \times 1.012 = 1746 \text{ kg (SSD)} \\ M_a &= 108.7 \times 0.99 \times 27 = 2906 \text{ lb (dry)} \\ &= 2906 \times 1.012 = 2941 \text{ lb (SSD)} \end{aligned}$$

Solid volume of aggregate per  $m^3$  ( $yd^3$ ) ( $V_a$ ):

$$\begin{aligned} V_a &= 1746/2750 = 0.635 \text{ m}^3 \\ V_a &= 2941/(2.75 \times 62.4) = 17.14 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

From Fig. A6.3, the percent paste by volume is 16.5 when the voids equal 20% and the material is well-compacted. Figure A6.1 indicates a percolation rate of approximately 125 mm/min (5 in./min) Figure A6.2 indicates a compressive strength of approximately 17 MPa (2500 psi).

Solid volume of paste per  $m^3$  ( $V_p$ ):

$$\begin{aligned} V_p &= 16.5/100 = 0.165 \text{ m}^3, \text{ and} \\ 0.165 &= c/3150 + ((0.38) c/1000), \text{ therefore:} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= 237 \text{ kg/m}^3 \\ w &= 237(0.38) = 90 \text{ kg/m}^3 \\ V_C &= 237/3150 = 0.075 \text{ m}^3 \\ V_W &= 90/1000 = 0.090 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

*In inch-pound units*

$$\begin{aligned} V_p &= (16.5/100) \times 27 = 4.46 \text{ ft}^3, \text{ and} \\ 4.46 &= c/(3.15 \times 62.4) + 0.38(c/62.4) = 2.03 + 2.42, \text{ therefore:} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= 399 \text{ lb/yd}^3 \\ V_C &= 399/(3.15 \times 62.4) = 2.03 \text{ ft}^3 \\ w &= (0.38)399 = 152 \text{ lb} \\ V_W &= 152/62.4 = 2.43 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

The batch quantities, per  $m^3$ , are as follows:

$$\begin{aligned} \text{Cement} &= 237 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Water} &= 90 \text{ kg/m}^3 \\ \text{No. 8 aggregate} &= 1745 \text{ kg/m}^3 \text{ (SSD)} \\ \text{Total mass} &= 2072 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Density} &= 2072 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Check solid volume, per  $m^3$ :

$$\begin{aligned} \text{Cement} &= 0.075 \text{ m}^3 \\ \text{Water} &= 0.090 \text{ m}^3 \\ \text{No. 8 aggregate} &= 0.635 \text{ m}^3 \\ \text{Total} &= 0.800 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Volume of voids} = 1.000 - 0.800 = 0.200 \text{ m}^3$$

The batch quantities, per  $yd^3$ , are as follows:

$$\begin{aligned} \text{Cement} &= 399 \text{ lb/yd}^3 \\ \text{Water} &= 152 \text{ lb/yd}^3 \\ \text{No. 8 aggregate} &= 2941 \text{ lb/yd}^3 \text{ (SSD)} \\ \text{Total mass} &= 3492 \text{ lb/yd}^3 \\ \text{Density} &= 129.3 \text{ lb/yd}^3 \end{aligned}$$

Check solid volume, per  $lb/yd^3$ :

$$\begin{aligned} \text{Cement} &= 2.03 \text{ ft}^3 \\ \text{Water} &= 2.43 \text{ ft}^3 \\ \text{No. 8 aggregate} &= 17.14 \text{ ft}^3 \\ \text{Total} &= 21.60 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Volume of voids} = (27 - 21.60) = 5.4 \text{ ft}^3$$

$$\text{Percent voids} = 20.00$$

The calculated mixture proportions should be checked in the laboratory by trial batch and adjusted as required. In addition, it is recommended that trial batches include two additional mixtures with  $30 \text{ kg/m}^3$  ( $50 \text{ lb/yd}^3$ ) more and  $30 \text{ kg/m}^3$  ( $50 \text{ lb/yd}^3$ ) less cement. These mixtures should also include the appropriate adjustments in: 1) water to produce the required  $w/cm$ ; and in 2) aggregate to maintain the required percent voids. Generally, achieving the required void content and percolation rate with a stable paste are of greater importance than compressive strength of the mixture.

**7.2. ACI 522R-10**

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

**Report on Pervious Concrete**

Reported by ACI Committee 522



**American Concrete Institute®**





American Concrete Institute®  
Advancing concrete knowledge

First Printing  
March 2010

## Report on Pervious Concrete

Copyright by the American Concrete Institute, Farmington Hills, MI. All rights reserved. This material may not be reproduced or copied, in whole or part, in any printed, mechanical, electronic, film, or other distribution and storage media, without the written consent of ACI.

The technical committees responsible for ACI committee reports and standards strive to avoid ambiguities, omissions, and errors in these documents. In spite of these efforts, the users of ACI documents occasionally find information or requirements that may be subject to more than one interpretation or may be incomplete or incorrect. Users who have suggestions for the improvement of ACI documents are requested to contact ACI. Proper use of this document includes periodically checking for errata at [www.concrete.org/committees/errata.asp](http://www.concrete.org/committees/errata.asp) for the most up-to-date revisions.

ACI committee documents are intended for the use of individuals who are competent to evaluate the significance and limitations of its content and recommendations and who will accept responsibility for the application of the material it contains. Individuals who use this publication in any way assume all risk and accept total responsibility for the application and use of this information.

All information in this publication is provided "as is" without warranty of any kind, either express or implied, including but not limited to, the implied warranties of merchantability, fitness for a particular purpose or non-infringement.

ACI and its members disclaim liability for damages of any kind, including any special, indirect, incidental, or consequential damages, including without limitation, lost revenues or lost profits, which may result from the use of this publication.

It is the responsibility of the user of this document to establish health and safety practices appropriate to the specific circumstances involved with its use. ACI does not make any representations with regard to health and safety issues and the use of this document. The user must determine the applicability of all regulatory limitations before applying the document and must comply with all applicable laws and regulations, including but not limited to, United States Occupational Safety and Health Administration (OSHA) health and safety standards.

**Order information:** ACI documents are available in print, by download, on CD-ROM, through electronic subscription, or reprint and may be obtained by contacting ACI.

Most ACI standards and committee reports are gathered together in the annually revised *ACI Manual of Concrete Practice* (MCP).

American Concrete Institute  
38800 Country Club Drive  
Farmington Hills, MI 48331  
U.S.A.  
Phone: 248-848-3700  
Fax: 248-848-3701

[www.concrete.org](http://www.concrete.org)

ISBN 978-0-87031-364-6

- 5.3—Flexural strength
- 5.4—Void content/density
- 5.5—Pore sizes
- 5.6—Percolation rate
- 5.7—Durability
- 5.8—Toughness
- 5.9—Acoustic absorption

#### Chapter 6—Pervious concrete mixture proportioning, p. 12

- 6.1—General
- 6.2—Materials
- 6.3—Water-cementitious material ratio
- 6.4—Void content
- 6.5—Amount of coarse aggregate
- 6.6—Paste volume, cement, and water contents
- 6.7—Proportioning procedure
- 6.8—Typical ranges of materials

#### Chapter 7—Pervious pavement design, p. 15

- 7.1—Introduction
- 7.2—Structural design
- 7.3—Stormwater management design
- 7.4—Other considerations

#### Chapter 8—Pervious pavement construction, p. 20

- 8.1—General construction principles
- 8.2—Subgrade/subbase preparation
- 8.3—Placing
- 8.4—Consolidation
- 8.5—Jointing
- 8.6—Curing and protection
- 8.7—Cold weather protection
- 8.8—Hot weather protection
- 8.9—Repairing pervious concrete pavements
- 8.10—Maintenance

#### Chapter 9—Quality control inspection and testing, p. 26

- 9.1—General
- 9.2—Preconstruction inspection and testing
- 9.3—Inspection and testing during construction
- 9.4—Post-construction inspection and testing

#### Chapter 10—Performance, p. 27

- 10.1—General
- 10.2—Changes in infiltration rates
- 10.3—Structural distress
- 10.4—Surface distress
- 10.5—Resistance to freezing and thawing

#### Chapter 11—Limitations, potential applications, and research needs, p. 29

- 11.1—Pervious concrete in cold climates
- 11.2—Strength determinations and limitations
- 11.3—Characterization of the material structure
- 11.4—Freezing-and-thawing and cold climate applications
- 11.5—Porous grout
- 11.6—Stormwater management

- 11.7—Environmental filtering/remediation potential
- 11.8—Surface deterioration and repair
- 11.9—Development and standardization of broader testing methods
- 11.10—Non-destructive determination of performance and properties
- 11.11—Urban heat island effect, carbonation, and other thermal properties
- 11.12—Other novel applications and uses

#### Chapter 12—The environment and pervious concrete, p. 33

- 12.1—Pervious concrete and the LEED™ green building rating system

#### Chapter 13—References, p. 36

- 13.1—Referenced standards and reports
- 13.2—Cited references

### CHAPTER 1—INTRODUCTION AND SCOPE

#### 1.1—Introduction

This report provides technical information on pervious concrete's application, design methods, materials, properties, mixture proportioning, construction methods, testing, and inspection.

The term "pervious concrete" typically describes a near-zero-slump, open-graded material consisting of portland cement, coarse aggregate, little or no fine aggregate, admixtures, and water. The combination of these ingredients will produce a hardened material with connected pores (Fig. 1.1), ranging in size from 0.08 to 0.32 in. (2 to 8 mm), that allow water to pass through easily. The void content can range from 15 to 35%, with typical compressive strengths of 400 to 4000 psi (2.8 to 28 MPa). The drainage rate of pervious concrete pavement will vary with aggregate size and density of the mixture, but will generally fall into the range of 2 to 18 gal/min/ft<sup>2</sup> (81 to 730 L/min/m<sup>2</sup>) or 192 to 1724 in./h (0.14 to 1.22 cm/s).

#### 1.2—Scope

Concern has been growing in recent years toward reducing the pollutants in water supplies and the environment. In the

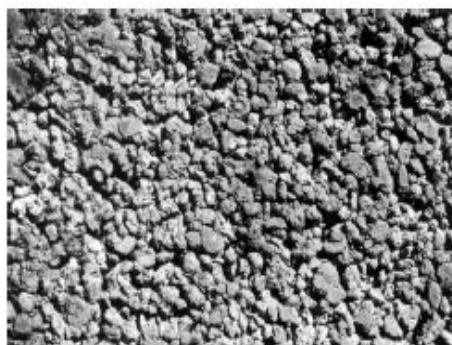


Fig. 1.1—Pervious concrete pavement texture on parking lot.

1960s, engineers realized that runoff from developed real estate had the potential to pollute surface and groundwater supplies. Further, as land is developed, runoff leaves the site in higher rates and volumes, leading to downstream flooding and bank erosion. Pervious concrete pavement reduces the impact of development by reducing or eliminating storm-water runoff rates and protecting water supplies.

## CHAPTER 2—NOTATION AND DEFINITIONS

### 2.1—Notation

$A$	=	area of the pavement, acre ( $m^2$ )
$b$	=	solid volume of coarse aggregate in a unit volume of concrete, $ft^3$ ( $m^3$ )
$b_o$	=	solid volume of coarse aggregate in a unit volume of coarse aggregate, $ft^3$ ( $m^3$ )
$b/b_o$	=	dry-rodded volume of coarse aggregate in a unit volume of concrete
$C$	=	runoff coefficient
$c$	=	cement content, lb (kg)
$d_1$	=	thickness of the pavement, ft (m)
$d_2$	=	thickness of the subgrade, ft (m)
$f'_c$	=	specified compressive strength of concrete, psi (MPa)
$f_r$	=	modulus of rupture of concrete, psi (MPa)
$t$	=	time, seconds
$h_1$	=	initial head, in. (mm)
$h_2$	=	final head, in. (mm)
$k$	=	permeability, in./s (mm/s)
$p_1$	=	percentage of void space in the pavement
$p_2$	=	percentage of void space in the subgrade
$R$	=	pressure reflection coefficient
$V_a$	=	aggregate volume, $ft^3$ ( $m^3$ )
$V_c$	=	cement volume, $ft^3$ ( $m^3$ )
$V_p$	=	paste volume; total of cement and water volume, $ft^3$ ( $m^3$ )
$V_p$	=	available storage in pavement, $ft^3$ ( $m^3$ )
$V_r$	=	required storage volume, $ft^3$ ( $m^3$ )
$V_s$	=	available storage in subgrade, $ft^3$ ( $m^3$ )
$V_s$	=	total solid volume of aggregate, cement, and water, $ft^3$ ( $m^3$ )
$V_{tot}$	=	total volume, $ft^3$ ( $m^3$ )
$V_w$	=	water volume, $ft^3$ ( $m^3$ )
$W_a$	=	dry aggregate weight, lb (kg)
$W_{ssd}$	=	saturated surface-dry weight, lb (kg)
$w$	=	water content, lb (kg)
$\alpha$	=	absorption coefficient

### 2.2—Definitions

ACI provides a comprehensive list of acceptable definitions through an online resource, "ACI Concrete Terminology," <http://terminology.concrete.org>. Definitions provided here complement that resource.

**concrete, pervious**—hydraulic cement concrete proportioned with sufficient interconnected voids that result in a highly permeable material, allowing water to readily pass.

**impervious area**—an area covered by a material that prevents precipitation from infiltrating soils and recharging groundwater supplies.

**pavement, pervious**—a pavement comprising material with sufficient continuous voids to allow water to pass from the surface to the underlying layers.

**percolation rate**—the rate, usually expressed as inches per hour or inches per day, at which water moves through pervious concrete.

**porosity**—the volume of open and connected interstitial void space in pervious concrete.

**raveling**—the wearing away of the concrete surface caused by the dislodging of aggregate particles.

**runoff**—water from rain or snow that is not absorbed into the ground but instead flows over less pervious surfaces into streams and rivers.

**surface course**—the top layer of a concrete pavement structure.

**void content**—the ratio of the volume of voids, including both entrapped and entrained air, to the total volume expressed as a percentage.

## CHAPTER 3—APPLICATIONS

### 3.1—General

Pervious concrete has been used in a wide range of applications, including:

- Pervious pavement for parking lots (Fig. 3.1);
- Rigid drainage layers under exterior mall areas;
- Greenhouse floors to keep the floor free of standing water;
- Structural wall applications where lightweight or better thermal insulation characteristics, or both, are required;
- Pavements, walls, and floors where better acoustic absorption characteristics are desired;
- Base course for streets, roads, driveways, and airports;
- Surface course for parks and tennis courts;
- Floors for zoo areas and animal barns and stalls;
- Bridge embankments;
- Swimming pool decks;



Fig. 3.1—Parking lot built with pervious concrete pavement.

- Beach structures and seawalls;
- Sewage treatment plant sludge beds;
- Solar energy storage systems;
- Wall linings for drilled water wells; and
- Artificial reefs where the open structure of pervious concrete mimics the reef structure.

Typically, unreinforced pervious concrete is used in all these applications because of the high risk of reinforcing steel corrosion due to the open pore structure of the material.

### 3.2—Building applications: history

Pervious concrete has been used in building construction since at least the middle of the nineteenth century (Francis 1965). Throughout this chapter, the term “pervious concrete” is used to describe the material, but in the references and historically, it may have been described as no-fines concrete or gap-graded concrete. European countries have used pervious concrete in different modes: cast-in-place load-bearing walls in single- and multistory houses and, in some instances, in high-rise buildings, prefabricated panels, and steam-cured blocks. In 1852, pervious concrete was first used in the construction of two houses in the United Kingdom (UK). This concrete consisted of only coarse gravel and cement. It is not mentioned in the published literature again until 1923, when a group of 50 two-story houses were built with clinker aggregate in Edinburgh, Scotland. In the late 1930s, the Scottish Special Housing Association Limited adopted the use of pervious concrete for residential construction. By 1942, pervious concrete had been used to build over 900 houses.

From 1939 to 1945, the havoc of World War II left almost all of Europe with vast housing needs, which encouraged the development of new or previously unused methods of building construction. Notably among them was pervious concrete (Malhotra 1969). Pervious concrete used less cement per unit volume of concrete as compared with conventional concrete, and the material was advantageous where manpower was scarce or expensive. Over the years, the pervious concrete system contributed substantially to the production of new houses in the UK, Germany, Holland, France, Belgium, Scotland, Spain, Hungary, Venezuela, West Africa, the Middle East, Australia, and Russia. Germany used this system because disposal of large quantities of brick rubble was a problem after the war, leading to research into the properties of pervious concrete. Elsewhere, the unprecedented demand for brick and the subsequent inability of the brick-making industry to provide an adequate supply, led to the adoption of pervious concrete as a building material. Similarly in Scotland, between 1945 and 1956, many homes were built with pervious concrete. This was mainly due to the presence of unlimited supplies of hard aggregates and the absence of good facing bricks. The first reported use of pervious concrete in Australia was as early as 1946.

Before World War II, production of pervious concrete was confined to two-story homes. After 1946, however, pervious concrete was used for a much broader range of applications. It was specified as a material for load-bearing elements in buildings up to 10 stories tall (Francis 1965).



Fig. 3.2—Pervious concrete pavement used within the drip line of tree.

Pervious concrete was extensively used for industrial, public, and domestic buildings in areas north of the Arctic Circle because traditional building materials proved impracticable. Examples of these impracticalities include the high transportation costs of brick, fire hazards of timber, and poor thermal insulation properties of plain concrete (Malhotra 1976).

Although pervious concrete has been used in Europe and Australia for the past 60 years, its use as a building material in North America has been extremely limited. One reason for this limited use is, after World War II, North America did not experience a materials shortage as much as Europe.

In Canada, the first reported use of pervious concrete was in 1960. Pervious concrete was used in the construction of some houses in Toronto and on a nonstructural basis in a federal building in Ottawa.

### 3.3—Pavement applications

Pervious concrete pavements' advantages over conventional concrete pavements include:

- Controlling stormwater pollution at the source;
- Increasing facilities for parking by eliminating the need for water-retention areas;
- Controlling stormwater runoff;
- Reducing hydroplaning on road and highway surfaces;
- Creating additional lift to aircraft during takeoff due to the cooling effect;
- Reducing glare on road surfaces to a great extent, particularly when wet at night;
- Reducing the interaction noise between tire and pavement;
- Eliminating or reducing the size of storm sewers; and
- Allowing air and water to reach tree roots, even with pavement within the tree drip line (Fig. 3.2).

Pervious concrete pavements' potential disadvantages and challenges include:

- Limited use in heavy vehicle traffic areas;
- Specialized construction practices;
- Extended curing time;
- Sensitivity to water content and control in fresh concrete;
- Special attention and care in design of some soil types such as expansive soils and frost susceptible ones;

ponding and to eliminate the growth of weeds while providing a durable, hard surface for moving equipment.

**3.4.3 Tennis courts**—Pervious concrete has been used extensively for the construction of tennis courts in Europe. Pervious concrete slabs allow water to permeate and then drain through a gravel base to the edges of the slab. Fly ash is included in some of the mixtures to increase the workability.

**3.4.4 Noise barriers and building walls**—Noises from various traffic sources or occupants of a building can be problematic. Pervious concrete noise barriers and interior walls are sometimes constructed to reduce noise. This open-graded structure tends to absorb and dissipate the sound in the material rather than reflecting it to another location.

## CHAPTER 4—MATERIALS

### 4.1—General

Pervious concrete, also known as no-fines, permeable, or enhanced porosity concrete (EPC), usually consists of normal portland cement, uniform-sized coarse aggregate, and water. This combination forms an agglomeration of coarse aggregates surrounded by a thin layer of hardened cement paste at their points of contact. This configuration produces interconnected voids (typically of sizes in the range of 0.04 to 0.2 in. [1 to 5 mm]) between the coarse aggregate, which allows water to permeate at a much higher rate than conventional concrete. Pervious concrete is considered a special type of highly porous concrete. Such porous concrete can be classified into two types: one where the porosity is present in the aggregate component of the mixture (lightweight aggregate concretes), and one where porosity is introduced in the nonaggregate component of the mixture (pervious concrete) (Neithalath 2004). Lightweight aggregate concrete can be constructed by using extremely porous natural or synthetic aggregates. Pervious concrete has little or no fine aggregate in the mixture. Another distinction between these two types of porous concrete is based mainly on the void structure. Lightweight aggregate concretes contain large percentages of relatively nonconnected voids. Pervious concrete, however, contains high percentages (20 to 35%) of interconnected voids, which allows for the rapid passage of water through the body of concrete.

### 4.2—Aggregates

Aggregate gradings used in pervious concrete are typically either single-sized coarse aggregate or grading between 3/4 and 3/8 in. (19 and 9.5 mm). Rounded and crushed aggregates, both normal and lightweight, have been used to make pervious concrete. The aggregate used should meet requirements of ASTM D448 and C33/C33M. Fine aggregate content is limited in pervious concrete mixtures because it tends to compromise the connectedness of the pore system. The addition of fine aggregate may increase compressive strengths and density but correspondingly reduce the flow rate of water through the pervious concrete mass.

Aggregate quality in pervious concrete is equally important as in conventional concrete. Flaky or elongated particles should be avoided. The narrow-graded coarse aggregate should be hard and clean, and free of coatings, such as dust

or clay, or other absorbed chemicals that might detrimentally affect the paste/aggregate bond or cement hydration. Aggregate sources with a service record of acceptable performance are preferable. In the absence of a source with an acceptable service record, a combination of tests could be conducted to provide a basis for assessing the suitability of a candidate aggregate for incorporation into a pervious concrete mixture. Unit weights of aggregates should be determined in accordance with ASTM C29/C29M.

For new, unknown aggregate sources, results of tests conducted as per ASTM C33/C33M and D448 should be reviewed with the input of an experienced materials engineer. Examining untested samples by an experienced petrographer can prove to be invaluable in identifying characteristics such as quality, hardness, degree of weathering, and the presence of deleterious coatings that could impair the performance of the material in service.

Aggregate moisture at time of mixing is important. The aggregate absorption should be satisfied by conditioning the stockpile as necessary to achieve saturated surface-dry (SSD) condition. Otherwise, a dry aggregate may result in a mixture that lacks adequate workability for placing and compaction. Overly wet aggregates can contribute to draining of the paste, causing intermittent clogging of the intended void structure.

### 4.3—Cementitious materials

Portland cement conforming to ASTM C150/C150M, C595/C595M, or C1157/C1157M is used as the main binder. Supplementary cementitious materials such as fly ash, ground-granulated blast-furnace slag, and silica fume can also be used in addition to portland cement and should meet the requirements of ASTM C618, C989, and C1240, respectively. Testing materials in trial batching is strongly recommended to verify that cement-admixture compatibility is not a problem and that the setting time, rate of strength development, porosity, and permeability can be achieved to provide the characteristics needed for the anticipated placement and service conditions.

### 4.4—Water

Water quality for pervious concrete is governed by the same requirements as those for conventional concrete. Pervious concretes should be proportioned with a relatively low water-cementitious material ratio ( $w/cm$ ) (typically 0.26 to 0.40) because an excess amount of water will lead to drainage of the paste and subsequent clogging of the pore system. The addition of water, therefore, has to be monitored closely in the field. Further discussion of water quality is found in ACI 301. Recycled water from concrete operations may be usable but only if it meets provisions of ASTM C94/C94M or AASHTO M-157.

### 4.5—Admixtures

Water-reducing admixtures should meet the requirements of ASTM C494/C494M. Water-reducing admixtures (high-range or medium-range) are used depending on the  $w/cm$ . Retarding admixtures are used to stabilize and control cement hydration. Retarding admixtures are frequently preferred

when dealing with stiff mixtures, such as pervious concrete. They are especially useful in hot weather applications. Retarding admixtures can act as lubricants to help discharge concrete from a mixer and can improve handling and in-place performance characteristics. Accelerators can be used when pervious concretes are placed in cold weather. Studies report the use of cement hydration stabilizers as an aid in extending the working time of the mixture and viscosity-modifying admixtures (VMAs) to enhance workability; these advantages have also been witnessed during actual production and placements for projects. With the use of multiple admixtures in any concrete mixture, it is recommended that a trial mixture placement is conducted to identify any admixture incompatibility problems and verify desired fresh and hardened properties are consistently achievable.

Air-entraining admixtures should meet the requirements of ASTM C260. Air-entraining admixtures are not commonly used in pervious concretes, but can be used in environments susceptible to freezing and thawing. No reliable method exists, however, to quantify the entrained air volume in these materials. Research is currently underway on the resistance to freezing and thawing of pervious concrete mixtures, and most studies involve the use of an air-entraining agent (Neithalath et al. 2005a; Schaefer et al. 2006; Baas 2006). Until a greater body of research is available, it may be prudent to include an air-entraining admixture where placement occurs in colder climates. This is reportedly true in relatively higher cement content mixtures where the paste thickness coating aggregate particles exceeds 0.008 in. (200  $\mu\text{m}$ ). Incorporation of fibers for mixtures to be exposed to freezing and thawing has shown success in some studies to improve durability in cold climates.

The use of construction specialty chemicals is also reported to be beneficial when windy, drying ambient conditions create high evaporation rates that reduce the window of time when a mixture is most efficiently placed. The use of evaporation retarders may be helpful in this regard.

## CHAPTER 5—PROPERTIES

### 5.1—General

The various properties of pervious concrete are primarily dependent on its porosity (air void content), which in turn depends on cementitious content,  $w/cm$ , compaction level, and aggregate gradation and quality. The pore sizes in the material also impact strength properties. Although pervious concrete has been used for paving for more than 20 years in the U.S., only a few investigations have been done to determine performance (Ghafoori 1995; Wanielista et al. 2007). Investigations have been based primarily on laboratory tests, with some data from actual field installations obtained. Only one ASTM method exists that is specifically intended for use on pervious concrete. ASTM Subcommittee C09.49 is developing test methods for compressive strength, flexural strength, in-place density/porosity, and in-place permeability. The specifier should use caution when referencing test methods for pervious concrete that are intended for plain concrete.

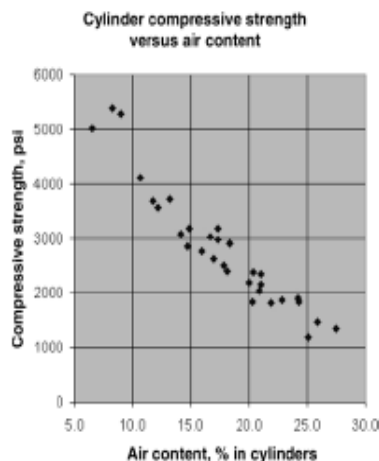


Fig. 5.1—Relationship between air content and compressive strength for pervious concrete (Meininger 1988) (1 psi = 0.006895 MPa).

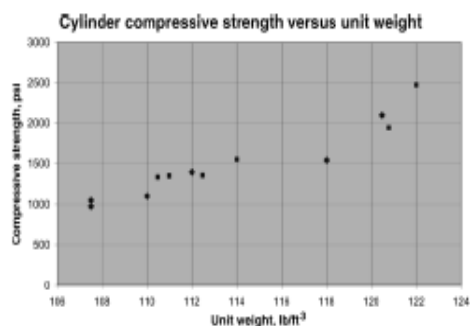


Fig. 5.2—Relationship between unit weight and compressive strength for pervious concrete (Mulligan 2005) (1 psi = 0.006895 MPa; 1 lb/ft<sup>3</sup> = 16.02 kg/m<sup>3</sup>).

### 5.2—Compressive strength

The compressive strength of pervious concrete is strongly affected by the mixture proportion and compaction effort during placement. Figure 5.1 shows the relationship between pervious concrete compressive strength and air void content (Meininger 1988). Figure 5.1 is based on a series of laboratory tests where two sizes of coarse aggregate were used and compaction effort and aggregate gradation were varied. Figure 5.2 (Mulligan 2005) shows a relationship between pervious concrete compressive strength and unit weight. The figure is based on another series of laboratory tests where one size of coarse aggregate was used and compaction effort and the aggregate-cement ratio was varied. Figure 5.1 shows that relatively high compressive strengths of pervious concrete mixtures are possible, but the high strength is achieved only with the reduction of air void content. This results in a loss in percolating efficiency of pervious concrete. It has been reported that an 11% decrease in compressive strength was observed when the vibration

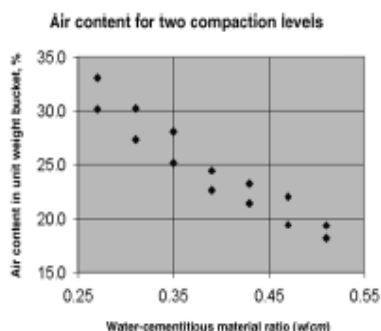


Fig. 5.3—Relationship between air content and compaction energy for pervious concrete (Meininger 1988).

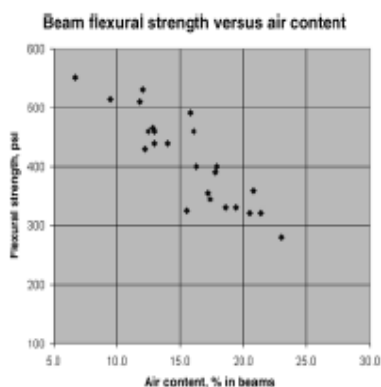


Fig. 5.4—Relationship between air content and flexural strength for pervious concrete (Meininger 1988) (1 psi = 0.006895 MPa).

amplitude of the compactor is reduced to 0.0034 in. (0.086 mm) from 0.005 in. (0.127 mm) (Suleiman et al. 2006). An increase in aggregate size has been reported to result in reduced compressive strength, while polymer additives and mineral admixtures have been found to increase the compressive strength for the same aggregate gradation (Jing and Guoliang 2003). Crouch et al. (2006) reports that an increase in fineness modulus of the aggregates reduces the compressive strength. Mahboub et al. (2008) cautions that field cored strengths can be significantly different than cast test cylinders.

Although the  $w/cm$  of a pervious concrete mixture is important for the development of compressive strength and void structure, the relationship between the  $w/cm$  and compressive strength of conventional concrete does not apply to pervious concrete properties. A high  $w/cm$  can result in the paste flowing from the aggregate, filling the void structure. A low  $w/cm$  can result in reduced adhesion between aggregate particles and placement problems. Figure 5.3 (Meininger 1988) shows the relationship between the  $w/cm$  and air void content of a pervious concrete mixture

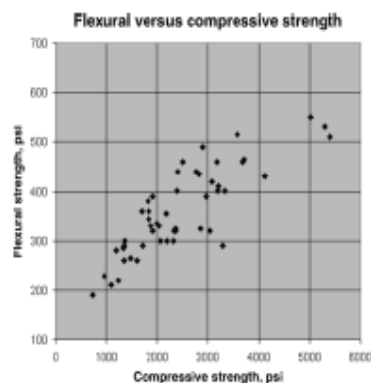


Fig. 5.5—Relationship between flexural strength and compressive strength for pervious concrete (Meininger 1988) (1 psi = 0.006895 MPa).

(with cement and aggregate content held constant) at two different compaction levels. Experience has shown that a  $w/cm$  of 0.26 to 0.45 provides good aggregate coating and paste stability. When fine aggregates are used in pervious concrete proportioning, the grain size of the fine aggregate in relation to the coarse aggregate is believed to influence the porosity and, consequently, the compressive strength of the material (Onstenk et al. 1993).

The total cementitious material content of a pervious concrete mixture is important for the development of compressive strength and void structure. An excessive paste content may result in a filled void structure and, consequently, reduced porosity. An insufficient cementitious content can result in reduced paste coating of the aggregate and reduced compressive strength. The optimum cementitious material content is strongly dependent on aggregate size and gradation. For the aggregate size chosen, binder drainage tests are recommended to be carried out to ascertain the optimum cementitious content (Nelson and Phillips 1994).

Another factor that can have a significant impact on the strength of pervious concretes is the thickness of the paste layer surrounding the aggregate. This is related to the aggregate size, cementitious material content, and the  $w/cm$ .

### 5.3—Flexural strength

Figure 5.4 (Meininger 1988) shows the relationship between pervious concrete flexural strength and air void content based on beam specimens tested in the same series of laboratory tests described for Fig. 5.1. Although these results are based on a limited number of specimens, comparing the data in Fig. 5.1 and 5.4 indicates that a relationship between the compressive and flexural strengths of pervious concrete exists. This relationship, like compressive strength, depends on several variables. Figure 5.5 (Meininger 1988) shows the relationship between compressive and flexural strengths of pervious concrete for one laboratory test series. Another series of test data relating the flexural strength and porosity is shown in Fig. 5.6 (Neithalath 2004).

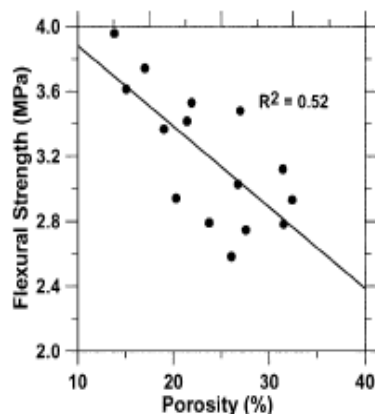


Fig. 5.6—Relationship between flexural strength and porosity for pervious concrete (1 psi = 0.006895 MPa).

The addition of a small amount of sand (approximately 5% by volume) increases the flexural strength of pervious concrete (Neithalath 2004). An increase in flexural strength of pervious concrete has been reported when a polymer additive is used (Onstenk et al. 1993). Flexural tensile strength of about 535 psi (3 MPa) has been observed for a pervious concrete proportioned using 1/4 to 3/8 in. (6 to 10 mm) aggregates and having 25% porosity (Nissoux et al. 1993; Brite/Euram Report 1994).

Crouch et al. (2006) investigated the relationship between flexural strength,  $f_r$ , and compressive strength,  $f'_c$ , for pervious pavement. They determined that the relationship most closely matches the equation established by Ahmad and Shah (1985) for precast concrete.

$$f_r = 2.3f'_c{}^{2/3} \quad (\text{in.-lb units}) \quad (5-1)$$

$$f_r = 0.083f'_c{}^{2/3} \quad (\text{SI units})$$

#### 5.4—Void content/density

The density of fresh pervious concrete can be determined by ASTM C1688/C1688M, and is directly related to the void content of a given mixture. Two additional methods that determine porosity of hardened pervious concrete have been reported (Neithalath 2004). The first method involves a volumetric procedure where the mass of water filling a sealed pervious concrete sample is converted into an equivalent volume of pores. In the second method, an image analysis procedure is employed on pervious concrete specimens that have been impregnated with a low-viscosity epoxy (Marolf et al. 2004). The accessible porosity in a pervious concrete mixture is a function of the aggregate sizes and relative quantities of different sizes in the mixture (Brite/Euram Report 1994). The image analysis procedure is advantageous in ascertaining the variation in porosity with depth of a pervious concrete specimen or layer.

Void content is highly dependent on several factors: aggregate gradation, cementitious material content,  $w/cm$ , and compactive effort.

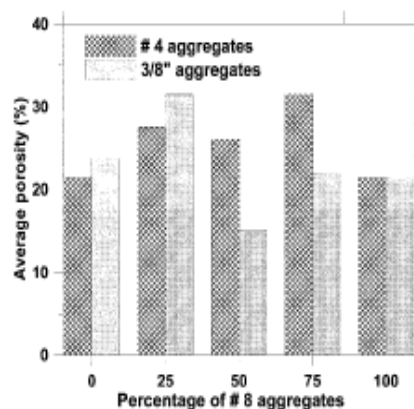


Fig. 5.7—Influence of aggregate size and gradation on the porosity of pervious concretes.

The influence of aggregate gradation on porosity for laboratory prepared pervious concrete specimens is shown in Fig. 5.7. A range of porosities can be obtained by blending aggregates of two different sizes (Neithalath 2004). Care should be taken to ensure that the aggregate size ratio (ratio of the diameter of the larger aggregate to that of the smaller one) is not very large when using aggregate blends. If the ratio is very high (typically 2.5 or more), the smaller aggregate will fill the voids left by the larger one, reducing the porosity and, consequently, the permeability. Though the mechanical properties are enhanced using blends with large size ratios, it is generally not recommended because pervious concretes are primarily designed for water permeation.

Compactive effort has an influence on the void content, porosity, and density of a given pervious concrete mixture. In a laboratory test series (Meininger 1988), a single pervious concrete mixture compacted with eight different levels of effort, produced unit weight values that varied from 105 to 120 lb/ft<sup>3</sup> (1680 to 1920 kg/m<sup>3</sup>). Figure 5.2 shows that this variation of unit weights and related air void content can have a measurable effect on the compressive strength of pervious concrete. For constant paste content, the void content is reported to be a function of compactive effort, aggregate particle shape and texture, and aggregate uniformity coefficient (Crouch et al. 2006).

#### 5.5—Pore sizes

The sizes or size range of pores in pervious concrete is also a major factor influencing its properties. The influence of pore sizes on water permeability and acoustic absorption has been documented (Neithalath 2004; Neithalath et al. 2006). To generate larger-sized pores in the material, larger aggregate sizes are recommended. Larger-sized pores are recommended because they may reduce the chances of pore-clogging (Nelson and Phillips 1994). Figures 5.8 and 5.9 depict the influence of single-sized aggregates as well as blending two different aggregate sizes in varying proportions on the pore sizes of pervious concrete. Replacing smaller-sized aggregates with an increasing percentage of larger-sized ones increases



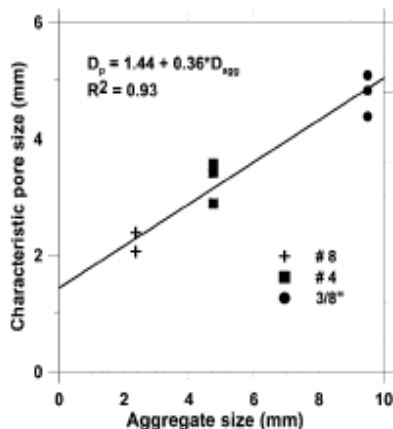


Fig. 5.8—Influence of aggregate size on the pore size of single-sized aggregate pervious concrete mixtures.

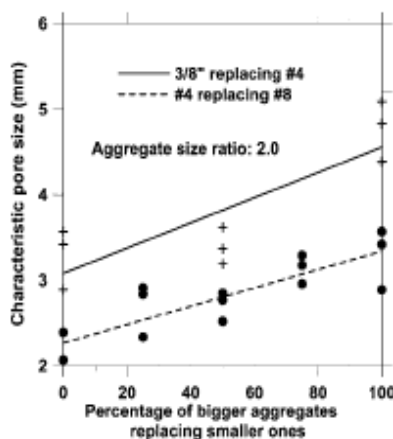


Fig. 5.9—Influence of aggregate blending on the pore size of pervious concrete.

the pore size. This is because the introduced coarser particle may not be able to fit in the void left by the removed finer particle (Neithalath 2004; Neithalath et al. 2003).

Pore structure of pervious concrete is instrumental in all the properties and performance characteristics of this material. Low et al. (2008) outlined a statistical approach to the determination of factors influencing pore structure features such as porosity and pore connectivity factor, and performance characteristic (permeability) of pervious concrete. Using a factorial design experiment with four factors (aggregate size, aggregate-cement ratio,  $w/cm$ , and sand-coarse aggregate ratio), 16 pervious concrete mixtures were proportioned. From a range analysis on the responses, only the first three of four factors mentioned dominate the measured responses. An image analysis method on two-dimensional sections of pervious concrete was used to characterize the pore structure. A two-parameter Weibull distribution was used to model the pore area and pore size distributions of pervious concrete.

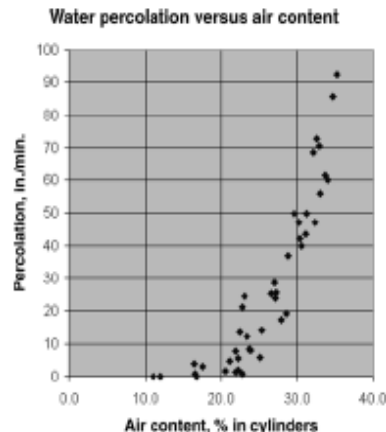


Fig. 5.10—Relationship between air content and percolation rate for pervious concrete (Meininger 1988) (1 psi = 0.06895 MPa).

The scale parameter of the Weibull distribution was used to describe the “characteristic pore area” or “characteristic pore size” of pervious concrete.

#### 5.6—Percolation rate

One of the most important features of pervious concrete is its ability to percolate water through the matrix. The percolation rate of pervious concrete is directly related to the porosity and the pore sizes. Tests have shown (Meininger 1988) that a minimum porosity of approximately 15% is required to achieve significant percolation. For a porosity of 20 to 25%, the coefficient of permeability is reported to be approximately 0.01 m/s (Brite/Euram Report 1994). Another study (Nissoux et al. 1993) reports a permeability of 0.88 gal./ft<sup>2</sup>/s (36 L/m<sup>2</sup>/s). Figure 5.10 (Meininger 1988) shows the relationship between the air void content and percolation rate of a pervious concrete mixture. Because the percolation rate increases as air void content increases and, consequently, compressive strength decreases, the challenge in pervious concrete mixture proportioning is achieving a balance between an acceptable percolation rate and an acceptable compressive strength.

The permeability of pervious concrete can be measured by a simple falling-head permeameter as shown in Fig. 5.11 (Neithalath et al. 2003). In this approach, the sample is enclosed in a latex membrane to avoid water flowing along the sides of the specimen. Water is added to the graduated cylinder to fill the specimen cell and the draining pipe. The specimen is preconditioned by allowing water to drain out through the pipe until the level in the graduated cylinder is the same as the top of the drain pipe. This minimizes any air pockets in the specimen and ensures that the specimen is completely saturated. With the valve closed, the graduated cylinder is filled with water. The valve is then opened, and the time in seconds  $t$  required for water to fall from an initial head  $h_1$  to a final head  $h_2$  is measured. The equipment is calibrated for an initial head

of 11.6 in. (290 mm) and a final head of 2.8 in. (70 mm). The permeability  $k$  (in./s [mm/s]) can be expressed as

$$k = A/t$$

where  $A$  is a constant equal to 7.7 in. (192 mm).

A simple triaxial flexible-wall constant-head permeameter was also constructed for determining the permeability of pervious PCC in the range of 1 to 14,000 in./h (0.001 to 10 cm/s) (Crouch et al. 2006). Constant-head permeability appears to be a function of paste drain down, effective air void content, and void size. The results of the falling-head and constant-head methods agree reasonably for laboratory samples.

Apart from the porosity and pore size, a crucial factor that influences the permeability of pervious concrete is the pore tortuosity or the degree of connectivity of the pore network. There is no straightforward methodology to measure the pore connectivity of pervious concrete. A recent study (Neithalath et al. 2006) investigated the use of electrical impedance-based methods to determine the pore connectivity factor of pervious concretes to link it to the hydraulic characteristics of the material. It is anticipated that the widespread use of techniques like X-ray-computed tomography will lead to accurate determination of pore connectivity in pervious concretes.

The environmental benefits of pervious concrete have been well documented. Deo et al. (2008) investigated the efficiency of pervious concrete in retaining vehicular oil spills in its material structure using carefully designed experiments and modeling. Pervious concrete mixtures with porosities ranging from 13 to 25% were proportioned using two different size aggregates. The oil retention and recovery was experimentally determined on 2 in. (50 mm) slices of pervious concrete specimens using a partition gravimetric method. It was observed that a porosity of 20% is ideal for optimal oil retention in the pore structure of the material. An idealized pore-aperture model was used to develop a modeling framework for the oil retention in pervious concrete. The material parameters as well as the input features that are most likely to influence the retention and recovery of oil were identified. A genetic programming-based model was used to predict the oil retention in pervious concrete specimens. This modeling methodology provides good estimates of oil retention. The performance of the genetic programming-based model was judged in terms of its error statistics. Results obtained from this model were more reliable than those obtained using a linear regression method with the same input parameters. The study is expected to lead to further tests on optimization of pore structure of pervious concrete for applications including oil retention and water transport.

### 5.7—Durability

Durability of pervious concrete refers to the service life under given environmental conditions. Physical effects that adversely influence the durability of concrete include exposure to temperature extremes and chemicals such as sulfates and acids. No research has been conducted on the resistance of pervious concrete to aggressive attack by sulfate-bearing or

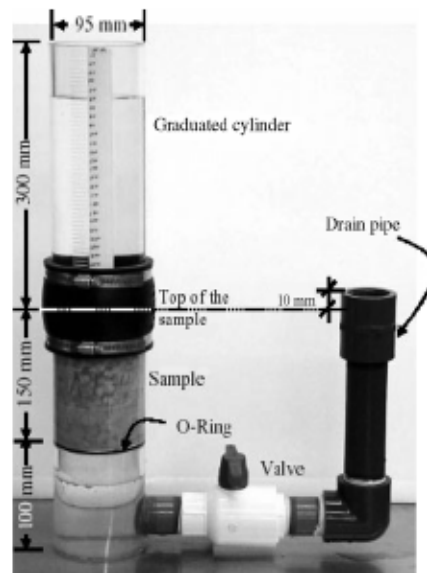


Fig. 5.11—Apparatus for measuring permeability of pervious concrete by a simple falling-head permeameter (Neithalath et al. 2003) (1 in. = 25.4 mm).

acidic water. The durability of pervious concrete under freezing-and-thawing conditions is becoming well documented; no documented deterioration due to freezing-and-thawing cycling in the field is known to exist.

Limited testing in freezing-and-thawing conditions indicates poor durability if the entire void structure is filled with water (U.S. Bureau of Reclamation 1947). Other tests, however, have shown the pore structure being filled with water has some, but not complete, correlation with the overall results. A slower freezing condition—one cycle per day as compared with five or six as per ASTM C 666, Procedure A—may allow the water to drain from the pervious concrete, improving durability (Neithalath et al. 2005a). Limited field data exist on the long-term durability of pervious concrete in northern climates (Delatte et al. 2007); however, substantial empirical data support its use from a freezing-and-thawing resistance perspective in the Rocky Mountain and Sierra Nevada regions of the western U.S. along with other regions of the country where the standard practice is to treat conventional concrete pavements with air-entraining admixtures for the purposes of resistance to freezing and thawing. Caution should always be exercised when using pervious concrete in a situation where complete saturation before a hard freeze may occur.

Tests indicate that entraining air in the cement paste may improve resistance to freezing and thawing. In the laboratory under ASTM C666/C666M test conditions, non-air-entrained pervious concrete fails (relative dynamic modulus drops to less than 60%) in approximately 100 cycles of freezing and thawing in the chamber (ASTM C666/C666M requires a standard 300 cycles for the test). The relative

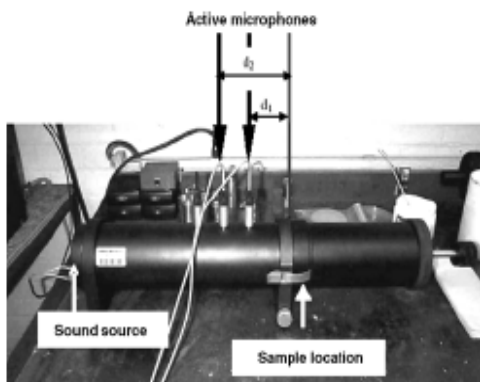


Fig. 5.12—Impedance tube for measuring the sound absorption characteristics of pervious concrete (Neithalath 2004; Marolf et al. 2004).

modulus stays well over 60%, however, for specimens that have the paste portion protected by entrained air. Also, pervious concrete specimens subjected to slow freezing and thawing (one cycle per day) suffered less damage than those subjected to the ASTM C666/C666M Procedure A test where it is subjected to five to seven cycles a day (Neithalath et al. 2005a).

Another study shows that partially saturated pervious concrete subjected to freezing and thawing in air demonstrated substantially higher durability than those subjected to freezing and thawing under water (Yang et al. 2006). Addition of small dosages of fine aggregate or synthetic fiber has been reported to increase the freezing-and-thawing resistance (Wang et al. 2006).

### 5.8—Toughness

Synthetic fibers can be employed to increase toughness, defined as the energy absorption of concrete after cracking. Toughness can be quantified in one of several test methods, such as ASTM C1399. This test produces a postcracking value in psi that relates to the flexural strength of the concrete matrix. Product testing of synthetic fibers in beam specimens of pervious concrete in accordance with ASTM C1399 demonstrated that fibers 1.5 to 2.0 in. (40 to 50 mm) in length were the most effective in imparting toughness to the concrete (SI Concrete Systems 2002).

### 5.9—Acoustic absorption

Due to the presence of a large volume of interconnected pores of considerable sizes in the material, pervious concrete is highly effective in acoustic absorption. The material can be employed as a means to reduce noise generated by tire-pavement interaction on concrete pavements. Noise reduction occurs from a combination of reduced noise generation and increased sound absorption. Pervious pavements alter the generation of noise by minimizing the air pumping between tire and road surface. In addition, pores absorb sound through internal friction between the moving air molecules and the pore walls.

To evaluate the sound absorption characteristics of pervious concrete, an impedance tube can be used as shown in Fig. 5.12 (Neithalath 2004; Marolf et al. 2004). Cylindrical specimens with a diameter of 3.75 in. (95 mm) can be accommodated in the impedance tube. The sample is placed inside a thin cylindrical Teflon sleeve, into which it fits snugly. The sample assembly is placed against a rigid backing at one end of the impedance tube, which is equipped with a sound source. A plane acoustic wave is generated by the sound source and propagates along the tube axis. Microphones placed along the tube's length are used to detect the sound wave pressure transmitted to the sample and portion of the wave that is reflected (ASTM E1050). The pressure reflection coefficient  $R$  is the ratio of the pressure of reflected wave to that of incoming wave, at a particular frequency.

The absorption coefficient  $\alpha$  is a measure of a material's ability to absorb sound. A material with an absorption coefficient of 1.0 indicates a purely absorbing material, whereas a material with an absorption coefficient of 0 indicates the material is purely reflective. Normal concrete, for example, typically has an absorption coefficient of 0.03 to 0.05 (Neithalath 2004). Pervious concrete typically has an absorption range from 0.1 (for poorly performing mixtures) to nearly 1 (for mixtures with optimal pore volume and sizes). Because the absorption coefficient depends on the frequency of impinging sound waves, it is important to select a proper pervious concrete thickness to minimize sounds of the desired frequency (800 to 1200 Hz is the most objectionable to the human ear).

## CHAPTER 6—PERVIOUS CONCRETE MIXTURE PROPORTIONING

### 6.1—General

The process of developing mixture proportions for pervious concrete is often repeated trial-and-error efforts. For example, a series of trial batches may be developed in the laboratory and then tested in the field to ensure expected behavior and performance. In general, the overarching philosophy of mixture proportioning for pervious concrete is to achieve balance between voids, strength, paste content, and workability. Chapter 6 provides methods for trial batch proportioning of pervious concrete that is intended for use in pavements and other applications where drainage, percolation, or high porosity is needed. The results of the trial batch may have to be modified to better achieve the intended results in final production.

### 6.2—Materials

Pervious concrete is composed of cement or a combination of cement and pozzolan, coarse aggregate, and water. Although beyond the scope of Chapter 6, a small amount of fine aggregate may be incorporated to increase compressive strength. The most common gradings of coarse aggregate used in pervious concrete meet the requirements for ASTM C33/C33M aggregate sizes of 7 (1/2 in. to No. 4), 8 (3/8 in. to No. 8), 67 (3/4 in. to No. 4), and 89 (3/8 in. to No. 16).

Portland cement may conform to ASTM C150/C150M, C1157/C1157M, or any other specification that would

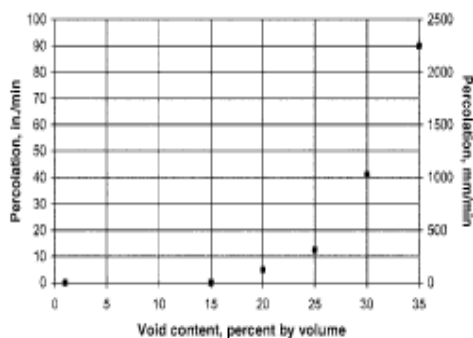


Fig. 6.1—Minimum void content for percolation on NAA-NRMCA tests and test method.

produce an acceptable mixture. A combination of cementitious materials that each conform to the appropriate ASTM specifications can be used. Chemical admixtures are commonly used to improve various characteristics of pervious concrete. They should meet the appropriate ASTM specifications or other specifications that produce an acceptable mixture.

### 6.3—Water-cementitious material ratio

The water-cementitious material ratio ( $w/cm$ ) is an important consideration for obtaining desired strength and void structure in pervious concrete. A high  $w/cm$  reduces the adhesion of the paste to the aggregate and causes the paste to flow and fill the voids even when lightly compacted. A low  $w/cm$  will prevent good mixing and tend to cause balling in the mixer, prevent an even distribution of cement paste, and therefore reduce the ultimate strength and durability of the concrete. Experience has shown that  $w/cm$  in the range of 0.26 to 0.45 will provide the best aggregate coating and paste stability. The conventional  $w/cm$ -versus-compressive strength relationship for normal concrete does not apply to pervious concrete. Careful control of aggregate moisture and  $w/cm$  is important to produce consistent pervious concrete.

### 6.4—Void content

To ensure that water will percolate through pervious concrete, the void content, both in design of the mixture and measured as the percent air by ASTM C138/C138M (the gravimetric method) should be 15% or greater, as demonstrated in Fig. 6.1.

At a void content lower than 15%, there is no significant percolation through the concrete. It is believed that below 15% voids, there is not sufficient interconnectivity between the voids to allow for rapid percolation.

Figure 6.2 shows that the higher the void content, the higher the percolation rate, and the lower the compressive strength. The lower the void content, the lower the percolation rate, and the higher the compressive strength. This figure also shows the compressive strength increases as the nominal maximum-size aggregate decreases. Compressive strength of pervious concrete is also a function of the aggregate strength, paste bonding characteristics, and strength of the cement paste

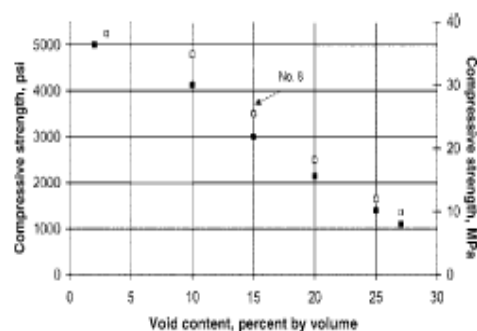


Fig. 6.2—Relationship between void content and 28-day compressive strength for No. 67 and No. 8 aggregate size.

Table 6.1—Effective  $b/b_0$  values

Percent fine aggregates	$b/b_0$	
	ASTM C33/C33M Size No. 8	ASTM C33/C33M Size No. 67
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

itself. Some caution should be used when applying these quantitative numbers to practical design, as standardized test methods do not yet exist for these properties of pervious concrete; prior discussion should be taken as purely qualitative.

### 6.5—Amount of coarse aggregate

Testing has shown that the dry-rodded density of coarse aggregate, as determined by ASTM C29/C29M, can be effectively used for proportioning pervious concrete (Meininger 1988). Those tests have shown that the ratio of the dry-rodded volume of coarse aggregate per solid volume of coarse aggregate  $b/b_0$  can be used as a design relationship, where

$b/b_0$  = dry-rodded volume of coarse aggregate in a unit volume of concrete;

$b$  = solid volume of coarse aggregate in a unit volume of concrete; and

$b_0$  = solid volume of coarse aggregate in a unit volume of coarse aggregate.

The  $b/b_0$  value automatically compensates for the effects of different coarse aggregate particle shape, grading, and specific gravity. Furthermore, the  $b/b_0$  values for the nominal maximum-size aggregates typically used in pervious concrete, 3/8 to 3/4 in. (9.5 to 19 mm), are similar. Table 6.1 applies the  $b/b_0$  values for coarse aggregate sizes No. 8 and No. 67 with fine aggregate contents of 0, 10, and 20% of the total aggregate mass.

### 6.6—Paste volume, cement, and water contents

The proportioning of pervious concrete seeks to establish the minimum volume of paste necessary to bind the aggregate particles together, while maintaining the necessary void structure, strength, and workability. Figure 6.3 can be used

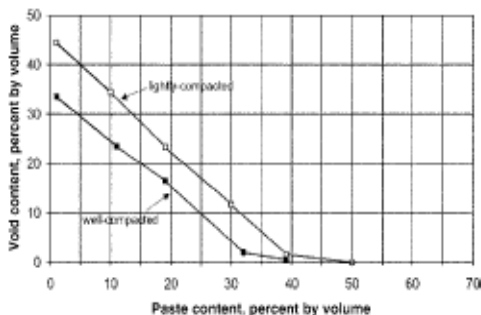


Fig. 6.3—Relationship between paste and void content for No. 8 aggregate size designations.

to estimate the volume of the paste for a mixture using normal weight No. 8 aggregates.

Once the paste volume is determined from Fig. 6.3, and the  $w/cm$  is selected, the cement and water quantities can be determined from the following absolute volume relationships:

paste volume  $V_p = \text{cement volume} + \text{water volume}$

$$V_p = c/(3.15 \times 62.4 \text{ lb/ft}^3) + w/62.4 \text{ lb/ft}^3$$

Substituting  $w = (w/cm)c$ ,

$$V_p = c/(3.15 \times 62.4 \text{ lb/ft}^3) + [(w/cm)c/62.4 \text{ lb/ft}^3]$$

$c$  can be determined quickly by trial and error on spreadsheet or algebraically reduced to

$$c = [V_p/(0.315 + w/cm)] \times 62.4 \text{ lb/ft}^3 \quad (6-1)$$

In SI units:

$$V_p = c/(3.15 \times 1000 \text{ kg/m}^3) + w/1000 \text{ kg/m}^3$$

Substituting  $w = (w/cm)c$ ,

$$V_p = c/(3.15 \times 1000 \text{ kg/m}^3) + [(w/cm)c/1000 \text{ kg/m}^3]$$

$c$  can be determined quickly by trial and error on spreadsheet or algebraically reduced to

$$c = [(V_p/(0.315 + w/cm)) \times 1000 \text{ kg/m}^3] \quad (6-2)$$

Therefore, once the paste volume is determined from Fig. 6.3, and the  $w/cm$  is selected, the mass of cement can be calculated from Eq. (6-1). From the mass of cement, the water content can be computed. When fine aggregate is used, the paste volume should be reduced by 2% for each 10% fine aggregate of the total aggregate for well-compacted pervious concrete, and by 1% for each 10% fine aggregate of the total aggregate for lightly compacted pervious concrete. These reductions are necessary to maintain the same percent voids by volume.

## 6.7—Proportioning procedure

A procedure for producing initial trial batches for pervious concrete is shown in Section 6.7.1. The  $b/b_o$  method applies absolute volume concepts. Regardless of how the trial batch is derived, it is essential it be tested for the required fresh and hardened properties before being placed for its intended use.

**6.7.1  $b/b_o$  method**—The  $b/b_o$  method for designing a pervious concrete mixture can be broken-up into a series of eight steps:

1. Determine aggregate weight;
2. Adjust to SSD weight;
3. Determine paste volume;
4. Determine cementitious content;
5. Determine water content;
6. Determine solid volume;
7. Check void content; and
8. Iterative trial batching:
  - a. Test for required properties; and
  - b. Adjust mixture proportions until the required performance is achieved.

**Example**—Proportion a well-compacted pervious concrete mixture with a void content of at least 20%. The mixture should have a  $w/cm = 0.38$ . Use a No. 8 coarse aggregate having a dry-rodded density (unit weight) of  $108.7 \text{ lb/ft}^3$ , specific gravity of 2.75, and absorption of 1.2%. No fine aggregate will be used in the mixture.

### Step 1: Determine aggregate weight

For No. 8 stone with no fine aggregate, Table 6.1 recommends  $b/b_o$  of 0.99, with dry-rodded density given as  $108.7 \text{ lb/ft}^3$

$$W_a = 108.7 \text{ lb/ft}^3 \times 0.99 \times 27 \text{ ft}^3 = 2906 \text{ lb (dry)}$$

### Step 2: Adjust to SSD weight

Given that the percentage absorbance of 1.2%

$$W_{SSD} = 2906 \text{ lb} \times 1.012 = 2941 \text{ lb (SSD)}$$

### Step 3: Determine paste volume

Use Fig. 6.3 and read along the required percentage voids (20% for this example) to the well-compacted curve. Then read down to find the paste percentage at 15%. Fifteen percent of a cubic yard is  $4.05 \text{ ft}^3$ . Thus,  $V_p = 4.05 \text{ ft}^3$ .

### Step 4: Determine cement content

Applying Eq. (6-1),

$$c = [V_p/(0.315 + w/cm)] \times 62.4 \text{ lb/ft}^3$$

$$c = [(4.05 \text{ lb})/(0.315 + 0.38)] \times 62.4 \text{ lb/ft}^3$$

$$c = 363 \text{ lb}$$

### Step 5: Determine water content

$$w = c(w/cm)$$

$$w = 363 \text{ lb}(0.38) = 138 \text{ lb}$$

### Step 6: Determine solid volume

$$\text{Aggregate volume } V_a = 2941/(2.75 \times 62.4) = 17.14 \text{ ft}^3$$

**Table 6.2—Typical<sup>1</sup> ranges of material proportions in pervious concrete<sup>1</sup>**

	Proportions, lb/yd <sup>3</sup> (kg/m <sup>3</sup> )
Cementitious materials	450 to 700 (270 to 415)
Aggregate	2000 to 2500 (1190 to 1480)
w/cm, <sup>2</sup> by mass	0.27 to 0.34
Aggregate:cement ratio, <sup>3</sup> by mass	4 to 4.5:1
Fine: coarse aggregate ratio, <sup>4</sup> by mass	0 to 1:1

<sup>1</sup>These proportions are given for information only. Successful mixture design will depend on properties of the particular materials used and should be tested in trial batches to establish proper proportions and determine expected behavior. Concrete producers may have mixture proportions for pervious concrete optimized for performance with local materials. In such instances, those proportions are preferable.

<sup>2</sup>Chemical admixtures, particularly retarders and hydration stabilizers, are also used commonly, at dosages recommended by the manufacturer. Use of supplementary cementitious materials, such as fly ash and slag, is common as well.

<sup>3</sup>Higher ratios have been used, but significant reductions in strength and durability may result.

<sup>4</sup>Addition of fine aggregate will decrease the void content and increase strength.

$$\text{Cement volume } V_c = 363 / (3.15 \times 62.4) = 1.84 \text{ ft}^3$$

$$\text{Water volume } V_w = 138 / 62.4 = 2.21 \text{ ft}^3$$

$$\text{Total solid volume } V_s = V_a + V_c + V_w = 17.14 + 1.84 + 2.21 = 21.19 \text{ ft}^3$$

#### Step 7: Determine percent voids

$$\text{Percent voids} = (V_{tot} - V_s) / V_{tot} \times 100$$

$$\text{Percent voids} = (27.00 - 21.19) / (27.00) \times 100 = 21.52\%$$

#### Step 8: Check estimated porosity

At 22% voids, Fig. 6.1 predicts a percolation rate of approximately 7 in./min (178 mm/min).

#### Step 9: Iterative trial batching and testing

The trial batch weights per cubic ft are as follows:

Cement = 362 lb

Water = 138 lb

No. 8 aggregate = 2941 lb (SSD)

Total weight = 3441 lb

Density = 3441/27 = 127.4 lb/ft<sup>3</sup>

### 6.8—Typical ranges of materials

PerviousConcrete.org (<http://www.perviouspavement.org/mixture%20proportioning.htm>), a joint effort of National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA) and the Portland Cement Association (PCA), has published Table 6.2.

## CHAPTER 7—PERVIOUS PAVEMENT DESIGN

### 7.1—Introduction

In the thickness determination of a pervious pavement section, two important analyses should be conducted: one for structural adequacy and one for hydraulic characteristics. These two characteristics influence each other so they both should be addressed with care. This chapter discusses the aspects applicable to the structural design.

### 7.2—Structural design

**7.2.1 Subgrade and subbase**—The subbase is the aggregate layer installed below the paving. The subgrade is the soil below the paving and the subbase. The subbase provides vertical support, storage capacity, and filtering ability for

treatment of pollutants. Some soils may provide adequate support and drainage so the subbase may be optional. If the support, draining abilities, or filtering abilities are limited by the subgrade, however, then a subbase material should be used. In areas exposed to freezing-and-thawing cycles, the rock subbase layer acts as insulation and provides a substantial lag in the formation of frost beneath pervious pavement (Backstrom 2000; Keven and Schaefer 2008). The subgrade also provides vertical support for the paving. Increasing the stiffness of the subbase and subgrade increases the load capacity of a given paving system. Stiffness in the subgrade can be measured by the modulus of subgrade reaction, the California bearing ratio (CBR), or by a few other less common methods. ACI 330R provides typical stiffness values for different types of soils and provides correlations between the values calculated by the various methods.

Traditional pavement design attempts to exclude water from entering the subgrade below the pavement. In most cases, porous paving is designed to encourage water to saturate the subgrade below paving. This condition should be taken into account when determining the properties for the subgrade. The more a soil is compacted, the less porous it becomes. For this reason, pervious paving subgrades are usually compacted to a lower density than subgrades for traditional concrete paving. The level of compaction is typically 90% of Standard Proctor Maximum Dry Density (SPMDD). The modulus of subgrade reaction used in design should account for this lower level of compaction. ASTM D1883 defines a laboratory method for determining the CBR of a given soil that includes an option for soaking the soil sample in water for 96 hours before testing. This option should be used for testing fine-grained soils that would be compacted to the aforementioned 90% of the SPMDD or the compaction criteria established by the architect-engineer.

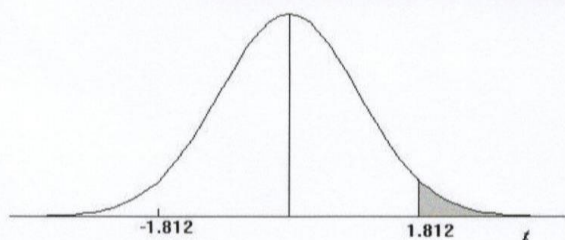
When specifying compaction for structural design, consideration should be given to the effect compaction has on the hydraulic properties of different soils. Compacting some clay soils to 90% may cause a large reduction in permeability whereas compacting sandy soils to nearly 100% may not have any effect. It is important, therefore, to carefully examine the soils present on each project for both structural and drainage capacities before specifying a compaction range. Equally important is required field testing of the subgrade and subbase for permeability after compaction to confirm they still conform to both structural and hydraulic calculations used for the site.

Expansive soils are soils that change volume when subject to changes in moisture content. Expansive soils can be mitigated by chemical treatment or by removing their upper layers and replacing them with non-expansive soil. The depth of soil replacement or soil treatment should be selected so the downward soil pressure provided by the shallow stable soil exceeds the expansive soil pressures generated by increases in the moisture content of the deeper soil. With lime stabilization, the permeability of a clayey soil is increased rapidly. Soils with higher clay contents and those compacted on the dry side of optimum tend to show greater increases in permeability with lime treatment. Some permeability,

7.3. Tabla t student:

**TABLA 2: DISTRIBUCIÓN t DE STUDENT**

Puntos de porcentaje de la distribución



**Ejemplo**

Para = 10  
grados de libertad:

$$P[t > 1.812] = 0.05$$

$$P[t < -1.812] = 0.05$$

$\alpha$ r	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005	0,0005
1	1,000	1,376	1,963	3,078	6,314	12,706	31,821	63,656	636,578
2	0,816	1,061	1,386	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	31,600
3	0,765	0,978	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,924
4	0,741	0,941	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	0,727	0,920	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869
6	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
7	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,408
8	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
9	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587
11	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437
12	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
13	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
15	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
16	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
17	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
18	0,688	0,862	1,067	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922
19	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883
20	0,687	0,860	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850
21	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819
22	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792
23	0,685	0,858	1,060	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,768
24	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745
25	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725
26	0,684	0,856	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707
27	0,684	0,855	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,689
28	0,683	0,855	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674
29	0,683	0,854	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,660
30	0,683	0,854	1,055	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646
40	0,681	0,851	1,050	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,551
60	0,679	0,848	1,045	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,460
120	0,677	0,845	1,041	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617	3,373
	0,674	0,842	1,036	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,290

## 7.4. Ficha de Laboratorio de ensayo a compresión:

### RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO

"Análisis de la resistencia a compresión y permeabilidad del concreto poroso usando agregados de la cantera Huacar, adicionando fibras sintéticas Sika-cem fiber 20mm"  
 Bach. Ing. Civil Lylian Esther Hidalgo De La O  
 Centro Especializado de Geotecnia, Pavimento y Ensayo de Materiales - UNHEVAL

**NOMBRE DEL PROYECTO:**

**TESISTA:**

**UBICACIÓN:**

N°	IDENTIFICACION DEL ELEMENTO ESTRUCTURAL	F'c(kg/cm <sup>2</sup> )	D1(cm)	L1(m)	D2(cm)	L2(cm)	EDAD	MAXIMA CARGA DE PRUEBA (kgf)	ESFUERZO ABSOLUTO (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	C.P. 0%	200	15	30	15.1	31.1	7 dias	26650.00	151.25
2	C.P. 0%	200	15	30	15.1	31.0	7 dias	30790.00	174.20
3	C.P. 0%	200	15	30	15.2	31.1	7 dias	30920.00	175.00
4	C.P. 0%	200	15	30	15.1	31.2	7 dias	33770.00	191.00
5	C.P. 0%	200	15	30	15.0	31.0	7 dias	29100.00	164.00
6	C.P. 0.05%	200	15	30	15.0	31.1	7 dias	31770.00	179.80
7	C.P. 0.05%	200	15	30	15.1	31.0	7 dias	33060.00	187.10
8	C.P. 0.05%	200	15	30	15.0	31.1	7 dias	30798.28	174.30
9	C.P. 0.05%	200	15	30	15.0	31.2	7 dias	37160.00	210.30
10	C.P. 0.05%	200	15	30	15.1	31.3	7 dias	20280.00	120.00
11	C.P. 0.10%	200	15	30	15.2	31.5	7 dias	29190.00	165.20
12	C.P. 0.10%	200	15	30	15.2	31.0	7 dias	34770.00	196.70
13	C.P. 0.10%	200	15	30	15.1	31.3	7 dias	29502.35	166.90
14	C.P. 0.10%	200	15	30	15.1	31.0	7 dias	24240.00	137.10
15	C.P. 0.10%	200	15	30	15.1	31.2	7 dias	17250.00	97.62
16	C.P. 0.15%	200	15	30	15.1	31.0	7 dias	23987.50	135.73
17	C.P. 0.15%	200	15	30	15.2	31.4	7 dias	25290.00	143.10
18	C.P. 0.15%	200	15	30	15.1	31.0	7 dias	24760.00	140.10
19	C.P. 0.15%	200	15	30	15.2	31.1	7 dias	23987.69	135.73
20	C.P. 0.15%	200	15	30	15.2	31.1	7 dias	21910.00	124.00





## RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO

"Análisis de la resistencia a compresion y permeabilidad del concreto poroso usando agregados de la cantera Huacar, adicionando fibras sintéticas Sika-cem fiber 20mm"

Bach. Ing. Civil Lylian Esther Hidalgo De La O

Centro Especializado de Geotecnia, Pavimento y Ensayo de Materiales - UNHEVAL

NOMBRE DEL PROYECTO:

TESISTA:

UBICACIÓN:

N°	IDENTIFICACION DEL ELEMENTO ESTRUCTURAL	F'c(kg/cm2)	D1(cm)	L1(m)	D2(cm)	L2(cm)	EDAD	MAXIMA CARGA DE PRUEBA (kgf)	ESFUERZO ABSOLUTO (kgf/cm2)
1	C.P. 0%	200	15	30	15.1	31.1	14 dias	33270.00	188.30
2	C.P. 0%	200	15	30	15.1	31.0	14 dias	33770.00	191.00
3	C.P. 0%	200	15	30	15.2	31.1	14 dias	34710.00	196.40
4	C.P. 0%	200	15	30	15.1	31.2	14 dias	32830.00	185.80
5	C.P. 0%	200	15	30	15.1	31.1	14 dias	31469.45	178.10
6	C.P. 0.05%	200	15	30	15.0	31.1	14 dias	40713.00	230.40
7	C.P. 0.05%	200	15	30	15.1	31.0	14 dias	35571.00	201.30
8	C.P. 0.05%	200	15	30	15.0	31.1	14 dias	38603.96	218.43
9	C.P. 0.05%	200	15	30	15.0	31.2	14 dias	31600.00	178.80
10	C.P. 0.05%	200	15	30	15.1	31.1	14 dias	46510.00	263.20
11	C.P. 0.10%	200	15	30	15.2	31.1	14 dias	35510.00	200.90
12	C.P. 0.10%	200	15	30	15.2	31.0	14 dias	28060.00	158.80
13	C.P. 0.10%	200	15	30	15.1	31.3	14 dias	28355.09	160.47
14	C.P. 0.10%	200	15	30	15.1	31.0	14 dias	28654.84	162.13
15	C.P. 0.15%	200	15	30	15.1	31.0	14 dias	28950.00	163.80
16	C.P. 0.15%	200	15	30	15.1	31.0	14 dias	25640.00	145.10
17	C.P. 0.15%	200	15	30	15.2	31.4	14 dias	27672.12	156.60
18	C.P. 0.15%	200	15	30	15.1	31.0	14 dias	29710.00	168.10
19	C.P. 0.15%	200	15	30	15.2	31.2	14 dias	21278.71	135.35
20	C.P. 0.15%	200	15	30	15.2	31.2	14 dias	16130.00	102.60



**RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO**

**NOMBRE DEL PROYECTO:** "Análisis de la resistencia a compresion y permeabilidad del concreto poroso usando agregados de la cantera Huacar, adicionando fibras sintéticas Sika-cem fiber 20mm"  
**TESISTA:** Bach. Ing. Civil Lylian Esther Hidalgo De La O  
**UBICACION:** Centro Especializado de Geotecnia, Pavimento y Ensayo de Materiales - UNHEVAL

N°	IDENTIFICACION DEL ELEMENTO ESTRUCTURAL	F'c(kg/cm2)	D1(cm)	L1(m)	D2(cm)	L2(cm)	EDAD	MAXIMA CARGA DE PRUEBA (kgf)	ESFUERZO ABSOLUTO (kgf/cm2)
1	C.P. 0%	200	15	30	15.1	31.1	28 dias	41724.00	236.10
2	C.P. 0%	200	15	30	15.1	31.0	28 dias	33653.00	190.43
3	C.P. 0%	200	15	30	15.2	31.1	28 dias	39536.00	223.70
4	C.P. 0%	200	15	30	15.1	31.2	28 dias	35079.26	198.50
5	C.P. 0%	200	15	30	15.1	31.1	28 dias	30784.93	174.20
6	C.P. 0.05%	200	15	30	15.0	31.1	28 dias	38635.00	218.40
7	C.P. 0.05%	200	15	30	15.1	31.0	28 dias	40179.00	227.30
8	C.P. 0.05%	200	15	30	15.0	31.1	28 dias	39023.00	220.80
9	C.P. 0.05%	200	15	30	15.0	31.2	28 dias	43618.10	246.80
10	C.P. 0.05%	200	15	30	15.0	31.1	28 dias	39889.00	225.70
11	C.P. 0.10%	200	15	30	15.2	31.5	28 dias	32870.00	185.90
12	C.P. 0.10%	200	15	30	15.2	31.0	28 dias	27997.00	158.40
13	C.P. 0.10%	200	15	30	15.1	31.3	28 dias	28350.50	160.40
14	C.P. 0.10%	200	15	30	15.1	31.0	28 dias	26842.84	151.00
15	C.P. 0.10%	200	15	30	15.1	31.0	28 dias	38659.00	218.70
16	C.P. 0.15%	200	15	30	15.1	31.0	28 dias	29953.00	169.50
17	C.P. 0.15%	200	15	30	15.2	31.4	28 dias	25783.00	145.90
18	C.P. 0.15%	200	15	30	15.1	31.0	28 dias	34034.00	149.40
19	C.P. 0.15%	200	15	30	15.2	31.0	28 dias	26415.00	164.33
20	C.P. 0.15%	200	15	30	15.2	31.0	28 dias	26415.00	192.50



## 7.5. Manual de ensayo MTC:





## MTC E 201

### MUESTREO PARA MATERIALES DE CONSTRUCCION

#### 1.0 OBJETO

1.1 Establecer los procedimientos del muestreo del agregado grueso, fino y global, para los propósitos siguientes:

- a) Investigación preliminar de la fuente potencial de abastecimiento.
- b) Control en la fuente de abastecimiento.
- c) Control de las operaciones en el sitio de su utilización.
- d) Aceptación o rechazo de los materiales.

**Nota 1.** Los planes de muestreo para aceptación y control de los ensayos, varían con el tipo de construcción donde se utiliza el material (Véase norma ASTM E 105 y ASTM D 3665).

#### 2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

2.1 El muestreo y el ensayo son importantes, por lo tanto el operador deberá tener siempre la precaución de obtener muestras que denoten la naturaleza y condiciones del material al cual representan.

2.2 Las muestras para los ensayos de investigación preliminar serán obtenidas por la parte responsable del desarrollo de la fuente potencial (Véase Nota 2). Las muestras de materiales para el control de la producción en la cantera o el control en la obra, serán obtenidas por el productor, contratistas u otras partes responsables para verificar el trabajo. Las muestras utilizadas para aceptación o rechazo serán tomadas por el comprador o su representante autorizado.

**Nota 2.** La investigación preliminar y el muestreo de potenciales canteras de agregados, ocupan un lugar muy importante porque ello determina la conveniencia de su utilización. Es necesario el control de calidad del material para asegurar la durabilidad de estructura resultante, esto influenciará en el tipo de construcción y en la parte económica de la obra. Esta investigación deberá ser realizada sólo por personal entrenado y con experiencia

#### 3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

3.1 NTP 400.010: AGREGADOS. Extracción y muestreo.

#### 4.0 EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

#### 5.0 MUESTRA

##### 5.1 MUESTRAS CONFIABLES

5.1.1 Generalidades.- De preferencia, las muestras para los ensayos de calidad deberán ser obtenidas de productos acabados. La muestra de productos acabados para ser ensayada por pérdida al desgaste de abrasión no estará sujeta a chancado posterior o reducido normalmente, a menos que la medida del producto acabado sea tal que requiera reducción posterior para los propósitos del ensayo.

5.1.2 Inspección.- El material será inspeccionado para determinar variaciones perceptibles. El vendedor proveerá el equipo conveniente y necesario para la inspección y el muestreo.

##### 5.1.3 Procedimiento

- a) Muestreo de flujos de corrientes de agregados (Descarga de depósitos o cintas): De la producción seleccionar muestras al azar, tal como se indica en la práctica normalizada ASTM D 3665.

## MTC E 203

### PESO UNITARIO Y VACIOS DE LOS AGREGADOS

#### 1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar el peso unitario suelto o compactado y el porcentaje de los vacíos de los agregados finos, gruesos o una mezcla de ambos.
- 1.2 El método se aplica a agregados de tamaño máximo nominal de 150 mm (6").

#### 2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Se utiliza siempre para determinar el valor del peso unitario utilizado por algunos métodos de diseño de mezclas de concreto.
- 2.2 También se utiliza para determinar la relación masa/volumen para conversiones en acuerdos de compra donde se desconoce la relación entre el grado de compactación del agregado en una unidad de transporte o depósito de almacenamiento (que usualmente contienen humedad superficial absorbida) y los llevados a cabo por este ensayo que determina el peso unitario seco.

#### 3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 400.017 Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados

#### 4.0 EQUIPOS, MATERIALES

##### 4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Balanza: con una exactitud de 0,1% con respecto al peso del material usado.
- 4.1.2 Recipiente de medida, metálico, cilíndrico, preferiblemente provisto de agarraderas, a prueba de agua, con el fondo y borde superior pulido, plano y suficientemente rígido, para no deformarse bajo condiciones duras de trabajo. Los recipientes tendrán una altura aproximadamente igual al diámetro, y en ningún caso la altura será menor del 80% ni mayor que 150% del diámetro. La capacidad del recipiente utilizado en el ensayo, depende del tamaño máximo de las partículas del agregado a ensayar, de acuerdo con los límites establecidos en la Tabla 1.

El espesor del metal se indica en la Tabla 2. El borde superior será pulido y plano dentro de 0,25 mm y paralelo al fondo dentro de 0,5%. La pared interior deberá ser pulida y continua.

- 4.1.3 Equipo de calibración: una plancha de vidrio de por lo menos 6 mm (1/4") de espesor y 25 mm (1") mayor del diámetro del recipiente a calibrar.

##### 4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Varilla compactadora, de acero, cilíndrica, de 16 mm (5/8") de diámetro, con una longitud aproximada de 600 mm (24"). Un extremo debe ser semiesférico y de 8 mm de radio (5/16").
- 4.2.2 Pala de mano: una pala o cucharón de suficiente capacidad para llenar el recipiente con el agregado.

#### 5.0 MUESTRA

- 5.1 Obtener la muestra de acuerdo a MTC E 201 y reducir muestra a tamaño de muestra de ensayo por cuarteo.
- 5.2 La muestra de ensayo debe ser aproximadamente 125 a 200% de la cantidad requerida para llenar el recipiente de medida y ser manipulada evitando la segregación. Secar el agregado a peso constante, preferiblemente en un horno a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

#### 6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Llenar el recipiente de medida con agua a temperatura ambiente y cubrir con la placa de vidrio para eliminar burbujas y exceso de agua.



- 6.2 Determinar el peso del agua en el recipiente de medida.
- 6.3 Medir la temperatura del agua y determinar densidad, de la Tabla 3, interpolando si fuese el caso.
- 6.4 Calcular el volumen (V) del recipiente de medida dividiendo el peso del agua requerida para llenarlo entre la densidad del agua.
- 6.5 La calibración del recipiente de medida se realiza por lo menos una vez al año o cuando exista razón para dudar de la exactitud de la calibración.
- 6.6 DETERMINACION DEL PESO UNITARIO SUELTO
- 6.6.1 Procedimiento con pala: el recipiente de medida se llena con una pala o cuchara, que descarga el agregado desde una altura no mayor de 50 mm (2") hasta que rebose el recipiente.  
Eliminar el agregado sobrante con una regla.  
Determinar el peso del recipiente de medida más el contenido y el peso del recipiente, registrar los pesos con aproximación de 0,05 kg (0,1 lb).
- 6.7 DETERMINACION DEL PESO UNITARIO COMPACTADO
- 6.7.1 Procedimiento de apisonado: para agregados de tamaño máximo nominal de 37,5 mm (1 1/2") o menos.  
Llenar la tercera parte del recipiente con el agregado, y emparejar la superficie con los dedos. Apisonar la capa de agregado con 25 golpes de la varilla distribuidos uniformemente, utilizando el extremo semiesférico de la varilla. Llenar las 2/3 partes del recipiente, volviendo a emparejar la superficie y apisonar como anteriormente se describe. Finalmente llenar el recipiente hasta colmarlo y apisonar otra vez de la manera antes mencionada.  
Al apisonar la primera capa, evitar que la varilla golpee el fondo del recipiente. Al apisonar las capas superiores, aplicar la fuerza necesaria para que la varilla atraviese solamente la respectiva capa.  
Una vez colmado el recipiente, enrasar la superficie con la varilla, usándola como regla, determinar el peso del recipiente lleno y peso del recipiente solo, y registrar pesos con aproximación de 0,05 kg (0,1 lb).
- 6.7.2 Procedimiento de percusión: para agregados de tamaño máximo nominal entre 37,5 mm (1 1/2") y 150 mm (6").  
Llenar el recipiente con el agregado en tres capas de igual volumen aproximadamente. Cada una de las capas se compacta colocando el recipiente con el agregado sobre una base firme y se inclina, hasta que el borde opuesto al punto de apoyo, diste unos 50 mm (2") de la base. Luego dejar caer, lo que produce un golpe seco y repetir la operación inclinando el recipiente por el borde opuesto. Cada capa se compacta dejando caer el recipiente 50 veces de la manera descrita, 25 veces cada extremo.  
Compactada la última capa, enrasar la superficie del agregado con una regla, de modo que las partes salientes se compensen con las depresiones en relación con el plano de enrase. Determinar el peso del recipiente de medida lleno y peso del recipiente, registrar los pesos con aproximación de 0,05 kg (0,1lb).

## 7.0 CALCULOS E INFORME

### 7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Peso unitario.- calcular el peso unitario compactado o suelto, como sigue:

$$M = \frac{(G - T)}{V} \quad (1)$$

$$M = (G - T) \times F \quad (2)$$



Donde:

- M = Peso unitario del agregado en  $\text{kg/m}^3$  ( $\text{lb/pie}^3$ )  
 G = Peso del recipiente de medida más el agregado en kg (lb)  
 T = Peso del recipiente de medida en kg (lb)  
 V = Volumen del recipiente de medida en  $\text{m}^3$  ( $\text{pie}^3$ ), y  
 F = Factor del recipiente de medida en  $\text{m}^{-3}$  ( $\text{pie}^{-3}$ )

El peso unitario determinado por este ensayo es para agregado en la condición seco. Si desea calcular el peso unitario en la condición saturado con superficie seca (SS), utilizar el procedimiento descrito en este método y en este caso calcular el peso unitario SSS utilizando la expresión:

$$M_{SSS} = M \cdot [1 + (G - T) \times F] \quad (3)$$

Donde:

- $M_{SSS}$  = Peso unitario en la condición saturado  
 A = Porcentaje de absorción del agregado determinado de acuerdo con MTC E 205 o MTC E 206

- 7.1.2 Contenido de vacíos en los agregados.- calcular el contenido de vacíos en el agregado utilizando el peso unitario calculado según 10.1, como sigue:

$$\% \text{ Vacíos} = \frac{(A \times W) - B}{A \times W} \quad (4)$$

Donde:

- A = Peso específico aparente según los procedimientos MTC E205.  
 B = Peso unitario de los agregados en  $\text{kg/m}^3$  ( $\text{lb/pie}^3$ ).  
 W = Densidad del agua,  $998 \text{ kg/m}^3$  ( $62,4 \text{ lb/pie}^3$ )

## 7.2 INFORME

- 7.2.1 Reportar los resultados del peso unitario con aproximación de  $10 \text{ kg/m}^3$  ( $1 \text{ lb/pie}^3$ ), como sigue:

- Peso unitario compactado por apisonado, o
- Peso unitario compactado por percusión, o
- Peso unitario suelto

- 7.2.2 Reportar los resultados del contenido de vacíos con aproximación de 1%, como sigue:

- % Vacíos en el agregados compactado por apisonado, o
- Vacíos en el agregados compactado por percusión, o
- % Vacíos en el agregado suelto.

## 8.0 PRECISION Y DISPERSION

### 8.1 PRECISION

#### 8.1.1 Agregado grueso (Peso Unitario):

- 8.1.1.1 Precisión para un sólo operador.- la desviación estándar ha sido establecida en  $14 \text{ kg/m}^3$  ( $0,88 \text{ lb/pie}^3$ ). Los resultados de dos ensayos realizados por un sólo operador con el mismo material no deben diferir en más de  $40 \text{ kg/m}^3$  ( $2,5 \text{ lb/pie}^3$ ).

- 8.1.1.2 Precisión multilaboratorio.- la desviación estándar ha sido establecida en  $30 \text{ kg/m}^3$  ( $1,87 \text{ lb/pie}^3$ ) por lo que dos resultados realizados en dos diferentes laboratorios con el mismo material no deben diferir en más de  $85 \text{ kg/m}^3$  ( $5,3 \text{ lb/pie}^3$ ).

- 8.1.1.3 Estos valores de precisión, desviación estándar y máxima diferencia han sido establecidos para peso unitario por apisonado de agregados de peso normal y tamaño máximo nominal de 25 mm (1") utilizando un recipiente de medida de 14 L ( $1/2 \text{ pie}^3$ ) de capacidad.

#### 8.1.2 Agregado fino (Peso Unitario)



- 8.1.2.1 Precisión para un sólo operador.- la desviación estándar ha sido establecida en  $14 \text{ kg/m}^3$  ( $0,88 \text{ lb/pie}^3$ ). Los resultados de dos ensayos realizados por un sólo operador con el mismo material no deben diferir en más de  $40 \text{ kg/m}^3$  ( $2,5 \text{ lb/pie}^3$ ).
- 8.1.2.2 Precisión multilaboratorio.- la desviación estándar ha sido establecida en  $44 \text{ kg/m}^3$  ( $2,76 \text{ lb/pie}^3$ ) por lo que dos resultados realizados en dos diferentes laboratorios con el mismo material no deben diferir en más de  $125 \text{ kg/m}^3$  ( $7,8 \text{ lb/pie}^3$ ).
- 8.1.2.3 Estos valores de precisión, desviación estándar y máxima diferencia han sido establecidos para peso unitario suelto utilizando un recipiente de medida de  $2,8 \text{ L}$  ( $1/10 \text{ pie}^3$ ) de capacidad.
- 8.2 Dispersión

El procedimiento en este método de ensayo para medición de la densidad bulk y contenido de vacíos no tiene dispersión porque los valores pueden ser definidos sólo en términos de método de ensayo.

**Tabla 1**  
**Capacidad de recipientes de medida**

Tamaño Máximo Nominal del Agregado		Capacidad de recipiente de medida <sup>D</sup>	
Mm	pulgadas	L ( $\text{m}^3$ )	Pie <sup>3</sup>
12,5	½	2,8 (0,0028)	1/10
25,0	1	9,3 (0,0093)	1/3
37,5	1 ½	14,0 (0,014)	½
75,0	3	28,0 (0,028)	1
112,0	4 ½	70,0 (0,070)	2 ½
150,0	6	100,0 (0,100)	3 ½

**Tabla 2**  
**Requisitos para los recipientes de medida**

Espesor del metal, mínimo			
Capacidad de recipiente de medida	Fondo	Sobre 1 ½ pulg ó 38 mm de pared <sup>AE</sup>	Espesor Adicional
Menos de $0,4 \text{ pie}^3$	0,20 pulg	0,10 pulg	0,10 pulg
De $0,4 \text{ pie}^3$ a $1,5 \text{ pie}^3$ , incluido	0,20 pulg	0,20 pulg	0,12 pulg
Sobre $1,5$ a $2,8 \text{ pie}^3$ , incluido	0,40 pulg	0,25 pulg	0,15 pulg
Sobre $2,8$ a $4,0 \text{ pie}^3$ , incluido	0,50 pulg	0,30 pulg	0,20 pulg
Menos de 11 L	5,0 mm	2,5 mm	2,5 mm
11 a 42 L, incluido	5,0 mm	5,0 mm	3,0 mm
Sobre 42 a 80 L, incluido	10,0 mm	6,4 mm	3,8 mm
Sobre 80 a 113 L, incluido	13,0 mm	7,6 mm	5,0 mm

<sup>D</sup> La medida indicada será utilizada para ensayar agregados con Tamaño Máximo Nominal igual o menor.

<sup>E</sup> El espesor adicional en la parte superior de la pared se puede obtener al colocar una banda de refuerzo alrededor de la parte superior del recipiente de medida.



**Tabla 3**  
**Densidad del agua**

Temperatura		Kg/m <sup>3</sup>	lb/pie <sup>3</sup>
°C	°F		
15,6	60	999,01	62,366
18,3	65	998,54	62,336
21,1	70	997,97	62,301
23,0	73,4	997,54	62,274
23,9	75	997,32	62,261
26,7	80	996,59	62,216
29,4	85	995,83	62,166

**Tabla 4**  
**Datos de precisión para muestras de ensayo de 300 g y 500 g**

Muestra aprovechable de agregado fino				En cada laboratorio		Interlaboratorio	
Resultado de ensayo	Tamaño de muestra	Nº de laboratorios	Promedio	1s	d2s	1s	d2s
AASHTO T-11/ASTM C-117	500 g	270	1,23	0,08	0,24	0,23	0,66
Material total que pasa el tamiz Nº 200 por vía húmeda (%)	300 g	264	1,20	0,10	0,29	0,24	0,68



## MTC E 204

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS

#### 1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar por medio de una serie de tamices de abertura cuadrada la distribución de partículas de agregados grueso y fino en una muestra seca de peso conocido.

#### 2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

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

La determinación del material que pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (Nº 200) no se obtiene por este ensayo. El método de ensayo a emplear será: "Cantidad de material fino que pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (Nº 200) por lavado" (MTC E 202).

#### 3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 400.012: Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global

#### 4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

##### 4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Balanzas: las balanzas usadas en el ensayo de agregados fino y grueso deben tener las siguientes características:
- 4.1.1.1 Para agregado fino, con aproximación de 0,1 g y sensibilidad a 0,1% del peso de la muestra que va a ser ensayada.
- 4.1.1.2 Para agregado grueso, con aproximación a 0,5 g y exactitud a 0,1% del peso de la muestra a ser ensayada.
- 4.1.2 Estufa: de tamaño adecuado y capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110 \pm 5$  °C.

##### 4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Tamices: tamices seleccionados de acuerdo con las especificaciones del material que va a ser ensayado.

#### 5.0 MUESTRA

- 5.1 Obtener la muestra de agregado de acuerdo a MTC E 201. El tamaño de la muestra de campo debe ser la cantidad indicada en este método.
- 5.2 Mezclar completamente la muestra y reducir para ensayo por cuarteo manual o mecánico. El agregado debe estar completamente mezclado y tener suficiente humedad para evitar la segregación y pérdida de finos. La muestra para ensayo debe tener la cantidad deseada cuando este seca y ser resultado final de reducción. No está permitido reducir a un peso exacto determinado.
- 5.3 Agregado fino: La cantidad de muestra de agregado fino, después de secado, debe ser de 300 g mínimo.
- 5.4 Agregado grueso. La cantidad de muestra de agregado grueso, después de secado, debe ser de acuerdo a lo establecido en la tabla 1.

**Tabla 1**  
Cantidad mínima de muestra de agregado grueso

Tamaño Máximo Nominal Abertura Cuadrada		Cantidad mínima de muestra de ensayo
mm	(pulg)	Kg
9,5	(3/8)	1
12,5	(1/2)	2
19,0	(3/4)	5
25,0	(1)	10
37,5	(1 1/2)	15
50,0	(2)	20
63,0	(2 1/2)	35
75,0	(3)	60
90,0	(3 1/2)	100
100,0	(4)	150
125,0	(5)	300

- 5.5 Mezclas de agregados grueso y fino: la muestra será separada en dos tamaños, por el tamiz de 4,75 mm (Nº 4) y preparada de acuerdo con los numerales 5.3 y 5.4 respectivamente.
- 5.6 En caso se requiera determinar la cantidad de material que pasa el tamiz de 75 µm (Nº 200), por el método de ensayo MTC E 202 se procede como sigue:
- 5.6.1 En agregados con tamaño máximo nominal de 12,5 mm (1/2") o menores utilizar la misma muestra de ensayo para MTC E 202 y este ensayo. Primero, ensayar la muestra de acuerdo con MTC E 202 completando operación de secado final y luego tamizar la muestra en seco como indica los numerales 6.2 hasta 6.8 del presente ensayo.
- 5.6.2 En agregados con tamaño máximo nominal mayor que 12,5 mm (1/2") se puede utilizar la misma muestra de ensayo como se describe en 6.1 o utilizar muestras por separado para MTC E 202 y este ensayo.

## 6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Secar la muestra a temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ , hasta obtener peso constante.

**Nota 1.** Cuando se desea resultados rápidos, no es necesario secar el agregado grueso para el ensayo debido que el resultado es poco afectado por el contenido de humedad a menos que:

- El Tamaño Máximo nominal sea menor de 12 mm (1/2")
  - El agregado grueso tenga una cantidad apreciable de finos menos que el tamiz Nº 4,75 mm (Nº4).
  - El agregado grueso sea altamente absorbente (por ejemplo los agregados ligeros.)
  - Las muestra también se pueden secar a temperaturas altas usando planchas calientes sin que afecten resultados, si se mantienen los escapes de vapor sin generar presiones suficientes para fracturar las partículas y temperaturas que no sean mayores para causar rompimiento químico del agregado.
- 6.2 Seleccionar la serie de tamices de tamaños adecuados para cumplir con las especificaciones del material a ensayar. Encajar los tamices en orden decreciente, por tamaño de abertura, y colocar la muestra sobre el tamiz superior. Efectuar el tamizado de forma manual o por medio de un tamizador mecánico, durante un período adecuado.
- 6.3 Limitar la cantidad de material en un tamiz determinado, de forma que todas las partículas tengan la oportunidad de alcanzar las aberturas del tamiz varias veces durante la operación del tamizado.



La cantidad retenida en tamices menores que 4,75 mm (Nº 4) cuando se complete la operación de tamizado, no debe ser mayor de 7 kg/m<sup>2</sup> de superficie tamizada.

Para tamices de 4,75 mm (Nº 4) y mayores, la cantidad retenida en kg por superficie tamizada no excederá el producto de 2,5 x abertura del tamiz (mm).

En ningún caso, la cantidad retenida debe ser mayor de modo que cause deformación permanente en la malla del tamiz.

**Nota 2.** La Cantidad de 7 kg/m<sup>2</sup> a 200g para el diámetro usual de 203 mm (8") con superficie efectiva de tamizado de 190,5 mm (7 1/2) de diámetro.

- 6.4 Prevenir sobrecarga de material sobre tamiz individual colocando un tamiz adicional con abertura intermedia entre el tamiz que va a ser sobrecargado y el tamiz inmediatamente superior en la disposición original de tamices; separando la muestra en dos o más porciones y tamizando cada porción; o utilizar tamices de mayor diámetro que provean mayor área de tamizado.
- 6.5 Continuar el tamizado por un período suficiente, de tal forma que después de terminado, no pase más del 1% de la cantidad en peso retenida en cada tamiz, durante un (1) minuto de tamizado manual como sigue: sostener individualmente cada tamiz, con su tapa y un fondo bien ajustado, con la mano en una posición ligeramente inclinada. Golpear el filo del tamiz, con un movimiento hacia arriba contra la palma de la otra mano, a razón de 150 veces por minuto, girando el tamiz aproximadamente 1/6 de vuelta en cada intervalo de 25 golpes. Se considera satisfactorio el tamizado para tamaños mayores al tamiz de 4,75 mm (Nº 4), cuando el total de las partículas del material sobre la malla forme una capa simple de partículas. Si el tamaño de los tamices hace impracticable el movimiento de tamizado recomendado, utilizar el tamiz de 203 mm (8") de diámetro para comprobar la eficiencia del tamizado.
- 6.6 En el caso de mezclas de agregados grueso y fino, la porción de muestra más fina que el tamiz de 4,75 mm (Nº 4) puede distribuirse entre dos o más juegos de tamices para prevenir sobrecarga de los tamices individuales.
- 6.7 Para partículas mayores de 75 mm (3"), el tamizado debe realizarse a mano, determinando la abertura del tamiz más pequeño por el que pasa la partícula.  
Comenzar el ensayo con el tamiz de menor abertura a ser usado. Rotar las partículas si es necesario, con el fin de determinar si pasan a través de dicho tamiz; sin forzar para que pasen a través de éste.
- 6.8 Determinar el peso de la muestra retenido en cada tamiz, con una balanza que cumpla lo exigido en el numeral 5.1  
El peso total del material después del tamizado, debe ser verificado con el peso original de la muestra ensayada. Si la cantidad difiere en más del 0.3% del peso seco original de la muestra, el resultado no debe ser usado con fines de aceptación.
- 6.9 Si la muestra fue ensayada previamente por el método descrito en MTC E 202, adicionar el peso del material más fino que la malla de 75 µm (Nº 200) determinado por método de tamizado seco.

## 7.0 CALCULOS E INFORME

### 7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Calcular el porcentaje que pasa, porcentaje total retenido, o porcentaje sobre cada tamiz con aproximación de 0,1% sobre la base del peso total de la muestra inicial seca. Si la muestra fue primero ensayada por el método MTC E 202, incluir el peso del material más fino que el tamiz de 75 µm (No. 200) por lavado en los cálculos de tamizado, y usar el total del peso de la muestra seca previamente lavada en el método mencionado, como base para calcular todos los porcentajes.



7.1.2 Cuando sea requerido, calcular el módulo de fineza, sumando los porcentajes retenidos, acumulados de cada una de los siguientes tamices y dividiendo la suma entre 100: 150  $\mu\text{m}$  (Nº 100); 300  $\mu\text{m}$  (Nº 50); 600  $\mu\text{m}$  (Nº 30); 1,18 mm (Nº 16); 2,36 mm (Nº 8); 4,75 mm (Nº 4); 9,5 mm (3/8"); 19,0 mm (3/4"); 37,5 mm (1 1/2"); y mayores, incrementando en la relación de 2 a 1.

## 7.2 INFORME

7.2.1 Dependiendo de las especificaciones para uso del material que está siendo ensayado, el informe debe incluir:

7.2.1.1 Porcentaje total de material que pasa cada tamiz.

7.2.1.2 Porcentaje total de material retenido en cada tamiz, o

7.2.1.3 Porcentaje de material retenido entre dos tamices consecutivos.

7.2.2 Reportar los porcentajes en números enteros, excepto si el porcentaje que pasa tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (Nº 200) es menor del 10%, que se aproximará al 0,1% más cercano.

7.2.3 Cuando sea requerido, reportar el módulo de fineza con aproximación al 0,01.

## 8.0 PRECISION Y DISPERSION

### 8.1 PRECISION

8.1.1 La estimación de precisión para este ensayo se muestra en la Tabla 2. Están basados sobre resultados del AASHTO Materials Reference Laboratory Proficiency Sample Program con ensayos realizados los métodos ASTM C- 136 y AASHTO T- 27.

Los datos se basan en resultados de 65 a 233 laboratorios que ensayaron 18 pares de muestras de referencia de agregado grueso y de 74 a 222 laboratorios que ensayaron 17 pares de muestras de referencia de agregado fino (muestras 21 al 90), los valores de la tabla se dan para diferentes rangos del porcentaje total del agregado que pasa un tamiz.

8.1.2 Los valores de precisión para el agregado fino de la Tabla 2 se realizaron con 500 g de muestra de ensayo. La revisión del método en 1994 permitió reducir la muestra a un mínimo de 300 g. El análisis de los resultados de muestras de referencia con 300 g y 500 g, las muestras 99 y 100 produjeron los valores de precisión de la Tabla 3 que indican solo diferencias menores debido al tamaño de la muestra.

### 8.2 DISPERSION

8.2.1 En tanto no haya un material de referencia adecuado aceptado para determinar la dispersión en este ensayo, no se establecerá la dispersión.

**Tabla 2**  
**Precisión**

	<b>% total de material que pasa</b>	<b>Desviación estándar (1s), %<sup>F</sup></b>	<b>Rango aceptable de dos resultados (d2s), %<sup>A</sup></b>
<b>Agregado grueso<sup>G</sup></b>			
Precisión de un operador	< 100 ≥ 95	0,32	0,9
	< 95 ≥ 85	0,81	2,3
	< 85 ≥ 80	1,34	3,8
	< 80 ≥ 60	2,35	6,4
	< 60 ≥ 20	1,32	3,7
	< 20 ≥ 15	0,96	2,7
	< 15 ≥ 10	1,00	2,8
	< 10 ≥ 5	0,75	2,1
Precisión multilaboratorio	< 5 ≥ 2	0,33	1,5
	< 2 > 0	0,27	0,8
	< 100 ≥ 95	0,35	1,0
	< 95 ≥ 85	1,37	3,9
	< 85 ≥ 80	1,92	5,4
	< 80 ≥ 60	2,82	8,0
	< 60 ≥ 20	1,97	5,6
	< 20 ≥ 15	1,60	4,5
<b>Agregado fino</b>			
Precisión de un operador	< 15 ≥ 10	1,48	4,2
	< 10 ≥ 5	1,22	3,4
	< 5 ≥ 2	1,04	3,0
	< 2 > 0	0,45	1,3
	< 100 ≥ 95	0,26	0,7
	< 95 ≥ 60	0,55	1,6
Precisión multilaboratorio	< 60 ≥ 20	0,83	2,4
	< 20 ≥ 15	0,54	1,5
	< 15 ≥ 10	0,36	1,0
	< 10 ≥ 2	0,37	1,1
	< 2 > 0	0,14	0,4
	< 100 ≥ 95	0,23	0,6
Precisión multilaboratorio	< 95 ≥ 60	0,77	2,2
	< 60 ≥ 20	1,41	4,0
	< 20 ≥ 15	1,10	3,1
	< 15 ≥ 10	0,73	2,1
	< 10 ≥ 2	0,65	1,8
< 2 > 0	0,31	0,9	

<sup>F</sup> Estos números representan, respectivamente los límites (1s) y (d2s) descritos en la norma ASTM C 670.

<sup>G</sup> La estimación de la precisión se basa en agregados de tamaño máximo nominal de 19,0 mm (3/4").

**Tabla 3**  
**Precisión para muestras de ensayo de 300 g y 500 g**

Muestra de referencia de agregado fino				En el laboratorio		Entre laboratorios	
Resultados de los ensayos	Cantidad de muestra	Número de laboratorios	Promedio	1s	d2s	1s	d2s
ASTM C - 136/ AASHTO T 27							
Material total que pasa tamiz N° 4 (%)	500 g	285	99,922	0,027	0,066	0,037	0,104
	300 g	276	99,990	0,021	0,060	0,042	0,117
Material total que pasa tamiz N° 8 (%)	500 g	281	84,10	0,43	1,21	0,63	1,76
	300 g	274	84,32	0,39	1,09	0,69	1,92
Material total que pasa tamiz N° 16 (%)	500 g	286	70,11	0,53	1,49	0,75	2,10
	300 g	272	70,00	0,62	1,74	0,76	2,12
Material total que pasa tamiz N° 30 (%)	500 g	287	48,54	0,75	2,10	1,33	3,73
	300 g	276	48,44	0,87	2,44	1,36	3,79
Material total que pasa tamiz N° 50 (%)	500 g	286	13,52	0,42	1,17	0,98	2,73
	300 g	275	13,51	0,45	1,25	0,99	2,76
Material total que pasa tamiz N° 100 (%)	500 g	287	2,55	0,15	0,42	0,37	1,03
	300 g	270	2,52	0,18	0,52	0,32	0,89
Material total que pasa tamiz N° 200 (%)	500 g	278	1,32	0,11	0,32	0,31	0,85
	300 g	266	1,30	0,14	0,39	0,31	0,85

## MTC E 205

### GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE AGREGADOS FINOS

#### 1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción después de 24 horas de sumergido en agua el agregado fino.

#### 2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El peso específico (gravedad específica) es la característica generalmente usada para calcular el volumen ocupado por el agregado en varias mezclas que contienen agregados incluyendo concreto de cemento Portland, concreto bituminoso, y otras mezclas que son proporcionadas y analizadas en base al volumen. También es usado en el cálculo de vacíos en el agregado del ensayo MTC E 203.
- 2.2 El peso específico aparente y peso específico relativo aparente atañen al material sólido de las partículas constituyentes que no incluyen el espacio poroso dentro de ellas que es accesible al agua. Este valor no es ampliamente usado en la tecnología de agregados de construcción.
- 2.3 Los valores de absorción son usados para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida entre los espacios de los poros entre las partículas constituyentes, comparado a la condición seca, cuando es estimado que el agregado ha estado en contacto con el agua lo suficiente para satisfacer la mayor absorción potencial.
- 2.4 Se aplica para determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, peso específico aparente y la absorción de agregado fino, a fin de usar estos valores tanto en el cálculo y corrección de diseños de mezclas, como en control de uniformidad de las características físicas.
- 2.5 No es aplicable para agregados ligeros por cuanto la inmersión en agua por 24 horas no asegura que los poros se llenen completamente, lo cual es un requisito necesario para poder aplicar el ensayo eficientemente.

#### 3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 400.022: Peso Específico y absorción del agregado Fino.

#### 4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

##### 4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Balanza, con capacidad mínima de 1 000 g o más y sensibilidad de 0,1 g.
- 4.1.2 Estufa, capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110 \pm 5$  °C.

##### 4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Frasco volumétrico de 500 cm<sup>3</sup> de capacidad, calibrado hasta 0,1 cm<sup>3</sup> a 20 °C.
- 4.2.2 Molde cónico, metálico de  $40 \pm 3$  mm de diámetro interior en su base menor,  $90 \pm 3$  mm de diámetro interior en una base mayor y  $75 \pm 3$  mm de altura.
- 4.2.3 Varilla para apisonado, metálica, recta, con un peso de  $340 \pm 15$  g y terminada en un extremo en una superficie circular plana para el apisonado, de  $25 \pm 3$  mm de diámetro.

#### 5.0 MUESTRA

- 5.1 Muestrear el agregado de acuerdo con la MTC E 201. Mezclar uniformemente y reducir por cuarteo hasta obtener un espécimen de ensayo de aproximadamente 1 kg.



- 5.2 Colocar el agregado fino obtenido por cuarteo y secado a peso constante a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C en un recipiente y cubrir con agua dejando reposar durante 24 horas. Decantar el agua evitando pérdida de finos y extender el agregado sobre una superficie plana expuesta a una corriente de aire tibio y remover frecuentemente para el secado uniforme, hasta que las partículas del agregado no se adhieran marcadamente entre sí. Colocar en el molde cónico y golpear la superficie suavemente 25 veces con la varilla para apisonado y levantar luego el molde. Si existe humedad libre el cono de agregado fino mantiene su forma. Seguir secando, revolver constantemente y probar hasta que el cono se derrumbe al quitar el molde, lo que indica que el agregado fino alcanzó una condición de superficie seca.

## 6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Introducir en el frasco una muestra de 500 g de material preparado, llenar parcialmente con agua a una temperatura de  $23 \pm 2$  °C hasta alcanzar la marca de 500 cm<sup>3</sup>. Agitar el frasco para eliminar burbujas de aire de manera manual o mecánicamente.

- 6.2 Manualmente rodar, invertir y agitar el frasco para eliminar todas las burbujas de aire.

**Nota 1.** Cerca de 15 a 20 minutos son normalmente requeridos para eliminar las burbujas de aire por método manual.

- 6.3 Mecánicamente, extraer las burbujas de aire por medio de una vibración externa de manera que no degrade la muestra.

- 6.4 Después de eliminar las burbujas de aire, ajustar la temperatura del frasco y su contenido a  $23 \pm 2$  °C y llenar el frasco hasta la capacidad calibrada. Determinar el peso total del frasco, espécimen y agua.

- 6.5 Remover el agregado fino del frasco, secar en la estufa hasta peso constante a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C, enfriar a temperatura ambiente por  $\frac{1}{2}$  a 1  $\frac{1}{2}$  hora y determinar el peso.

## 7.0 CALCULOS E INFORME

### 7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Peso específico de masa ( $Pe_m$ ):

$$Pe_m = \frac{W_0}{(V - V_a)} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

$Pe_m$	=	Peso específico de masa
$W_0$	=	Peso en el aire de la muestra secada en el horno, g;
$V$	=	Volumen del frasco en cm <sup>3</sup>
$V_a$	=	Peso en gramos o volumen en cm <sup>3</sup> de agua añadida al frasco.

- 7.1.2 Peso específico de masa saturado con superficie seca ( $Pe_{SSS}$ )

$$Pe_{SSS} = \frac{500}{(V - V_a)} \times 100 \quad (2)$$

- 7.1.3 Peso específico aparente ( $Pe_a$ )

$$Pe_a = \frac{W_0}{(V - V_a) - (500 - W_0)} \times 100 \quad (3)$$

- 7.1.4 Absorción ( $Ab$ )

$$A_b = \frac{500 - W_0}{W_0} \times 100 \quad (4)$$



## 7.2 INFORME

7.2.1 Reportar el resultado del peso específico con aproximación a 0,01 e indicar el tipo de peso específico, ya sea de masa, saturado superficialmente seco o aparente.

7.2.2 Reportar el resultado de absorción con aproximación a 0,1%

## 8.0 PRECISION Y DISPERSION

### 8.1 PRECISION

Las estimaciones de precisión de este método de ensayo (tabla 1) están basadas en resultados del AASHTO Materials Reference Laboratory Proficiency Sample Program, con ensayos conducidos por métodos de ensayo ASTM C- 128 y AASHTO T84. La diferencia significativa entre los métodos es que el método ASTM C 128 requiere un período de saturación de  $24 \pm 4$  horas, y el método AASHTO T 84 requiere un período de saturación de 15 a 19 horas. Esta diferencia se ha hallado que tiene un efecto insignificante sobre índices de precisión. Los datos están basados sobre el análisis de más de 100 pares de resultados de ensayos de 40 a 100 laboratorios. Las estimaciones de precisión para densidad fueron calculadas de valores determinados para densidad relativa (gravedad específica), usando la densidad del agua a 23 °C para la conversión.

Tabla 1 -Precisión

	Desviación estándar (1s) <sup>H</sup>	Rango aceptable de dos resultados (d2s)
<b>Precisión de un solo operador</b>		
Densidad (OD) kg/m <sup>3</sup>	11	13
Densidad (SSD) kg/m <sup>3</sup>	9,5	27
Densidad aparente, kg/m <sup>3</sup>	9,5	27
Densidad relativa (gravedad específica) (OD)	0,011	0,032
Densidad relativa (gravedad específica) (SSD)	0,0095	0,027
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	0,0095	0,31
Absorción <sup>I</sup> , %	0,11	0,31
<b>Precisión Multilaboratorio</b>		
Densidad (OD) kg/m <sup>3</sup>	23	64
Densidad (SSD) kg/m <sup>3</sup>	20	56
Densidad aparente, kg/m <sup>3</sup>	20	56
Densidad relativa (gravedad específica) (OD)	0,023	0,066
Densidad relativa (gravedad específica) (SSD)	0,020	0,056
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	0,020	0,056
Absorción <sup>C</sup> , %	0,23	0,56

### 8.2 DISPERSION

Dado que no es aceptado un material de referencia disponible para la determinación de la dispersión por este método de ensayo, el establecimiento de dispersión no está hecho.

<sup>H</sup> Estos números representan respectivamente los límites (1s) y (d2s) como se describen en Práctica C 670. Las estimaciones de precisión fueron obtenidas del análisis de la data de muestras de AASHTO Materials Reference Laboratory Proficiency de laboratorios usando 15 a 19 horas de tiempo de saturación y otros laboratorios usando  $24 \pm 4$  horas de tiempo de saturación. Los ensayos fueron desarrollados sobre agregados de peso normal, y establecidos con agregados en una condición secos al horno.

<sup>I</sup> Estimaciones de precisión están basadas sobre agregados con absorciones de menos de 1% y pueden diferir para agregados finos manufacturados y agregados que tienen valores de absorción mayores que 1%.

## MTC E 206

### PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADOS GRUESOS

#### 1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer un procedimiento para determinar el peso específico seco, el peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción (después de 24 horas) del agregado grueso. El peso específico saturado con superficie seca y la absorción están basadas en agregados remojados en agua después de 24 horas. Este modo operativo no es aplicable para agregados ligeros.

#### 2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

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

#### 3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 400.021: Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso.

#### 4.0 EQUIPOS

##### 4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Balanza: Sensible a 0,5 g y con capacidad de 5 000 g ó más. La balanza estará equipada con un dispositivo capaz de suspender la muestra en la cesta con malla de alambre en el recipiente con agua desde el centro de la plataforma de pesado.
- 4.1.2 Cesta con malla de alambre: Con abertura correspondiente al tamiz N° 6 o abertura menor, también se puede utilizar un recipiente de aproximadamente igual ancho y altura con capacidad de 4 a 7 L para tamaños máximos nominales de 37,5 mm (1 ½ pulg) o menores, y un cesto más grande como sea necesario para ensayar agregados con tamaños máximos mayores. El cesto deberá ser construido de tal forma de prevenir el aire atrapado cuando esté sumergido.
- 4.1.3 Depósito de agua: Un depósito estanco adecuado para sumergir la cesta de alambre en el agua y un dispositivo para suspenderla del centro de la escala de la balanza.
- 4.1.4 Tamices: Un tamiz normalizado de 4,75 mm (N° 4) o de otros tamaños como sean necesarios, de acuerdo a la N.T.P. 350.001.
- 4.1.5 Estufa: Una estufa capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5$  °C

#### 5.0 MUESTRA

- 5.1 Se seleccionará la muestra siguiendo el modo operativo MTC E 201.
- 5.2 Mezclar la muestra y reducirla aproximadamente a la cantidad necesaria usando el procedimiento descrito en la ASTM C 702. Descartar todo el material que pase el tamiz 4,75 mm (N° 4) por tamizado seco y luego lavar el material para remover polvo u otras impurezas superficiales. Si el agregado grueso contiene cantidades importantes de material más fino que el tamiz 4,75 mm (N° 4) (tales como tamaños N° 8 y 9 considerados en la Clasificación de la ASTM D 448), usar el tamiz 2,36 mm (N° 8) en vez del tamiz 4,75 mm (N° 4). Alternativamente, separar el material más fino que el tamiz 4,75 mm y ensayarlo de acuerdo al Modo Operativo E 205.
- 5.3 El peso mínimo de la muestra de ensayo que será usado se presenta en la Tabla 1.

**TABLA 1**  
**Peso mínimo de la muestra de ensayo**

Tamaño Máximo Nominal mm (pulg)	Peso Mínimo de la Muestra de Ensayo Kg (lb)
12,5 (1/2) o menos	2 (4,4)
19,0 (3/4)	3 (6,6)
25,0 (1)	4 (8,8)
37,5 (1 ½)	5 (11)
50,0 (2)	8 (18)
63,0 (2 ½)	12 (26)
75,0 (3)	18 (40)
90,0 (3 ½)	25 (55)
100,0 (4)	40 (88)
112,0 (4 ½)	50 (110)
125,0 (5)	75 (165)
150,0 (6)	125 (276)

- 5.4 Si la muestra es ensayada en dos o más fracciones de tamaños, determinar la gradación de la muestra de acuerdo con lo indicado en el Modo Operativo MTC E 204.

#### 6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Secar la muestra a peso constante, a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ventilar en lugar fresco a temperatura ambiente de 1 a 3 horas para muestras de ensayo de tamaños máximos nominales de 37,5 mm (1 ½ pulg) o mayores para tamaños más grandes hasta que el agregado haya enfriado a una temperatura que sea cómoda al tacto (aproximadamente  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Inmediatamente sumergir el agregado en agua a una temperatura ambiente por un período de  $24\text{ h} \pm 4\text{ h}$ .

**Nota 1.** Cuando se ensaya agregado grueso de tamaños máximos nominales mayores, sería conveniente realizar el ensayo en dos o más sub muestras, y los valores obtenidos combinarlos por cómputo.

- 6.2 Cuando los valores de peso específico y la absorción van a ser usados en proporcionamiento de mezclas de hormigón (concreto) en los cuales los agregados van a ser usados en su condición natural de humedad, el requerimiento inicial de secado a peso constante puede ser eliminada y, si las superficies de las partículas de la muestra van a ser mantenidas continuamente húmedas antes de ensayo, el remojo de 24 h puede ser eliminado.
- 6.3 Remover la muestra del agua y hacerla rodar sobre un paño grande y absorbente, hasta hacer desaparecer toda película de agua visible, aunque la superficie de las partículas aún parezca húmeda. Secar separadamente en fragmentos más grandes. Se debe tener cuidado en evitar la evaporación durante la operación del secado de la superficie. Se obtiene el peso de la muestra bajo la condición de saturación con superficie seca. Se determina éste y todos los demás pesos con aproximación de 0,5 g o al 0,05% del peso de la muestra, la que sea mayor.
- 6.4 Después de pesar, se coloca de inmediato la muestra saturada con superficie seca en la cesta de alambre y se determina su peso en agua a una temperatura entre  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , densidad  $997 \pm 2\text{ kg/m}^3$ . Tener cuidado de remover todo el aire atrapado antes del pesado sacudiendo el recipiente mientras se sumerge.
- 6.5 Secar la muestra hasta peso constante, a una temperatura entre  $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  y se deja enfriar hasta la temperatura ambiente, durante 1 a 3 h o hasta que el agregado haya enfriado a una temperatura que sea cómoda al tacto (aproximadamente  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y se pesa.



## 7.0 CALCULOS E INFORME

### 7.1 CALCULOS

#### 7.1.1 Peso Específico:

##### a) Peso Específico de masa ( $P_{em}$ )

$$P_{em} = \frac{A}{(B-C)} \times 100$$

Donde:

- A = Peso de la muestra seca en el aire, gramos;  
 B = Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire, gramos;  
 C = Peso en el agua de la muestra saturada.

##### b) Peso específico de masa saturada con superficie seca ( $P_{esss}$ )

$$P_{esss} = \frac{B}{(B-C)} \times 100$$

##### c) Peso específico aparente ( $P_{ea}$ )

$$P_{ea} = \frac{A}{(A-C)} \times 100$$

#### 7.1.1 Absorción ( $A_b$ )

$$A_b(\%) = \frac{(B-A)}{A} \times 100$$

### 7.2 INFORME

- 7.2.1 Informar el resultado del peso específico con aproximación a 0,01, e indicar el tipo de peso específico, ya sea de masa, saturado superficialmente seco o aparente.
- 7.2.2 Informar el resultado de absorción con aproximación a 0,1 %.
- 7.2.3 Si los valores de peso específico y absorción fueron determinados sin el primer secado del agregado, como se permite en el apartado 6.2, será notificado en el reporte.



### MTC E 207.

## ABRASION LOS ANGELES (L.A.) AL DESGASTE DE LOS GREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37,5 mm (1 1/2")

### 1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer el procedimiento para ensayar agregados gruesos de tamaños menores que 37,5 mm (1 1/2") para determinar la resistencia a la degradación utilizando la Máquina de Los Ángeles.

**Nota 1.** En el Anexo se presenta un procedimiento para ensayar agregados gruesos de tamaños mayores que 19,0 mm (3/4 pulg).

### 2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este Modo Operativo es una medida de la degradación de agregados minerales de gradaciones normalizadas resultantes de una combinación de acciones, las cuales incluyen abrasión o desgaste, impacto y trituración, en un tambor de acero en rotación que contiene un número especificado de esferas de acero, dependiendo de la gradación de la muestra de ensayo. Al rotar el tambor, la muestra y las bolas de acero son recogidas por una pestaña de acero transportándolas hasta que son arrojadas al lado opuesto del tambor, creando un efecto de trituración por impacto. Este ciclo es repetido mientras el tambor gira con su contenido. Luego de un número de revoluciones establecido, el agregado es retirado del tambor y tamizado para medir su degradación como porcentaje de pérdida.
- 2.2 Los valores están establecidos en unidades del Sistema Internacional y serán considerados como estándar.

### 3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 400.019: Agregados. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por Abrasión e Impacto en la Máquina de Los Ángeles.

### 4.0 EQUIPOS

#### 4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Máquina de Los Ángeles: La Máquina de Los Ángeles tendrá las características esenciales que se muestran en la Figura 1 (Anexo A). La máquina consistirá en un cilindro hueco de acero, cerrado en ambos extremos, de dimensiones mostradas en la Figura 1, con un diámetro interior de 711 mm  $\pm$  5 mm (28 pulg  $\pm$  0,2 pulg) y una longitud interior de 508 mm  $\pm$  5 mm (20 pulg  $\pm$  0,2 pulg). El cilindro será montado sobre ejes salientes de sus costados, no pasantes, de tal manera que pueda rotar con el eje en posición horizontal, con una tolerancia en la inclinación de 1 en 100. El cilindro debe tener una abertura para la introducción de la muestra de ensayo. Tiene una cubierta hermética al polvo y provista de medios para atomizarla en su lugar. El cobertor también será diseñado para mantener el contorno cilíndrico de la superficie interior. Una pestaña removible de acero, que abarque toda la longitud del cilindro y se proyecte radialmente hacia adentro 89 mm  $\pm$  2 mm (3,5 pulg  $\pm$  0,1 pulg), será montada en el interior de la superficie cilíndrica del cilindro, de tal manera que un plano centrado en la cara mayor coincida con un plano axial. La pestaña deberá ser de 25,4 mm de espesor y montada por tornillos u otros medios de tal modo que quede firme y rígida. La localización de la pestaña se hará de tal manera que la muestra y las esferas de acero no impacten en las cercanías de la abertura y su cubierta; y, la distancia desde la pestaña hasta la abertura, medida a lo largo de la circunferencia del exterior del cilindro en la dirección de rotación, no será menor de 1 270 mm (50 pulg). Inspeccionar periódicamente la pestaña para determinar que no está inclinada a lo largo o desde su posición normal radial con respecto al cilindro. Si se encuentra una de estas condiciones, repare o reemplace la pestaña antes de realizar futuros ensayos.



**Nota 2.** Es preferible el uso de una pestaña de acero resistente al desgaste de sección rectangular y montada independientemente de la cubierta. No obstante se puede utilizar una pestaña que consiste en una sección de perfil angular laminado, apropiadamente montada en el interior del plato cobertor, provisto que la dirección de rotación es tal que la carga sea recogida sobre la cara exterior del ángulo.

- 4.1.1.1 La máquina deberá ser impulsada y equilibrada como para mantener una velocidad periférica uniforme (Nota 3). Si se utiliza un ángulo como pestaña, la dirección de rotación deberá ser tal que la carga sea recogida sobre la cara exterior del ángulo.

**Nota 3.** Una pérdida de carrera en el mecanismo de impulsión puede arrojar resultados que no sean reproducidos por otra Máquina de Los Ángeles con velocidad periférica constante.

- 4.1.2 Tamices: Conforme con la NTP 350.001.
- 4.1.3 Balanza: Una balanza o báscula con exactitud al 0,1 % de la carga de ensayo sobre el rango requerido para este ensayo.
- 4.1.4 Carga: La carga consistirá en esferas de acero de aproximadamente 46,8 mm (1 27/32 pulg) de diámetro y cada una tendrá una masa entre 390 g y 445 g.
- 4.1.4.1 La carga, dependiendo de la gradación de la muestra de ensayo como se describe en el Item 5, será como sigue:

Gradación	Número de Esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5 000 ± 25
B	11	4 584 ± 25
C	8	3 330 ± 20
D	6	2 500 ± 15

**Nota 4.** Podrá utilizarse cojinetes de bola de 46,00 mm (1 13/16 pulg) y 47,6 mm (1 7/8 pulg) de diámetro, cada una con una masa de aproximadamente de 400 g y 440 g, respectivamente. Podrán utilizarse también esferas de acero de 46,8 mm (1 27/32 pulg) de diámetro con una masa de aproximadamente 420 g. La carga podrá consistir en una mezcla de estas medidas conforme a las tolerancias de masa indicadas en los apartados 4.1.4 y 4.1.4.1.

## 5.0 MUESTRA

- 5.1 Lavar y secar al horno la muestra reducida a peso constante, a  $110 \pm 5$  °C (véase apartado 6.2), separar cada fracción individual y recombinar a la gradación de la Tabla 1, lo más cercano correspondiendo al rango de medidas en el agregado como conforme para el trabajo. Registrar la masa de la muestra previamente al ensayo con aproximación a 1 g.

**Tabla 1**  
Gradación de las muestras de ensayo

Medida del tamiz (abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado, g			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
37,5 mm (1 1/2")	25,0 mm (1")	1 250 ± 25	-.-	-.-	-.-
25,0 mm (1")	19,0 mm (3/4")	1 250 ± 25	-.-	-.-	-.-
19,0 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	1 250 ± 10	2 500 ± 10	-.-	-.-
12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	1 250 ± 10	2 500 ± 10	-.-	-.-
9,5 mm (3/8")	6,3 mm (1/4")	-.-	-.-	2 500 ± 10	-.-
6,3 mm (1/4")	4,75 mm (Nº 4)	-.-	-.-	2 500 ± 10	-.-
4,75 mm (Nº 4)	2,36 mm (Nº 8)	-.-	-.-		5 000
TOTAL		5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10



- 5.2 Se obtendrá una muestra de campo de acuerdo con MTC E 201 y se reducirá a un tamaño adecuado de acuerdo con la ASTM C 702.

## 6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Colocar la muestra de ensayo y la carga en la máquina de Los Ángeles y rotarla a una velocidad entre 30 rpm a 33rpm, por 500 revoluciones. Luego del número prescrito de revoluciones, descargar el material de la máquina y realizar una separación preliminar de la muestra, sobre el tamiz normalizado de 1,70 mm (Nº 12). Tamizar la porción más fina que 1,70 mm conforme al Modo Operativo MTC E 204. Lavar el material más grueso que la malla de 1,70 mm y secar al horno a  $110 \pm 5$  °C, hasta peso constante (véase el apartado 6.2) y determinar la masa con una aproximación a 1 g (Nota 6).
- 6.2 Si el agregado está esencialmente libre de revestimiento y polvo el requerimiento de lavado puede ser obviado, pero siempre se requiere secar antes del ensayo. Por lo tanto, en el caso del ensayo de arbitraje se efectuará el lavado.

**Nota 5.** La eliminación del lavado después del ensayo raramente reducirá las pérdidas de medida en más de 0,2 % de la masa original de la muestra.

**Nota 6.** Información válida sobre la uniformidad de la muestra de ensayo podrá obtenerse por la determinación de la pérdida luego de 100 revoluciones. Esta pérdida podría ser determinada sin lavado del material más grueso que el tamiz normalizado de 1,70 mm (Nº 12). La relación de la pérdida después de 100 revoluciones frente a la pérdida luego de 500 revoluciones no excedería mayormente 0,20 para material de dureza uniforme. Cuando se realiza esta determinación, tener cuidado de evitar pérdida de alguna parte de la muestra, retornar la muestra entera incluyendo el polvo de la fractura, a la máquina de ensayo para las 400 revoluciones finales requeridas para completar el ensayo.

## 7.0 CALCULOS E INFORME

### 7.1 CALCULOS

- 7.1.2 Calcular la pérdida (diferencia entre la masa inicial y final de la muestra) como un porcentaje de la masa original de la muestra de ensayo. Informar este valor como el porcentaje de pérdida.

**Nota 7.** El porcentaje de pérdida determinado por éste método no tiene una relación consistente conocida con el porcentaje de pérdida del mismo material cuando se determina por el Modo Operativo MTC E 207: Anexo.

### 7.2 INFORME

- 7.2.1 Proporcionar la siguiente información:
- Identificación del agregado como fuente, tipo y tamaño nominal máximo.
  - Gradación de acuerdo con la Tabla 1, utilizada para el ensayo; y
  - Pérdida por abrasión e impacto de la muestra, expresada con aproximación al 1 % por masa.

## 8.0 PRECISION Y DISPERSION

### 8.1 PRECISION.

Para tamaño máximo nominal de agregado grueso de 19,0 mm (3/4 pulg), con porcentajes de pérdida en el rango de 10 % a 45 %, el coeficiente de variación multilaboratorio ha sido establecido en 4,5 %. Luego, los resultados de dos ensayos efectuados por dos laboratorios diferentes con muestra del mismo agregado grueso, no diferirán en más de 12,7 % de su promedio. El coeficiente de variación para un mismo operador ha sido establecido en 2%. Luego, los resultados de dos ensayos efectuados por el mismo operador con muestras del mismo agregado grueso, no diferirán en más de 5,7 % de su promedio.





PERU

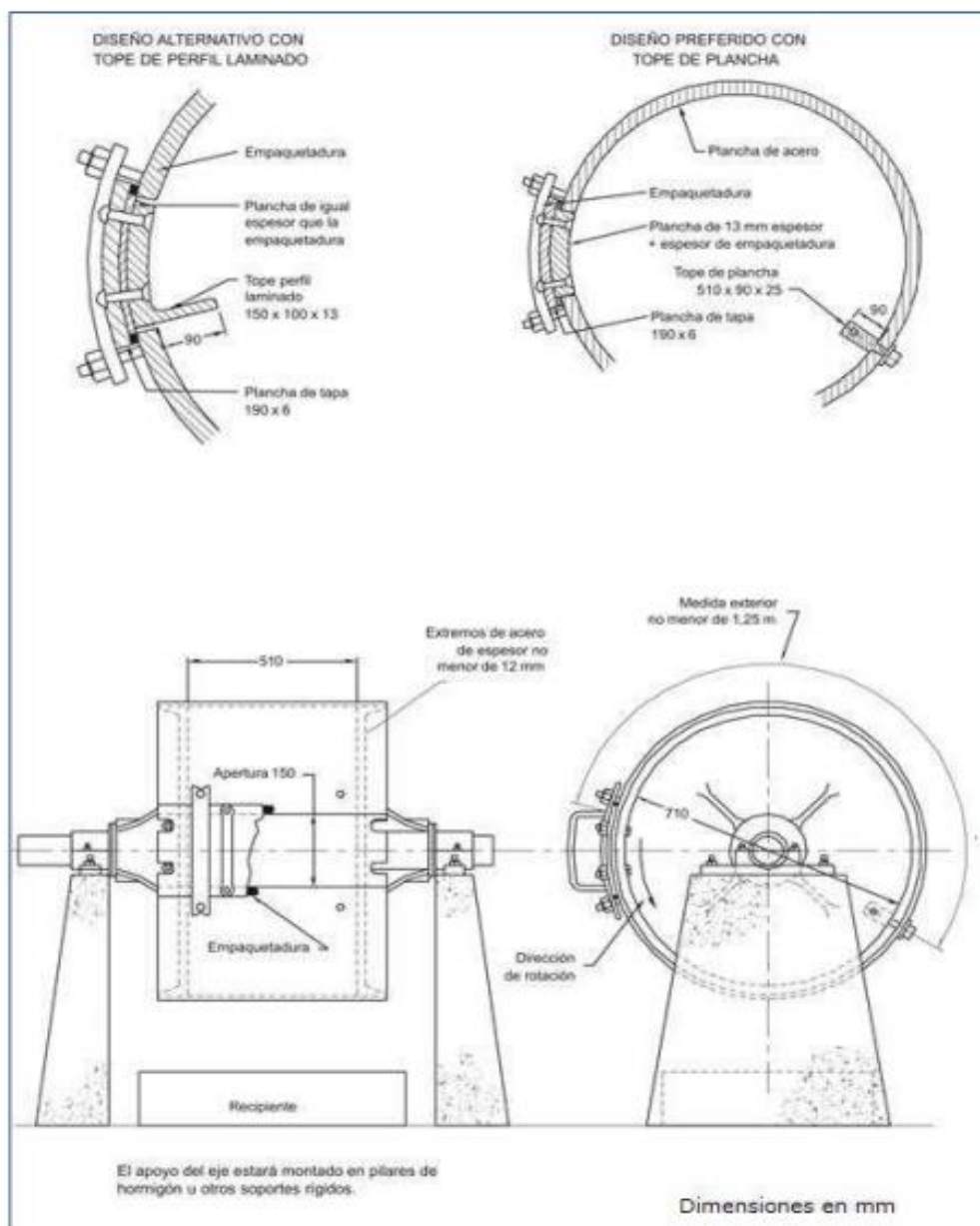
Ministerio  
de Transportes  
y ComunicacionesViceministerio  
de TransportesDirección General  
de Caminos y  
Ferrocarriles

Figura 1. Máquina de ensayo de abrasión Los Ángeles