

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO CIVIL**

**“ELABORACIÓN DE CONCRETO PERMEABLE CON ADICIÓN DE**  
**MATERIAL PLÁSTICO RECICLADO PARA PAVIMENTACIÓN EN EL**  
**DISTRITO DE PARIACOTO-ANCASH”**

**PRESENTADO POR:**

- ❖ Bach. Liz Marcia CASTILLO CASTILLO
- ❖ Bach. Eredith TRUJILLO DE LA CRUZ

**ASESOR:**

- ❖ Ms. Abner Itamar LEÓN BOBADILLA  
Chimbote – Perú

2019

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO CIVIL**

**“ELABORACIÓN DE CONCRETO PERMEABLE CON ADICIÓN DE**  
**MATERIAL PLÁSTICO RECICLADO PARA PAVIMENTACIÓN EN EL**  
**DISTRITO DE PARIACOTO-ANCASH”**

Revisado por:

---

Ms. LEÓN BOBADILLA Abner Itamar  
Asesor

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO CIVIL**

**“ELABORACIÓN DE CONCRETO PERMEABLE CON ADICIÓN DE**  
**MATERIAL PLÁSTICO RECICLADO PARA PAVIMENTACIÓN EN EL**  
**DISTRITO DE PARIACOTO-ANCASH”**

Revisado y aprobado por:

---

Ms. Julio Rivasplata Díaz  
Presidente

---

Ms. Abner Itamar Bobadilla León  
Integrante

---

Ms. Luz Esther Álvarez Asto  
Integrante

*"Año de la lucha contra la corrupción e la impunidad"*

## ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

Siendo las cuatro horas de la tarde, del cinco de noviembre dos mil diecinueve, en el Pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil del Campus Universitario de la Universidad Nacional del Santa, El Jurado Evaluador integrado por los docentes Ms. Julio César Rivasplata Díaz (Presidente), Ms. Luz Esther Álvarez Asto (Secretario), Ms. Abner Itamar León Bobadilla (Integrante) e Ing. Cirilo Lino Olascuaga Cruzado (Accesitario), en cumplimiento a la Resolución N° 472-2019-UNS-CFI y Resolución Decanal N° 633-2019-UNS-FI, dan inicio a la sustentación de la Tesis titulada **"ELABORACIÓN DE CONCRETO PERMEABLE CON ADICIÓN DE MATERIAL PLÁSTICO RECICLADO PARA PAVIMENTACIÓN EN EL DISTRITO DE PARIACOTO-ANCASH"** presentado por los Bachilleres **CASTILLO CASTILLO LIZ MARCIA** y **TRUJILLO DE LA CRUZ EREDITH**, quienes fueron asesorados por el Ms. Abner Itamar León Bobadilla, según T. Resolución Decanal N° 172-2018-UNS-FI.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

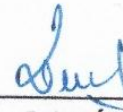
BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
CASTILLO CASTILLO LIZ MARCIA	16	BUENO

Siendo las cinco horas del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

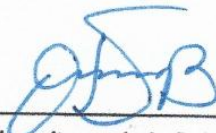
Nuevo Chimbote, 05 de noviembre de 2019



**Ms. Julio César Rivasplata Díaz**  
Presidente



**Ms. Luz Esther Álvarez Asto**  
Secretaría



**Ms. Abner Itamar León Bobadilla**  
Integrante



*"Año de la lucha contra la corrupción e la impunidad"*

**ACTA DE SUSTENTACION INFORME FINAL DE TESIS**

Siendo las cuatro horas de la tarde, del cinco de noviembre dos mil diecinueve, en el Pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil del Campus Universitario de la Universidad Nacional del Santa, El Jurado Evaluador integrado por los docentes Ms. Julio César Rivasplata Díaz (Presidente), Ms. Luz Esther Álvarez Asto (Secretario), Ms. Abner Itamar León Bobadilla (Integrante) e Ing. Cirilo Lino Olascuaga Cruzado (Accesitario), en cumplimiento a la Resolución N° 472-2019-UNS-CFI y Resolución Decanal N° 633-2019-UNS-FI, dan inicio a la sustentación de la Tesis titulada **"ELABORACIÓN DE CONCRETO PERMEABLE CON ADICIÓN DE MATERIAL PLÁSTICO REICLADO PARA PAVIMENTACIÓN EN EL DISTRITO DE PARIACOTO-ANCASH"** presentado por los Bachilleres **CASTILLO CASTILLO LIZ MARCIA** y **TRUJILLO DE LA CRUZ EREDITH**, quienes fueron asesorados por el Ms. Abner Itamar León Bobadilla, según T. Resolución Decanal N° 172-2018-UNS-FI.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
TRUJILLO DE LA CRUZ EREDITH	16	BUENO

Siendo las cinco horas del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 05 de noviembre de 2019



**Ms. Julio César Rivasplata Díaz**  
Presidente



**Ms. Luz Esther Álvarez Asto**  
Secretaria



**Ms. Abner Itamar León Bobadilla**  
Integrante

## DEDICATORIA

A mi familia, en especial a mis padres Ysela y Neptali, quienes son mi principal motivo de superación cada día, que con sus sabios consejos, comprensión y paciencia me han apoyado en todo momento a lo largo de este camino, motivándome siempre a salir adelante y alcanzar mis metas con perseverancia y esfuerzo.

*Liz Castillo*

A mi madre Rosa, quién es mi más grande inspiración, por ser mi soporte diario y forjar en mí su espíritu luchador e inquebrantable.

A mi padre Seleuco, por permitirme aprender más de la vida a su lado y motivarme constantemente para alcanzar mis anhelos.

A mis hermanas Roz y Bony, por compartir sus deseos de superación en la complicidad que siempre nos unirá.

*Eredith Trujillo*

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por ser nuestro guía, permitiéndonos culminar con esta investigación y alcanzar un propósito más en nuestra carrera.

A nuestras familias por la confianza depositada en nosotras, por su apoyo constante y por brindarnos el soporte que necesitábamos en los momentos de adversidad a lo largo de este proceso.

A los docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil, en especial a nuestro asesor Ms. Abner Itamar León Bobadilla por su permanente orientación académica durante el desarrollo de la presente tesis.

Las autoras

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
ÍNDICE GENERAL .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xiv
RESUMEN .....	xiv
ABSTRACT.....	xvii

### CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes del problema.....	19
1.2 Formulacion del problema.....	20
1.3 Objetivos.....	21
1.3.1 Objetivo general.....	21
1.3.2 Objetivos específicos .....	21
1.4 Formulación de la hipótesis.....	22
1.5 Justificación.....	22
1.6 Limitaciones del trabajo .....	22

### CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigacion.....	24
2.1.1 Referencias i nternacionales.....	24
2.1.2 Referencias nacionales.....	24
2.2 Base teorica .....	26
2.2.1 Concreto permeable .....	26
2.2.2 Estudio hidrológico.....	37
2.2.3 Pavimentos permeables.....	43
2.2.3.1 Definición .....	43
2.2.3.2 Funciones .....	44
2.2.3.3 Clasificación .....	44
2.2.3.4 Características .....	46

2.2.4	Diseño de pavimento permeable .....	48
2.2.4.1	Diseño estructural .....	48
2.2.4.2	Diseño hidrológico.....	50
2.2.5	Proceso constructivo .....	57
2.2.5.1	Preparación de la sub-rasante.....	57
2.2.5.2	Preparación de la base.....	58
2.2.5.3	Mezclado.....	58
2.2.5.4	Transporte .....	59
2.2.5.5	Colocación .....	59
2.2.5.6	Encofrados .....	60
2.2.5.7	Enrasado.....	60
2.2.5.8	Compactación .....	61
2.2.5.9	Juntas.....	62
2.2.5.10	Curado.....	63
2.2.5.11	Mantenimiento del pavimento permeable.....	64
2.2.6	Polietileno .....	66
2.2.6.1	Definición .....	66
2.2.6.2	estructura química.....	66
2.2.6.3	Propiedades .....	67
2.2.6.4	Aplicaciones.....	67
2.2.6.5	Reciclaje.....	68
2.3	Definición de terminos .....	69
2.4	Marco normativo .....	69

### **CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1	Tipo de investigación .....	73
3.2	Nivel de investigacion .....	73
3.3	Unidad de analisis.....	74
3.4	Ubicación.....	74
3.5	Poblacion y muestra .....	74
3.5.1	Población.....	74
3.5.2	Muestra .....	74
3.6	Variables.....	75

3.6.1	Variable independiente .....	75
3.6.2	Variable dependiente .....	75
3.6.3	Matriz de consistencia.....	76
3.6.4	Operacionalización de variables .....	77
3.1	Instrumentos .....	80
3.2	Procedimientos .....	81
3.2.1	Procedimiento de los ensayos para determinar las propiedades de los agregados ..	81
3.2.2	Ensayos realizados a los especímenes de concreto permeable .....	92
3.2.3	Diseño de mezcla .....	97
3.2.4	Elaboración y curado de especímenes de concreto permeable (Ntp 339.183/ Astm C 192) .....	102
-	Agregados .....	102
-	Agregado grueso .....	102
-	Agregado fino .....	102
-	Cemento pacasmayo extraforte.....	102
-	Agua.....	102
-	Polietileno .....	103

## **CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1	Resultados.....	107
4.1.1	Resultados de los ensayos realizados a los agregados .....	107
4.1.2	Diseño de mezcla .....	107
4.1.3	Resultados de los ensayos realizados a los especímenes de concreto .....	108
4.1.4	Análisis estadístico de resultados de resistencia a la compresión.....	117
4.1.5	Diseño de pavimento permeable .....	119
4.1.6	Análisis económico .....	120
4.2	Discusión .....	120

## **CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1	Conclusiones.....	124
5.2	Recomendaciones .....	125



## **CAPITULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

## **CAPITULO VII : ANEXOS**

Anexo 1: Analisis hidrológico

Anexo 2: Diseño de mezcla

Anexo 3 : Ensayos y pruebas de laboratorio

Anexo 4 : Diseño de pavimento permeable

Anexo 5: Análisis económico

Anexo 6: Ficha técnica del cemento

Anexo 7: Panel fotográfico

Anexo 8: Norma aci 522r-10

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores críticos d para la prueba Kolmogorov – Smirnov .....	41
Tabla 2. Comparación de coeficientes de escurrimiento de los distintos suelos sometidos al simulador de lluvia.....	47
Tabla 3. Espesores Mínimos recomendados según el uso de Pavimentos Ecológicos .....	49
Tabla 4. Espesores Mínimos recomendados para el total de Pavimentos Ecológicos.....	50
Tabla 5. Propiedades del material que compone la sub rasante.....	51
Tabla 6. Números de curva de esorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, Ia =0.2s).....	54
Tabla 7. Requisitos de mantenimiento de pavimento permeable .....	65
Tabla 8. Propiedades físicas y químicas del polietileno de baja densidad.....	67
Tabla 9. Cantidad de especímenes de concreto permeable por ensayo .....	75
Tabla 10. Matriz de consistencia .....	76
Tabla 11. Matriz de operacionalización.....	77
Tabla 12. Ensayo de laboratorio de los agregados según Normativa. ....	80
Tabla 13. Cantidad mínima de muestra de agregado grueso .....	83
Tabla 14. Porcentaje que pasa del agregado fino por cada abertura de malla .....	84
Tabla 15. Requisitos de granulometría para agregado grueso .....	85
Tabla 16. Peso mínimo de la muestra de ensayo .....	91
Tabla 17. Propiedades físicas de los agregados .....	107
Tabla 18. Proporciones del diseño de mezcla de concreto permeable f'c 175 kg/cm2 .....	107
Tabla 19. Proporciones del diseño de mezcla en peso de concreto permeable f'c 175 kg/cm2	108
Tabla 20. Proporciones en peso de tiras de plástico por m3 .....	108
Tabla 21. Resultados de los valores promedios de resistencia a la compresión a los 7 días de edad. ....	109

Tabla 22. Resultados de los valores promedios de resistencia a la compresión a los 14 días de edad.....	109
Tabla 23. Resultados de los valores promedios de resistencia a la compresión a los 28 días de edad.....	110
Tabla 24. Resultados globales de resistencias a los 7, 14 y 28 días. ....	111
Tabla 25. Resultados promedios del cálculo del coeficiente de permeabilidad de los especímenes de concreto ensayados a los 28 días.....	115
Tabla 26. Resultados promedios del cálculo del porcentaje de vacíos de los especímenes ensayados a los 28 días .....	116
Tabla 27. Resultados de la evaluación económica para la elaboración de concreto.....	120

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Filtración del agua a través de los poros conectados en la estructura del concreto permeable.....	26
Figura 2. Concreto permeable de cero slump. ....	30
Figura 3. Permeámetro de carga variable. ....	32
Figura 4. Influencia del tamaño de los agregados en el tamaño de poro de las mezclas de concreto permeable. ....	33
Figura 5. Agregar de 10 a 20% de arena aumenta la resistencia a la compresión. ....	34
Figura 6. Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la compresión a los 28 días. ....	34
Figura 7. Contenido mínimo de aire (15%) necesario para un adecuado flujo de filtración. ..	35
Figura 9. Relación entre a/c y la fuerza de compresión a los 28 días. ....	36
Figura 9. Relación entre a/c y contenido de aire para dos niveles de compactación. ....	36
Figura 10. Esquema de los sistemas de infiltración en los pavimentos permeables.....	45
Figura 11. Influencia de la urbanización en el drenaje natural. Castro, E. M. L. (2011), .....	48
Figura 12. Coeficiente de seguridad de colmatación .....	56
Figura 14. Base y subbase del pavimento permeable .....	58
Figura 15. Colocación de pavimento permeable.....	60
Figura 16. Enrasado del concreto permeable mediante el uso de una enrasadora vibratoria de marco con sección A. ....	61
Figura 17. Compactación del concreto permeable por medio de un rodillo de acero .....	62
Figura 18. Realización de una junta constructiva en el concreto.....	63
Figura 19. Juntas constructivas en un pavimento de concreto permeable .....	63
Figura 20. Curado del concreto permeable utilizando polietileno saturado. ....	64
Figura 21. Estructura química de una molécula de polietileno.....	66

Figura 22. Ramificaciones de una molécula de polietileno. ....	67
Figura 23. Contenido de vacíos vs. Filtración .....	98
Figura 24. Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la compresión a los 28 días para los tamaños de agregados N°8 y N°67.....	98
Figura 25. Contenido de vacíos vs. Contenido de Pasta .....	99
Figura 26. Resultados de la resistencia promedio a los 7 días de edad. ....	109
Figura 27. Resultados de la resistencia promedio a los 14 días de edad. ....	110
Figura 28. Resultados de la resistencia promedio a los 28 días de edad. ....	110
Figura 29. Comparación de resistencia a la compresión de la muestra patrón y muestra con adición del 0.075% de tiras.....	111
Figura 30. Comparación de resistencia a la compresión de la muestra patrón y muestra con adición del 0.1% de tiras.....	112
Figura 31. Comparación de resistencia a la compresión de la muestra patrón y muestra con adición del 0.125% de tiras.....	113
Figura 32. Resultados de la resistencia promedio a los 28 días.....	114
Figura 33. Coeficiente de permeabilidad de los especímenes ensayados a los 28 días. ....	115
Figura 34. Porcentaje de vacíos de los especímenes ensayados a los 28 días. ....	116

## INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Densidad de probabilidad .....	36
Ecuación 2. Distribución de probabilidad .....	36
Ecuación 3. Distribución Log Normal 3 Parámetros.....	37
Ecuación 4. Distribución Log Pearson Tipo LLL .....	37
Ecuación 5. Distribución Gumbel .....	37
Ecuación 6. Parámetro de concentración.....	38
Ecuación 7. Parámetro de localización.....	38
Ecuación 8. Relación de eventos en el mismo intervalo .....	38
Ecuación 9. Número esperado de eventos en el mismo intervalo .....	38
Ecuación 10. Diferencia de máximo valor absoluto de distribución de probabilidad.....	39
Ecuación 11. Lluvia máxima de duración $5' < d < 1440'$ .....	40
Ecuación 12. Intensidad máxima (mm/h).....	40
Ecuación 13. Intensidad de lluvia de diseño .....	41
Ecuación 14. Máxima precipitación en 24 horas.....	41
Ecuación 15. Parámetro de intensidad.....	41
Ecuación 16. Escorrentía de la zona aportante .....	51
Ecuación 17. Relación entre el número de curva y S .....	51
Ecuación 18. Números de curva equivalentes .....	52
Ecuación 19. Volumen afluente.....	53
Ecuación 20. Volumen infiltrado en función del tiempo.....	54
Ecuación 21. Volumen máximo de almacenamiento .....	55
Ecuación 22. Espesor de diseño .....	55
Ecuación 23. Tiempo de drenaje .....	56
Ecuación 24. Módulo de fineza .....	82



Ecuación 25. Contenido de humedad de los agregados.....	84
Ecuación 26. Peso unitario de los agregados.....	86
Ecuación 27. Peso específico aparente del agregado fino.....	88
Ecuación 28. Peso específico aparente del del agregado fino saturado superficialmente seca .....	88
Ecuación 29. Peso específico nominal del agregado fino .....	88
Ecuación 30. Absorción del agregado fino.....	88
Ecuación 31. Peso específico aparente del agregado grueso.....	91
Ecuación 32. Peso específico aparente del agregado grueso saturado superficialmente seco .....	91
Ecuación 33. Peso específico nominal del agregado grueso .....	91
Ecuación 34. Absorción del agregado grueso .....	91
Ecuación 35. Porcentaje de vacíos .....	93
Ecuación 36. Volumen del espécimen con espacios vacíos .....	93
Ecuación 37. Volumen del espécimen sin espacios vacíos .....	93
Ecuación 38. Coeficiente de permeabilidad .....	96
Ecuación 39. <u>Volumen de pasta</u> .....	99
Ecuación 40. Volumen de pasta .....	99
Ecuación 41. Peso del cemento en kilos.....	99
Ecuación 42. Peso del agua .....	99
Ecuación 43. Volumen absoluto de agregado .....	100
Ecuación 44. Peso húmedo del agregado grueso.....	100
Ecuación 45. Peso húmedo del agregado fino.....	101
Ecuación 46. Aporte de humedad de los agregados .....	101
Ecuación 47. Agua efectiva.....	101

## RESUMEN

La siguiente investigación consistió en la evaluación de las propiedades (resistencia a la compresión, permeabilidad y el contenido de vacíos) de un concreto permeable de  $f'c$  175 kg/cm<sup>2</sup> al incorporar tiras de plástico reciclado, con el fin de realizar un diseño de pavimento rígido y evaluar su viabilidad en el distrito de Pariacoto.

Se realizaron cuatro grupos de prueba, primero se obtuvo el diseño de mezcla idóneo siguiendo la metodología indicada en el ACI 522- R10, se utilizó la gradación huso 67, una relación agua/cemento de 0.35, 10% de finos y un porcentaje de vacíos del 17.4%, a la cual se le agregó tiras de plástico (polietileno de baja densidad) de 4mm x 20 mm en porcentajes de 0.075%, 0.1% y 0.125% del peso total de la mezcla.

Los resultados arrojaron que la adición de tiras de plástico reciclado en un 0.075% mejora la resistencia a la compresión obtenida a los 28 días de edad 5.33% , la permeabilidad y el porcentaje de vacíos obtenidos disminuyeron conforme se iba aumentando el porcentaje de adición de tiras, sin embargo estos valores se encuentran dentro del rango de aceptación y cumplen con lo establecido por la norma ACI 522R-10. Además conlleva un ahorro del 2.22% con respecto al costo de la elaboración de concreto convencional, siendo viable económicamente su aplicación con fines de pavimentación.

Palabras claves: Concreto permeable, polietileno, pavimentos, permeabilidad

## ABSTRACT

The following investigation consisted in the evaluation of the mechanical properties (compressive strength, permeability and void content) of a permeable concrete of 175 kg / cm<sup>2</sup> by incorporating recycled plastic strips, in order to perform a rigid pavement design and assess its viability in the Pariacoto district.

Four test groups were performed, the ideal mix design was first obtained after the function indicated in the ACI 522- R10, at the bottom of the spindle graduation 67, a water / cement ratio of 0.35, 10% fine and a void percentage of 17.4%, which has been told plastic strips (low density polyethylene) of 4 mm x 20 mm in percentages of 0.075%, 0.1% and 0.125% of the total weight of the mixture.

The results showed that the addition of recycled plastic strips by 0.075% improves the compressive strength at 28 days of age 5.33%, the permeability and the percentage of voids were reduced in an acceptable manner However, these values are within of the range of acceptance and compliance with the provisions of the ACI 522R-10 standard. In addition to being economically viable its application for paving purposes.

Keywords: Pervious concrete, polyethylene, flooring, permeability

# **CAPITULO I: INTRODUCCIÓN**



## CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes del problema

Un problema que en general afecta a las vías es la escorrentía superficial que proviene principalmente de la precipitación pluvial. Esta puede ser controlada a través de dispositivos diseñados por ingenieros especialistas, para aminorar parcialmente o en su totalidad los efectos negativos que dicha agua sin encauzar pueda provocar. Dentro de esos efectos se pueden nombrar los siguientes: fenómeno de “Hidroplaneo” en vehículos, inundación de viviendas, erosión de suelos, arrastre de sedimentos, disminución del nivel de servicio, desestabilización de taludes, socavación de estructuras, reducción acelerada de la vida útil de la vía, costos elevados de mantenimiento, daños de capas de rodamiento por problemas de infiltración en capas inferiores. (Arias, 2010, p.6)

Según el Ministerio de Educación de Chile (MINEDUC, 2008), en las ciudades de Valparaíso y Viña del Mar con la llegada de las lluvias, la inundación de calles fue sin duda uno de los problemas más preocupantes, principalmente por los efectos negativos asociados que se generan para quienes viven en esas áreas y para los que transitan por ellas, como conductores y peatones.

El diario El Pulso Argentino (2011), señala que: “en Argentina, los problemas de las inundaciones urbanas van incrementándose año a año, no tanto por el cambio climático como por el desordenado crecimiento urbano y la insuficiencia de obras de infraestructura para afrontar los problemas.”

En nuestro país, varias provincias de Áncash sufrieron severos daños debido a las torrenciales lluvias que cayeron por más de siete horas desde el martes 13 de Mayo de 2017. Producto de esto, hubo cientos de viviendas afectadas, así como varios tramos de la Panamericana Norte dañados, la carpeta asfáltica deteriorada y varios distritos quedaron incomunicados.



El Centro de Operaciones de Emergencia Nacional (COEN) informó que más de 1,900 kilómetros de carreteras fueron destruidos por las lluvias, huaicos e inundaciones producto del Fenómeno El Niño registrado en el año 2017. (COEN,2017)

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema general**

Los pavimentos flexibles son sistemas de drenaje demasiado lentos, permitiendo infiltraciones importantes de agua, afectando su durabilidad. Un drenaje ineficiente conduce a daños de importancia en la estructura del pavimento, así como una reducción de los niveles de servicio, dificultando el flujo normal del tránsito e incluso llegando a ocasionar accidentes. (Reyes, Torres, León, Herrera, Ruiz y Rojas, 2011, p.17) Por lo que resulta necesario solucionar los problemas en la evacuación de aguas pluviales y los producidos por la escorrentía superficial que contiene una serie de contaminantes.

La explosión demográfica en distintas zonas del Perú, muchas de ellas con importantes registros pluviales experimentan inundaciones en zonas urbanas puesto la mayoría cuenta con pavimentos convencionales que no hacen frente a la evacuación adecuada de aguas producto de lluvias. El distrito de Pariacoto no es ajeno a esta situación, ya que presenta lluvias moderadas a lo largo del año, las cuales se acrecientan entre los meses de diciembre y marzo, para lo cual su sistema vial constituido por pavimentos flexibles no se encuentra preparado. Para afrontar esta desfavorable situación presente en el distrito, se plantea el uso de técnicas de drenaje sostenible con el uso de polietileno reciclado en concreto permeable.

Por lo tanto la siguiente investigación nos lleva a plantearnos el problema:

¿Constituirá la incorporación de tiras de plástico reciclado una mejora en las propiedades del concreto permeable diseñado para pavimentos rígidos en el Distrito de Pariacoto?





### **1.2.2 Problemas específicos**

La elaboración del concreto permeable trae consigo una serie de retos, debido a su relativa menor resistencia a comparación de un concreto convencional y a su condición de permeabilidad; por lo que se generan las siguientes interrogantes:

- ¿Cuál es el diseño de mezcla del concreto permeable idóneo en la aplicación de la incorporación de tiras de plástico reciclado?
- ¿Cuál es el porcentaje óptimo de adición de material plástico reciclado en la elaboración de concreto permeable?
- ¿En qué grado la adición de material plástico reciclado afectara la resistencia a la compresión del concreto permeable?
- ¿En qué grado la adición de material plástico reciclado afectara el contenido de vacíos del concreto permeable?
- ¿En qué grado la adición de material plástico reciclado afectara la permeabilidad del concreto permeable?

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

- Evaluar la incorporación de material plástico reciclado en el comportamiento del concreto permeable en pavimentos diseñado para el distrito de Pariacoto.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Definir el diseño de mezcla del concreto permeable apropiado en la aplicación de la incorporación de fibras de plástico reciclado.
- Realizar una comparación de los resultados obtenidos, para definir el porcentaje óptimo de adición de tiras de plástico reciclado.
- Determinar la resistencia a la compresión del concreto permeable al incorporarle material plástico en su diseño de mezcla.



- Determinar el contenido de vacíos del concreto permeable al incorporarle material plástico en su diseño de mezcla.
- Determinar el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable al incorporarle material plástico en su diseño de mezclas.

#### **1.4 Formulación de la hipótesis**

Si se adiciona material plástico reciclado en la elaboración de concreto permeable. Entonces las propiedades de los pavimentos rígidos en el distrito de Pariacoto mejorarán.

#### **1.5 Justificación**

Esta investigación pretende brindar una alternativa de solución con un enfoque sostenible ante la ineficiente y lenta evacuación de aguas pluviales en el distrito de Pariacoto, por lo tanto, se busca obtener un óptimo diseño de mezcla de concreto permeable con incorporación de tiras de plástico de polietileno reciclado. Debido a la pobre cantidad de finos que caracteriza al concreto permeable, se utilizará polietileno reciclado para mejorar sus propiedades. Con el uso de concreto permeable en el diseño del pavimento, se reducirá significativamente el volumen y la velocidad de la escorrentía superficial, evitando inundaciones que interrumpen el libre tránsito de vehículos, deterioro de la vía y la integridad de las personas.

#### **1.6 Limitaciones del trabajo**

- La escasa información sobre estudios de concreto permeable con adición de tiras de plástico.
- El difícil acceso a la normatividad correspondiente al concreto permeable.
- La falta de instrumentos de laboratorio que permitan el correcto desarrollo de los ensayos requeridos.

# **CAPÍTULO II:**

# **MARCO TEÓRICO**



## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes de la investigación

#### 2.1.1 Referencias internacionales

Los primeros indicios del uso del concreto permeable se registraron en Europa para zonas de estacionamientos, muros de carga y residencias. Posteriormente en Escocia en el año 1937, se utilizó para la construcción de viviendas de dos pisos, y muros de carga en edificios de departamentos. (Kyrle, 1979, p.24)

Reyes y Torres (2002) realizaron una investigación denominada “*Efectos de las fibras plásticas en la flexión de estructuras de pavimentos drenantes*”, la cual consistió en diseñar un pavimento rígido con una estructura permeable incorporando tiras de plástico de polietileno de baja densidad (bolsas de leche). Para ello se trabajó en base a un diseño de mezcla óptimo, al que se le incorporó tiras de plástico (de 2 mm x 10 mm y de 4 mm x 20 mm) en diferentes porcentajes (0.025%, 0.05%, 0.075%, 0.100%, 0.200%, 0.300%, 0.400% y 0.500%). De los ensayos realizados, concluyeron que la tira más adecuada y el porcentaje óptimo corresponde a la tira de 4 mm x 20 mm adicionada en 0.10 %, ya que obtuvo un incremento del 3.4% en la compresión con respecto al diseño sin adición de tiras y una tasa de infiltración de  $3.12 \times 10^{-4}$  m/s.

#### 2.1.2 Referencias nacionales

Azañedo, Chavez y Muñoz (2007) en su tesis “*Diseño de mezcla de concreto poroso con agregados de la cantera La Victoria, cemento Pórtland tipo I con adición de tiras de plástico, y su aplicación en pavimentos rígidos, en la ciudad de Cajamarca*” realizaron un estudio el cual consistió en la elaboración de especímenes de concreto permeable en base a diferentes diseños de mezcla empleando la adición de tiras de plástico (Tira 1: 4mm x 20mm x 0.10mm y Tira 2: 2mm x 10mm x 0.10mm) en



diferentes porcentajes respecto al peso de la mezcla (0.025%, 0.050%, 0.075%, 0.100%, 0.200% y 0.500%). Luego de realizar los ensayos de resistencia a la compresión, flexión y permeabilidad, los autores concluyeron que el tamaño óptimo de las tiras de plástico fue la tira 1 (4mm x 20mm x 0.10mm) adicionada en un porcentaje de 0.10% del peso del total de la mezcla, la cual produce un incremento de 8.63% de resistencia y mejora sus propiedades con respecto a la mezcla base.

Aire, Calderón, Charca y Yanqui (2013), representantes de la Universidad San Agustín de Arequipa y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), realizaron una investigación llamada "Hormigón poroso. Estudio experimental usando áridos naturales y reciclados" cuyo objetivo principal fue de estudiar la colmatación en el concreto permeable.

Flores y Pacompia (2015) en su tesis *“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”*, evaluaron los parámetros de relevancia en éste tipo de concreto tales como la resistencia a la compresión, contenido de vacíos y permeabilidad, para su estudio consideraron dos diseños de mezcla variando el tamaño del agregado grueso empleado en éste (tamaño N° 57, ;granulometría natural; y tamaño N° 8 ;gradación recomendada por el ACI). Los autores determinaron que el concreto permeable realizado con la granulometría normalizada (tamaño estándar N° 8) es idónea para la adición de tiras de polipropileno de 3 mm. x 30 mm. en diferentes porcentajes, 0.05%, 0.10% y 0.15%, con respecto al peso por metro cúbico en el diseño de mezcla, concluyendo que el óptimo porcentaje de incorporación de Tiras de Polipropileno es 0.05% el cual mejora la resistencia a la compresión promedio a los 28 días en un 4.2%. Así mismo determinaron también el contenido de vacíos en estado fresco y endurecido, y el coeficiente de permeabilidad en todos los grupos de

prueba, obteniendo valores que se encuentran dentro de los rangos establecidos para el concreto permeable por el reporte ACI 522.

En nuestro país los estudios sobre este tema son muy escasos. Sin embargo, el primer uso de concreto permeable se registra en el año 2011 en el revestimiento de las tuberías de la planta de tratamiento de agua en Huachipa.

## **2.2 Base teórica**

### **2.2.1 Concreto permeable**

#### **2.2.1.1 Definición**

El concreto permeable, es un material que resulta de la mezcla de 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, que varían en tamaño de 2 a 8 mm, que permiten que el agua pase fácilmente a través de ellos. El contenido de vacíos puede variar de 15 a 35%, con resistencias a la compresión típicas de 2,8 a 28 MPa. La velocidad de drenaje del pavimento de concreto permeable variará de acuerdo al tamaño de los agregados y la densidad de la mezcla, pero en general caerá en el rango de 0,14 a 1,22 cm /s. (ACI 522R-10, 2010, p.3)



Figura 1. Filtración del agua a través de los poros conectados en la estructura del concreto permeable.

Fuente: *Elaboración propia*





### **2.2.1.2 Aplicaciones**

Entre sus usos más habituales encontramos:

- Pavimentos de bajo volumen de tránsito
- Caminos residenciales, callejones y entradas para vehículos
- Parqueos y estacionamientos
- Ciclovías
- Canchas de tenis y patios
- Sub base para pavimentos de concreto convencional
- Arrecifes artificiales
- Estabilización de taludes
- Revestimiento
- Alcorques
- Estructuras hidráulicas
- Cubiertas de piscinas
- Drenajes en bordes del pavimento
- Espigones y rompeolas
- Muros (inclusive estructurales)

### **2.2.1.3 Ventajas**

El concreto permeable es principalmente usado como una solución para el escurrimiento superficial proveniente de las aguas pluviales, mejorando así la transividad de los vehículos y permitiendo la conservación del pavimento permeable. Así mismo el concreto permeable también:

- Mejora de los servicios de estacionamiento, eliminando la necesidad de construir pozos de retención de agua.



- Gracias a su textura porosa, proporciona la tracción suficiente para los vehículos reduciendo el hidroneo sobre superficies de carreteras y autopistas.
- Reduce en gran medida el deslumbramiento sobre superficies de carretera, particularmente cuando está mojado por la noche.
- Permite la reducción del ruido de la interacción entre el neumático y el pavimento.
- Gracias a la infiltración permite eliminar o reducir el tamaño de alcantarillas.
- Permite que el aire y el agua puedan llegar a las raíces del árbol, aun cuando el pavimento está dentro de la línea de goteo árbol.
- Alimenta las reservas de agua subterránea

#### **2.2.1.4 Desventajas**

Los posibles inconvenientes que involucran el uso de concreto permeable son:

- Uso limitado en áreas con tránsito de vehículos pesados.
- Prácticas de construcción especializada
- Especial atención y cuidado en el diseño para algunos tipos de suelos, tales como suelos expansivos y los susceptibles de escarcha.
- La percolación y colmatación de la estructura del pavimento cuando el flujo del agua supera su capacidad de infiltración.

#### **2.2.1.5 Materiales**

##### **2.2.1.5.1 Agregados**

El agregado grueso utilizado en el concreto permeable debe cumplir con los requisitos de la norma ASTM C33, siendo las gradaciones más comunes: tamiz tamaño número 8, número 7, y número 67. El contenido de agregado fino es limitado en mezclas de concreto permeable ya que puede aumentar



resistencias a la compresión y la densidad, pero tiende a reducir la velocidad de flujo de agua a través del concreto (ACI 522R-10, 2010, p.10).

#### **2.2.1.5.2 Materiales cementantes**

El aglutinante principal que se utiliza en la elaboración de concreto permeable es el Cemento Portland el cual debe estar conforme a la norma ASTM C150, también se incluye el uso de materiales cementantes suplementarios tales como cenizas volantes, escoria de alto horno de la planta granulada, y humo de sílice. (ACI 522R-10, 2010, p.11)

#### **2.2.1.5.3 Agua**

“La calidad del agua para el concreto permeable se rige por los mismos requisitos que para el concreto convencional. El agua reciclada de las operaciones concretas puede ser utilizable, pero sólo si cumple las disposiciones de la norma ASTM C94 / C94M o AASHTO M-157” (ACI 522R-10, 2010, p.11).

#### **2.2.1.6 Propiedades del concreto permeable**

Las propiedades del concreto permeable dependen principalmente de su porosidad, que a su vez depende de la cantidad de cemento, agua, nivel de compactación, la calidad del agregado y su gradación. Del mismo modo el tamaño de los poros del material influye también en la resistencia a la compresión. (ACI 522R-10, 2010, p.13)

##### **2.2.1.6.1 Trabajabilidad**

El ACI 211.1 (1991) define la trabajabilidad como la facilidad con la cual se puede mezclar, transportar y compactar el hormigón aplicando una determinada cantidad de energía. Se determina con el ensayo de asentamiento y debe cumplir con los requerimientos de la norma ASTM C

143. En particular el concreto permeable se caracteriza por tener asentamiento cero (no slump).



Figura 2. *Concreto permeable de cero slump.*  
Fuente: *Elaboración propia*

#### **2.2.1.6.2 Contenido de vacíos y densidad**

El contenido de vacíos del concreto depende principalmente de la gradación del agregado, así como de la relación a/c. La densidad del concreto está directamente relacionada con el contenido de vacíos de una mezcla dada. Ambas propiedades se pueden determinar siguiendo los requerimientos de la norma ASTM C1688. (ACI 522R-10, 2010, p.16)

#### **2.2.1.6.3 Resistencia a la compresión**

Es el esfuerzo máximo que resiste el concreto sometido a una carga de aplastamiento, que se calcula dividiendo la carga máxima entre el área transversal original de una probeta.

La resistencia a la compresión del concreto permeable es fuertemente afectada por la proporción de la mezcla y esfuerzo de compactación durante la colocación, sin embargo, la alta resistencia se logra sólo con la reducción del contenido de vacíos de aire. Esto se traduce como una pérdida de eficiencia de percolación en el concreto permeable. (ACI 522R-10, 2010, p.14)



Las probetas cilíndricas deben ser sometidas al ensayo de resistencia a la compresión de acuerdo a la norma ASTM C39, “Método estándar de prueba de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto”

#### **2.2.1.6.4 Resistencia a la flexión**

Es el módulo de rotura, que mide la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada. Se evalúa sometiendo una vigueta de concreto a un ensayo de flexión de una o dos cargas concentradas, bajo los requerimientos de la norma ASTM C78 (cargada en los puntos tercios) y ASTM C293 (cargada en el punto medio). (National Ready Mixed Concrete Association, 2019, p.46)

#### **2.2.1.6.5 Permeabilidad**

Una de las características más importantes de concreto permeable es su capacidad para infiltrarse agua a través de él. La velocidad de percolación de concreto permeable está directamente relacionada con la porosidad. Las pruebas que realizó Meininger en 1988 han demostrado que se requiere una porosidad mínima de aproximadamente 15% para conseguir una tasa de infiltración significativa. (ACI 522R-10, 2010, p.10)

El objetivo en un diseño de concreto permeable es lograr un equilibrio entre la velocidad de percolación que se requiere y la resistencia a la compresión correspondiente. “El coeficiente de permeabilidad del concreto permeable normalmente se encuentra en el rango de 0.14 a 1.22 cm/s” (ACI 522R-10, 2010, p.10).

Según la investigación que realizaron Neithalath, Weiss y Olek (2003), la permeabilidad de concreto permeable se puede medir por un simple permeámetro caída de cabeza como se muestra en la figura 3.

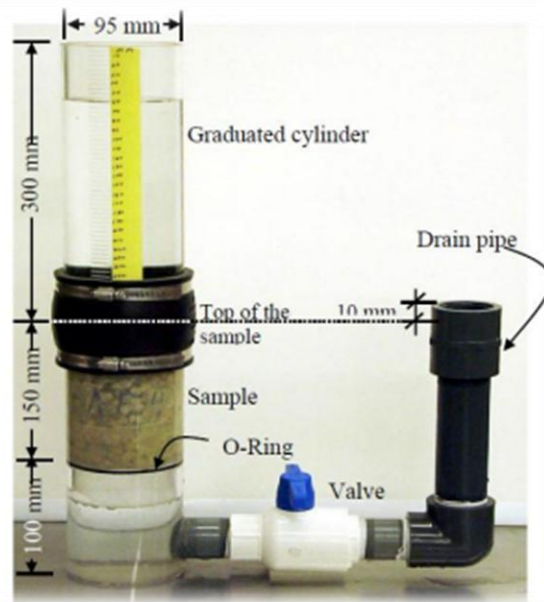


Figura 3. Permeámetro de carga variable.  
Fuente: Neithalath et al. 2003

## 2.2.1.7 Factores que influyen en el concreto permeable

### 2.2.1.7.1 Gradación del agregado grueso

La gradación del agregado grueso influye principalmente en la estructura de poros que presenta la mezcla, por lo tanto, determina el nivel de permeabilidad y el rendimiento del concreto permeable. Adicionalmente se ha comprobado que un aumento en el tamaño de los agregados también conlleva a la reducción de la resistencia a la compresión. (ACI 522R-10, 2010, p.6)

La figura 4 muestra la influencia del tamaño del agregado grueso en el tamaño de la estructura de poros, la mezcla en la que se usó agregado de tamaño 3/8” tiene el mayor tamaño de poro característico (4.76mm), mientras que la mezcla con agregado #8, tiene el tamaño de poro de más

pequeño (2,17mm). Por lo tanto, se comprueba que un aumento en el tamaño de los agregados da lugar a un incremento del tamaño de los poros. (Neithalath et al, 2003, p.68)

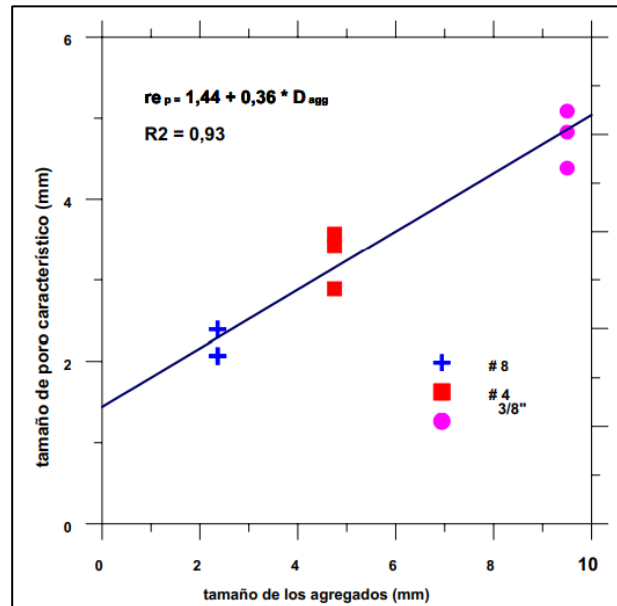


Figura 4. Influencia del tamaño de los agregados en el tamaño de poro de las mezclas de concreto permeable.

Fuente: Neithalath et al, 2003

### 2.2.1.7.2 Cantidad del agregado fino

Según Meininger (1988), la resistencia del concreto permeable se refuerza cuando se agrega una pequeña cantidad de arena (10 a 20 por ciento como porcentaje del peso total agregado). A medida que se agrega arena a la mezcla, tiende a llenar los vacíos, reduciendo el contenido de aire de 26% a 22% y 17%, y elevando la resistencia a la compresión de aproximadamente 1500 psi (10.3 MPa) a aproximadamente 2500 psi (17.2 MPa), tal como se muestra en la figura 5.

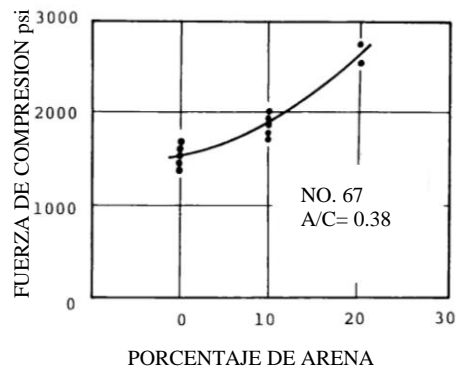


Figura 5. Agregar de 10 a 20% de arena aumenta la resistencia a la compresión.

Fuente: Meininger, 1988.

### 2.2.1.7.3 Contenido de aire

El contenido de vacíos es un factor muy importante en el comportamiento del concreto permeable, ya que influye en la resistencia a la compresión y en la permeabilidad. La figura 6 muestra que es posible obtener resistencias a la compresión relativamente altas de las mezclas de concreto permeable, pero la alta resistencia se logra con la reducción del contenido de vacíos. (Meininger, 1988, p.25)

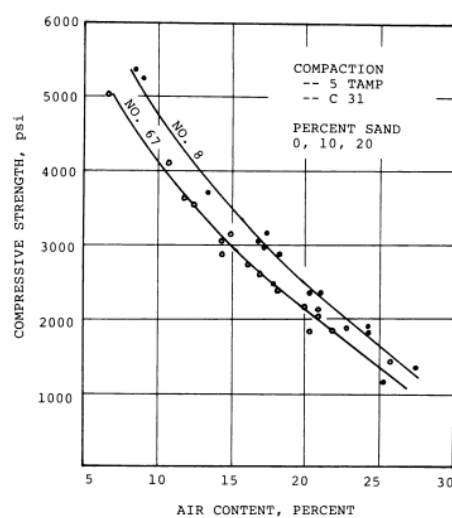


Figura 6. Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la compresión a los 28 días.

Fuente: Meininger, 1988.



La figura 7 muestra la relación entre el contenido de aire y velocidad de percolación de una mezcla de concreto permeable. Se observa que la tasa de percolación aumenta a medida que aumenta el contenido de aire y, en consecuencia, la resistencia a la compresión disminuye. Es por ello que el principal objetivo al realizar un diseño de mezcla es lograr el equilibrio entre estos factores y así obtener resultados aceptables.

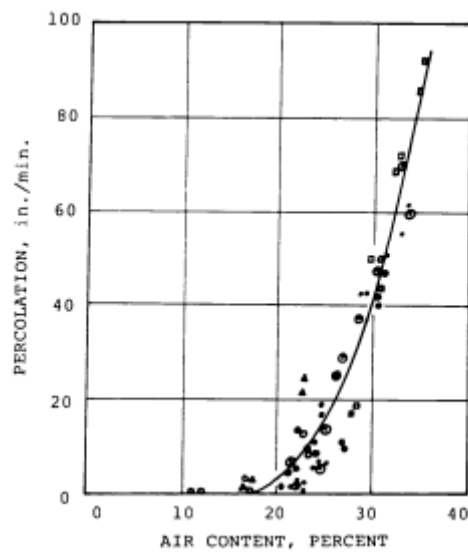


Figura 7. Contenido mínimo de aire (15%) necesario para un adecuado flujo de filtración.

Fuente:Meininger, 1988.

#### 2.2.1.7.4 Relación agua – cemento

Meininger (1988) realizó un estudio de laboratorio para investigar el efecto de la relación agua – cemento en concreto permeable para pavimentación, donde encontró un rango óptimo de relación agua – cemento. Según la apariencia de la consistencia de la pasta y la forma en que se manipula el concreto en la mezcladora indicó que las proporciones de agua en el rango de 0,35 a 0,45 son las mejores para un revestimiento eficiente del agregado. Las bajas proporciones de agua - cemento tendían a provocar la formación de bolas y el pegado del concreto en la mezcladora, lo que daba como

resultado una retención sustancial del concreto cuando el tambor se inclinaba para descargar. Las proporciones altas de agua - cemento dieron una pasta fina que podía salir del agregado durante la colocación, lo que resultaba en una mayor variabilidad y bloqueo de los canales de flujo de agua.

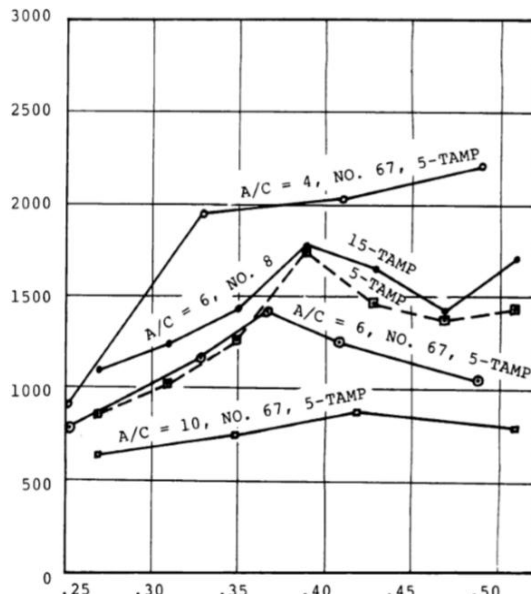


Figura 9. Relación entre a/c y la fuerza de compresión a los 28 días.  
Fuente: Meininger, 1988.

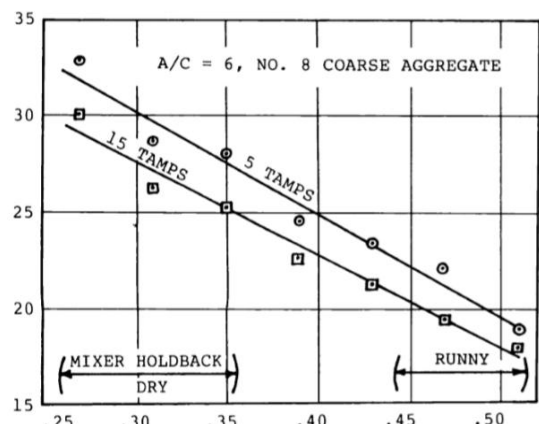


Figura 9. Relación entre a/c y contenido de aire para dos niveles de compactación.  
Fuente: Meininger, 1988.

Así mismo, Meininger (1988) concluyó que la resistencia a la compresión parece ser óptima en el rango recomendado de las relaciones de agua, ya que con una relación agua-cemento alta, la resistencia fue menor y con una relación agua-cemento muy baja (donde el contenido de aire es mayor) las resistencias se volvieron muy bajas, debido a que el volumen anterior se redujo en gran medida y no se unieron a las partículas de los agregados.



## **2.2.2 Estudio hidrológico**

### **2.2.2.1 Precipitación**

“Se llama precipitación a la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, sus mediciones y análisis, forman el punto de partida de los estudios correspondientes al uso y control del agua” (Villón, 2002, p.69).

### **2.2.2.2 Infiltración**

Chow (1994) define como el proceso de penetración del agua desde la superficie del terreno hacia el suelo. Los factores que influyen en la tasa de infiltración, son la condición de la superficie del suelo y su cubierta vegetal, la porosidad del suelo, la conductividad hidráulica, y el contenido de humedad.

### **2.2.2.3 Periodo de retorno**

Para Mélice y Reason (2007), el periodo de retorno de eventos como lluvias torrenciales, temperaturas extremas, huracanes, entre otros, se define como el tiempo o número de años que, en promedio, se espera que será igualado o excedido, es decir, es la frecuencia con la que se presenta un evento.

Según el RNE OS0.60 (2014), el sistema de drenaje menor deberá diseñarse para un periodo de retorno entre 2 y 10 años. Este está en función de la importancia económica de la urbanización.

### **2.2.2.4 Análisis estadístico de datos hidrológicos**

La hidrología estadística tiene como finalidad estimar las precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno, haciendo uso de modelos probabilísticos.



**2.2.2.4.1 Funciones de distribución de probabilidad para variables hidrológicas**

En el Manual de Hidrología e Hidráulica y Drenaje del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (2014), se presentan las siguientes formulas correspondientes a las funciones de distribución de probabilidad.

**2.2.2.4.1.1 Distribución Normal**

Se define la función de densidad de probabilidad con la siguiente formula:

$$f(x) = \frac{1}{S\sqrt{(2\pi)}} e^{\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{S}\right)^2} \dots\dots\dots(1)$$

Dónde:

$f(x)$  =Función de densidad normal de la variable x

$x$  =Variable independiente

$\mu$ = Parámetro de localización, media aritmética de x

$S$  = Parámetro de escala, desviación estándar de x

**2.2.2.4.1.2 Distribución Log Normal 2 Parámetros**

La función de distribución de probabilidad se define como:

$$P(x \leq x_i) = \frac{1}{S\sqrt{(2\pi)}} \int_{-\infty}^{x_i} e^{\frac{-(x-\bar{x})^2}{2S^2}} \dots\dots\dots(2)$$

Dónde  $\bar{x}$  y S son parámetros de distribución.

**2.2.2.4.1.3 Distribución Log Normal 3 Parámetros**

La función de probabilidades se define de la siguiente manera:

$$f(x) = \frac{1}{(x-x_0)\sqrt{2\pi.Sy}} e^{-1/2\left(\frac{\ln(x-x_0)-\mu_y}{Sy}\right)^2} \dots\dots\dots(3)$$

Para  $x > x_0$

Dónde:

$x_0$  =Parámetro de posición



$\mu_y = \text{Parametro de escala}$

$Sy^2 = \text{Parametro de forma}$

#### 2.2.2.4.1.4 Distribución Log Pearson Tipo LII

La función de probabilidades se define de la siguiente manera:

$$f(x) = \frac{(\ln x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{\ln x - x_0}{\beta}}}{x \beta^\gamma \Gamma(\gamma)} \dots\dots\dots(4)$$

Cuando:

$$x_0 \leq x < \infty$$

$$-\infty < x_0 < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

Dónde:

$x_0 = \text{Parametro de posición}$

$\gamma = \text{Parametro de forma}$

$\beta = \text{Parametro de escala}$

#### 2.2.2.4.1.5 Distribución Gumbel

La función de probabilidades se define de la siguiente manera:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \dots\dots\dots(5)$$

Aplicando el método de momentos, se obtiene lo siguiente:

$$\alpha = \frac{1.2825}{\sigma} \dots\dots\dots(6)$$

$$\beta = \mu - 0.45\sigma \dots\dots\dots(7)$$



### 2.2.2.4.2 Prueba de bondad de ajuste

Las pruebas de bondad de ajuste, son pruebas de hipótesis que se aplican para evaluar si un conjunto de datos es una muestra independiente de la distribución elegida.

#### 2.2.2.4.2.1 Prueba $\chi^2$

Esta prueba consiste en dividir los datos de un numero k de intervalos de clase. Luego se calcula el parámetro estadístico de la siguiente manera:

$$D = \sum_{i=1}^k (\theta_i - \varepsilon_i)^2 / \varepsilon_i \dots \dots \dots (8)$$

Dónde:

$\theta_i$  = Numero observado de eventos en el intervalo i

$\varepsilon_i$  se calcula de la siguiente manera:

$$\varepsilon_i = n[F(S_i) - F(I_i)] \dots \dots \dots (9)$$

$$i = 1, 2, \dots, k$$

Del mismo modo;  $F(S_i)$  es la función de distribución de probabilidad en el límite superior del intervalo,  $F(I_i)$  es la misma función límite inferior y n es el número de eventos.

Ahora, se determina el valor de la variable aleatoria con distribución  $\chi^2$  para  $v = k-1-m$  grados de libertad y un nivel de significancia  $\alpha$ , donde m es el número de parámetros estimados a partir de los datos.

La función se acepta cuando:

$$D \leq \chi^2_{1-\alpha, k-1-m}$$

El valor de  $\chi^2_{1-\alpha, k-1-m}$  se obtiene de las tablas de la función de distribución  $\chi^2$



**2.2.2.4.2.2 Prueba Kolmogorov – Smirnov**

Este método consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia (D) entre la función de distribución de probabilidad observada (FO) y la estimada (F):

$$D = \text{máx}|FO - F| \dots \dots \dots (10)$$

Con el valor crítico (d), el cual se puede seleccionar de la tabla 1, de acuerdo al número de datos y el nivel de significancia seleccionado. De modo que si:  $d > D$  Se acepta la hipótesis.

Tabla 1  
*Valores críticos d para la prueba Kolmogorov – Smirnov*

VALORES CRÍTICOS d			
Tamaño de la muestra	$\alpha=0.10$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$
5	0.51	0.56	0.67
10	0.37	0.41	0.49
15	0.3	0.34	0.4
20	0.26	0.29	0.35
25	0.24	0.26	0.32
30	0.22	0.24	0.29
35	0.2	0.22	0.27
40	0.19	0.21	0.25

Fuente: Aparicio, (1999), *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. p.112

**2.2.2.5 Curvas IDF intensidad- duración – frecuencia**

Koutsoyiannis (1998), afirma que las curvas IDF son herramientas utilizadas con el fin de realizar la planeación, diseño, revisión y protección de las obras hidráulicas, contra avenidas máximas.

Para Temez (1978), estas curvas son el resultado de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, los cuales corresponden a una misma frecuencia o periodo de retorno.



### 2.2.2.5.1 Cálculo de lluvias máximas

Aplicando el modelo de Dick y Peschke, se puede estimar la precipitación máxima para un periodo de retorno y un tiempo en minutos requerido.

$$P_d = P_{24h} \left( \frac{d}{1440} \right)^{0.25} \dots\dots\dots(11)$$

Dónde:

$d$  =duración de la lluvia en min

$P_{24h}$  =lluvia máxima diaria en mm

### 2.2.2.5.2 Intensidad

La intensidad de lluvia, se define como la tasa temporal de precipitación, es decir es, la altura de agua de precipitación por unidad de tiempo expresada en mm/hr ó pulg/hr. (Chow, 1994). Las curvas de intensidad-duración-frecuencia, se pueden calcular mediante la siguiente expresión:

$$i = \frac{P}{Td} \dots\dots\dots(12)$$

Dónde:

$P$  = Profundidad de lluvia (mm)

$Td$  = duración (hr)

### 2.2.2.5.3 Frecuencia

Según Chow (1994) la frecuencia se expresa en función del período de retorno el cual viene a ser el intervalo de tiempo promedio (expresado en años) entre eventos de precipitación que igualan o exceden la magnitud de diseño.

### 2.2.2.5.4 IILA- UNI- SENAMHI 1983 modificado

Para determinar la intensidad de la lluvia de diseño, duración y periodo de retorno definido, también se puede utilizar también las curvas IDF definidas por el estudio regional “hidrología del Perú” IILA- UM- SENAMHI 1983 modificado.





$$I_{(t,T)} = a \times (1 + K \times \text{Log } T) \times (t + b)^{n-1} \dots\dots\dots(13)$$

Para  $t < 3$  horas

Dónde:

I= Intensidad de lluvia (mm/hr)

a= Parámetro de intensidad (mm)

K= Parámetro de frecuencia (adimensional)

b= Parámetro (hora)

n = Parámetro de duración (adimensional)

t = Duración (hora)

$$P_{24} = \varepsilon_g \times (1 + K \times \text{Log } T) \dots\dots\dots(14)$$

$$a = \left(\frac{1}{t_g}\right)^n \times \varepsilon_g \dots\dots\dots(15)$$

Dónde:

$P_{24}$ = Máxima precipitación en 24 horas

T = Tiempo de retorno

$t_g$  =Duracion de la lluvia diaria, asumido en promedio 15.2 para Perú

K =K'

b = 0.5 horas (costa, centro y sur)

0.4 horas(sierra)

0.2 horas (costa norte y selva)

$\varepsilon_g$  =Parametro para determinar  $P_{24}$

### 2.2.3 Pavimentos permeables

#### 2.2.3.1 Definición

“Según Karawa y Suda (1996), un pavimento permeable o poroso, es un tipo de pavimento que utiliza un concreto hidráulico común, fabricado sin arena,



desarrollado para usarlo en pavimentos donde se requiera que el agua de lluvia no quede sobre la superficie, evitando fenómenos de Hidroplaneo” (citado en Reyes, Torres; 2002, p.95).

### **2.2.3.2 Funciones**

Raimbault y Metois (1992) señala que las funciones realizadas por la matriz porosa se componen por:

- Función mecánica, asociada al término estructura, que permite soportar los cargamentos impuestos por el tráfico de vehículos.
- Función hidráulica, asociada al término depósito, que asegura, por la porosidad de los materiales, retener temporalmente las aguas, seguido por el drenaje, y, si es posible, por infiltración en el suelo de la subrasante.

Según Azzout, Barraud, Cres y Alfakih (1994), el funcionamiento hidráulico de los pavimentos permeables se basa en:

- Entrada inmediata del agua de lluvia en el cuerpo del pavimento. Esta entrada puede ser hecha de forma distribuida (en el caso de revestimientos porosos, que permiten la penetración del agua) o localizada (a través de drenajes laterales o bocas de lobo).
- Almacenamiento temporal del agua en el interior del pavimento, en los huecos de la capa reservorio.
- Evacuación lenta del agua, que es hecha por infiltración en el suelo, por la liberación lenta hacia la red de drenaje, o una combinación de las dos formas.

### **2.2.3.3 Clasificación**

Según Schueler (1987), los pavimentos permeables se clasifican en tres categorías básicas, dependiendo del almacenamiento del agua provisto por el depósito y de la capacidad de infiltración del suelo. Siendo:

- Sistema de infiltración total: la salida del flujo es a través de la infiltración en el suelo. Por lo tanto, el depósito de piedras debe ser lo suficientemente grande para acomodar el volumen del flujo de una lluvia de diseño, menos el volumen que se infiltra durante la lluvia. De este modo, el sistema promueve el control total de la descarga de pico, del volumen y de la calidad del agua, para todos los eventos de lluvia de magnitud inferior o igual a la lluvia de proyecto.
- Sistema de infiltración parcial: En los casos en que el suelo no posee una buena tasa de infiltración, debe ser utilizado el sistema de infiltración parcial. En este caso, se debe instalar un sistema de drenaje enterrado, que consta de tubos perforados espaciados regularmente, ubicados en la parte superior del depósito de piedras.
- Sistema de infiltración para control de la calidad del agua: Este sistema se utiliza para recoger sólo el "primer paso" del flujo, que es el flujo inicial de la lluvia, que contiene la mayor concentración de contaminantes. Los volúmenes en exceso no son tratados por el sistema, siendo transportados a través de drenajes para un colector de agua pluvial.

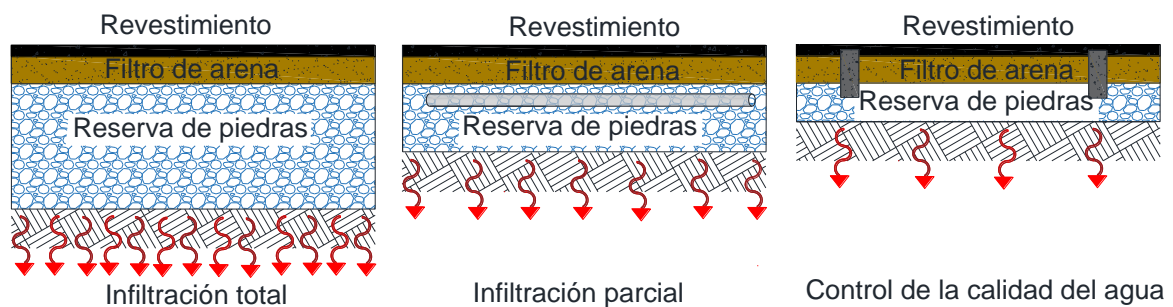


Figura 10. Esquema de los sistemas de infiltración en los pavimentos permeables.  
Fuente: Albuquerque, 2005.



## 2.2.3.4 Características

### 2.2.3.4.1 Influencia en el fenómeno de hidroplaneo

Los pavimentos convencionales suelen tener una vida de calzada menor a la esperada, el deterioro de su superficie resulta muy costoso, además presenta una deficiente adherencia en condiciones climatológicas adversas, problemas de drenaje y escurrimiento y una estrecha relación al fenómeno de hidroplaneo, causante de accidentes que muchas veces terminan siendo fatales para los conductores de los vehículos. Los pavimentos permeables pueden superar estos inconvenientes, puesto en general el concreto a comparación del asfalto tiene una vida más larga, mayor resistencia a la deformación y mantenimientos menos frecuentes, por lo que un pavimento de concreto permeable ofrece una mayor durabilidad, están libres de hidroplaneo, se adhieren con mayor facilidad a otras superficies de cemento y favorecen el drenaje y estabilización de condiciones de agua subterránea (Reyes y Torres, 2002).

Una de las particularidades de un concreto permeable es su estructura autoventilada, el gradiente térmico producido entre la capa superior e inferior es menos sustancial que en los pavimentos convencionales, motivo por el cual se ha permitido eliminar la junta longitudinal; comprobándose en laboratorio que la durabilidad de los pavimentos permeables frente a cargas de fatiga, medioambientales es similar a la de un concreto compactado (Reyes y Torres, 2002).







### 2.2.3.4.2 Desempeño hidrológico – ambiental

De Araújo, Tucci y Goldenfum (2000) evaluaron la eficiencia de los pavimentos permeables en la reducción del flujo superficial, a través de simulaciones experimentales, comparando el flujo generado en diversos tipos de

pavimento y en el suelo compactado, para lo cual utilizaron simulador de lluvia en módulos de 1 m<sup>2</sup>, para cuatro diferentes tipos de cubiertas urbanas.

Los suelos estudiados por De Araujo et al. (2000) fueron los que se presentan en la siguiente tabla 2:

**Tabla 2**  
*Comparación de coeficientes de escurrimiento de los distintos suelos sometidos al simulador de lluvia.*

<b>Suelo compactado</b>			<b>Concreto convencional</b>		
Intensidad simulada	112mm/h		Intensidad simulada	110mm/h	
Lluvia total	18.66mm		Lluvia total	18.33mm	
Escorrimento total	12.32mm		Escorrimento total	17.45mm	
Coefficiente escurrimiento	0.66		Coefficiente escurrimiento	0.95	
<b>Bloque de concreto</b>			<b>Adoquines</b>		
Intensidad simulada	116mm/h		Intensidad simulada	110mm/h	
Lluvia total	19.33mm		Lluvia total	18.33mm	
Escorrimento total	15.00mm		Escorrimento total	10.99mm	
Coefficiente de escurrimiento	0.78		Coefficiente de escurrimiento	0.6	
<b>Concreto poroso</b>			<b>Bloques huecos de concreto</b>		
Intensidad simulada	120mm/h		Intensidad simulada	110mm/h	
Lluvia total	18.33mm		Lluvia total	18.33mm	
Escorrimento total	0.01mm		Escorrimento total	0.5mm	
Coefficiente escurrimiento	0.005		Coefficiente escurrimiento	0.03	

Fuente: De Araujo, (2000), *Evaluación de la eficiencia de los pavimentos permeables en reducción de escorrentía superficial* .p.25

Los principales mecanismos de retención de contaminantes en la estructura de un pavimento permeable son la sedimentación, la filtración y la adsorción química de los materiales. Este último efecto depende del material utilizado en la sub-base del pavimento. (CIRIA, 2007, p.387)

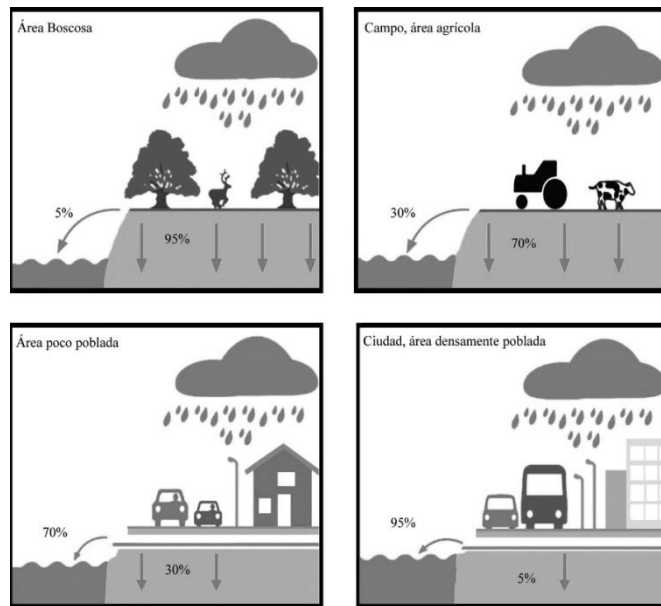


Figura 11. *Influencia de la urbanización en el drenaje natural.* Castro, E. M. L. (2011),

Fuente: *Adaptado de Interpave (2008).*

## 2.2.4 Diseño de pavimento permeable

Según García (2011), el diseño de cualquier pavimento permeable se basa en la condición de ser capaz de gestionar un determinado evento de precipitación, al mismo tiempo que debe aportar una función estructural. En base a esto, el diseño óptimo de un pavimento permeable debe realizarse atendiendo a dos aspectos: hidrológicos e hidráulicos, y estructurales.

### 2.2.4.1 Diseño estructural

El pavimento debe ofrecer una resistencia estructural suficiente para soportar ciertas cargas de tráfico de vehículos, para lo cual es necesario dimensionar las partes que componen la estructura del pavimento, siendo las siguientes:

#### 2.2.4.1.1 Capa de rodadura

Según el Reporte de concreto permeable ACI 522R-10 (2010), en base a los estudios y aplicaciones en pavimentos permeables en Estados Unidos y Europa, la



capa de rodadura debe diseñarse de acuerdo a las condiciones de tránsito según los siguientes rangos:

Tabla 3  
*Espesores Mínimos recomendados según el uso de Pavimentos Ecológicos*

Aplicaciones	Espesor mínimo (mm)
Estacionamientos	125 - 250
Calles de bajo tránsito	150 - 300

Fuente: ACI 522R-10. *Reporte de concreto permeable*. p. 17

#### 2.2.4.1.2 Base

Debo y Reese (2003) en su libro “Municipal Stormwater Management” recomiendan el uso de grava de ½” de diámetro, y un espesor variable entre 2.5 y 5 cm.

#### 2.2.4.1.3 Sub base

La sub base generalmente está formada por grava de diámetro variable entre 2.5 cm y 7.5 cm y con un espesor que depende del volumen de almacenamiento requerido. Si bien el volumen de huecos generalmente varía de 38% a 46% para gravas uniformes, para fines de diseño hidráulico se recomienda adoptar solo un 30%. Así mismo cabe resaltar que existen dos tipos de sub bases que pueden ser utilizados en los pavimentos ecológicos o permeables; las sub bases tratadas y las no tratadas. Las sub bases tratadas tienen un contenido de cemento 34 (120-170 kg por m<sup>3</sup>) o asfalto (2-2.5% en peso) que le proporciona estabilidad, permitiendo reducir su contenido de finos. Las sub bases no tratadas contienen una mayor proporción de finos para lograr una adecuada estabilidad, lo que reduce su estabilidad del estrato. (Aquino, 2015, p. 34)



#### 2.2.4.1.4 Subrasante

La subrasante constituye la cama sobre la cual se construye la estructura del pavimento y podrá ser de materiales nativos o de relleno importado. En algunos casos, el pavimento se colocará en una subbase de grava limpia o piedra triturada, que se puede usar como un depósito de aguas pluviales (ACI 522R-10, 2010).

Debo y Resse (1995) recomiendan que la subrasante tenga un CBR no menor a 6, de lo contrario no se sugiere la aplicación de un pavimento permeable. El suelo deberá conservar su capacidad de filtración natural por lo cual se excavará evitando la compactación del mismo

Tabla 4  
*Espesores Mínimos recomendados para el total de Pavimentos Ecológicos*

CBR Subrasante	Espesor Mínimo (cm)
Menos de 6	No usar pavimento permeable
6 a 9	22.5
10 a 14	15.5
15 o más	12.5

Fuente: *Debo y Reese, (2000) Municipal Stormwater Management. p.165*

#### 2.2.4.2 Diseño hidrológico

El diseño hidrológico e hidráulico de un pavimento permeable según las investigaciones realizadas por Woods-Ballard (2007) debe considerar cuatro factores esenciales:

- Estimar las características de percolación de la capa de pavimento.
- Determinar el volumen de almacenamiento, proporcionado por los poros de la subbase.
- Estimar la necesidad, y en su caso cuantificar, la capacidad del drenaje longitudinal adicional.





- Gestionar la respuesta del firme ante eventos extremos de precipitación, es decir, por encima de la tormenta de diseño.

#### 2.2.4.2.1 Evento de diseño

En Interpave (2008) definen al evento de diseño como el periodo de retorno se garantiza que el sistema se vea excedido en su capacidad pocas veces durante su vida útil. A el periodo de retomo se le suma la intensidad de la lluvia y la duración, aspectos que complementan y permiten hacer la mejor selección de la precipitación de diseño, para dimensionar el volumen de almacenamiento

Por otro lado, El Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile (MINVU, 1996) propone dos periodos de retomo para la selección de la lluvia de diseño:

T = 5 años, si hacia aguas abajo existe una red de drenaje bien desarrollada.

T = 10 años, si no existe una red de drenaje bien desarrollada.

#### 2.2.4.2.2 Selección del tipo de sistema de infiltración

La selección del tipo de sistema se lleva a cabo teniendo en cuenta las propiedades del material que compone la subrasante y el propósito con el que se desea diseñar el sistema. Este proceso se realiza mediante el seguimiento de la tabla 5 (CIRIA, 2007).

Tabla 5  
*Propiedades del material que compone la sub rasante*

Clasificación del suelo	Rango del coeficiente de permeabilidad k (m/s)	Rango del valor de CBR
Arcilla pesada	$10^{-10} - 10^{-8}$	2 - 5
Arcilla limosa	$10^{-9} - 10^{-8}$	3 - 6
Arcilla arenosa	$10^{-9} - 10^{-6}$	5 - 20
Arena pobremente gradada	$5 \times 10^{-7} - 5 \times 10^{-6}$	10 - 40
Arena bien gradada	$5 \times 10^{-6} - 10^{-4}$	10 - 40
Grava arenosa bien gradada	$10^{-5} - 10^{-3}$	30 - 80

Fuente: Ciria, (2007), *The SuDS Manual*. p. 355



### 2.2.4.2.3 Volumen de lluvia de las zonas adyacentes al sistema

Según Interpave (2008) para el cálculo del volumen aportado por las zonas aledañas, se debe obtener la escorrentía de la zona aportante ( $E_s$ ), aplicando el método de la curva CN del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) desarrollado en EEUU, o calculando el caudal de la zona adyacente ( $Q_c$ ) través del Método Racional, a continuación, se muestran las ecuaciones y tablas utilizadas para cada método.

#### 2.2.4.2.3.1 Método de la curva CN

El método desarrollado en 2007 por el SCS es una técnica que permite estimar la infiltración y depende de las siguientes propiedades: tipo hidrológico de suelo, uso de la tierra y tratamiento, y condición previa de humedad. Matemáticamente, la ecuación parte de lo siguiente.

$$E_s = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \dots\dots\dots(16)$$

Dónde:

$P$  = Precipitación de diseño

$CN$  es un número adimensional de curva o curva número y se define de la siguiente manera:

Para superficies impermeables  $0 \leq CN \leq 100$

Superficies de agua  $CN = 100$

Superficies naturales  $CN < 100$ .

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \dots\dots\dots(17)$$

Los números de curvas se aplican para condiciones para condiciones antecedentes de humedad normales AMC II. Para condiciones secas AMC I (precipitación acumulada de los 5 días previos al evento en consideración dentro del rango de 0 cm a 1.4”) o condiciones húmedas AMC III (precipitación acumulada de los 5 días



previos al evento en consideración dentro del rango de más de 2.1”), los números de curva equivalentes pueden calcularse mediante las siguientes ecuaciones:

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10-0.058CN(II)} \dots\dots\dots(18)$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10-0.13CN(II)} \dots\dots\dots(18)$$

Los números de curva han sido tabulados por el SCS de acuerdo al tipo de suelo, siendo éstos, los siguientes:

Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.

Grupo B: Suelos pocos profundos depositados por el viento, marga arenosa.

Grupo C: Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.

Grupo D: Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos. (Manual de Hidrología e Hidráulica y Drenaje del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2014, p.46)

Según Monsalve (1999), para obtener el CN, éste reemplaza para hallar la retención potencial máxima (S), para luego calcular la escorrentía (Es), al multiplicar este valor por el área adyacente que aporta, se obtiene el volumen aportante al sistema.



Tabla 6

*Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, Ia =0.2s)*

Descripción del uso de la tierra	Grupo hidrológico del suelo			
	A	B	C	D
Tierra cultivada: sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales: condiciones pobres	68	79	86	89
condiciones optimas	39	64	74	80
Vegas de rios: condiciones optimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas,	45	66	77	83
cubierta buena	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.				
óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o mas	39	61	74	80
condiciones aceptables cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	85
Distritos industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
<b>Residencial</b>				
<b>Tamaño promedio de lote</b>	<b>Porcentaje promedio impermeable</b>			
1/8 acre o menos	65	77	85	90
1/4 acre	38	61	75	83
1/3 acre	30	57	72	81
1/2 acre	25	54	70	80
1 acre	20	51	68	79
Parqueadores pavimentados, techos, accesos, etc.	98	98	98	98
<b>Calles y carreteras:</b>				
Pavimentados con cunetas y alcantarillado	98	98	98	98
Grava	76	85	89	91
Tierra	72	82	87	89

Fuente: *Manual de Hidrología e Hidráulica y Drenaje del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú.*(2015). p. 47

#### **2.2.4.2.3.2 Método racional**

Como lo señala el MINVU (1996) para hallar el volumen afluente aportado por la zona adyacente es aplicable cuando se conocen las curvas IDF correspondientes a la zona de estudio

$$V_{afl}(t) = 1.25 \times 0.001 C I_t A t = 0.00125 C A P_t^T \dots\dots\dots (19)$$

Dónde:



Vafl = Es el volumen de agua que aporta la zona adyacente al sistema (m3)

C = coeficiente de escurrimiento del área adyacente.

A = Es el área adyacente (m2)

It = Es la intensidad de la lluvia en una determinada duración, (mm/hora)

T = Tiempo de retorno (años).

t = Duración (h)

P<sub>t</sub><sup>T</sup> = Precipitación acumulada en una determinada duración y para un determinado periodo de retorno.

1.25 = factor de seguridad

#### 2.2.4.2.4 Cálculo de espesores

El MINVU (1996) propone un método de cálculo de espesor, este método se basa en las guías de diseño planteadas por diferentes autores, son las metodologías más recientes y las cuales no están sectorizadas a implementarse en una región determinada, sino se pueden adaptar a cualquier sitio. ·

##### 2.2.4.2.4.1 Método MINVU, 1996:

“El volumen máximo de almacenamiento será la diferencia entre el volumen de volumen aportado menos el volumen infiltrado, en función del tiempo” (MINVU, 1996, p.86).

$$V_{inf}(t) = 0.001fC_sA_e t \dots \dots \dots (20)$$

Donde:

f = La capacidad de infiltración de la subrasante (mm/hora)

Ae = Área del pavimento permeable (m2)

t = Duración (h)

Cs = Coeficiente de seguridad de colmatación, este valor depende de la calidad del agua y del mantenimiento al sistema, la imagen muestra el grafico para seleccionar dicho valor.

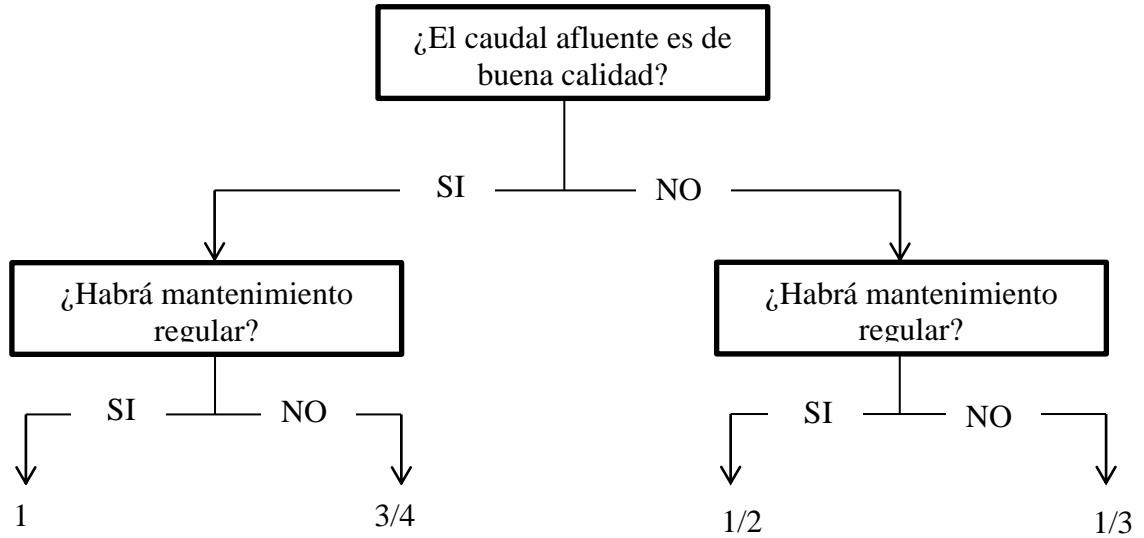


Figura 12. *Coeficiente de seguridad de colmatación*  
Fuente: MINVU, (1996)

$$V_{alm} = Max (V_{alf}(t) - V_{inf}(t)) \dots \dots \dots (21)$$

El espesor se obtiene:

$$e = \frac{V_{alm}}{pA_e} \dots \dots \dots (22)$$

Dónde:

p = Porosidad de la sub-base = 0,3.

Ae = Área del pavimento permeable (m<sup>2</sup>)

Según el MINVU (1996), con el fin de evitar la proliferación de microorganismos y malos olores, por el estancamiento del agua se debe garantizar un tiempo de drenaje inferior a 48 horas, se debe calcular el tiempo de drenaje (tn), el cual queda definido mediante la siguiente ecuación:



$$t_n = \frac{pe_s}{(C_{sf})} \dots \dots \dots (23)$$

Dónde:

$e_s$  = Espesor de la sub-base, (mm)

$f$  = La capacidad de infiltración de la subrasante, (mm/hora)

$C_s$  = Coeficiente de seguridad de colmatación, este valor depende de la calidad del agua y del mantenimiento al sistema.

$p$  = Porosidad de la sub-base, usualmente 0,3.

#### **2.2.4.2.5 Diseño de juntas**

El ACI 522.1-08 (2008) recomienda que las juntas de contracción deben colocarse a una distancia no mayor a 6 m, y que la profundidad de la junta deba ser de 1/4 a 1/3 del espesor del pavimento (con un ancho de junta mínimo para el corte con sierra de 3 mm)

### **2.2.5 Proceso constructivo**

#### **2.2.5.1 Preparación de la sub-rasante**

Antes de la preparación de la sub-rasante, deberán tomarse muestras de suelo encontrado en el lugar del proyecto, para luego realizar pruebas de permeabilidad y capacidad de carga. El tipo de suelo determinará el grado de compactación de la subrasante, debiendo compactarse entre el 90 % y 95 % de la densidad determinada por la norma AASHTO T 180, teniendo en cuenta que cuando la densidad de la subrasante incrementa, su permeabilidad disminuirá.

La superficie de la subrasante deberá libre de irregularidades, lodo o saturación al iniciar su colocación. Previamente a la colocación del concreto permeable, se humedecerá la subrasante, evitando proporcionar un nivel alto de

humedad al concreto, que reduciría la resistencia del pavimento (Hernández, 2017).

### 2.2.5.2 Preparación de la base

Si los suelos del sitio compactado o el relleno importado tienen tasas de percolación suficientes y el proyecto no se encuentra en un área donde la congelación y descongelación sea una preocupación, entonces puede que no se requiera una base de grava. El ingeniero del proyecto debe tomar esta determinación basándose en las regulaciones locales, la permeabilidad del suelo, el volumen de aguas pluviales, las cargas de tráfico previstas y el propósito del pavimento (ACI 522R-10, 2010).

Es recomendable que los últimos 15 cm de la base estén compuestos de material granular con abundante contenido de grava y una cantidad ínfima de finos, menos del 10 %. (Flores y Pacompia, 2015, p.73)



Figura 13. Base y subbase del pavimento permeable  
Fuente: Saucedo, (2010)

### 2.2.5.3 Mezclado

El mezclado de concreto permeable deberá tener un control de calidad riguroso en la dosificación de la mezcla, puesto presenta características y cantidades no convencionales. La cantidad de agua del concreto permeable suele encontrarse





entre rangos menores a lo que normalmente se usa, pero esta cantidad debe ser la necesaria para proporcionar la fuerza y permeabilidad apropiada, evitando la desintegración de los contribuyentes de la mezcla y la pérdida de la estructura porosa.

Por otro lado, el grado de absorción de los agregados debe ser supervisado minuciosamente, ya que el agua de mezcla será absorbida por el agregado, por lo que un exceso de humedad suministrado al agregado será contraproducente.

Durante el mezclado, las aspas de la mezcladora suelen adherir fuertemente una cierta cantidad de concreto permeable, por lo que será necesario que se limpien e inspeccionen regularmente (Hernández, 2017).

#### **2.2.5.4 Transporte**

Para el transporte de concreto permeable se tendrá un cuidado especial, debido al bajo contenido de agua que presenta la mezcla de concreto permeable, garantizando un rápido accionar hasta la colocación. Se recomienda descargar completamente la mezcla una hora después de hacer agregado el agua a la mezcla (Hernández, 2017).

#### **2.2.5.5 Colocación**

La mezcla de concreto permeable no suele ser bombeada, razón por la cual es importante planear una ruta de acceso en el lugar del trabajo. Previamente a la colocación, se revisará que no existan irregularidades o desalineaciones.

En cuanto a la colocación del concreto permeable debe concluir lo más rápido posible, puesto el tiempo que la mezcla fresca este expuesta, será el tiempo que se pierda el agua destinada para el curado. En general, las actividades, operaciones y equipos empleados para la colocación de concreto permeable serán planeados y seleccionados para una colocación rápida y curado inmediato (Hernández, 2017).



Figura 14. Colocación de pavimento permeable  
Fuente: Saucedo, (2010)

#### 2.2.5.6 Encofrados

Los encofrados pueden ser de madera, plástico o acero, siendo lo suficientemente resistente y estable que permitan desarrollar las operaciones de compactación y esparcimiento (Flores y Pacompia, 2015). Además, el encofrado debe ser completamente hermético, evitando escurrimientos durante el vibrado y fraguado del concreto permeable. Todos los encofrados serán limpiados y aceitados a medida que la situación lo requiera, se recomienda que sea fácilmente desmontable para evitar posibles daños a la superficie y acabado del concreto permeable (Hernández, 2017).

#### 2.2.5.7 Enrasado

Según Flores y Pacompia (2015), el proceso de enrasado de concreto permeable, requiere el uso de reglas rectas manuales para trabajos pequeños y el uso de una enrasadora vibratoria de marco con sección tipo A para áreas de concreto permeable más grandes, tal como se muestra en la figura 16:



Figura 15. Enrasado del concreto permeable mediante el uso de una enrasadora vibratoria de marco con sección A.

Fuente: López, (2010)

#### 2.2.5.8 Compactación

El tiempo de compactación debe oscilar entre los 15 y 20 minutos después de la vibración de impactos debido a la estructura de la mezcla, esto genera una evaporación rápida del agua que produce el inicio del fraguado. Cabe resaltar, que, una vez iniciado el proceso de fraguado, la compactación del rodillo no será al nivel deseado, provocando posibles agrietamientos superficiales o aparición de futuras fallas.

Una vez culminado el proceso de compactación, no se recomienda pulir la superficie, ya que esto provocaría la obstrucción de poros de la superficie, lo cual disminuiría su permeabilidad (Hernández, 2017).

Según Flores y Pacompia (2015), el rodillo debe tener un ancho adecuado para desplazarse sobre los encofrados y debe de proporcionar una presión vertical mínima de 0.7 kg/cm<sup>2</sup>.



Figura 16. *Compactación del concreto permeable por medio de un rodillo de acero*  
Fuente: López, (2010)

### 2.2.5.9 Juntas

El pavimento poroso tiene menos de un tercio de la retracción de un concreto convencional, por lo que las juntas constructivas deben ser colocadas como una prevención al agrietamiento, en un intervalo promedio de 6 metros, colocándose como máximo hasta 13,5 m, deben de tener una profundidad de  $1/3$  a  $1/4$  del espesor del pavimento, por lo que en este caso los equipos convencionales no son aplicables obligando a utilizar un rodillo especial con una hoja filosa.

En cuanto a lo que corresponde las juntas longitudinales, se colocaran en el punto medio del ancho del carril, en caso de exceder los 4,50 m; estas juntas pueden ser construidas cuando el concreto se encuentra en estado fresco con las herramientas adecuadas, o con una sierra cortadora, después de que el concreto se haya endurecido, cabe resaltar que hacer las juntas en estado fresco con las herramientas adecuadas produce un mejor resultado (Hernández, 2017).



Figura 17. Realización de una junta constructiva en el concreto  
Fuente: López, (2010)

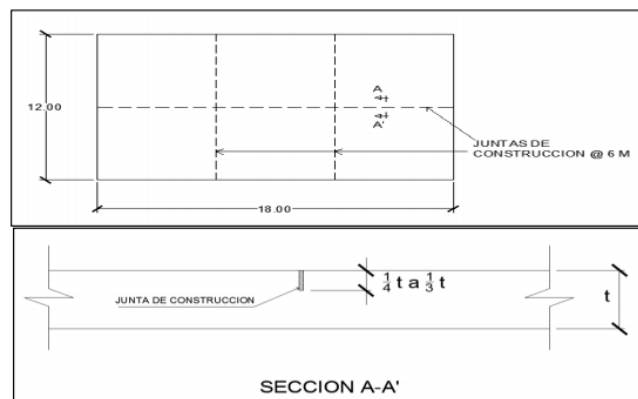


Figura 18. Juntas constructivas en un pavimento de concreto permeable  
Fuente: Hernández, (2017)

### 2.2.5.10 Curado

Para este tipo de concreto, comúnmente se usa el método de membrana que, a diferencia del método convencional que es el húmedo, aplica compuestos para el curado como polietileno saturado. Este procedimiento “se basa en cubrir la superficie expuesta con un material de polietileno claro de 0.15 mm o más grueso. Siempre se busca que se inicie en las etapas más tempranas posibles de la colocación del concreto, y toda vez que no se dañe la superficie, siguiendo los lineamientos de calidad contenidos en las normas ASTM y AASHTO vigentes, además, se recomienda, que el polietileno saturado cumpla los siguientes requisitos” (Hernández, 2017, p.81):

- Color blanco que refleje la luz solar.
- Viscosidad alta y secado al tacto en un lapso no mayor a 30 minutos.



Figura 19. Curado del concreto permeable utilizando polietileno saturado.  
Fuente: Lopez, (2010)

#### **2.2.5.11 Mantenimiento del pavimento permeable**

La inspección regular y el mantenimiento es importante para el funcionamiento eficaz de los pavimentos permeables.

A continuación, se muestra una tabla con los requisitos de mantenimiento según el tiempo.



Tabla 7  
*Requisitos de mantenimiento de pavimento permeable*

Plan de mantenimiento	Acción requerida	Frecuencia
Mantenimiento regular	El cepillado y pasar la aspiradora.	Tres veces al año al final del invierno, a mediados del verano, después de la caída de las hojas de otoño, o según sea necesario sobre la base de las observaciones específicas del sitio.
Mantenimiento ocasional	Estabilizar y cortar áreas adyacentes.	Según sea necesario.
	La eliminación de las malas hierbas.	Según sea necesario.
Acciones correctivas	Remediar cualquier paisajismo que, a través de mantenimiento de la vegetación o de deslizamiento del suelo, ha sido elevado a menos de 50 mm del nivel del pavimento	Según sea necesario.
	Trabajos de reparación de grietas que se consideren perjudicial para el rendimiento estructural o un peligro para los usuarios.	Según sea necesario.
	Rehabilitación de superficie.	Según sea necesario (si el rendimiento de la infiltración se reduce como consecuencia de la obstrucción significativa).
Vigilancia	Inspección inicial.	Mensual durante tres meses después de la instalación.
	Inspeccionar la evidencia de un mal funcionamiento y / o el crecimiento de malas hierbas. Si es necesario tomar medidas correctivas.	3 veces mensuales, 48 h después de grandes tormentas.
	Inspeccionar las tasas de acumulación de sedimentos y establecer frecuencias de cepillado apropiadas.	Anualmente.
	Monitorear cámaras de inspección.	Anualmente.

Fuente: CIRIA. *The SUDS Manual*. (2007).



## 2.2.6 Polietileno

### 2.2.6.1 Definición

El Polietileno es un polímero sintético termoplástico que se obtiene por polimerización del etileno. Es un material parcialmente cristalino y parcialmente amorfo, de color blanquecino y translucido. Los diversos tipos de Polietileno que se encuentran en el mercado son el resultado de las diferentes condiciones de operación, llevadas a cabo en la reacción de polimerización. (Roca, 2005, p.92)

“El polietileno es el termoplástico más usado actualmente en el mundo, se trata de un material de bajo costo, que puede moldearse a casi cualquier forma, extruirse para hacer fibras o soplarse para formar películas delgadas” (Hernández, 2017, p.85).

### 2.2.6.2 Estructura química

La estructura química del Polietileno es  $(CH_2-CH_2)_n$ . Esta molécula está compuesta en su unidad estructural por dos átomos de carbono y 4 átomos de hidrógeno unidos todos por enlaces de tipo covalente. La fuerza de los enlaces C-C y C-H es 347 y 414 KJ/mol respectivamente. Esta unidad básica se puede repetir indefinidamente para formar el Polietileno. (Roca, 2005, p.2)

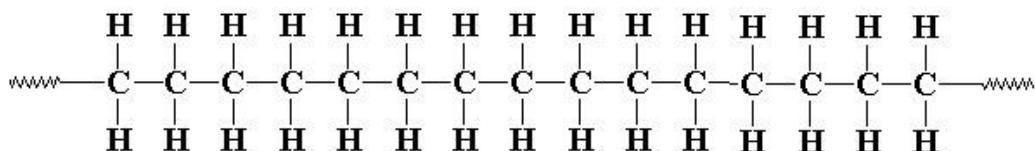


Figura 20. Estructura química de una molécula de polietileno.

Fuente: Roca, (2005).

“Cuando el polietileno tiene largas cadenas ramificadas, se denomina polietileno de baja densidad o LDPE. Cuando no hay ramificación, se obtiene lo que se conoce como polietileno de alta densidad o HDPE” (Roca, 2005, p.4).



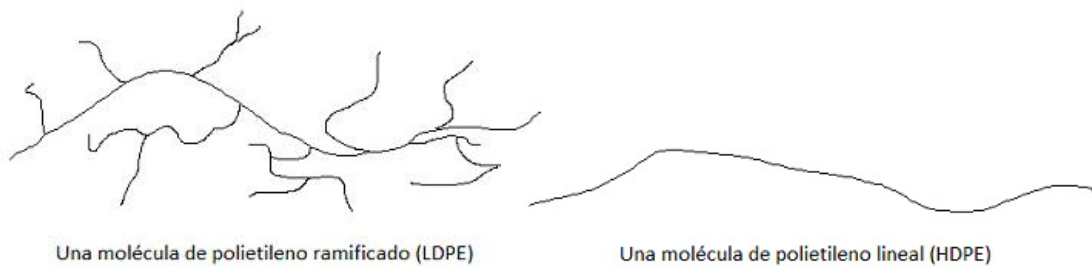


Figura 21. Ramificaciones de una molécula de polietileno.  
Fuente: Roca, (2005).

### 2.2.6.3 Propiedades

Tabla 8  
*Propiedades físicas y químicas del polietileno de baja densidad*

Propiedades Físicas	Propiedades Químicas
- Buena resistencia al impacto.	- Punto de fusión: 110 °C
- No es un buen conductor de calor ni de electricidad.	- Punto de transición vítrea: 125 °C
- Mayor flexibilidad con respecto al polietileno de alta densidad: E :0.25	- Resistencia térmica
- Coloración transparente.	- Resistencia química

Fuente: *Elaboración propia*

### 2.2.6.4 Aplicaciones

El polietileno de baja densidad, lo podemos encontrar en innumerables artículos usados en nuestra vida diaria, entre los que destacan:

- Sacos plásticos
- Recubrimiento y aislamiento de cables
- Películas estirables para empaque y embalaje
- Juguetes para niños
- Películas para invernaderos y usos agrícolas
- Utensilios desechables como platos, vasos y cubiertos



- Frascos para productos de limpieza
- Botellas retornables
- Bolsas para alimentos congelados
- Tapas flexibles para contenedores

#### **2.2.6.5 Reciclaje**

El polietileno es el plástico con el que más interactuamos en nuestro día a día, por ello es el polímero más usado del mundo. Su popularidad se debe a que su fabricación resulta más económica y simple, por lo que se generan aproximadamente unos 65 millones de toneladas anuales en el mundo entero, una cantidad exorbitante si consideramos que sola una ínfima porción de esta cantidad es reciclada.

Según diversos estudios, a nivel mundial solo alrededor de un 4% al 5% de material plástico es reciclado y no todos los plásticos que son reciclados se pueden volver a utilizar, por seguridad alimentaria. El polietileno de baja densidad por su parte, se encuentra dentro del grupo de polímeros aceptables para reciclaje, cuyo código de identificación de resinas de plástico (PIC) corresponde al número 4 o las letras “LDPE”, código empleado para identificar el tipo de resina y para facilitar la separación durante el reciclaje. Este código se encuentra dentro de un símbolo triangular con tres flechas sucesivas que indica si el tipo de plástico es apto para ser reciclado y a partir de éste, obtener nuevos productos.

Entre los principales plásticos de baja densidad reciclados encontramos las bolsas de alimentos congelados, botellas retornables, sacos plásticos, papel film, entre otros.



### 2.3 Definición de terminos

- Ecopavimento: Pavimento permeable que trata de mitigar el impacto ambiental provocado por los pavimentos tradicionales, permitiendo el paso del agua para ser absorbida por el suelo mediante un sistema de infiltración.
- Escorrentía: Parte de la precipitación que llega a alimentar a la corriente superficial, continua o intermitentes, de una cuenca.
- Hidroplaneo: Fenómeno en el que un vehículo atraviesa una capa de rodadura cubierta de agua a cierta velocidad, ocasionando una pérdida de tracción y maniobrabilidad del vehículo.
- Permeabilidad: Propiedad que posee un suelo de transmitir el agua sin alterar su estructura interna.

### 2.4 Marco normativo

- **ACI 522R-10 – Reporte sobre concreto permeable**

Informe realizado por el Comité ACI (American Concrete Institute) que proporciona los parámetros e información técnica en elaboración y aplicación del concreto permeable, los métodos de diseño, materiales, propiedades, dosificación de mezcla, construcción, métodos, pruebas e inspección.

- **NTP 339.089 - Reducción de muestras por cuarteo**

“Norma Técnica Peruana elaborada por el Comité Técnico Permanente de Geotecnia, que establece los procedimientos para obtener en el laboratorio de muestras necesarias para realizar los ensayos, de forma que sea representativa de la muestra total recibida” (NTP 339.089, 1998, p.1).



- **NTP 400.012 - Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos**

“Norma Técnica Peruana elaborada por el Comité Técnico de Normalización de Agregados, Hormigón (Concreto), Hormigón Armado y Hormigón Pretensado que establece el método para la determinación de la distribución por tamaño de partículas del agregado fino, grueso y global por tamizado (NTP 400.012, 2001, p.1).

- **NTP 339.185 - Contenido de humedad de los agregados**

“Norma Técnica Peruana elaborada por el Comité Técnico de Normalización de Agregados, Hormigón (Concreto), Hormigón Armado y Hormigón Pretensado que establece los procedimientos para determinar el porcentaje total de humedad evaporable en una muestra de agregado fino o grueso por secado” (NTP 339.185, 2002, p.1).

- **NTP 400.017 - Peso unitario de los agregados**

Norma Técnica Peruana elaborada por el Comité Técnico de Normalización de Agregados, Hormigón (Concreto), Hormigón Armado y Hormigón Pretensado que establece los procedimientos para determinar el peso unitario suelto y compactado del agregado fino o grueso” (NTP 400.017, 2002, p.1).

- **NTP 400.022 - Peso específico y absorción del agregado fino**

“Norma Técnica Peruana elaborada por el Comité Técnico de Normalización de Agregados, Hormigón (Concreto), Hormigón Armado y Hormigón Pretensado que establece los procedimientos para determinar el peso específico, peso nominal y absorción del agregado fino” (NTP 400.022, 2002, p.1).

- **NTP 400.021 - Peso específico y absorción del agregado grueso**

“Norma Técnica Peruana elaborada por el Comité Técnico de Normalización de Agregados, Hormigón (Concreto), Hormigón Armado y Hormigón Pretensado que



establece los procedimientos para determinar el peso específico, peso nominal y absorción del agregado grueso” (NTP 400.021, 2002, p.1).

- **NTP 339.034 – Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión, en muestras cilíndricas**

“Norma Técnica Peruana elaborada por el Comité Técnico de Normalización de Agregados, Hormigón (Concreto), Hormigón Armado y Hormigón Pretensado que establece la determinación de la resistencia a la compresión en probetas cilíndricas y extracciones diamantinas del concreto” (NTP 339.034, 2002, p.1).

**CAPÍTULO III:  
MATERIALES Y  
MÉTODOS**

## CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1 Tipo de investigación

- Investigación Aplicada

La presente investigación es aplicada ya que las pruebas y ensayos buscan aplicar y utilizar los conocimientos sobre el material plástico en concretos permeables y de esta manera establecer un diseño de mezcla que cuente con las características adecuadas en cuanto a resistencia a la compresión, permeabilidad y contenido de vacíos.

### 3.2 Nivel de investigación

#### 3.2.1 Según el tiempo en que se efectúa

- Investigación Longitudinal

Esta investigación es longitudinal debido a que las pruebas de resistencia a la compresión de los testigos de concreto se realizaron en un periodo de tiempo determinado de 7, 14 y 28 días.

#### 3.2.2 Según la naturaleza de la información

- Investigación Experimental

La investigación empleada en este proyecto es experimental por lo cual se realizarán ensayos de laboratorio, como resistencia a la compresión, permeabilidad y contenido de vacíos, con el propósito de determinar un diseño de mezcla de concreto permeable que cuente con las características adecuadas para pavimentación al adicionarle material plástico reciclado.

#### 3.2.3 Según la extensión del estudio

- Investigación de Campo

Según la extensión del estudio la investigación es de campo. Se aplicará extrayendo datos e información directamente de la realidad a través del uso de técnicas de recolección de datos.



### 3.2.4 Según su objetivo general

- Investigación Evaluativa

La investigación a realizar es evaluativa, puesto que se evalúa los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en laboratorio, los cuales se analizan y comparan para determinar el porcentaje óptimo de tiras de plástico reciclado que se debe agregar al diseño de mezcla de concreto permeable para mejorar sus propiedades de resistencia a la compresión, permeabilidad y contenido de vacíos.

### 3.3 Unidad de análisis

Testigos de concreto permeable

### 3.4 Ubicación

Localidad : Pariacoto  
Distrito : Pariacoto  
Provincia : Huaraz  
Departamento : Ancash

### 3.5 Población y muestra

#### 3.5.1 Población

La población está constituida por un conjunto de especímenes de concreto permeable de 150 x 300 mm y de 100 x 150 mm, elaborados con agregado grueso HUSO 67 y con adición de material plástico reciclado (polietileno).

#### 3.5.2 Muestra

La selección de la muestra fue de tipo no probabilístico, porque no se emplearon cálculos estadísticos, solo criterios de selección según el objetivo de esta investigación.

La cantidad de especímenes se determinó según las pruebas de laboratorio, las cuales se pueden observar en el siguiente cuadro:



Tabla 9

*Cantidad de especímenes de concreto permeable por ensayo*

Propiedades	Muestra											
	Patrón			PA 0.075%			PB 0.10%			PC 0.125%		
	Días			Días			Días			Días		
	7	14	28	7	14	28	7	14	28	7	14	28
Resistencia a la compresión	6	6	12	6	6	12	6	6	12	6	6	12
Contenido de vacíos	-	-	3	-	-	3	-	-	3	-	-	3
Permeabilidad	-	-	5	-	-	5	-	-	5	-	-	5

Fuente: *Elaboración propia; 2019*

### 3.6 Variables

#### 3.6.1 Variable independiente

Porcentaje de adición del material plástico reciclado.

#### 3.6.2 Variable dependiente

Propiedades del concreto permeable elaborado.

### 3.6.3 Matriz de consistencia

Tabla 10

*Matriz de consistencia*

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variables	
¿Constituirá la incorporación de tiras de plástico reciclado una mejora en las propiedades del concreto permeable diseñado para pavimentos rígidos en el Distrito de Pariacoto?	Evaluar el efecto de la incorporación de material plástico reciclado en el comportamiento del concreto permeable en pavimentos diseñado para el distrito de Pariacoto.	La adición del material plástico reciclado en la elaboración de concreto permeable mejora sus propiedades.	Variable Dependiente	Propiedades del concreto permeable
			Variable Independiente	Tiras de plástico reciclado
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variables	
¿Cuál es el diseño de mezcla del concreto permeable idóneo en la aplicación de la incorporación de tiras de plástico reciclado?	Determinar el diseño de mezcla de concreto permeable idóneo en la aplicación de la incorporación de material plástico reciclado.	El diseño de mezcla del concreto permeable idóneo en la aplicación de la incorporación de tiras de plástico, emplea la gradación Huso N° 67 del agregado grueso.	Variable Dependiente	Diseño de mezcla de concreto permeable
			Variable Independiente	Tamaño del agregado grueso
¿Cuál es el porcentaje óptimo de adición de material plástico reciclado en la elaboración de concreto permeable?	Determinar el porcentaje óptimo de material plástico reciclado que permita mejorar todas las propiedades del concreto permeable.	El porcentaje óptimo de adición de material plástico en la elaboración de concreto permeable es de 0.075%	Variable Dependiente	Mezcla de concreto permeable
			Variable Independiente	Porcentaje óptimo de material plástico reciclado
¿En qué grado la adición de material plástico reciclado afectara la resistencia a la compresión del concreto permeable?	Incrementar la resistencia a la compresión del concreto permeable	La adición de material plástico reciclado incrementa la resistencia a la compresión del concreto permeable	Variable Dependiente	Resistencia a la compresión
			Variable Independiente	Material plástico reciclado en porcentajes de 0.075%, 0.1% y 0.125%
¿En qué grado la adición de material plástico reciclado afectara el contenido de vacíos del concreto permeable?	Mejorar las condiciones de contenido de vacíos del concreto permeable	La adición de material plástico reciclado mejora las condiciones de contenido de vacíos del concreto permeable	Variable Dependiente	Contenido de vacíos
			Variable Independiente	Material plástico reciclado en porcentajes de 0.075%, 0.1% y 0.125%
¿En qué grado la adición de material plástico reciclado afectara la permeabilidad del concreto permeable?	Mejorar las condiciones de contenido de vacíos del concreto permeable	La adición de material plástico reciclado mejora las condiciones de permeabilidad del concreto permeable	Variable Dependiente	Coefficiente de permeabilidad
			Variable Independiente	Material plástico reciclado en porcentajes de 0.075%, 0.1% y 0.125%

Fuente: *Elaboración propia; 2019*



### 3.6.4 Operacionalización de variables

Tabla 11

*Matriz de operacionalización*

<b>VARIABLES</b> (Del problema general)	<b>DEFINICION CONCEPTUAL</b>	<b>DEFINICION OPERACIONAL</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>HERRAMIENTAS</b>	<b>METODOS</b>
<b>VARIABLE DEPENDIENTE:</b> Propiedades del concreto permeable	Son características de un concreto de alta porosidad como la resistencia, trabajabilidad, durabilidad, permeabilidad y contenido de vacíos.	Se refiere a la resistencia, permeabilidad y contenido de vacíos que se obtendrán luego de elaborar el concreto permeable, y se medirán a través de los ensayos y pruebas estandarizadas en laboratorio.	Normativa	Resistencia a la compresión	NTP 339.034	Ensayo de Resistencia a la compresión
			Física	Trabajabilidad	ASTM-C143	Ensayo Normalizado para Asentamiento de Concreto de Cemento
				Contenido de vacíos	ASTM-C1688	Ensayo de contenido de vacíos
			Mecánica	Permeabilidad	ACI 522R-10	Ensayo de permeabilidad
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE:</b> Tiras de plástico reciclado	Es un polímero termoplástico conformado por unidades repetitivas de etileno. (Roca, 2005)	Se refiere al polietileno de baja densidad, cortado en tiras de 4 x 20mm, proveniente de sacos y botellas descartables.	Técnica	Dosificación de tiras de plástico	Antecedentes de investigaciones	Ensayos de laboratorio Análisis y comparación de resultados
<b>VARIABLES</b> (De los problemas específicos)	<b>DIMENSION CONCEPTUAL</b>	<b>DEFINICION OPERACIONAL</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>HERRAMIENTAS</b>	<b>METODOS</b>
<b>VARIABLE DEPENDIENTE:</b> Diseño de mezcla de concreto permeable	Es el procedimiento estándar que contiene todos los parámetros a considerar para diseñar un concreto con determinada resistencia	Se refiere al diseño de mezcla establecido por el ACI- 522 "Reporte sobre concreto permeable"	Normativa	Dosificación de mezcla de concreto permeable	ACI 522R-10	Ensayo de Resistencia a la compresión
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE:</b> Tamaño del agregado grueso	Son las dimensiones y gradaciones de rocas ígneas obtenidas por trituración artificial de rocas	Se refiere a los Husos N°57, N° 67 y N°8 que recomienda el ACI - 522 en la elaboración del concreto permeable.	Física	Granulometría	NTP 400.012	Análisis granulométrico del agregado grueso
<b>VARIABLE DEPENDIENTE:</b> Mezcla de concreto permeable	Son las cantidades de cemento y de otros materiales (agua, piedra, arena, otros aditivos) que se necesitan para obtener la	Se refiere a las proporciones de cemento, arena, piedra y agua que se requieran para obtener un concreto poroso, según el ACI - 522.	Normativa	Resistencia a la compresión	NTP 339.034	Lectura de norma
				Ensayo de materiales	Manual de ensayo de materiales MTC	Verificación y selección de muestras y procedimientos
				Cemento	R.N.E	Verificación de parámetros de



**“ELABORACIÓN DE CONCRETO PERMEABLE CON ADICIÓN DE MATERIAL PLÁSTICO RECICLADO PARA PAVIMENTACIÓN EN EL DISTRITO DE PARIACOTO-ANCASH”**

	resistencia y durabilidad requeridas, de acuerdo al uso que se le va a dar al concreto.		Física	Agregado Fino y Grueso	NTP 339.089, 339.185, 400.012, 400.021, 400.022	calidad del cemento Todos los ensayos de laboratorio que comprendan
			Técnica	Diseño de mezcla	Probetas de concreto	Procesamiento de datos en hoja de cálculo Excel
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE:</b> Porcentaje óptimo de material plástico reciclado	Es un polímero termoplástico conformado por unidades repetitivas de etileno. (Roca, 2005)	Se refiere a la proporción de tiras de polietileno de baja densidad de 4 x 20 mm que ofrece mayores mejoras en las propiedades del concreto	Técnica	Dosificación de tiras de plástico	Antecedentes de investigaciones	Ensayos de laboratorio Análisis y comparación de resultados
<b>VARIABLE DEPENDIENTE:</b> Resistencia a la compresión	Es un ensayo técnico para determinar la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo de compresión	Se refiere a los valores que determinen si se ha llegado a la resistencia requerida	Normativa Física	Resistencia a la compresión	NTP 339.034	Ensayo de Resistencia a la compresión
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE:</b> Material plástico reciclado en porcentajes de 0.075%, 0.1% y 0.125%	Es un polímero termoplástico conformado por unidades repetitivas de etileno. (Roca, 2005)	Se refiere a las tiras de polietileno de baja densidad de 4 x 20 mm que se incorpora a la mezcla en diferentes proporciones	Técnica	Dosificación de tiras de plástico	Antecedentes de investigaciones	Ensayos de laboratorio Análisis y comparación de resultados
<b>VARIABLE DEPENDIENTE:</b> Contenido de vacíos	Es el porcentaje de aire atrapado en el concreto, que depende del volumen de los poros o el nivel de porosidad del concreto.	Se refiere a los valores que se miden en el concreto endurecido para determinar si cumple con la condición de concreto permeable.	Normativa Física	Contenido de vacíos	ASTM-C1688	Ensayo de contenido de vacíos por desplazamiento de volúmenes
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE:</b> Material plástico reciclado en porcentajes de 0.075%, 0.1% y 0.125%	Es un polímero termoplástico conformado por unidades repetitivas de etileno. (Roca, 2005)	Se refiere a las tiras de polietileno de baja densidad de 4 x 20 mm que se incorpora a la mezcla en diferentes proporciones	Técnica	Dosificación de tiras de plástico	Antecedentes de investigaciones	Ensayos de laboratorio Análisis y comparación de resultados
<b>VARIABLE DEPENDIENTE:</b> Coeficiente de permeabilidad	Es la cantidad de migración de agua u otras sustancias líquidas por los poros del material en un determinado tiempo	Se refiere a los valores que se miden en el concreto endurecido para determinar si cumple con la condición de concreto permeable.	Normativa Física	Coeficiente de permeabilidad	ACI 522R-10	Ensayo de permeabilidad



**“ELABORACIÓN DE CONCRETO PERMEABLE CON ADICIÓN DE MATERIAL PLÁSTICO RECICLADO PARA PAVIMENTACIÓN EN EL DISTRITO DE PARIACOTO-ANCASH”**

---

<b>VARIABLE INDEPENDIENTE:</b> Material plástico reciclado en porcentajes de 0.075%, 0.1% y 0.125%	Es un polímero termoplástico conformado por unidades repetitivas de etileno. (Roca, 2005)	Se refiere a las tiras de polietileno de baja densidad de 4 x 20 mm que se incorpora a la mezcla en diferentes proporciones	Técnica	Dosificación de tiras de plástico	Antecedentes de investigaciones	Ensayos de laboratorio Análisis y comparación de resultados
---	---	---	---------	-----------------------------------	---------------------------------	--

---

Fuente: *Elaboración propia; 2019*

### 3.7 Instrumentos

Para el proceso de recolección de datos se realizaron ensayos en el Laboratorio de Suelos y de Concreto de la Universidad Nacional del Santa, mediante éstos se determinaron las propiedades de los agregados y posteriormente de los especímenes de concreto permeable, para luego comparar los resultados de las pruebas a través de tablas y cuadros.

#### - Ensayos realizados a los agregados

Tabla 12

*Ensayo de laboratorio de los agregados según Normativa.*

Ensayo de laboratorio	Norma nacional	Norma internacional
Reducción de muestras por cuarteo	NTP 339.089	ASTM C702
Contenido de humedad	NTP 339.185	ASTM D2216
Análisis granulométrico de agregados	NTP 400.012	ASTM C136
Peso unitario suelto y compactado	NTP 400.017	ASTM C29
Peso específico y absorción de A°G°	NTP 400.021	ASTM C127
Peso específico y absorción de A°F°	NTP 400.022	ASTM C128

Fuente: *Elaboración propia; 2019*

#### - Ensayos a los especímenes de concreto

Resistencia a la compresión

Contenido de vacíos.

Prueba de permeabilidad

#### - Diseño de mezcla

#### - Elaboración de especímenes de concreto



### 3.8 Procedimientos

#### 3.8.1 Procedimiento de los ensayos para determinar las propiedades de los agregados

##### 3.8.1.1 Reducción de muestras por cuarteo (NTP 339.089 / ASTM C702)

###### 3.8.1.1.1 Equipos y materiales:

- Cucharón metálico
- Regla metálica de 60cm
- Brocha
- Recipientes

###### 3.8.1.1.2 Procedimiento:

- Se colocó la muestra de agregado sobre una superficie limpia y horizontal evitando la pérdida del material o la adición de sustancias extrañas.
- Luego de mezclar bien se formó una pila en forma de cono, repitiendo esta operación cuatro veces. Cada palada tomada de la base se depositó en la parte superior de la pila, asegurando que así, el material caiga uniformemente por los lados de la misma.
- Posteriormente se aplanó y extendió cuidadosamente la pila cónica hasta formar una base circular de espesor y diámetro uniforme, presionando hacia abajo con el cucharón, de tal manera que cada cuarteo del sector contenga el material original.
- Luego con uso de la regla metálica se dividió el material en cuatro partes iguales, de las cuales se separaron dos cuartos diagonalmente opuestos, incluyendo todo el material fino.
- Los dos cuartos restantes del procedimiento anterior se mezclaron y se repitió esta operación hasta obtener la cantidad de muestra requerida para cada ensayo.



### 3.8.1.2 Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos (NTP 400.012 / ASTM C136)

#### 3.8.1.2.1 Equipos y materiales:

- Balanza con aproximación de 0.01g
- Horno con una temperatura uniforme de 110 +- 5°C
- Tamices normalizados: 1”, ¾”, ½”, 3/8”, N°4, N°8, N°16, N°30, N°50,  
N°100, N°200, fondo y tapa.
- Agitador de mallas mecánico.
- Recipientes
- Cucharon metálico
- Cepillo

#### 3.8.1.2.2 Muestra

Luego de reducir la muestra por cuarteo se consideró lo siguiente:

##### *Agregado fino*

Se utilizó una cantidad de 2 kg de agregado después de ser secado.

##### *Agregado grueso*

La cantidad de agregado grueso que se utilizó fue de 2 kg conforme a lo indicado en la norma correspondiente.



Tabla 13  
*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 ½	15
50,0	2	20
63,0	2 ½	35
75,0	3	60
90,0	3 ½	100
100,0	4	150
125,0	5	300

Fuente: *NTP 400.012. p.10*

### 3.8.1.2.3 Procedimiento

- Se seleccionaron los tamices de tamaños correspondientes al tipo de agregado a ensayar y encajarlos en orden decreciente, de acuerdo al tamaño de abertura, para el agregado grueso: 1”, ¾”, ½”, 3/8”, N°4 y para el agregado fino: N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200.
- Se colocó la muestra sobre el tamiz superior y se realizó el tamizado por medio de un tamizador mecánico, durante un período de tiempo 10 minutos.
- Se determinó el peso del material retenido en cada tamiz.
- El peso total del material después de haber realizado el tamizado, fue verificado con el peso original de la muestra ensayada inicialmente.

### 3.8.1.2.4 Cálculos

- Se determinó el porcentaje retenido sobre cada tamiz, porcentaje retenido acumulado y porcentaje que pasa, con aproximación de 0.1% en base al peso total de la muestra ensayada.
- Se determinó el módulo de fineza mediante la siguiente formula:

$$MF = \frac{\text{Tamiz N}^\circ (4+8+16+30+50+100)}{100} \dots\dots\dots(24)$$

- Se comprobó que la granulometría del agregado fino se encuentre dentro de los límites establecidos por la norma NTP 400.012.

Tabla 14  
*Porcentaje que pasa del agregado fino por cada abertura de malla*

Abertura de malla		Porcentaje que pasa
9.51 mm	3/8"	100
4.75 mm	N°4	95-100
2.36 mm	N°8	80-100
1.18 mm	N°16	50-85
600 µm	N°30	25-60
300 µm	N°50	10-30
150 µm	N°100	2-10

Fuente: *NTP 400.012.p,4*

- Del mismo modo se comprobó que la granulometría del agregado grueso se encuentre dentro de los límites establecidos por la norma NTP 400.012.



**“ELABORACIÓN DE CONCRETO PERMEABLE CON ADICIÓN DE MATERIAL PLÁSTICO RECICLADO PARA PAVIMENTACIÓN EN EL DISTRITO DE PARIACOTO-ANCASH”**

Tabla 15

*Requisitos de granulometría para agregado grueso*

Tamaño Número	Tamaño nominal (mallas con aberturas cuadradas)	Cantidades más finas que pasan cada tamiz de laboratorio (Aberturas cuadradas), % en peso													
		100 mm (4")	90 mm (3 1/2")	75 mm (3")	63 mm (2 1/2")	50 mm (2")	37.5 mm (1 1/2")	25.0 mm (1")	19.0 mm (3/4")	12.5 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")	4.75 mm (N°4)	2.36 mm (N°8)	1.18 mm (N° 16)	300 µm (N° 50)
1	3 1/2" a 1 1/2"	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...	...
2	2 1/2" a 1 1/2"	...	...	100	100	...	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...	...
3	2" a 1"	...	...	...	100	...	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...
357	2" a N°4	...	...	...	100	100	...	35 a 70	...	10 a 30	...	0 a 5	...	...	...
4	1 1/2" a 3/4"	...	...	...	...	100	100	20 a 55	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...
467	1 1/2" a N°4	...	...	...	...	100	100	...	35 a 70	...	10 a 30	0 a 5	...	...	...
5	1" a 1/2"	...	...	...	...	...	...	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...	...	...
56	1" a 3/8"	...	...	...	...	...	...	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	...	...	...
57	1" a N°4	...	...	...	...	...	...	95 a 100	...	25 a 60	...	0 a 10	0 a 5	...	...
6	3/4" a 3/8"	...	...	...	...	...	...	100	100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	...	...	...
67	3/4" a N°4	...	...	...	...	...	...	100	100	...	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...
7	1/2" a N°4	...	...	...	...	...	...	...	100	100	...	40 a 70	0 a 15	0 a 5	...
8	3/8" a N°8	...	...	...	...	...	...	...	...	100	100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	...
89	3/8" a N°16	...	...	...	...	...	...	...	...	100	100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	N°4 a N°16	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100	100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Fuente: NTP 400.012

### 3.8.1.3 Contenido de humedad de los agregados (NTP 339.185 / ASTM D2216)

#### 3.8.1.3.1 Equipos y materiales:

- Balanza con aproximación de 0.01g
- Horno con una temperatura uniforme de 110 +- 5°C
- Recipientes para las muestras

#### 3.8.1.3.2 Procedimiento:

- Luego de reducir la muestra por cuarteo, se seleccionaron 3 muestras representativas de agregado y se colocaron sobre los recipientes previamente tarados.
- Se pesó y registró el peso de los recipientes con el agregado, con una precisión del 0.1%.
- Se colocó el recipiente con la muestra en el horno y se mantuvo una temperatura uniforme de 110 +- 5°C durante 24 horas.
- Se pesó y registró la masa de la muestra seca con una aproximación del 0.1%.

#### 3.8.1.3.3 Cálculos:

- Se calculó el contenido de humedad utilizando la siguiente formula:

$$P = \frac{100(W-D)}{D} \% \dots \dots \dots (25)$$

Dónde:

P = Contenido total de humedad de la muestra (%)

W = Masa de la muestra húmeda original (g)

D = Masa de la muestra seca en (g)



### 3.8.1.4 Peso unitario de los agregados (NTP 400.017 / ASTM C29)

#### 3.8.1.4.1 Equipos y materiales:

- Balanza con aproximación de 1g.
- Recipientes de capacidad volumétrica conocida, teniendo las siguientes dimensiones: 19 x 15.5 x 30 (A°G°) y 14x14x14 (A°F°).
- Varilla compactadora de acero.
- Cucharón

#### 3.8.1.4.2 Muestra

- Se redujo el agregado por cuarteo hasta obtener una cantidad suficiente para realizar el ensayo 3 veces tanto para el agregado fino como grueso.

#### 3.8.1.4.3 Procedimiento

##### *Peso unitario suelto*

- Se determinó el peso y volumen de los recipientes.
- Se llenó el recipiente con el cucharón desde una altura no mayor a 2” hasta que rebose del mismo.
- Se enrazó el recipiente haciendo uso de la regla y se procedió a registrar el peso del recipiente más el agregado.

##### *Peso unitario compactado*

- Se llenó el recipiente con agregado hasta alcanzar la tercera parte de su capacidad, y se niveló la superficie con los dedos.
- Se apisonó la capa de agregado con 25 golpes distribuidos uniformemente, haciendo uso de la varilla 5/8” y evitando que ésta golpee el fondo del recipiente.
- Luego se llenó las 2/3 partes del recipiente, volviendo a emparejar la superficie con los dedos y apisonar como se describe anteriormente aplicando la fuerza necesaria para que la varilla atravesase solamente la capa respectiva.



- Luego se llenó el recipiente hasta el rebose y se apisonó otra vez. Una vez colmado el recipiente, se enrasó la superficie con la varilla, usándola como regla.
- Finalmente se registró el peso del recipiente lleno y peso del recipiente solo.

#### 3.8.1.4.4 Cálculo

Haciendo uso de la siguiente formula se calculó el peso unitario:

$$M = \frac{(G-T)}{V} \dots\dots\dots(26)$$

Dónde:

- M = Peso unitario del agregado ( $kg/m^3$ )
- G = Peso del recipiente de medida más el agregado ( $kg$ )
- T = Peso del recipiente ( $kg$ )
- V = Volumen del recipiente ( $m^3$ )

#### 3.8.1.5 Peso específico y absorción del agregado fino (NTP 400.022 /ASTM C128)

##### 3.8.1.5.1 Equipos y materiales:

- Balanza con aproximación de 0.01g.
- Horno con una temperatura uniforme de  $110 \pm 5^\circ C$
- Frasco volumétrico de 500 cm<sup>3</sup> de capacidad
- 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.
- Varilla para apisonado, metálica, terminada en un extremo en una superficie circular plana para el apisonado, de  $25 \pm 3$  mm de diámetro.
- Un tamiz normalizado de 4,75 mm (N° 4).
- Secadora, recipientes y cucharon.



### 3.8.1.5.2 Muestra

- Se redujo el agregado por cuarteo hasta obtener una muestra de 1 kg aproximadamente, que pase la Malla No. 4 (4.75mm)
- Se colocó la muestra en un recipiente, vertiendo el agua hasta cubrir el agregado, para saturarlo se dejó reposar por 24 horas.
- Cumplido el tiempo de inmersión del agregado, se decantó cuidadosamente el agua evitando la pérdida de finos.
- Se inició el proceso de secado, extendiendo la muestra sobre una bandeja, y haciendo uso de la secadora se procedió a secar la superficie de las partículas del agregado, dirigiendo sobre ella una corriente moderada de aire caliente, mientras se removía constantemente para que el secado sea uniforme.
- Luego se sujetó el molde cónico con su diámetro mayor apoyado sobre una superficie plana no absorbente, se colocó la muestra y se apisonó ligeramente la superficie 25 veces con la barra de metal, luego se levantó el molde y se procedió de la siguiente manera: si la superficie de las partículas conserva aún exceso de humedad, el cono de agregado mantendrá su forma original, por lo que se continuará agitando y secando la muestra, realizando frecuentemente la prueba del cono hasta que se produzca un primer desmoronamiento superficial, el cual indica que finalmente el agregado ha alcanzado la condición de superficie seca.

### 3.8.1.5.3 Procedimiento

- Se introdujo en el frasco una muestra de 250g del material previamente preparado, y se vertió agua hasta alcanzar la marca de 500 cm<sup>3</sup>.
- Se agitó el frasco, durante 20 minutos para eliminar todas las burbujas de aire atrapado.



- Se procedió a remover el agregado fino del frasco, y colocó en el horno a una temperatura constante de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  durante 24 horas, luego registrar el peso de la muestra seca.

#### 3.8.1.5.4 Cálculos

$$\text{Peso específico de masa} = \frac{A}{B+S-C} \dots\dots\dots(27)$$

$$\text{Peso específico aparente (S.S.S)} = \frac{S}{B+S-C} \dots\dots\dots(28)$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{B+A-C} \dots\dots\dots(29)$$

$$\% \text{ Absorción} = \frac{S-A}{A} \times 100 \dots\dots\dots(30)$$

Dónde:

- Peso específico aparente (S.S.S): Es la relación entre el peso al aire del sólido y el peso de agua correspondiente a su volumen aparente.
- Peso específico nominal: Es la relación entre el peso al aire del sólido y el peso de agua correspondiente a su volumen nominal.
- A: Peso al aire de la muestra secada.
- B: Peso del frasco lleno de agua.
- C: Peso total del frasco con la muestra y llena de agua.
- S: Peso de la muestra saturada con superficie seca.

#### 3.8.1.6 Peso específico y absorción del agregado grueso (NTP 400.021 / ASTM C127)

##### 3.8.1.6.1 Equipos y materiales:

- Balanza con aproximación de 1g. Ésta fue equipada con aparatos adecuados para suspender la muestra contenida en agua desde el centro de la plataforma.
- Horno con una temperatura uniforme de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$



- Cesta con malla de alambre: con tamaño de abertura correspondiente al tamiz N° 6 o abertura menor.
- Balde adecuado para sumergir la cesta de alambre en el agua y un dispositivo para suspenderla del centro de la escala de la balanza.
- Un tamiz normalizado de 4,75 mm (N° 4).

### 3.8.1.6.2 Muestra

- Se redujo el agregado por cuarteo hasta obtener una muestra de 2.5 kg según lo indicado en la tabla 16. Se descartó todo el material que pase la malla N° 4, posteriormente se lavó para remover el polvo u otras impurezas superficiales.
- Se colocó la muestra en un recipiente, se vertió el agua hasta cubrir el agregado y se dejó reposar durante 24 horas.
- Luego, se sacó la muestra del agua y se secó las partículas rodándolas sobre una tela de gran tamaño, hasta que se eliminó el agua superficial visible.

Tabla 16.  
*Peso mínimo de la muestra de ensayo*

Tamaño Máximo Nominal (pulg)	mm	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 1/2)		5 (11)
50,0 (2)		8 (18)
63,0 (2 1/2)		12 (26)
75,0 (3)		18 (40)
90,0 (3 1/2)		25 (55)
100,0 (4)		40 (88)
112,0 (4 1/2)		50 (110)
125,0 (5)		75 (165)
150,0 (6)		125 (276)

Fuente: *ASTM C127*

### 3.8.1.6.3 Procedimiento

- Se registró el peso de la muestra, y se colocó en el interior de la canastilla metálica, así mismo se determinó su peso sumergida en el agua. Se tomaron las precauciones necesarias para evitar la inclusión de aire en la muestra sumergida, agitando convenientemente. La canastilla y la muestra deberán quedar completamente sumergidas durante este proceso.
- Se colocó el agregado en un recipiente y luego se llevó al horno a una temperatura constante de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas, finalmente se registró el peso de la muestra seca.

### 3.8.1.6.4 Cálculos

$$\text{Peso específico de masa} = \frac{A}{B-C} \dots \dots \dots (31)$$

$$\text{Peso específico aparente (s.s.s)} = \frac{B}{B-C} \dots \dots \dots (32)$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{A-C} \dots \dots \dots (33)$$

$$\% \text{ Absorción} = \frac{B-A}{A} \times 100 \dots \dots \dots (34)$$

Dónde:

A: Peso en el aire de la muestra seca.

B: Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca.

C: Peso sumergido en agua de la muestra saturada.

## 3.8.2 Ensayos realizados a los especímenes de concreto permeable

### 3.8.2.1 Resistencia a la compresión (NTP 339.034 / ASTM C39- 39M)

#### 3.8.2.1.1 Equipos y materiales

- Máquina de Ensayo ELE
- Casquete de neopreno de 155mm de diámetro y 5” de espesor.
-

### 3.8.2.1.2 Muestra

Las muestras ensayadas no variaron de diámetro en más de 2% y ninguna se separó de la perpendicularidad del eje en más de 0.5°. Además debido a que el concreto permeable presenta numerosas irregularidades en su superficie se colocó una capa de pasta de cemento y yeso sobre el espécimen a manera de refrentado (capping).

### 3.8.2.1.3 Procedimiento

- El ensayo de compresión de muestras curadas en agua se hizo inmediatamente después de que éstas han sido removidas del lugar de curado.
- Se colocó el regulador externo de fijación conteniendo un casquete de neopreno, en la superficie inferior del cilindro de concreto y se alinea cuidadosamente el eje de la muestra con el centro de empuje del bloque de carga.
- Antes de ensayar el espécimen se verificó que el indicador de carga esté ajustado en cero.
- La carga se aplicó a una velocidad correspondiente a una tasa de aplicación de carga comprendida en el rango de  $0,25 \pm 0,05$  MPa/s ( $35 \pm 7$  psi/s)
- Se registró el peso, la carga máxima soportada por el cilindro durante el ensayo y se anotó el patrón de falla.

### 3.8.2.1.4 Cálculo

Se determina la resistencia a la compresión, dividiendo la carga máxima soportada por el testigo durante el ensayo, entre el promedio del área de la sección transversal, con una aproximación de 0,1 MPa (10 psi).



### 3.8.2.2 Porcentaje de vacíos

#### 3.8.2.2.1 Equipos y materiales

- Balanza con aproximación de 1g. La cual fue equipada con aparatos adecuados para suspender la muestra contenida en agua desde el centro de la plataforma.
- Horno con una temperatura uniforme de 110 +/- 5°C
- Cesta con malla de alambre
- Balde adecuado para sumergir la cesta de alambre en el agua y un dispositivo para suspenderla del centro de la escala de la balanza.

#### 3.8.2.2.2 Procedimiento

- Las muestras de concreto permeable se colocan en un recipiente con agua y se da inicio al proceso de saturación durante 24 horas.
- Se saca la probeta del balde de agua, se quita la humedad superficial con una toalla y se procede a registrar el peso de la muestra.
- Luego se colocó la probeta en el interior de la canastilla metálica, así mismo se determinó su peso sumergida en el agua. La canastilla y la muestra deberán quedar completamente sumergidas durante este proceso.
- Se colocó la muestra en un recipiente y luego se llevó al horno a una temperatura constante de 110 +/- 5°C durante 24 horas, finalmente se registró el peso de la muestra seca se enfrían hasta temperatura ambiente.

#### 3.8.2.2.3 Cálculo

Para encontrar el porcentaje de vacíos se utilizaron las siguientes formulas:

$$V\% = \frac{M_{SSS} - M_s}{M_{SSS} - M_{aa}} \times 100 \dots \dots \dots (35)$$

Dónde:

V= Porcentaje de vacíos del concreto endurecido (%).



Ms = Masa seca de la probeta (gr).

Msss = Masa saturada superficie seca de la probeta (gr).

MAA = Masa aparente en el agua (gr).

### **3.8.2.3 Coeficiente de permeabilidad**

Según el ACI 522R-10, la medición de la permeabilidad del concreto se realiza haciendo uso de un permeámetro de carga variable.

#### **3.8.2.3.1 Construcción del permeámetro**

##### **materiales**

- Tubería de PVC de 4”
- Tubería de PVC de 1 ½”
- Membrana de caucho
- 2 Abrazaderas de 4”
- Tapa de PVC de 4”
- T de 4” a 2”
- Válvula tipo bola de 2”
- Codo de 1 ½”
- Reducción de 2” a 1 ½”
- Unión de 1 ½”
- Pegamento

##### **Procedimiento**

- El permeámetro de carga variable se construyó utilizando una T de 4” a 2”, la cual se cortó para obtener la medida requerida de 100mm medidos desde la parte inferior, posteriormente se colocó la tapa en el fondo y se unió a un tubo de 4” de diámetro y 150 mm de largo en el que se colocará la muestra.



- Luego esta estructura se unió a un tubo graduado de 300 mm de longitud, sujetándolo firmemente usando las membranas de caucho y asegurándolas con las abrazaderas, de esa manera se evitaron filtraciones durante la prueba.
- Todo esto se conectó mediante una válvula de 50 mm de diámetro, unión, reducción y codo, a una tubería vertical, a través de la cual puede drenarse el agua, la parte superior de este tubo de drenaje se colocó 10 mm por encima de la parte superior de la muestra, de manera que no se produzca ningún flujo no saturado durante la prueba. (Neithenalath, 2004)

#### **3.8.2.3.2 Muestra**

Para realizar esta prueba se prepararon los especímenes de concreto permeable envolviéndolas en papel film para asegurar que el agua no filtre a través de los espacios laterales entre la probeta y la tubería.

#### **3.8.2.3.3 Procedimiento de la prueba**

- Se colocó la muestra en la tubería y se aseguró utilizando la membrana de caucho y las abrazaderas.
- Se añadió agua a la tubería permitiendo que el agua drene hacia fuera a través del tubo de drenaje hasta que el nivel en la tubería graduada sea la misma que la parte superior de la tubería de drenaje. Esto eliminó cualquier burbuja de aire en la muestra y se aseguró de que el espécimen este completamente saturado.
- Con la válvula cerrada, se llenó con agua el cilindro graduado.
- Se abrió la válvula y se tomó el tiempo en segundos (t) requerido para que el agua drene. Este procedimiento se repitió cinco veces por cada grupo de muestra.

### 3.8.2.3.4 Cálculos

El coeficiente de permeabilidad (K) se calculó de acuerdo a la ley de Darcy haciendo uso de la siguiente formula:

$$k = \frac{Lx A1}{tx A2} x Ln \frac{h2}{h1} \dots \dots \dots (36)$$

Dónde:

L= Longitud del espécimen (cm)

t= Tiempo de drenaje del agua (s)

A1 y A2= son las áreas de la sección transversal de la muestra y el tubo, respectivamente.

h1-h2= Distancia de caída de agua

### 3.8.3 Diseño de mezcla

El ACI 522R-10 indica el procedimiento para realizar el diseño de mezcla de concreto permeable, el cual difiere al diseño de mezcla del concreto convencional ya que en este tipo de concreto los criterios principales se basan en obtener un adecuado porcentaje de vacíos y un volumen de pasta, que asegure la permeabilidad y la adherencia de las partículas del agregado.

#### 3.8.3.1 Cálculo de la filtración requerida

Para determinar la filtración requerida se realiza un análisis hidrológico de la zona en estudio, obteniéndose así la intensidad de lluvia de diseño, calculada para un periodo de retorno y duración determinada.

#### 3.8.3.2 Determinación del porcentaje de vacíos

Es la relación entre el volumen de huecos, incluyendo tanto el aire atrapado y arrastrado, con el volumen total. Depende de la filtración anteriormente calculada y se determina haciendo uso del gráfico 1, en el cual se muestra la curva filtración requerida vs contenido de vacíos.

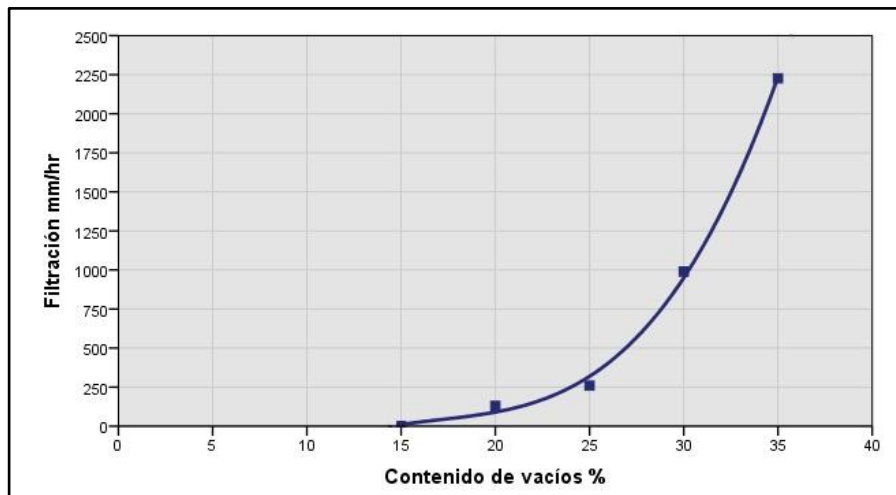


Figura 22. *Contenido de vacíos vs. Filtración*  
Fuente: Adaptado ACI 522R-10, 2010

### 3.8.3.3 Obtención de la resistencia a la compresión referencial

El gráfico 2 muestra la resistencia a la compresión de testigos de concreto permeable ensayados a los 28 días utilizando las gradaciones correspondientes al Huso 67 y Huso 8. Se observa que cuanto menor sea el contenido de vacíos, mayor es la resistencia a la compresión y cuanto mayor sea el contenido de vacíos, menor será la resistencia a la compresión. Así mismo también se muestra que la resistencia a compresión aumenta a medida que disminuyen los tamaños máximos nominales de los agregados. De este grafico solo se obtiene un valor referencial de resistencia a la compresión para el diseño de mezcla.

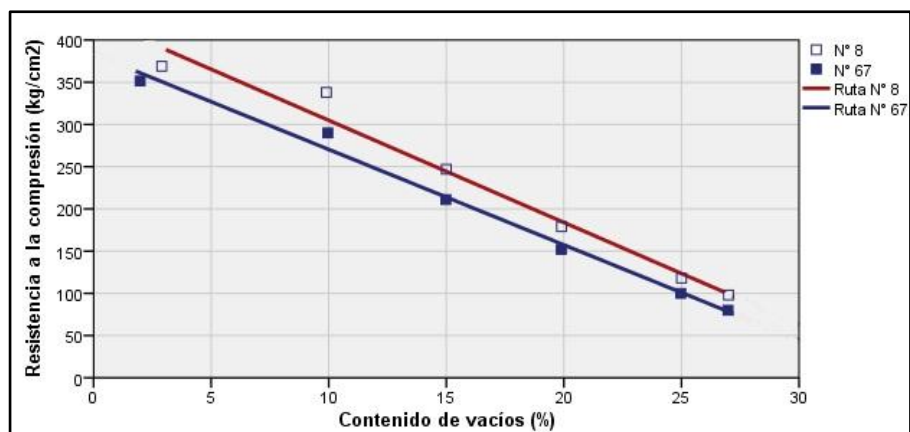


Figura 23. *Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la compresión a los 28 días para los tamaños de agregados N°8 y N°67.*

Fuente: Adaptado ACI 522R-10, 2010



### 3.8.3.4 Elección de la relación agua/cemento

La relación agua/cemento ( $a/c$ ) es un factor muy importante para la obtención de la resistencia deseada y la estructura de vacío del concreto permeable. Una alta  $a/c$  reduce la adhesión de la pasta al agregado y hace que esta fluya y llene la estructura de poros incluso cuando se ha compactado ligeramente. Una baja  $a/c$  tiende a causar formación de grumos al momento de realizar la mezcla, evita la distribución uniforme de la pasta de cemento, y por lo tanto tiende a reducir la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto.

El ACI 522R-10 recomienda que la  $a/c$  debe encontrarse en un rango de 0,26-0,45 para obtener un concreto permeable consistente.

### 3.8.3.5 Obtención del volumen de pasta

El porcentaje de volumen de pasta se obtiene haciendo uso del grafico 3 el cual depende del porcentaje de vacíos y el nivel de compactación, en el grafico se muestran 2 curvas elaboradas para una mezcla bien compactada y ligeramente compactada.

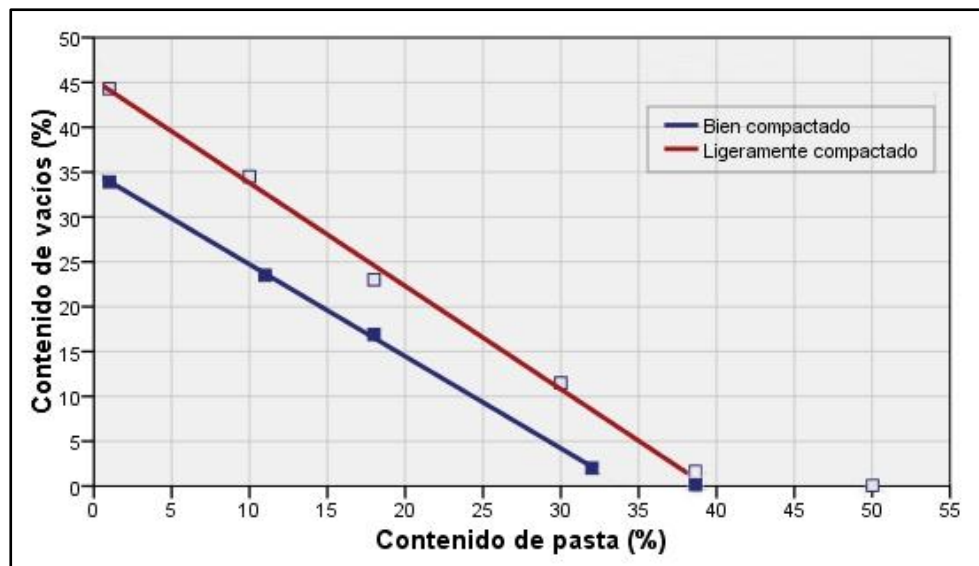


Figura 24. *Contenido de vacíos vs. Contenido de Pasta*  
Fuente: *Adaptado ACI 522R-10, 2010*



De esta manera una vez definido el volumen de pasta y la relación agua/cemento se puede calcular el contenido de agua y la masa del cemento a partir de la siguiente ecuación:

$$V_P = V_C + V_A \dots \dots \dots (37)$$

Dónde:

$$\begin{aligned} V_P &= \text{Volumen de pasta} \\ V_C &= \text{Volumen de cemento} \\ V_A &= \text{Volumen de agua} \end{aligned}$$

### 3.8.3.6 Cálculo de la cantidad de cemento

La cantidad de cemento utilizada para 1m<sup>3</sup> de concreto permeable se calcula a partir de la ecuación (1) donde el V<sub>p</sub> se puede expresar en función del peso específico y la relación a/c, de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} V_P &= V_C + V_A \\ V_P &= \frac{\text{Peso}_{cem}}{\text{Peso especif.}_{cem} * 1000 \text{kg/m}^3} + \frac{\text{Peso}_{agua}}{\text{Peso especif.}_{agua} * 1000 \text{kg/m}^3} \dots \dots \dots (38) \end{aligned}$$

Reemplazando en la ecuación la relación a/c obtenemos:

$$\text{Peso}_{cem} (kg) = \frac{V_P(m^3) * \text{Peso especif.}_{cem}}{1 + \frac{a}{c} \text{Peso especif.}_{cem}} * 1000 \text{kg/m}^3 \dots \dots \dots (39)$$

### 3.8.3.7 Cálculo de la cantidad de agua

La cantidad de agua se puede calcular a partir de la relación a/c, expresada en la siguiente ecuación:

$$\text{Peso}_{agua} = \text{Peso}_{cem} (kg) * \frac{a}{c} \dots \dots \dots (40)$$

### 3.8.3.8 Cálculo del contenido de agregado

El volumen absoluto de agregado se calcula de la siguiente manera:

$$V_{Agr} = 1 - V_P \dots \dots \dots (41)$$

Donde:

$$V_{Agr} = \text{Volumen absoluto de agregado}$$



$V_p$  =Volumen de la pasta

### 3.8.3.9 Cálculo de la cantidad de agregado fino contenido en el volumen absoluto de agregado

“Al utilizar agregado fino para aumentar la resistencia del concreto permeable, el volumen de pasta debe ser reducido en un 2% cuando se utiliza 10% de agregado fino con respecto al agregado total para el concreto permeable bien compactado, y un 1% cuando se utiliza 10% de agregado fino con respecto al agregado total para el concreto permeable ligeramente compactado. Estas reducciones son necesarias para mantener el mismo porcentaje huecos en volumen” (ACI 522R – 10, 2010, p.9).

### 3.8.3.10 Corrección por humedad de los agregados

Debido a la humedad natural que presentan los agregados, es necesario realizar un ajuste de la cantidad de agua que se utilizara en la mezcla.

- Sabiendo que:

$W_o$  = Contenido de humedad

$W_A$  = Absorción

- Cálculo de los pesos húmedos de los agregados

$$\text{Agregado Grueso} \dots \dots \dots \text{Peso}_{AG} \left( \frac{kg}{m^3} \right) x \left( 1 + \frac{W_o}{100} \right) \dots \dots \dots (42)$$

$$\text{Agregado Fino} \dots \dots \dots \text{Peso}_{AF} \left( \frac{kg}{m^3} \right) x \left( 1 + \frac{W_o}{100} \right) \dots \dots \dots (43)$$

- Cálculo del aporte de humedad de los agregados

$$\text{Aporte (lt/m}^3\text{)} = \text{Peso}_{AG} x \left( \frac{W_o(\%) - W_A(\%)}{100} \right) + \text{Peso}_{AF} x \left( \frac{W_o(\%) - W_A(\%)}{100} \right) \dots \dots \dots (44)$$

- Agua efectiva

$$\text{Agua efectiva} = \text{Peso}_{AGUA} - \text{Aporte} \dots \dots \dots (45)$$

### 3.8.4 Elaboración y curado de especímenes de concreto permeable (NTP339.183/ ASTM C 192)

#### 3.8.4.1 Elaboración de especímenes

##### 3.8.4.1.1 Materiales

- **agregados**

Los agregados utilizados en la elaboración del concreto permeable se obtuvieron de la cantera Samanco ubicada en el distrito de Samanco, provincia del Santa.

- **Agregado grueso**

Para el desarrollo de la presente investigación se utilizó agregado grueso correspondiente al huso 67 de tamaño máximo nominal de  $\frac{3}{4}$ ”, siguiendo los requerimientos de la norma ASTM C 33.

- **Agregado fino**

El agregado fino tuvo un módulo de fineza de      y se agregó en un 10% a la mezcla, con el fin de aumentar la resistencia a la compresión y reducir el porcentaje de vacíos.

- **Cemento Pacasmayo Extraforte**

Se optó por utilizar cemento Pacasmayo Extraforte, el cual es de uso general y presenta un peso específico de  $2.96 \text{ g/cm}^3$ . El cemento cumplió con las especificaciones de la norma ASTM C150.

- **Agua**

En el desarrollo de la presente tesis se utilizó agua potable de la Universidad Nacional del Santa, conforme a los requerimientos de la norma NTP 339.088 y ASTM C 109M



- **Polietileno**

Las tiras de plástico adicionadas tuvieron una dimensión de 4 x 20 mm, incorporadas en porcentajes de 0.075%, 0.10% y 0.125% con respecto al peso.

**3.8.4.1.2 Equipos**

- Moldes cilíndricos de acero
- Varilla de acero de 5/8” de diámetro, 60 cm de largo y punta redonda
- Martillo de goma
- Carretilla de 4.5 pies cúbicos
- Recipientes plásticos y metálicos
- Balanza con aproximación de 0.01g y 1g.
- Lampa, cucharas y reglas
- Mezcladora eléctrica de 120L y motor de 13HP
- Cono de Abrams

**3.8.4.1.3 Procedimiento**

**Mezclado:**

- Se colocó el agregado grueso, el agregado fino y una parte del agua en la mezcladora, y se dejó girar por 90 segundos.
- Se añadió el cemento y el agua con la mezcladora en funcionamiento, dejándolo girar por 3 minutos, luego se apagó la mezcladora por un momento, durante el cual se adicionó las fibras de polietileno en la proporción requerida y por último se puso en funcionamiento durante 2 minutos de mezclado final.

**Asentamiento:**

- Inmediatamente después del mezclado, se mojó el molde y se colocó sobre una superficie plana no absorbente, manteniéndolo inmóvil pisando firmemente las aletas.



- Luego, se llenó el cono vaciando el concreto en tres capas, de modo que cada capa ocupó la tercera parte del volumen del molde.
- Cada capa se compactó dando 25 golpes con la varilla de acero, distribuidos y aplicados uniformemente en toda la sección.
- El molde se llenó por exceso antes de compactar la última capa y se enrasó utilizando la varilla, para después levantar el molde en dirección vertical, momento en el que se midió el asentamiento determinado por la diferencia entre la altura del molde y la del centro de la cara superior del cono deformado.

**Colocación:**

- Se colocó el concreto en los moldes utilizando una paleta y cucharón de metal, a medida que se descargó el concreto en el molde se movió la paleta alrededor del borde superior del molde, con el fin de asegurar una distribución simétrica de este y minimizar la segregación del agregado grueso dentro del molde.
- Por último, se distribuyó el concreto con la varilla compactadora, antes del inicio de la consolidación.

**Compactación:**

- Se apisonó cada capa con la parte redonda de la varilla de acero, en tres capas compactadas con 25 golpes por capa.
- Se golpeó ligeramente los lados del molde con el martillo de goma para lograr un mejor acomodo del material.

**Acabado:**

- Por medio de la varilla apisonadora, se efectuó el acabado con manipulaciones mínimas, de tal manera que la superficie quede plana y pareja a nivel de borde del cilindro.



### **3.8.4.2 Curado de especímenes**

- Las muestras fueron removidas de sus moldes al cabo de 24 horas después de su elaboración.
- Los especímenes fueron puestos en inmersión sin el molde, para lograr la condición de humedad por almacenamiento en un cuarto húmedo a una temperatura aproximada de  $23,0^{\circ} \pm 2,0^{\circ}\text{C}$ .

**CAPÍTULO IV:  
RESULTADOS Y  
DISCUSIÓN**





## CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Resultados

#### 4.1.1 Resultados de los ensayos realizados a los agregados

Tabla 17

*Propiedades físicas de los agregados*

Agregados	Agregado Fino	Agregado Grueso
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	2.754	2.705
Absorción (%)	1.420	0.429
Contenido de humedad (%)	0.646	0.379
Peso unitario suelto (gr/cm <sup>3</sup> )	1.485	1.459
Peso unitario compactado (gr/cm <sup>3</sup> )	1.707	1.530

Fuente: *Elaboración propia*

Ver los cálculos de los ensayos de los agregados en el capítulo de los anexos.

#### 4.1.2 Diseño de mezcla

El diseño de mezcla fue elaborado bajo el reglamento ACI 522 R-10 “Reporte en concreto permeable” y ACI 211.3R-02 “Guía para la selección de proporciones para concretos de 0 slump”, obteniendo la siguiente dosificación considerando una relación a/c de 0.35 para la elaboración de la muestra patrón sin adición de tiras de plástico (polietileno):

Tabla 18

*Proporciones del diseño de mezcla de concreto permeable f'c 175 kg/cm<sup>2</sup>*

Dosificación f'c 175 kg/cm <sup>2</sup>	
Cemento	1
Agregado Fino	0.483
Agregado Grueso	4.257
Agua efectiva	15.122

Fuente: *Elaboración propia, 2019*



Tabla 19

*Proporciones del diseño de mezcla en peso de concreto permeable  $f'c$  175 kg/cm<sup>2</sup>*

Dosificación en peso $f'c$ 175 kg/cm <sup>2</sup>		
Cemento	341.650	kg/m <sup>3</sup>
Agregado Fino	164.934	kg/m <sup>3</sup>
Agregado Grueso	1454.394	kg/m <sup>3</sup>
Agua efectiva	121.565	lt/m <sup>3</sup>

Fuente: *Elaboración propia.2019*

Ver el procedimiento de diseño de mezcla en el capítulo de anexo.

Se calculó las proporciones de tiras de plástico con respecto al peso total de la mezcla obteniendo los siguientes resultados por porcentaje:

Tabla 20

*Proporciones en peso de tiras de plástico por m<sup>3</sup>*

Proporciones en peso de tiras de plástico			
Porcentaje	0.075%	0.100%	0.125%
Peso (kg/m <sup>3</sup> )	1.562	2.083	2.603

Fuente: *Elaboración propia.2019*

### 4.1.3 Resultados de los ensayos realizados a los especímenes de concreto

#### 4.1.3.1 Ensayo de resistencia a la compresión

En las tablas 11,12 y 13 se muestran los promedios obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días respectivamente. En los gráficos se puede observar la comparación de las resistencias con la incorporación de tiras de plásticos, en los porcentajes 0.075%, 0.1% y 0.125%.

Para una adición del 0.075%, se obtuvieron resistencias promedios de 111.80kg/cm<sup>2</sup>, 159.20kg/cm<sup>2</sup> y 179.83kg/cm<sup>2</sup>, para las edades de 7, 14 y 28 días respectivamente. Para una adición del 0.10% se obtuvo 106.8kg/cm<sup>2</sup>, 148.2kg/cm<sup>2</sup> y 172.08kg/cm<sup>2</sup>, para las edades de 7, 14 y 28 días respectivamente. Y con una adición del 0.125% de las muestras ensayadas a los

7, 14 y 28 días se obtuvieron resistencias de 92.60kg/cm<sup>2</sup>, 137.20kg/cm<sup>2</sup> y 152.58kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.

Tabla 21

*Resultados de los valores promedios de resistencia a la compresión a los 7 días de edad.*

Especimen	Edad	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	fc/f'c
PT	7	105.60	60.343
PT + 0.075%	7	111.80	63.886
PT + 0.100%	7	106.80	61.029
PT + 0.125%	7	92.60	52.914

Fuente: *Elaboración propia.2019*

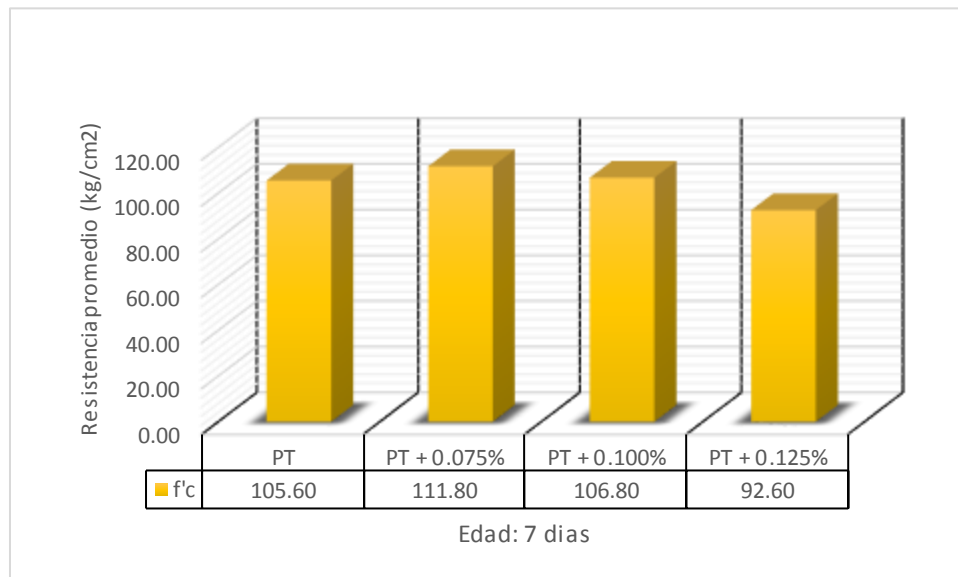


Figura 25. Resultados de la resistencia promedio a los 7 días de edad.

Tabla 22

*Resultados de los valores promedios de resistencia a la compresión a los 14 días de edad.*

Especimen	Edad	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	fc/f'c
PT	14	150.00	85.714
PT + 0.075%	14	159.20	90.971
PT + 0.100%	14	148.20	84.686
PT + 0.125%	14	137.20	78.400

Fuente: *Elaboración propia.2019*

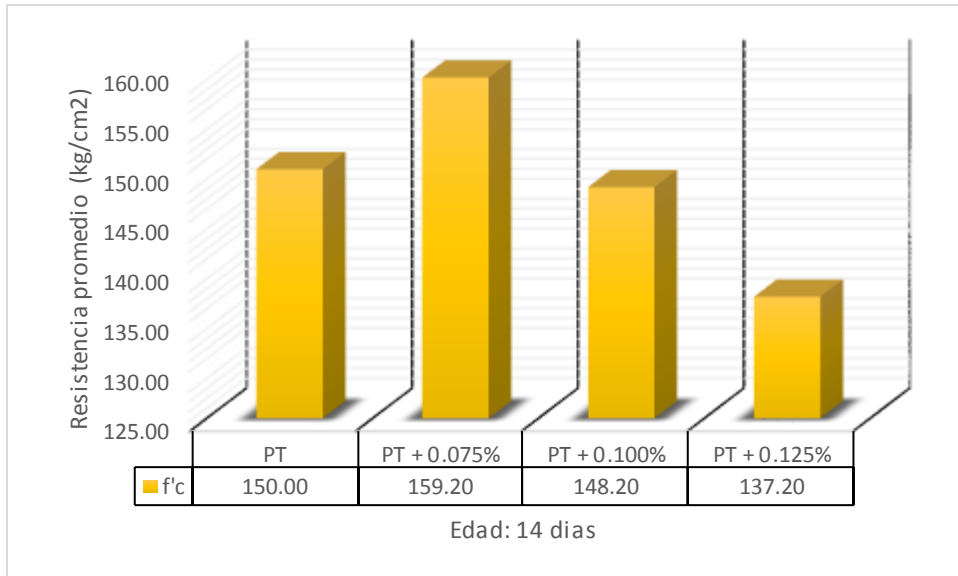


Figura 26. Resultados de la resistencia promedio a los 14 días de edad.

Tabla 23

*Resultados de los valores promedios de resistencia a la compresión a los 28 días de edad.*

Especimen	Edad	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	fc/f'c
PT	28	170.50	97.429
PT + 0.075%	28	179.83	102.762
PT + 0.100%	28	172.08	98.333
PT + 0.125%	28	152.58	87.190

Fuente: *Elaboración propia.2019*

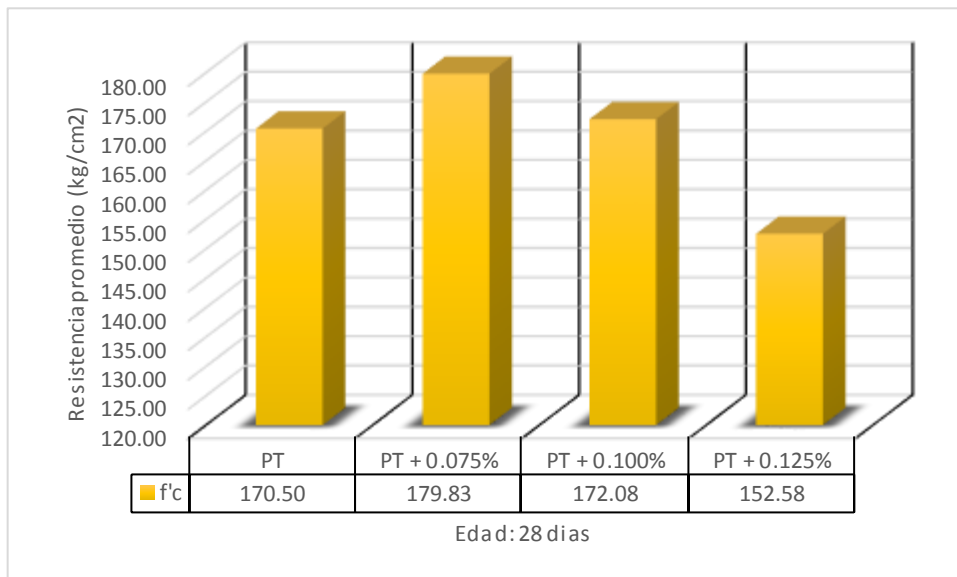


Figura 27. Resultados de la resistencia promedio a los 28 días de edad.

Tabla 24  
Resultados globales de resistencias a los 7, 14 y 28 días.

Edad	F'C kg/cm <sup>2</sup>			
	PT	PT + 0.075%	PT + 0.100%	PT + 0.125%
7	105.60	111.80	106.80	92.60
14	150.00	159.20	148.20	137.20
28	170.50	179.83	172.08	152.58

Fuente: *Elaboración propia.2019*

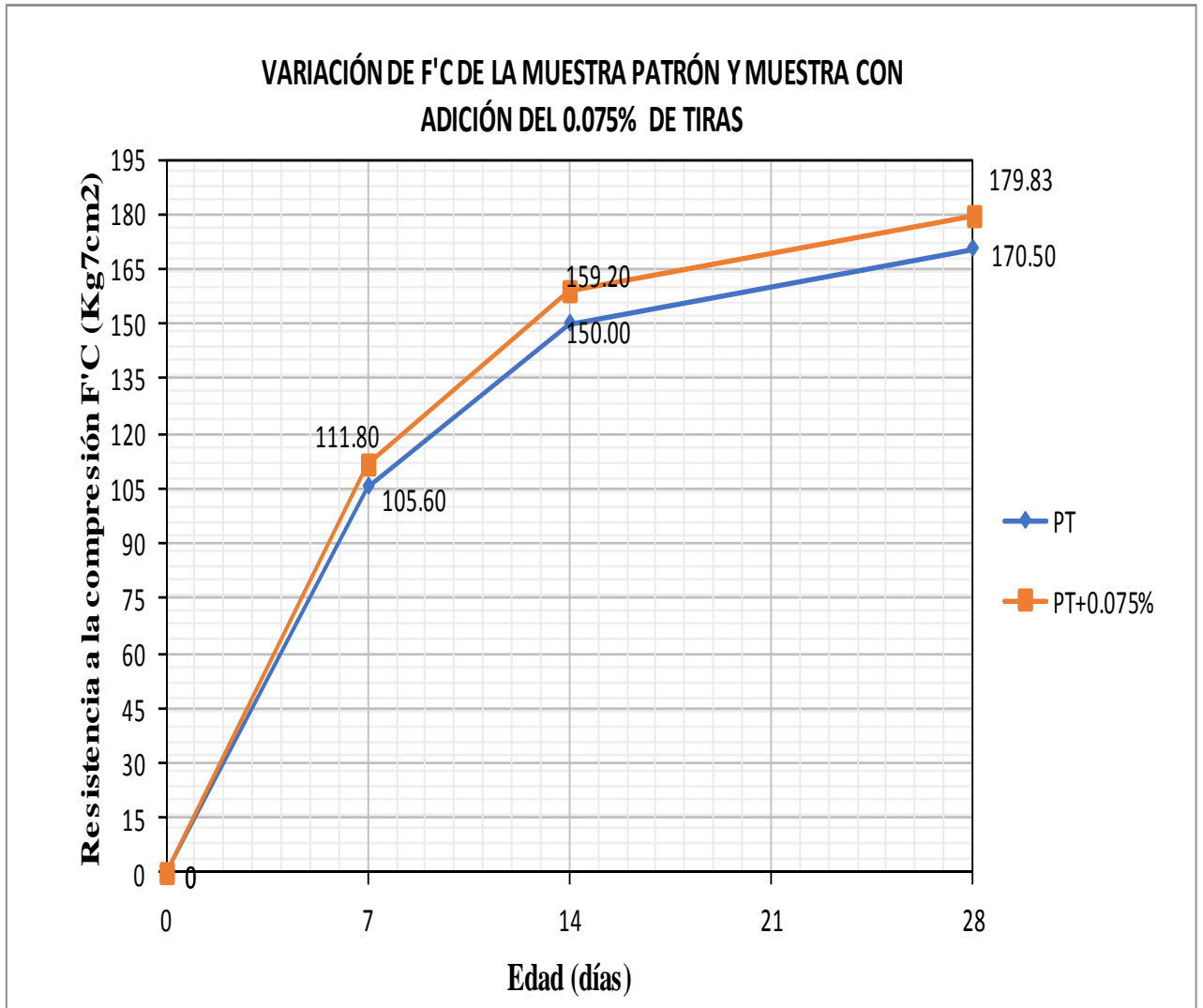


Figura 28. Comparación de resistencia a la compresión de la muestra patrón y muestra con adición del 0.075% de tiras

En la figura 29, se observa un aumento del 3.54 % en la resistencia obtenida a los 7 días, 5.26% a los 14 días y 5.33% a los 28 días de la muestra con adición de tiras de plástico al 0.075% con respecto a la muestra patrón para un concreto permeable f'c 175kg/cm<sup>2</sup>. Siendo éstos los mayores valores de resistencias alcanzados.

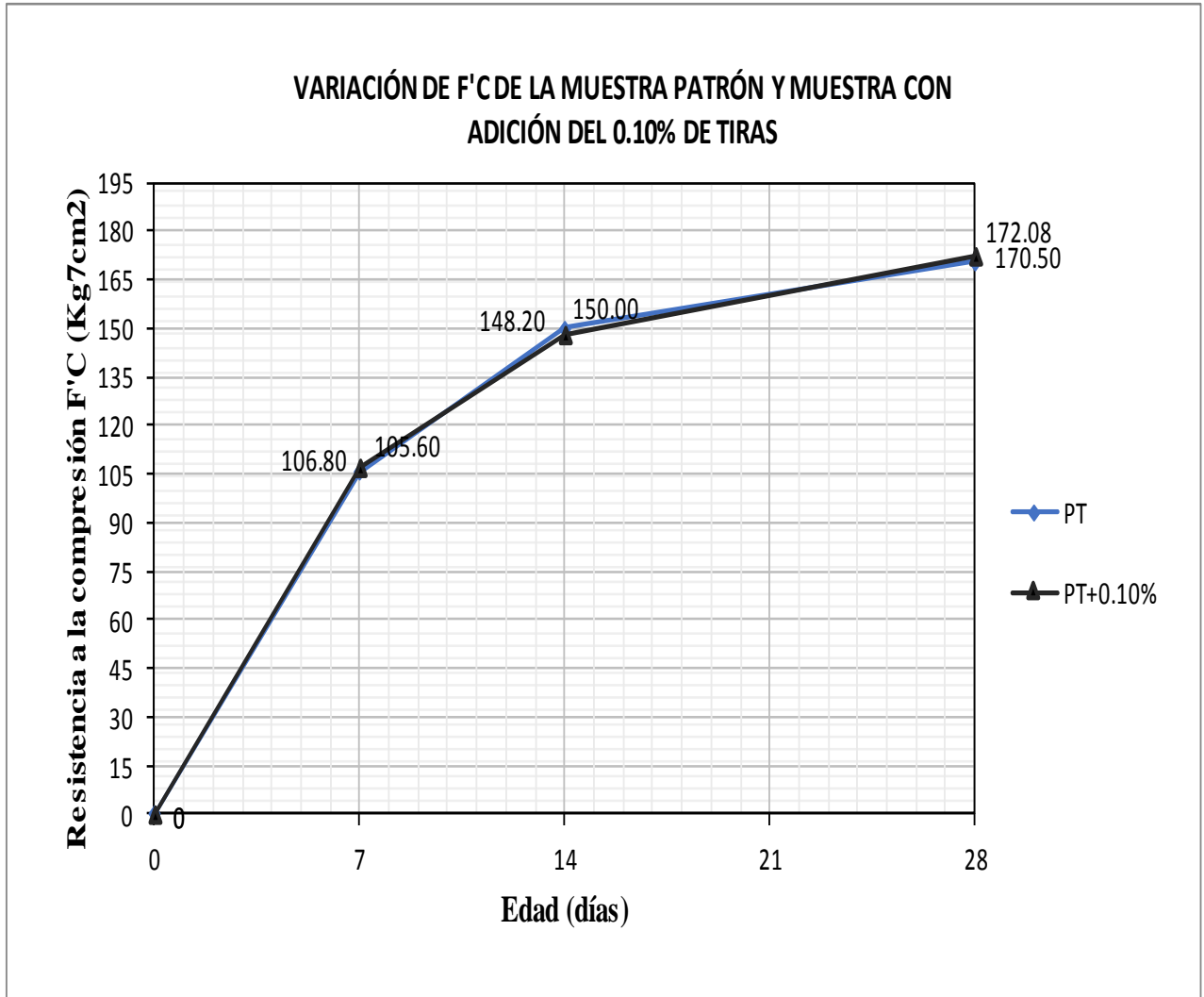


Figura 29. Comparación de resistencia a la compresión de la muestra patrón y muestra con adición del 0.1% de tiras

En la figura 30, se muestra un aumento del 0.69% a los 7 días, una disminución de 1.03% a los 14 días y un aumento de 0.91% a los 28 días de la muestra con adición de tiras de plástico al 0.1% con respecto a la muestra patrón para un concreto permeable  $f'c$  175kg/cm<sup>2</sup>. No se aprecia una tendencia clara, puesto presenta un mínimo incremento a los 7 y 28 días, y una disminución a los 14 días.

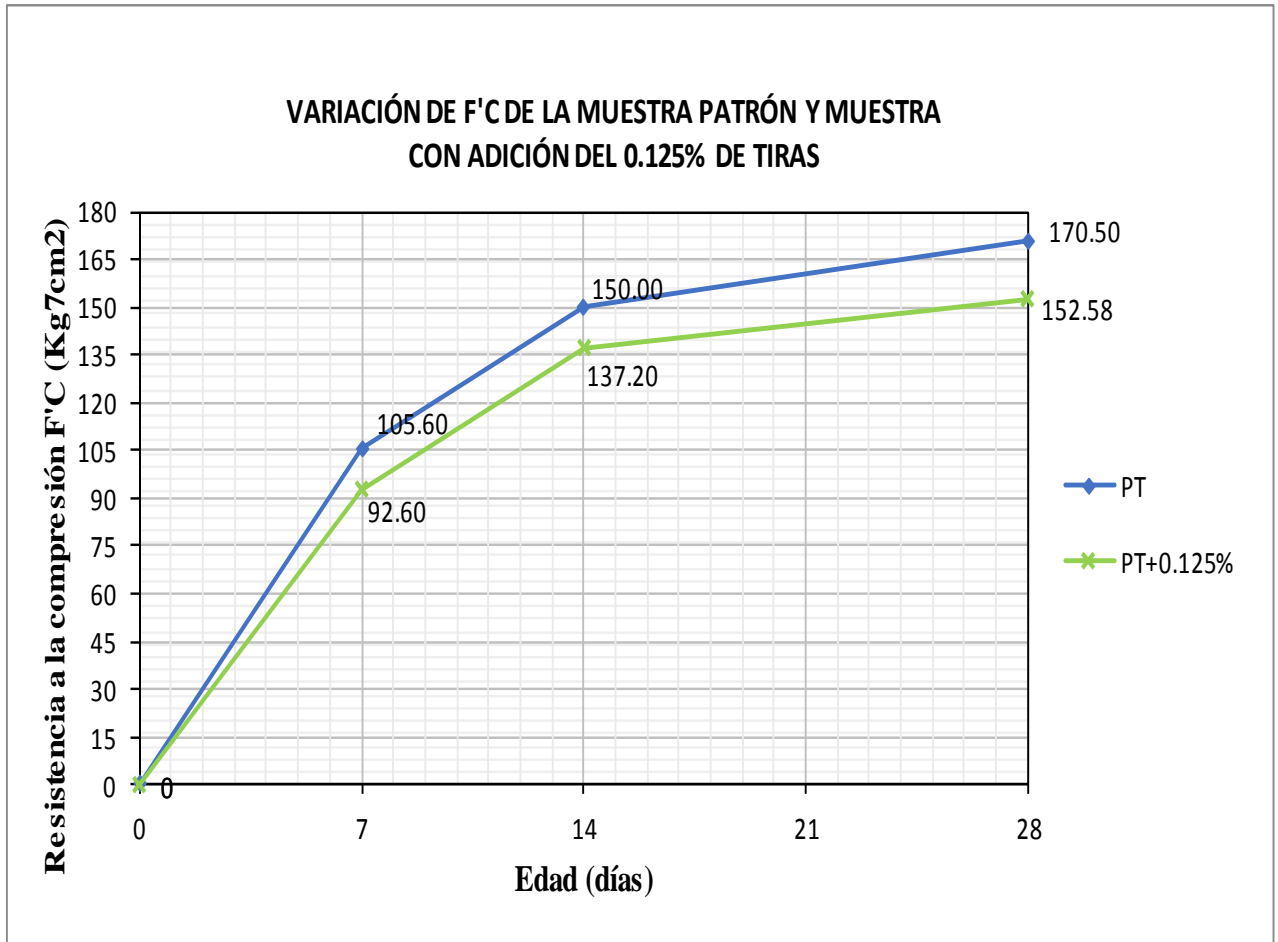


Figura 30. Comparación de resistencia a la compresión de la muestra patrón y muestra con adición del 0.125% de tiras

En la figura 31, se muestra una disminución del 7.43% a los 7 días, 7.31% a los 14 días y 10.24% a los 28 días de la muestra con adición de tiras de plástico al 0.125% con respecto a la muestra patrón para un concreto permeable  $f'c$  175kg/cm<sup>2</sup>. Siendo éstos los menores valores obtenidos de resistencia.

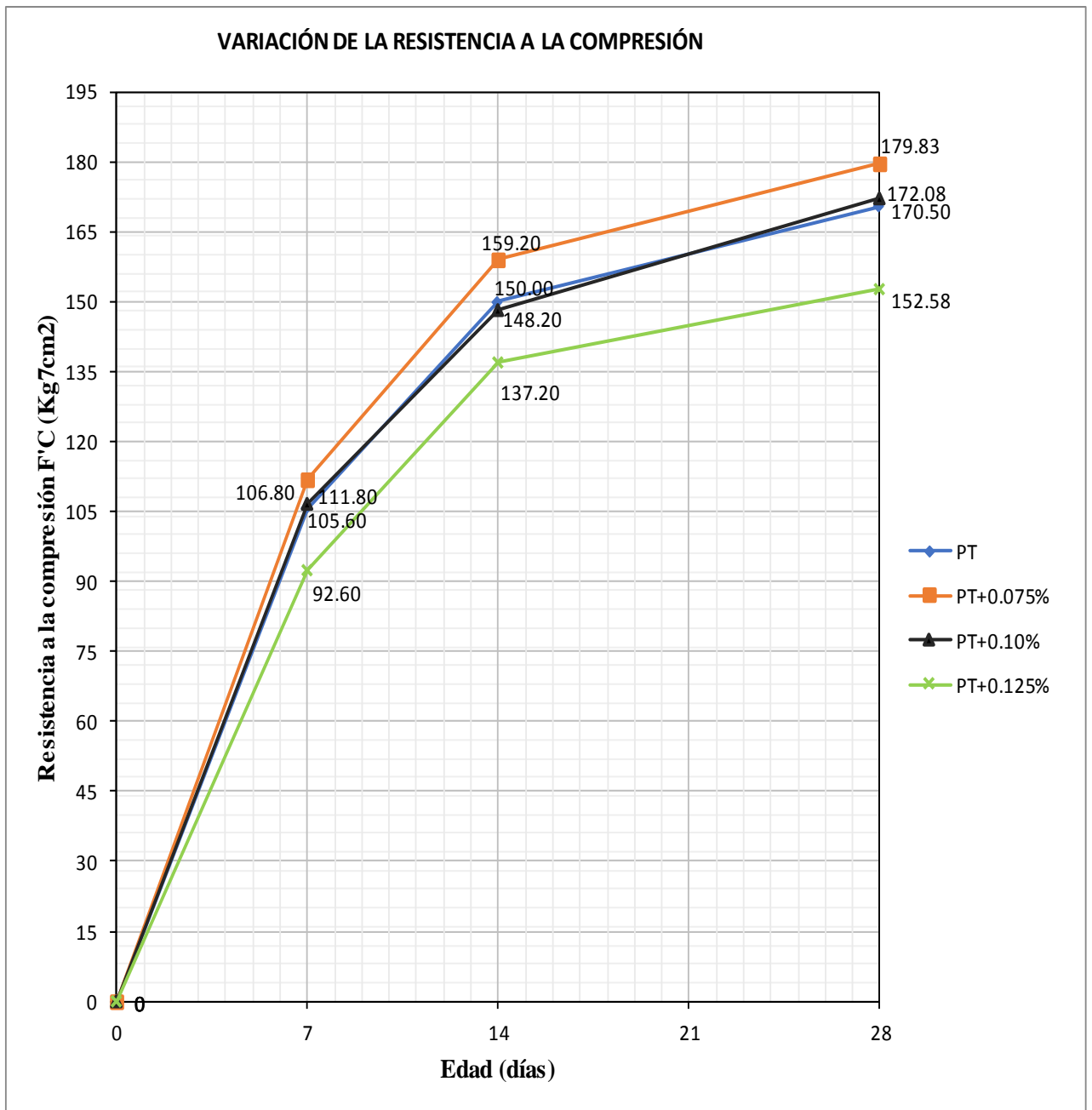


Figura 31. Resultados de la resistencia promedio a los 28 días

En la figura 32, se observa la variación de las resistencias promedios según el porcentaje de adición de tiras de plástico. Se aprecian los mejores resultados con la incorporación de 0.075% de tiras de plástico, superando la resistencia esperada de 175 kg/cm<sup>2</sup> en 2.76%, con una resistencia promedio de 179.83 kg/cm<sup>2</sup>.



#### 4.1.3.2 Resultados de coeficiente de permeabilidad

En la tabla 15 se muestran los valores obtenidos del ensayo de permeabilidad, observándose que conforme aumenta el porcentaje de adición de tiras de plástico las muestras ensayadas tienen una tendencia a disminuir su coeficiente de permeabilidad. Sin embargo, estos valores se encuentran en el rango establecido por el ACI 522R-10 para concreto permeable.

Tabla 25

*Resultados promedios del cálculo del coeficiente de permeabilidad de los especímenes de concreto ensayados a los 28 días.*

Muestra	Coficiente de Permeabilidad
PT	0.510
PT+ 0.075%	0.507
PT+0.10%	0.499
PT+0.125%	0.492

Fuente: *Elaboración propia.2019*

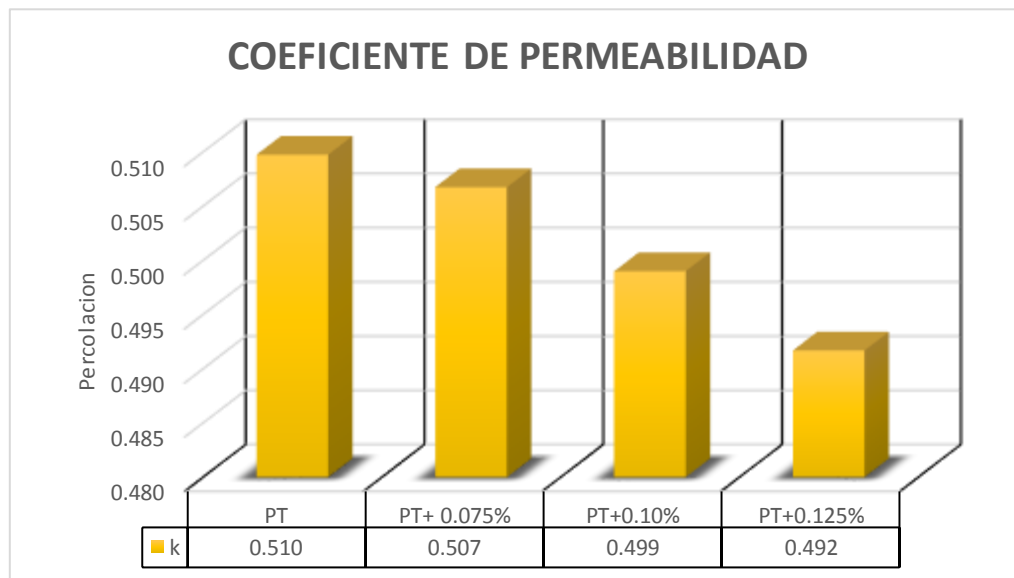


Figura 32. Coeficiente de permeabilidad de los especímenes ensayados a los 28 días.

#### 4.1.3.3 Resultados de porcentaje de vacíos

En la tabla 16 se muestran los valores promedios obtenidos del ensayo de porcentaje de vacíos, observándose que conforme aumenta el porcentaje de adición de tiras de plástico las muestras ensayadas tienen una tendencia a disminuir su porcentaje de vacíos.

Tabla 26

*Resultados promedios del cálculo del porcentaje de vacíos de los especímenes ensayados a los 28 días*

MUESTRA	PORCENTAJE DE VACIOS EN ESTADO	
	ENDURECIDO	
PT	18.84	
PT+ 0.075%	18.72	
PT+0.10%	18.35	
PT+0.125%	18.13	

Fuente: *Elaboración propia.2019*

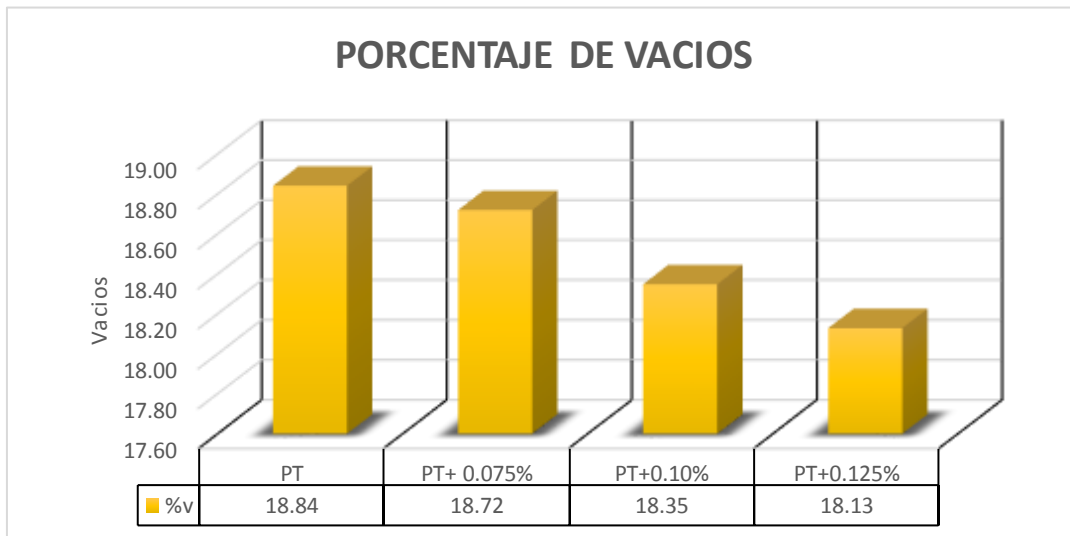


Figura 33. Porcentaje de vacíos de los especímenes ensayados a los 28 días.

#### 4.1.3.4 Resultados de asentamiento

Siguiendo el NTP 339.035/ASTM C 143, se realizó la prueba del slump utilizando el cono de abrahams para evaluar la trabajabilidad de la muestra patrón y las muestras con adición de tiras de plástico en los porcentajes de



0.075%, 0.10%, 0.125% para un diseño de mezcla de  $f'c$  175 kg/cm<sup>2</sup> y con una relación a/c igual a 0.35, obteniéndose los siguientes resultados:

Las mezclas PT (muestra patrón), PT + 0.075% y PT+0.10% presentaron un asentamiento igual a 0 mientras de la mezcla PT+0.125% presento un asentamiento de 0.2”. Por lo tanto, al adicionarle el 0.125% de tiras de plástico aumenta la trabajabilidad, lo cual significa que presentaba un mayor contenido de pasta en la mezcla; mientras que la adición de 0.075% y 0.1% mantienen un asentamiento de 0”.

#### 4.1.4 Análisis estadístico de resultados de resistencia a la compresión

Se realizó una evaluación estadística de los resultados de resistencia a la compresión utilizando la dosificación en la que se obtuvieron mayores resistencias, la cual corresponde a la Muestra PT+ 0.075% de adición de tiras de plástico. Para ello se elaboraron 30 probetas ensayadas a los 28 días de edad, y se procedió a determinar los parámetros estadísticos, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 27  
*Resultados promedios del cálculo del porcentaje de vacíos de los especímenes ensayados a los 28 días*

Parámetros Estadísticos	Valor
X promedio	187.03
Desviación estándar	6.19
Variación	3.31%
$f'cR$ Máximo	184.62
$f'cR$ Mínimo	156.73
Muestra	30

Fuente: Elaboración propia

- De los resultados, obtenemos que el concreto en laboratorio es Excelente , tabla N° 28.

$$D_s = 6.19 < 14.1$$

- De los resultados, obtenemos que la variación entre testigos es Bueno, tabla N° 29.

$$3 < V = 3.31 < 4$$

**Tabla 28**  
*Dispersión Total de la Muestra.*

Clase de Operación	Desviación Estándar para diferentes Grados de Control ( Kg/cm <sup>2</sup> )				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Concreto en obra	< a 28.1	28.1 a 35.2	35.2 a 42.2	42.2 a 49.2	> 49.2
Concreto en Laboratorio	< a 14.1	14.1 a 17.6	17.6 a 21.1	21.1 a 24.6	> 24.6

Fuente: Típicos de Tecnología del Concreto. Pasquel E. (1999)

**Tabla 29**  
*Dispersión entre los testigos de concreto*

Clase de Operación	Desviación Estándar para diferentes Grados de Control ( Kg/cm <sup>2</sup> )				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Concreto en obra	< a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	5.0 a 6.0	> 6.0
Concreto en Laboratorio	< a 2.0	2.0 a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	> 5.0

Fuente: Típicos de Tecnología del Concreto. Pasquel E. (1999)

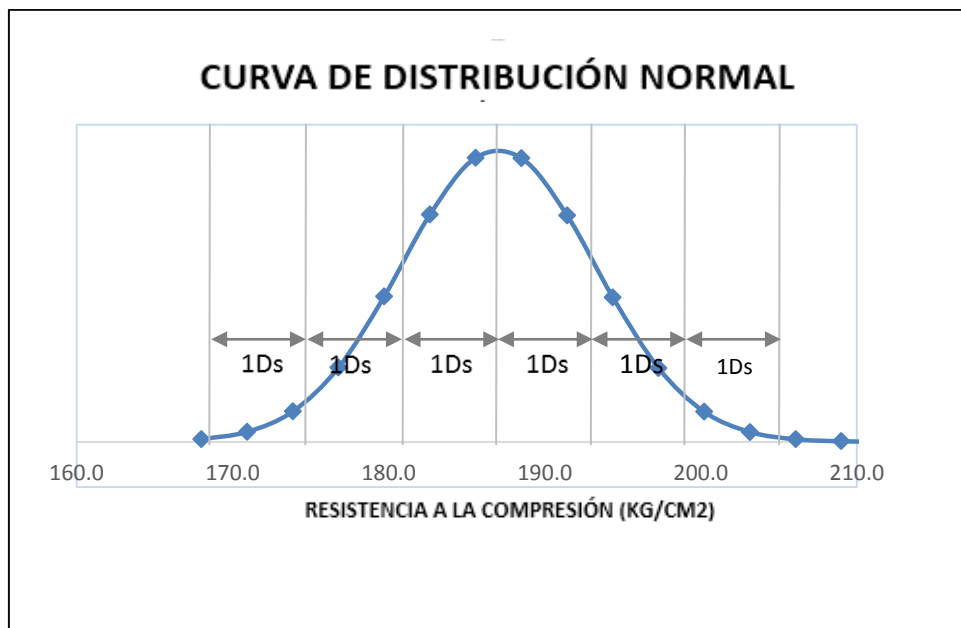


Figura 35. Curva de distribución normal de F'c= 175 Kg/Cm<sup>2</sup> + 0.075% de adición de tiras de plástico

Tabla 30  
*Probabilidad de ocurrencia*

PORCENTAJE	PROBABILIDAD DE OCURENCIA	
	INTERVALO	
	A	B
68.0%	180.8	193.2
95.10%	174.7	199.4
99.7%	168.5	205.6

Fuente: Elaboración propia

De la figura 35 y la tabla 30 se puede obtener que:

- Existe la probabilidad de que el 68.0% de los testigos elaborados tengan una resistencia a la compresión entre 180.8 kg/cm<sup>2</sup> y 193.2 kg/cm<sup>2</sup> a la edad de 28 días.
- Existe la probabilidad de que el 95.1% de los testigos elaborados tengan una resistencia a la compresión entre 174.7 kg/cm<sup>2</sup> y 199.4 kg/cm<sup>2</sup> a la edad de 28 días.
- Existe la probabilidad de que el 99.7% de los testigos elaborados tengan una resistencia a la compresión entre 168.5 kg/cm<sup>2</sup> y 205.6 kg/cm<sup>2</sup>

#### 4.1.5 Diseño de pavimento permeable

El diseño de pavimento permeable se realizó siguiendo la metodología establecida por el MINVU 20116 “Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile”.

La carpeta de rodadura del pavimento permeable estará conformada por concreto permeable con un porcentaje de vacíos de 17.4% y un espesor de 17.5 cm, la sub-base será tendrá 15cm de espesor y para la selección del espesor de la base, se consideró un filtro granular, que tendrá un espesor de 5cm. Esta capa estará formada por grava de tamaño medio 1.2 cm (1/2"), máximo 2.5cm (1 ").



#### 4.1.6 Análisis económico

En la tabla 24 se muestran los valores obtenidos del análisis económico para la elaboración de concreto permeable con las proporciones estudiadas en esta investigación.

Tabla 27

*Resultados de la evaluación económica para la elaboración de concreto permeable*

MEZCLA	S/
CONCRETO CONVENCIONAL F'C=175KG/CM2 PARA PAVIMENTO RÍGIDO	426.40
CONCRETO PERMEABLE SIN ADICIÓN DE TIRAS DE PLÁSTICO F'C=175KG/CM2 PARA PAVIMENTO RÍGIDO	386.4
CONCRETO PERMEABLE + 0.075% DE ADICIÓN DE TIRAS DE PLÁSTICO F'C=175KG/CM2 PARA PAVIMENTO RÍGIDO	413.58
CONCRETO PERMEABLE + 0.100% DE ADICIÓN DE TIRAS DE PLÁSTICO F'C=175KG/CM2 PARA PAVIMENTO RÍGIDO	422.64
CONCRETO PERMEABLE + 0.125% DE ADICIÓN DE TIRAS DE PLÁSTICO F'C=175KG/CM2 PARA PAVIMENTO RÍGIDO	431.7

Fuente: Elaboración propia

El uso de concreto permeable sin adición de tiras de plástico para la elaboración de pavimento permeable conlleva a un ahorro del 8.54%, y con una adición del 0.075% y 0.10% de tiras, se reduce el costo en 2.22% y 0.1% respectivamente, mientras que con la adición del 0.125% el costo aumenta en un 2.09%.

#### 4.2 DISCUSIÓN

- Los resultados de las resistencias promedias obtenidos, determinan que la hipótesis planteada está aprobada, puesto si se aprecia un aumento de la resistencia con la incorporación al 0.075% de polietileno de baja densidad, sin embargo, según el análisis estadístico realizado y teniendo en cuenta que nuestros resultados deben ser tratados con los parámetros que rigen la elaboración de concreto en laboratorio (3Ds), es necesario replantear la resistencia requerida de 175 kg/cm<sup>2</sup> a 210 kg/cm<sup>2</sup>.



- Las investigaciones realizadas por Rafique Bhutta et al. (2012) y Bertoletti y Henrique (2014), que precisan un rango de 15% a 25% de contenido de vacíos para que se considere al concreto como permeable, confirman nuestros resultados que arrojaron valores de 18.13% a 18.84% de contenido de vacíos.
- La resistencia a la compresión de los especímenes elaborados en esta investigación tuvo valores de 152.58 kg/cm<sup>2</sup> a 179.83 kg/cm<sup>2</sup>, lo cual comparado con los resultados de la investigación de McCain & Dewoolkar (2010), que determinaron un rango de resistencias a la compresión para concreto permeable de 2.8 a 28.0 MPa, confirma nuestra posición.
- Nuestro coeficiente de permeabilidad, se encuentra en un rango de 0.49 cm/s a 0.51cm/s, siendo un indicador favorable, ya que el ACI 522R menciona que la permeabilidad de un concreto permeable se encuentra entre 0.14 a 1.22 cm/s.
- Los polímeros más usados para mejorar las propiedades mecánicas del concreto en más de una dirección, son el polipropileno y el polietileno; como lo demuestran investigaciones realizadas por Flores y Pacompia (2015), Reyes y Torres (2002) y Hernandez (2017), todas ellas con resultados positivos en cuanto a la mejora de las propiedades del concreto. Siendo desde un enfoque sostenible y ambiental el polietileno de baja densidad o LDPE, el tipo de plástico que se usó en nuestra investigación, puesto que además de su fácil acceso y manejo, constituye uno de los plásticos más usados en el mundo y el segundo tipo de plástico que más se recicla, después del PET.
- Una investigación similar a la nuestra presentaron los investigadores Reyes y Torres (2002), que utilizaron tiras de polietileno de baja densidad en tamaño y dosificaciones distintas, obteniendo resultados donde la tira más adecuado y el porcentaje optimo corresponde a la tira uno (4 mm x 20 mm) y a las probetas con adiciones de 0.025%, 0.050% y 0.075% en las cuales se produce una aumento de la resistencia a la



compresión, de 1.34%, 15.46% y del 3.63% respectivamente; obteniendo al igual que en nuestra investigación, mejoras en la propiedad mecánica principal del concreto: la resistencia a la compresión (186.00 kg/cm<sup>2</sup> a 214.75 kg/cm<sup>2</sup>).



**CAPÍTULO V:  
CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES**



## CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

- Se concluyó que hay una probabilidad del 99.7 % de alcanzar una resistencia entre 168.5 kg/cm<sup>2</sup> y 205.6 kg/cm<sup>2</sup> con la adición de tiras de material plástico reciclado, estando el valor mínimo por debajo de la resistencia esperada de 175kg/cm<sup>2</sup>, por lo que se recomienda aplicar un diseño de mezcla para una resistencia mínima de 210 kg/cm<sup>2</sup>.
- El diseño de mezcla idóneo se realizó para una resistencia a la compresión de 175 kg/cm<sup>2</sup>, utilizando una relación a/c = 0.35, obteniendo una dosificación de: Cemento: 1, Arena: 0.483, Piedra: 4.257, Agua: 15.122.
- El porcentaje de adición de material plástico que mejora en promedio las propiedades del concreto permeable es el de 0.075%, aunque pierde permeabilidad y porcentaje de vacíos, esto no afecta su desempeño hidráulico esperado.

La adición de tiras de polietileno de baja densidad de 4 mm x 20mm, influyó en las propiedades del concreto permeable, de la siguiente manera:

- La resistencia a la compresión obtenida a los 28 días de edad de la muestra patrón incorporando el 0.075% y 0.10% de tiras, aumentó en un 5.33 y 0.91% respectivamente, mientras que con la adición de 0.125% disminuyó en 10.24%.
- La permeabilidad y el porcentaje de vacíos obtenidos disminuyeron conforme se iba aumentando el porcentaje de adición de tiras, sin embargo, estos valores se encuentran dentro del rango de aceptación y cumplen con lo establecido por la norma ACI 522R-10.
- Del diseño de pavimento permeable se obtuvieron los siguientes espesores: Capa de rodadura: 17.5 cm, Sub base: 15cm cm y se considerará una base de 5cm de material granular de 1/2“ a 1”, para una mejor filtración.



- Ecológicamente es factible el uso de concreto permeable con fines de pavimentación en el distrito de Pariacoto, puesto, el coeficiente de permeabilidad obtenido de los ensayos realizados fue 0.507 cm/s, siendo este valor, mayor a la intensidad de lluvia de diseño obtenida en la realización del estudio hidrológico. Concluyendo que la capa de concreto de pavimento permeable será capaz de infiltrar el agua de lluvia a través de su estructura de poros conectados, sin producir estancamiento.
- La elaboración de concreto permeable con adición de 0.075% de tiras de plástico conlleva un ahorro del 2.22% con respecto al costo de la elaboración de concreto convencional, siendo viable económicamente su aplicación con fines de pavimentación.

## **5.2 Recomendaciones**

- Se recomienda a los futuros tesisistas, el uso de concreto permeable con adición de polietileno de baja densidad en el diseño de pavimentos rígidos en zonas de tránsito liviano.
- Se recomienda a los futuros tesisistas, ampliar los estudios sobre la adición de tiras de polietileno en el diseño de concreto permeable con fines de pavimentación utilizando otros Husos granulométricos, porcentaje de agregado fino, porcentaje de vacíos y relación agua – cemento, con el fin de mejorar las características mecánicas del concreto.
- Se recomienda a los futuros tesisistas, realizar los ensayos y pruebas bajo los requerimientos de las Normas Técnicas Peruanas e Internacionales para estandarizar los procedimientos y optimizar los resultados obtenidos.
- Se recomienda a los futuros tesisistas, elaborar el diseño de mezcla bajo el reglamento ACI 522 R-10 “Reporte en concreto permeable” y ACI 211.3R-02 “Guía para la selección de proporciones para concretos de 0 slump”.



- Se recomienda a los futuros tesisistas, realizar el refrenado de las probetas de concreto con mortero de yeso y cemento, ya que este tipo de concreto posee una superficie irregular y puede generar fallas con menores resistencias a las esperadas.
- Se recomienda a los futuros tesisistas, realizar ensayos de resistencia a la flexión, puesto que los pavimentos reciben esfuerzos principalmente a la flexión

**CAPÍTULO VI:  
REFERENCIAS  
BIBLIOGRÁFICAS Y  
VIRTUALES**



## CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES

ACI 522R-10 (2010). Report on Pervious Concrete..

Azañedo, Wiston; Chávez, Helard y Muñoz, Richard (2015) *Diseño de Mezcla de Concreto Poroso con Agregados de la Cantera la Victoria, Cemento Pórtland Tipo I con Adición de Tiras de Plástico, y su Aplicación en Pavimentos Rígidos, en la Ciudad de Cajamarca*. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.

CIRIA (2007). The SuDS Manual. CIRIA, Londres: CIRIA

Chaiña y Villanueva ( 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, Perú.

Chaparro, Gustavo (2013) *Estudio y análisis de dosificaciones para la elaboración de hormigón permeable con materiales locales*. Universidad Nacional de Itapúa, Paraguay.

David R. Smith (2006) *Permeable Interlocking Concrete Pavement*. Canadá.

Debo y Resse ( 2000) *Municipal Stormwater Management*. Florida

Interpave. (2008). Guide to the design, construction and maintenance of concrete block permeable pavements. Interpave The Precast Concrete Paving & Kerb Association.

Fernández y Monckeberg (2001) *Estimación del periodo de retorno de sequías meteorológicas e hidrológicas mensuales*. Pontificia Universidad Católica de Chile , Chile.

Flores y Pacompia (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 del Altiplano, Perú.



- Fidel, Roque (2011) *Guía de Investigación Científica*. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Perú.
- García Haba, Eduardo (2011) *Control De Escorrentías Urbanas Mediante Pavimentos Permeables: Aplicación En Climas Mediterráneos*. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Germán Mosalve Sáenz (1998) *Hidrología en la ingeniería* 2ª Edición. Colombia
- Green, Rob (2011) *Pervious Concrete Past, Present and Future, Cement and Concrete Association of New Zealand (CCANZ), Concrete Magazine*. New Zealand.
- Guizado, Agneth (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, Perú
- Hernandez, Marlon (2017) *Concreto permeable con adición de tiras de plástico y su aplicación en pavimentos rígidos de tráfico liviano*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Jaime Barahona Añazco ( 2014) *Análisis Y Diseño Para Solución De Aguas Lluvias Mediante Sistemas Urbanos De Drenaje Sostenible Aplicando La Técnica De Firmes Permeables En Condominio Ercilla, Comuna De Temuco, IX Región De La Araucanía*. Universidad Austral de Chile, Chile.
- Jorge Rodríguez Hernández (2008) *Estudio, Análisis Y Diseño De Secciones Permeables De Firmes Para Vías Urbanas Con Un Comportamiento Adecuado Frente A La Colmatación Y Con La Capacidad Portante Necesaria Para Soportar Tráficos Ligeros*. Universidad de Cantabria, Santander.
- Kyrle, Jonh (1979) *No-fines building gives energy-conserving homes. A system that saves both energy and cement, International Construction*. England.



- Luis Enrique Goytizolo Fuentes (2000) Estudio Geotécnico Con Fines De Pavimentación  
*Carretera Cruz Punta Yautan Pariacoto –Tramo Yautan Pariacoto (Ruta 14-A)*  
*Departamento De Ancash Provincia De Casma Universidad Alas Peruanas, Perú.*  
*Manual de hidrología hidráulica y drenaje* (2011) Lima,Perú.
- Meininger, Richard C. (1988) *No Fines Pervious Concrete for Paving. Estados Unidos.*
- MINVU. (1996). Manual de Técnicas alternativas para soluciones de aguas lluvias en sectores urbanos. Guía de Diseño. Chile: Ministerio de la Vivienda y el Urbanismo del Gobierno de Chile.
- Neithalath N., J. Weiss y J. Olek (2005). *Modeling the effects of pore structure on the acoustic absorption of Enhanced Porosity Concrete. Journal of Advanced Concrete Technology, Japan Concrete Institute, Vol.3, No.1.* Estados Unidos.
- Quispe y Ticona (2017) *Influencia de la incorporación de fibras de polipropileno en concreto permeable  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ .* Universidad Peruana Unión, Perú.
- Reyes y Torres (2002) *Efectos de las fibras plásticas en la flexión de estructuras de pavimentos drenantes.* Universidad Javeriana, Colombia.
- Saucedo Vidal, A. (2012). *Concreto Hidraulico Permeable, Una Alternativa Para La Recarga De Los Mantos Acuiferos Del Valle De Mexico.* México: Universidad Nacional de México.
- Villón, Maximo (2002) *Hidrología.* Costa Rica.
- Woods-Ballard B.; Kellagher R.; Martin P.; Jefferies C.; Bray R.; Shaffer P. (2007) *The SUDS Manual. CIRIA C697.* London.



# **CAPÍTULO VII: ANEXOS**

**ANEXO N° 1**  
**ANÁLISIS**  
**HIDROLÓGICO**

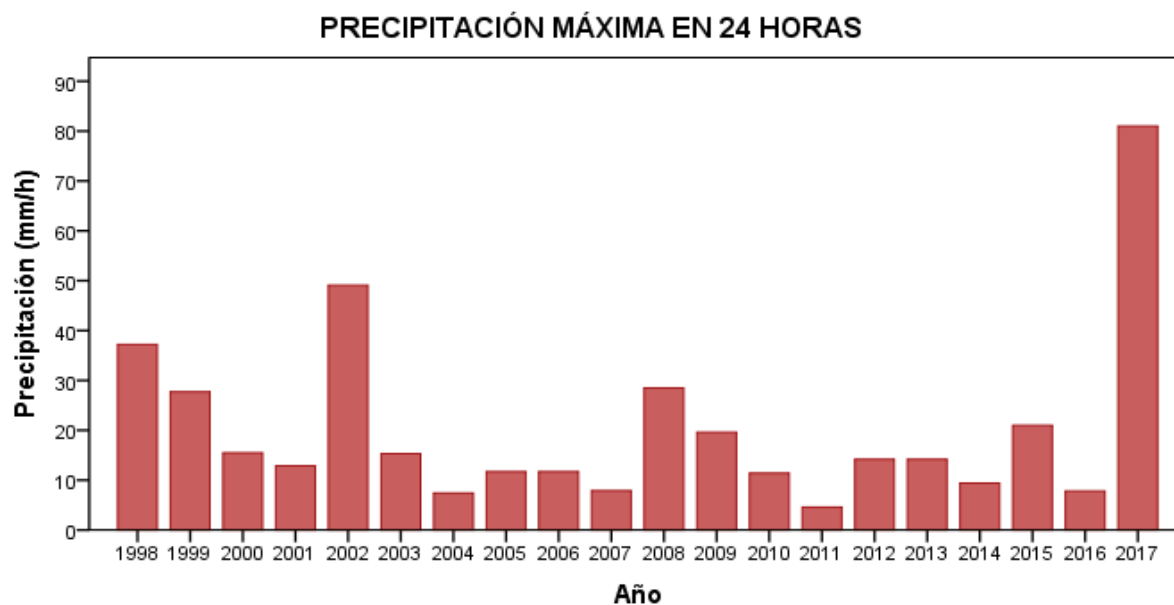
## ANÁLISIS HIDROLÓGICO

A partir del registro de datos de la estación meteorológica de Pariacoto brindada por el SENAMHI durante el periodo del año 1998 al 2017, se realizó un análisis empleando las funciones de probabilidad, con la finalidad de ajustar la precipitación máxima, a una serie anual de distribución teórica, para esto se utilizó el programa SMADA 6.43, el cual nos permite generar lluvias máximas con respecto a determinados periodos de retorno.

### PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS

<b>Estación</b>	Pariacoto - 150904 - DZ04	<b>Altitud</b>	1312 msnm
<b>Parámetro</b>	Precipitación máxima en 24 horas (mm)	<b>Departamento</b>	Ancash
<b>Latitud</b>	9 33' 8.61"	<b>Provincia</b>	Huaraz
<b>Longitud</b>	77 53' 15.41"	<b>Distrito</b>	Pariacoto

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MÁX
1998	33.5	36.7	37.2	15.4	0.7	0.5	0	0	0.5	6.5	3.3	8.4	37.20
1999	9.2	27.7	3.3	5.7	1.2	0	0	0.3	0.6	2.2	2	2	27.70
2000	9.6	15.5	12.4	2.5	3.2	0	0	0.3	0.5	1.4	1.4	10.2	15.50
2001	5.8	9	12.9	2.1	1.1	0	0	0	2.1	1.1	0.8	1.3	12.90
2002	0.5	49.1	4.9	6.8	1.2	0	0	0	1.2	2.7	5.7	1.4	49.10
2003	3.3	4.5	11.7	1.8	0	0	0	0	0.2	5.8	0.5	15.3	15.30
2004	5.1	6	5.5	7.4	0	0	0	0	1.3	5.7	5.7	3.8	7.40
2005	9.2	4.8	11.7	2.4	0	0	0	0	0.2	1.4	0.5	2.6	11.70
2006	4.5	11.3	11.7	3.5	0	0	0	0	0	0	5.2	3.4	11.70
2007	5.2	6.9	7.9	6.3	0	0	0	0	0	5.1	0.8	5	7.90
2008	5.2	16.4	16.3	28.5	0	0	0	0	0	0	0	0	28.50
2009	18	19.6	7.2	8.5	0	0	0	0	0	2	3.2	2.5	19.60
2010	3.6	11.4	3	1.5	1	0	0	0	0.8	3.2	3	7	11.40
2011	4.2	0	2.2	3.8	0	0	0	0	0	0	2.2	4.6	4.60
2012	0.5	14.2	10.5	1.2	0	0	0	0	1.4	2	1.4	3.2	14.20
2013	0.5	14.2	12.2	0	0	0	0	0	1.2	0	0	0	14.20
2014	5.4	8	2.6	0	0	0	0	0	0	0	1.8	9.4	9.40
2015	1.5	4.3	21	1.4	0	0	0	0	0	0	0	1.8	21.00
2016	2.6	6.2	7.8	0	0	0	0	0	0	0	0	2.2	7.80
2017	5.8	32.6	81	1.2	0	0	0	0	1.7	6	2	6.4	81.00



Se utilizaran las distribuciones Log Pearson tipo III, Gumbel, Log Normal 2 parámetros, Log Normal 3 parámetros para un nivel de significancia de 0.05. debido a que estas son las más utilizadas en el ámbito de variables hidrológicas.

<b>Distribution Analysis: Log Pearson Type III</b>				
Point Number	Weibull Probability	Actual Value	Predicted Value	Standard Deviation
1	0.0476	4.6	5.7128	1.1716
2	0.0952	7.4	6.6799	1.0387
3	0.1429	7.8	7.5092	1.0781
4	0.1905	7.9	8.2974	1.2019
5	0.2381	9.4	9.083	1.3705
6	0.2857	11.4	9.8895	1.5653
7	0.3333	11.7	10.7349	1.7785
8	0.381	11.7	11.6363	2.0081
9	0.4286	12.9	12.6122	2.2552
10	0.4762	14.2	13.6841	2.5233
11	0.5238	14.2	14.8797	2.8191
12	0.5714	15.3	16.238	3.1542
13	0.619	15.5	17.8112	3.5464
14	0.6667	19.6	19.6745	4.026
15	0.7143	21	21.9441	4.6467
16	0.7619	27.7	24.8115	5.5104
17	0.8095	28.5	28.623	6.8288
18	0.8571	37.2	34.0914	9.1015
19	0.9048	49.1	43.0291	13.7964
20	0.9524	81	62.4241	27.7367

<b>Predictions</b>			
Exceedence Probability	Return Period	Calculated Value	Standard Deviation
0.995	200	184.9379	199.8345
0.99	100	134.256	113.4096
0.98	50	96.4344	62.3413
0.96	25	68.2834	32.8401
0.9	10	41.8697	13.1208
0.8	5	27.7593	6.5116
0.667	3	19.6889	4.0298
0.5	2	14.2643	2.6672

<b>Distribution Analysis: Gumbel</b>				
Point Number	Weibull Probability	Actual Value	Predicted Value	Standard Deviation
1	0.0476	4.6	-5.7051	4.8491
2	0.0952	7.4	-1.5842	4.2231
3	0.1429	7.8	1.4348	3.8407
4	0.1905	7.9	3.9866	3.5854
5	0.2381	9.4	6.292	3.4209
6	0.2857	11.4	8.4593	3.3322
7	0.3333	11.7	10.5537	3.3123
8	0.381	11.7	12.6208	3.3572
9	0.4286	12.9	14.697	3.4643
10	0.4762	14.2	16.8151	3.632
11	0.5238	14.2	19.0082	3.8596
12	0.5714	15.3	21.3135	4.1481
13	0.619	15.5	23.7756	4.5012
14	0.6667	19.6	26.4531	4.9265
15	0.7143	21	29.4283	5.4376
16	0.7619	27.7	32.8251	6.0578
17	0.8095	28.5	36.8486	6.8289
18	0.8571	37.2	41.8794	7.8317
19	0.9048	49.1	48.769	9.2508
20	0.9524	81	60.2294	11.6797

<b>Predictions</b>			
Exceedence Probability	Return Period	Calculated Value	Standard Deviation
0.995	200	96.5272	19.5987
0.99	100	85.4307	17.1583
0.98	50	74.2936	14.7226
0.96	25	63.0736	12.2909
0.9	10	47.9494	9.0799
0.8	5	35.9793	6.6595
0.667	3	26.4728	4.9298
0.5	2	17.9001	3.7383

**Distribution Analysis: Log Normal II Parametros**

Point Number	Weibull Probability	Actual Value	Predicted Value	Standard Deviation
1	0.0476	4.6	4.2084	7.4789
2	0.0952	6	5.5402	6.7734
3	0.1429	7.8	6.6659	6.1917
4	0.1905	7.9	7.7182	5.6638
5	0.2381	9.4	8.7488	5.1662
6	0.2857	11.4	9.7872	4.6908
7	0.3333	11.7	10.8544	4.2383
8	0.381	11.7	11.9688	3.8189
9	0.4286	12.9	13.1486	3.4558
10	0.4762	14.2	14.414	3.1903
11	0.5238	14.2	15.7895	3.0847
12	0.5714	15.3	17.309	3.2099
13	0.619	15.5	19.0152	3.6181
14	0.6667	19.6	20.9675	4.3298
15	0.7143	21	23.2539	5.3591
16	0.7619	25.3	26.0138	6.7507
17	0.8095	28.5	29.4876	8.6177
18	0.8571	37.2	34.1425	11.2155
19	0.9048	49.1	41.0796	15.1775
20	0.9524	81	54.08	22.7131

**Predictions**

Exceedence Probability	Return Period	Calculated Value	Standard Deviation
0.995	200	108.2813	54.4511
0.99	100	89.4688	43.4149
0.98	50	72.6272	33.5473
0.96	25	57.5954	24.762
0.9	10	40.2201	14.6832
0.8	5	28.7184	8.197
0.667	3	20.9822	4.3358
0.5	2	15.0862	3.1131

**Distribution Analysis: Log Normal III Parametros**

Point Number	Weibull Probability	Actual Value	Predicted Value	Standard Deviation
1	0.0476	4.6	0.48	11.603
2	0.0952	6	2.7045	8.124
3	0.1429	7.8	4.4736	5.8519
4	0.1905	7.9	6.0559	4.2315
5	0.2381	9.4	7.5503	3.1829
6	0.2857	11.4	9.0088	2.7967
7	0.3333	11.7	10.4652	3.0478
8	0.381	11.7	11.9455	3.6722
9	0.4286	12.9	13.473	4.437
10	0.4762	14.2	15.0708	5.229
11	0.5238	14.2	16.7657	5.9991
12	0.5714	15.3	18.5926	6.7235
13	0.619	15.5	20.5935	7.3852
14	0.6667	19.6	22.8248	7.9678
15	0.7143	21	25.3683	8.4525
16	0.7619	25.3	28.351	8.8192
17	0.8095	28.5	31.9873	9.0601
18	0.8571	37.2	36.685	9.2555
19	0.9048	49.1	43.3798	10.0004
20	0.9524	81	55.1663	15.003

**Predictions**

Exceedence Probability	Return Period	Calculated Value	Standard Deviation
0.995	200	97.9827	65.1924
0.99	100	83.9722	44.9253
0.98	50	70.7414	28.8207
0.96	25	58.2165	17.1519
0.9	10	42.5678	9.8495
0.8	5	31.1924	9.0208
0.667	3	22.8414	7.9715
0.5	2	15.9043	5.6186



Aplicando la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov – Smirnov, con el fin de elegir la distribución de mejor ajuste obtenemos:

**Distribution Analysis: Log Pearson Type III**

P	Log Pearson Type III
1	5.7128
2	6.6799
3	7.5092
4	8.2974
5	9.083
6	9.8895
7	10.7349
8	11.6363
9	12.6122
10	13.6841
11	14.8797
12	16.238
13	17.8112
14	19.6745
15	21.9441
16	24.8115
17	28.623
18	34.0914
19	43.0291
20	62.4241

Intervalo	Límite Inferior	Límite Superior	Frecuencia Observada	Frecuencia Observada Relativa	Frecuencia Observada Acumulada	Frecuencia Esperada Relativa	Estadístico Smirnov Kolmogorov
1	5.7128	16.37	12	0.6	0.6	0.4270811	0.172918852
2	16.36877	27.02	4	0.2	0.8	0.7155473	0.084452672
3	27.02474	37.68	2	0.1	0.9	0.9071054	0.007105432
4	37.68071	48.34	1	0.05	0.95	0.9810814	0.031081388
5	48.33668	58.99	0	0	0.95	0.9976732	0.047673243
6	58.99265	69.65	1	0.05	1	0.9998305	0.000169469
			20	1			

Parámetros					
Promedio	18.9683	Desviación Estándar	14.1424389	Intervalos (sturges)	5.32
Mín	5.7128	Número de datos (n)	20	Intervalos (raiz de n)	4.47
Máx	62.4241	Rango	56.71	Amplitud	10.66

Prueba de Hipótesis	
Estadístico s-k	0.17291885
Nivel de significancia	0.05
Grados de libertad	19
Estadístico teórico	0.29
La hipótesis	se acepta

## Distribution Analysis: Gumbel

P	Gumbel
1	-5.7051
2	-1.5842
3	1.4348
4	3.9866
5	6.292
6	8.4593
7	10.5537
8	12.6208
9	14.697
10	16.8151
11	19.0082
12	21.3135
13	23.7756
14	26.4531
15	29.4283
16	32.8251
17	36.8486
18	41.8794
19	48.769
20	60.2294

Intervalo	Límite Inferior	Límite Superior	Frecuencia Observada	Frecuencia Observada Relativa	Frecuencia Observada Acumulada	Frecuencia Esperada Relativa	Estadístico Smirnov Kolmogorov
1	-5.7051	6.68	5	0.25	0.25	0.2150951	0.034904892
2	6.683895	19.07	6	0.3	0.55	0.4694759	0.080524102
3	19.07289	31.46	4	0.2	0.75	0.7375112	0.012488783
4	31.46189	43.85	3	0.15	0.9	0.911166	0.011166022
5	43.85088	56.24	1	0.05	0.95	0.9803126	0.030312631
6	56.23988	68.63	1	0.05	1	0.9972189	0.002781138
			20	1			

Parámetros					
Promedio	20.40501	Desviación Estándar	17.39346	Intervalos (sturges)	5.32
Mín	-5.7051	Número de datos (n)	20	Intervalos (raiz de n)	4.47
Máx	60.2294	Rango	65.93	Amplitud	12.39

Prueba de Hipótesis	
Estadístico s-k	0.0805241
Nivel de significancia	0.05
Grados de libertad	19
Estadístico teorico	0.29
La hipótesis	se acepta

## Distribution Analysis: Log Normal II Parametros

P	Log Normal II Parametros
1	4.2084
2	5.5402
3	6.6659
4	7.7182
5	8.7488
6	9.7872
7	10.8544
8	11.9688
9	13.1486
10	14.414
11	15.7895
12	17.309
13	19.0152
14	20.9675
15	23.2539
16	26.0138
17	29.4876
18	34.1425
19	41.0796
20	54.08

Intervalo	Límite Inferior	Límite Superior	Frecuencia Observada	Frecuencia Observada Relativa	Frecuencia Observada Acumulada	Frecuencia Esperada Relativa	Estadístico Smirnov Kolmogorov
1	4.2084	13.58	9	0.45	0.45	0.3458524	0.10414759
2	13.5792	22.95	5	0.25	0.7	0.6284475	0.07155252
3	22.95	32.32	3	0.15	0.85	0.8536073	0.00360735
4	32.3208	41.69	2	0.1	0.95	0.9621597	0.01215973
5	41.6916	51.06	0	0	0.95	0.9938009	0.04380093
6	51.0624	60.43	1	0.05	1	0.9993699	0.0006301
			20	1			

Parámetros					
Promedio	18.70966	Desviación Estándar	12.937969	Intervalos (sturges)	5.32
Mín	4.2084	Número de datos (n)	20	Intervalos (raiz de n)	4.47
Máx	54.08	Rango	49.87	Amplitud	9.37

Prueba de Hipótesis	
Estadístico s-k	0.1041476
Nivel de significancia	0.05
Grados de libertad	19
Estadístico teorico	0.29
La hipótesis	se acepta

### Distribution Analysis: Log Normal III Parametros

P	Log Normal III Parametros
1	0.48
2	2.7045
3	4.4736
4	6.0559
5	7.5503
6	9.0088
7	10.4652
8	11.9455
9	13.473
10	15.0708
11	16.7657
12	18.5926
13	20.5935
14	22.8248
15	25.3683
16	28.351
17	31.9873
18	36.685
19	43.3798
20	55.1663

Intervalo	Límite Inferior	Límite Superior	Frecuencia Observada	Frecuencia Observada Relativa	Frecuencia Observada Acumulada	Frecuencia Esperada Relativa	Estadístico Smirnov Kolmogorov
1	0.48	10.76	7	0.35	0.35	0.2818985	0.068101488
2	10.75547	21.03	6	0.3	0.65	0.5549207	0.095079271
3	21.03095	31.31	3	0.15	0.8	0.8032862	0.003286243
4	31.30642	41.58	2	0.1	0.9	0.9416449	0.041644859
5	41.5819	51.86	1	0.05	0.95	0.9888156	0.038815614
6	51.85737	62.13	1	0.05	1	0.9986473	0.001352731
			20	1			

Parámetros					
Promedio	19.0471	Desviación Estándar	14.364976	Intervalos (sturges)	5.32
Mín	0.48	Número de datos (n)	20	Intervalos (raiz de n)	4.47
Máx	55.1663	Rango	54.69	Amplitud	10.28

Prueba de Hipótesis	
Estadístico s-k	0.0950793
Nivel de significancia	0.05
Grados de libertad	19
Estadístico teórico	0.29
La hipótesis	se acepta

La hipótesis se acepta cuando el estadístico teórico es mayor que el estadístico Kolmogorov Smirnov calculado, por lo tanto se elegirá la distribución **Gumbel** ya que la diferencia entre ambos parámetros mencionados es la más amplia.

Distribución	Estadístico teórico	Estadístico s-k	Ajuste
Log Pearson Type 3	0.29	0.172918852	
Gumbel	0.29	0.080524102	Bueno
Log Normal II Parámetros	0.29	0.104147587	
Log Normal III Parámetros	0.29	0.095079271	

Cálculo de la intensidad para distintas duraciones y periodos de retorno mediante las ecuaciones de Dick y Perchke

Duración (min)	Precipitación en 24 horas (mm)							
	17.9001	26.4728	35.9793	47.9494	63.0736	74.2936	85.4307	96.5272
	Periodo de retorno (años)							
	2	3	5	10	25	50	100	200
5	4.34518	6.42616	8.733827	11.63952	15.3109	18.03447	20.738	23.43158
10	5.16731	7.64204	10.38633	13.8418	18.2078	21.44671	24.6617	27.865
15	5.71857	8.45731	11.49436	15.31847	20.1502	23.73469	27.2927	30.83769
20	6.14501	9.08797	12.3515	16.46077	21.6528	25.50459	29.3279	33.13726
25	6.49755	9.60936	13.06012	17.40514	22.8951	26.96782	31.0105	35.03839
30	6.80057	10.0575	13.66918	18.21683	23.9628	28.22546	32.4566	36.67241
35	7.06776	10.4526	14.20624	18.93257	24.9043	29.33444	33.7319	38.11326
40	7.30769	10.8075	14.68849	19.57526	25.7497	30.33024	34.8769	39.40706
45	7.52606	11.1304	15.12743	20.16024	26.5192	31.23661	35.9192	40.58469
50	7.72694	11.4275	15.53118	20.69832	27.227	32.07032	36.8779	41.6679
55	7.91326	11.7031	15.9057	21.19743	27.8835	32.84365	37.7671	42.67266
60	8.08728	11.9604	16.25548	21.66359	28.4967	33.56592	38.5977	43.61109

Duración (min)	Periodo de retorno (años)							
	2	3	5	10	25	50	100	200
	Intensidad (mm/hr)							
5	52.142	77.114	104.806	139.67	183.7303	216.414	248.855	281.179
10	31.004	45.8522	62.318	83.051	109.2467	128.68	147.97	167.19
15	22.874	33.8292	45.9775	61.274	80.60088	94.9388	109.171	123.351
20	18.435	27.2639	37.0545	49.382	64.95846	76.5138	87.9837	99.4118
25	15.594	23.0625	31.3443	41.772	54.94817	64.7228	74.4251	84.0921
30	13.601	20.115	27.3384	36.434	47.92557	56.4509	64.9133	73.3448
35	12.116	17.9188	24.3536	32.456	42.69305	50.2876	57.8261	65.337
40	10.962	16.2112	22.0327	29.363	38.62453	45.4954	52.3154	59.1106
45	10.035	14.8406	20.1699	26.88	35.35891	41.6488	47.8922	54.1129
50	9.2723	13.713	18.6374	24.838	32.67238	38.4844	44.2534	50.0015
55	8.6326	12.767	17.3517	23.124	30.41839	35.8294	41.2005	46.552
60	8.0873	11.9604	16.2555	<b>21.664</b>	28.49672	33.5659	38.5977	43.6111

Intensidad máx. de lluvia = 21.66 mm/hr

Construcción de las curvas IDF usando el “Estudio de Hidrología del Perú” (IILA SENAMHI – UNI 1983).

### 1. Cálculo de parámetros

La estación en estudio pertenece a la sub zona pluviométrica 5a<sub>6</sub> por lo tanto usando la Tabla 3.a y Tabla 3.b de la NORMA OS.060 de DRENAJE PLUVIAL URBANO:

**Tabla 3.a**

**Subdivisión el Territorio en Zonas y Subzonas Pluviométricas y Valores de los Parámetros  $K'_g$  y  $\square_g$  que definen la distribución de probabilidades de hg en cada punto**

ZONA	$K'_g$	Subzona	$\square_g$
123	$K'_g = 0,553$	123 <sub>1</sub>	$\square_g = 85,0$
		123 <sub>2</sub>	$\square_g = 75,0$
		123 <sub>3</sub>	$\square_g = 100 - 0,022 Y$
		123 <sub>4</sub>	$\square_g = 70 - 0,019 Y$
		123 <sub>5</sub>	$\square_g = 24,0$
		123 <sub>6</sub>	$\square_g = 30,5$
		123 <sub>7</sub>	$\square_g = -2 + 0,006 Y$
		123 <sub>8</sub>	$\square_g = 26,6$
		123 <sub>9</sub>	$\square_g = 23,3$
		123 <sub>10</sub>	$\square_g = 6 + 0,005 Y$
		123 <sub>11</sub>	$\square_g = 1 + 0,005 Y$
		123 <sub>12</sub>	$\square_g = 75,0$
		123 <sub>13</sub>	$\square_g = 70$
4	$K'_g = 0,861$	4 <sub>1</sub>	$\square_g = 20$
5a	$K'_g = 11 \cdot \square_g^{-0,85}$	5a <sub>1</sub>	$\square_g = -7,6 + 0,006 Y$ (Y>2300)
		5a <sub>2</sub>	$\square_g = 32 - 0,177 D_c$
		5a <sub>3</sub>	$\square_g = -13 + 0,010 Y$ (Y>2300)
		5a <sub>4</sub>	$\square_g = 3,8 + 0,0053 Y$ (Y>1500)
		5a <sub>5</sub>	$\square_g = -6 + 0,007 Y$ (Y>2300)
		5a <sub>6</sub>	$\square_g = 1,4 + 0,0067$
		5a <sub>7</sub>	$\square_g = -2 + 0,007 Y$ (Y>2000)
		5a <sub>8</sub>	$\square_g = 24 + 0,0025 Y$
		5a <sub>9</sub>	$\square_g = 9,4 + 0,0067 Y$
		5a <sub>10</sub>	$\square_g = 18,8 + 0,0028 Y$
		5a <sub>11</sub>	$\square_g = 32,4 + 0,004 Y$
		5a <sub>12</sub>	$\square_g = 19,0 + 0,005 Y$
		5a <sub>13</sub>	$\square_g = 23,0 + 0,0143 Y$
		5a <sub>14</sub>	$\square_g = 4,0 + 0,010 Y$
5b	$K'_g = 130 \cdot \square_g^{-1,4}$	5b <sub>1</sub>	$\square_g = 4 + 0,010$ (Y>1000)
		5b <sub>2</sub>	$\square_g = 41,0$
		5b <sub>3</sub>	$\square_g = 23,0 + 0,143 Y$
		5b <sub>4</sub>	$\square_g = 32,4 + 0,004 Y$
		5b <sub>5</sub>	$\square_g = 9,4 + 0,0067 Y$
6	$K'_g = 5,4 \cdot \square_g^{-0,6}$	6 <sub>1</sub>	$\square_g = 30 - 0,50 D_c$
9	$K'_g = 22,5 \cdot \square_g^{-0,85}$	9 <sub>1</sub>	$\square_g = 61,5$
		9 <sub>2</sub>	$\square_g = -4,5 + 0,323 D_m$ (30XD <sub>m</sub> x110)
		9 <sub>3</sub>	$\square_g = 31 + 0,475(D_m - 110)$ D <sub>m</sub> x110)
10	$K'_g = 1,45$	10 <sub>1</sub>	$\square_g = 12,5 + 0,95 D_m$

Y : Altitud en msnm

D<sub>c</sub> : Distancia a la cordillera en Km

**Tabla 3.b**  
**Valores de los parámetros a y n que junto con K, definen las curvas de**  
**probabilidad**  
**Pluviométrica en cada punto de las subzonas**

SUBZONA	ESTACION	Nº TOTAL DE ESTACIONES	VALOR DE n	VALOR DE a
123 <sub>1</sub>	321-385	2	0.357	32.2
123 <sub>3</sub>	384-787-805	3	0.405	a = 37,85 - 0,0083 Y
123 <sub>13</sub>	244-193	2	0.432	
123 <sub>5</sub>	850-903	2	0.353	9.2
123 <sub>6</sub>	840-913-918	4	0.380	11.0
	958			
123 <sub>8</sub>	654-674-679	9	0.232	14.0
	709-713-714			
	732-745-752			
123 <sub>9</sub>	769	1	0.242	12.1
123 <sub>10</sub>	446-557-594	14	0.254	a = 3,01 + 0,0025 Y
	653-672-696			
	708-711-712			
	715-717-724			
	757-773			
123 <sub>11</sub>	508-667-719	5	0.286	a = 0,46 + 0,0023 Y
	750-771			
5a <sub>2</sub>	935-968	2	0.301	a = 14,1 - 0,078 D <sub>c</sub>
5a <sub>5</sub>	559	1	0.303	a = -2,6 + 0,0031 Y
5a <sub>10</sub>	248	1	0.434	a = 5,80 + 0,0009 Y

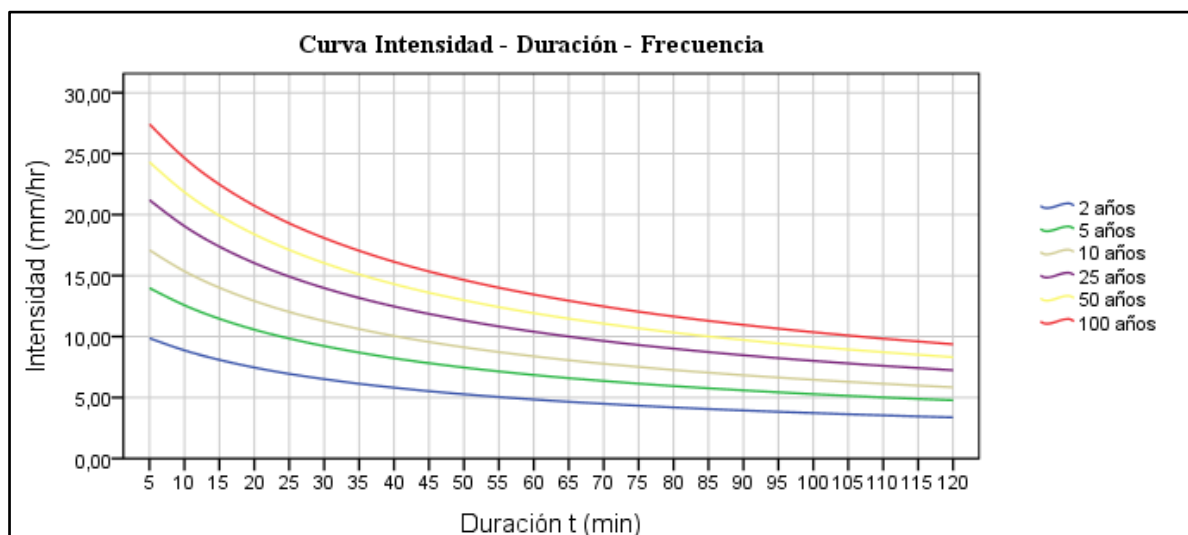
Obtenemos los siguientes parámetros:

Parámetros	valor
<b>A</b>	4.15128784
<b>K</b>	1.52907976
<b>B</b>	0.4
<b>N</b>	0.33

2. Cálculo de intensidades máximas para diferentes periodos de retorno y duraciones:

$$I_{(t,T)} = 4.15x (1 + 1.53 x \text{Log } T)x(t + 0.4)^{0.33-1}$$

Duración t (min)	INTENSIDADES MÁXIMAS					
	Periodo de retorno T (años)					
	2	5	10	25	50	100
5	9.86686705	13.9782248	17.0883469	21.1997047	24.3098268	27.4199488
10	8.86941673	12.5651537	15.3608708	19.0566078	21.8523248	24.6480419
15	8.09044944	11.4616038	14.0117837	17.3829381	19.9331179	22.4832978
20	7.46229892	10.5717135	12.9238949	16.0333095	18.3854909	20.7376722
25	6.94311824	9.83619899	12.0247301	14.9178108	17.1063419	19.294873
30	6.50552149	9.21626302	11.2668598	13.9776014	16.0281982	18.078795
35	6.1307709	8.68536015	10.6178323	13.1724216	15.1048937	17.0373659
40	5.8055765	8.22466272	10.0546308	12.473717	14.3036851	16.1336532
45	5.52022836	7.8204148	9.56043867	11.8606251	13.600649	15.3406728
50	5.26745317	7.46231242	9.12265935	11.3175186	12.9778655	14.6382125
55	5.04168588	7.1424717	8.73165483	10.8324406	12.4216238	14.0108069
60	4.83858989	6.85474902	<b>8.37991452</b>	10.3960737	11.9212392	13.4464047
65	4.65473146	6.59427987	8.0614916	10.00104	11.4682517	12.9354635
70	4.4873534	6.35715818	7.7716109	9.64141568	11.0558684	12.4703211
75	4.33421404	6.14020823	7.50639009	9.31238428	10.6785661	12.044748
80	4.19347055	5.94081929	7.26263759	9.00998633	10.3318046	11.6536229
85	4.06359279	5.75682365	7.03770335	8.73093421	10.0118139	11.2926936
90	3.94329878	5.58640515	6.82936713	8.4724735	9.71543548	10.9583975
95	3.83150566	5.4280297	6.63575352	8.23227757	9.44000139	10.6477252
100	3.7272919	5.28039183	6.45526657	8.0083665	9.18324124	10.358116
105	3.62986797	5.14237299	6.28653886	7.79904387	8.94320975	10.0873756
110	3.53855312	5.01300877	6.12839142	7.60284706	8.71822971	9.83361235
115	3.45275704	4.8914629	5.97980186	7.41850772	8.50684669	9.59518566
120	3.37196506	4.77700626	5.83987889	7.24492009	8.30779273	9.37066536



Intensidad máx. de lluvia = 8.38 mm/hr



**ANEXO N° 2**  
**DISEÑO DE MEZCLA**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**EAPIC**

<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE F'C 175 KG/CM2</b>	
Tesis: “Elaboración de concreto permeable con adición de material plástico reciclado para pavimentación en el distrito de Pariacoto-Ancash”	
Tesisistas: Castillo Castillo Liz Marcia Trujillo de la Cruz Eredith	Norma: ACI 522R-10/ ACI 211.3R Fecha: 26/09/2018

**Propiedades físicas de los materiales:**

<b>AGREGADOS</b>		
Propiedad	Agregado Fino	Agregado Grueso
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	2.754	2.705
Absorción (%)	1.420	0.429
Contenido de humedad (%)	0.646	0.379
Peso unitario suelto (gr/cm <sup>3</sup> )	1.485	1.459
Peso unitario compactado (gr/cm <sup>3</sup> )	1.707	1.530
Tamaño Máximo Nominal	-	½”
Módulo de fineza	2.918	-

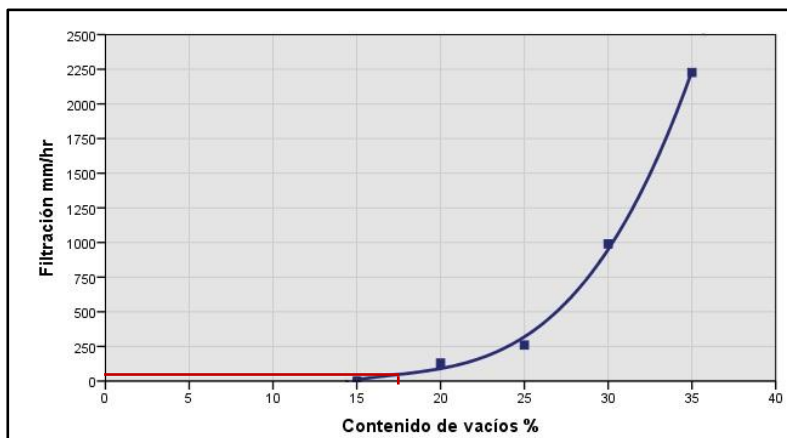
<b>CEMENTO</b>	
Propiedad	Valor
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	2.96

<b>AGUA</b>	
Propiedad	Valor
Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	1000

**1. Cálculo de la infiltración requerida**

Parámetro	Valor
Intensidad de lluvia (mm/hr)	21.66

**2. Determinación del porcentaje de vacíos**

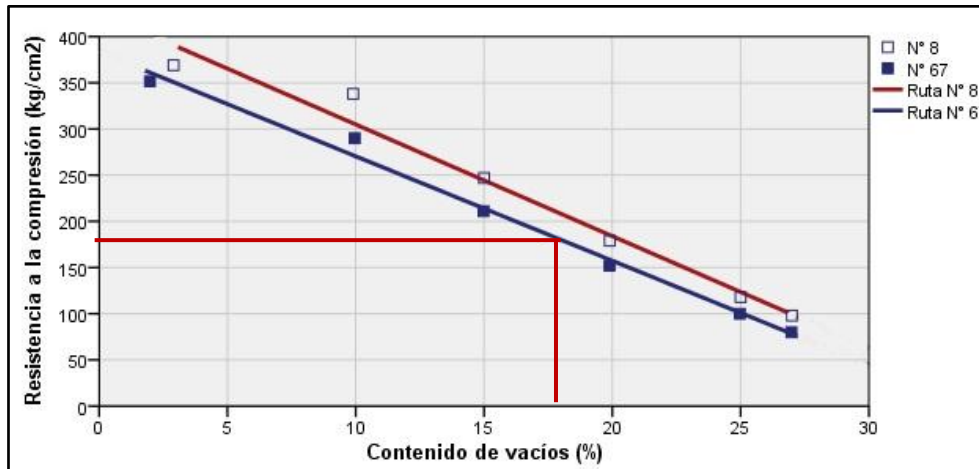


Parámetro	Valor
Contenido de vacíos %	17.4

Según el gráfico para una intensidad de lluvia de 21.66mm/hr, le corresponde un porcentaje de vacíos de 17.4 aproximadamente.

### 3. Obtención de la resistencia a la compresión referencial

Parámetro	Valor
Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	175



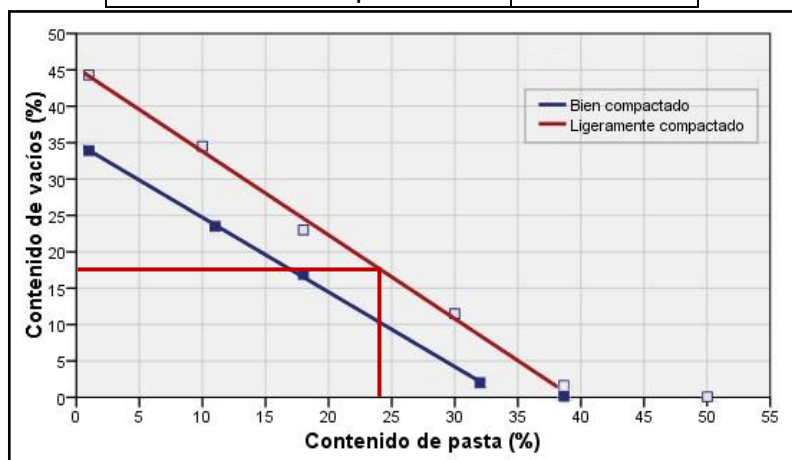
Según la figura para un contenido de vacíos de 17.4%, se obtiene una resistencia a la compresión referencial de 175 kg/cm<sup>2</sup>

### 4. Elección de la relación agua/cemento

Parámetro	Valor
Relación agua/cemento	0.35

### 5. Obtención del volumen de pasta

Parámetro	Valor
Volumen de pasta	0.235



El nivel de compactación considerado será ligeramente compactado, al cual le corresponde un volumen de pasta de 24.5%, debido a la adición del 10% de agregado fino, el volumen de pasta se debe reducir en 1%, obteniéndose un valor de 23.5%.

## 6. Cálculo de la cantidad de cemento

A partir de la siguiente fórmula:

$$V_P = V_C + V_A$$

$$V_p = \frac{Peso_{cem}}{Peso\ especific.\ cem. \times 1000\ kg/m^3} + \frac{Peso_{agua}}{Peso\ especific.\ agua \times 1000\ kg/m^3}$$

Reemplazando en la ecuación la relación a/c obtenemos:

$$Peso_{cem} = \frac{V_p * Peso\ especific.\ cem.}{1 + \frac{a}{c} * Peso\ especific.\ cem.} * 1000$$

$$Peso_{cem} = \frac{0.235 * 2.96}{1 + 0.35 * 2.96} * 1000$$

$$Peso_{cem} = 341.650$$

## 7. Cálculo de la cantidad de agua

La cantidad de agua se puede calcular a partir de la relación a/c, expresada en la siguiente ecuación:

$$Peso_{agua} = Peso_{cem} * \frac{a}{c}$$

$$Peso_{agua} = 341.650 * 0.35$$

$$Peso_{agua} = 119.578$$

## 8. Cálculo del contenido de agregado

ELEMENTO	Peso x m3	Peso Especifico	Volumen
AGUA	119.578	1000	0.120
CEMENTO	341.650	2960	0.115
VACIOS			0.170
		Parcial	0.405
		Agregado Grueso	0.595
			1.000

## 9. Cálculo de la cantidad de agregado fino contenido en el volumen absoluto de agregado

En este diseño se considerará la adición del Agregado fino en un 10%, entonces realizando el ajuste, se obtiene:

	Peso x m3	Peso Específico	Volumen
A. Fino (10%)	163.874	2754	0.060
A.G. corregido	1448.900	2706	0.536
Agua	119.578	1000	0.120
Cemento	341.650	2960	0.115
Vacíos			0.170
			<b>1.000</b>

## 10. Corrección por humedad de los agregados

Cálculo de agua efectiva

	Humedad (H%)	Absorción (a%)	Aporte
A. FINO	0.646	1.420	-1.268
A. GRUESO	0.379	0.429	-0.720
		Agua efectiva	121.565

Valores de diseño corregidos por humedad

	Peso	(H%)	Peso corregido
A. FINO	163.874	0.646	164.934
A. GRUESO	1448.900	0.379	1454.394

## 11. Proporciones de diseño de mezcla

CEMENTO	1
A. FINO	0.483
A. GRUESO	4.257
AGUA	15.122

**ANEXO N° 3**  
**ENSAYOS Y PRUEBAS**  
**DE LABORATORIO**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**EAPIC**  
**LABORATORIO DE SUELOS**

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO/ NTP 400.012**

**Tesis :** “Elaboración de concreto permeable con adición de material plástico reciclado para pavimentación en el distrito de Pariacoto-Ancash”

**Tesistas:** Castillo Castillo Liz Marcia  
 Trujillo de la Cruz Eredith

**Cantera:** Samanco

**Muestra:** Agregado Fino

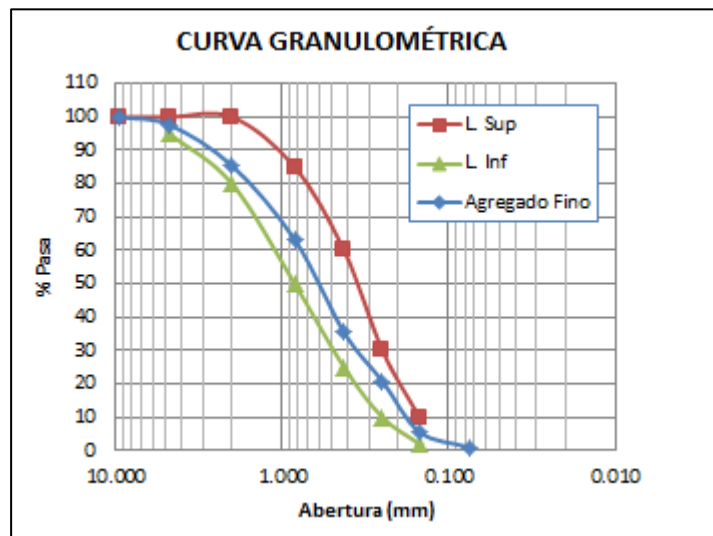
**Fecha:**

**Norma:** NTP 400.012

Peso inicial de la muestra seca (gr) = 2511

Mallas	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	%Retenido Parcial	% Retenido acumulado	% Pasa	Rango
3/8"	9.520	0	0.000	0.000	100.000	100
Nº 04	4.760	59	2.350	2.350	97.650	95 _ 100
Nº 8	2.000	307	12.226	14.576	85.424	80 _ 100
Nº 16	0.840	556	22.143	36.718	63.282	50 _ 85
Nº 30	0.425	699	27.838	64.556	35.444	10 _ 30
Nº 50	0.250	368	14.656	79.211	20.789	10 _ 30
Nº 100	0.150	381	15.173	94.385	5.615	2 _ 10
Nº 200	0.075	116	4.620	99.004	0.996	
CAZOLETA		25	0.996	100.000	0.000	
Total		2511	100			

M.F= 2.918





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**EAPIC**  
**LABORATORIO DE SUELOS**

**PESO UNITARIO / NTP 400.017**

**Tesis:** “Elaboración de concreto permeable con adición de material plástico reciclado para pavimentación en el distrito de Pariacoto-Ancash”

**Tesistas:** Castillo Castillo Liz Marcia  
 Trujillo de la Cruz Eredith

**Cantera:**  
**Muestra:** Agregado Fino

**Fecha:**

**Norma:** NTP 400.017

Recipiente		Fórmula
Dimensiones	Peso	$M = \frac{(G - T)}{V}$
l=	2108	
a=	gr	
h=		

**ANÁLISIS DEL PESO UNITARIO SUELTO**

Nº de ensayos	Peso del recipiente + muestra(G) (gr)	Peso del recipiente (T) (gr)	Peso de la muestra (gr)	Volumen del recipiente (V) (cm3)	Peso unitario suelto (M) (gr/cm3)
1	6168	2108	4060	2744	1.480
2	6176	2108	4068	2744	1.483
3	6206	2108	4098	2744	1.493
					<b>1.485</b>

**ANÁLISIS DEL PESO UNITARIO COMPACTADO**

Nº de ensayos	Peso del recipiente + muestra (gr)	Peso del recipiente (gr)	Peso de la muestra (gr)	Volumen del recipiente (cm3)	Peso unitario suelto (gr/cm3)
1	6808	2108	4700	2744	1.713
2	6799	2108	4691	2744	1.710
3	6772	2108	4664	2744	1.700
					<b>1.707</b>





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
EAPIC  
LABORATORIO DE SUELOS

**PESO ESPECÍFICO- ABSORCION/ NTP 400.022**

**Tesis:** “Elaboración de concreto permeable con adición de material plástico reciclado para pavimentación en el distrito de Pariacoto-Ancash”

**Tesistas:** Castillo Castillo Liz Marcia  
Trujillo de la Cruz Eredith

**Cantera:** Samanco

**Muestra:** Agregado Fino

**Fecha:**

**Norma:** NTP 400.022

Ensayo		
Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	500	S
Peso de la muestra secada al horno (gr)	493	A
Peso del frasco + Peso del agua (gr)	1199	B
Peso de la muestra saturada superficialmente seca + Peso frasco + Peso agua (gr)	1520	C

PESO ESPECIFICO NOMINAL(gr/cm <sup>3</sup> ) (A/ B+S-C)	<b>2.754</b>
PESO ESPECÍFICO APARENTE S.S.S.(gr/cm <sup>3</sup> ) (S/B+S-C)	<b>2.793</b>
PESO ESPECIFICO APARENTE (gr/cm <sup>3</sup> ) (A/B+A-C)	<b>2.866</b>
ABSORCION % ((S-A/A)*100)	<b>1.420</b>



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**EAPIC**  
**LABORATORIO DE SUELOS**

**CONTENIDO DE HUMEDAD / NTP 339.185**

**Tesis :** “Elaboración de concreto permeable con adición de material plástico reciclado para pavimentación en el distrito de Pariacoto-Ancash”

**Tesistas:** Castillo Castillo Liz Marcia  
Trujillo de la Cruz Eredith

**Cantera:** Samanco

**Muestra:** Agregado Fino

**Fecha:**

**Norma:** NTP 339.185

$$P = \frac{100(W_w - W_s)}{W_s} \%$$

Nº de ensayos	Peso del suelo húmedo + tara (W <sub>1</sub> )	Peso de tara (W <sub>t</sub> )	Peso del suelo seco + tara (W <sub>2</sub> )	Peso seco de la muestra (W <sub>s</sub> )	Peso del agua (W <sub>w</sub> )	Contenido de humedad (W%)
1	210.69	27.158	209.50	182.342	1.19	0.653
2	190.67	27.016	189.65	162.634	1.02	0.627
3	213.35	27.129	212.13	185.001	1.22	0.659
						<b>0.646</b>

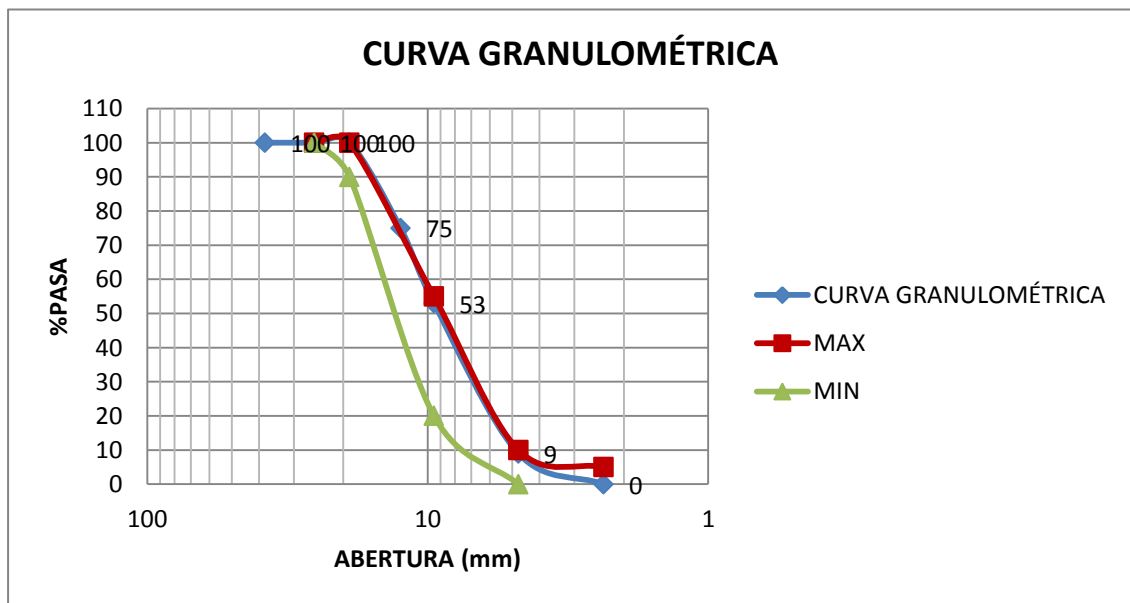


**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**EAPIC**  
**LABORATORIO DE SUELOS**

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO/ NTP 400.012</b>	
<b>Tesis : “Elaboración de concreto permeable con adición de material plástico reciclado para pavimentación en el distrito de Pariacoto-Ancash”</b>	
<b>Tesistas:</b> Castillo Castillo Liz Marcia Trujillo de la Cruz Eredith	<b>Cantera:</b> <b>Muestra:</b> Agregado Grueso
<b>Fecha:</b>	<b>Norma:</b> NTP 400.012

Peso inicial de la muestra seca (gr) = 2000

Mallas	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	%Retenido Parcial	% Retenido acumulado	% Pasa	Rango
1 1/2	38.1	0	0	0	100	
1	25.4	0	0	0	100	100
¾	19.0	0	0	0	100	90 - 100
½	12.5	500	25	25	75	
3/8	9.5	440	22	47	53	20 - 55
N° 4	4.75	880	44	91	9	0 - 10
N° 8	2.36	180	9	100	0	0 - 5
Cazoleta						
<b>Total</b>		<b>2000</b>	<b>100</b>			





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**EAPIC**  
**LABORATORIO DE SUELOS**

<b>PESO UNITARIO / NTP 400.017</b>	
<b>Tesis : “Elaboración de concreto permeable con adición de material plástico reciclado para pavimentación en el distrito de Pariacoto-Ancash”</b>	
<b>Tesistas:</b> Castillo Castillo Liz Marcia Trujillo de la Cruz Eredith	<b>Cantera:</b> <b>Muestra:</b> Agregado Grueso
<b>Fecha:</b>	<b>Norma:</b> NTP 400.017

Recipiente		Fórmula
Dimensiones	Peso	$M = \frac{(G - T)}{V}$
l=	3284	
a=	gr	
h=		

<b>ANALISIS DEL PESO UNITARIO SUELTO</b>					
Nº de ensayos	Peso del recipiente + muestra(G) (gr)	Peso del recipiente(T) (gr)	Peso de la muestra(gr)	Volumen del recipiente(V) (cm3)	Peso unitario suelto (gr/cm3)
1	16172	3284	12888	8835	1.459
2	16204	3284	12920	8835	1.462
3	16149	3284	12865	8835	1.456
					<b>1.459</b>

<b>ANALISIS DEL PESO UNITARIO COMPACTADO</b>					
Nº de ensayos	Peso del recipiente + muestra(G) (gr)	Peso del recipiente(T) (gr)	Peso de la muestra(gr)	Volumen del recipiente(V) (cm3)	Peso unitario suelto (gr/cm3)
1	16774	3284	13490	8835	1.527
2	16980	3284	13696	8835	1.550
3	16639	3284	13355	8835	1.512
					<b>1.530</b>



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**EAPIC**  
**LABORATORIO DE SUELOS**

**PESO ESPECÍFICO- ABSORCION/ NTP 400.022**

**Tesis :** “Elaboración de concreto permeable con adición de material plástico reciclado para pavimentación en el distrito de Pariacoto-Ancash”

**Tesistas:** Castillo Castillo Liz Marcia  
Trujillo de la Cruz Eredith

**Cantera:**  
**Muestra:** Agregado Grueso

**Fecha:**

**Norma:** NTP 400.022

<b>ENSAYO</b>		
Peso de la muestra seca en el aire (gr)	2565	A
Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire (gr)	2576	B
Peso en el agua de la muestra saturada (gr)	1628	C

PESO ESPECIFICO NOMINAL (gr/cm <sup>3</sup> ) (A/ B-C)	<b>2.706</b>
PESO ESPECIFICO APARENTE S.S.S. (gr/cm <sup>3</sup> ) (B/B-C)	<b>2.717</b>
PESO ESPECIFICO APARENTE (gr/cm <sup>3</sup> ) (A/A-C)	<b>2.737</b>
ABSORCION % ((B-A/A)*100)	<b>0.429</b>



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
EAPIC  
LABORATORIO DE SUELOS

**CONTENIDO DE HUMEDAD // NTP 339.185**

**Tesis :** “Elaboración de concreto permeable con adición de material plástico reciclado para pavimentación en el distrito de Pariacoto-Ancash”

**Tesistas:** Castillo Castillo Liz Marcia  
Trujillo de la Cruz Eredith

**Cantera:**  
**Muestra:** Agregado Grueso

**Fecha:**

**Norma:** NTP 339.185

$$P = \frac{100(W_w - W_s)}{W_s} \%$$

Nº de ensayos	Peso del suelo humedo + tara(gr) (W1)	Peso de tara (gr)(Wt)	Peso del suelo seco + tara(gr) (W2)	Peso seco de la muestra(gr) (Ws)	Peso del agua (gr) (Ww)	Contenido de humedad (W%)
1	247.38	27.555	246.58	219.025	0.80	0.365
2	231.02	27.056	230.25	203.194	0.77	0.379
3	248.46	26.405	247.59	221.185	0.87	0.393
						<b>0.379</b>



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**EAPIC**  
**LABORATORIO DE CONCRETO**

**RESISTENCIA A COMPRESION / MUESTRA PATRÓN (PT)**

**Tesis : “Elaboración de concreto permeable con adición de material plástico reciclado para pavimentación en el distrito de Pariacoto-Ancash”**

**Tesistas:** Castillo Castillo Liz Marcia  
 Trujillo de la Cruz Eredith

RESULTADO		RESISTENCIA A LA COMPRESIÒN				
		MUESTRA PATRÓN - PT				
Nº	DESCRIPCION	EDA D	FECHA		RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	FC/F'C
			MOLDEO	ROTURA		
1	PT - 01	7	20/09/2018	27/09/2018	100	57.14
2	PT - 02	7	20/09/2018	27/09/2018	97	55.43
3	PT - 03	7	20/09/2018	27/09/2018	105	60.00
4	PT - 04	7	20/09/2018	27/09/2018	111	63.43
5	PT - 05	7	20/09/2018	27/09/2018	115	65.71
6	PT - 06	14	26/09/2018	10/10/2018	151	86.29
7	PT - 07	14	26/09/2018	10/10/2018	145	82.86
8	PT - 08	14	26/09/2018	10/10/2018	155	88.57
9	PT - 09	14	26/09/2018	10/10/2018	140	80.00
10	PT - 10	14	26/09/2018	10/10/2018	159	90.86
11	PT - 11	28	24/09/2018	22/10/2018	166	94.86
12	PT - 12	28	24/09/2018	22/10/2018	169	96.57
13	PT - 13	28	24/09/2018	22/10/2018	165	94.29
14	PT - 14	28	24/09/2018	22/10/2018	172	98.29
15	PT - 15	28	24/09/2018	22/10/2018	174	99.43
16	PT - 16	28	24/09/2018	22/10/2018	178	101.71
17	PT - 17	28	27/09/2018	25/10/2018	167	95.43
18	PT - 18	28	27/09/2018	25/10/2018	173	98.86
19	PT - 19	28	27/09/2018	25/10/2018	170	97.14
20	PT - 20	28	27/09/2018	25/10/2018	177	101.14
21	PT - 21	28	27/09/2018	25/10/2018	163	93.14
22	PT - 22	28	27/09/2018	25/10/2018	172	98.29



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**EAPIC**  
**LABORATORIO DE CONCRETO**

**RESISTENCIA A COMPRESION / MUESTRA PATRÓN - PT+ 0.075%**

**Tesis : “Elaboración de concreto permeable con adición de material plástico reciclado para pavimentación en el distrito de Pariacoto-Ancash”**

**Tesistas:** Castillo Castillo Liz Marcia  
 Trujillo de la Cruz Eredith

RESULTADO		RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
		MUESTRA PATRÓN - PT+ 0.075%				
Nº	DESCRIPCIÓN	EDAD	FECHA		RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	FC/F'C
			MOLDEO	ROTURA		
1	PT + 0.075% - 01	7	03/12/2018	10/12/2018	112	64.00
2	PT + 0.075% - 02	7	03/12/2018	10/12/2018	117	66.86
3	PT + 0.075% - 03	7	03/12/2018	10/12/2018	105	60.00
4	PT + 0.075% - 04	7	03/12/2018	10/12/2018	115	65.71
5	PT + 0.075% - 05	7	03/12/2018	10/12/2018	110	62.86
6	PT + 0.075% - 06	14	04/12/2018	18/12/2018	162	92.57
7	PT + 0.075% - 07	14	04/12/2018	18/12/2018	153	87.43
8	PT + 0.075% - 08	14	04/12/2018	18/12/2018	162	92.57
9	PT + 0.075% - 09	14	04/12/2018	18/12/2018	152	86.86
10	PT + 0.075% - 10	14	04/12/2018	18/12/2018	167	95.43
11	PT + 0.075% - 11	28	17/12/2018	07/01/2019	175	100.00
12	PT + 0.075% - 12	28	17/12/2018	07/01/2019	185	105.71
13	PT + 0.075% - 13	28	17/12/2018	07/01/2019	181	103.43
14	PT + 0.075% - 14	28	17/12/2018	07/01/2019	192	109.71
15	PT + 0.075% - 15	28	17/12/2018	07/01/2019	194	110.86
16	PT + 0.075% - 16	28	17/12/2018	07/01/2019	170	97.14
17	PT + 0.075% - 17	28	18/12/2018	08/01/2019	179	102.29
18	PT + 0.075% - 18	28	18/12/2018	08/01/2019	180	102.86
19	PT + 0.075% - 19	28	18/12/2018	08/01/2019	172	98.29
20	PT + 0.075% - 20	28	18/12/2018	08/01/2019	185	105.71
21	PT + 0.075% - 21	28	18/12/2018	08/01/2019	175	100.00
22	PT + 0.075% - 22	28	18/12/2018	08/01/2019	170	97.14





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**EAPIC**  
**LABORATORIO DE CONCRETO**

**RESISTENCIA A COMPRESION / MUESTRA PATRÓN - PT+ 0.10%**

**Tesis : “Elaboración de concreto permeable con adición de material plástico reciclado para pavimentación en el distrito de Pariacoto-Ancash”**

**Tesistas:** Castillo Castillo Liz Marcia  
 Trujillo de la Cruz Eredith

RESULTADO		RESISTENCIA A LA COMPRESIÒN				
		MUESTRA PATRÓN - PT+ 0.10%				
N o	DESCRIPCIÒN	EDA D	FECHA		RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	FC/F'C
			MOLDEO	ROTURA		
1	PT + 0.10 % - 01	7	15/11/2018	22/11/2018	113	64.57
2	PT + 0.10 % - 02	7	15/11/2018	22/11/2018	99	56.57
3	PT + 0.10 % - 03	7	15/11/2018	22/11/2018	107	61.14
4	PT + 0.10 % - 04	7	15/11/2018	22/11/2018	110	62.86
5	PT + 0.10 % - 05	7	15/11/2018	22/11/2018	105	60.00
6	PT + 0.10 % - 06	14	19/11/2018	03/12/2018	140	80.00
7	PT + 0.10 % - 07	14	19/11/2018	03/12/2018	150	85.71
8	PT + 0.10 % - 08	14	19/11/2018	03/12/2018	141	80.57
9	PT + 0.10 % - 09	14	19/11/2018	03/12/2018	152	86.86
10	PT + 0.10 % - 10	14	19/11/2018	03/12/2018	158	90.29
11	PT + 0.10 % - 11	28	21/11/2018	19/12/2018	173	98.86
12	PT + 0.10 % - 12	28	21/11/2018	19/12/2018	172	98.29
13	PT + 0.10 % - 13	28	21/11/2018	19/12/2018	177	101.14
14	PT + 0.10 % - 14	28	21/11/2018	19/12/2018	169	96.57
15	PT + 0.10 % - 15	28	21/11/2018	19/12/2018	179	102.29
16	PT + 0.10 % - 16	28	21/11/2018	19/12/2018	172	98.29
17	PT + 0.10 % - 17	28	21/11/2018	19/12/2018	176	100.57
18	PT + 0.10 % - 18	28	21/11/2018	19/12/2018	165	94.29
19	PT + 0.10 % - 19	28	21/11/2018	19/12/2018	166	94.86
20	PT + 0.10 % - 20	28	22/11/2018	20/12/2018	169	96.57
21	PT + 0.10 % - 21	28	22/11/2018	20/12/2018	168	96.00
22	PT + 0.10 % - 22	28	22/11/2018	20/12/2018	179	102.29



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**EAPIC**  
**LABORATORIO DE CONCRETO**

**RESISTENCIA A COMPRESION / MUESTRA PATRÓN - PT+ 0.125%**

**Tesis : “Elaboración de concreto permeable con adición de material plástico reciclado para pavimentación en el distrito de Pariacoto-Ancash”**

**Tesistas:** Castillo Castillo Liz Marcia  
 Trujillo de la Cruz Eredith

RESULTADO		RESISTENCIA A LA COMPRESIÒN				
		MUESTRA PATRÓN - PT+ 0.125%				
Nº	DESCRIPCIÒN	EDAD	FECHA		RESISTENCIA (kg/cm2)	FC/F'C
			MOLDEO	ROTURA		
1	PT + 0.125 % - 01	7	16/01/2019	23/01/2019	88	50.29
2	PT + 0.125 % - 02	7	16/01/2019	23/01/2019	85	48.57
3	PT + 0.125 % - 03	7	16/01/2019	23/01/2019	99	56.57
4	PT + 0.125 % - 04	7	16/01/2019	23/01/2019	93	53.14
5	PT + 0.125 % - 05	7	16/01/2019	23/01/2019	98	56.00
6	PT + 0.125 % - 06	14	17/01/2019	31/01/2019	135	77.14
7	PT + 0.125 % - 07	14	17/01/2019	31/01/2019	132	75.43
8	PT + 0.125 % - 08	14	17/01/2019	31/01/2019	137	78.29
9	PT + 0.125 % - 09	14	17/01/2019	31/01/2019	140	80.00
10	PT + 0.125 % - 10	14	17/01/2019	31/01/2019	142	81.14
11	PT + 0.125 % - 11	28	14/01/2019	11/02/2019	149	85.14
12	PT + 0.125 % - 12	28	14/01/2019	11/02/2019	150	85.71
13	PT + 0.125 % - 13	28	14/01/2019	11/02/2019	151	86.29
14	PT + 0.125 % - 14	28	14/01/2019	11/02/2019	144	82.29
15	PT + 0.125 % - 15	28	14/01/2019	11/02/2019	154	88.00
16	PT + 0.125 % - 16	28	14/01/2019	11/02/2019	155	88.57
17	PT + 0.125 % - 17	28	14/01/2019	11/02/2019	167	95.43
18	PT + 0.125 % - 18	28	14/01/2019	11/02/2019	149	85.14
19	PT + 0.125 % - 19	28	14/01/2019	11/02/2019	156	89.14
20	PT + 0.125 % - 20	28	14/01/2019	11/02/2019	158	90.29
21	PT + 0.125 % - 21	28	14/01/2019	11/02/2019	147	84.00
22	PT + 0.125 % - 22	28	14/01/2019	11/02/2019	151	86.29



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**EAPIC**

**EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DE ENSAYOS DE  
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – MUESTRA PT+ 0.075% DE TIRAS DE  
PLÁSTICO**

**Tesis: “Elaboración de concreto permeable con adición de material plástico  
reciclado para pavimentación en el distrito de Pariacoto-Ancash”**

**Tesistas: Castillo Castillo Liz Marcia - Trujillo de la Cruz Eredith**

RESULTADO		RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
		MUESTRA - PT+ 0.075%				
Nº	DESCRIPCIÓN	EDAD	FECHA		RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	FC/F'C
			MOLDEO	ROTURA		
1	PT + 0.075% - 01	28	03/08/2019	02/09/2019	191	109.14
2	PT + 0.075% - 02	28	03/08/2019	02/09/2019	180	102.86
3	PT + 0.075% - 03	28	03/08/2019	02/09/2019	191	109.14
4	PT + 0.075% - 04	28	03/08/2019	02/09/2019	169	96.57
5	PT + 0.075% - 05	28	03/08/2019	02/09/2019	192	109.71
6	PT + 0.075% - 06	28	03/08/2019	02/09/2019	201	114.86
7	PT + 0.075% - 07	28	03/08/2019	02/09/2019	185	105.71
8	PT + 0.075% - 08	28	03/08/2019	02/09/2019	172	98.29
9	PT + 0.075% - 09	28	03/08/2019	02/09/2019	195	111.43
10	PT + 0.075% - 10	28	03/08/2019	02/09/2019	200	114.29
11	PT + 0.075% - 11	28	03/08/2019	02/09/2019	168	96.00
12	PT + 0.075% - 12	28	03/08/2019	02/09/2019	201	114.86
13	PT + 0.075% - 13	28	03/08/2019	02/09/2019	177	101.14
14	PT + 0.075% - 14	28	03/08/2019	02/09/2019	184	105.14
15	PT + 0.075% - 15	28	03/08/2019	02/09/2019	198	113.14
16	PT + 0.075% - 16	28	05/08/2019	11/09/2019	183	104.57
17	PT + 0.075% - 17	28	05/08/2019	11/09/2019	202	115.43
18	PT + 0.075% - 18	28	05/08/2019	11/09/2019	188	107.43
19	PT + 0.075% - 19	28	05/08/2019	11/09/2019	178	101.71
20	PT + 0.075% - 20	28	05/08/2019	11/09/2019	198	113.14
21	PT + 0.075% - 21	28	05/08/2019	11/09/2019	175	100.00
22	PT + 0.075% - 22	28	05/08/2019	11/09/2019	199	113.71
23	PT + 0.075% - 23	28	05/08/2019	11/09/2019	168	96.00
24	PT + 0.075% - 24	28	05/08/2019	11/09/2019	190	108.57
25	PT + 0.075% - 25	28	05/08/2019	11/09/2019	185	105.71
26	PT + 0.075% - 26	28	05/08/2019	11/09/2019	197	112.57
27	PT + 0.075% - 27	28	05/08/2019	11/09/2019	170	97.14
28	PT + 0.075% - 28	28	05/08/2019	11/09/2019	199	113.71
29	PT + 0.075% - 29	28	05/08/2019	11/09/2019	174	99.43
30	PT + 0.075% - 30	28	05/08/2019	11/09/2019	201	114.86



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
EAPIC

EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DE ENSAYOS DE  
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – MUESTRA PT+ 0.075% DE TIRAS DE  
PLÁSTICO

**Tesis:** “Elaboración de concreto permeable con adición de material plástico reciclado para pavimentación en el distrito de Pariacoto-Ancash”

**Tesistas:** Castillo Castillo Liz Marcia - Trujillo de la Cruz Eredith

VALORES PROMEDIO DE 2 PROBETAS / cm2	kg	PROMEDIO DE 3 PROBETAS	Xi-Xprom.	(Xi-Xprom)^2
1	185.5	187.3	-1.5	2.35
2	180	185.0	-7.0	49.47
3	196.5	190.8	9.5	89.62
4	178.5	186.8	-8.5	72.82
5	197.5	187.5	10.5	109.55
6	184.5	185.2	-2.5	6.42
7	180.5	188.7	-6.5	42.68
8	190.5	191.2	3.5	12.02
9	195	190.0	8.0	63.47
10	188	184.7	1.0	0.93
11	187	185.7	0.0	0.00
12	179	184.8	-8.0	64.53
13	191	187.7	4.0	15.73
14	184.5		-2.5	6.42
15	187.5		0.5	0.22
<b>SUMA</b>	<b>2805.5</b>		<b>SUMA</b>	<b>536.23</b>



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**EAPIC**

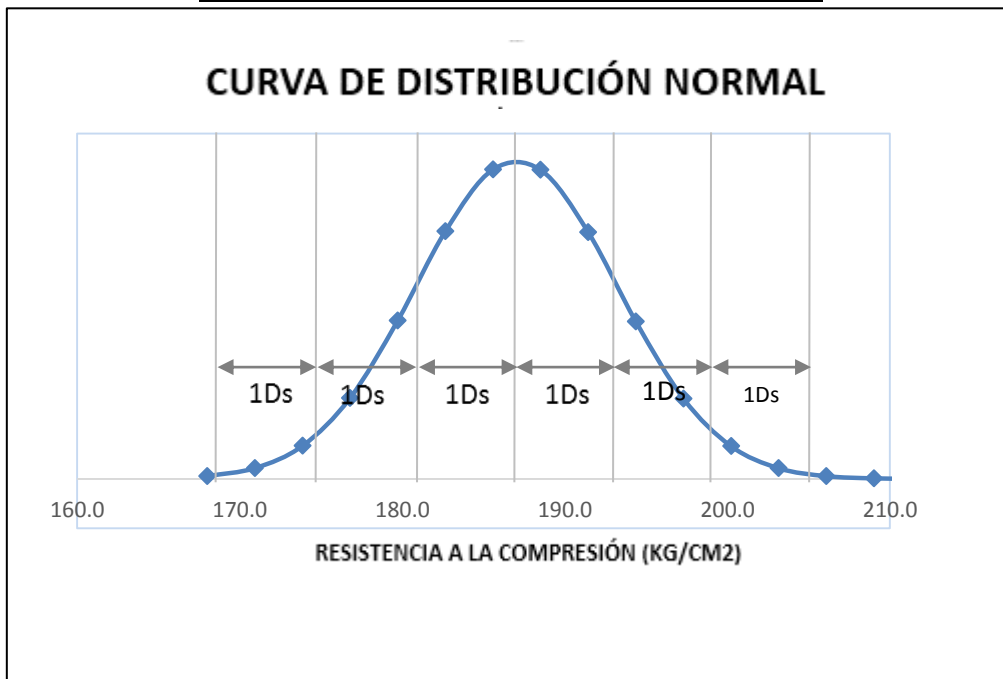
**EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – MUESTRA PT+ 0.075% DE TIRAS DE PLÁSTICO**

**Tesis: “Elaboración de concreto permeable con adición de material plástico reciclado para pavimentación en el distrito de Pariacoto-Ancash”**

**Tesistas: Castillo Castillo Liz Marcia - Trujillo de la Cruz Eredith**

Parámetros Estadísticos	Valor
X promedio	187.03
Desviación estándar	6.19
Variación	3.31%
Máximo	184.62
Mínimo	156.73
Muestra	30

PROBABILIDAD DE OCURENCIA		
PORCENTAJE	INTERVALO	
	A	B
68.0%	180.8	193.2
95.1%	174.7	199.4
99.7%	168.5	205.6





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**EAPIC**  
**LABORATORIO DE CONCRETO**

**CONTENIDO DE VACIOS / MUESTRA SIN TIRAS -PT**

**Tesis : “Elaboración de concreto permeable con adición de material plástico reciclado para pavimentación en el distrito de Pariacoto-Ancash”**

**Tesistas:** Castillo Castillo Liz Marcia  
 Trujillo de la Cruz Eredith

<i>%vacios</i>
$V\% = \frac{M_{sss} - M_s}{M_{sss} - M_{aa}} \times 100$

PORCENTAJE DE VACIOS EN ESTADO ENDURECIDO		MUESTRA SIN TIRAS -PT			UNIDAD
		MC-1	MC-2	MC-3	
Masa de la probeta seca	Ms	3407	3452	3399	gr
Masa de la probeta saturada con superficie seca	Msss	3698	3726	3686	gr
Masa de la probeta sumergida en el agua	Maa	2157	2288	2145	gr
Porcentaje de vacíos	V%	18.88	19.05	18.6	%
Promedio de porcentaje de vacíos		<b>18.84</b>			%



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**EAPIC**  
**LABORATORIO DE CONCRETO**

**CONTENIDO DE VACIOS / MUESTRA - PT +.075%**

**Tesis : “Elaboración de concreto permeable con adición de material plástico reciclado para pavimentación en el distrito de Pariacoto-Ancash”**

**Tesistas:** Castillo Castillo Liz Marcia  
 Trujillo de la Cruz Eredith

$$V\% = \frac{M_{sss} - M_s}{M_{sss} - M_{aa}} \times 100$$

PORCENTAJE DE VACIOS EN ESTADO ENDURECIDO		MUESTRA PT+.075% DE TIRAS			UNIDAD
		MC-1	MC-2	MC-3	
Masa de la probeta seca	M <sub>s</sub>	3370	3325	3417	gr
Masa de la probeta saturada con superficie seca	M <sub>sss</sub>	3655	3607	3685	gr
Masa de la probeta sumergida en el agua	M <sub>aa</sub>	2118	2106	2262	gr
Porcentaje de vacíos	V%	18.54	18.79	18.83	%
Promedio de porcentaje de vacíos		<b>18.72</b>			%



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**EAPIC**  
**LABORATORIO DE CONCRETO**

**CONTENIDO DE VACIOS / MUESTRA - PT +.10%**

**Tesis : “Elaboración de concreto permeable con adición de material plástico reciclado para pavimentación en el distrito de Pariacoto-Ancash”**

**Tesistas:** Castillo Castillo Liz Marcia  
 Trujillo de la Cruz Eredith

<i>%vacios</i>
$V\% = \frac{M_{sss} - M_s}{M_{sss} - M_{aa}} \times 100$

<b>PORCENTAJE DE VACIOS EN ESTADO ENDURECIDO</b>		<b>MUESTRA PT+.10% DE TIRAS</b>			<b>UNIDAD</b>
		<b>MC-1</b>	<b>MC-2</b>	<b>MC-3</b>	
Masa de la probeta seca	Ms	3427	3393	3311	gr
Masa de la probeta saturada con superficie seca	Msss	3718	3685	3605	gr
Masa de la probeta sumergida en el agua	Maa	2122	2098	2009	gr
Porcentaje de vacíos	V%	18.23	18.40	18.42	%
Promedio de porcentaje de vacíos		<b>18.35</b>			%





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**EAPIC**  
**LABORATORIO DE CONCRETO**

**CONTENIDO DE VACIOS / MUESTRA - PT +.125%**

**Tesis : “Elaboración de concreto permeable con adición de material plástico reciclado para pavimentación en el distrito de Pariacoto-Ancash”**

**Tesistas:** Castillo Castillo Liz Marcia  
 Trujillo de la Cruz Eredith

<i>%vacios</i>
$V\% = \frac{M_{sss} - M_s}{M_{sss} - M_{aa}} \times 100$

PORCENTAJE DE VACIOS EN ESTADO ENDURECIDO		MUESTRA PT+.125% DE TIRAS			UNIDAD
		MC-1	MC-2	MC-3	
Masa de la probeta seca	Ms	3450	3426	3385	gr
Masa de la probeta saturada con superficie seca	Msss	3708	3699	3661	gr
Masa de la probeta sumergida en el agua	Maa	2287	2179	2151	gr
Porcentaje de vacios	V%	18.16	17.96	18.28	%
Promedio de porcentaje de vacíos		<b>18.13</b>			%

**CONSTANCIA DE VALIDACIÓN**

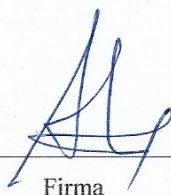
Yo, Edgar Gustavo Sparrow Alamo, titular del DNI N° 32 904375, de profesión Ingeniero Civil, ejerciendo actualmente como \_\_\_\_\_, en la institución Universidad Nacional del Santa.

Por medio de la presente hago constar que he revisado con fines del empleo el equipo **PERMEÁMETRO DE CARGA VARIABLE**, para su aplicación en Probetas de concreto permeable.

Luego de hacer las observaciones pertinentes, puedo formular las siguientes apreciaciones.

	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	EXCELENTE
Efectividad del sistema				X
Operatividad del Equipo			X	
Confiabilidad del equipo para uso académico			X	
Mantenimiento del equipo			X	

En Nuevo Chimbote, a los 16 días del mes de septiembre del 2019.

  
Firma

## JUCIO DE EXPERTO SOBRE LA PERTINENCIA DEL INSTRUMENTO

### INSTRUCCIONES

Marque con una (X) el aspecto cualitativo que le parece que cumple cada ítem y alternativa de respuesta, según los criterios que a continuación se detallan:

A= Excelente B=Bueno C=Mejorar D=Eliminar E=Cambiar

Las categorías a evaluar son: Redacción, contenido, congruencia y pertinencia. En la casilla de observaciones puede sugerir el cambio o correspondencia.

PARÁMETROS		ALTERNATIVAS					OBSERVACIONES
Nº	ITEM	A	B	C	D	E	
1	Efectividad del sistema	X					
2	Operatividad del Equipo		X				
3	Confiability del equipo para uso académico		X				
4	Mantenimiento del equipo		X				

Evaluated por:

Nombre y Apellido: Edgar Gustavo Sparrow Nandi

D.N.I: 32904335

Firma: 



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**EAPIC**  
**LABORATORIO DE CONCRETO**

**PERMEABILIDAD**

**Tesis :** “Elaboración de concreto permeable con adición de material plástico reciclado para pavimentación en el distrito de Pariacoto-Ancash”

**Tesistas:** Castillo Castillo Liz Marcia / Trujillo de la Cruz Eredith

**Norma:** ACI 522R-10

$$k = \frac{L \times A1}{t \times A2} \times \ln \frac{h2}{h1}$$

DESCRIPCION	ESPECIMEN					UNIDAD
	PT- 145	PT- 146	PT- 147	PT- 148	PT- 149	
<b>MUESTRA PATRON- PT</b>	PT- 145	PT- 146	PT- 147	PT- 148	PT- 149	
Longitud de la muestra (L)	20.2	20.0	20.2	20.1	20.1	cm
Tiempo de h1 a h2 (t)	128.00	129.25	128.90	130.10	128.00	s
Área de la muestra (A1)	78.54	78.15	78.32	78.55	78.6	cm <sup>2</sup>
Área de la tubería de carga(A2)	81.72	81.72	81.72	81.72	81.72	cm
Altura de columna de agua, nivel de referencia (h2)	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	cm
Altura de tubería de salida, nivel de referencia (h1)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	cm
Permeabilidad $L \times A1 / t \times A2 \times \ln ( h2/h1)$	0.516	0.503	0.511	0.505	0.514	cm/s
<b>Permeabilidad promedio (k)</b>	<b>0.510</b>					cm/s



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**EAPIC**  
**LABORATORIO DE CONCRETO**

**PERMEABILIDAD**

**Tesis : “Elaboración de concreto permeable con adición de material plástico reciclado para pavimentación en el distrito de Pariacoto-Ancash”**

**Tesistas:** Castillo Castillo Liz Marcia / Trujillo de la Cruz Eredith

**Norma:** ACI 522R-10

$$k = \frac{Lx A1}{tx A2} x Ln \frac{h2}{h1}$$

DESCRIPCION	ESPECIMEN					UNIDAD
	PT- 145	PT- 146	PT- 147	PT- 148	PT- 149	
<b>MUESTRA – PT + 0.075%</b>						
Longitud de la muestra (L)	20.2	20.0	20.2	20.1	20.1	cm
Tiempo de h1 a h2 (t)	130.00	129.14	132.80	129.05	130.10	s
Área de la muestra (A1)	78.9	78.54	78.54	79.1	78.9	cm <sup>2</sup>
Área de la tubería de carga(A2)	81.72	81.72	81.72	81.72	81.72	cm
Altura de columna de agua, nivel de referencia(h2)	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	cm
Altura de tubería de salida, nivel de referencia (h1)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	cm
Permeabilidad LxA1/t xA2 x Ln ( h2/h1)	0.510	0.506	0.497	0.513	0.507	cm/s
<b>Permeabilidad promedio (k)</b>	<b>0.507</b>					cm/s





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**EAPIC**  
**LABORATORIO DE CONCRETO**

**PERMEABILIDAD**

**Tesis : “Elaboración de concreto permeable con adición de material plástico reciclado para pavimentación en el distrito de Pariacoto-Ancash”**

**Tesistas:** Castillo Castillo Liz Marcia / Trujillo de la Cruz Eredith

**Norma:** ACI 522R-10

$$k = \frac{Lx A1}{tx A2} x Ln \frac{h2}{h1}$$

DESCRIPCION	ESPECIMEN					UNIDAD
	PT- 145	PT- 146	PT- 147	PT- 148	PT- 149	
<b>MUESTRA – PT + 0.10%</b>						
Longitud de la muestra (L)	20.0	20.0	20.1	20.1	20.1	cm
Tiempo de h1 a h2 (t)	132.00	130.67	132.15	132.00	131.65	s
Área de la muestra (A1)	78.6	79.3	78.2	78.9	78.55	cm <sup>2</sup>
Área de la tubería de carga (A2)	81.72	81.72	81.72	81.72	81.72	cm
Altura de columna de agua, nivel de referencia(h2)	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	cm
Altura de tubería de salida, nivel de referencia (h1)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	cm
Permeabilidad $Lx A1/t x A2 x Ln ( h2/h1)$	0.496	0.505	0.495	0.500	0.499	cm/s
<b>Permeabilidad promedio (k)</b>	<b>0.499</b>					cm/s



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**EAPIC**  
**LABORATORIO DE CONCRETO**

**PERMEABILIDAD**

**Tesis : “Elaboración de concreto permeable con adición de material plástico reciclado para pavimentación en el distrito de Pariacoto-Ancash”**

**Tesistas:** Castillo Castillo Liz Marcia / Trujillo de la Cruz Eredith

**Norma:** ACI 522R-10

$$k = \frac{L \times A1}{t \times A2} \times \ln \frac{h2}{h1}$$

DESCRIPCION	ESPECIMEN					UNIDAD
	PT- 145	PT- 146	PT- 147	PT- 148	PT- 149	
<b>MUESTRA – PT + 0.125%</b>						
Longitud de la muestra(L)	20.2	20.0	20.2	20.1	20.1	cm
Tiempo de h1 a h2 (t)	132.60	133.67	130.00	135.48	139.10	s
área de la muestra (A1)	78.54	78.54	78.95	79.1	78.55	cm <sup>2</sup>
área de la tubería de carga (A2)	81.72	81.72	81.72	81.72	81.72	cm
Altura de columna de agua, nivel de referencia(h2)	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	cm
Altura de tubería de salida, nivel de referencia (h1)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	cm
Permeabilidad $L \times A1 / t \times A2 \times \ln ( h2/h1)$	0.498	0.489	0.511	0.488	0.472	cm/s
<b>Permeabilidad promedio (k)</b>	<b>0.492</b>					cm/s

**ANEXO N°4  
DISEÑO DE  
PAVIMENTO  
PERMEABLE**



# DISEÑO DE PAVIMENTO PERMEABLE

## 1. UBICACIÓN

El diseño de pavimento se realizará para el Distrito de Pariacoto, ubicado en la provincia de Huaraz, departamento de Ancash



Imagen 41. Ubicación geográfica del sitio de diseño (Fuente: Googlemaps: <http://maps.google.com/>)

## 2. PARÁMETROS DE LA ZONA

### 2.1 SUBRASANTE

Tipo de suelo:

- Está compuesto por arenas arcillosas y limosas así como solamente arcillas.

Clasificación del suelo	
SUCS	AASHTO
SM- SC	A-2-4(10)

Fuente: Goytizolo Luis, 2000

- CBR: 14.3%
- Permeabilidad del suelo: 3.6 mm/hr

### 3. DIMENSIONAMIENTO

#### 3.1 ESPESOR MÍNIMO TOTAL DEL PAVIMENTO

Haciendo uso de la siguiente tabla

CBR Subrasante	Espesor Mínimo (cm)
Menos de 6	No usar pavimento permeable
6 a 9	22.5
10 a 14	17.5
15 o más	12.5

Para un CBR = 14.3%, obtenemos un espesor total mínimo de 17.5cm

### 4. DISEÑO HIDRAULICO SUBBASE

#### 4.1 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

Para calcular el coeficiente de escorrentía se utilizaron las tablas:

Superficie	Área (m2)	C
Calle	183.15	0.95
Techos	4458.7728	0.95
Jardines	2983.5	0.25
Total	7625.4228	
C=		0.68

#### 4.2 ÁREA

Área total aportante= 7625.4228m<sup>2</sup>

Área del pavimento= 2066.03m<sup>2</sup>

#### 4.3 VOLUMEN AFLUENTE

$$V_{afl}(t) = 1.25 \times 0.001 C I_t A t = 0.00125 C A P_t^T$$

Dónde:  $P_t = I * t$

Duración t (min)	Intensidad (mm/hr)	Precipitación (mm)
5	17.089	1.424
10	15.362	2.560
15	14.013	3.503
20	12.925	4.308
25	12.025	5.011
30	11.267	5.634
35	10.618	6.194
40	10.055	6.703
45	9.561	7.171
50	9.123	7.603
55	8.732	8.004
60	8.380	8.380
120	5.840	11.680
240	3.891	15.564
360	3.027	18.163
480	2.523	20.183
600	2.187	21.865
720	1.943	23.322
840	1.758	24.615
960	1.611	25.784
1020	1.549	26.330
1140	1.440	27.359
1200	1.392	27.845
1320	1.308	28.769
1440	1.235	29.637

$$V_{afl}(t) = 1.25 * 0.001 * 0.68 * 7625.4228 * Pt$$

$$V_{afl}(t) = 6.48Pt$$

#### 4.4 VOLUMEN SOBRE EL PAVIMENTO

$$V_{inf}(t) = 0.001fC_sA_e t$$

Dónde:

$$f = 3.6 \text{ mm/hr}$$

$$C_s = 1$$

$$A_e = 2066.03 \text{ m}^2$$

$$V_{inf}(t) = 0.001 * 3.6 * 1 * 2066.03 * t$$

$$V_{inf}(t) = 7.44t$$

#### 4.5 VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO

A continuación se muestran los valores de  $V_{afl}$ ,  $V_{inf}$  y  $V_{alm}$  calculado para diferentes duraciones.

Duración (min)	Pt	$V_{afl}$	$V_{inf}$	$V_{alm}$
5	1.4241	9.228	0.62	8.608
10	2.5603	16.591	1.24	15.351
15	3.5031	22.700	1.86	20.840
20	4.3082	27.917	2.48	25.437
25	5.0106	32.469	3.1	29.369
30	5.6337	36.507	3.72	32.787
35	6.1941	40.138	4.34	35.798
40	6.7034	43.438	4.96	38.478
45	7.1707	46.466	5.58	40.886
50	7.6026	49.265	6.2	43.065
55	8.0044	51.869	6.82	45.049
60	8.3804	54.305	7.44	46.865
120	11.6804	75.689	14.88	60.809
240	15.5638	100.853	29.76	71.093
360	18.1627	117.694	44.64	<b>73.054</b>
480	20.1833	130.788	59.52	71.268
600	21.8653	141.687	74.4	67.287
720	23.3215	151.124	89.28	61.844
840	24.6147	159.503	104.16	55.343
960	25.7836	167.078	119.04	48.038
1020	26.3299	170.618	126.48	44.138
1140	27.3587	177.284	141.36	35.924
1200	27.8449	180.435	148.8	31.635
1320	28.7690	186.423	163.68	22.743
1440	29.6366	192.045	178.56	13.485

De esta tabla se obtiene el mayor volumen de almacenamiento a partir del cual se calcula el espesor de la sub-base

$$V_{alm} = \text{Max}(V_{afl} - V_{inf})$$

$$V_{alm} = 73.054m^3$$

#### 4.6 ESPESOR DE LA SUB-BASE

A partir de la siguiente expresión:

$$e = \frac{V_{alm}}{(pA_e)}$$

Dónde:

$p$  = Porosidad de la sub-base = 0,3.

$A_e$  = 2066.03 (m<sup>2</sup>)

$$e = \frac{73.054}{(0.3 * 2066.03)}$$

$$e = 0.12m$$

Por lo tanto se aproxima a un espesor de sub-base de 15 cm

**ANEXO N°5**  
**ANÁLISIS ECONÓMICO**

PARTIDA	CONCRETO CONVENCIONAL F'C=175KG/CM2 PARA PAVIMENTO RÍGIDO				
	RENDIMIENTO	12 M3/DIA		PRECIO	\$/ 426.40
DESCRIPCION	UND	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
<b>MANO DE OBRA</b>					
CAPATAZ	HH	0.100	0.067	28.48	1.90
OPERARIO	HH	2.000	1.333	21.91	29.21
OFICIAL	HH	3.000	2.000	17.55	35.10
PEON	HH	10.000	6.667	15.82	105.47
					<b>171.68</b>
<b>MATERIALES</b>					
PIEDRA HUSO 67 (1/2")	M3		0.550	70.00	38.500
ARENA GRUESA	M3		0.540	60.00	32.400
CEMENTO PACASMAYO EXTRAFORTE	BLS		8.430	18.70	157.640
AGUA	M3		0.185	5.00	0.930
					<b>229.470</b>
<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.000	171.68	8.580
MEZCLADORA DE CONCRETO 9-11 P3	HM	1.000	0.667	15.00	10.000
VIBRADOR DE CONCRETO 4HP 1.25"	HM	1.000	0.667	10.00	6.670
					<b>25.250</b>
					<b>426.40</b>

PARTIDA	CONCRETO PERMEABLE SIN ADICIÓN DE TIRAS DE PLÁSTICO F'C=175KG/CM2 PARA PAVIMENTO RÍGIDO				
	RENDIMIENTO	12 M3/DIA		PRECIO	\$/ 386.40
DESCRIPCION	UND	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
<b>MANO DE OBRA</b>					
CAPATAZ	HH	0.100	0.067	28.48	1.90
OPERARIO	HH	2.000	1.333	21.91	29.21
OFICIAL	HH	3.000	2.000	17.55	35.10
PEON	HH	10.000	6.667	15.82	105.47
					<b>171.68</b>
<b>MATERIALES</b>					
PIEDRA HUSO 67 (1/2")	M3		0.492	70.00	34.440
ARENA GRUESA	M3		0.060	60.00	3.600
CEMENTO PACASMAYO EXTRAFORTE	BLS		7.700	18.70	143.990
AGUA	M3		0.128	5.00	0.640
TIRAS DE POLIETILENO	KG		0.000	20.000	0.000
					<b>182.670</b>
<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.000	171.68	8.580
MEZCLADORA DE CONCRETO 9-11 P3	HM	1.000	0.667	15.00	10.000
VIBRADOR DE CONCRETO 4HP 1.25"	HM	1.000	0.667	10.00	6.670
COMPACTADOR VIBR. TIPO PLANCHA 7 HP	HM	1.000	0.667	10.20	6.800
					<b>32.050</b>
					<b>386.40</b>

PARTIDA		CONCRETO PERMEABLE + 0.075% DE ADICIÓN DE TIRAS DE PLÁSTICO F'C=175KG/CM2 PARA PAVIMENTO RÍGIDO			
RENDIMIENTO	12	M3/DIA		PRECIO	S/. 413.58
DESCRIPCION	UND	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
<b>MANO DE OBRA</b>					
CAPATAZ	HH	0.100	0.067	28.48	1.90
OPERARIO	HH	2.000	1.333	21.91	29.21
OFICIAL	HH	3.000	2.000	17.55	35.10
PEON	HH	10.000	6.667	15.82	105.47
					<b>171.68</b>
<b>MATERIALES</b>					
PIEDRA HUSO 67 (1/2")	M3		0.492	70.00	34.440
ARENA GRUESA	M3		0.060	60.00	3.600
CEMENTO PACASMAYO EXTRAFORTE	BLS		7.700	18.70	143.990
AGUA	M3		0.128	5.00	0.640
TIRAS DE POLIETILENO	KG		1.359	20.000	27.180
					<b>209.850</b>
<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.000	171.68	8.580
MEZCLADORA DE CONCRETO 9-11 P3	HM	1.000	0.667	15.00	10.000
VIBRADOR DE CONCRETO 4HP 1.25"	HM	1.000	0.667	10.00	6.670
COMPACTADOR VIBR. TIPO PLANCHA 7 HP	HM	1.000	0.667	10.20	6.800
					<b>32.050</b>
					<b>413.58</b>
PARTIDA		CONCRETO PERMEABLE + 0.100% DE ADICIÓN DE TIRAS DE PLÁSTICO F'C=175KG/CM2 PARA PAVIMENTO RÍGIDO			
RENDIMIENTO	12	M3/DIA		PRECIO	S/. 422.64
DESCRIPCION	UND	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
<b>MANO DE OBRA</b>					
CAPATAZ	HH	0.100	0.067	28.48	1.90
OPERARIO	HH	2.000	1.333	21.91	29.21
OFICIAL	HH	3.000	2.000	17.55	35.10
PEON	HH	10.000	6.667	15.82	105.47
					<b>171.68</b>
<b>MATERIALES</b>					
PIEDRA HUSO 67 (1/2")	M3		0.492	70.00	34.440
ARENA GRUESA	M3		0.060	60.00	3.600
CEMENTO PACASMAYO EXTRAFORTE	BLS		7.700	18.70	143.990
AGUA	M3		0.128	5.00	0.640
TIRAS DE POLIETILENO	KG		1.812	20.000	36.240
					<b>218.910</b>
<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.000	171.68	8.580
MEZCLADORA DE CONCRETO 9-11 P3	HM	1.000	0.667	15.00	10.000
VIBRADOR DE CONCRETO 4HP 1.25"	HM	1.000	0.667	10.00	6.670
COMPACTADOR VIBR. TIPO PLANCHA 7 HP	HM	1.000	0.667	10.20	6.800
					<b>32.050</b>
					<b>422.64</b>



PARTIDA	CONCRETO PERMEABLE + 0.125% DE ADICIÓN DE TIRAS DE PLÁSTICO F'C=175KG/CM2 PARA PAVIMENTO RÍGIDO				
RENDIMIENTO	12	M3/DIA		PRECIO	S/. 431.70
DESCRIPCION	UND	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
<b>MANO DE OBRA</b>					
CAPATAZ	HH	0.100	0.067	28.48	1.90
OPERARIO	HH	2.000	1.333	21.91	29.21
OFICIAL	HH	3.000	2.000	17.55	35.10
PEON	HH	10.000	6.667	15.82	105.47
					<b>171.68</b>
<b>MATERIALES</b>					
PIEDRA HUSO 67 (1/2")	M3		0.492	70.00	34.440
ARENA GRUESA	M3		0.060	60.00	3.600
CEMENTO PACASMAYO EXTRAFORTE	BLS		7.700	18.70	143.990
AGUA	M3		0.128	5.00	0.640
TIRAS DE POLIETILENO	KG		2.265	20.000	45.300
					<b>227.970</b>
<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.000	171.68	8.580
MEZCLADORA DE CONCRETO 9-11 P3	HM	1.000	0.667	15.00	10.000
VIBRADOR DE CONCRETO 4HP 1.25"	HM	1.000	0.667	10.00	6.670
COMPACTADOR VBR. TIPO PLANCHA 7 HP	HM	1.000	0.667	10.20	6.800
					<b>32.050</b>
					<b>431.70</b>

**ANEXO N°6**

**FICHA TÉCNICA DEL**

**CEMENTO**



# CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.

Calle La Colonia Nro.150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima  
Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad  
Teléfono 317 - 6000



SGC-REG-06-G0002  
Versión 01

## CEMENTO EXTRAFORTE

### Cemento Portland Compuesto Tipo ICo

Conforme a la NTP 334.090

Pacasmayo, 20 de Julio del 2016

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.090
MgO	%	2.2	Máximo 6.0
SO3	%	2.4	Máximo 4.0

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.090
Contenido de Aire	%	4	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.07	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm <sup>2</sup> /g	5640	NO ESPECIFICA
Retenido M325	%	4.2	NO ESPECIFICA
Densidad	g/mL	2.92	NO ESPECIFICA

#### Resistencia Compresión :

Resistencia Compresión a 3días	MPa (Kg/cm <sup>2</sup> )	23.4 (239)	Mínimo 13.0 (Mínimo 133)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (Kg/cm <sup>2</sup> )	29.6 (302)	Mínimo 20.0 (Mínimo 204)
Resistencia Compresión a 28días	MPa (Kg/cm <sup>2</sup> )	36.7 (374)	Mínimo 25.0 (Mínimo 255)

#### Tiempo de Fraguado Vicat :

Fraguado Inicial	min	134	Mínimo 45
Fraguado Final	min	290	Máximo 420

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-06-2016 al 30-06-2016  
La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de Mayo 2016

Ing. Ivanoff V. Rojas Tello

Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por : Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.

**ANEXO N°7**  
**PANEL FOTOGRAFICO**



**Fotografía 1.** Ensayo de peso unitario suelto del agregado fino y grueso respectivamente



**Fotografía 2.** Ensayo de peso unitario compactado, haciendo uso de la varilla de 5/8".



**Fotografía 3.** Ensayo del peso específico del agregado fino, realizando la prueba del molde cónico.



**Fotografía 4.** Saturación de la muestra granular representativa para el ensayo del peso específico del agregado grueso.



**Fotografía 5.** Agregados clasificados según el tamaño requerido por el Huso 67.



**Fotografía 6.** Tiras de polietileno de baja densidad de 4 x 20 mm.





**Fotografía 7.** Elaboración de concreto permeable con mezcladora.



**Fotografía 8.** Moldes metálicos limpios y engrasados, aptos para el vaciado del concreto permeable.





**Fotografía 9.** Consistencia del concreto en estado fresco.



**Fotografía 10.** Varillado del concreto permeable.



**Fotografía 11.** Acabado del concreto permeable.



**Fotografía 12.** Ensayo de asentamiento Cono de Abrams del concreto permeable (0 slump).



C  
urado de los especímenes.



**Fotografía 14.** Retiro de las probetas de la poza para las roturas a los 7, 14, y 28 días.





**Fotografía 15.** Refrendado de probetas



**Fotografía 16.** Registro de datos de los especímenes para el ensayo de resistencia a la compresión.



**Fotografía 17.** Ensayo de compresión de la muestra patrón a los 28 días de curado.



**Fotografía 18.** Ensayo de compresión de la muestra con adición al .075% de tiras de polietileno, a los 28 días de curado.



**Fotografía 19.** Ensayo de compresión de la muestra con adición al .075% de tiras de polietileno, a los 28 días de curado.



**Fotografía 20.** Ensayo de compresión de la muestra con adición al .125% de tiras de polietileno, a los 28 días de curado.





**Fotografía 21.** Falla por corte y fisura en el extremo de la muestra de concreto permeable.



**Fotografía 23 .** Proceso de construcción del permeámetro de carga variable.



**Fotografía 24.** Permeámetro de carga variable (equipo recomendado por el ACI 522).



**Fotografía 25.** Especímenes de concreto permeable, separados por diseño de mezcla, de dimensiones de 15 x 10 cm, preparados para el ensayo de permeabilidad.





**Fotografía 26.** Introducción y ajuste del espécimen de concreto permeable dentro del permeámetro.



**Fotografía 27.** Ensayo de permeabilidad



**Fotografía 28.** Ubicación del tramo al que corresponde el diseño del pavimento permeable (Pariacoto).

**ANEXO N°8**  
**NORMA ACI 522R-10**

Informe sobre concreto permeable

Informado por el Comité ACI 522



**American Concrete Institute®**



Primera impresión de  
marzo de 2010

**Institute American Concrete.**  
Advancing concrete knowledge

## Informe sobre concreto permeable

Los derechos de autor por el American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan. Todos los derechos reservados. Este material no puede ser reproducido o copiado, en su totalidad o en parte, en cualquier impreso, mecánicos, electrónicos, película, u otros medios de distribución y almacenamiento, sin el consentimiento por escrito de ACI.

Los comités técnicos responsables de los informes y las normas para el comité ACI se esfuerzan por evitar ambigüedades, omisiones y errores en estos documentos. A pesar de estos esfuerzos, los usuarios de documentos de ACI en ocasiones encontrar información o requisitos que puedan ser objeto de más de una interpretación o puede ser incompleta o incorrecta. Los usuarios que tienen sugerencias para la mejora de los documentos de ACI se solicita a ponerse en contacto con el ACI. El uso adecuado de este documento incluye la comprobación periódica de erratas en [www.concrete.org/committees/errata.asp](http://www.concrete.org/committees/errata.asp) para la mayoría de las revisiones en marcha hasta la fecha.

Los documentos del Comité ACI están destinadas para el uso de las personas que son competentes para evaluar la importancia y las limitaciones de su contenido y recomendaciones y que aceptará la responsabilidad de la aplicación del material que contiene. Las personas que usan esta publicación de ninguna manera asumen todos los riesgos y aceptar la responsabilidad total para la aplicación y uso de esta información.

Toda la información en esta publicación está prevista -como está" sin garantía de ningún tipo, ya sea expresa o implícita, incluyendo pero no limitado a, las garantías implícitas de comerciabilidad, adecuación para un propósito particular o no infracción.

ACI y sus miembros rechazan toda responsabilidad por daños de cualquier tipo, incluyendo daños especiales, indirectos, incidentales o consecuentes, incluyendo, sin limitación, pérdida de ingresos o pérdida de beneficios, que puedan derivarse de la utilización de esta publicación.

Es responsabilidad del usuario de este documento para establecer las prácticas de seguridad e higiene adecuadas a las circunstancias específicas involucradas con su uso. ACI no hace ninguna representación con respecto a las cuestiones de salud y seguridad y el uso de este documento. El usuario debe determinar la aplicabilidad de todas las limitaciones reguladoras antes de aplicar el documento y debe cumplir con todas las leyes y reglamentos aplicables, incluyendo, pero no limitado a, las normas de salud y seguridad Estados Unidos Seguridad y Salud Ocupacional Health Administration (OSHA).

Información de pedido: ACI documentos están disponibles en forma impresa, por descarga, en CD-ROM, a través de suscripción electrónica, o reproducido y pueden obtenerse poniéndose en contacto con el ACI.

La mayoría de las normas ACI y los informes de los comités se reúnen en el Manual ACI anualmente revisada de práctica concreta (MCP).

American Concrete Institute 38800  
Country Club Drive Farmington Hills, MI  
48331  
EE.UU.

Teléfono: 248-848-3700

Fax: 248-848-3701

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

ISBN 978-0-87031-364-6

# Informe sobre concreto permeable

Informado por el Comité ACI 522

Matthew A. Offenberg  
Silla

Don J.  
vicepresidente Wade

Charles A. Weiss Jr.  
Secretario

William L. Arent  
Bob J. Banka  
William D. Brant  
Heather J. Brown  
Manoj Chopra  
Michael S. Davy  
Norbert J. Delatte

Aly Ibrahim Eldarwish  
K. Bruce Ferguson  
Dale Fisher  
Bruce A. Glaspey  
Liv Haselbach  
Omer Heracklis  
Daniel J. Huffman

Frank Lennox  
John R. Love III  
Kamyar C. Mahboub  
Narayanan Neithalath \*  
Scott M. Palotta  
Joseph A. Rottman  
George W. Seegebrecht

David M. Suchorski  
Diep T. Tu  
Robert Louis Varner  
Marty Wanielista  
Jason W. Weiss  
Peter T. Yen

\* Presidente del subcomité editorial.

Este informe proporciona información técnica sobre la solicitud de concreto permeable, métodos de diseño, materiales, propiedades, dosificación mezcla, métodos de construcción, pruebas e inspección.

El término *concreteII* -pervious típicamente describe una cerca de cero asentamiento de material, -gradación abierta que consiste en cemento portland, agregado grueso, poco o ningún agregado fino, aditivos y agua. La combinación de estos ingredientes producirá un material endurecido con poros conectados, que van en tamaño desde 0,08 a 0,32 en. (2 a 8 mm), que permita que el agua pase a través fácilmente. El contenido de vacío puede variar de 15 a 35%, con resistencias a la compresión típicas de 400 a 4.000 psi (2,8 a 28 MPa). La velocidad de drenaje del pavimento de concreto permeable variará con tamaño de los agregados y la densidad de la mezcla, pero en general **caerá en el rango de 2 a 18 gal / min / ft<sup>2</sup> ( 81-730 L / min / m<sup>2</sup>).** El **concreto permeable es ampliamente** reconocido como un material de construcción sostenible, ya que reduce la escorrentía de aguas pluviales, mejora la calidad de las aguas pluviales, puede recargar suministros de agua subterránea, y puede reducir el impacto del efecto de isla de calor urbano.

**palabras clave:** construcción; diseño; drenaje; edificio verde; LEED® crédito; permeabilidad; pavimento de concreto permeable; aguas pluviales; sostenibilidad; pruebas.

Informes del Comité ACI, guías, manuales, y comentarios están destinados para la orientación en la planificación, diseño, ejecución, y la inspección de la construcción. Este documento está destinado para el uso de las personas que son competentes para evaluar la importancia y las limitaciones de su contenido y recomendaciones y que aceptará la responsabilidad de la aplicación del material que contiene. El American Concrete Institute se exime de toda responsabilidad a los principios establecidos. El Instituto no será responsable por cualquier pérdida o daños derivados. No se hará referencia a este documento en los documentos del contrato. Si los artículos que se encuentran en este documento son deseados por el arquitecto / ingeniero para ser una parte de los documentos del contrato, deberán ser objeto de modificación en la lengua obligatoria para su incorporación por el arquitecto / ingeniero.

## CONTENIDO

### Capítulo 1-Introducción y alcance, p. 522r-2

- 1.1 -Introducción
- 1.2 --Alcance

### Capítulo 2-Notación y definiciones, p. 522r-3

- 2.1 --Notación
- 2.2 -Definiciones

### Capítulo 3-Applications, p. 522r-3

- 3.1 -General
- 3.2 -Construir aplicaciones: la historia aplicaciones de 3.3 Tendido
- 3.4-Otras aplicaciones

### Capítulo 4-Materiales, p. 522r-6

- 4.1 -General
- 4.2 -Aggregates
- 4.3 materiales -Cementitious
- 4.4-Agua
- 4.5-Aditivos

### Capítulo 5-Properties, p. 522r-7

- 5.1 -General
- 5.2 -Fuerza compresiva

ACI 522r-522r 10 reemplaza a ACI-06 y fue adoptado y publicado en marzo 2010.

Copyright © 2010, American Concrete Institute. Todos los derechos reservados incluyendo los derechos de reproducción y el uso de cualquier forma o por cualquier medio, incluyendo la realización de copias de cualquier proceso de foto, o por el dispositivo electrónico o mecánico, impresa, escrita o oral, o la grabación de sonido o reproducción visual o para utilizar en cualquier sistema de conocimiento o de recuperación o dispositivo, a menos que el permiso por escrito se obtiene de los propietarios de derechos de autor.



**5.3 -Fuerza flexible**

contenido de 5,4-Void / densidad

5,5-tamaños de poro

tasa de 5,6-percolación

5.7 Durabilidad

5.8 -Tenacidad

5.9 absorción -Acoustic

**Capítulo 6 permeable dosificación mezcla de hormigón, p. 522r-12**

6.1 -General

6.2 -Materiales

6.3 relación de material de -Agua-cementoso

contenido de 6,4-Void

6.5 -cantidad de agregado grueso

6.6 volumen, el cemento y el contenido de agua -Paste

procedimiento 6,7-Dosificación

6.8- rangos típicos de materiales

**Capítulo 7-permeable diseño del pavimento, p. 522r-15**

7.1 -Introducción

7.2 -Diseño estructural

7.3 diseño de la gestión -Stormwater

7,4-Otras consideraciones

**Capítulo construcción de pavimentos 8-permeable, pag. 522r-20**

8.1 principios de construcción GENERALES

8.2 -Subgrade preparación / subbase

8,3-Colocación

8,4-Consolidación

8,5-Empalme

8,6-curado y protección

protección contra la intemperie 8,7 fría

protección contra la intemperie 8,8-caliente

8,9-Reparación pavimentos de hormigón permeable 8.10- Mantenimiento

**Capítulo 9-inspección de control de calidad y pruebas, pag. 522r-26**

9.1 -General

9.2 -Preconstruction inspección y pruebas

9,3-inspección y pruebas durante la construcción

9,4-post-construcción de inspección y pruebas

**Capítulo 10-Performance, p. 522r-27**

10.1 -General

10.2 -Cambios en las tasas de infiltración

10.3 angustia-estructural

10.4 angustia -Superficie

10.5 -Resistencia a la congelación y descongelación

**Capítulo 11-limitaciones, aplicaciones potenciales, y las necesidades de investigación, p. 522r-29**

11.1 -Pervious concreto en climas fríos

11.2 determinaciones -Strength y limitaciones

11.3-Characterización de la estructura del material

aplicaciones de clima frío de congelación-11.4-y-descongelación y

lechada de 11.5 Poroso

11.6 -Gestión de aguas pluviales

11.7 filtrado -Environmental / potencial de remediación

11.8 deterioro de superficie y reparación

11.9 -Desarrollo y estandarización de los métodos de pruebas más amplias

11.10 determinación no-non-destructiva de rendimiento y las propiedades

11.11 -Urban efecto de isla de calor, la carbonatación, y otras propiedades térmicas

11.12 -Otros nuevas aplicaciones y usos

**Capítulo 12-El medio ambiente y el concreto permeable, p. 522r-33**

12.1- el LEED ® sistema de clasificación de edificios verdes concreto permeable y

**Capítulo 13-References, p. 522r-35**

13.1 con referencia a las normas e informes

13.2 citados referencias

**CAPÍTULO 1-INTRODUCCIÓN Y ALCANCE**

**1.1 Introducción**

Este informe proporciona información técnica sobre la solicitud de concreto permeable, métodos de diseño, materiales, propiedades, dosificación mezcla, métodos de construcción, pruebas e inspección.

El término concrete|| -pervious típicamente describe un casi cero asentamiento de material,-gradación abierta que consiste en cemento portland, agregado grueso, poco o ningún agregado fino, aditivos y agua. La combinación de estos ingredientes producirá un material endurecido con poros conectados (Fig. 1.1), que varían en tamaño de 0,08 a 0,32 pulg. (2 a 8 mm), que permita que el agua pase a través fácilmente. El contenido de vacío puede variar de 15 a 35%, con resistencias a la compresión típicas de 400 a 4.000 psi (2,8 a 28 MPa). La velocidad de drenaje del pavimento de concreto permeable variará con tamaño de los agregados y la densidad de la mezcla, pero en general caerá en el rango de 2 a 18 gal./min/ft 2 (81 a 730 L / min / m 2) o 192-1724 in./h (0,14 a 1,22 cm / s).

**1.2 --Scope**

La preocupación ha ido creciendo en los últimos años hacia la reducción de los contaminantes en el suministro de agua y el medio ambiente. En el

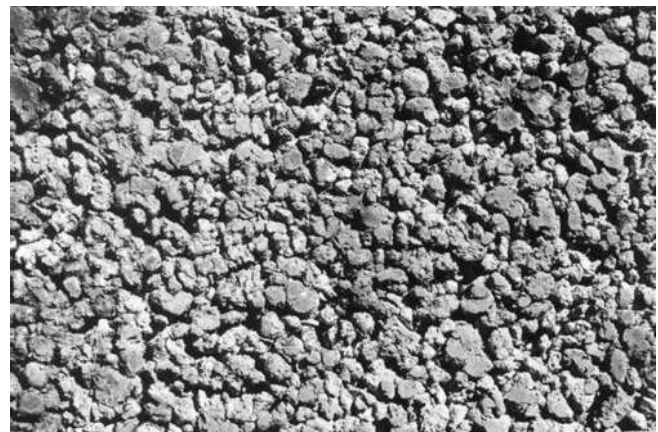


Fig. 1.1 permeable a la textura de pavimento de hormigón en la playa de estacionamiento.

1960, ingenieros se dieron cuenta de que la escorrentía de las propiedades inmobiliarias desarrollado tenía el potencial de contaminar suministros de agua superficial y subterránea. Además, como se desarrolla la tierra, el escurrimiento deja el sitio en tasas más altas y volúmenes, lo que lleva a las inundaciones aguas abajo y erosión de las orillas. pavimento de concreto permeable reduce el impacto del desarrollo mediante la reducción o eliminación de las tasas de escorrentía de aguas pluviales y la protección de los suministros de agua.

## Capítulo 2-notación y DEFINICIONES

### 2.1 -Notation A = área de la acera, acre (m<sup>2</sup>)

segundo = Volumen sólido de agregado grueso en una unidad de volumen de hormigón, ft<sup>3</sup> (m<sup>3</sup>)

segundo o = volumen sólido de agregado grueso en una unidad de volumen de agregado grueso, ft<sup>3</sup> (m<sup>3</sup>)

b / bo = volumen seco-rodado de agregado grueso en una unidad volumen de hormigón

C = coeficiente de escorrentía

do = Contenido de cemento, lb (kg)

re 1 = Espesor del pavimento, ft (m)

re 2 = Espesor de la sub-base, ft (m)

fc' = Especificado resistencia a la compresión del hormigón, psi (MPa)

fr = Módulo de rotura del hormigón, psi (MPa)

t = tiempo, segundo

h 1 = Cabeza inicial, en. (Mm)

h 2 = Cabeza final, en. (Mm)

k = Permeabilidad, pulg./s (mm / s)

pag 1 = porcentaje de espacio vacío en el pavimento

pag 2 = porcentaje de espacio vacío en el subsuelo

R = coeficiente de reflexión de presión

V a = volumen agregado, ft<sup>3</sup> (m<sup>3</sup>)

V c = El volumen de cemento, ft<sup>3</sup> (m<sup>3</sup>)

V P = volumen de pasta; total de cemento y el volumen de agua, ft<sup>3</sup> (m<sup>3</sup>)

V p = disponible de almacenamiento en el pavimento, ft<sup>3</sup> (m<sup>3</sup>)

V r = Volumen de almacenamiento requerido, ft<sup>3</sup> (m<sup>3</sup>)

V s = disponible de almacenamiento en sub-base, ft<sup>3</sup> (m<sup>3</sup>)

V s = volumen total de sólidos de áridos, cemento, y agua, ft<sup>3</sup> (m<sup>3</sup>)

V tot = volumen total, FT<sup>3</sup> (m<sup>3</sup>)

V w = volumen de agua, ft<sup>3</sup> (m<sup>3</sup>)

W a = peso agregado seco, lb (kg)

W SSD = superficie-seco saturado peso, lb (kg)

w = contenido de agua, lb (kg)

α = Coeficiente de absorción

### 2.2 -Definiciones

ACI proporciona una lista completa de las definiciones aceptables a través de un recurso en línea, Terminología hormigón -ACI, II <http://terminology.concrete.org>. Definiciones que aquí se complementan ese recurso.

**hormigón, permeable hormigón de cemento -Hidráulico proporcionada con suficientes huecos interconectados que resultan en un material altamente permeable, permitiendo que el agua pase fácilmente.**

**área impermeable -un área cubierta por un material que evita la precipitación de la infiltración de los suelos y la recarga de agua subterránea.**

**pavimento, permeable pavimento -a material que comprende con suficientes huecos continuos para permitir que el agua pase desde la superficie hasta las capas subyacentes.**

**velocidad de percolación tasa -la, generalmente expresado como pulgadas por hora o pulgadas por día, en la que el agua se mueve a través concreto permeable.**

**porosidad volumen -el de espacio vacío intersticial abierto y conectado en concreto permeable.**

**raveling -el desgaste de la superficie de concreto causada por el desprendimiento de partículas de agregado.**

**escapada -agua de la lluvia o la nieve que no se absorbe en el suelo, sino que fluye sobre superficies menos permeables a los arroyos y ríos.**

**capa de rodadura -la capa superior de una estructura de pavimento de hormigón.**

**contenido de vacíos -la relación entre el volumen de huecos, incluyendo tanto el aire atrapado y arrastrado, con el volumen total expresado como un porcentaje.**

## Capítulo 3-APLICACIONES

### 3.1 -General

El concreto permeable se ha utilizado en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo:

- pavimento permeable para los estacionamientos (Fig 3.1.);
- capas de drenaje rígidos bajo las zonas exteriores del centro comercial;
- plantas de invernadero para mantener el suelo libre de agua estancada;
- aplicaciones de paredes estructurales donde las características de aislamiento de peso ligero o mejor térmicas, o ambos, son requeridas;
- Pavimentos, paredes y suelos donde se desean mejores características de absorción acústica;
- capa de base de calles, caminos, vías de acceso y aeropuertos;
- Superficie curso para parques y canchas de tenis;
- Suelo para las áreas de zoológico y graneros animales y puestos;
- terraplenes puente;
- Natación cubiertas de la piscina;



Fig. 3.1 montón de estacionamiento construido con pavimento de concreto permeable.



- estructuras de playa y diques;
- camas planta de tratamiento de lodos de aguas residuales;
- sistemas de almacenamiento de energía solar;
- revestimientos de paredes de los pozos de agua perforados; y
- Los arrecifes artificiales donde la estructura abierta de concreto permeable imita la estructura del arrecife.

Típicamente, el concreto permeable no reforzado se utiliza en todas estas aplicaciones debido a la alta riesgo de reforzar la corrosión del acero debido a la estructura de poros abiertos del material.

### 3.2 aplicaciones -Construcción: la historia

El concreto permeable se ha utilizado en la construcción de edificios por lo menos desde mediados del siglo XIX (Francis 1965). A lo largo de este capítulo, el término concretell -pervious se utiliza para describir el material, pero en las referencias e históricamente, que puede haber sido descrito como no-fines hormigón hormigón o GAP-graduada. Los países europeos han utilizado el concreto permeable en diferentes modos: muros de carga de hormigón in situ en casas de una y de varias plantas y, en algunos casos, en los edificios de gran altura, paneles prefabricados, bloques y curado al vapor. En 1852, el concreto permeable primero fue utilizado en la construcción de dos casas en el Reino Unido (UK). Este concreto consistió solamente grava gruesa y cemento. No se menciona en la literatura publicada de nuevo hasta 1923, cuando un grupo de 50 casas de dos pisos fueron construidos con el agregado de clinker en Edimburgo, Escocia. A finales de la década de 1930, la Asociación Escocesa de Alojamiento Especial Limitada adoptó el uso del concreto permeable para la construcción residencial. En 1942, el concreto permeable había sido utilizado para construir más de 900 viviendas. De 1939 a 1945, los estragos de la Segunda Guerra Mundial dejó casi toda Europa con grandes necesidades de vivienda, lo que alentó el desarrollo de métodos nuevos o previamente no utilizadas de la construcción de edificios. Cabe destacar que entre ellos estaba el concreto permeable (Malhotra, 1969). El concreto permeable utiliza menos cemento por unidad de volumen de hormigón en comparación con hormigón convencional, y el material era ventajoso cuando la mano de obra era escasa o costoso. Con los años, el sistema concreto permeable contribuyó sustancialmente a la producción de nuevas casas en el Reino Unido, Alemania, Holanda, Francia, Bélgica, Escocia, España, Hungría, Venezuela, África Occidental, Oriente Medio, Australia y Rusia. Alemania utilizó este sistema debido a la eliminación de grandes cantidades de escombros de ladrillos era un problema después de la guerra, lo que lleva a la investigación de las propiedades del concreto permeable. En otra parte, la demanda sin precedentes de ladrillo y la consiguiente incapacidad de la industria de fabricación de ladrillos para proporcionar un suministro adecuado, llevaron a la adopción del concreto permeable como material de construcción. Del mismo modo, en Escocia, entre 1945 y 1956, muchas casas fueron construidas con concreto permeable. Esto se debió principalmente a la presencia de cantidades ilimitadas de agregados duros y la ausencia de buenos ladrillos cara vista. El primer uso reportado de concreto permeable en Australia era ya en 1946. Antes de la Segunda Guerra Mundial, la producción de concreto permeable se limita a casas de dos pisos. Después de 1946, sin embargo, se utilizó el concreto permeable para una gama mucho más amplia de aplicaciones.



Fig. Pavimento de hormigón 3,2-permeable se utiliza dentro de la línea de goteo de árbol.

El concreto permeable se utiliza ampliamente para edificios industriales, públicos y domésticos en las zonas del norte del círculo polar ártico ya que los materiales de construcción tradicionales demostraron ser impracticables. Ejemplos de estas impracticalities incluyen los altos costos de transporte de ladrillo, los riesgos de incendio de madera y pobres propiedades de aislamiento térmico de hormigón en masa (Malhotra, 1976).

Aunque el concreto permeable se ha utilizado en Europa y Australia durante los últimos 60 años, su uso como material de construcción en América del Norte ha sido muy limitado. Una de las razones para este uso limitado es, después de la Segunda Guerra Mundial, América del Norte no experimentó una escasez de materiales tanto como Europa. En Canadá, el primer uso reportado de concreto permeable fue en 1960. El concreto permeable se utilizó en la construcción de algunas casas en Toronto y sobre una base no estructural en un edificio federal en Ottawa.

### 3.3 Aplicaciones -Pavement

ventajas permeables pavimentos de hormigón más de pavimentos de hormigón convencionales incluyen:

- El control de la contaminación de las aguas pluviales en la fuente;
- Aumento de los servicios de estacionamiento, eliminando la necesidad de áreas de retención de agua;
- El control de escorrentía de aguas pluviales;
- La reducción de hidroplaneo sobre superficies de carreteras y autopistas;
- La creación de elevación adicional a los aviones durante el despegue debido al efecto de enfriamiento;
- La reducción de deslumbramiento sobre superficies de carretera en gran medida, particularmente cuando está mojado por la noche;
- La reducción del ruido de la interacción entre el neumático y el pavimento;
- Eliminar o reducir el tamaño de alcantarillas; y
- Permitir que el aire y el agua para llegar a las raíces del árbol, incluso con pavimento dentro de la línea de goteo árbol (Fig. 3.2). posibles inconvenientes y desafíos permeables pavimentos de hormigón incluyen:

- uso limitado en áreas de tráfico de vehículos pesados;
- prácticas de construcción especializada;
- Extendido el tiempo de curado;
- Sensibilidad al contenido de agua y el control en hormigón fresco;
- Especial atención y cuidado en el diseño de algunos tipos de suelos, tales como suelos expansivos y los susceptibles de escarcha;

- La falta de métodos de ensayo normalizados; y
- Especial atención que pueden exigirse con alta subterránea. Los ingenieros han especificado concreto permeable en pavimentos como:
- Por supuesto superficie;
- de base y del borde desagües permeables; y
- Espalda.

El éxito de los sistemas de pavimentos permeables ha sido desigual. En algunas áreas, los sistemas de pavimento de concreto permeable se han aplicado con éxito, mientras que en otros se han atascado en un corto período de tiempo. Muchos fracasos pueden atribuirse a la inexperiencia contratista, mayor compactación del suelo que ha especificado, y el diseño del sitio inadecuado. Para un pavimento de concreto permeable a trabajar con éxito:

- La permeabilidad de los suelos debe ser verificada. generalmente se recomienda una velocidad de percolación de 0,5 in./h (13 mm / h) y una capa de suelo de 4 pies (1,2 m) o más. Hay instalaciones de concreto permeable y otros materiales de pavimentación porosos. En el rojo-arcilla regiones Piedmont de las Carolinas y Georgia, sin embargo, donde la tasa de infiltración sub-base es mucho menor que 0,5 in./h (13 mm / h), estos pavimentos facilitan la infiltración y filtrado de la escorrentía y la recarga de las aguas subterráneas (aunque se infiltre en la totalidad del agua de lluvia en grandes tormentas);
- escorrentía obra de construcción y equipos pesados deben mantenerse entre en el área de pavimento permeable. El pavimento de concreto permeable no debe ser puesto en servicio hasta que todos los terrenos alterados que se agota hasta que se ha estabilizado por la vegetación. controles de erosión y sedimentos estrictas durante cualquier actividad de la construcción o paisajismo son esenciales para evitar que el sistema de la obstrucción y debe ser incorporado en el plan de construcción sitio de gestión de aguas pluviales; y
- tráfico de la construcción (principalmente vehicular) debe ser dirigido lejos de la zona de pavimento permeable durante la construcción para evitar la compactación de las capas de suelo subyacente y la pérdida de capacidad infiltrante.

**3.3.1 Superficie supuesto- El concreto permeable puede ser utilizado como una capa de rodadura para los estacionamientos y las tiras de carretera secundaria ( Fig. 3.1 ).** Uso en los EE.UU., en gran medida, ha estado en capas de rodadura. Muchos estacionamientos en Florida consisten en una capa de rodadura de hormigón drenante. Su uso en la Florida se debe a tres factores:

1. Florida se encuentra con frecuencia fuertes tormentas que causan una rápida acumulación de grandes cantidades de aguas pluviales; el uso de hormigón permeable reduce el volumen de escurrimiento;
2. Diseñadores prefieren el agua de lluvia se mantendrán en el lugar para recargar el sistema de aguas subterráneas; y
3. La rentabilidad de la utilización concreto permeable sobre pavimentos convencionales es mucho mayor con la eliminación de las alcantarillas.

**3.3.1.1 estacionamiento y la montaña** El concreto permeable fue referido como un estacionamiento de material en la zona central de la Florida pavimentación ya en la década de 1970 (Medico 1975). El concepto desarrollado como un medio para manejar las enormes cantidades de agua que cae un estacionamiento durante una tormenta; concreto permeable permite que el agua se filtre en el suelo bajo el pavimento. La Agencia de Protección Ambiental (EPA) ha adoptado una política que recomienda el uso de pavimentos permeables como parte de sus mejores prácticas de gestión

(BMP), como una manera para que las comunidades para mitigar el problema de la escorrentía de aguas pluviales. Permeable a los estacionamientos de concreto también han sido seleccionados como una solución integral al problema de los pavimentos calientes en el programa Comunidades fresca. La temperatura del aire sobre los estacionamientos de concreto permeable es generalmente más frías que el asfalto. Permeable a los estacionamientos de concreto también reducen la acumulación de nieve y hielo y se consideran una nonpollutant con el medio ambiente. El intervalo práctico de espesores de diseño para pavimentos de hormigón permeable es de 5 a 12 pulg. (125 y 300 mm) para los estacionamientos de fricción.

**3.3.1.2 Roadways- El concreto permeable para carreteras se considera** generalmente para dos aplicaciones como:

**1. base de drenable, o material de sub-base; y**

**2. superficie de la calzada o en el de fricción.** En ambas categorías, aunque las características de drenaje son propiedades requeridas, los requisitos de resistencia pueden variar dependiendo de la ubicación del material en la sección de pavimento. El intervalo práctico de espesores de diseño para el concreto permeable es de 6 a 12 pulg. (150 a 300 mm) para pavimentos de carretera de fricción. superposiciones Bonificado (Maynard 1970), sin embargo, han sido tan delgada como 2 pulg. (50 mm). Muchas carreteras de Europa están siendo construidas utilizando una capa de concreto permeable modificado con látex que permite el drenaje del pavimento y la reducción de los neumáticos de ruido. Los resultados de modificación de látex en mejores propiedades mecánicas (Pindado et al. 1999).

**3.3.2 bases permeable y drains- borde A base de hormigón permeable dreña el** agua que normalmente se acumulan debajo de un pavimento. Este tipo de construcción ayuda a reducir el bombeo de materiales de sub-rasante que podrían conducir a la falla del pavimento. En algunos estados, los departamentos de transporte han creado normas para la construcción de bases con desagüe y drenajes bordes utilizando el concreto permeable. California, Illinois, Oklahoma y Wisconsin tienen tales especificaciones estándar (Mathis, 1990). El concreto permeable en estas aplicaciones es generalmente menor resistencia (1000 psi [7 MPa] o menos), y se utiliza en conjunción con un tejido geotextil no tejido. Un sistema similar se puede utilizar en la estabilización de taludes.

**3.3.3 hombros- hombros de concreto permeable se han utilizado en Francia en un** esfuerzo por reducir el bombeo por debajo de los pavimentos de hormigón. aditivos incorporador de aire se utilizan para aumentar la resistencia a la congelación y descongelación. Las porosidades del orden de 15 a 25% se ha encontrado que casi elimina el riesgo debido a la congelación, a menos que se permite que el hormigón a ser saturada. resistencias a la compresión son a menudo menos de 2000 psi (14 MPa) a los 28 días.

### 3.4 aplicaciones -Otros

**3.4.1 Drains- Los servicios de agua y de energía de recursos han utilizado concreto permeable** para la construcción de baldosas de drenaje permeables así como desagües debajo de las estructuras hidráulicas. Los desagües aliviar las presiones de levantamiento y permitir que el agua subterránea sea drenado desde debajo de las tuberías de desagüe.

**3.4.2 CULTIVO- El uso de concreto permeable como un sistema de almacenamiento** térmico en plantas de invernadero ha sido investigado por investigadores (Monahan 1981; Herodes 1981). El suelo sirve como un área de almacenamiento, así como un intercambiador de calor para el invernadero calentada con energía solar. El concreto permeable también se ha utilizado como pavimento de suelos de invernadero para evitar que el agua

ponding y para eliminar el crecimiento de malas hierbas mientras que proporciona una superficie duradera, difícil para equipos de movimiento.

**3.4.3 tribunales-Tenis El concreto permeable se ha utilizado ampliamente para la construcción de pistas de tenis en Europa.** losas de hormigón permeables permiten que el agua de permealdo y luego drene a través de una base de grava a los bordes de la losa. Cenizas volantes está incluido en algunas de las mezclas para aumentar la trabajabilidad.

**3.4.4 Las barreras acústicas y la creación de paredes- Ruidos procedentes de diversas fuentes de tráfico o los ocupantes de un edificio puede ser problemático.** barreras contra el ruido de concreto permeable y paredes interiores se construyen algunas veces para reducir el ruido. Esta estructura opengraded tiende a absorber y disipar el sonido en el material en lugar de reflejarla a otra ubicación.

## CAPÍTULO 4-MATERIALES

### 4.1 -General

El concreto permeable, también conocido como no-fines, permeable, o el incremento de hormigón porosidad (EPC), por lo general consiste en cemento portland normal, agregado grueso de tamaño uniforme, y agua. Esta combinación forma una aglomeración de agregados gruesos rodeados por una capa delgada de pasta de cemento endurecida en sus puntos de contacto. Esta configuración produce huecos interconectados (típicamente de tamaños en el intervalo de 0,04 a 0,2 pulg. [1 a 5 mm]) entre el agregado grueso, lo que permite que el agua penetre a un ritmo mucho más alto que el hormigón convencional. El concreto permeable se considera un tipo especial de hormigón altamente poroso. Tal hormigón poroso se puede clasificar en dos tipos: uno donde la porosidad está presente en el componente total de la mezcla (hormigones agregados ligeros), y uno donde se introduce porosidad en el componente no agregados de la mezcla (concreto permeable) (Neithalath 2004). hormigón agregado liviano se puede construir mediante el uso de agregados naturales o sintéticos extremadamente porosos. El concreto permeable tiene poco o ningún agregado fino en la mezcla. Otra distinción entre estos dos tipos de hormigón poroso se basa principalmente en la estructura de vacío. hormigones de áridos ligeros contienen grandes porcentajes de huecos relativamente no conectados. El concreto permeable, sin embargo, contiene porcentajes altos (20 a 35%) de huecos interconectados, lo que permite el rápido paso del agua a través del cuerpo de hormigón. El concreto permeable tiene poco o ningún agregado fino en la mezcla. Otra distinción entre estos dos tipos de hormigón poroso se basa principalmente en la estructura de vacío. hormigones de áridos ligeros contienen grandes porcentajes de huecos relativamente no conectados. El concreto permeable, sin embargo, contiene porcentajes altos (20 a 35%) de huecos interconectados, lo que permite el rápido paso del agua a través del cuerpo de hormigón.

### 4.2 -Aggregates

gradaciones agregado usado en concreto permeable son típicamente o bien agregado de tamaño individual grueso o de clasificación entre 3/4 y 3/8 pulg. (19 y 9,5 mm). agregados redondeados y trituradas, tanto normales como ligeros, se han utilizado para hacer el concreto permeable. El agregado utilizado debe cumplir con los requisitos de ASTM D448 y C33 / C33M. contenido de agregado fino está limitada en mezclas de concreto permeable ya que tiende a poner en peligro la conexión del sistema de poros. La adición de agregado fino puede aumentar resistencias a la compresión y la densidad pero correspondientemente reducir la velocidad de flujo de agua a través de la masa de hormigón permeable. calidad global en el concreto permeable es tan importante como en el hormigón convencional. partículas escamosa o alargadas deben ser evitados. El agregado grueso-estrecha graduada debe ser duro y limpio, y libre de recubrimientos, tales como el polvo

o arcilla, u otro absorbidos productos químicos que podrían afectar perjudicialmente a la pasta / enlace agregado o la hidratación del cemento. Fuentes agregadas con un registro de servicio de rendimiento aceptable son preferibles. En ausencia de una fuente con un registro de servicio aceptable, una combinación de pruebas podría llevarse a cabo para proporcionar una base para evaluar la idoneidad de un agregado candidato para su incorporación en una mezcla de hormigón permeable. Pesos de la unidad de agregados deben ser determinados de acuerdo con ASTM C29 / C29M.

Para las nuevas fuentes de agregados, desconocidos, los resultados de pruebas realizadas según la norma ASTM C33 / C33M y D448 deben ser revisados con la entrada de un ingeniero de materiales experimentado. El examen de las muestras probadas por un petrógrafo experimentado puede llegar a ser de gran valor en la identificación de características tales como la calidad, la dureza, el grado de erosión, y la presencia de recubrimientos deletéreos que pudieran afectar al rendimiento del material en el servicio.

humedad de los agregados en el momento de la mezcla es importante. La absorción agregado debe ser satisfecha por el acondicionamiento de la reserva como sea necesario para lograr la condición saturada superficialmente seca (SSD). De lo contrario, un agregado seco puede resultar en una mezcla que carece de la manejabilidad adecuada para la colocación y compactación. Excesivamente agregados húmedos pueden contribuir al drenaje de la pasta, causando la obstrucción intermitente de la estructura hueco destinado.

### 4.3 materiales -Cementitious

Cemento Portland conforme a ASTM C150 / C150M, C595 / C595M, o C1157 / C1157M se utiliza como el aglutinante principal. materiales cementantes suplementarios tales como cenizas volantes, escoria de alto horno de la planta granulado, y humo de sílice también se pueden utilizar, además de cemento portland y deben cumplir con los requisitos de la norma ASTM C618, C989, C1240 y, respectivamente. Se recomienda encarecidamente materiales de procesamiento por lotes de prueba pruebas para verificar que la compatibilidad con cemento mezclado no es un problema y que el tiempo de fraguado, la tasa de desarrollo de la fuerza, la porosidad y la permeabilidad se puede lograr para proporcionar las características necesarias para las condiciones de colocación y de servicios previstos.

### 4.4 -Agua

Calidad del agua para el concreto permeable se rige por los mismos requisitos que para el hormigón convencional. hormigones permeables deben ser proporcionados con **una relación relativamente baja de material watercementitious ( w / cm) ( típicamente 0,26 a 0,40)**, porque una cantidad excesiva de agua dará lugar a drenaje de la pasta y la posterior obstrucción del sistema de poros. La adición de agua, por lo tanto, tiene que ser controlada estrechamente en el campo. Discusión adicional de la calidad del agua se encuentra en ACI 301. El agua reciclada de las operaciones concretas puede ser utilizable, pero sólo si cumple las disposiciones de la norma ASTM C94 / C94M o AASHTO M-157.

### 4.5 -Admixtures

aditivos reductores de agua deben cumplir los requisitos de ASTM C494 / C494M. aditivos reductores de agua (Highrange o de medio alcance) se utilizan en función de la w / cm. retardadores se utilizan para estabilizar y controlar la hidratación del cemento. con frecuencia se prefieren los aditivos retardantes

cuando se trata de mezclas rígidas, tales como el concreto permeable. Son especialmente útiles en aplicaciones en climas calientes. aditivos retardadores pueden actuar como lubricantes para ayudar a hormigón de descarga desde un mezclador y pueden mejorar las características de manejo y de rendimiento in-place. Aceleradores se pueden utilizar cuando hormigones permeables se colocan en un clima frío. Los estudios informan el uso de estabilizadores de hidratación de cemento como una ayuda en la extensión del tiempo de trabajo de la mezcla y viscosity-modifying aditivos (VMA) para mejorar la trabajabilidad; estas ventajas también se han presenciado durante la producción real y la colocación de los proyectos. Con el uso de múltiples aditivos en cualquier mezcla de hormigón, se recomienda que una colocación mezcla de ensayo se lleva a cabo para identificar cualquier problema de incompatibilidad de mezcla y verificar las propiedades fresco y endurecido deseados son consistentemente alcanzable. Incorporador de aire aditivos deben cumplir los requisitos de la norma ASTM C260. aditivos incorporador de aire no se utilizan comúnmente en hormigones permeables, pero se pueden utilizar en ambientes susceptibles a la congelación y descongelación. No existe ningún método fiable, sin embargo, para cuantificar el volumen de aire arrastrado en estos materiales. La investigación está actualmente en curso en la resistencia a la congelación y descongelación de mezclas de concreto permeable, y la mayoría de los estudios implican el uso de un agente incorporador de aire (Neithalath et al 2005a.; Schaefer et al 2006.; Baas 2006). Hasta que un mayor número de investigaciones está disponible, puede ser prudente incluir un aditivo incorporador de aire donde la colocación se produce en climas más fríos. Esto es según se informa cierto en relativamente más altos mezclas de contenido de cemento donde el espesor pasta de recubrimiento partículas de agregado excede 0,008 pulg. (200 m). La incorporación de las fibras de las mezclas a ser expuesto a la congelación y descongelación ha demostrado éxito en algunos estudios para mejorar la durabilidad en climas fríos.

El uso de productos químicos de la construcción de la especialidad también se divulga para ser beneficioso cuando, secado condiciones ambientales de viento crean altas tasas de evaporación que reducen la ventana de tiempo cuando una mezcla se coloca de manera más eficiente. El uso de retardantes de evaporación puede ser útil en este sentido.

## Capítulo 5-PROPIEDADES

### 5.1 -General

Las diversas propiedades del hormigón permeable dependen principalmente de su porosidad (aire contenido de vacío), que a su vez depende del contenido de cemento,  $w / cm$ , nivel de compactación, y la gradación de agregado y calidad. Los tamaños de poro en el material también influyen en las propiedades de resistencia. Aunque el concreto permeable se ha utilizado para la pavimentación de más de 20 años en los EE.UU., sólo unas pocas investigaciones se han realizado para determinar el rendimiento (Ghafoori 1995.; Wanielista et al 2007). Las investigaciones se han basado principalmente en pruebas de laboratorio, con algunos datos de las instalaciones de campo reales obtenidos. Sólo existe un método ASTM que está pensada específicamente para su uso en el concreto permeable. ASTM Subcomité C09.49 está desarrollando métodos de ensayo para resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, la densidad / porosidad en el lugar, y en el lugar de la permeabilidad. El diseñador deberá tener cuidado al hacer referencia a los métodos de prueba para el concreto permeable que están destinados a hormigón en masa.

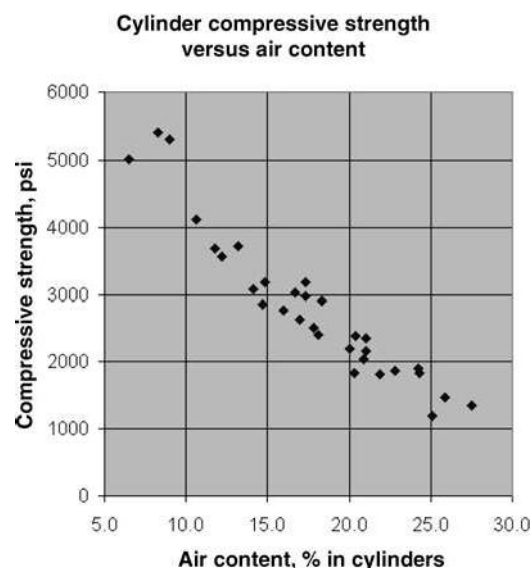


Fig. 5.1-relación entre el contenido de aire y resistencia a la compresión para el concreto permeable (Meininger 1988) (1 psi = 0.006895 MPa).

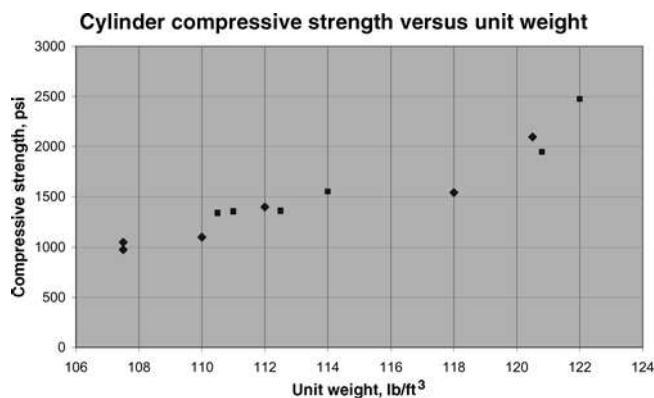


Fig. 5.2-Relación entre unidad de peso y resistencia a la compresión para el concreto permeable (Mulligan 2005) (1 psi = 0.006895 MPa; 1 lb / ft<sup>3</sup> = 16.02 kg / m<sup>3</sup>).

### 5.2 fuerza -Compressive

La resistencia a la compresión del concreto permeable es fuertemente afectada por la proporción de la mezcla y esfuerzo de compactación durante la colocación. La figura 5.1 muestra la relación entre la resistencia a la compresión de hormigón permeable y el contenido de huecos de aire (Meininger 1988). Figura 5.1 se basa en una serie de pruebas de laboratorio donde se utilizaron dos tamaños de agregado grueso y esfuerzo de compactación y la gradación agregado fueron variadas. Figura 5.2 (Mulligan 2005) muestra una relación entre resistencia a la compresión de hormigón permeable y unidad de peso. La figura se basa en otra serie de pruebas de laboratorio donde se utilizó un tamaño de agregado grueso y se varió esfuerzo de compactación y la relación de cemento agregada. La figura 5.1 muestra que son posibles relativamente altas resistencias a la compresión de las mezclas de concreto permeable, pero la alta resistencia se logra sólo con la reducción del contenido de vacíos de aire. Esto se traduce en una pérdida de eficiencia de percolación concreto permeable. Se ha informado de que una disminución del 11% en resistencia a la compresión se observó cuando la vibración

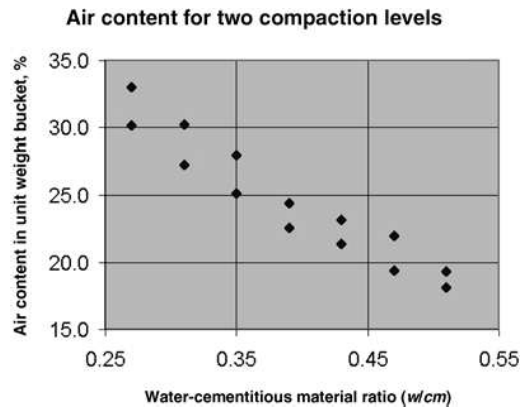


Fig. 5.3-Relación entre el contenido de aire y la energía de compactación para el concreto permeable (Meininger 1988).

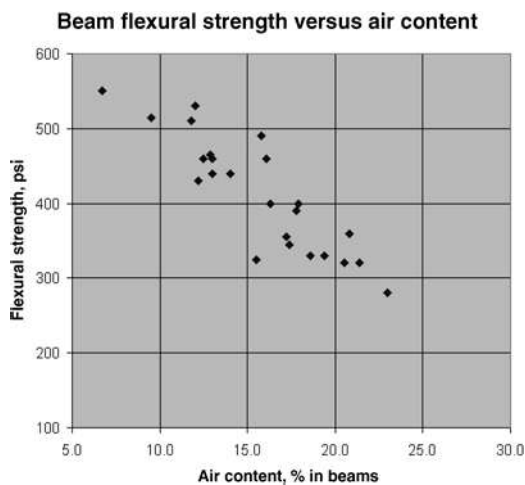


Fig. 5.4-relación entre el contenido de aire y resistencia a la flexión para el concreto permeable (Meininger 1988) (1 psi = 0.006895 MPa).

amplitud del compactador se reduce a 0,0034 pulg. (0.086 mm) a partir de 0,005 pulg. (0,127 mm) (Suleiman et al. 2006). Un aumento en tamaño de los agregados ha sido reportado para dar lugar a reducida resistencia a la compresión, mientras que se han encontrado aditivos de polímeros y aditivos minerales para aumentar la resistencia a la compresión para la misma gradación agregada (Jing y Guoliang 2003). Crouch et al. (2006) informa de que un aumento en módulo de finura de los agregados reduce la resistencia a la compresión. Mahboub et al. (2008) advierte que las intensidades de campo con núcleo pueden ser **significativamente diferente de cilindros de ensayo fundido. Aunque el  $w/cm$  de una mezcla de concreto permeable es importante para el desarrollo de resistencia a la compresión y la estructura de vacío, la relación entre el  $w/cm$  y resistencia a la compresión del hormigón convencional no se aplica a las propiedades del hormigón permeables. Un alto  $w/cm$  puede dar lugar a la pasta que fluye desde el agregado, llenando la estructura de vacío. Una baja  $w/cm$  puede resultar en una reducción de la adherencia entre las partículas de agregado y problemas de colocación. Figura 5.3 (Meininger 1988) muestra la relación entre la  $w/cm$  y el contenido de huecos de aire de una mezcla de hormigón permeable**

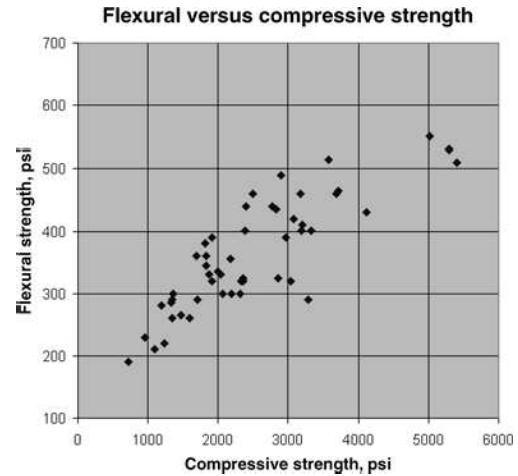


Fig. 5.5-Relación entre resistencia a la flexión y resistencia a la compresión para el concreto permeable (Meininger 1988) (1 psi = 0,006895 MPa).

(Con cemento y contenido de agregado se mantiene constante) a dos niveles de compactación diferentes. La experiencia ha demostrado que una  $w/cm$  de 0,26-0,45 proporciona buena capa agregada y la estabilidad pasta. Cuando agregados finos se utilizan en dosificación concreto permeable, el tamaño de grano del agregado fino en relación con el agregado grueso se cree que influyen en la porosidad y, en consecuencia, la resistencia a la compresión del material (Onstenk et al. 1993).

El contenido total de material de cemento de una mezcla de hormigón permeable es importante para el desarrollo de resistencia a la compresión y la estructura de vacío. Un excesivo contenido de pasta puede resultar en una estructura de vacío llenado y, en consecuencia, la porosidad reducida. Un contenido de cemento insuficiente puede resultar en la reducción de revestimiento de pasta del agregado y la reducción de resistencia a la compresión. El contenido de material cementoso óptima depende mucho del tamaño de agregado y gradación. Para el tamaño de los agregados elegido, se recomiendan pruebas de drenaje aglutinante para ser llevado a cabo para determinar el contenido de cemento óptima (Nelson y Phillips 1994). Otro factor que puede tener un impacto significativo en la fuerza de hormigones permeables es el espesor de la capa de pasta que rodea el agregado. Esto está relacionado con el tamaño de los agregados, el contenido de material de cemento,  $w/cm$ .

### 5.3 fuerza -Flexural

Figura 5.4 (Meininger 1988) muestra la relación entre resistencia a la flexión concreto permeable y el contenido de huecos de aire basado en especímenes de haz probados en la misma serie de pruebas de laboratorio descrito para Fig. 5.1 . A pesar de estos resultados se basan en un número limitado de ejemplares, la comparación de los datos de Fig. 5.1 y 5,4 indica que existe una relación entre las resistencias a la compresión y flexión de concreto permeable. Esta relación, como resistencia a la compresión, depende de varias variables. Figura 5.5 (Meininger 1988) muestra la relación entre resistencias a la compresión y flexión de concreto permeable para las series de prueba de un laboratorio. Otra serie de datos de prueba que relaciona la resistencia a la flexión y la porosidad se muestra en la Fig 5.6 (Neithalath 2004).

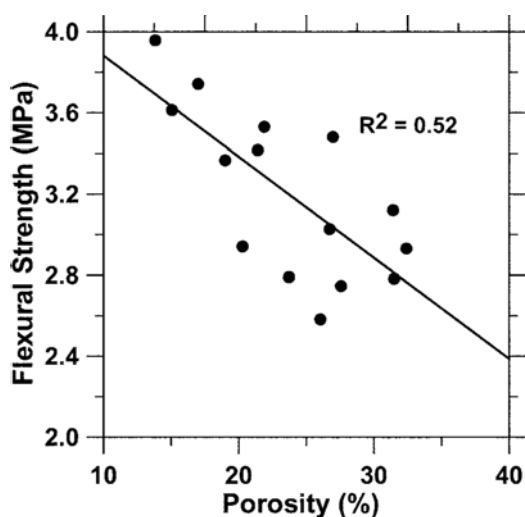


Fig. 5.6-Relación entre resistencia a la flexión y la porosidad para el concreto permeable (1 psi = 0,006895 MPa).

La adición de una pequeña cantidad de arena (aproximadamente 5% en volumen) aumenta la resistencia a la flexión del concreto permeable (Neithalath 2004). Un aumento en la resistencia a la flexión del concreto permeable se ha informado cuando se utiliza un aditivo de polímero (Onstenk et al. 1993). resistencia a la tracción a la flexión de aproximadamente 535 psi (3 MPa) se ha observado para un concreto permeable proporcionada usando 01/04 a 03/08 de (6 a 10 mm) los agregados y que tiene 25% de porosidad (Nissoux et al 1993;.. Brite / Euram Informe 1994).

Crouch et al. (2006) investigaron la relación entre la resistencia a la flexión  $f_r$  y resistencia a la compresión  $f_c$  para pavimento permeable. Se determinó que la relación más se aproxime la ecuación establecida por Ahmad y Shah (1985) para el hormigón prefabricado.

$$f_r = 2.3 f_c^{2/3} \quad (\text{unidades pulgadas-libras}) \quad (5-1)$$

$$f_r = 0,083 f_c^{2/3} \quad (\text{Unidades SI})$$

#### 5.4 contentIdensity -Void

La densidad de concreto permeable fresco puede ser determinada por ASTM c1688 / C1688M, y está directamente relacionada con el contenido vacío de una mezcla dada. Dos métodos adicionales que determinan la porosidad del concreto permeable endurecido se han reportado (Neithalath 2004). El primer método implica un procedimiento volumétrico, donde la masa de agua que llena una muestra de concreto permeable sellado se convierte en un volumen equivalente de poros. En el segundo método, un procedimiento de análisis de imágenes se emplea en especímenes de concreto permeable que han sido impregnados con una epoxi de baja viscosidad (Marolf et al. 2004). La porosidad accesible en una mezcla de hormigón permeable es una función de los tamaños de los agregados y las cantidades relativas de diferentes tamaños en la mezcla (Brite Report / Euram 1994).

contenido de vacío depende de varios factores altamente: gradación agregado, contenido de material cementoso,  $w / cm$ , y esfuerzo de compactación.

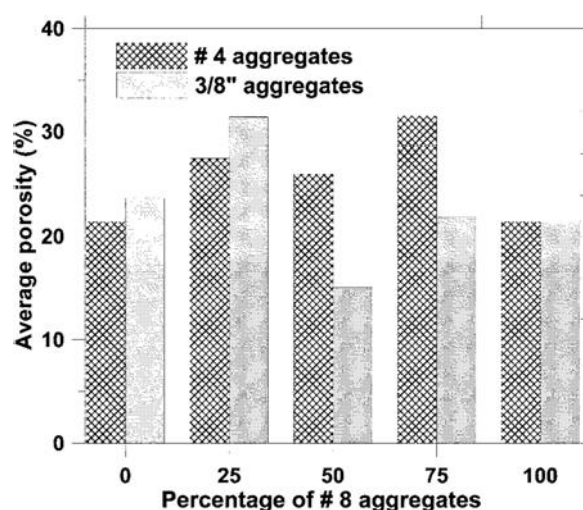


Fig. 5.7-Influencia del tamaño de los agregados y la gradación de la porosidad de los hormigones permeables.

La influencia de la granulometría de los áridos de la porosidad para laboratorio preparado probetas de hormigón permeable se muestra en la Fig. 5.7. Una gama de porosidades se puede obtener mediante la mezcla de agregados de dos tamaños diferentes (Neithalath 2004). Se debe tener cuidado para asegurar que la relación de tamaño de los agregados (relación del diámetro del agregado más grande a la de la más pequeña) no es muy grande cuando se utiliza mezclas de agregados. Si la relación es muy alta (típicamente 2,5 o más), el agregado más pequeño será llenar los huecos dejados por el más grande, la reducción de la porosidad y, por consiguiente, la permeabilidad. Aunque las propiedades mecánicas se han mejorado usando mezclas con proporciones de gran tamaño, que generalmente no se recomienda porque hormigones permeables están diseñados principalmente para la permeación de agua. esfuerzo de compactación tiene una influencia sobre el contenido de vacíos, porosidad, y la densidad de una mezcla de hormigón permeable dado. En una serie de pruebas de laboratorio (Meininger 1988), una sola

mezcla de hormigón permeable compactado con ocho diferentes niveles de esfuerzo, los valores de peso unidad producida que variaban desde 105 hasta 120 lb / ft 3 (1680 a 1920 kg / m 3). **Figura 5.2 muestra que**

esta variación de los pesos unitarios y contenido de huecos de aire relacionado puede tener un efecto medible en la resistencia a compresión del hormigón permeable. Para el contenido de pasta constante, se informa que el contenido de vacíos a ser una función del esfuerzo de compactación, forma de la partícula agregada y la textura, y el coeficiente de uniformidad agregada (Crouch et al. 2006).

#### 5.5 -Pore tamaños

Los tamaños o tamaño gama de poros en el concreto permeable es también un factor importante que influye en sus propiedades. La influencia de los tamaños de poro en la permeabilidad al agua y la absorción acústica se ha documentado (Neithalath 2004; Neithalath et al., 2006). Para generar poros de mayor tamaño en el material, se recomiendan tamaños de los agregados más grandes. Se recomiendan los poros de mayor tamaño, ya que pueden reducir las posibilidades de que obstruya los poros (Nelson y Phillips 1994). **Las figuras 5.8 y 5.9 representar la influencia de los agregados de tamaño individuales, así como la mezcla de dos tamaños de agregados diferentes en proporciones variables en los tamaños de poro de concreto permeable. Sustitución de agregados de menor tamaño con un porcentaje creciente de unos aumentos de mayor tamaño**

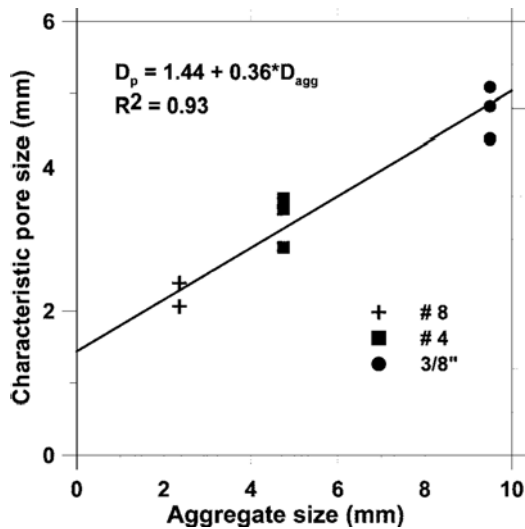


Fig. 5.8-Influencia del tamaño de los agregados en el tamaño de poro de las mezclas de concreto permeable agregados singlesized.

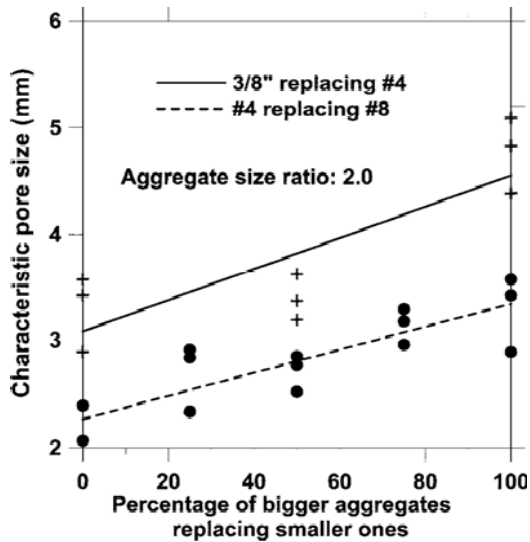


Fig. 5.9-Influencia de la mezcla agregada sobre el tamaño de poro del concreto permeable.

el tamaño de poro. Esto es porque la partícula más grueso introducido puede no ser capaz de encajar en el vacío dejado por la partícula más fino eliminado (Neithalath 2004; Neithalath et al., 2003). estructura de poro de concreto permeable es instrumental en todas las propiedades y características de rendimiento de este material. Low et al. (2008) se describía un enfoque estadístico para la determinación de los factores que influyen en las características de estructura de poro como el factor de conectividad porosidad y de los poros, y característica de rendimiento (permeabilidad) de hormigón permeable. Usando un experimento de diseño factorial con cuatro factores (tamaño de los agregados, la relación de cemento agregada,  $w / cm$ , y arena gruesa-relación de agregado), fueron proporcionadas 16 mezclas de concreto permeable. De un análisis de rango en las respuestas, sólo los tres primeros de los cuatro factores mencionados dominan las respuestas medidas. Un método de análisis de imagen en secciones bidimensionales de concreto permeable se utilizó para caracterizar la estructura de poros. Una distribución de Weibull de dos parámetros se usa para modelar la zona de poros y distribuciones de tamaño de poro de concreto permeable.

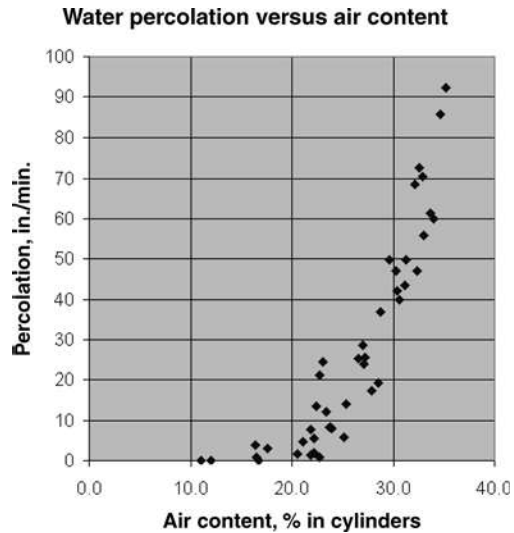


Fig. 5.10-relación entre el contenido de aire y velocidad de percolación para el concreto permeable (Meininger 1988) (1 psi = 0,06895 MPa).

El parámetro de escala de la distribución de Weibull se usa para describir la areall poros -característica o sizell poros -característica de concreto permeable.

#### 5.6 -Percolation tasa

Una de las características más importantes de concreto permeable es su capacidad para infiltrarse agua a través de la matriz. La velocidad de percolación de concreto permeable está directamente relacionada con la porosidad y los tamaños de poro. Las pruebas han demostrado (Meininger 1988) que se requiere una porosidad mínima de aproximadamente 15% para conseguir percolación significativa. Por una porosidad de 20 a 25%, el coeficiente de permeabilidad se informó ser aproximadamente

0,01 m / s (Brite / Informe Euram 1994). Otro estudio (Nissoux et al. 1993) informa de una permeabilidad de 0,88 gal./ft<sup>2</sup> / s (36 L / m<sup>2</sup> / s). Figura 5.10 (Meininger 1988) muestra la relación entre el contenido de huecos de aire y velocidad de percolación de una mezcla de hormigón permeable. Porque la tasa de percolación aumenta a medida que aumenta el contenido de huecos de aire y, en consecuencia, resistencia a la compresión disminuye, el desafío en permeable dosificación mezcla de hormigón se lograr un equilibrio entre una velocidad de percolación aceptable y una resistencia a la compresión aceptable.

La permeabilidad de concreto permeable se puede medir por un simple permeámetro caída de cabeza como se muestra en Fig. 5.11 (Neithalath et al. 2003). En este enfoque, la muestra está encerrado en una membrana de látex para evitar el agua que fluye a lo largo de los lados de la probeta. Se añade agua a la probeta graduada para llenar la celda de muestra y el tubo de drenaje. La muestra se acondiciona previamente permitiendo que el agua drene hacia fuera a través del tubo hasta que el nivel en el cilindro graduado es la misma que la parte superior de la tubería de drenaje. Esto reduce al mínimo las bolsas de aire en la muestra y asegura que la muestra está completamente saturada. Con la válvula cerrada, el cilindro graduado se llena de agua. Entonces se abre la válvula, y el tiempo en segundos t

requerido para que el agua caiga desde un cabezal inicial h 1 a una cabeza definitiva h 2 es medido. El equipo se calibra para un cabezal inicial



de 11,6 pulg. (290 mm) y una cabeza final del 2,8 pulg. (70 mm). la permeabilidad  $k$  ( pulg./s [mm / s]) se puede expresar como

$$k = A / t$$

dónde  $UN$  es una constante igual a 7,7 pulg. (192 mm). Un simple de pared flexible permeámetro de carga constante triaxial También se construyó para la determinación de la permeabilidad de permeable PCC en el intervalo de 1 a 14.000 in./h (0,001 a 10 cm / s) (Crouch et al. 2006). permeabilidad de carga constante parece ser una función de la fuga de la pasta hacia abajo, contenido efectivo vacío de aire, y las dimensiones vacío. Los resultados de la cabeza caída y métodos de nivel constante están de acuerdo razonable para muestras de laboratorio.

Aparte del tamaño de poro y porosidad, un factor fundamental que influye en la permeabilidad del concreto permeable es la tortuosidad de los poros o el grado de conectividad de la red de poros. No existe una metodología sencilla para medir la conectividad de los poros del concreto permeable. Un estudio reciente (Neithalath et al. 2006) investigó el uso de métodos basados en la impedancia eléctrica para determinar el factor de conectividad de los poros de los hormigones permeables para vincularlo a las características hidráulicas de la material. Se anticipa que el uso generalizado de técnicas como la tomografía computarizada de rayos-X dará lugar a la determinación exacta de la conectividad de los poros en hormigones permeables.

Los beneficios ambientales de concreto permeable han sido bien documentados. Deo et al. (2008) investigaron la eficacia de concreto permeable en la retención de derrames de petróleo vehiculares en su estructura material utilizando experimentos y modelos diseñados cuidadosamente. mezclas de concreto permeable con porosidades que van del 13 al 25% fueron proporcionadas utilizando dos agregados de diferentes tamaños. La retención de aceite y la recuperación se determinó experimentalmente en 2 pulg. (50 mm) rebanadas de especímenes de concreto permeable utilizando un método gravimétrico partición. Se observó que una porosidad de 20% es ideal para la retención de aceite óptimo en la estructura de poros del material. Un modelo de poros abertura idealizada se usó para desarrollar un marco de modelado para la retención de aceite en concreto permeable. Los parámetros de los materiales, así como las características de entrada que tienen más probabilidades de influir en la retención y se identificaron recuperación de petróleo. Un modelo basado en la programación genética se utilizó para predecir la retención de hidrocarburos en muestras de concreto permeable. Esta metodología de modelado proporciona una buena estimación de la retención de aceite. El rendimiento del modelo programmingbased genética fue juzgado en términos de sus estadísticas de error. Los resultados obtenidos de este modelo eran más fiables que los obtenidos utilizando un método de regresión lineal con los mismos parámetros de entrada. El estudio se espera que conduzca a más pruebas en la optimización de la estructura de poros del concreto permeable para aplicaciones que incluyen la retención de aceite y transporte de agua. Esta metodología de modelado proporciona una buena estimación de la retención de aceite. El rendimiento del modelo programmingbased genética fue juzgado en términos de sus estadísticas de error. Los resultados obtenidos de este modelo eran más fiables que los obtenidos utilizando un método de regresión lineal con los mismos parámetros de entrada. El estudio se espera que conduzca a más pruebas en la optimización de la estructura de poros del concreto permeable para aplicaciones que incluyen la retención de aceite y transporte de agua. Esta metodología de modelado proporciona una buena estimación de la retención de aceite. El rendimiento del modelo programmingbased genética fue juzgado en términos de sus estadísticas de error. Los resultados obtenidos de este modelo eran más fiables

## 5,7 -Durabilidad

La durabilidad del concreto permeable se refiere a la vida útil en condiciones ambientales dadas. Los efectos físicos que influyen negativamente a la durabilidad del hormigón incluyen la exposición a temperaturas extremas y productos químicos tales como sulfatos y ácidos. No se han realizado investigaciones sobre la resistencia del concreto permeable al ataque agresivo por el sulfato de soporte o

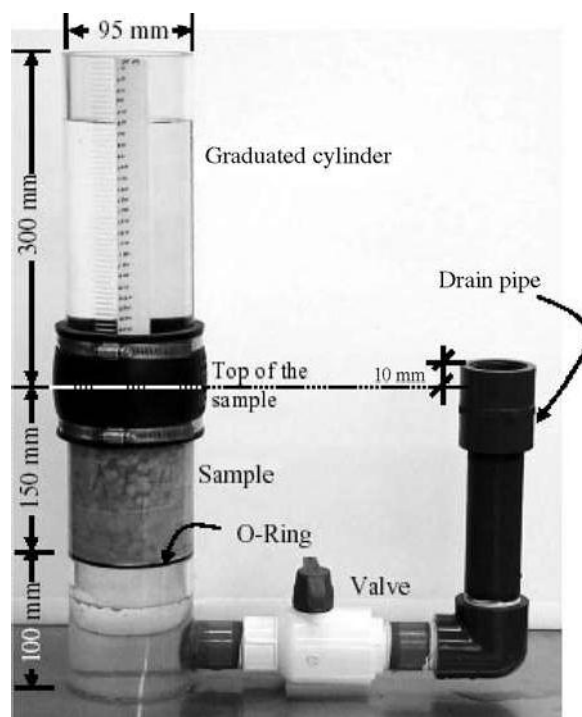


Fig. 5.11-Aparato para medir la permeabilidad del concreto permeable por un permeámetro caer simple-cabeza (Neithalath et al. 2003) (1 in. = 25,4 mm).

agua ácida. La durabilidad de concreto permeable en condiciones de congelación-y-descongelación se está convirtiendo bien documentado; no documentado deterioro debido a los ciclos de congelación-y-descongelación en el campo se sabe que existe. pruebas limitadas en condiciones de congelación-descongelación y-indica poca durabilidad si toda la estructura de vacío se llena con agua (US Bureau of Reclamation 1947). Otras pruebas, sin embargo, han demostrado la estructura de poros se llena de agua tiene algunos, pero no completa, la correlación con los resultados generales. A más lenta de congelación condición de un ciclo por día en comparación con cinco o seis según ASTM C 666, Procedimiento A-puede permitir que el agua drene desde el concreto permeable, la mejora de la durabilidad (Neithalath et al. 2005a). Existen datos limitados sobre el terreno en la durabilidad a largo plazo del concreto permeable en los climas del norte (Delatte et al., 2007); sin embargo, datos empíricos sustanciales apoyan su uso desde una perspectiva de la resistencia de congelación-y-descongelación en las regiones montañosa y Sierra Nevada de los oeste de Estados Unidos, junto con otras regiones del país donde la práctica estándar es para el tratamiento de pavimentos de hormigón convencionales con aditivos incorporadores de aire para a efectos de la resistencia a la congelación y descongelación. Precaución debe ejercerse siempre cuando se utiliza el concreto permeable en una situación en la saturación completa antes se puede producir una helada.

Las pruebas indican que incorporador de aire en la pasta de cemento puede mejorar la resistencia a la congelación y descongelación. En el laboratorio bajo condiciones de prueba / C666M ASTM C666, hormigón no airetrained permeable falla (módulo dinámico relativa cae a menos de 60%) en aproximadamente 100 ciclos de congelación y descongelación en la cámara (ASTM C666 / C666M requiere un estándar de 300 ciclos para la prueba). El relativo



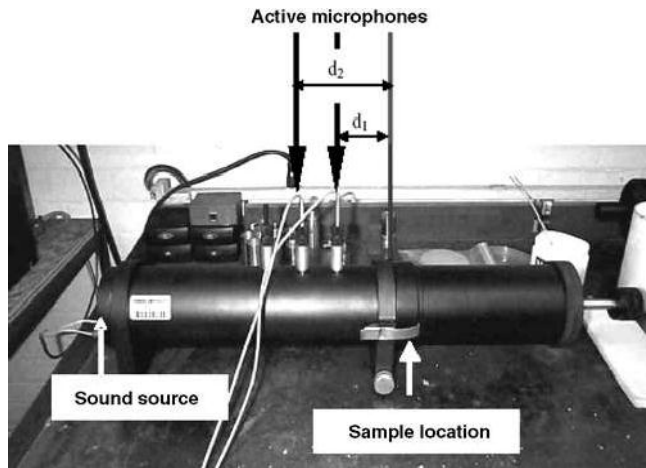


Fig tubo 5,12 impedancia para medir las características de absorción de sonido de concreto permeable (Neithalath 2004;. Marolf et al 2004)..

módulo permanece más de 60%, sin embargo, para los especímenes que tienen la porción de pasta protegido por aire arrastrado. Además, los especímenes de concreto permeable sometidos a reducir la velocidad de congelación y descongelación (un ciclo por día) sufrido menos daños que los sometidos al procedimiento de ASTM C666 / C666M una prueba donde se somete a cinco a siete ciclos por día (Neithalath et al. 2005a) .

Otro estudio muestra que el concreto permeable parcialmente saturado sometido a congelación y descongelación en aire demostró durabilidad sustancialmente mayor que los sometidos a congelación y descongelación bajo el agua (Yang et al. 2006). La adición de pequeñas dosis de fibra agregada o sintético bien se ha informado para aumentar la resistencia de congelación y descongelación (Wang et al. 2006).

### 5.8 -Toughness

Las fibras sintéticas se pueden emplear para aumentar la dureza, definida como la absorción de energía del hormigón después de la fisuración. Dureza se puede cuantificar en uno de varios métodos de ensayo, tales como ASTM c1399. Esta prueba produce un valor postcracking en psi que se refiere a la resistencia a la flexión de la matriz de hormigón. El ensayo de productos de fibras sintéticas en especímenes de viga de hormigón permeable de acuerdo con ASTM c1399 demostró que las fibras de 1,5 a 2,0 pulg. (40 a 50 mm) de longitud eran los más eficaces para impartir tenacidad al hormigón (SI Concrete Systems 2002).

### 5,9 absorción -Acoustic

Debido a la presencia de un gran volumen de poros interconectados de tamaños considerables en el material, el concreto permeable es altamente efectiva en la absorción acústica. El material puede emplearse como un medio para reducir el ruido generado por la interacción tirepavement en pavimentos de hormigón. La reducción de ruido se produce a partir de una combinación de la generación de ruido reducida y aumento de la absorción de sonido. pavimentos permeables alteran la generación de ruido minimizando el bombeo de aire entre el neumático y la superficie de carretera. Además, los poros absorben el sonido a través de la fricción interna entre las moléculas de aire en movimiento y las paredes de los poros.

Para evaluar las características de absorción de sonido de concreto permeable, un tubo de impedancia se puede usar como se muestra en la figura 5.12 (Neithalath 2004;. Marolf et al 2004).. especímenes cilíndricos con un diámetro de 3,75 pulg. (95 mm) pueden ser acomodados en el tubo de impedancia. La muestra se coloca en el interior de una fina camisa de teflón cilíndrico, en el que se ajusta cómodamente. El conjunto de muestra se coloca contra un soporte rígido en un extremo del tubo de impedancia, que está equipado con una fuente de sonido. Una onda plana acústica es generada por la fuente de sonido y se propaga a lo largo del eje del tubo. Micrófonos colocados a lo largo de la longitud del tubo se utilizan para detectar la presión de la onda de sonido transmitida a la muestra y parte de la onda que se refleja (ASTM E1050). El coeficiente de presión reflexión R es la relación de la presión de la onda reflejada a la de la onda de entrada, a una frecuencia particular. El coeficiente de absorción es una medida de la capacidad de un material para absorber el sonido. Un material con un coeficiente de absorción de 1,0 indica un material puramente absorbente, mientras que un material con un coeficiente de absorción de 0 indica que el material es puramente reflectante. hormigón normal, por ejemplo, tiene típicamente un coeficiente de absorción de 0,03 a

0,05 (Neithalath 2004). El concreto permeable tiene típicamente un intervalo de absorción de 0,1 (por mal desempeño de mezclas) a casi 1 (para mezclas con volumen de poros óptimo y tamaños). Debido a que el coeficiente de absorción depende de la frecuencia de las ondas de sonido que incide, es importante seleccionar un grosor concreto permeable adecuada para disminuir los sonidos de la frecuencia deseada (800 a 1200 Hz es el más objetable para el oído humano).

## Capítulo 6-permeable HORMIGÓN PROPORCIONADORA MEZCLA

### 6.1 -General

El proceso de desarrollo de las proporciones de mezcla para hormigón permeable se repite a menudo los esfuerzos de prueba y error. Por ejemplo, una serie de mezclas de prueba puede ser desarrollado en el laboratorio y luego se probó en el campo para garantizar un comportamiento esperado y el rendimiento. En general, la filosofía global de dosificación mezcla de concreto permeable es para lograr el equilibrio entre huecos, la fuerza, contenido de pasta, y la trabajabilidad. Capítulo 6 proporciona métodos para la dosificación por lotes de prueba de concreto permeable que está diseñado para su uso en pavimentos y otras aplicaciones donde se necesita drenaje, percolación, o de alta porosidad. Los resultados del grupo de prueba pueden tener que ser modificado para la consecución de los resultados esperados en la producción final.

### 6.2 -Materiales

El concreto permeable se compone de cemento o una combinación de cemento y puzolana, agregado grueso, y agua. Aunque más allá del alcance del Capítulo 6, una pequeña cantidad de agregado fino se puede incorporar para aumentar la resistencia a la compresión. Las gradaciones más comunes de agregado grueso utilizados en concreto permeable cumplen los requisitos de tamaños de agregados ASTM C33 / C33M de 7 (1/2 pulg. A No. 4), 8 (3/8 pulg. A No. 8), 67 ( 3/4 pulg. a No. 4), y 89 (3/8 pulg. a No. 16). cemento Portland puede cumplir con ASTM C150 / C150M, C1157 / C1157M, o cualquier otra especificación que haría

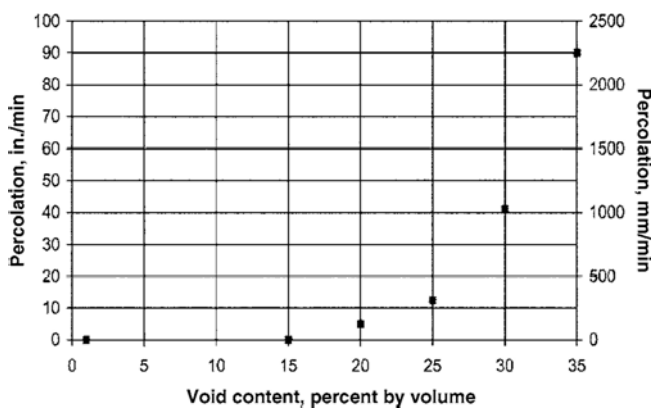


Fig. 6.1-mínimo contenido de vacío para la percolación en pruebas NAANRMCA y método de ensayo.

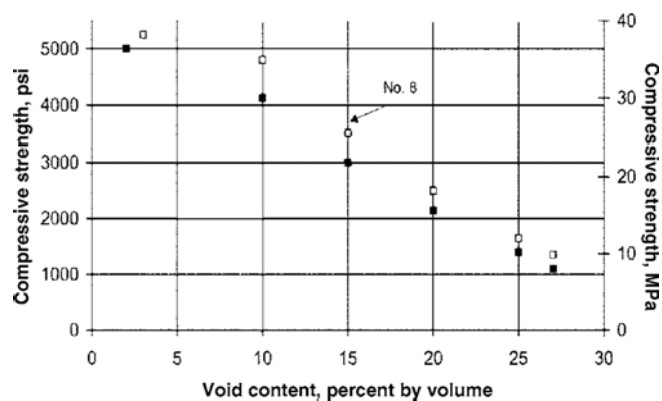


Fig. 6.2-Relación entre contenido de vacíos y resistencia a la compresión a los 28 días para el tamaño No. 67 y No. 8 agregada.

producir una mezcla aceptable. Una combinación de materiales cementosos que cada ajustan a las especificaciones de ASTM apropiadas se puede utilizar. Los aditivos químicos se usan comúnmente para mejorar diversas características de concreto permeable. Deben satisfacer las especificaciones de la ASTM apropiadas u otras especificaciones que producen una mezcla aceptable.

relación de material de 6,3 -Agua-cementoso

La relación de material cementoso agua ( $w / cm$ ) es una consideración importante para la obtención de resistencia deseada y la estructura de vacío en el concreto permeable. Un alto  $w / cm$  reduce la adhesión de la pasta al agregado y hace que la pasta fluya y llene los huecos incluso cuando compactado ligeramente. Una baja

$w / cm$  impedirá una buena mezcla y tienden a causar formación de bolas en el mezclador, prevenir una distribución uniforme de la pasta de cemento, y por lo tanto reducir la resistencia a la rotura y la durabilidad del hormigón. La experiencia ha demostrado que  $w / cm$  en el rango de 0,26-0,45 le proporcionará el mejor recubrimiento agregado y pegar estabilidad. la convencionales  $w / cm$ - relación de la fuerza frente a la compresión de hormigón normal no se aplica al concreto permeable. El control cuidadoso de humedad de los agregados y  $w / cm$  es importante para producir el concreto permeable consistente.

#### 6.4 contenido -Void

Para asegurar que el agua se filtre a través de concreto permeable, el contenido de vacíos, tanto en el diseño de la mezcla y medida como el aire por ciento en ASTM C138 / C138M (el método gravimétrico) debe ser de 15% o mayor, como se demuestra en la Fig. 6.1.

En un contenido de vacío inferior al 15%, no hay percolación significativa a través del hormigón. Se cree que por debajo de 15% de huecos, no es suficiente la interconectividad entre los huecos para permitir la rápida percolación.

Figura 6.2 muestra que cuanto mayor sea el contenido de vacío, mayor será la velocidad de percolación, y menor la resistencia a la compresión. Cuando menor sea el contenido de vacíos, menor es la velocidad de percolación, y cuanto mayor sea la resistencia a la compresión. Esta figura también muestra la resistencia a compresión aumenta a medida que disminuye nominales MaximumSize agregados. resistencia a la compresión del concreto permeable es también una función de la fuerza agregada, las características de la goma de unión, y la fuerza de la pasta de cemento

Tabla 6.1-eficaz segundo I bo valores

Por ciento de los agregados finos	cama y desayuno o	
	ASTM C33 / C33M Tamaño No. 8	ASTM C33 / C33M Tamaño N° 67
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

si mismo. Algunos se debe tener precaución cuando se aplican estos números cuantitativos de diseño práctico, ya que aún no existen métodos de ensayo normalizados para estas propiedades del concreto permeable; discusión previa debe tomarse como puramente cualitativa.

#### 6.5 -Cantidad de agregado grueso

Las pruebas han demostrado que la densidad seca-rodged de agregado grueso, según lo determinado por ASTM C29 / C29M, puede ser utilizado eficazmente para la dosificación de concreto permeable (Meininger 1988). Esas pruebas han demostrado que la relación entre el volumen rodged seca de agregado grueso por volumen sólido de agregado grueso  $b / bo$  se puede utilizar como una relación de diseño, donde

$b / bo$  = volumen seco-rodged de agregado grueso en una unidad  
volumen de hormigón;

segundo = Volumen sólido de agregado grueso en una unidad de volumen  
del hormigón; y

$bo$  = volumen sólido de agregado grueso en una unidad de volumen

del agregado grueso. los  $b / bo$  valor compensa automáticamente los efectos de forma diferente grueso agregado de partículas, clasificación, y la gravedad específica. Además, el  $b / bo$  valores para los agregados nominales de tamaño máximo típicamente utilizan en concreto permeable, 3/8 a 3/4 pulg. (9,5 a 19 mm), son similares. Tabla 6.1 se aplica la  $b / bo$  valores de agregado grueso tamaños No. 8 y No. 67 con contenidos de agregado fino de 0, 10, y 20% de la masa total agregada.

#### 6.6 de volumen, el cemento y los contenidos de agua -Paste

La dosificación del concreto permeable tiene por objeto establecer el volumen mínimo de pasta necesaria para unir las partículas de agregado juntos, manteniendo al mismo tiempo la necesaria estructura de vacío, fuerza y capacidad de trabajo. Figura 6.3 puede ser usado

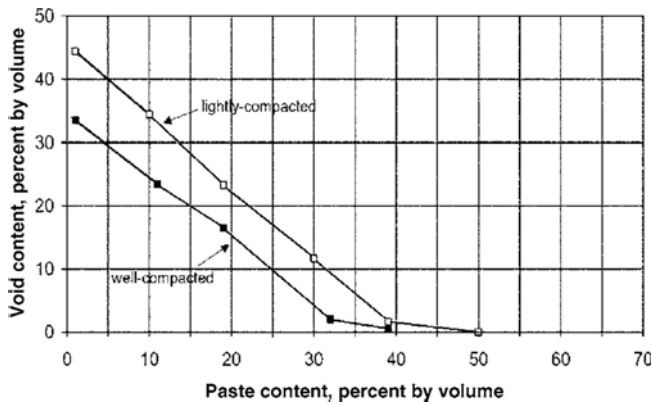


Fig. 6.3-Relación entre la pasta y el contenido de vacíos para las designaciones No. 8 tamaño de los agregados.

para estimar el volumen de la pasta para una mezcla usando un peso normal No. 8 agregados.

Una vez que el volumen de pasta se determina a partir la Fig. 6.3, y el  $w/cm$  se selecciona, las cantidades de cemento y de agua pueden ser determinadas a partir de las siguientes relaciones volumen absoluto:

volumen de pasta VP = El volumen de cemento + volumen de agua

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

sustituyendo  $w = (W/cm) c$ ,

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

do puede determinarse rápidamente por ensayo y error en la hoja de cálculo o algebraicamente reducido a

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

En unidades del SI:

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

sustituyendo  $w = (W/cm) c$ ,

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

do puede determinarse rápidamente por ensayo y error en la hoja de cálculo o algebraicamente reducido a

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

Por lo tanto, una vez que el volumen de pasta se determina a partir la Fig. 6.3, y el  $w/cm$  se selecciona, la masa de cemento se puede calcular a partir de la ecuación. (6-1). A partir de la masa de cemento, el contenido de agua se puede calcular. Cuando se utiliza agregado fino, el volumen de pasta debe ser reducido en un 2% para cada agregado fino 10% del agregado total para el concreto permeable bien compactado, y un 1% por cada agregado fino 10% del agregado total para permeable ligeramente compactada hormigón. Estas reducciones son necesarias para mantener el mismo porcentaje huecos en volumen.

## 6,7 procedimiento -Proportioning

Un procedimiento para la producción de mezclas de prueba iniciales para el concreto permeable se muestra en la Sección 6.7.1. los  $b/bo$  método se aplica conceptos volumen absoluto. Independientemente de cómo se deriva el lote de prueba, es esencial que hacerse la prueba de las propiedades fresco y endurecido requeridas antes de ser colocado para su uso previsto.

**6.7.1 b / bo método -Los b / bo método para diseñar una mezcla de hormigón permeable puede ser roto-up en una serie de ocho pasos:**

1. Determinar el peso agregado;
2. Ajuste de peso SSD;
3. Determinar el volumen de pasta;
4. Determinar el contenido de cemento;
5. Determinar el contenido de agua;
6. Determinar el volumen de sólido;
7. Compruebe el contenido de vacíos; y
8. Iterativo de procesamiento por lotes de prueba:
  - a. De prueba para propiedades requeridas; y
  - segundo. Ajuste proporciones de la mezcla hasta que el requerido porcentaje consigue Mance.

Ejemplo -Proporción una mezcla de hormigón permeable bien compactado con un contenido de huecos de al menos 20%. La mezcla debe tener una  $w/cm = 0.38$ . Use un agregado grueso No. 8 que tiene una densidad en seco-rod (unidad de peso) de 108,7 lb / ft<sup>3</sup>, la gravedad específica de 2,75, y la absorción de 1,2%. Sin agregado fino será utilizado en la mezcla.

Paso 1: Determinar el peso agregado

Para N° 8 piedra sin agregado fino, [Tabla 6.1](#) recomienda  $b/bo$  de 0,99, con seco-rod density dada como 108,7 lb / ft<sup>3</sup>

$$W_a = 108,7 \text{ lb / ft}^3 \times 0,99 \times 27 \text{ ft}^3 = 2906 \text{ lb (seco)}$$

Paso 2: Ajuste a SSD peso

Teniendo en cuenta que el porcentaje de absorción de 1,2%

$$W = SSD 2,906 \text{ lb} \times 1,012 = 2,941 \text{ lb (SSD)}$$

Paso 3: Determinar volumen de pasta

Utilice la Fig. 6.3 y leer a lo largo de los huecos porcentaje requerido (20% para este ejemplo) a la curva bien compactado. A continuación, lea abajo para encontrar el porcentaje de pasta al 15%. El quince por ciento de una yarda cúbica es de 4,05 pies<sup>3</sup>. Así, VP = 4.05 pies<sup>3</sup>.

Paso 4: Determinar el contenido de cemento

La aplicación de la ecuación. (6-1),

$$c = [VP / (0.315 + w/cm)] \times 62.4 \text{ lb / ft}^3$$

$$c = [(4,05 \text{ lb}) / (0,315 + 0,38)] \times 62,4 \text{ lb / ft}^3$$

$$c = 363 \text{ lb}$$

Paso 5: determinar el contenido de agua  $w = c (w/cm)$

$$W = 363 \text{ lb} (0,38) = 138 \text{ lb}$$

Paso 6: Determinar volumen sólido

$$\text{volumen agregado } V_a = 2941 / (2,75 \times 62,4) = 17.14 \text{ ft}^3$$



sin embargo, será disminuir con la edad (Bell 1993). Suelos tratados con cemento y cenizas volantes muestran permeabilidad reducida después de la aplicación (Little et al. 2000). Dependiendo de la aplicación, la reducción de la permeabilidad puede ser deseable para aplicaciones tales como la recogida de agua.

Algunos suelos están sujetos a las heladas agitado. Los suelos situados encima de la profundidad heladas deben ser retirados y reemplazados por los suelos que no están sujetos a las heladas. Como acusado previamente, una subbase apropiado ha demostrado ser eficaz en la protección pavimentos porosos de las heladas.

Adición de una subbase agregado granular por debajo del pavimento de hormigón aumenta la rigidez del soporte de pavimento. ACI 330R, Tabla 3.2, indica el aumento en el módulo sub-base proporcionada por diferentes espesores de subbase. Este subbase granular también puede ser utilizado como un depósito para el almacenamiento de aguas pluviales.

**7.2.2 Resistencia del hormigón -Orientación para el diseño estructural de pavimentos** de hormigón convencionales se proporciona en ACI 330R para los estacionamientos y en ACI 325.12R de calles y carreteras. Estos documentos cubren muchos aspectos diferentes de la pavimentación de diseño. Las recomendaciones de diseño estructural en estos documentos, sin embargo, no son necesariamente aplicables para su uso con pavimento permeable. Dado que no existen métodos de ensayo normalizados para la resistencia del concreto permeable, diseño y especificación de la resistencia del hormigón debe ser evitado.

**7.2.3 estructural selección- espesor datos de rendimiento suficiente que ofrecen** un diseño de pavimento norma general para su uso en la exposición prolongada al tráfico de camiones pesados no está disponible. El éxito de los pavimentos existentes por parte de instaladores de todo el país varía según la experiencia, pavimento y diseños de mezcla, y las condiciones locales.

categorias de tráfico se definen por el tráfico de camiones media diaria (ADTT). ACI 330R proporciona una discusión completa de este tema. El ADTT no se corresponde con una carga de tamaño único eje del camión. Supone una colección de tamaño de los camiones de pequeño a grande, con una alta frecuencia de camiones pequeños y una baja frecuencia de grandes camiones. Debido a que los camiones pesados, incluso en pequeñas cantidades, dominan el daño por fatiga del pavimento, que deben ser la base para la selección de la categoría de tráfico. diseño de pavimentos con historial de rendimiento demostrado están disponibles de instaladores con experiencia y se utiliza actualmente en varias áreas de la atención de Estados Unidos debe ser tomado para verificar que el instalador tiene un historial de desempeño exitoso tanto de calidad de la instalación y el uso de diseños similares a las necesidades de proyectos específicos. Si no puede encontrar instaladores locales adecuados con ejemplos de proyectos exitosos, el listo Nacional Técnica Concrete Association (NRMCA) (2007) sugiere que las secciones de pavimento permeable de 6 pulg. (150 mm) de pavimento de concreto permeable para bajo (menos de 5) ADTT la exposición de camiones en los estacionamientos. Esto se basa en el éxito histórico en los EE.UU. No hay espesores estándar actuales para calles pero hay ejemplos de calles de bajo volumen siendo instalados con pavimentos que van de 6 a 12 pulg. (150 a 300 mm) de espesor.

### 7.3 diseño de la gestión -Stormwater

**7.3.1 General- El mayor beneficio de concreto permeable es sus propiedades** hidrológicas. De un estado a otro, las regulaciones locales determinan qué parte de este beneficio el diseñador es capaz de capitalizar. Incluso dentro de diferentes ámbitos geológicos

áreas dentro de los límites de una ciudad dada de, las regulaciones se han conocido a cambiar. Los fundamentos de la tecnología son los mismos, sin embargo, independientemente de la zona geográfica. Se han hecho intentos para reducir el impacto de la urbanización mediante la reducción de los volúmenes de escorrentía de aguas pluviales a los niveles de pre-desarrollo y el tratamiento de las aguas pluviales antes de que abandone el sitio. En el

Estados Unidos, la contaminación Nacional de descarga del sistema Eliminación (NPDES) requiere un tratamiento de todo de las aguas pluviales para reducir los niveles de contaminantes del agua. Esta es una ciencia empírica, no es tan exacto como el tratamiento de agua potable debido a la variabilidad de las cargas y de los flujos de contaminantes. La tecnología no está destinado para purificar el agua a una condición tipo destilada porque no es práctico, económico, o necesario. La intención es sólo para eliminar la mayor cantidad posible carga contaminante en un intento de descargar agua limpia a tasas sostenibles, y reducir el impacto de la urbanización en los suministros de agua. Los suministros de agua normalmente se dividen en dos categorías: aguas superficiales y subterráneas. El desarrollo del sitio en suelos arenosos con depósitos de aguas subterráneas profundas puede seguir una filosofía de diseño de la infiltración: la descarga de agua de la capa freática forma más limpia posible con descarga a la superficie los cuerpos de agua sólo en las tormentas fuertes. Cuando el desarrollo del sitio es en suelos arcillosos o limosos, o en regiones de roca superficial, el drenaje del sitio normalmente debería tratar el agua antes de ejecutar fuera del lugar de fusionarse con una masa de agua superficial, como una corriente, río o lago. En estos suelos de baja permeabilidad, sin embargo, un poco de agua se infiltra en cada tormenta, tal como lo hace en suelos de alta permeabilidad; solamente la cantidad es menor. El efecto acumulativo en la recarga y el trato de la calidad del agua en el transcurso de un año puede ser considerable. el drenaje del sitio normalmente debería tratar el agua antes de ejecutar fuera del lugar de fusionarse con una masa de agua superficial, como una corriente, río o lago. En estos suelos de baja permeabilidad, sin embargo, un poco de agua se infiltra en cada tormenta, tal como lo hace en suelos de alta permeabilidad; solamente la cantidad es menor. El efecto acumulativo en la recarga y el trato de la calidad del agua en el transcurso de un año puede ser considerable. el drenaje del sitio normalmente debería tratar el agua antes de ejecutar fuera del lugar de fusionarse con una masa de agua superficial, como una corriente, río o lago. En estos suelos de baja permeabilidad, sin embargo, un poco de agua se infiltra en cada

**7.3.1.1 Hay tres características de diseño específicas de concreto permeable** que el diseñador puede beneficiarse de: reducción del volumen de escorrentía, volumen de tratamiento reducida, y la reducción de área impermeable en el sitio.

**7.3.1.1.1 Reducción del volumen de escorrentía -Reducción de la escorrentía** volumen es la cantidad de las aguas pluviales que un pedazo de propiedad desarrollado descargaría a un cuerpo de tierra o agua adyacentes si BMPs aguas pluviales no estaban en su lugar; esto es en exceso del volumen de descarga predesarrollo. Tal BMPs incluyen estanques de retención, estanques de detención, drenajes inferiores, Swales, y humedales. La mayoría de estas BMP consumen valiosos, bienes raíces urbanizable. Al eliminar o reducir el tamaño de estas instalaciones, un proyecto puede ser más rentable para el propietario. Esto puede reducir la cantidad de bienes inmuebles necesarios o aumentar la cantidad de espacio rentable.

**7.3.1.1.2 volumen de tratamiento reducido -Reducido** volumen de tratamiento es la cantidad de agua de lluvia que se deben a cabo en el lugar y tratada antes de salir de la propiedad. El tratamiento puede ocurrir a través de una combinación de procesos químicos, físicos y biológicos, dependiendo del tipo BMP.

**7.3.1.1.3 Reducción del área impermeable -Reducido** área impermeable es la fracción de la superficie terrestre que no permite la infiltración de las precipitaciones en el inicio de un evento de lluvia; Esto por lo general consiste en la construcción de caminos y aceras y zonas de pavimento. Muchos municipios limitan la cantidad de área impermeable permitido en un sitio determinado proyecto.

**7.3.1.2 Para una discusión más completa de tratamiento de aguas** pluviales BMP, se recomienda al lector a revisar la

la información en el sitio Web de la EPA (<http://www.epa.gov/waterscience/aguaspluviales>). Más información sobre las regulaciones locales se puede encontrar en el manual de gestión de aguas pluviales regional del lector, como del Distrito de **Administración del Agua del Río St. Johns (SJRWMD) Manuales del solicitante: La regulación de los sistemas de gestión de aguas pluviales (1999). Para obtener información general sobre la hidrología de las aguas pluviales no vinculada a jurisdicciones específicas, revisar cualquiera de los libros de texto de aguas pluviales, como Ferguson La infiltración de aguas pluviales (1994), Ferguson**

**Introducción a las aguas pluviales: Concepto, Objeto, Diseño (1998), y Debo y Reese de Gestión de aguas pluviales municipal (2002).**

El uso de pavimentos de hormigón permeable como un sistema de retención o infiltración BMP es eficaz para mejorar la calidad del agua de escorrentía y la reducción de volumen de escorrentía cuando se mantiene correctamente (Tabla 7.1). El SJRWMD, por ejemplo, define retención para incluir pavimento -pervious con subgrade. El

EPA define concreto permeable como un sistema de infiltración. pavimentos de concreto permeable pueden ser diseñados para dar cabida no sólo la lluvia que cae sobre su superficie, sino también para capturar una

buena parte del exceso de escorrentía de áreas adyacentes. Para prevenir una obstrucción prematura de la escorrentía, puede ser necesario el uso de una trampa de sedimentos u otro sistema de separación de sedimentos. También, el cálculo de los requisitos de aumento de la capacidad de almacenamiento de agua para sostener la carga de almacenamiento añadido de las zonas adicionales.

Reducción en las instalaciones de drenaje de volúmenes de escurrimiento reducidas utilizando el concreto permeable tiene un beneficio económico para el desarrollador. Este beneficio económico puede evaluarse comparando el precio de la construcción de un estacionamiento concreto permeable a la construcción de un estanque con estructuras de drenaje y la compra de la tierra asociado.

### 7.3.2 mantenimiento pavimento permeable -En el pasado,

mantenimiento había sido una preocupación regulatoria que impedía una amplia aceptación del concreto permeable. Un pavimento de concreto permeable hoy seguirá manteniendo la permeabilidad incluso cuando está obstruido. poros o sub-base obstruidos impiden aguas pluviales de percolación a través del hormigón a tasas elevadas (Wanielista et al 2007; Mata y Leming 2008). Por lo tanto, si las aguas pluviales no se puede drenar a través de la capa de hormigón permeable a la velocidad de diseño, ya no es suficientemente permeable, los supuestos beneficios de diseño ya no es válida, y el pavimento ha fallado. pavimentos de concreto permeable pueden funcionar bien durante años con algún grado de obstrucción (Wanielista et al., 2007), pero la tasa deben estar por encima de la velocidad de diseño. Para un sistema de pavimento permeable para llevar a cabo así, puede necesitar ser mantenida a algún intervalo regular. Si un pavimento está en un ambiente hostil, tal como una zona costera, o en cualquier lugar que causaría grandes acumulaciones de multas, puede que sea necesario para llevar a cabo este mantenimiento preventivo con más frecuencia. Un profesional calificado como un ingeniero o arquitecto del paisaje con licencia profesional debe inspeccionar el pavimento para determinar un programa de mantenimiento adecuado, si está funcionando correctamente, o si es necesaria una limpieza. Uno de los componentes no estructurales que pueden ayudar a asegurar el mantenimiento adecuado de pavimento de concreto permeable es un contrato de mantenimiento cuidadosamente redactada que proporciona una orientación específica, incluyendo la forma de realizar el mantenimiento y las reparaciones o rehabilitaciones superficie de rutina. Las señales deben ser idealmente Un profesional calificado como un ingeniero o arquitecto del paisaje con licencia profesional debe inspeccionar el pavimento para determinar un programa de mantenimiento adecuado, si está funcionando correctamente, o si es necesaria una limpieza. Uno de los componentes no estructurales que pueden ayudar a asegurar el mantenimiento adecuado de pavimento de concreto permeable es un contrato de mantenimiento cuidadosamente redactada que proporciona una orientación específica, incluyendo la forma de realizar el mantenimiento y las reparaciones o rehabilitaciones superficie de rutina. Las señales deben ser idealmente Un profesional calificado como un ingeniero o arquitecto del paisaje con licencia profesional debe inspeccionar el pavimento para determinar un programa de mantenimiento adecuado, si está funcionando correctamente,

Tabla eliminación 7,1-Contaminantes de pavimento poroso (Winer 2000)

Contaminante	la eliminación de contaminantes,% *
TSS	95
TP	sesenta y cinco
Tennessee	82
NOx	N / A
Rieles	98 a 99
Las bacterias	N / A

\* Los datos basados en menos de cinco puntos de datos.

publicado en el sitio que identifica las áreas de pavimento de concreto permeable. Dichas señales deben dirigir los equipos de mantenimiento a la autoridad de aplicación NPDES local y pueden leer, pavimento de hormigón -Pervious se utilizan en este sitio para reducir la contaminación. Los vehículos pesados prohibidos. No recubra con el material nonpervious. Llamar XXX-XXX-XXXX para más diseñadores -información puede dar cuenta de la posibilidad de obstrucción de un pavimento de concreto permeable en su diseño drenaje. Si un sitio está diseñado para una instalación del gobierno, tales como una utilidad de aguas pluviales con un programa de mantenimiento existente y el personal, no sería considerado obstrucción. En el desarrollo privado, donde no se puede realizar el mantenimiento, el diseñador puede añadir un factor de seguridad para el diseño de las aguas pluviales para dar cuenta de la evolución previsible de la obstrucción y consiguiente reducción de la porosidad del pavimento de concreto permeable. se proporcionan Algunos estudios de casos específicos de rendimiento de campo y la obstrucción en los informes de Wanielista et al. (2005) y Delatte et al. (2007). El diseñador de un pavimento de concreto permeable puede reducir la obstrucción potencial, asegurando que el diseño del sitio:

- Muestra las zonas ajardinadas en las elevaciones más bajas que el **pavimento de concreto permeable ( Fig. 7.1 )**, Reduce al mínimo la pendiente de las zonas ajardinadas cuando elevaciones más bajas no son posibles, e incluye un bordillo para aislar zonas ajardinadas que son en elevaciones más altas que el pavimento;
- Reduce al mínimo la erosión del suelo de áreas perturbadas. El suelo desnudo en estas áreas debe ser evitado y se recomienda el uso de los pastos permanentes y la cubierta del cepillo. medidas especiales de control, tales como cercas de fango, se deben usar en todo momento durante la construcción;
- Evita que los vehículos de la conducción de las zonas sin pavimentar sobre el pavimento de hormigón permeable;
- No establece en la trayectoria del viento de las zonas cercanas sin pavimentar o frente a la playa; y
- Limita la cantidad de agua de lluvia que fluye sobre el hormigón permeable de pavimentos adyacentes, convencional (no permeables) y zonas ajardinadas a menos que pueda demostrarse que:

° El volumen de agua del pavimento convencional estarán libres de sedimentos; ° La subbase permeable ha sido diseñado para manejar el agua de las áreas combinadas; y ° suficiente área de superficie de hormigón permeable está disponible

para evitar la erosión de las zonas ajardinadas. Un profesional calificado como un ingeniero o arquitecto del paisaje con licencia profesional debe inspeccionar el pavimento para determinar un programa de mantenimiento adecuado, si está funcionando correctamente,



Fig. 7.1-Ejemplo de zonas ajardinadas en las elevaciones más bajas que pavimento de concreto permeable.

prematuramente obstruir el concreto permeable entre períodos de mantenimiento.

**7.3.3 Drenaje de diseño -Runoff se estima a través del uso de muchos métodos aceptados.** Dos de las herramientas más comunes son el método racional y el número de la curva del Servicio de Conservación de Suelos (SCS). Con cualquier método el diseñador debe considerar en el análisis de la escorrentía de una variedad de variables de entrada y de salida, tales como la absorción, la evaporación, la intensidad de las precipitaciones, la infiltración, y la duración de la tormenta. Cada una de estas variables tendrá un impacto en el volumen de escorrentía y el volumen de tratamiento necesario para el sitio. El método racional utiliza un coeficiente para determinar la tasa de escorrentía pico para un área de intensidad de la lluvia y el drenaje dado. El coeficiente **de escorrentía do representa el uso de la tierra, tipo de suelo, y la pendiente de la zona. Los valores típicos para do intervalo de**

**0.05 para un césped plana sobre un suelo arenoso a 0,95 para un tejado.** Otros tipos de pavimentos permeables han sido asignados coeficientes racionales que van desde 0,65 a 0,95. Para un pavimento permeable, el tipo de suelo subyacente y su permeabilidad tendrán un impacto en el coeficiente de escorrentía. Un pavimento permeable bien mantenido típicamente se drenará más rápido que los suelos de sub-rasante, que limitan la velocidad de infiltración del sistema. Algunas investigaciones actual (Wimberley et al. 2001) indica que para ciertos diseños de sistemas de concreto permeable, en particular los sub-bases y subbases más bien drenados, el coeficiente de escurrimiento para el concreto permeable es despreciable para 2to tormentas 5 años, y tan bajas como 0,35 para tormentas de 100 años.

La investigación muestra que a medida que aumenta la densidad del suelo, la tasa de infiltración, y por tanto la permeabilidad del suelo, disminuye significativamente (Das 1993). Una disminución en la permeabilidad de un suelo por lo tanto justificar un aumento en el coeficiente racional para un diseño dado. suelos de subrasante para un pavimento de concreto permeable debe,

por lo tanto, ser compactado

de manera uniforme y suficientemente para proporcionar el soporte adecuado pavimento, pero no overcompacted a fin de reducir la permeabilidad de los suelos y aumentar el coeficiente racional. El hormigón Florida y Products Association (FCPA) (1990) recomienda la compactación de suelos de subrasante de arena a una densidad mínima de 92 y 96% de la densidad seca máxima por AASHTO T-180

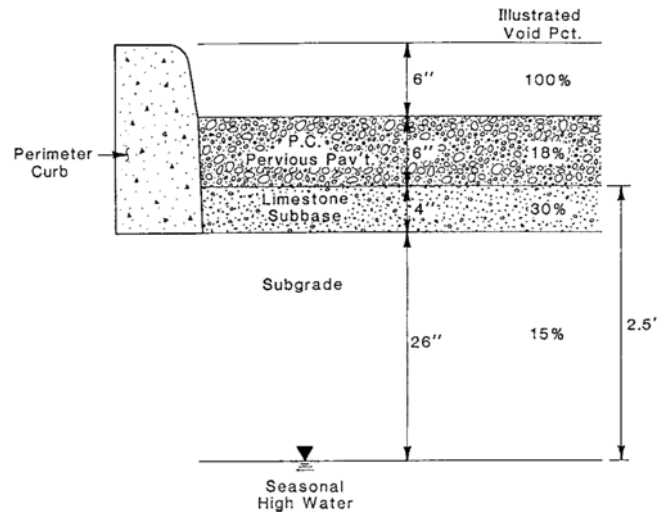


Fig. 7.2-esquemática de pavimento de concreto permeable diseñado como sistema de retención de aguas pluviales (1 in. = 25,4 mm).

normas. En otras partes de los EE.UU., para otros tipos de suelo, las prácticas de compactación son diferentes. tills Glacial se han compactado a 90 a 95% de la norma Proctor; en las Carolinas, la compactación ha sido el de 92% de la Proctor modificado; y en Georgia, suelos de grano fino se compactan comúnmente a 95% del estándar Proctor. En esta situación, puede ser necesario añadir una subbase agregada de gradación abierta (o cama de recarga) al sistema de pavimento para compensar la suavidad de sub-base de suelo-con el beneficio de volumen de retención añadido. Con el método de SCS (Soil Conservation Service 1986), los suelos se clasifican en grupos de suelos hidrológicos (JEG) para indicar la tasa mínima de infiltración obtenido para suelo desnudo después de la humectación prolongada. El JEG-A, B, C, y D son un elemento usado en la determinación de números de la curva. ATYPE suelos tienen la más alta permeabilidad, con cada designación de la letra que tiene menor permeabilidad en suelos B, C, y D. Esta designación del suelo, en combinación con el uso de la tierra, identificará un número de curva (CN). El valor CN le dice al diseñador que curva a de referencia para determinar el volumen de escurrimiento para un evento de tormenta dada. Este método se utiliza más comúnmente para la generación de un hidrograma completo en lugar de sólo la estimación de los flujos máximos. pavimentos de hormigón permeables han sido asignados CNs que van desde 60 a 95. Una vez más, el tipo de suelo sub-base y el grado de compactación tienen un impacto en la CN y, por tanto, de las propiedades de drenaje del sistema. Al diseñar un sistema de pavimento permeable, tal como una retención o un sistema de infiltración, el volumen tanto del pavimento y subbase debe considerarse (Paine 1990). Por ejemplo, considerar una sección de concreto permeable con un 20% de espacio vacío eficaz. En un 6 en. Sección de pavimento (150 mm) de espesor, este espacio vacío es suficiente para mantener más de 1 pulg. (25 mm) de las aguas pluviales. Además, si el concreto permeable se coloca en un 6 en sección. (150 mm) de una subbase de piedra triturada, la capacidad total del sistema aumenta a aproximadamente 2-1 / 2 pulg. (65 mm). El espesor mínimo del pavimento de concreto permeable será determinado por las necesidades estructurales del sistema de pavimento. Puede que sea necesario, (65 mm). El espesor mínimo del pavimento de concreto permeable será determinado por las necesidades estructurales del sistema de pavimento. Puede que sea necesario, (65 mm). El espesor mínimo del pavimento de concreto permeable será determinado por las necesidades estructurales del sistema de pavimento. Puede que sea necesario,



sin embargo, para construir una capa o subbase capa de hormigón permeable más gruesa para aumentar la capacidad de almacenamiento de agua de lluvia, pero esto puede no ser la solución más económica. Si aún más la capacidad es necesario, de almacenamiento puede estar por encima de la superficie del pavimento en una zona de aparcamiento Curbed ( Fig. 7.2 ).

Otras formas firmes permeables han sido diseñados para tratar las aguas pluviales incluyen el uso de un sistema de desagüe inferior. En este método, la recarga de acuíferos puede ser limitada debido a las condiciones del suelo sitio. El pavimento permeable se coloca sobre un tubo perforado que se coloca en una cama rodeada de un agregado opengraded. Aguas pluviales se infiltra a través de la acera, a través de la grava, y encuentra su camino en la tubería. Desde allí, el agua de lluvia tratada se descarga en un cuerpo de agua receptor. eficiencias de tratamiento para este sistema de promedio 66%. Además, habrá un poco de recarga directa de las aguas subterráneas que reducirá la escorrentía total en hasta un 33%. (Departamento de Protección del Medio Ambiente [FDEP]). Otros sistemas de recarga de las aguas subterráneas pueden incluir el uso de pozos perforados rellena con un agregado de gradación abierta, pasa a través de los suelos arcillosos a los estratos más permeable. Un diseño típico para este sistema podría incluir una capa de un sub-base agregada de gradación abierta para el pavimento de concreto permeable que pone en el suelo del sitio de grano fino. Los ejes serían separados de manera regular para proporcionar suficiente capacidad de recarga. La sub-base tendría que estar en pendiente para proporcionar un drenaje a los ejes. Se esperaría que las eficiencias de tratamiento para que este sistema sea similar al diseño de desagüe inferior. Las tasas de recarga, sin embargo, se espera que sea mucho mayor. La sub-base tendría que estar en pendiente para proporcionar un drenaje a los ejes. Se esperaría que las eficiencias de tratamiento para que este sistema sea similar al diseño de desagüe inferior. Las tasas de recarga, sin embargo, se espera que sea mucho mayor. La sub-base tendría que estar en pendiente para proporcionar un drenaje a los ejes. Se esperaría que las eficiencias de tratamiento para que este sistema sea similar al diseño de desagüe inferior. Las tasas de recarga, sin embargo, se espera que sea mucho mayor.

Varios otros diseños se han utilizado para pasar exceso de volumen de calidad del agua, aumentar la capacidad de almacenamiento, o aumentar el volumen de tratamiento. Éstas incluyen:

- La colocación de un tubo perforado en la parte superior de un depósito de piedra triturada para pasar el exceso de flujo después de que se llene el depósito;
- Proporcionar almacenamiento de retención superficie en un estacionamiento, swale adyacente, o estanque de detención con transporte desbordamiento adecuado;
- Adición de una capa de arena y tubo perforado por debajo de una cama de recarga para la filtración del volumen la calidad del agua; y
- La colocación de un tanque de detención bajo tierra o sistema de bóveda de debajo de las capas para almacenar el agua tratada para su reutilización. La evaporación es otro factor importante en el cálculo de almacenamiento de agua. La investigación muestra que el agua almacenada en el pavimento permeable y subbase puede evaporarse (Wanielista et al. 2007).  
Todas las complejidades de un diseño de drenaje de aguas pluviales utilizando

pavimento de concreto permeable estará fuertemente ligada a las prácticas y regulaciones locales. Consulte la Sección 7.3.5 para un conjunto de muestras de los cálculos de diseño que ha sido publicado por la FCPA (1990). Siempre revise el texto completo y las regulaciones locales de aguas pluviales.

Además de la escorrentía, el diseñador debe aproximarse a las cargas de contaminación, incluyendo su naturaleza y rango aproximado de la concentración. Esta información, combinada con el hidrograma necesario, permitirá que el diseñador para determinar el tamaño y el diseño apropiado del sistema de gestión de aguas pluviales.

**7.3.4 crédito de la zona permeable -Muchos municipios fomentan espacios verdes** y una reducción de la escorrentía en el desarrollo a través de restricciones en la cantidad de área impermeable en el sitio del proyecto. Típicamente, área impermeable está limitada a 25 a 75% de una pieza desarrollada de propiedad. Debido a la naturaleza de un pavimento de concreto permeable, que no debe ser considerado impermeable. Con la preocupación por los espacios verdes, sin embargo, rara vez se cuenta como zona permeable. Es común, sin embargo, para los municipios para asignar un crédito de la zona permeable para el concreto permeable. Diferentes municipios han utilizado valores de 25%, 50% y 100%, lo que para el propietario significa una reducción en cubierta de hierba requerido o área sin desarrollar en el sitio del proyecto y un aumento en el área que puede ser desarrollado. Como un ejemplo, considere un sitio de proyecto que es 1 acre (43.560 ft 2 [4046 m 2]), con 10.000 pies 2 (930 m 2) de un estacionamiento concreto permeable. Si el municipio local requiere una zona permeable 30% en el sitio del proyecto, el diseño del sitio se limitaría a tener 30.500 pies 2 (2800 m 2) de área impermeable. Esto incluye la construcción, aceras y zonas de aparcamiento, y no asume ninguna se da crédito para el concreto permeable. Con un crédito de la zona permeable 50% para el estacionamiento de concreto, la zona urbanizable se ampliaría para

35.500 ft 2 (3.300 m 2) -un aumento del 16% en la cantidad de tierra utilizable en el sitio. Esto puede hacer que un proyecto mucho más atractivo para un desarrollador, y con una reducción en suelo no urbanizable, no puede haber una reducción similar en la expansión urbana, como los sitios más pequeños podrían ser utilizados para satisfacer las necesidades específicas de desarrollo. Las agencias locales se enfrentan a las regulaciones cada vez mayores que requieren tratamiento de aguas pluviales. Puede estar en su mejor interés para aumentar el porcentaje de crédito dado a las áreas de estacionamiento permeables al porcentaje real de escorrentía retenido en el lugar de animar a más gente a usar la tecnología. El concreto permeable permite a la ciudad para crecer con mucha menos tensión en la infraestructura de drenaje pluvial. Debido pavimento de concreto permeable permite que el agua fluya de nuevo hacia los acuíferos cada vez más escasos, que ofrece una oportunidad muy rara para cambiar las aguas pluviales desde un pasivo en un activo.

#### 7.3.5 Diseño ejemplo- Dado:

- El pavimento debe almacenar la primera media pulg. (13 mm) de la escorrentía sin tratar y recuperar ese volumen dentro de un período de tiempo 72 horas después de una tormenta. El volumen de almacenamiento  $V_r$  requerido en el pavimento permeable puede calcularse como

$$V_r = \text{precipitaciones (pulg.)} \times \text{UN (acre)} \times 43560 \text{ (ft}^2 \text{ / acre)} \times 1 \text{ (ft)} / 12 \text{ (in.)} \quad (\text{pie}^3) \quad (7-1)$$

$$V_r = \text{precipitaciones (mm)} \times \text{UN} \times 1 \text{ (m)} / 1000 \text{ (mm)} \quad (\text{metro}^3)$$

para una media pulg. (13 mm) primero ras, entonces

$$V_r = 1/2 \text{ (in.)} \times \text{UN} \times 43.560 \text{ (ft}^2 \text{ / acre)} \times 1 \text{ (ft)} / 12 \text{ (in.)} \\ = 1815 \text{ UN (pie}^3)$$

$$V_r = 13 \text{ (mm)} \times \text{UN} \times 1 \text{ (m)} / 1000 \text{ (mm)} = 0,013 \text{ UN (metro}^3)$$



dónde  $V_r$  = volumen de almacenamiento requerido, ft<sup>3</sup> (m<sup>3</sup>); y  $A$  = tamaño de la instalación más cualquier área que contribuye, acre (m<sup>2</sup>). La Asociación de hormigón Florida Productos (1990) sugiere que la capacidad de almacenamiento de un sistema de pavimento permeable en suelos arenosos subrasante debe incluir el espacio vacío de la tierra sobre la lámina de agua subterránea de alta temporada y cualquier almacenamiento del pavimento de concreto permeable. Este volumen de almacenamiento se puede calcular como sigue

$$V_p = A \times re_1 \times pag \text{ Centésimas} \quad (7-2)$$

$$V_s = A \times re_2 \times pag \text{ 2/100} \quad (7-3)$$

dónde  $V_p$  = disponible de almacenamiento en el pavimento, ft<sup>3</sup> (m<sup>3</sup>); =  $V_s$

disponible de almacenamiento en sub-base, ft<sup>3</sup> (m<sup>3</sup>);  $A$  = área de la acera, acre (m<sup>2</sup>);  $re_1$  = espesor del pavimento, ft (m);  $re_2$  = espesor de la sub-base, ft (m);  $pag_1$  = porcentaje de espacio vacío en el pavimento (%); y  $pag_2$  = porcentaje de espacio vacío en la sub-base (%).

Una vez finalizado el cálculo del volumen de almacenamiento de la calidad del agua requerida  $V_r$  y deduciendo el volumen de suelo subrasante  $V_s$  y el volumen de almacenamiento disponible pavimento  $V_p$ , la diferencia neta será o bien negativo, lo que indica que se cumplan los requisitos, o positiva, lo que indica que es necesario el almacenamiento adicional. A subbase granular, tal como un material ASTM No. 57 con un espacio vacío del 30% o mayor, podría proporcionar almacenamiento adicional. El área por encima del pavimento está disponible para el almacenamiento también. El diseñador se advirtió que al aplicar esta técnica de diseño, sin embargo, la altura del agua para la tormenta de diseño poco frecuente puede causar que el agua se eleve por encima de la superficie del pavimento. La elevación pavimento debe ser inferior a elevaciones de suelo de construcción adyacentes para evitar daños de la inundación.

La guía FCPA (1990) da ejemplos adicionales de diseño para el cálculo de la capacidad de retención de una zona de aparcamiento, la cantidad de escorrentía, y el tiempo de recuperación. Algunos de estos cálculos también se dan como ejemplos en (ARC) de la Comisión Regional de Atlanta Georgia aguas pluviales Manual de gestión (2001). Los diseñadores pueden considerar la adición de drenaje redundante si la elevación de la superficie del pavimento terminado está cerca de áreas que podrían verse afectados de manera significativa por la inundación ocasional. Esto puede ser tan simple como la clasificación de la pavimento para suavemente pendiente de distancia de un edificio.

#### 7.4 Consideraciones -Otros

Las propiedades del pavimento permeable en el lugar son muy variables y están sujetas a la habilidad y experiencia del contratista de la instalación y el proveedor concreto. Las propiedades del hormigón utilizado para el diseño deben ser calibrados a la experiencia local siempre que sea práctico, pero debido a la naturaleza especializada del producto y la necesidad de instaladores cualificados, puede ser ventajoso para buscar instaladores regionales hasta los instaladores locales calificados a ser competentes con el producto. pavimento permeable se coloca generalmente, a continuación, enrasada y compactada. A medida que aumenta el espesor del pavimento más allá de 8 o 10 pulg. (200 o 250 mm), se hace difícil para compactar la sección transversal completa del pavimento con resultados uniformes debido a una profundidad limitada de la influencia del rodillo. La parte superior del pavimento será más compacta que la parte inferior de

el pavimento. Debido a que la fuerza del pavimento se incrementa con el aumento de la densidad, el diseño de la sección de hormigón debe considerar esta fuerza reducida en la base de la pavimentación. En una planta de hormigón en Oregon, cuatro 10 pulg. (250 mm) pavimentos porosos se cortaron en haces para medir la diferencia en la resistencia a la flexión entre la parte superior compactada y mitad inferior del pavimento. Los resultados mostraron que, mientras que los mejores resistencias a la flexión variaron desde 310 hasta 485 psi (2,14 a 3,34 MPa). La parte inferior de los paneles de ensayo, a continuación el efecto de la compactación, tenía una resistencia a la flexión constante de 272 a 275 psi (1,88 a 1,90 MPa). Mientras que esto es una prueba muy limitada, lo hace mostrar el área no compactado del pavimento fue consistente y que la ganancia significativa de fuerza puede lograrse mediante el uso de la compactación (Erickson 2006). La estructura de vacío de una mezcla de hormigón permeable no sólo permite la transmisión vertical del agua, pero también permitirá que el flujo horizontal. Esta capacidad única se debe considerar en el establecimiento de los perfiles de drenaje. La tasa vertical de flujo depende de la permeabilidad de la sub-base y en la relación de espesor y el vacío de la acera. En la mayor medida posible, los perfiles de zona de aparcamiento deben ser clasificados y sin pendiente. Esto permitirá una mayor tiempo para la sub-base para absorber y transmitir el agua a los estratos inferiores y reducir la velocidad de flujo horizontal. Cuando las condiciones no permiten para los grados planas, el diseñador puede considerar la provisión de barreras impermeables transversal a la dirección de flujo horizontal. Estas barreras pueden ser instalados por el aumento de la consolidación de la tira de pavimento a lo largo del borde de las juntas de construcción transversales. La mayor consolidación cierra la estructura nula en este lugar. Instalación de tiras transversales de hormigón impermeable normal, reduce el flujo lateral en la dirección hacia abajo-grado. Bordillos de todo el perímetro de la zona pavimentada también ayudan en la reducción de las tasas de flujo lateral, así como el cumplimiento de los requisitos de retención de aguas pluviales. erosión Placa de conexión y daños en el pavimento se pueden producir si se toman medidas suficientes para controlar el volumen y la velocidad del agua que fluye a través de la sub-base y sub-base. bordillos borde u otras estructuras para prevenir esta erosión se deben construir a lo largo de todas las áreas en las que existe la posibilidad de que el agua fluya bajo el pavimento. La mayor consolidación cierra la estructura nula en este lugar. Instalación de tiras transversales de hormigón impermeable normal, reduce el flujo lateral en la dirección hacia abajo-grado. Bordillos de todo el perímetro de la zona pavimentada también ayudan en la reducción de las tasas de flujo lateral, así como el cumplimiento de los requisitos de retención de aguas pluviales. erosión Placa de conexión y daños en el pavimento se pueden producir si se toman medidas suficientes para controlar el volumen y la velocidad del agua que fluye a través de la sub-base y sub-base. bordillos borde u otras estructuras para prevenir esta erosión se deben construir a lo largo de todas las áreas en las que existe la posibilidad de que el agua fluya bajo el pavimento. La mayor consolidación cierra la estructura nula en este lugar. Instalación de tiras transversales de hormigón impermeable normal, reduce el flujo lateral en la dirección hacia abajo-grado. Bordillos de todo el perímetro de la zona pavimentada también ayudan en la reducción de las tasas de flujo lateral, así como el cumplimiento de los requisitos de retención de aguas pluviales. erosión Placa de conexión y daños en el pavimento se pueden producir si se toman medidas suficientes para controlar

## CAPÍTULO 8 permeable a PAVEMENT CONSTRUCCIÓN

Construcción de pavimentos de concreto permeable debe cumplir con los planes de proyecto y especificaciones para proporcionar un producto final que satisfaga las necesidades del propietario y reglamentos locales. Una especificación de la muestra está disponible de ACI

522.1. La construcción comienza con una planificación cuidadosa. Se recomienda una conferencia y / o construcción de secciones de ensayo de pre-construcción para abordar cuestiones tales como:

- Confirmando que todo el personal del proyecto están trabajando desde el último juego de planos y especificaciones, y todas las revisiones están documentadas;
- Verificación de que todos los documentos requeridos y los envíos se han completado;
- La determinación de la secuencia de construcción y espaciado de las juntas;
- La disposición del área de ensayo para equipos, materiales, casetas de obra, las necesidades de personal, y requisitos de seguridad;

- Organizar un acceso adecuado para camiones de reparto de hormigón y sistemas de transporte de hormigón;
- Seleccionar el equipo óptimo para el tamaño del proyecto y las condiciones anticipadas;
- La coordinación de las inspecciones, pruebas y / o materiales en el lugar;
- Verificación de la propuesta de diseño de la mezcla, el material y la disponibilidad mezcla, y programa de entrega propuesto con el proveedor de hormigón; y
- verificando que el contratista concreto permeable, **personal de la planta de hormigón, y el personal de pruebas ( sección 9.3 ) Están calificados adecuadamente.**

### 8.1 principios de construcción -General

Las características del concreto permeable dictan un proceso de construcción notablemente diferente de aquel para el hormigón normal moldeado en el lugar (Offenberg 2005a). El proceso está depositando, enrase, compactación, y siguiendo inmediatamente con curado membrana de hoja. El equipo que se ha utilizado con éxito para colocar concreto permeable incluye de baja frecuencia de vibración soleras de entramados en combinación con rodillos de tubería pesados, tanto contador simple y doble tubo giratorio soleras de tubo, Vibradores, moldes de encofrado, soleras de láser, y máquinas específicamente hecha para colocar concreto permeable. No se emplean procedimientos de acabado de hormigón normal. No importa qué tipo de equipo se utiliza, un pavimento permeable no puede ser construido con éxito a menos que el hormigón colocado tiene la consistencia correcta. Si es demasiado seca, un hormigón crea problemas con la cohesión y la eficacia de la hidratación del cemento, mientras que demasiado húmedo una mezcla resultados en la fase de pasta de drenaje hacia abajo, dejando una estructura débil y, posiblemente, obstruyendo la parte inferior del pavimento. Los aditivos tales como estabilizantes de hidratación, modificadores de la viscosidad, y reductores de agua son útiles en la producción y mantenimiento de la consistencia apropiada de concreto permeable. El bajo contenido de agua y la estructura porosa, que expone las superficies de pasta a la evaporación, se requiere que la entrega y colocación ser completado rápidamente, de manera que el curado de la membrana de lámina puede estar en su lugar dentro de los 20 minutos de la colocación del hormigón, aunque este tiempo puede reducirse significativamente dependiendo de las condiciones ambientales . La estructura porosa también hace concreto permeable más sensible a las bajas temperaturas durante y después de la colocación,

### 8,2 -Subgradelsubbase preparación

La sub-base es la cama en la que se construye la estructura de pavimento y pueden ser materiales nativos o de relleno importado. En algunos casos, el pavimento será colocado en una sub-base de grava limpia o piedra triturada, que puede ser utilizado como una cuenca de almacenamiento de aguas pluviales. Si los suelos compactados o sitio de relleno importados tienen suficientes tasas de percolación y el proyecto no está en un área donde la congelación y descongelación es una preocupación, a continuación, una base de grava puede no ser necesaria. El ingeniero de proyectos debe tomar esta determinación en base a las normas locales, la permeabilidad del suelo, el volumen de las aguas pluviales, las cargas de tráfico previstos, y el propósito del pavimento.

Cuando las propiedades del suelo subrasante requieren que una base de roca se coloca por debajo de la acera como una cuenca de almacenamiento de agua de lluvia, no tejido, tela geotextil debe colocarse entre la

capa de roca y sub-base preparada. Tela permite que el agua pase a través, pero mantiene el suelo en la sub-base de la erosión o la migración en los huecos de la capa sub-base. Bien preparada, sub-base uniformemente compactado y subbase en las elevaciones correctas son esenciales para la construcción de pavimento de calidad. La sub-base y subbase no deben ser fangoso, saturado, o congelados cuando comienza la colocación. Además, la sub-base y sub-base deben ser humedecidas antes de que comience la colocación del hormigón. Si no se proporciona una capa de soporte húmedo puede resultar en una reducción en la resistencia del pavimento y podría conducir a un fallo prematuro del pavimento. Para proporcionar una superficie nivelada para la construcción de pavimentos, surcos de las ruedas deben ser rastrillado y recompacted antes de que comience la colocación del hormigón.

### 8.3 -Colocación

Un diseño de proyecto bien planificado puede acelerar las operaciones de construcción, permitiendo un uso eficiente del equipo de colocación, y facilitar el acceso de los camiones de reparto de hormigón. El contratista y el diseñador deben ponerse de acuerdo sobre los métodos de diseño y construcción conjunta antes de que comience la construcción. Un dibujo que muestra la ubicación de todas las articulaciones y la secuencia de colocación debe estar disponible antes de que comience la construcción. Ubicación de los objetos fijos deben ser establecidos con los métodos conjuntos de patrones y de la construcción en mente.

la colocación del concreto permeable debe ser completado tan pronto como sea posible. El concreto permeable casi no tiene exceso de agua en la mezcla. El material fresco expuesto a los elementos para un periodo de tiempo significativo perderá agua necesaria para la hidratación así como la retención de la cohesión de la mezcla. Este secado de la pasta de cemento puede conducir a la pérdida de fuerza y el futuro desmoronamiento de la superficie del pavimento. Todas las operaciones de colocación y equipos deben ser diseñados y seleccionados con esto en mente, y programadas para la colocación rápida y curado inmediato del pavimento.

**8.3.1 formas- la construcción del pavimento permeable típico requiere el uso de formas de borde, como es típico para la construcción de losa en planta moldeado en el lugar. Los formularios pueden ser de madera, plástico o acero y debería ser tan grueso como el pavimento. Las formas deben ser de resistencia y estabilidad para soportar el equipo utilizado para nivelar y compactación durante la colocación suficiente. La sub-base y el material subbase bajo las formas deben ser compactados de acuerdo con las recomendaciones del diseño. La longitud de la forma-pins debe seleccionarse con base en el tipo de sub-base o material subbase. form-clavijas o estacas suficientes deberían utilizarse para resistir el movimiento y flexión. Todas las formas deben ser limpiadas y revestidas con el agente de liberación apropiado como sea necesario.**

**8.3.2 El depósito de hormigón El concreto debe depositarse lo más cercano a su posición final como sea práctico. Esto se realiza comúnmente mediante descarga directa desde la rampa del camión mezclador directamente en la sub-base o subbase ( Fig. 8.1 ).** Generalmente sólo una sección de rampa puede ser añadido a la sección de tobogán montado en el camión mezclador. Esto limita la anchura de los carriles de colocación a 15 pies (4,5 m). Para las ubicaciones que los mezcladores no puede alcanzar, o en las que se reduce al mínimo la perturbación del suelo, un transportador puede ser utilizado ( Fig. 8.2 ). Después se deposita el hormigón, que debe ser cortado a una elevación aproximada con un rastrillo de hormigón o herramienta de mano similar ( Fig. 8.3 ). El cuidado debe ser



Fig. 8.1-Colocación de concreto permeable por de descarga trasera camión mezclador.



Fig. 8.2-Uso del transportador para colocar concreto permeable.



Fig. 8.3-Rastrillo concreto permeable a la elevación aproximada.

tomado para minimizar rellenar huecos en el hormigón por overvibration o caminar en el hormigón plástico y contaminar el concreto permeable con el material perjudicial.

**strips- 8.3.3 Riser** El concreto permeable se compacta en su posición final, por lo tanto, las tiras de columna ascendente se pueden colocar en la parte superior de las formas para proporcionar una elevación enrasado inicial (Fig. 8.4). Estas tiras varían de 3.8 a 3.4 en (9 a 19 mm) de espesor.; el espesor necesario será dependiente de la compactación de la superficie requerida, espesor de la sección de pavimento, el

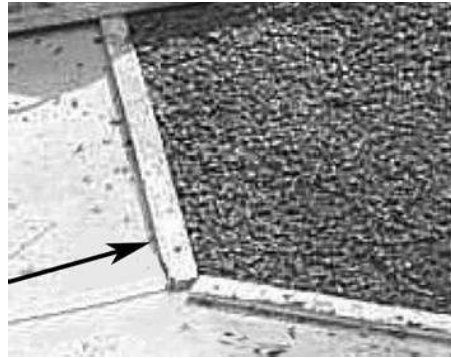


Fig. 8.4-Ejemplo de la tira de tubo ascendente en su lugar.



Fig. 8.5-El uso de enrasadora vibratoria para enrasado de concreto permeable.

agregado utilizado en el concreto permeable, y los métodos de colocación del contratista. Referirse a **sección 8.4** para más detalles.

**8.3.4 Colocación de equipo-** métodos de colocación varían dependiendo del tamaño del proyecto. Para pequeños trabajos tales como calzadas, o para zonas de difícil acceso, una regla de mano o una regla vibratoria es aceptable. Para trabajos más grandes, un A-marco, de baja frecuencia, enrasadora vibratoria se pueden utilizar (Fig. 8.5). Es importante lograr el concreto tan pronto como sea posible. Trabajo hecho a mano para las colocaciones más grandes, por lo tanto, no se recomienda debido a su falta de velocidad. soleras ponderado de hilatura de tubo, seguido por laminado en cruz se han utilizado con éxito para colocar y compactar el pavimento en un solo paso, eliminando algunos necesidad de tiras verticales. Al utilizar este proceso, la mezcla debe ser adecuadamente proporcionado y el hormigón colocado a una consistencia relativamente fluida para lograr una compactación adecuada. Ha habido proyectos limitadas en las soleras de láser y equipos de encofrado deslizante de hormigón han sido utilizados para la colocación de grandes volúmenes de concreto permeable en pavimentos. Este proceso requiere conocimientos especializados y experiencia en las técnicas de dosificación de la mezcla y de colocación. La clave es que cualquier método de compactación y acabado utilizado, consistencia de la mezcla adecuada debe ser verificada por el método seleccionado.

**8.3.5 Varios herramientas-** Tradicionales herramientas de acabado de hormigón, tales como canteadoras y venir a coro (una herramienta que se parece

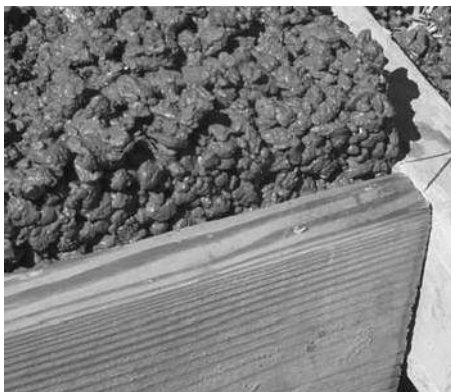


Fig. 8.6-resultado del uso de la tira de subida después de la eliminación.

una azada y tiene una larga cuchilla de borde recto) se pueden usar para facilitar la colocación adecuada de concreto permeable. flotadores toro y paletas de acero tradicionales no deben ser utilizados.

**8.3.6 Uso de pavimento como form-** Especial cuidado debe tener cuidado al colocar una sección de concreto permeable al lado de una colocación anterior desde el día anterior. (El mismo día, las colocaciones del lado byside, utilizando equipo mecánico no se recomienda). El siguiente es el procedimiento recomendado:

1. Con cuidado, pelar la hoja de curado que cubre la colocación anterior para revelar sólo el borde de la acera. Se debe tener cuidado para mantener la mayor cantidad de la colocación anterior cubierta como sea posible. Se recomienda nebulización de las zonas no cubiertas;

2. Coloque un elevador-tira o lámina de protección en la parte superior de la colocación terminado y a lo largo del borde;

3. Coloque el concreto permeable fresca hasta el borde del pavimento existente;

4. Enrasado del hormigón recién colocado permeable a la elevación y compactos bordes adecuadas, teniendo cuidado de no afectar a la colocación existente;

5. Continuar con el rodillo de acabado como, articulaciones habituales del cartel con la colocación anterior; y

6. Re-cubrir la colocación existente y la nueva colocación con curado-lámina.

#### 8.4 -Consolidación

Cuando se utiliza elevador-tiras, que deben ser retirados de cada forma inmediatamente después de enrasado (Fig. 8.6) y el hormigón compactarse a la elevación de la forma con un rodillo ponderada (Fig. 8.7). Una mano-tamp se puede usar a lo largo de los bordes para facilitar la compactación a lo largo de las formas. El rodillo de compactación de los agregados cerca de la superficie, resultando en una unión más fuerte entre los agregados de superficie, pero la disminución de la permeabilidad de la superficie. El proceso de construcción debe resultar en la fuerza y la permeabilidad adecuada. El rodillo debe abarcar de forma en forma y ser lo suficientemente pesada para obtener la compactación necesario. El rodillo media del tamaño necesario para abarcar a 12 pies (3,7 m) de ancho carril pesa aproximadamente 500 lb (227 kg). Una herramienta de rodadura hecha a la medida (Fig. 8.8) se puede utilizar en zonas de difícil acceso y para las colocaciones más pequeños. El rodillo en la Fig. 8.8 pesa aproximadamente 70 lb (32 kg). Para disminuir la posibilidad de dejar de rodillos de marcas en la superficie del pavimento, pequeños rodillos deben tener mecanizadas-bordes biselados.



Fig. 8.7-Ejemplo de compactación de hormigón permeable por laminación.



Fig. 8.8-Ejemplo de pequeño rodillo utilizado para la compactación pequeña zona pavimentada.

compactación adicional puede ser necesario en algunas áreas como ajustados a su vez-radius de los pavimentos de estacionamiento. Debido a que estas áreas pueden recibir más desgaste del aumento de tensiones como consecuencia del movimiento de giro de los vehículos que pasan, se recomienda estas áreas reciben una mayor compactación de la superficie, incluso a la pérdida de cierta permeabilidad de la superficie, mediante el uso de un elevador-tira más gruesa en el áreas de radio Algunas situaciones requieren un esfuerzo extra para asegurar un pavimento de calidad. Donde la calidad de marcha es de especial preocupación, como en el drive-carriles, el pavimento puede ser cruzada rodó para suavizar las desviaciones verticales ( Fig. 8.9 ). Adyacente a las aceras y en los bordes del pavimento expuestas, el hormigón puede ser repujado para proporcionar una esquina suave y firme ( Fig. 8.10 ). Esta operación realizada en el momento equivocado puede provocar el agrietamiento de la matriz y por lo tanto el aumento de deshilachado. El gran cuidado se debe tomar para realizar esta operación. Después de enrasado, la compactación, y el ribete, no hay otras operaciones de acabado debe ser realizada.

#### 8.5 -Jointing

Las juntas de contracción, a veces referido como juntas de control, deben instalarse como se indica en los planos. Deben tener una profundidad de 1/3 a 1/4 del espesor del pavimento. A pesar de que es muy recomendable que se instalarán juntas en el hormigón fresco con herramientas especiales, vio juntas de corte después de que se endurezca concretos también se pueden realizar. Las grietas de contracción se producirá en el concreto permeable, así como en convencional



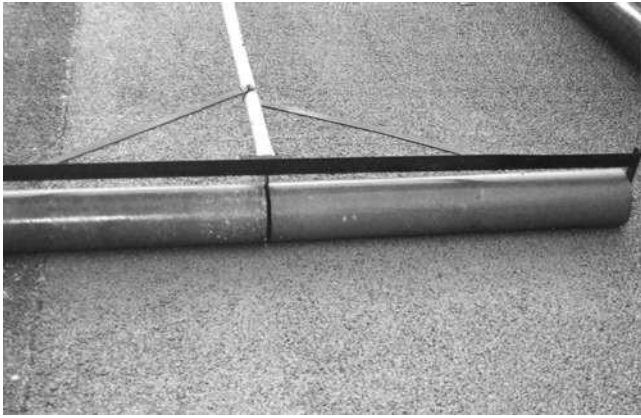


Fig. 8.9-secundaria utilizada para el concreto permeable transversal de laminación para mejorar la calidad de conducción de pavimento.



Fig. 8.10-reborde de hormigón permeable para mejorar la apariencia de las esquinas.



Fig. Vista de la herramienta de unión para el concreto permeable 8,11-detallada.

hormigón, y se puede producir en grandes colocaciones incluso antes de que el hormigón ha tenido tiempo suficiente para curar para el corte de sierra. herramientas de unión de hormigón convencionales se pueden usar para las pequeñas colocaciones tales como aceras. A especialmente diseñado rodillo compactador-ensambladora con una hoja que es al menos un cuarto del espesor de la losa, y con masa suficiente para obligar a la cuchilla para cortar limpiamente la articulación, es la herramienta de elección (Fig. 8.11). En ubicaciones con anchos de carril de ancho, una articulación longitudinal



Fig. 8.12-Ejemplo de herramienta de unión integrado en rodillo primario.

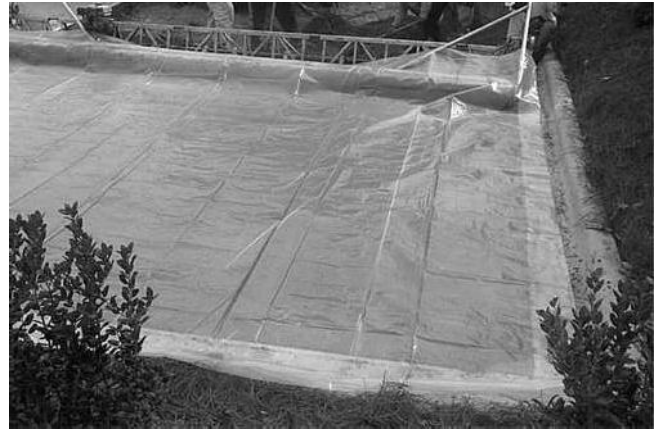


Fig. 8.13-Demostración de curado con láminas de plástico inmediatamente después de la compactación

se puede cortar con el rodillo de compactación (Fig. 8.12). En todos los tipos de rodillo-ensambladoras, la unión de la cuchilla y el rodillo debe incorporar una pequeña cóncava de radio para reducir los squareedges en la parte superior de la articulación. Los bordes cuadrados tienen una mayor tendencia a deshilacharse en virtud de la carga de tráfico.

Si las juntas de contracción son corte de sierra, el procedimiento debe comenzar tan pronto como el pavimento se ha endurecido lo suficiente como para evitar daños en la superficie. Sólo material de cubierta de polietileno suficiente para corte de sierra las áreas requeridas deben ser retirados (Fig. 8.13). Después de aserrado, las áreas expuestas se deben empapar con agua, la cual elimina los poros de los finos generados por aserrado y asegurar que el agua está presente suficiente para un curado apropiado. Inmediatamente volver a cubrir el área expuesta con una lámina de recubrimiento de polietileno, tan pronto como se han hecho cortes de sierra.

#### 8.6 -Curing y protección

La estructura de poro abierto de concreto permeable hace curado particularmente importante debido a la mayor área superficial expuesta al secado (deshidratación). curado inmediato de concreto permeable es vital para el rendimiento. En condiciones favorables de alta humedad y baja velocidad del viento, el material de cubierta debe ser no más tarde colocó de 20 minutos después del alta. En condiciones ambientales más graves del material de cubierta debe colocarse antes. El material de la cubierta debe ser una lámina de polietileno de alta resistencia, que satisfacen los requisitos de la norma ASTM C171, de dimensión suficiente para cubrir toda la anchura de un carril (Fig. 8.13). Telas tejidas



Fig. 8.14-Ejemplo de uso de barras de refuerzo para mantener hacia abajo el material curado.

tales como arpillera y tela geotextil no deben utilizarse como van a mantener la humedad en el hormigón. compuestos de curado Sprayapplied no producen resultados aceptables. Enrasado, compactación, y las operaciones de curado debe mantenerse tan cerca como sea posible para evitar que la superficie superior de la concreto permeable de secado. Tras el proceso de colocación, tan pronto como la operación de enrasado se ha trasladado a una nueva tira de tubo ascendente, las tiras verticales utilizados deben ser retirados y las operaciones de compactación comenzado. Cuando existen condiciones adversas climáticas del ambiente, tales como alta temperatura, alta viento, o de baja humedad, un reductor de evaporación puede ser ligeramente rociado en

la superficie después de las operaciones enrasado y antes de la compactación. Antes de cubrir, si el hormigón ha perdido su brillo, debe ser ligeramente empañado con agua pero nunca rociado. La cubierta de polietileno debe cubrir completamente todas las superficies expuestas y debe ser asegurada en su lugar fuera de todos los bordes del pavimento y en vueltas para evitar la evaporación del hormigón y ser desplazado por el viento (Fig. 8.14). barras de refuerzo, madera, o bloques de hormigón se pueden utilizar para fijar la cubierta de polietileno para evitar que sea arrancado. La suciedad, arena u otro material granular no se deben colocar en la parte superior de la cubierta de polietileno, ya que pueden lavarse en los poros del hormigón durante una fuerte lluvia, o durante la remoción de la cubierta. Si se utilizan formas de madera, las tiras verticales se pueden utilizar para asegurar las hojas en su lugar. Las láminas primero deben estar unidos a la parte superior de la forma en un lado del carril de volver a colocar las tiras verticales a la parte superior de las formas con las uñas de botón-cap, con la lámina de polietileno intercalada entre la forma y la tira de tubo ascendente. La lámina debe entonces ser retirado tan apretado como sea posible para eliminar pliegues y minimizar la posibilidad de decoloración o la creación de bandas del hormigón. Todas las superficies del pavimento deben ser cubiertos adecuadamente. No hacerlo puede resultar en el desmoronamiento de las áreas expuestas. Cualquier pérdida de humedad, tal como de viento cada vez bajo plástico garantizado, puede ser perjudicial para el curado y la fuerza adecuado desarrollo del pavimento. El propietario deben ser conscientes de una posible decoloración de la superficie del pavimento debido al diferencial de endurecimiento bajo las láminas de plástico. Con el tiempo la decoloración debe igualar a un solo color gris. con la lámina de polietileno intercalada entre la forma y la tira de tubo ascendente. La lámina debe entonces ser retirado tan apretado como sea posible para eliminar pliegues y minimizar la posibilidad de decoloración o la creación de bandas del hormigón. Todas las superficies del pavimento deben ser cubiertos adecuadamente. No hacerlo puede resultar en el desmoronamiento de las áreas expuestas. Cualquier pérdida de humedad, tal como de viento cada vez bajo plástico garantizado, puede ser perjudicial para el curado y la fuerza adecuado desarrollo del pavimento. El propietario deben ser conscientes de una posible decoloración de la superficie del pavimento debido al diferencial de endurecimiento bajo las láminas de plástico.

Para un curado adecuado, el pavimento normalmente debe permanecer cubierta durante al menos 7 días para el hormigón de cemento liso



Fig. Líneas visibles en pavimentos de hormigón permeable 8,15-pintado.

mezclas, y 10 días para las mezclas de hormigón que incorporan materiales cementantes suplementarios tales como cenizas volantes o escoria. Puede ser necesario en un clima frío para aumentar estos tiempos de endurecimiento típicos. Striping debe aplicarse sólo después de que haya pasado el período de curado (Fig. 8.15). No hay tráfico se debe permitir en el pavimento durante el curado. El contratista general debe tomar medidas para evitar daños en el pavimento debido al abuso de las operaciones de construcción. Específicamente, el contratista general debería prohibir la retirada del material de curado y evitar cualquier tráfico en el pavimento de concreto permeable. Además, el contratista general no debe permitir el almacenamiento de materiales de construcción y de jardinería en la superficie del pavimento, ya que estos materiales pueden obstruir los poros o de otra manera dañar los pavimentos permeables.

#### 8.7 protección contra la intemperie -Frío

##### **El concreto permeable es más sensible al frío que el hormigón normal ( sección 8.1 )**

Y, por lo tanto, la construcción de hormigón permeable puede ser suspendido o mantas de curado utilizados cuando, se espera que la colocación temperatura ambiente durante, y un día después de caer por debajo de 40 ° F (4 ° C). Debido a la rápida evaporación causar insuficiencia de agua para la hidratación del cemento, el agua caliente no se debe utilizar en dosificadora de hormigón permeable. Durante el curado, se deben tomar medidas para proteger el concreto permeable de la congelación mientras se mantiene la humedad durante el tiempo necesario para lograr la resistencia deseada. mantas de curado trabajan lo suficiente como para servir a este propósito.

#### 8.8 protección contra la intemperie-Hot

Cuando hace calor, transporte, colocación y compactación debe hacerse lo más rápidamente posible. Un retardante de la evaporación se puede aplicar a la superficie del hormigón tras el proceso de enrasado para retardar la pérdida de humedad en la superficie. Después de la consolidación y antes de colocar el polietileno, la superficie puede ser ligeramente empañado con agua o un retardante de evaporación si la superficie parece estar perdiendo su aspecto brillo.

#### 8.9 -Reparación pavimentos de concreto permeable

**8.9.1 Molienda** Los puntos altos pueden ser molidos con un molinillo ponderado, sin embargo, el molino costará a través y exponer el agregado en las zonas de tierra, cambiando el aspecto del pavimento.

Tabla 8.1-Típica actividades de mantenimiento para la colocación de hormigón permeable

Actividad	Programar
<ul style="list-style-type: none"> <li>Asegúrese de que el área de pavimentación está limpio de escombros</li> <li>Asegúrese de que la zona esté limpia de sedimentos</li> </ul>	Mensual
<ul style="list-style-type: none"> <li>Semillas desnudas las tierras altas</li> <li>barrido de vacío para mantener la superficie libre de sedimentos</li> </ul>	Según sea necesario
<ul style="list-style-type: none"> <li>Inspeccionar la superficie de deterioro o desprendimiento</li> </ul>	Anualmente

**8.9.2 agujeros o bajo spots- Los agujeros pequeños (puntos bajos) deben ser** parchado con una mezcla agregada / epoxi o cemento modificado con látex. Para hacer coincidir la apariencia de la superficie del pavimento, el agregado puede estar recubierto con cemento húmedo y se cura antes de parches. agujeros grandes deben ser parchado con concreto permeable de las mismas proporciones de la mezcla como la superficie original. Cuando parches, es muy poco probable que el color del parche coincidirá con el material de superficie original. agentes de unión epoxi o cemento modificado con látex pueden ser usados para asegurar una unión adecuada entre las superficies nuevas y viejas. Las pinturas acrílicas se han utilizado para disfrazar el área del parche con éxito variado. secciones finas no unidas de material de parche no pueden permanecer intacto bajo la carga de tráfico. En caso de duda, se recomienda una reparación de profundidad total.

**8.9.3 cuts- Utilidad En el caso de que se corta una sección de concreto permeable,** una reparación de profundidad total debe ser realizada. Esto incluiría la eliminación de una sección cuadrada de la anchura de un carril colocado de tal manera que el nuevo material sería lo suficientemente grande para mantener su integridad estructural bajo carga.

## 8.10-Mantenimiento

pavimentos de concreto permeable son sistemas basados en la infiltración. El agua que pasa a través del pavimento llevará consigo diversos grados de contaminantes y basura solubles e insolubles. La mayor parte de estos desechos se depositarán en o cerca de la superficie del pavimento. Mantenimiento de pavimentos de hormigón permeable consiste principalmente en la eliminación de los desechos acumulados. Dos métodos de mantenimiento comúnmente aceptados son el lavado a presión y pasar la aspiradora de potencia. El lavado a presión puede forzar a algunos de los residuos a través de la superficie del pavimento. Esto es efectivo, pero se debe tener cuidado de no usar demasiada presión, ya que podría dañar el concreto permeable. Una pequeña sección del pavimento debe presión lavó usando presiones de agua que varían para determinar la presión apropiada para el pavimento dado. aspiradora de alimentación elimina los contaminantes y los residuos mediante la extracción de ellos a partir de los huecos del pavimento. El esquema más eficaz, sin embargo, es la combinación de las dos técnicas y vacío de poder después de lavado a presión. Un programa de mantenimiento sugerido se encuentra en la Tabla 8.1.

Las investigaciones realizadas por la FCPA (1990) cuantifica el grado de infiltración de contaminantes en pavimentos de estacionamiento de concreto permeable. Cinco estacionamientos fueron examinados como parte del estudio, y se encontró que el nivel de infiltración de contaminantes a ser bastante baja. La infiltración se encontró que era en el intervalo de 0,16 a 3,4% del total volumen vacío después de hasta 8 años de servicio, y barriendo la superficie restaurado inmediatamente más del 50% de la permeabilidad de un pavimento obstruido.

## CAPÍTULO INSPECCIÓN DE CONTROL DE CALIDAD-9 Y ENSAYO

### 9.1 -General

Al igual que con cualquier material de ingeniería, es importante verificar la calidad de un pavimento de concreto permeable. Las pruebas realizadas de la condición sub-base son para asegurar una densidad adecuada, el valor de apoyo, y la permeabilidad. Prueba de la mezcla de concreto permeable debe llevarse a cabo tanto para las propiedades fresco y endurecido del hormigón para asegurar la calidad de la densidad y espesor. Muchos de los actuales métodos de la ASTM y de prueba AASHTO son aplicables a una instalación de pavimento de concreto permeable. Debido a las características físicas del material, sin embargo, no todas las pruebas tradicionales de hormigón son apropiadas para el concreto permeable.

Debido a la falta de métodos de ensayo para este material, ASTM Subcomité C09.49 está desarrollando métodos de ensayo específicamente para el concreto permeable. A partir de 2008, cinco estándares de prueba estaban en desarrollo, incluyendo: Densidad Fresco y contenido vacío, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, Campo de permeabilidad y densidad templado y porosidad.

### 9.2 -Preconstruction inspección y pruebas

La determinación de la permeabilidad de la sub-base y análisis de suelos es especialmente importante en el diseño y la construcción del sistema concreto permeable. Las pruebas básicas de las propiedades de la sub-base deben incluir un análisis del tamaño de partícula (ASTM D422), análisis de suelos y clasificación (ASTM D2487), y la prueba de Proctor estándar o modificado (ASTM D698 o D1557 ASTM). Los resultados de estas pruebas proporcionarán el diseñador con los datos necesarios. El ensayo de percolación estándar que se utiliza para el diseño de campos sépticos no es una prueba adecuada para determinar la permeabilidad sub-base para pavimentos permeables. Una sección de prueba de la sub-base debe ser compactada a la densidad específica como parte del análisis del suelo antes de la finalización del diseño del proyecto. A infiltrómetro de doble anillo (ASTM D3385) u otro ensayo adecuado se debe realizar para probar adecuadamente la permeabilidad.

procedimientos de prueba suelo normal para la densidad de sub-base (compactación) de acuerdo con un procedimiento de ensayo ASTM estándar se deben realizar antes de la colocación del hormigón como parte de un plan de control de calidad normal.

### 9.3 -Inspección y pruebas durante la construcción

Como se describe en el ACI 522.1, criterios de aceptación deben tener dos aspectos distintos. El primer criterio se debe basar en la mezcla de concreto permeable como se entrega y se basa en la densidad. Para la colocación de cada día, o cuando la inspección visual indica un cambio en la apariencia de la mezcla fresca, al menos una prueba debe llevarse a cabo para verificar la densidad del material. La prueba de la mezcla debe llevarse a cabo de acuerdo con ASTM C1688 / C1688M. La aceptación se debe basar en  $\pm 5 \text{ lb} / \text{ft}^3$  (80 kg / m<sup>3</sup>) de la densidad en fresco especificado. El segundo criterio de aceptación debe basarse en el pavimento completado como se indica en la siguiente sección. Las pruebas de campo e inspecciones de concreto permeable debe ser realizada por una persona certificada como

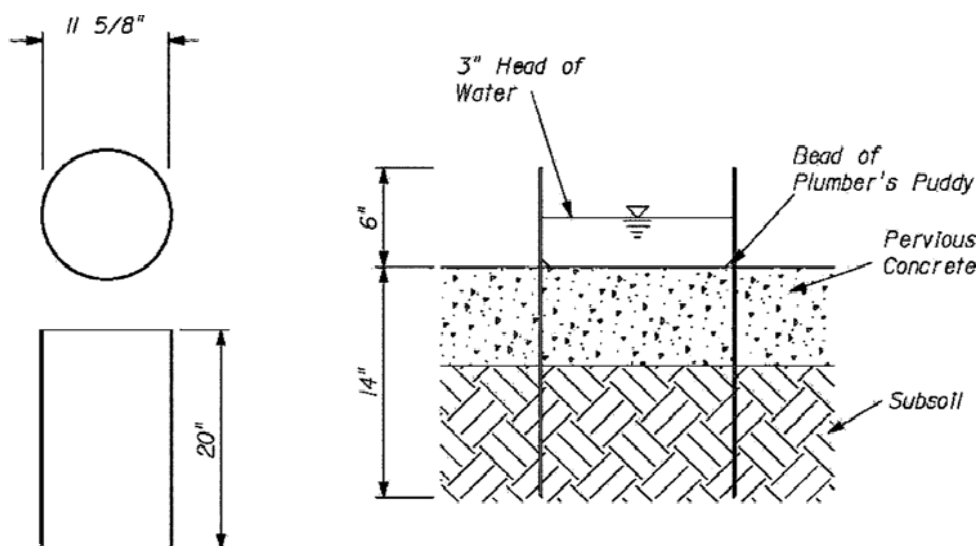


Fig. Infiltrómetro 9,1-Single-anillo (1 in. = 25,4 mm).

tanto en un técnico certificado NRMCA concreto permeable o equivalente y un ACI Concrete Technician Pruebas de Campo de grado I o equivalente.

#### 9.4 -Postconstruction inspección y pruebas

La densidad endurecida de un pavimento permeable colocado correctamente no debe variar sustancialmente de la densidad en fresco de la mezcla. Coring de tres muestras del pavimento resultará en muestras de aceptación para espesor y la densidad y debe ser probado para cada lote de 5.000 ft<sup>2</sup> (465 m<sup>2</sup>) de pavimento colocado. Las muestras de núcleos deben obtenerse de acuerdo con ASTM C42 / C42M no menos de 7 días después de la colocación. Los núcleos deben medirse para el espesor por un técnico de laboratorio certificado ACI según la norma ASTM C42 / C42M y se ensayaron para la densidad de acuerdo con ASTM C140 (métodos ASTM Subcomité C09.49 está desarrollando específicamente para concreto permeable.). El espesor colocación debe determinarse utilizando, muestras de núcleo sin recortar endurecidos. Después de la determinación de espesor, los núcleos deben ser recortadas y se midió su peso de unidad en la condición de saturado como se describe en el Párrafo 9.3, saturación, de la norma ASTM C140. Después de sumergir los núcleos recortadas en agua durante 24 horas, escurrir durante 1 minuto, retirar agua de la superficie con un paño húmedo, y pesar inmediatamente. La tolerancia para el espesor informó como el promedio de tres núcleos de cada lote no debe ser más de 1/4 pulg. (6 mm) menor que el espesor especificado, sin núcleo individual que exceda de 1/2 pulg. (13 mm) menor que el espesor especificado, ni debe ser el espesor compactado promedio más de 1,5 pulg. (40 mm) mayor que el espesor especificado. La densidad de endurecido aceptable debe estar dentro de  $\pm 5\%$  de la densidad endurecido aprobado de los paneles de ensayo. Además, la inspección visual de los núcleos permitirá la verificación del espacio vacío abierto necesario para facilitar el drenaje. Una inspección visual que muestra una estructura de poros totalmente cerrada o severamente restringido puede indicar un pavimento que no va a funcionar correctamente, y aquellas secciones demostrado ser esencialmente impermeable deben ser retirados y reemplazados. (6 mm) menor que el espesor especificado, sin núcleo individual que exceda de 1/2 pulg. (13 mm) menor que el espesor especificado, ni debe ser el espesor compactado promedio más de 1,5 pulg. (40 mm) más que el especificado espesor. La densidad de endurecido aceptable debe estar dentro de  $\pm 5\%$  de la densidad endurecido aprobado de los paneles de ensayo. Además, la inspección visual de los núcleos permitirá la verificación del espacio vacío abierto necesario para facilitar el drenaje. Una inspección visual que muestra una estructura de poros totalmente cerrada o severamente restringido puede indicar un pavimento que no va a funcionar correctamente, y aquellas secciones demostrado ser esencialmente impermeable deben ser retirados y reemplazados. (6 mm) menor que el espesor especificado, sin núcleo individual que exceda de 1/2 pulg. (13 mm) menor que el espesor especificado, ni debe ser el espesor compactado promedio más de 1,5 pulg. (40 mm) más que el especificado espesor. La densidad de endurecido aceptable debe estar dentro de  $\pm 5\%$  de la densidad endurecido aprobado de los

Acuerdo en cuanto a lo que es esencialmente impermeable y el método de medición debe lograrse antes de la colocación inicial. Las pruebas se están desarrollando para determinar la permeabilidad in situ de pavimentos. Uno de los métodos de ensayo recientes que se han desarrollado es el embebido infiltrómetro de anillo único (Fig. 9.1) para determinar las tasas de infiltración del sistema concreto permeable (Wanielista et al. 2005). Esto puede ser usado ya sea como una herramienta de preconstruction o una herramienta postconstruction. El anillo único infiltrómetro utiliza el mismo procedimiento de prueba como el doble anillo, como se indica en la norma ASTM D3385 con la modificación de su empotramiento y el uso de un solo anillo. Se postula que esta es una modificación válido para probar la tasa de infiltración de todo el sistema y evitar una migración lateral del agua en el pavimento solo. La profundidad de penetración es una variable importante y será refinado basado en los resultados de extensas pruebas de campo. En ningún momento debe aceptación se basa en la resistencia a la compresión del hormigón permeable, ya sea como entregado o como con núcleo de la acera. Debido a la relación entre la compactación y la resistencia a la compresión, hay una amplia gama de fuerzas que pueden ser generados a partir de una sola entrega de concreto permeable. Además, no existen métodos de prueba estándar para ensayos de resistencia a la compresión del concreto permeable. procedimientos de extracción de núcleos típicos, cuando se utiliza en concreto permeable, perturban la matriz de pasta de cemento de tal manera que resistencia a la compresión resultados de las pruebas pueden ser erróneamente bajo. La experiencia local con materiales a través de los proyectos terminados, los paneles de prueba,

## CAPÍTULO 10-RENDIMIENTO 10.1 General

pavimentos de concreto permeable más de 30 años de edad todavía están en servicio. Información de los estudios controlados es disponible sobre el rendimiento a largo plazo de los pavimentos de concreto permeable. Los parámetros de rendimiento discutidos en el Capítulo 10 incluyen cambios en las tasas de infiltración, angustia estructural, angustia superficie, y resistencia a la congelación y descongelación.



## 10.2-Cambios en las tasas de infiltración

La obstrucción se produce cuando los materiales extraños restringen la capacidad del agua para fluir a través de los pavimentos de hormigón permeable. Estos materiales extraños pueden ser multas que entran en la matriz de hormigón permeable o materia vegetal que se acumula en la superficie o en los poros del hormigón permeable. Las multas son, transmitidas por el viento, o huellas sobre el pavimento de concreto permeable por el tráfico transmitidas por el agua. materia vegetal proviene de los árboles o plantas adyacentes al pavimento de concreto permeable. multas transmitidas por el agua provienen de las aguas de escorrentía que se origina fuera de los límites del pavimento de concreto permeable y transporta el material sobre el pavimento. Un diseño geométrico del pavimento de concreto permeable que no permite que las aguas pluviales o el tráfico de introducir multas sobre el pavimento será minimizar el atascamiento. Por ejemplo, pavimentos de hormigón permeable deben ser colocados en elevaciones por encima paisaje adyacente, con el paisaje inclinado lejos de la acera. multas transportados por el viento son generalmente de volumen limitado en muchas áreas, pero podría ser motivo de preocupación en las zonas áridas. materia vegetal será rutinaria puede depositar sobre la superficie de pavimentos de hormigón permeables, lo que requiere una limpieza periódica. Las operaciones de construcción adyacentes para pavimento de concreto permeable también pueden causar multas a ser depositados. La construcción, por lo tanto, deben ser secuenciados para evitar la deposición de estas multas. Una investigación de campo se llevó a cabo en el desempeño en la Florida en el año 1989 en los pavimentos de concreto permeable hasta 13 años de edad (Wingertter y Paine 1989). El estudio concluyó que adecuadamente diseñados, construidos, y se mantienen los pavimentos de concreto permeable mostraron sólo pequeñas cantidades de obstrucción después de muchos años de servicio. El estudio también incluyó la medición de la velocidad de percolación en el pavimento de concreto permeable obstruido. La velocidad de percolación de la pavimento de concreto permeable obstruido seguía siendo igual a hierba adyacente. Una investigación más reciente de varios sitios de campo en Florida y otros lugares del sudeste de los Estados Unidos ha llevado a cabo (Wanielista et al.

2007). Este estudio indicó que los pavimentos de concreto permeable que se instalaron hace 10 a 15 años, sin necesidad de mantenimiento, están operando de manera satisfactoria con cantidades insignificantes de obstrucción. Este estudio examinó también posibles métodos de rejuvenecimiento en caso de obstrucción se produjo, que incluía el lavado a presión y / o vacío barrido del pavimento. También llegó a la conclusión de que los criterios más importantes para la continuación del cumplimiento satisfactorio de estos pavimentos eran de diseño e instalación adecuada.

### angustia 10.3-estructural

dificultad estructural de pavimentos de concreto permeable generalmente toma dos formas: grietas o hundimientos debido a la pérdida del soporte de la subrasante. angustia estructural puede ser causada por cargas pesadas (más allá de la capacidad estructural de la acera), materiales de sub-rasante débiles, o el flujo de agua horizontal a través del pavimento de hormigón permeable que lava material de sub-base. presiones de contacto de gran superficie o una superficie de concreto permeable débil puede causar el desmoronamiento superficie.

### angustia 10.4-Superficie

angustia de la superficie es la eliminación de material agregado suelto de la superficie de pavimento permeable. Un rendimiento en el campo

investigación llevada a cabo en Florida (Wingertter y Paine 1989) indicaron que los pavimentos de hormigón permeable con raveling **superficie fueron causados por una inadecuada w / cm**, compactación inadecuada, o procedimientos de curado inadecuadas. Los investigadores informaron que los proyectos de pavimentación de concreto permeable no tenían signos de dificultad estructural. Una vez que una capa superior de material suelto de la superficie se ha eliminado, la raveling menudo se detiene. Una versión modificada de un ensayo de abrasión para evaluar la resistencia de una mezcla a la angustia de superficie ha sido desarrollado (Offenberg y Davy 2008).

## 10.5-resistencia a la congelación y descongelación

La estructura de vacío del concreto permeable no es el mismo que el aire atrapado en el hormigón de cemento portland normal. En pavimentos de concreto permeable adecuadamente diseñados e instalados, el agua drena a través de él a una capa de drenaje subyacente y el suelo, y no serán retenidos en su estructura nula. Cuando el hormigón permeable está completamente saturada y se somete a la congelación, sin embargo, el agua no tiene lugar para drenar. Esto puede dar lugar a tensiones excesivas en la pasta de cemento fino recubrimiento de los áridos, y puede causar el deterioro de las instalaciones de concreto permeable. Algunos hormigón no airtained permeable totalmente saturado tenía pobre resistencia a la congelación y descongelación cuando se prueba en el laboratorio de acuerdo con el Procedimiento A de ASTM C666 / C666M (Neithalath et al. 2005a). Es posible añadir aditivo incorporador de aire a las mezclas de concreto permeable para proteger la pasta de recubrimiento, pero el arrastre de aire no puede ser verificada o cuantificarse por métodos de ensayo estándar actuales. El concreto permeable que está parcialmente saturado, posiblemente, podría tener suficientes huecos para el movimiento del agua, lo que demuestra una buena resistencia a la congelación y descongelación. ASTM C666 / C666M se utiliza para probar muestras de hormigón completamente saturados. Esto no simula el comportamiento de pavimento permeable en el campo, pues las instalaciones construidas adecuadamente en entornos de congelación-descongelación y-contienen un mecanismo para drenar el agua fuera del pavimento. Actualmente, no existe un método estándar para evaluar la resistencia a la congelación y descongelación de concreto permeable. El factor importante es su capacidad para drenar el agua que entra en su estructura en las condiciones meteorológicas previstas. Nacional Concrete Pavement Centro de Tecnología (Schaefer et al. 2006) probado varios diseños de mezcla diferentes para la resistencia a la congelación y descongelación. Se determinó que las muestras saturadas hechas de acuerdo con un diseño mezcla sólo tenía una pérdida de masa 2% cuando se somete a 300 ciclos de congelación-andthawing de acuerdo con ASTM C666 / C666M Método A. Esta mezcla constituida No. 4 agregada, 7% de **arena, 571 libras de cemento por yarda cúbica (338 kg / m 3), y un 0,27 w / cm. Esta** mezcla se utiliza tanto el arrastre de aire y aditivos reductores de agua de alto rango. Las muestras hechas de acuerdo con esta mezcla tenía un contenido de huecos de 18,3%. Se determinó que la adición de látex ligante a la mezcla ayudó con resistencia a la congelación y descongelación, pero no en la misma medida como la adición de una pequeña cantidad de arena a la mezcla. Se recomiendan estas precauciones para mejorar la resistencia a la congelación-descongelación y del concreto permeable:

- Utilice un 8 a 24 en (200 a 600 mm) de espesor de capa de base de agregado limpio debajo del concreto permeable.;



concreto permeable para superficies de carretera donde los diseños impermeables tradicionales evitar la filtración de agua en la sub-base, ya que esto puede socavar la subbase y, por lo tanto, perder el soporte estructural crítico bajo los pavimentos impermeables. Gran parte de esta pérdida de material en la sub-base, sin embargo, es debido a las fuerzas hidrostáticas en esta área de filtración de agua que se producen a partir de las cargas puntuales de ruedas de vehículos sobre la superficie que empujan los suelos de distancia. El concreto permeable sería, por supuesto, permite la filtración de agua en la sub-base, como la infiltración del agua es su intención. Esto no puede, sin embargo, tienen las mismas fuerzas hidrostáticas destructivos en la sub-base, ya que el agua también podría moverse verticalmente en la columna permeable. Se necesita investigación sobre los impactos de agua en la fuerza y los suelos subyacentes de las aplicaciones adicionales de concreto permeable como la superficie de la carretera.

Más investigación también es necesaria en el comportamiento a la fatiga del concreto permeable bajo carga, ya que influye en el diseño del pavimento. La investigación preliminar muestra que el concreto permeable tiene el mismo comportamiento a la fatiga como hormigón en masa, pero que el trabajo tiene que ser expandida (Tamai et al., 2004).

### 11,3 -Caracterización de la estructura del material

Las propiedades y el rendimiento de cualquier material poroso depende en gran medida en sus características de estructura de poro tales como el volumen total de poros, tamaños de poro y su distribución, y la conectividad y tortuosidad de la estructura de poros. Debido a que el concreto permeable se utiliza principalmente para la gestión de las aguas pluviales, la característica de rendimiento funcional que es más a menudo una preocupación para el usuario final es la permeabilidad. La porosidad se considera como la característica más importante de la estructura de poro de los materiales porosos, pero por sí solo es insuficiente para proporcionar una descripción completa de la realización material. Una mayor porosidad no asegura necesariamente una mayor permeabilidad debido a que la permeabilidad es una función del área de poro superficial, tamaños de poro, y tortuosidad. El uso de agregados de diferentes tamaños en concreto permeable para producir la misma porosidad ha dado lugar a diferentes valores de permeabilidad (Neithalath et al., 2006); una correcta comprensión de las características de la estructura de los poros y la forma en que se ve influida por los parámetros de los materiales y dosificación mezcla necesita una investigación cuidadosa y exhaustiva. Unos pocos estudios han informado de la influencia de la granulometría de los áridos y mezcla de la porosidad, tamaños de poro y la conectividad de los hormigones permeables (Neithalath 2004; Neithalath et al 2006; Low et al., 2008), utilizando procedimientos matemáticos y estadísticos. Para desarrollar el diseño de materiales basado en el rendimiento para hormigones permeables, se necesita investigación significativa en la comprensión de la estructura de poros de este material. La macroporosidad de los hormigones permeables a menudo puede conducir a agrietarse efectos de arresto si los tamaños de poro y porosidad son propicias. Esto influye en el comportamiento estructural del material. Una comprensión completa de las realizaciones material y una dosificación mezcla basada en el diseño de materiales, por lo tanto, se puede lograr sólo si las características de la estructura de poro se conocen bien.

### 11.4 aplicaciones climáticas frías -Freezing-y-descongelación y

Más investigación sería valiosa para evaluar la eficacia de las tecnologías conocidas en la protección en concreto permeable

climas fríos. Aunque ha habido muchos pavimentos de concreto permeable instaladas en las zonas más frías, varias preguntas siguen sin respuesta concluyente para que el concreto permeable puede ser utilizado con mayor confianza y una mayor aplicación en climas fríos. Hay dos cuestiones principales que deben ser abordados más adelante: el primero es el impacto de la congelación y descongelación en el concreto en una gama más amplia de aplicaciones, y la segunda es establecer con mayor certeza el impacto potencial de las sales de deshielo en el hormigón, en particular debido a que la estructura de poro abierto permite la infiltración más rápida de estas sales en la matriz de hormigón que en el pavimento de hormigón tradicional. La observación directa primero conocido del comportamiento del concreto permeable en congelación fue un experimento de laboratorio por los EE.UU. Investigación regiones frías del ejército y Laboratorio de Ingeniería (Korhonen y Bayer, 1989). Las muestras de concreto permeable sin arrastre de aire, refuerzo, u otro tratamiento para la protección de daños por heladas se congelaron y descongelaron varias veces. A intervalos durante la secuencia de prueba, las muestras se retiran del ciclo de congelación y puestos bajo fuerza de compresión para probar su pérdida de resistencia a la rotura. Los que habían sido congelados en condiciones secas o húmedas (humedecido, a continuación, drenados) mostraron poca pérdida de resistencia de más de 160 ciclos de congelación y descongelación. Una prueba de laboratorio más tarde (Yang y Jiang 2003) mostró que después de 25 ciclos de congelación y descongelación en el aire, la resistencia a la compresión no confinada de cinco muestras disminuyó 15 a 23%. muestras similares que habían sido congelados en recipientes llenos de agua, sin embargo, se deterioraron progresivamente. Asegurando drenaje rápido de una losa permeable en un depósito de base bien drenado, sin embargo, es una medida preventiva crítico contra los efectos de la congelación. En las regiones frías, agentes incorporadores de aire se añaden rutinariamente para hormigón para protegerlo de daños por heladas (AASHTO 1993). Experiencia principalmente de la construcción de edificios sugiere que el arrastre de aire mejora la resistencia de concreto permeable a los daños de ciclos freezingand-descongelación como lo hace para hormigón denso (FCPA 1990; Monahan 1981; Neithalath et al 2003). aditivos de polímeros y látex líquido pueden ayudar mediante el sellado de los microporos de la aglomerantes de cemento y la prevención de la entrada de agua. Materiales complementarios cementosos, diversas fibras y polímeros líquidos pueden mejorar la fuerza de hormigón, limitar la contracción, y con ello mejorar su resistencia a condiciones de congelación-y-descongelación y productos químicos de deshielo (Pindado et al. 1999). rendimiento en el campo fue investigado por aproximadamente dos docenas de sitios de concreto permeable ubicadas en los estados de Ohio, Kentucky, Indiana, Colorado y Pensilvania. Además de las observaciones de campo y ensayos no destructivos, pruebas de laboratorio se realizó en núcleos extraídos de algunos de los sitios de prueba. Las instalaciones evaluados habían realizado generalmente bien en ambientes de congelación y descongelación, con poco mantenimiento requerido. Eran, sin embargo, relativamente nuevo, así que hay una necesidad de un seguimiento posterior en el rendimiento de campo (Delatte et al., 2007). Además de las observaciones de campo y ensayos no destructivos, pruebas de laboratorio se realizó en núcleos extraídos de algunos de los sitios de prueba. Las instalaciones evaluados habían realizado generalmente bien en ambientes de congelación y descongelación, con poco mantenimiento requerido. Eran, sin embargo, relativamente nuevo, así que hay una necesidad de un seguimiento posterior en el rendimiento de campo (Delatte et al., 2007). Además de las observaciones de campo y ensayos no destructivos, pruebas de laboratorio se realizó en núcleos extraídos de algunos de los sitios de prueba. Las instalaciones evaluados habían realizado generalmente bien en ambientes de congelación y descongelación, con poco mantenimiento requerido. Eran, sin embargo, relativamente nuevo, así que hay una necesidad de un seguimiento posterior en el rendimiento de campo (Delatte et al., 2007).

### 11.5 lechada -Porous

La tecnología de inyección de lechada de cemento para proporcionar soporte estructural por debajo de las fundaciones se ha practicado en la construcción desde 1802 (Houlsby 1990). Los materiales tienen tradicionalmente

sido una mezcla de cemento portland, agua, y, a menudo una carga, tal como la arena. Este se mezcla en suspensión y se bombea en el área deseada, por lo general la interfaz entre las fundaciones existentes y el suelo en el lugar o roca, formando un enlace estructural que es rígido y normalmente no permeable. Hay casos, sin embargo, en los que se desea la conductividad hidráulica de modo que las fuerzas hidrostáticas naturales pueden aliviarse sin causar deterioro debido a la saturación, la erosión, y la tubería. Esto ha llevado al uso generalizado de los drenajes franceses (grava), mantas de drenaje, y tejidos para el drenaje y la prevención de la erosión (geotextiles), donde las fundaciones son accesibles durante la construcción. Este tipo de lechada de cemento permeable bombeado en el lugar llenaría una necesidad básica en la industria de la construcción, sobre todo en proyectos de remediación de sitios o modificados. Ejemplos de aplicaciones de este material bombeado, poroso incluyen la remediación de presas (Weaver 1991), túneles, carreteras, canales, ferrocarriles, y el tratamiento del medio ambiente. materiales de lechada porosos que podrían ser bombeados fueron estudiadas y reportados por la Bechtel Corporation en 1995. Los estudios abarcan una amplia gama de materiales bombeados que tenían propiedades de drenaje. Varios proporciones de la mezcla se han desarrollado y están en la fase de prueba (Yen et al. 2002).

## 11,6 gestión -Stormwater

Hay dos aspectos importantes a la gestión de aguas pluviales: control de la escorrentía y de control de la calidad del agua. Se han realizado varios estudios iniciales en las tasas de infiltración, conductividad hidráulica, coeficiente de escorrentía y racional para el concreto permeable (Wanielista et al 2007; Montes y Haselbach 2006; Wimberley et al 2001; Valavala et al 2006). Se necesitan estudios adicionales para la infiltración a través de superficies de concreto permeable inclinadas y la variación de las tasas de infiltración con el envejecimiento y otros impactos ambientales. problemas de calidad del agua para las cuencas hidrográficas son cada vez más importantes. Gran parte del lavado de material en los arroyos, ríos y, eventualmente, en las aguas subterráneas proviene de la escorrentía superficial contaminada con materiales aplicados a la superficie del suelo. Los contaminantes pueden ser exceso de fertilizantes y nutrientes, plaguicidas, sales de carretera, u otros materiales aplicados intencionalmente, a partir de derrames o residuos tales como gasolina y productos de petróleo de aceite gotea, y la abrasión del neumático u otros residuos, tales como basura, residuos animales, y el polvo fino. Algunos materiales son recogidos rápidamente hacia arriba o disueltos y transportados por la escorrentía mientras que otros, incluyendo grasas insolubles y aceites de contenido de baja volatilidad, no puede.

Otra fuente de contaminante segunda vuelta ha sido el control ineficaz o no ejecutadas de la escorrentía en la tierra desnuda, con frecuencia de sitios en fase de desarrollo. La falta de controles efectivos de erosión se ha traducido en un aumento significativo de la carga de sedimentos en algunas áreas. Mediante el control de exceso de escorrentía superficial utilizando un sistema de pavimento de concreto permeable diseñado correctamente, una reducción en la velocidad de la corriente de pico es posible. La erosión de cauces se reduce, reduciendo así la carga de sedimentos transportadas por la corriente. Lavar grandes cantidades de nutrientes (compuestos con alto contenido de nitrógeno y fósforo) en la cuenca tiene numerosas consecuencias. crecimiento de plantas, particularmente la biomasa microbiana como el fitoplancton y algas floraciones, se incrementa. Aunque las plantas producen oxígeno en vida, cuando mueren, se descomponen, usando hasta disponible disolvió

oxígeno y el aumento de la demanda bioquímica de oxígeno (BOD). La creación o el aumento de la tensión de DBO, puede, en las condiciones más extremas, llevar a eventos tales como la muerte de los peces. crecimiento de las plantas en los sistemas de concreto permeable debe ser mínima debido a la falta de luz solar. En muchos casos, pero no en todos, la escorrentía de aguas pluviales inicial llevará a una mayor concentración de contaminantes que la escorrentía más tarde. La lluvia inicial será lavar la superficie algo. La parte de la escorrentía con una concentración de contaminantes más alta se denomina la primera descarga. En las zonas áridas con largos períodos de tiempo entre la lluvia, también puede ocurrir una primera ras estacional. Uno de los objetivos comunes de control de la escorrentía es capturar la primera oleada. Esto es particularmente cierto cuando se trata de áreas pequeñas de captación (drenaje). La primera oleada no puede ocurrir en algunos de los siguientes casos:

- zonas de captación grandes raramente muestran una primera ras, como una corriente constante de la primera a ras de las zonas más y más lejos de la toma de llegar en el tiempo;
- Puede que no haya un primer color si los contaminantes no se lavan fácilmente lejos o disueltos; y
- Las diferencias en la carga contaminante largo del tiempo pueden ser difíciles de detectar si el suministro de contaminantes es esencialmente continua (por ejemplo, el sedimento de suelo desnudo, fácilmente erosionables). reglas relativamente simples de pulgar para seleccionar o aprobar diseños y funciones de control a menudo se han utilizado debido a la falta de suficientes datos locales combinados con variaciones o efectos estacionales y eventos de lluvia antecedentes. Como regla de oro en bruto, la primera oleada se produce durante los primeros 30 minutos a 1 hora para sitios pequeños, tales como estacionamientos. Cuando se utiliza el concreto permeable, la primera hora de lluvia generalmente será capturado como mínimo. Es razonable suponer que, como mínimo, también se capturó la parte de la segunda vuelta con la mayor carga de contaminación. pavimentos de concreto permeable llevarán la primera oleada en los poros del hormigón, y la lluvia adicional llevará a los contaminantes más en el sistema sin devolverlos al flujo de escorrentía. Los efectos naturales de la limpieza de los suelos pueden luego limpiar aún más la escorrentía. Adopción de determinados tipos de dispositivos de mitigación y características depende de la utilización del sitio, los tipos y cantidades de contaminantes previstos, la escorrentía estimada, y las características del lugar. Mientras que la captura de la primera oleada de un área a menudo es deseable, la disposición de la primera descarga y limpieza del sumidero después de retirar la primera oleada puede ser técnicamente difícil y costoso. La investigación es necesaria para establecer o confirmar muchas de las observaciones e hipótesis con respecto a la contaminación atrapada por los pavimentos de concreto permeable (Rushton 2000). Varios de los supuestos relacionados con la calidad del agua que necesitan ser confirmados son: Los efectos naturales de la limpieza de los suelos pueden luego limpiar aún más la escorrentía. Adopción de determinados tipos de dispositivos de mitigación y características depende de la utilización del sitio, los tipos y cantidades de contaminantes previstos, la escorrentía estimada, y las características del lugar. Mientras que la captura de la primera oleada de un área a menudo es deseable, la disposición de la primera descarga y limpieza del sumidero después de retirar la primera oleada puede ser técnicamente difícil y costoso. La investigación es necesaria para establecer o confirmar muchas de las observaciones e hipótesis con respecto a la contaminación atrapada por los pavimentos de concreto permeable (Rushton 2000). Vari
- Grasas y aceites de bajo contenido de volátiles que se producen de forma rutinaria en las zonas de aparcamiento, tales como aceite gotea de los vehículos, es probable que se adsorben sobre la superficie del hormigón permeable o en los poros del hormigón permeable, o se degradan por la comunidad microbiana en el sistema de (Pratt et al. 2002) y no serán transferidos a las aguas subterráneas o aguas de superficie en cantidades significativamente diferente que con estanques de detención. Estudios recientes han investigado la eficacia de los hormigones permeables en la contención de derrames de petróleo vehiculares (Bhayani et al 2007; Deo et al., 2008). mezclas de concreto permeable con porosidades que van del 13 al 25% fueron proporcionados

utilizando dos agregados de diferentes tamaños. La retención de aceite y la recuperación se determinó experimentalmente en 2 pulg. (50 mm) rebanadas de especímenes de concreto permeable utilizando un método gravimétrico partición. Un modelo de poros abertura idealizada se usó para desarrollar un marco de modelado para la retención de aceite en concreto permeable. Los parámetros de los materiales, así como las características de entrada que tienen más probabilidades de influir en la retención y la recuperación de petróleo, se identificaron. Un modelo basado en la programación genética se utilizó para predecir la retención de hidrocarburos en muestras de concreto permeable. Se encontró que esta metodología de modelado proporciona una buena estimación de la retención de aceite;

- Agua que lleva los sólidos y los nutrientes disueltos en el suelo desde el concreto permeable se someterá a natural de filtración y purificación de tal manera que el agua que llega a la capa freática será de más o menos la misma calidad que la escorrentía remojado en directamente desde la superficie; y
- El tiempo máximo de draw-down para un sistema concreto permeable debe ser de 3 a 5 días, lo cual es consistente con el diseño de estanque de detención, y puede ocurrir con pavimentos de hormigón permeable construidos en suelos arcillosos. A medida que la luz no se dispone de mucho más allá de la superficie, el crecimiento y la posterior descomposición de la biomasa debido a las altas cargas de nutrientes en la segunda vuelta será mínimo. Como concreto permeable no está saturado durante gran parte de su vida de servicio, los poros son relativamente pequeñas pero no capilar en tamaño, el aire está a disposición de una gran superficie en comparación con el volumen, y hay poca diferencia en la descomposición de material orgánico biodegradable en comparación con descomposición en la superficie.

### 11.7 potencial filteringremediation -Environmental En

Además de su potencial para filtrar o remediación de contaminantes relacionados con las aguas pluviales-(Tamai et al. 2004), existe un interés en concreto permeable como material para otros fines de filtrado del medio ambiente o de remediación, especialmente en el

las industrias agrícolas y de tratamiento de residuos. El concreto permeable ya se ha utilizado para los pisos de efecto invernadero. También hay interés en utilizar el concreto permeable como una superficie pavimentada de estiércol o la deshidratación de lodos.

### 11.8 -Superficie deterioro y reparación

Al igual que con cualquier otra superficie del pavimento, especialmente aquellos bajo cargas de vehículos pesados, no se espera que sea el envejecimiento y deterioro de la superficie de hormigón permeable con el tiempo. Offenber y Davy (2008) propusieron un método de prueba para determinar el potencial deshilachado de una mezcla de hormigón permeable. Este método utiliza un 4 pulg. (100 mm) de altura, de 4 pulg. (100

mm) muestra cilíndrica de diámetro que sólo ha sido curadas durante 7 días. El espécimen se voltea en un aparato usado típicamente para ASTM C131. El potencial desmoronamiento se refiere a la diferencia en la masa del espécimen antes y después de la prueba. Se necesita investigación adicional para cuantificar el potencial de una mezcla de deterioro de la superficie después de la aplicación de campo y el servicio, y correlacionar esta de nuevo a propiedades frescas. tratamientos de superficie de hormigón típicos pueden no ser aplicables a concreto permeable, ya que muchos son selladores de superficie y puede afectar de manera efectiva la capacidad de infiltración de los permeable

pavimento. La investigación no sólo es necesaria para los tratamientos de superficie que pueden extender la vida de un pavimento de concreto permeable y añadir a su sostenibilidad y la estética, pero para los materiales y métodos para la reparación del pavimento también.

### 11,9 -Desarrollo y la estandarización de los métodos de prueba más amplios

Los métodos de prueba establecidos para hormigón actuales son, en muchos casos no aplicable al concreto permeable. Cualquiera de los métodos nuevos o modificados de prueba es necesario establecer que toma en consideración las características únicas de concreto permeable. La variable más frecuentemente citados que se prueba en concreto permeable es la porosidad. Hay, sin embargo, muchas definiciones diferentes para porosidad (porosidad efectiva, la porosidad total, porosidad drenado, contenido de vacío) que no están bien definidos y son igualmente importantes, dependiendo de la necesidad de aplicación y el diseño del sistema permeable. Una variedad de técnicas de medición de porosidad se han investigado en hormigones permeables (Crouch et al 2003; Neithalath 2004; Marolf et al 2004; Neithalath et al 2006; Montes et al., 2005). Normalización o hacer referencia a estas técnicas es crucial para la comparación de la mayoría de las características y de los criterios de diseño de sistemas de concreto permeable. pruebas de control de calidad y aseguramiento de campo necesitan ser establecidos. Los métodos para la trabajabilidad de pruebas o consistencia, como el ensayo de asentamiento de hormigón en masa, son herramientas de control de calidad necesarios para el productor de concreto, como lo son las pruebas de resistencia a la compresión y el arrastre de aire. pruebas de control de calidad del propietario de resistencia y durabilidad son importantes necesidades de pavimentos de concreto permeable. También existen métodos de prueba que deben ser desarrollados para el concreto permeable que no son similares a los métodos utilizados tradicionalmente en la industria del hormigón. Por ejemplo, se necesitan métodos tasa de infiltración campo similares a los de otros medios porosos. En adición,

### 11.10 - determinación no destructiva de rendimiento y las propiedades

Uno de los impedimentos significativos para el uso generalizado de concreto permeable es la ausencia de métodos de ensayo para evaluar o predecir el rendimiento del material que se coloca y en servicio. Debido a su estructura de poros abiertos, los métodos convencionales de estimación de rendimiento de hormigón no son aplicables a concreto permeable. En los últimos tiempos, algunos nuevos métodos de prueba se han intentado para la estimación de la propiedad concreto permeable no destructiva. Debido a que es fácil de saturar la muestra de concreto permeable con un electrolito de conductividad eléctrica conocida, se ha hecho hincapié en el uso de métodos basados en las propiedades eléctricas para la estimación del rendimiento. El uso de un parámetro modificado que se puede derivar de la conductividad eléctrica se ha utilizado para predecir la permeabilidad de concreto permeable con bastante precisión (Neithalath et al. 2006). métodos similares también se han extendido a predecir el comportamiento de absorción acústica de concreto permeable. Delatte et al. (2007) utilizaron la velocidad de pulso ultrasónico (UPV) para investigar en servicio pavimentos de hormigón permeables así como extraído

núcleos. Se encontró velocidad de pulso ultrasónico que se correlaciona bien con propiedades de ingeniería tales como la fuerza y la relación de vacíos.

#### 11.11 efecto de isla de calor, la carbonatación, y otras propiedades térmicas -Urban

, superficies de pavimento oscuros convencionales se consideran ser grandes contribuyentes al efecto de isla de calor urbano. Hay un aspecto único de concreto permeable que pueda influir en su impacto sobre el efecto de isla de calor urbano-su naturaleza porosa. Muchos medios porosos se considera que son aislantes, y el concreto permeable pueden tener algunas de estas características. El concreto permeable, sin embargo, también se compone de huecos interconectados que pueden influir en la convección de calor en o fuera de la superficie de la tierra. No se sabe que los procesos de transferencia de calor dominan, y en qué condiciones. Hay poca o ninguna investigación sobre los impactos de isla de calor urbano de la utilización de concreto permeable sobre otras superficies de pavimento impermeable; Por lo tanto, se necesita información adicional en gran medida (Ferguson 2005). Similar, los aspectos térmicos de hormigón permeable pueden ser importantes para determinar las tasas de descontaminación y otros tasas de procesos ambientales. El uso de concreto permeable también puede tener un impacto en otro aspecto relacionado con el clima global. Ha habido mucha investigación y la preocupación por los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera. Muchos investigadores han realizado análisis de ciclo de vida de la contribución al dióxido de carbono en la atmósfera de muchos materiales de construcción. Hormigón ha demostrado ser un factor de dos maneras: la primera es en el uso de energía para la fabricación de cemento, si la fuente de energía es una fuente no renovable; y el segundo es en el proceso químico que se forma de cemento a partir de sus materiales de origen, que libera dióxido de carbono como un subproducto. Por lo tanto, incluso si el componente de dióxido de carbono de la utilización de la energía se eliminó, la fabricación de concreto permeable todavía resultar en una producción neta de dióxido de carbono. Hay algo de la investigación actual, sin embargo, en la absorción de dióxido de carbono en las estructuras de hormigón con el tiempo. Este proceso, conocido como

carbonatación,

implica un cambio químico y puede equilibrar algunos de la ganancia de dióxido de carbono del proceso de fabricación de cemento. La carbonatación es generalmente lenta en condiciones ambientales, pero más rápido cuando el hormigón tradicional tiene grandes superficies expuestas al aire. Un ejemplo es cuando el hormigón se rompe y se recicla para su llenado. El concreto permeable tiene una superficie mucho más grande expuesta que otras aplicaciones concretas al aire, y puede tener una mayor velocidad de carbonatación. La investigación es necesaria en este tipo de manera que el impacto global de la utilización de concreto permeable a las cantidades de dióxido de carbono en la atmósfera se puede entender mejor.

#### 11.12 -Otros nuevas aplicaciones y usos

Hay muchas otras aplicaciones novedosas para el concreto permeable distinta de superficies como pavimento para el control de aguas pluviales o como un filtro de medio ambiente para los procesos de deshidratación. Su densidad inferior puede ser útil su uso en la construcción de edificios para reducir las necesidades estructurales.

El concreto permeable se refiere a veces como EPC y se ha demostrado tener algunos beneficios en la absorción de sonido.

Algunas aplicaciones son como superficies de carreteras y barreras de sonido (Neithalath et al 2005b; Tamai et al., 2004). Una serie de estudios europeos relativos a sonar características de absorción de concreto permeable están disponibles y también lo son algunos estudios llevados a cabo en los EE.UU. (Neithalath 2004).

## CAPÍTULO 12-AMBIENTE Y

### El concreto permeable

El concreto permeable es un medio único e innovadores de la gestión de las aguas pluviales (Fig. 12.1). Desde una perspectiva ambiental, entre sus principales beneficios es la reducción en el volumen total de escorrentía que de lo contrario lleva grandes cantidades de contaminantes en nuestros arroyos, ríos, lagos y océanos. costosa infraestructura se ha comprometido a hacer frente a la gran cantidad de agua de lluvia y la capacidad de eliminar eficazmente cantidades significativas de contaminantes es cada vez más difícil. Con la infiltración del agua de lluvia-a mejores prácticas de gestión recomendadas de la EPA de Estados Unidos para hacer frente a la escorrentía, no sólo es el volumen de agua de lluvia muy reducidos, pero el concreto permeable proporciona de manera efectiva

- primero mitigaciónll ras contaminación donde aproximadamente el 90% de los contaminantes se llevó en el primero 1,5 pulg. (38 mm) de los eventos típicos de lluvia significativos. La filtración proporcionada por la matriz anulado dentro concreto permeable retiene al menos 80% de los contaminantes orgánicos, y que se producen de forma natural el crecimiento microbiano proporciona un tratamiento adicional antes de los pocos contaminantes que permanecen eventualmente son convertidos por los suelos nativos. La infiltración proporcionada por el concreto permeable recarga de las aguas subterráneas, proporciona riego a los sistemas de vegetación superficial y raíces de árboles cercanos, y mitiga pollutionll -thermal donde de otra escorrentía contribuye significativamente al aumento de la temperatura del agua, lo que afecta negativamente el hábitat de los peces, deportes acuáticos, y la vegetación dentro de varios cuerpos de agua. El potencial de agua de cosecha para una variedad de propósitos también se ha mejorado. El concreto permeable también absorbe y retiene menos calor y requiere menos iluminación de la noche que el pavimento convencional usado más comúnmente, dándole el potencial de impactar positivamente la mitigación de isla de calor urbano y la huella de carbono a través de la reducción de energía.



Fig. Sistema de gestión de aguas pluviales de hormigón 12,1 permeable.

## 12.1 LEED® sistema de clasificación de edificios verdes y concreta -Pervious

Cuando el concreto permeable se utiliza en el diseño de obras de construcción, que puede ayudar en el proceso de clasificación para numerosos créditos en el sistema de clasificación de edificios verdes LEED (Versión 2.2) administrado por el Consejo de Construcción Verde de Estados Unidos. Con los rápidos cambios en el sistema LEED y la tecnología de concreto permeable, la información más actualizada acerca de este tema se puede encontrar en el Centro de Conocimiento Concreto ACI en [http://www.concrete.org/tkc/knowledge\\_center.htm](http://www.concrete.org/tkc/knowledge_center.htm). LEED proporciona un marco para evaluar la construcción y el rendimiento del sitio, el cumplimiento de los objetivos de sostenibilidad a través de cinco categorías de crédito: desarrollo sostenible de sitio, de ahorro de agua, eficiencia energética, selección de materiales y calidad ambiental interior. Nótese, sin embargo, que los puntos de LEED se ganó no directamente por el uso de un producto, sino mediante el cumplimiento de un objetivo de sostenibilidad específica del programa de clasificación.

créditos específicos en los que el concreto permeable puede ayudar al diseñador incluyen:

**12.1.1 LEED Crédito SS-C6.1 aguas pluviales Diseño: Cantidad Control y LEED Crédito SS-C6.2 aguas pluviales Diseño: Cantidad de control** -La intención de estos créditos es limitar la interrupción y la contaminación de los flujos naturales de agua mediante la gestión de las aguas pluviales, el aumento de la infiltración en el sitio y la eliminación de contaminantes. El concreto permeable puede contribuir a este crédito, reduciendo el flujo de las aguas pluviales, lo que permite que el agua penetre a través y se infiltran en el suelo. El concreto permeable también puede reducir las cargas contaminantes mediante el filtrado de contaminantes como el agua se transfiere a través del pavimento. En obras de construcción, donde la impermeabilidad existente es mayor que 50%, Credit SS-C6.1 requiere la reducción de la tasa y cantidad de escorrentía de aguas pluviales en un 25% a partir de los 2 años, tormenta de diseño de 24 horas. En obras de construcción, donde la impermeabilidad existente es inferior al 50%, el requisito especifica que la velocidad de descarga pico post-desarrollo y la cantidad del sitio no deben exceder la tasa máxima de pre-desarrollo y la cantidad. Por lo general, mediante la incorporación de un sistema de pavimento de concreto permeable en el lugar, el proyecto puede cumplir con estos criterios y así obtener los puntos LEED para estos créditos.

**12.1.2 LEED Crédito SS-C7.1 isla de calor Efecto: NonRoof** -La intención de este crédito es reducir las islas de calor (diferencias de gradiente térmico entre áreas desarrolladas y no desarrolladas) para minimizar el impacto en el microclima y el hábitat humano y de la vida silvestre. Este crédito requiere cualquier combinación de los siguientes para el 50% de la superficie dura sitio (aceras, aparcamientos, unidades y vías de acceso), la sombra dentro de los 5 años de ocupación, materiales de pavimentación con un índice de reflexión solar de al menos 29, y / o una sistema de pavimentación de rejilla abierta. Un segundo método para lograr este crédito incluye proporcionar áreas de aparcamiento bajo la cubierta para el 50% de las plazas de aparcamiento. actos de concreto permeable para reducir el efecto de isla de calor del hormigón mediante la absorción de menos calor de la radiación solar que los pavimentos oscuros. La estructura de poros relativamente abierta y el color de la luz de las tiendas de concreto permeable menos calor, por lo tanto la reducción de la

el calor reflejado de nuevo en el medio ambiente y ayuda a reducir el efecto de isla de calor en zonas urbanas. El efecto de isla de calor puede minimizarse aún más por la adición de árboles plantados en o alrededor de los estacionamientos. Los árboles ofrecen sombra y producen un efecto de refrigeración para el pavimento. pavimento de concreto permeable es ideal para la protección de los árboles en un entorno pavimentada (muchas plantas tienen dificultades para crecer en áreas cubiertas por los pavimentos impermeables, aceras, y el paisajismo ya que el aire y el agua tienen dificultades para llegar a las raíces). pavimentos de hormigón permeable o aceras permiten árboles adyacentes para recibir más aire y el agua y todavía permiten el uso completo del pavimento de concreto permeable.

El concreto permeable no ha sido aprobado explícitamente para su uso en SS 7.1 por sus propiedades de alta albedo; Sin embargo, el diseño concreto permeable puede ser sometida a interpretación. Si el productor de concreto tiene resultados de las pruebas de reflectancia para la mezcla de concreto permeable utilizado en el proyecto, él o ella puede optar por presentar una carta al contratista (y arquitecto) que indica los resultados de las pruebas, aumentando la posibilidad de que el crédito SS 7.1 se ser premiado. Como una generalización, un productor de concreto puede aumentar la reflectancia solar de hormigón a través de la selección de materiales. Como los cementos portland pueden variar en color, un cemento de color más claro podría mejorar la reflectancia solar de una mezcla de hormigón permeable así podría la introducción de coloración integral (blanco) y el uso potencial de un material cementoso suplementarios tales como escoria (por lo general notablemente más ligero que el cemento gris llano convencional). El tamaño, forma, gradación, y el color de los agregados podrían afectar la cantidad de gradadness -open, ll que contribuye a la falta de albedo comparativa en concreto permeable. La técnica y el tipo de equipo que un contratista utiliza para colocar el hormigón también podrían contribuir a ello. Como secciones de prueba son muy recomendables para las aplicaciones más críticas de concreto permeable, haciendo tan temprana suficiente para permitir que los especímenes en el lugar para ser evaluados para el índice de reflexión solar (SRI) antes de la colocación y, potencialmente, una calificación previa.

**12.1.3 LEED Crédito EA C1.1 Eficiente del Agua Landscaping-** La intención de este crédito es para limitar o eliminar el uso de agua potable, o de otros recursos hídricos superficiales o subsuperficiales naturales disponibles en o cerca del sitio del proyecto, para el riego de jardines. Para obtener este crédito, el agua potable para el riego debe reducirse en un 50% en comparación con un caso base del pleno verano. La subbase granular (capa de retención) bajo concreto permeable puede utilizarse para almacenar agua de lluvia para el riego, ayudando a satisfacer este crédito. Si no se requiere de riego para un proyecto, dos puntos se pueden ganar.

**12.1.4 Créditos LEED MR-C4.1 y C4.2 Reciclado MR-Content** La intención de este crédito es aumentar la demanda de productos de construcción que han incorporado material de contenido reciclado reducción de los impactos resultantes de la extracción de material nuevo. Los requisitos para estos créditos son el uso de materiales con contenido reciclado tal contenido que la suma de reciclado post-consumo más 1/2 del contenido reciclado pre-consumidor constituye al menos 10% o 20% (basado en el valor en dólares de la materiales), respectivamente, del valor total de los materiales en el proyecto. más concreta



Fig. 12.2. Materiales de cemento 12.2-suplementarios. De izquierda a derecha: la ceniza (clase C) vuela; metacaolín (arcilla calcinada); humo de sílice; cenizas volantes (Clase F); escoria; y esquisto calcinado.



Fig. 12.3 permeable estacionamiento de hormigón.

contiene materiales reciclados en forma de materiales cementantes suplementarios (SCMS), tales como cenizas volantes, escoria, o humo de sílice (Fig. 12.2). El uso de los SCM o áridos reciclados en hormigón o material de base permeable contribuye al contenido reciclado necesaria para este crédito. materiales cementantes suplementarios se consideran material reciclado pre-consumidor, y se reciclan los agregados de un proyecto demolido se consideran material reciclado post-consumo.

#### 12.1.5 LEED Crédito MR-C5.1 y C5.2 MR-regional

**Materiales--** La intención de este crédito es aumentar la demanda para la construcción de productos que se extraigan y fabriquen localmente, reduciendo de este modo el medio ambiente impactos como resultado de su transporte y el apoyo a la economía local. Para cumplir con la intención de este requisito, el 10% (basado en el precio) de los materiales totales deben ser cosechadas, se extrae, o recuperado a menos de 500 millas (805 km) del sitio del proyecto. Un punto adicional es otorgado por materiales de la región 20%. La mayoría de los materiales en el concreto permeable y más otro concreto se consideran materiales de la región. Proyectos con grandes cantidades de hormigón pueden cumplir los 10% o 20% de materiales regionales requeridos para cumplir con este crédito (Fig. 12.3).

## Capítulo 13-REFERENCIAS

### 13.1 con referencia a las normas e informes

Los documentos de las diversas organizaciones de normalización a los que se hace referencia en este documento se enumeran a continuación con sus designaciones de serie. Los usuarios de este documento deben consultar directamente con el grupo patrocinador si se desea hacer referencia a la última revisión.

Asociación Americana de Carreteras y Transporte Funcionarios Estatales (AASHTO)

M-157 Especificación Estándar para hormigón premezclado T-180

Método Estándar de Ensayo de Relaciones de humedad densidad de los suelos Uso de un 4,54 kg Rammer (10-lb) y un 457-mm (18 pulg.) Gota

American Concrete Institute

301 Especificaciones para Hormigón Estructural

Guía 325.12R de diseño de pavimentos de hormigón articulados para calles y carreteras locales Guía 330R para el diseño y la construcción del concreto

Estacionamientos

522,1 Especificación para pavimento de concreto permeable

ASTM International

/ Método de prueba estándar para C29M C29 Densidad aparente (-Unit WeightII) y huecos en Aggregate

C33 / C33M Especificación estándar para la agregación de hormigón puertas

C39 / Método de prueba estándar para la compresión C39M Fuerza de probetas de hormigón cilíndricos

Método de prueba C42 / C42M tipo para la obtención y Núcleos Perforados pruebas y aserradas vigas de hormigón

Especificación C94 / C94M estándar para premezclado Hormigón

C131 Método de prueba estándar para resistencia a la degradación de tamaño pequeño agregado grueso por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles

Método de prueba C138 / C138M estándar para la densidad (Unidad Peso), Rendimiento y Contenido de Aire (gravimétrico) de hormigón

C140 Métodos de prueba estándar para las unidades de mampostería de concreto de muestreo y ensayo y unidades relacionadas

C150 / C150M Especificación estándar para Portland Cement C171

Especificación estándar para materiales de la hoja para el Curado del Concreto

C260 Especificación estándar para incorporador de aire Aditivos para Hormigón

C494 / C494M Estándar Especificación para Química Aditivos para Hormigón

C595 / C595M Especificación Estándar para Blended Cementos hidráulicos

C618 Especificación estándar para el carbón y cenizas volantes crudo o calcinada puzolana natural para hormigón



Método de prueba estándar C666 / C666M para la resistencia de	Concreto para una rápida congelación y descongelación
C989	Especificación estándar para el cemento de escoria para uso en morteros de hormigón y
C1157 / C1157M	Especificaciones estándar de rendimiento para Cemento hidráulico
C1240	Especificación estándar para el humo de sílice usados en las mezclas de cemento
c1399	Método de prueba estándar para la obtención residual media-resistencia del hormigón reforzado con fibra
/ Método de prueba estándar para determinar la densidad C1688M c1688 y Vacío	
	Contenido de concreto permeable Recién Mezclado
D422	Método de prueba estándar para el análisis de tamaño de partículas de Suelos
D448	Clasificación Uniforme para los tamaños de agregados para la construcción de carreteras y puentes
D698	Métodos de prueba estándar para características Laboratory compactación del suelo Usando Esfuerzo estándar (12.400 ft-lbf / ft 3 (600 kN-m / m 3))
D1557	Métodos de prueba estándar para características Laboratory compactación del suelo Usando Esfuerzo modificado (56.000 ft-lbf / ft 3 ( 2700 kN-m / m 3))
D1883	Método de prueba para CBR (California Bearing Ratio) de laboratorio de suelos compactados
D2487	Práctica estándar para la clasificación de los suelos para la ingeniería Propósitos (Sistema Único de Clasificación de Suelos)
D3385	Método de prueba estándar para la infiltración Tasa de suelos en campo usando doble anillo Infiltrómetro
E1050	Método de prueba para la impedancia y absorción de materiales acústicos usando un tubo, dos micrófonos y un sistema de análisis de frecuencia digital

Estas publicaciones pueden obtenerse de las siguientes organizaciones:

Asociación Americana de Carreteras y Transporte Funcionarios Estatales (AASHTO)  
444 North Capitol Street NW, Suite 249 Washington,  
DC 20001 www.aashto.org

American Concrete Institute 38800  
Country Club Drive Farmington Hills,  
MI 48331 www.concrete.org

ASTM International 100  
Barr Harbor Dr.  
West Conshohocken, PA 19428  
www.astm.org

### 13.2 citados referencias

- AASHTO, 1993, *De estilo para construir de las estructuras de pavimento*, Washington, DC, 640 pp.
- Ahmad, SH, y Shah, SP, 1985, -Estructuras Propiedades de alta hormigón de resistencia y sus implicaciones para Precast concreto pretensado, *II Diario PCI, V. 30, No. 6, Nov./Dec., Pp. 92-119.*
- Ashley, E., 2008, -Uso de concreto permeable para lograr puntos LEED, *II Nacional Ready Mixed Concrete Association, Invierno.*
- Comisión Regional de Atlanta de 2001, *Manual de Georgia Gestión de aguas pluviales*, pp. 3,3-33 y 3,3-40. Baas, WP, 2006, -Pervious hormigón durabilidad del pavimento en una superficie de congelación-descongelación Medio Ambiente, donde la lluvia, nieve y tormentas de hielo son acontecimientos comunes, *II Ohio premezclado Concrete Association, 4 págs.*
- Backstrom, M., 2000, *Temperatura -Planta en Porous pavimento durante la congelación y Thawing. II Revista de Ingeniería de Transporte, V. 126, No. 5, Sept./Oct, pp. 375-381.* Bell, FG, 1993, *Tratamiento de ingeniería de suelos*, Taylor y Francis, 302 pp.
- Bhayani, B .; Holsen, TM; y Neithalath, N., 2007,  
- Las investigaciones sobre la eficiencia de los hormigones de porosidad mejoradas en la contención de derrames de hidrocarburos vehicular, *II Las actuaciones en el CD de la Conferencia Internacional sobre Sostenibilidad de Materiales y Estructuras, Coventry, Reino Unido, 8 págs. Brite Informe / Euram, 1994, Propiedades -Superficie de Carreteras concreto conforme a la Seguridad del Tráfico y la Reducción de Ruido, II Brite / Euram Proyecto BE3415, 138 pp. Crouch, L.*
- K .; Cates, MA; Dotson, VJ; Honeycutt, KR;  
y Badoe, DA, 2003, para medida del aire eficaz Contenido en huecos de **Cemento Portland permeables pavimentos, II Cemento, concreto y agregados, V. 25, No. 1, pp. 16-20.** Crouch, LK; Smith, N .; Walker, AC; Dunn, TR; y Sparkman, A., 2006, -determinar permeable PCC permeabilidad con un simple triaxial flexible de pared principales constantes **permeámetro, II TRB 85th Annual Meeting Compendio de Documentos, 18 pp.** Das, B., 1993, *Principios de Ingeniería del Terreno,*
- PWS Publishing Co., Boston, MA, p. 146. Debo, TN, y Reese, AJ, 2002, *Tormenta Municipal de Gestión del Agua, segunda edición, CRC Press, 976 pp.*
- Delatte, N .; Miller, D .; y Mrkajic, A., 2007, -Campo Rendimiento **Investigación en estacionamiento y Vial Pavimentos: Informe Final, II RMC Investigación y Fundación para la Educación, 79 pp.**
- Deo, O .; Bhayani, B .; Holsen, TM; y Neithalath, N., 2008, -Modelado la retención de los hidrocarburos en Hormigones porosidad mejoradas, *II Actas del hormigón NRMCA Technology Forum, Denver, CO.*
- Erickson, S., 2006, -Pervious hormigón pruebas de durabilidad, *II Reporte técnico, Concrete Viesko Calidad, Salem, OR, 6 pp.*
- Concreto Florida y la Asociación de Productos (FCPA), 1990, *Manual de pavimento permeable, Orlando, FL, 57 pp.*
- Ferguson, BK, 1994, *La infiltración de aguas pluviales, CRC Press, 288 pp.*

Ferguson, BK, 1998, **Introducción a las aguas pluviales: Concepto, Objeto, Diseño**, Wiley, 272 pp. Ferguson, BK, 2005, **Los pavimentos porosos**, Taylor & Francis, Nueva York, 600 pp.

Francis, AM, 1965, **edificios de hormigón -Primeros en Gran Bretaña**, *II Concreto y de construcciones de ingeniería*, Londres, V. 60, No. 2, febrero, pp. 73-75.

Ghafoori, N., 1995, **-Desarrollo de no-fines de hormigón instalaciones de pavimento**, *II Revista de Ingeniería de Transporte*, V. 126, No. 3, mayo-junio, pp. 283-288. Haselbach, LM, y Freeman, RM, 2006, **II verticales porosidad Distribuciones de pavimento de concreto permeable**, *II Materiales*, ACI Journal, V. 103, No. 6, Nov.-Dic., Pp. 452-458. Haselbach, LM; Valavala, S. ; y Montes, F., 2006,

- Las predicciones de permeabilidad para Sand obstruidos Portland Cement permeables **Sistemas de pavimento de hormigón**, *II Diario de Gestión Ambiental*, V. 81, No. 1, pp. 42-49. Herodes, S., 1981, **-Porous Blooms mercado del hormigón en invernadero**, *II Hormigón moderna*, Marzo, pp. 40-44.

Houlsby, CA, 1990, **Construcción y diseño de Lechada de cemento**, John Wiley and Sons, 442 pp.

Jing, Y., y Guoliang, J., 2003, **Estudios sobre -Experimental Propiedades del concreto permeable materiales del pavimento**, *II Cemento y Hormigón de Investigación*, V. 33, No. 3, pp. 381-386. Kevern, JT, y Schaefer, VR 2008, **-Temperatura de respuesta en un sistema concreto permeable diseñado para el tratamiento de aguas pluviales**, *II Actas de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles GeoCongress*, Nueva Orleans, LA, pp. 1137-1144.

Korhonen, CJ, y Bayer, JJ, 1989, **-Porous Hormigón Cemento Portland como una superposición pista del aeropuerto**, *II Informe Especial 89-12*, Ejército de Estados Unidos Regiones Investigación Fría y Laboratorio de Ingeniería, Hanover, NH, 20 pp Little, DN.; Varón, EH; Prusinski, JR; y Stewart,

B., 2000, **-Cementitious Estabilización**, Comité TRB A2J01, II 7 pp.

Baja, K. ; Harz, D. ; y Neithalath, N., 2008, **Caracterización -Statistical de la estructura porosa de hormigones porosidad mejoradas**, *II Actas del hormigón NRMCA Technology Forum*, Denver, CO.

Mahboub, K. ; Canler, J. ; Rathbone, R. ; Robl, T. ; y Davis, B., 2008, **-Los efectos de la compactación y Agregada de gradación en concreto permeable**, *II Actas del hormigón NRMCA Technology Forum*, Denver, CO. Malhotra, VM, 1969, **-A bajo costo de construcción de hormigón**, *II*

*Engineering News Record*, pp. 62-63.

Malhotra, VM, 1976, **-no-Fines de hormigón y sus propiedades y aplicaciones**, *II ACI JOURNAL*, Actas, V. 73, No. 11, noviembre, pp. 628-644.

Marolf, A. ; Neithalath, N. ; Vender, E. ; Wegner, K. ; Weiss, J. ; y Olek, J., 2004, **-Influencia de agregado de gradación en la absorción acústica de hormigón porosidad mejorada**, *II Materiales ACI Journal*, V. 101, No. 1, -Feb de enero, pp. 82-91. Mata, L., y Leming, M., 2008, **Efectos -Sedimentation en concreto permeable**, *II Actas de la Asociación de Hormigón Hormigón 2008 National Ready Technology Forum*, Denver, CO.

Mathis, DE, 1990, **Bases-permeables Una actualización**, *II PCA*, No. 8, noviembre, pp. 3-4. Maynard, DP, 1970, **-a no-fines Road**, *II La construcción de hormigón*, V. 15, No. 3, pp. 116-117. Medico, JJ, Jr., 1975, **-Porous Pavement**, *II Patente de Estados Unidos No. 3.870.422.*

Meininger, R, 1988, **-no-Fines concreto permeable para pavimentación**, *II Concrete International*, V. 10, agosto, pp. 20-27. Monahan, A., 1981, **-Porous hormigón de cemento Portland; el estado del arte**, *II Ingenieros del Ejército de Estados Unidos Estación Experimental de Navegación, Laboratorio de Estructuras, Vicksburg, MS.*, enero, 27 pp.

Montes, F. y Haselbach, LM, 2006, **para medida de la conductividad hidráulica en concreto permeable**, *II Ambiental Engineering Science*, De noviembre de 2006. Montes, F. ; Valavala, S. ; y Haselbach, LM, 2005, **Método de prueba para -A Nueva mediciones de porosidad del cemento Portland concreto permeable**, *II Journal of ASTM International*,

De enero, V. 2, No. 1.

Mulligan, A., 2005, **Resistencia a la compresión del concreto permeable -Attainable pavimentación Sistemas**, *II la tesis de maestría de la Universidad de Florida Central*, 132 pp. Ready Mixed Concrete Association Nacional (NRMCA),

2004, **Resistencia -Freeze-descongelación de concreto permeable**, *II Silver Spring*, MD, 17 pp.

Ready Mixed Concrete Association Nacional (NRMCA), 2007, **texto de referencia para la certificación permeable contratista de hormigón**, 2PPCRT **Publicación**, NRMCA, Silver Spring, MD, Feb., 60 pp.

Neithalath, N., 2004, **-Desarrollo y caracterización de acústicamente eficientes materiales cementantes**, *II Tesis doctoral*, Universidad de Purdue, West Lafayette, IN, 269 pp. Neithalath, N. ; Weiss, WJ; y Olek, J., 2003,

- **Desarrollo de tranquilidad y duradero poroso hormigón de cemento Portland materiales de pavimentación**, *II Reporte final*, *El Instituto de seguro, tranquilo, y Autopistas duraderos*, 179 pp. Neithalath, N. ; Weiss, WJ; y Olek, J., 2005a, **-Modifying la textura de superficie para reducir el ruido en Portland pavimentos de hormigón de cemento**, *II Informe No. SN 2878*, *Asociación de Cemento Portland*, Skokie, IL, 67 pp. Neithalath, N. ; Weiss, J. ; y Olek, J., 2005b, **-Modelado los Efectos de la estructura de poros de la absorción acústica de hormigón La porosidad mejorada**, *II Diario de Tecnología Avanzada de hormigón*, *Japón Concrete Institute*, V. 3, No. 1, febrero, pp. 29-40.

Neithalath, N. ; Weiss, J. ; y Olek, J., 2006, **-Characterizing hormigón porosidad mejorada El uso de Impedancia Eléctrica para predecir su rendimiento acústico y hidráulico**, *II Cemento y Hormigón de Investigación*, V. 36, No. 11, pp. 2074-2085. Nelson, PM, y Phillips, S., 1994, **-Diseñar porosos superficies de carretera para reducir el ruido del tráfico**, *II Transportation Research Laboratory Annual Review*, TRL, Cuervo Thorne, Inglaterra, 58 pp.

Nissoux, JL; Gnagne, C. ; Marzin, J. ; Lefebvre, J.-P. ; y Pipien, G., 1993, **-A permeable Hormigón Cemento A continuación la capa de rodadura 73 dB (A)**, *II Actas de la Quinta Conferencia Internacional sobre el pavimento de hormigón y Rehabilitación*, Universidad de Purdue, IN, V. 2, pp. 269-284.

Offenberg, M. 2005a, productoras permeables pavimentos, *II Concrete International*, V. 27, No. 3, marzo, pp. 50-54. Offenberg, M., 2005b, *Acera Hormigón -Pervious de permisos*, *II Desarrollo de la Tierra Hoy en día*, V. 1, No. 8, agosto, pp. 6-10.

Offenberg, M., y Davy, M., 2008, -Desarrollo de un método de ensayo para la evaluación de la durabilidad de la superficie de concreto permeable, *II Actas de la Asociación Nacional de Concreto Concreto premezclado Technology Forum*, Denver, CO, 30 pp.

Onstenk, E. ; Aguado, A. ; Eickschen, E. ; y Josa, A., 1993, Estudio -Laboratorio de hormigón poroso para su uso como la capa superior de los pavimentos de hormigón, *II Actas de la Quinta Conferencia Internacional sobre el pavimento de hormigón y Rehabilitación*, Universidad de Purdue, IN, V. 2, pp. 125-139. Paine, JE, 1990, Guía de diseño -Stormwater, cemento Portland permeable pavimento, hormigón *II Florida y asociación de los productos*, Orlando, FL, 13 pp.

Pindado, MA; Aguado, A. ; y Josa, A., 1999, Comportamiento -Fatigue de hormigones porosos modificado con polímeros, *II Cemento y Hormigón de Investigación*, V. 29, No. 7, pp. 1077-1083. Pratt, C. ; Wilson, S. ; y Cooper, P., 2002, Control -Source Uso Construida permeables superficies. Hidráulico, estructural y Calidad Rendimiento temas de agua, *II CIRIA*, 152 pp.

Fundación de Investigación RMC, 2006, Guía de Referencia LEED industria del hormigón premezclado, Silver Spring, MD. Rushton, B., 2000, -Bajo Impacto Estacionamiento Diseño reduce la escorrentía y cargas contaminantes, *II Southwest Florida Water Management District*, Brooksville, FL, 225 pp Schaefer, VR.; Wang, K. ; Suleiman, MT; y Kevern,

JT 2006, -Mix Diseño Desarrollo de concreto permeable en climas fríos, *II hormigón Centro Nacional de Tecnología de Pavimentos*, 85 pp.

SI Concrete Systems, 2002, -Fiber reforzado con concreto permeable, *II Proyecto 2120-36*, Chattanooga, TN, octubre 25. Soil Conservation Service, 1986, -Urban Hidrología cuencas pequeñas, *II lanzamiento técnico No. 55*, Soil Conservation Service, Departamento de Agricultura de Estados Unidos, Washington,

DC, 160 pp.

Distrito de San Juan del Río Agua Gestión (SJRWMD), 1999, *Manuales del solicitante: La regulación de los sistemas de gestión de aguas pluviales*, Palatka, FL, 285 pp. Suleiman, M. ; Kevern, J. ; Schaefer, VR; y Wang, K.,

2006, -Efecto de compactación Energía sobre Propiedades concreto permeable, *II Actas del Foro Tecnología NRMCA concreto: se centran en concreto permeable*, Nashville, TN, 8 pp. Tamai, M. ; Mitzuguchi, H. ; Hatanaka, S. ; Katahira, H. ; Makazawa, T. ; Yanagibashi, K. ; y Kunieda, M., 2004,

- Diseño, construcción y aplicaciones recientes de hormigón poroso en Japón, *II Actas del Simposio de la JCI en diseño, construcción, y aplicaciones recientes de hormigón poroso*, Japón Concrete Institute, Tokio, 15 pp.

US Bureau of Reclamation, 1947, -La durabilidad del hormigón poroso, *II Materiales Laboratorios Informe No. 3-369*,

Departamento del Interior de EE.UU., Washington, DC. Valavala, S. ;

Montes, F. ; y Haselbach, LM, 2006,

- Área nominal valores del coeficiente de Rational para el cemento Portland **pavimento de concreto permeable**, *II Revista de Ingeniería Hidrológica, ASCE*, V. 11, No. 3, pp. 257-260. Wang, K. ; Schaefer, VR; Kevern, JT; y Suleiman,

**METRO. T., 2006, -Desarrollo de mezcla Proporción de concreto permeable funcional y duradero**, *II Actas del Foro Tecnología NRMCA concreto: se centran en concreto permeable*, Nashville, TN, 12 pp. Wang, K. ; Kevern J. ; y Schaefer, V., 2008, -Self La consolidación de concreto permeable para aplicaciones de superposición, *II*

Proceedings of the Nacional de hormigón premezclado Concrete Association Technology Forum, Denver, CO. Wanielista, M. ; Chopra, M. ; Offenberg, M. ; Spence, J. ; y Ballock, C., 2005, -Performance de Pavimentos de concreto permeable, *II Presentación: Gestión de aguas pluviales de autopistas*, Transportation Research Board TRB AFB60, Washington, DC.

Wanielista, M. ; Chopra, M. ; Spence, J. ; y Ballock, C., 2007, Evaluación de Desempeño -Hidráulico de Pavimentos de concreto permeable para las aguas pluviales de gestión de crédito, *II Academia de Gestión de aguas pluviales*, Universidad de Florida Central, 81 págs. Weaver, K., 1991, *Presa Fundación Lechada*, ASCE Press, pp. 29-30.

Wimberley, JD; Leming, ML; y Núñez, RA, 2001, Evaluación de la mecánica y propiedades hidrológicas de alta huecos concreto permeable, Universidad del Estado de Carolina del Norte, Raleigh, Carolina del Norte, 39 págs. Winer, RR, 2000, Base de datos de eliminación de contaminantes para las prácticas de tratamiento de aguas pluviales, segunda edición, Centro para la Protección de la Cuenca, Ellicott City, MD, 29 págs. Wingerter, R., y Paine, JE, 1989, *El campo Rendimiento Investigación, Cemento Portland permeable pavimento, concreto y asociación de los productos*, Orlando, FL, 16 págs. Yang, J., y Jiang, G., 2003, Estudio -Experimental sobre las propiedades de concreto permeable materiales del pavimento, *II*

*Cemento y Hormigón de Investigación*, V. 33, pp. 381-386. Yang, Z. ; Brown, H. ; y Cheney, A., 2006, -Influencia de humedad Condiciones de congelación y descongelación Durabilidad de Cemento Portland concreto permeable, *II Actas del Foro Tecnología NRMCA concreto: se centran en concreto permeable*, 15 pp.

Yen, PT; Sundaram, PN; y Godwin, WA, 2002, - Pumped-in-Place Permeable Grout Systems, Permeación Lechada, *II Bechtel Corporación de Grant técnica*, pp. 1-44. Zouaghi, A. ; Kumagai, M. ; y Nakazawa, T., 2000,

- Fundamental El estudio sobre algunas propiedades del concreto permeable y su aplicabilidad al control de las aguas pluviales de escorrentía, *II*

*Transacciones de la Concrete Institute de Japón*, V. 22.



Institute American Concrete®  
Advancing concrete knowledge

Como ACI comienza su segundo siglo de avanzar en el conocimiento concreto, su propósito original permanece fletado: para proporcionar una camaradería en la búsqueda de las mejores maneras de hacer el trabajo concreto de todo tipo y en la difusión del conocimiento." En consonancia con este objetivo, ACI apoya las siguientes actividades :

- Los comités técnicos que producen informes de consenso, guías, especificaciones y códigos.
- convenciones de primavera y otoño para facilitar la labor de sus comités.
- seminarios educativos que difunden información fiable sobre el hormigón.
- Los programas de certificación para el personal empleado en la industria del hormigón.
- programas de los estudiantes, como becas, pasantías, y concursos.
- Patrocinio y co-patrocinio de conferencias y simposios internacionales.
- La coordinación formal con varias sociedades internacionales relacionadas con hormigón.
- Publicaciones periódicas: la ACI Journal Estructural y de Materiales de la ACI Journal, y Concrete International.

Beneficios de la membresía incluyen una suscripción a Concrete International ya una ACI Journal. miembros de ACI reciben descuentos de hasta el 40% en todos los productos y servicios de ACI, incluyendo documentos, seminarios y cuotas de inscripción convención.

Como miembro de la ACI, se une a miles de practicantes y profesionales de todo el mundo que comparten el compromiso de mantener los más altos estándares de la industria para la tecnología del hormigón, la construcción y las prácticas. Además, los capítulos ACI proporcionan oportunidades para la interacción de los profesionales y los profesionales en el ámbito local.

American Concrete Institute 38800  
Country Club Drive Farmington Hills, MI  
48331  
EE.UU.  
Teléfono: 248-848-3700  
Fax: 248-848-3701

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

# Informe sobre concreto permeable

## El American Concrete Institute

fue fundada en 1904 como una organización sin fines de lucro dedicada al servicio público y que representa el interés del usuario en el campo del hormigón. ACI reúne y distribuye información sobre la mejora del diseño, construcción y mantenimiento de productos y estructuras de hormigón. El trabajo de ACI se lleva a cabo por los distintos miembros de ACI y a través de comités de voluntarios compuestas de ambos miembros y no miembros.

Los comités, así como ACI en su conjunto, operan bajo un formato de consenso, lo que asegura a todos los participantes el derecho a que su opinión sea considerada. Las actividades del comité incluyen el desarrollo de códigos y especificaciones de construcción; análisis de los resultados de investigación y desarrollo; presentación de las técnicas de construcción y reparación; y educación.

Se anima a las personas interesadas en las actividades de la ACI para convertirse en un miembro. No hay requisitos de educación o empleo. Los miembros de ACI se componen de ingenieros, arquitectos, científicos, contratistas, educadores y representantes de diversas empresas y organizaciones.

Se anima a los miembros a participar en las actividades del comité que se relacionan con sus áreas específicas de interés. Para obtener más información, póngase en contacto con el ACI.

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



**Instituto Americano de Concreto**

Adjoining concrete knowledge