



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**DESARROLLO Y USO DE BLOQUES DE CONCRETO PERMEABLE EN  
SENDEROS ECOLÓGICOS**

**Natalia Ixchel Rodas Ralda**

Asesorado por la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Guatemala, agosto de 2012



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DESARROLLO Y USO DE BLOQUES DE CONCRETO PERMEABLE EN  
SENDEROS ECOLÓGICOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**NATALIA IXCHEL RODAS RALDA**

ASESORADO POR LA INGA. DILMA YANET MEJICANOS JOL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA CIVIL**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2012



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Linares Cruz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

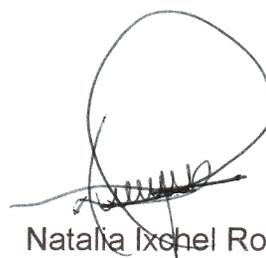


## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### DESARROLLO Y USO DE BLOQUES DE CONCRETO PERMEABLE EN SENDEROS ECOLÓGICOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha mayo de 2011.



Natalia Ixchel Rodas Ralda





Guatemala, 4 de mayo de 2012

Ingeniero  
Guillermo Francisco Melini Salguero  
Área de Materiales y Construcciones Civiles  
COORDINADOR

Ingeniero Melini

Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación **DESARROLLO Y USO DE BLOQUES DE CONCRETO PERMEABLE EN SENDEROS ECOLÓGICOS**, elaborado con la estudiante universitaria Natalia Ixchel Rodas Ralda, quien contó con la asesoría de la suscrita.

Considerando que el trabajo desarrollado por la estudiante universitaria Rodas Raldas, satisface los requisitos exigidos en el reglamento de graduación, por lo cual recomiendo su aprobación.

Atentamente,

*"Id y enseñad a todos"*

  
Inga. Civil Dilma Yanet Mejicanos Jol  
Col. 5947  
ASESORA

*Dilma Y. Mejicanos Jol*  
Ingeniera Civil  
Col. 5947





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,  
4 de julio de 2012

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director Escuela Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **DESARROLLO Y USO DE BLOQUES DE CONCRETO PERMEABLE EN SENDEROS ECOLÓGICOS** desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil Natalia Ixchel Rodas Ralda, quien contó con la asesoría de la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

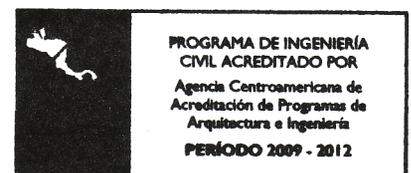
  
Ing. Civil Guillermo Francisco Melini Saiz  
Coordinador del Área de Materiales  
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE MATERIALES Y  
CONSTRUCCIONES CIVILES  
USAC

/bbdeb.

Más de 130<sup>Años</sup> de Trabajo Académico y Mejora Continua



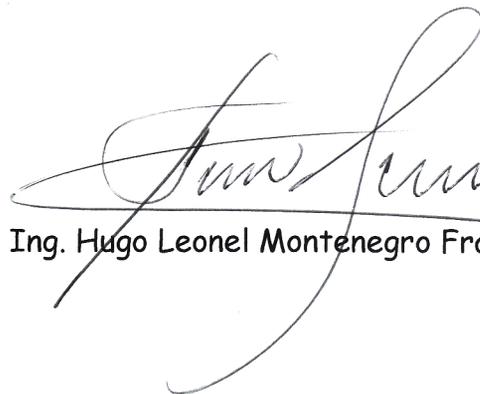




UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
www.ingenieria-usac.edu.gt



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de la Asesora Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero al trabajo de graduación de la estudiante Natalia Ixchel Rodas Ralda, titulado **DESARROLLO Y USO DE BLOQUES DE CONCRETO PERMEABLE EN SENDEROS ECOLÓGICOS**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, julio de 2012.

/bbdeb.

Más de 130<sup>Años</sup> de Trabajo Académico y Mejora Continua







DTG. 368.2012

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DESARROLLO Y USO DE BLOQUES DE CONCRETO PERMEABLE EN SENDEROS ECOLÓGICOS**, presentado por la estudiante universitaria **Natalia Ixchel Rodas Ralda**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 8 de agosto de 2012

/gdech





## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Mis padres</b>	Edgar Heddy Rodas López y Ana Luisa Ralda Porras de Rodas. Por siempre confiar en mí y brindarme todo el apoyo necesario para cumplir esta meta.
<b>Mis abuelos</b>	Ana Maria Porras Ovalle (q.e.p.d.), de una u otra manera siempre estás conmigo y ahora sé que celebras este logro junto a nosotros. Antonio Ralda, Lucinda Lopez, Oswaldo Rodas (q.e.p.d.).
<b>Mi hermana</b>	Tania Rodas, como un ejemplo que con esfuerzo y dedicación se pueden alcanzar las metas.
<b>Mis tíos</b>	Por siempre brindarme su apoyo y consejos.
<b>Mis primos</b>	Para que este logro sirva de ejemplo en su vida profesional.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por su fidelidad y darme la fuerza para llegar más allá de mis expectativas.
<b>Luis Calero</b>	Por tu paciencia, cariño y siempre estar a mi lado creyendo en mí.
<b>Mis amigos</b>	Porque este camino no hubiera sido lo mismo sin ustedes. Sergio sin tu ayuda incondicional, este trabajo no hubiera sido posible. Marielos, Byron, Abraham y Luis Daniel, hicieron de mi trayecto en la universidad algo inolvidable.
<b>Mi asesora</b>	Inga. Dilma Mejicanos, por su paciencia y apoyo en este trabajo de graduación.
<b>La Facultad de Ingeniería</b>	Por prepararme académicamente.
<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Gloriosa y tricentenaria casa de estudios que me inspiró a finalizar esta carrera.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV
1. MARCO TEÓRICO .....	1
1.1. Agua subterránea .....	1
1.2. Fuentes del agua subterránea .....	3
1.3. Factores condicionantes del agua subterránea .....	4
1.4. Disminución del nivel freático como consecuencia de impermeabilización de calles y avenidas.....	5
1.5. Escorrentía derivada de la impermeabilización de calles y avenidas, y sus consecuencias .....	6
1.6. Definición del concreto permeable.....	7
1.7. Características físicas y propiedades mecánicas del concreto permeable.....	8
1.7.1. Resistencia a compresión.....	8
1.7.2. Resistencia a flexión.....	10
1.7.3. Densidad del concreto .....	11
1.7.4. Porosidad.....	11
1.7.5. Durabilidad.....	13
1.8. Usos del concreto permeable .....	13
1.9. Materiales utilizados para su elaboración .....	15

1.9.1.	Cemento.....	15
1.9.2.	Agregado grueso.....	20
1.9.3.	Agregado fino.....	22
1.9.4.	Aditivos.....	23
1.9.5.	Agua.....	26
1.10.	Ensayos a concreto fresco.....	27
1.10.1.	Revenimiento.....	27
1.10.2.	Peso unitario.....	28
1.10.3.	Elaboración de cilindros.....	29
1.11.	Ensayos en laboratorio al concreto.....	30
1.11.1.	Ensayo a compresión.....	30
1.11.2.	Ensayo a flexión.....	31
1.11.3.	Permeabilidad.....	32
2.	MARCO METODOLÓGICO.....	37
2.1.	Materiales utilizados en el estudio.....	37
2.1.1.	Cemento.....	37
2.1.2.	Agregado grueso.....	38
2.1.3.	Agregado fino.....	39
2.1.4.	Aditivo.....	40
2.2.	Elaboración de mezcla.....	40
2.3.	Informe de realización de mezcla.....	42
2.4.	Curado.....	44
3.	TABULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	45
3.1.	Ensayos al concreto.....	45
3.1.1.	Diseño de mezcla.....	45
3.1.2.	Ensayos de laboratorio.....	49
3.1.2.1.	Ensayos a concreto fresco.....	49

3.1.2.2. Ensayos a concreto endurecido .....	54
CONCLUSIONES .....	67
RECOMENDACIONES .....	69
BIBLIOGRAFÍA .....	71
APÉNDICE .....	73



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Zonas de agua subterránea .....	1
2.	Esfuerzo de compresión vs. contenido de aire.....	9
3.	Esfuerzo de flexión vs. contenido de aire.....	10
4.	Filtración de agua vs. contenido de aire.....	12
5.	Prueba de peso unitario según ASTM C 1688 .....	29
6.	Prueba de permeabilidad según ASTM C 1701 .....	33
7.	Anillo de infiltración .....	34
8.	Cemento utilizado en diseños de mezcla .....	37
9.	Agregado grueso utilizado en diseños de mezcla .....	38
10.	Agregado fino utilizado en diseños de mezcla .....	40
11.	Mezcla de concreto permeable .....	41
12.	Elaboración de mezcla de concreto permeable .....	43
13.	Peso unitario del concreto permeable fresco .....	51
14.	Temperatura del concreto permeable fresco.....	54
15.	Cilindros de concreto permeable para ensayo a compresión.....	55
16.	Ensayo a flexión de concreto permeable .....	58
17.	Ensayo a impacto de concreto permeable .....	61
18.	Ensayo de permeabilidad de concreto permeable .....	63

## TABLAS

I.	Límites de granulometría para el agregado fino .....	24
II.	Normas que regulan los aditivos según su función.....	24
III.	Clasificación de aditivos por las propiedades que modifican .....	25
IV.	Factores de corrección según relación longitud/diámetro.....	30
V.	Proporciones del concreto permeable .....	41
VI.	Rangos de temperatura en concreto premezclado .....	53
VII.	Resultados de ensayos a compresión .....	56
VIII.	Resultados de ensayos a flexión .....	57
IX.	Aceptación de baldosa según Norma FHA .....	59
X.	Resultados de ensayos a impacto .....	60
XI.	Resultados de ensayos de absorción .....	62
XII.	Resumen de resultados pruebas a 28 días .....	66

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Absorción
<b>E</b>	Energía potencial
<b>R</b>	Módulo de ruptura
<b>P.U.</b>	Peso unitario
<b>P.V.</b>	Porcentaje de vacíos
<b>w/c</b>	Relación agua/cemento
<b>L/D</b>	Relación longitud/diámetro
<b>i</b>	Tasa de infiltración



## GLOSARIO

<b>ACI</b>	American Concrete Institute.
<b>ACI 522.1-08</b>	Especificaciones para Pavimentos de Concreto Permeable.
<b>ASTM</b>	<i>American Society for Testing and Materials.</i>
<b>Cemento Pórtland</b>	Es un cemento hidráulico que cuando se mezcla con áridos, agua y fibras de acero tiene la propiedad de conformar una masa resistente y duradera denominada concreto.
<b>Clinker</b>	Componente principal del cemento común. Su nombre surge por su color gris característico, igual que el de la piedra que existe en la región de Pórtland, Londres.
<b>Infiltración</b>	Movimiento del agua a través de la superficie del suelo hacia el interior de la tierra.
<b>FHA</b>	Instituto de Fomento de Hipotecas Aseguradas

<b>Litosfera</b>	Corresponde a la corteza terrestre, que es la capa sólida del planeta, formada por el relieve continental y oceánico.
<b>Litología</b>	Es la rama de la geología que se refiere a las rocas: el tamaño de grano, de las partículas y sus características físicas y químicas.
<b>Nivel freático</b>	Nivel donde la presión de agua de un acuífero es igual a la presión atmosférica.
<b>Puzolana</b>	Material con alto contenido de silicio o silicio-aluminio de origen natural o industrial, que una vez pulverizado en presencia de agua reacciona con el hidróxido de calcio del cemento formando a temperatura ambiente compuestos con propiedades hidráulicas permanentemente insolubles y estables.
<b>Presión hidrostática</b>	La presión que genera un fluido por su peso ejerciendo presión sobre la superficie del lugar donde está contenido y sobre cualquier objeto sumergido en él.
<b>Zona vadosa</b>	Zona del agua subterránea donde los poros del suelo pueden contener aire o agua, también conocida como zona de aeración o no saturada.

## RESUMEN

Con el aumento de la población en las áreas urbanas, se ha observado la impermeabilización gradual de las áreas que antes eran zonas de recargas de acuíferos. Es decir, la creación de carreteras, banquetas y caminos con pavimentos impermeables, ha provocado que el agua que antes se infiltraba al suelo, se convierta en escorrentía transportadora de sedimentos y contaminantes que son dirigidos a sistemas de recolección de aguas negras. En otros países tales como Estados Unidos y México, se trata de mitigar este problema con el uso del concreto permeable, el cual permite la infiltración del agua al suelo y hasta cierto punto actúa como colador impidiendo el paso de los sólidos que pueden ser removidos con un simple mantenimiento.

En este trabajo de investigación, se probaron tres diseños de mezcla a los cuales se les realizaron diversos ensayos para conocer sus propiedades físico-mecánicas. Se utilizaron rangos establecidos por normas internacionales de instituciones que han estudiado el comportamiento de este tipo de concreto. Se encontró un diseño de mezcla de concreto permeable, utilizando materiales que se comercializan en el país, que brindara un rango aceptable de infiltración y de resistencia en bloques que puedan ser utilizados en senderos donde se permita la infiltración (parques, áreas a la intemperie, etc.), y que se espere que la carga sea peatonal.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Desarrollar bloques de concreto permeable en senderos ecológicos, es decir en lugares de paso peatonal donde el agua precipitada pueda ser infiltrada.

### **Específicos**

1. Determinar los materiales que se deben utilizar para desarrollar bloques de concreto permeable para ser colocados en senderos peatonales que permitan la infiltración en áreas de la ciudad de Guatemala.
2. Encontrar la cantidad de agregados que se debe utilizar en la mezcla de concreto permeable de tal manera que cumpla con sus especificaciones mecánicas, así como la calidad con que estos agregados deben cumplir para garantizar su buen rendimiento, funcionamiento y durabilidad.
3. Determinar los factores que inciden en la tasa de infiltración para que el agua pueda pasar libremente en los bloques de concreto, sin que se afecte significativamente sus demás propiedades mecánicas.



## INTRODUCCIÓN

Como solución a la recuperación del manto freático y a la escorrentía superficial provocada por pavimentos de asfalto o concreto, que rara vez ofrecen filtración del agua pluvial, se ha implementado en algunos países el uso de concreto permeable, buscando la manera de incrementar la porosidad de este sin disminuir su resistencia a compresión y flexión.

El concreto permeable es un material que contiene alta porosidad, permitiendo que el agua pase directamente a través de este, reduciendo así la escorrentía superficial que generalmente evita la recarga de acuíferos. Este concreto se diseña a base de cantidades controladas de cemento, agregado grueso, agua y aditivos. El concreto permeable contiene bajas o nulas cantidades de agregado fino, lo que crea un contenido de vacío permitiendo el libre paso de agua. Para este tipo de concreto, se debe usar una baja relación agua/cemento ( $w/c$ ) con el fin de no bajar su resistencia y que no sea fluido.

En el caso de Guatemala, aún no se ha comercializado este tipo de concreto ya que se encuentra aun en etapa de investigación. Debido a que los problemas del decrecimiento del manto freático y aumento de escorrentía superficial creado por aguas pluviales se hace más notorio, es necesario promover el desarrollo y uso de este material en el área metropolitana del país.

Este documento presenta una propuesta para desarrollar una mezcla que permita alcanzar una permeabilidad adecuada sin que esta comprometa su resistencia, para que pueda ser utilizada en pasos peatonales localizados en áreas a la intemperie para comenzar a promocionar su uso en “áreas verdes”.

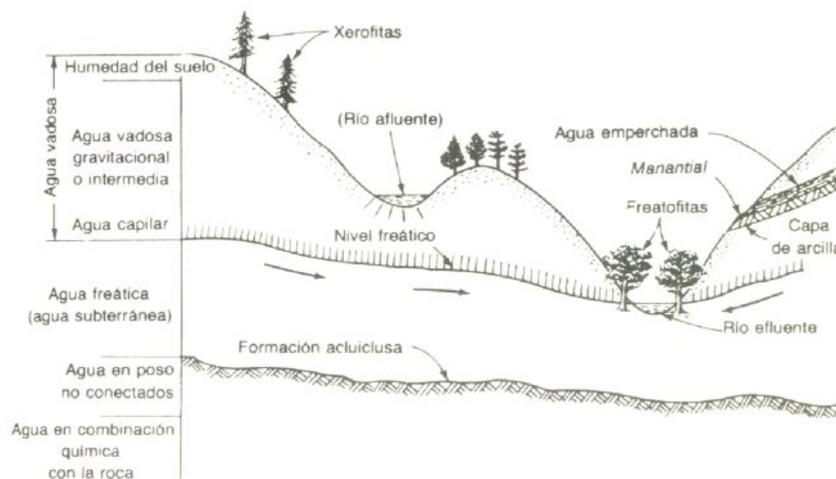


# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1. Agua subterránea

Dentro del ciclo hidrológico, un porcentaje de la precipitación forma parte de la circulación subterránea, la cual consiste en el agua que se encuentra dentro de la litosfera. Se considera que el agua subterránea esta relativamente libre de contaminación.

Figura 1. Zonas de agua subterránea



Fuente: LINSLEY Ray K.. Hidrología para ingenieros. p.157.

El agua subterránea se puede clasificar fácilmente separando dos regiones por una división irregular llamada nivel freático como se puede ver en la figura 1. Esta división es la superficie donde la presión hidrostática es igual a

la presión atmosférica. Por encima del nivel freático se encuentra la zona vadosa, también conocida como zona de aeración o no saturada, donde los poros del suelo pueden contener aire o agua. En la zona debajo del nivel freático, los poros del suelo están llenos de agua, por lo que esta zona también se conoce como zona de saturación o zona freática.

En la zona vadosa la humedad se reparte en tres regiones:

- Región húmeda del suelo: donde las raíces de las plantas penetran y está comprendida entre cero y diez metros de profundidad a partir de la superficie.
- Franja capilar: región que está por encima del nivel freático donde la tensión capilar provoca el ascenso del agua. Su espesor varía desde unos centímetros hasta algunos metros, dependiendo del tamaño de los poros del suelo.
- Región intermedia: donde los niveles de humedad permanecen constantes. Esta región se presenta si el nivel freático es profundo.

En la zona de saturación se encuentra el agua subterránea propiamente dicha. Dentro de esta zona, también conocida como manto freático todos, los espacios porosos están llenos de agua. La parte inferior de esta zona saturada está compuesta por una capa impermeable, la cual impide que el agua siga descendiendo.

## **1.2. Fuentes del agua subterránea**

La mayor parte del agua subterránea proviene de la precipitación pero también puede provenir de fuentes subterráneas. Entre estas fuentes se puede mencionar el agua que se encuentra presente en la roca durante su formación. Así mismo, pero en menores cantidades, existe agua que se forma químicamente dentro del subsuelo, por lo tanto nunca ha estado a la intemperie hasta que es traída a la superficie por rocas intrusivas, a esto se le denomina agua juvenil y también se le conoce como agua innata o agua fósil. Tanto el agua de formación como el agua juvenil con frecuencia contienen minerales indeseables.

El agua pluvial llega a formar parte del agua subterránea por infiltración y percolación de corrientes y lagos. La infiltración es el movimiento del agua a través de la superficie del suelo hacia el interior de la tierra, diferente de la percolación que es el movimiento del agua a través del suelo. La percolación directa es el proceso más efectivo en la recarga del agua subterránea donde los suelos son permeables o donde el nivel freático está cerca de la superficie del terreno.

En sitios donde la precipitación anual es baja y el nivel freático está a varios metros de la superficie, se puede esperar poca o ninguna recarga. En estas áreas, la infiltración del agua de los ríos a través de suelos permeables es posiblemente la mayor fuente de recarga.

El movimiento de agua en la zona de aeración se da una vez que el agua está en contacto con el suelo, luego el agua desciende a través de los espacios grandes, mientras que los más pequeños toman agua por capilaridad. A medida que estos poros capilares se llenan de agua, la tasa de infiltración disminuye.

En suelos homogéneos, la infiltración disminuye gradualmente hasta que la zona de aeración es saturada; pero en la mayoría de los casos, el suelo es estratificado y las capas inferiores son menos permeables que las capas superficiales, dando como resultado una tasa de infiltración igual a la tasa de percolación del estrato menos permeable.

### **1.3. Factores condicionantes del agua subterránea**

Existen varios factores que influyen en la infiltración del agua como la condición de la superficie del suelo y su cubierta vegetal, propiedades del suelo, tales como porosidad, permeabilidad y contenido de humedad presente en el suelo.

- Precipitación: es importante considerar la precipitación, si se toma en cuenta que la mayor fuente del agua subterránea. Existen dos aspectos importantes en la precipitación, su cantidad y duración.
- Forma del terreno: el relieve da lugar a la formación de las cuencas hidrográficas, formando así la ruta que seguirá el agua en la superficie.
- Geología: la velocidad de movimiento depende de la estructura y composición geológica de las formaciones, para que el agua pueda transitar por el subsuelo. Las propiedades más importantes son la porosidad y la permeabilidad.
- Vegetación: es un factor que influye en la infiltración y, por lo tanto, contribuye a la recarga del agua subterránea. Las raíces de las plantas y los animales en el suelo lo vuelven más poroso, volviéndolo más susceptible a la infiltración.

#### **1.4. Disminución del nivel freático como consecuencia de impermeabilización de calles y avenidas**

El crecimiento de ciudades es uno de los procesos que altera las condiciones naturales de una cuenca, modificando su ciclo hidrológico, impermeabilizando y compactando el suelo, cambiando los recorridos naturales de drenaje y aumentando la contaminación del agua. La población en las ciudades ha aumentado, volviendo evidente los problemas originados por la alteración del medio ambiente y su hidrología. En las ciudades, las aguas pluviales se han transformado en un problema, provocando daños por inundaciones.

Al observar una cuenca urbanizada se prevee que en ellas escurrirá un mayor volumen de agua, disminuyendo la infiltración y la humedad en el suelo, aumentando de esta manera los caudales máximos transportando así mayor cantidad de contaminantes.

Uno de los aspectos importantes es el incremento de la magnitud del caudal provocada por la precipitación y su frecuencia. Por un lado, esto se debe a que el nuevo uso del suelo aumenta la cantidad de áreas impermeables, incrementando la proporción que escurre de las aguas de lluvia. Por otro lado, la nueva infraestructura de la urbanización modifica el recorrido de la escorrentía conduciéndola a concentrarse aumentando su velocidad.

Toda esta impermeabilización urbana provoca que las aguas pluviales sean evacuadas a medios receptores, como ríos o lagos, lo que disminuye la infiltración en áreas que antes eran puntos de recarga del agua subterránea. La disminución en infiltración se refleja en disminución del nivel freático, siendo un

problema dado a que el agua subterránea es una fuente importante de suministro de agua para la población.

### **1.5. Escorrentía derivada de la impermeabilización de calles y avenidas, y sus consecuencias**

La urbanización en las cuencas ha provocado que el uso del suelo cambie de uno natural por uno urbano, modificando así la impermeabilización creando un aumento de la escorrentía superficial, especialmente cuando se presentan grandes precipitaciones. El incremento de la impermeabilidad reduce el tiempo de concentración de la escorrentía, aumentando el volumen de descarga inmediatamente después de comenzar la precipitación en una cuenca.

Para solucionar el problema de las altas escorrentías, se evacua las aguas pluviales por medio de desagües, pero eso solo traslada el problema, generando caudales cada vez mayores y contribuyendo a un mayor impacto de las aguas pluviales urbanas sobre los medios receptores. En los casos en que las áreas urbanas crecen hacia sectores que ya cuentan con un sistema de drenaje, estos van quedando obsoletos o son incapaces de operar con los mayores caudales que generan las nuevas zonas impermeabilizadas. Entonces, a medida que las ciudades crecen, la contaminación de las aguas pluviales y aguas negras incrementan y dado que generalmente su tratamiento es insuficiente o inexistente, se generan impactos negativos en el ambiente.

Es importante mencionar que el aumento de escorrentía provoca la elevación de erosión y transporte de sedimentos, lo que significa incremento de sólidos en inundaciones. El problema es que ahora, el agua pluvial no solo acarrea contaminantes obtenidos en la atmósfera, sino que al escurrir arrastra basura y erosiona los suelos. Las actividades de la ciudad agregan otros

contaminantes como residuos de los medios de transporte (aceites, combustibles, etc.), y aumentan la concentración de otros.

### **1.6. Definición del concreto permeable**

Las áreas urbanas están pavimentadas con asfalto o concreto, los que ofrecen poca o ninguna filtración del agua de lluvia. Esto provoca que la escorrentía ocurra rápidamente en áreas urbanas con volúmenes de agua grandes. Una solución al control de escorrentía por agua pluvial es el concreto permeable.

El concreto permeable es fabricado de cemento, agregado grueso, agua, aditivos y poco o ningún agregado fino, lo cual permite el paso de agua a través de él. Es decir, los vacíos creados en el concreto por la falta de agregado fino permite que el agua pase a través de él y al mismo tiempo este concreto funciona como filtro al retener los contaminantes sólidos, dando lugar a que estos puedan ser recolectados fácilmente durante su limpieza y mantenimiento. Cuando se usa concreto permeable, el agua de lluvia se filtra al suelo, recargando el nivel freático en lugar de fluir en forma de escorrentía superficial.

Es importante señalar que al remover el concreto permeable parte de los contaminantes sólidos, se previene que estos entren a los colectores de agua de lluvia. Sin embargo, el concreto permeable tiene los siguientes inconvenientes: requieren mayor mantenimiento que pavimentos regulares o concretos y los agregados que están entre las juntas pueden ser propensos a irse con el agua.

El concreto permeable ha sido utilizado en Estados Unidos por casi 40 años, así como en Australia y Europa, sin embargo, se le ha prestado mayor

atención a los problemas ambientales y esto ha ayudado al desarrollo de alternativas tales como el concreto permeable como solución a la contaminación y la erosión del pavimento debido al flujo del agua.

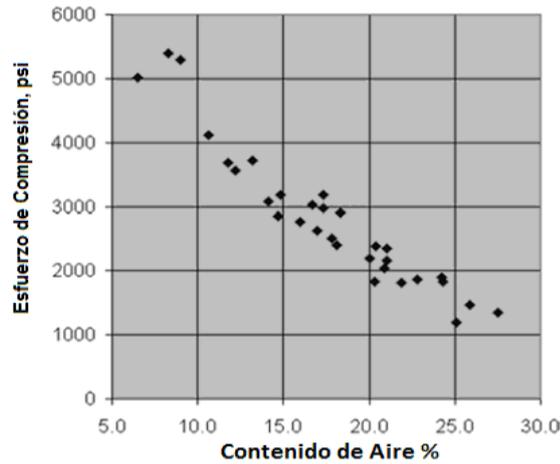
## **1.7. Características físicas y propiedades mecánicas del concreto permeable**

Las propiedades del concreto permeable dependen de su porosidad (contenido de aire) el cual depende el contenido de cemento, relación agua/cemento (w/c), nivel de compactación, y calidad de los agregados. Su contenido influirá en el desarrollo de su resistencia e infiltración, las propiedades más importantes de este concreto.

### **1.7.1. Resistencia a compresión**

La resistencia a compresión varía entre los 2,8 mega Pascales hasta 28 mega Pascales. La resistencia a compresión del concreto permeable se ve afectado por el diseño de mezcla y el esfuerzo de compactación. En otras palabras, sus propiedades físicas y mecánicas están en función de la calidad de los materiales, la proporción en que se usen y el esfuerzo de compactación que se utilice en la colocación del concreto. Un factor que incide considerablemente en la resistencia a compresión es el contenido de aire y está inversamente relacionado con su resistencia. El Comité ACI 522 ha realizado diferentes ensayos a cilindros para verificar la baja en la resistencia del concreto debido a su contenido de aire (véase figura 2).

Figura 2. **Esfuerzo de compresión vs. contenido de aire**



Fuente: Comité ACI 522, Reporte de Concreto Permeable ACI 522R-10. Sección 5.2.

También se ha comprobado que un incremento en el tamaño del agregado grueso reduce la resistencia de compresión del concreto, así como el incremento del módulo de finura en los agregados.

Aunque la relación agua/cemento ( $w/c$ ) es importante en la resistencia a compresión del concreto convencional, los efectos en el concreto permeable no son los mismos. Al utilizar una relación alta ( $w/c$ ), el concreto es más fluido, llenando los vacíos y al utilizar una relación baja ( $w/c$ ), la adherencia entre agregados puede verse perjudicada, por lo que es importante encontrar una cantidad óptima de agua para cada diseño de mezcla.

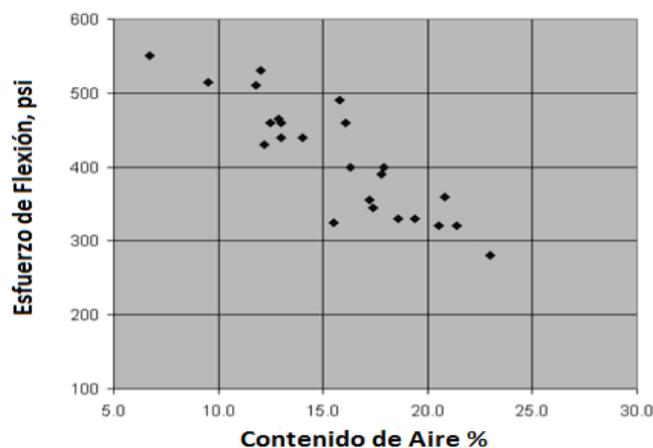
De igual manera, es importante la cantidad de material cementante en la mezcla del concreto permeable, debido a que mucha pasta puede obstruir los poros. La dosificación óptima de cemento puede variar por el tipo de agregado y

según su uso, es decir la resistencia a compresión y permeabilidad que se desea obtener.

### 1.7.2. Resistencia a flexión

La resistencia a flexión en el concreto permeable varía entre 1 y 3,8 mega Pascales. Diversas instituciones han estado involucradas con la investigación y desarrollo del concreto permeable, entre las cuales se puede mencionar el Comité ACI 522, Instituto Mexicano del Concreto y el Centro de Investigaciones de Ingeniería. Según sus experiencias con la fabricación del concreto permeable, estas instituciones han observado que para obtener una buena resistencia a flexión se deben utilizar agregados gruesos entre 1/4 y 3/8 de pulgada y un contenido de vacíos de aproximadamente 25 por ciento. El Comité ACI 522 encontró que el contenido de aire tiene una influencia importante en el esfuerzo de flexión, disminuyéndolo mientras el contenido de aire aumenta tal como se muestra en la figura 3.

Figura 3. **Esfuerzo de flexión vs. contenido de aire**



Fuente: Comité ACI 522, Reporte de Concreto Permeable ACI 522R-10. Sección 5.3

Según los ensayos realizados por este Comité, si se agrega una pequeña cantidad de agregado fino (5 por ciento aproximadamente), se incrementa la resistencia a la flexión del concreto.

### **1.7.3. Densidad del concreto**

La densidad del concreto permeable es aproximadamente el 70 por ciento del concreto convencional, esto significa que su densidad varía entre 1 680 hasta 1 920 kilogramos por metro cúbico (105–120 libras por pie cúbico). La densidad del concreto permeable fresco puede ser determinado por el método ASTM C 1688 y está relacionado con el contenido de vacíos que se da a la mezcla. El contenido de vacíos depende de varios factores: tamaño del agregado, contenido de cemento, relación agua cemento (w/c) y esfuerzo de compactación.

El esfuerzo de compactación puede hacer que la densidad del concreto permeable varíe considerablemente, provocando variación en la resistencia a la compresión. Se debe tener cuidado con la graduación del agregado que se utilice ya que al tener mucha variación entre las partículas gruesas y finas, estas últimas pueden rellenar los vacíos dejados por las más gruesas, reduciendo la porosidad y por lo tanto también la permeabilidad.

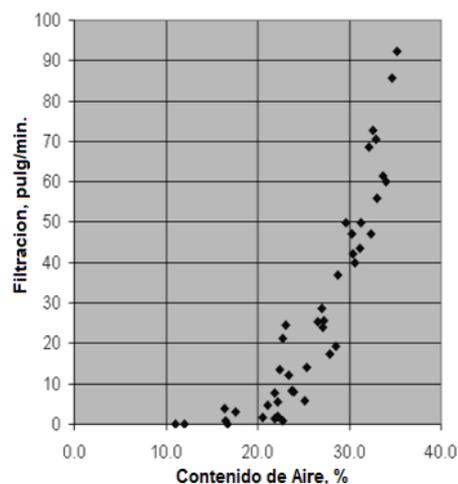
### **1.7.4. Porosidad**

Una propiedad que tiene gran influencia en el concreto permeable es el tamaño de los poros. Para generar poros grandes, se debe usar agregados con mayor graduación. Esto es recomendable debido a que se evita que los poros se obstruyan.

La porosidad y el tamaño de los poros están relacionados con la capacidad para filtrar el agua, lo cual es uno de los principales propósitos de este concreto. Se ha demostrado mediante ensayos que se requiere una porosidad de por lo menos 15 por ciento para lograr una tasa de infiltración significativa. Para una porosidad de 20-25 por ciento se ha reportado un coeficiente de permeabilidad aproximado de 0,01 metros por segundo.

El Comité ACI 522, mediante ensayos a cilindros, ha demostrado que mientras el concreto tenga mayor contenido de aire, su filtración de agua será mayor (vea figura 4):

Figura 4. **Filtración de agua vs. contenido de aire**



Fuente: Comité ACI 522, Reporte de Concreto Permeable ACI 522R-10. Sección 5.5.

Como se puede observar en la figura 4, la tasa de infiltración se incrementa mientras lo hace el contenido de aire en el concreto. El problema se encuentra cuando al aumentar el contenido de aire, la resistencia a compresión tiende a disminuir, por lo que al realizar un diseño de mezcla se debe encontrar

un balance entre una tasa de infiltración que permita evitar el estancamiento y al mismo tiempo obtener una resistencia aceptable.

Una característica especial del concreto permeable, es que a pesar de sus poros de tamaños considerables, es altamente eficaz de la absorción acústica. Es decir, puede ser usado para reducir el sonido generado por la interacción llanta-pavimento en carreteras. El concreto permeable logra este efecto al alterar la generación de ruido minimizando el bombeo del aire entre la neumático y la carpeta de rodadura, los poros absorben el sonido mediante la fricción interna entre las moléculas de aire y la superficie del poro.

#### **1.7.5. Durabilidad**

La durabilidad del concreto se refiere al tiempo de vida que tiene bajo ciertas condiciones ambientales. Se ha probado que con el mantenimiento adecuado, el concreto permeable puede tener un tiempo de vida de 20 a 30 años, pero esto puede variar por diferentes factores. Entre los agentes que podrían afectar de manera negativa a la durabilidad del concreto están la exposición a temperaturas extremas y a químicos tales como sulfatos y ácidos. Por otro lado, su base debe ser de material que no sea fácilmente removido por el agua, por ejemplo grava, lo que crea un incremento en su la durabilidad al hacer que la estructura sea menos susceptible a daños ocasionados por la infiltración de agua como es el caso del pavimento convencional.

#### **1.8. Usos del concreto permeable**

El concreto permeable se utiliza sin refuerzo, debido a que su porosidad deja propenso al acero a la oxidación por agentes externos. Se debe tener una limpieza periódica de este material para prevenir el atascamiento. Es de

mencionar que en Guatemala aún no se ha comercializado el concreto permeable debido a que varias empresas que venden concreto aún están investigando los materiales que debe contener y los controles de calidad adecuados ya que varían con los métodos utilizados para el concreto convencional. Como ejemplos, se enlistan las aplicaciones que se la ha dado en países que ya utilizan este concreto.

- Áreas de estacionamiento: se ha utilizado el concreto permeable para áreas de estacionamiento de vehículos livianos, mostrando resultados favorables.
- Carreteras: el pavimento permeable se puede usar tanto para el área de tráfico vehicular como el peatonal. Como en cualquier pavimento de concreto, la preparación de la base es importante, así como su colocación, ya que la compactación no debe ser excesiva para no obstruir los vacíos.
- Cunetas de carreteras: el concreto permeable se ha utilizado para recolectar y redirigir agua pluvial a tanques para su recolección.
- Muros de contención: los muros donde se requiere concreto ligero.
- Patios, canchas deportivas: en Europa se ha utilizado el concreto permeable para construcción de canchas deportivas para que permita al agua infiltrarse en el suelo y luego ser drenadas.
- Pisos para invernaderos: se utiliza el concreto permeable en invernaderos debido a que tiene aislamiento térmico y evita el

estancamiento de agua eliminando el crecimiento de hierbas indeseables.

## **1.9. Materiales utilizados para su elaboración**

Los materiales que deben ser utilizados para la elaboración del concreto permeable deben cumplir lo estipulado por el reporte del Comité ACI 522 522R-10, tanto en cantidad como en la calidad que se describen en las Normas ASTM respectivas para cada material.

### **1.9.1. Cemento**

El cemento es un aglomerante hidráulico, esto quiere decir que reacciona y fragua en presencia de agua. Al ser mezclado con pedrín, arena y agua, crea una mezcla denominada concreto. En términos generales, el cemento se puede describir como un polvo muy fino que puede ser grisáceo o blanco. Desde el punto de vista químico se trata de una mezcla de silicatos y aluminatos de calcio, obtenidos a través del cocido de calcáreo, arcilla y arena. El material obtenido molido muy finamente, una vez que se mezcla con agua se hidrata y se solidifica progresivamente.

Conocer la clasificación del cemento según las normas, ayuda a elegir criterios para los diseños de mezclas, pues las tablas, procedimientos, relaciones agua-cemento y dosificaciones en general del concreto, dependen en gran parte del tipo de cemento ya que presentan características diferentes, principalmente en la resistencia inicial. Es de mencionar que el cemento tiene varias clasificaciones, que pueden ser por su composición, por su uso, por la categoría de resistencias, etc. A nivel general se pueden establecer dos tipos básicos de cemento:

- De origen arcilloso: obtenidos a partir de arcilla y piedra caliza en proporción 1 a 4 aproximadamente.
- De origen puzolánico: puzolana que puede ser de origen volcánico u orgánico.

Las normas que se aplican a los cementos que se comercializan en Guatemala son:

- ASTM C 91 Especificación estándar para Cementos de Albañilería
- ASTM C 150 Especificación estándar para Cemento Pórtland (Puro o Normal)
- ASTM C 595 Especificación estándar para Cementos Hidráulicos Adicionados (Con puzolanas o escoria de alto horno, por ejemplo)
- ASTM C 1157 Especificación estándar para Cementos Hidráulicos (En general)

Se debe tomar en cuenta que en Guatemala los cementos hidráulicos mezclados o adicionados que son producidos o importados al país deben cumplir con las características estipuladas en la Norma COGUANOR NGO 41 001.

Se rigen bajo la Norma ASTM C 150 los Cementos Pórtland que no tienen ningún tipo de adición más que el *clinker* Pórtland y yeso. Estos cementos se clasifican a su vez en:

- Cemento Pórtland TIPO I: para uso general en la construcción, cuando propiedades especiales de cualquier otro tipo no son requeridas.
- Cemento Pórtland TIPO IA: cemento con aire incluido, similar al tipo I, donde la condición de aire incluido es deseada.
- Cemento Pórtland TIPO II: para uso general cuando se requiera una moderada resistencia a los sulfatos y un moderado calor de hidratación.
- Cemento Pórtland TIPO IIA: cemento con aire incluido, similar al tipo II, donde la condición de aire incluido es deseada.
- Cemento Pórtland TIPO III: utilizado cuando se requiere una alta resistencia inicial.
- Cemento Pórtland TIPO IIIA: cemento con aire incluido, similar al tipo III, donde la condición de aire incluido es deseada.
- Cemento Pórtland TIPO IV: para usos donde se requiere un bajo calor de hidratación.
- Cemento Pórtland TIPO V: utilizado cuando se requiere una alta resistencia a los sulfatos.

Los cementos hidráulicos adicionados son los de la Norma ASTM C 595 que contienen adiciones aparte del *clinker* Pórtland y el yeso como lo son la escoria, escoria de alto horno y puzolana. Éstos se clasifican en:

- Cemento Pórtland con escoria de alto horno (Tipo IS): para uso general en la construcción. En este tipo de cemento, el contribuyente de escoria podrá oscilar entre el 25 y 70 por ciento de la masa total del Cemento Pórtland de escoria de alto horno.
- Cemento Pórtland puzolánico: se definen dos tipos, para cada uno de los cuales pueden considerarse las opciones moderada resistencia a los sulfatos, aire incluido o moderado calor de hidratación o cualquiera de la combinación de ellos. El contenido de puzolana debe oscilar entre 15 y 40 por ciento de la masa total del cemento Pórtland puzolánico.
  - Tipo IP: cemento Pórtland puzolánico para uso general en la construcción.
  - Tipo P: cemento Pórtland puzolánico para uso general en construcciones donde no se requiere altas resistencias a tempranas edades.
- Cemento de Escoria: se define un tipo como sigue
  - Tipo S: cemento de escoria para utilizarse en combinación con cemento Pórtland para la fabricación de concreto y en combinación con cal hidratada para la fabricación de mortero para mampostería. El contenido de escoria para este tipo de cemento puede ser mayor al 70 por ciento de la masa total del cemento de escoria.
- Cemento Pórtland Modificado con puzolana: se define un tipo como sigue:

- Tipo I (PM): cemento Pórtland modificado con puzolana para uso general en la construcción: pueden considerarse las opciones moderada resistencia a los sulfatos, aire incluido o moderado calor de hidratación o cualquiera de la combinación de ellos. El constituyente de puzolana deberá ser menor al 15 por ciento de la masa total del cemento Pórtland modificado con puzolana.
- Cemento Pórtland Modificado con escoria: se define un tipo como sigue:
  - Tipo I (SM): cemento Pórtland modificado con escoria para uso general en la construcción: pueden considerarse las opciones moderada resistencia a los sulfatos, aire incluido o moderado calor de hidratación o cualquiera de la combinación de ellos. El contenido de escoria para este tipo de cemento es menor del 25 por ciento de la masa total del cemento Pórtland modificado con escoria.

La Norma ASTM C 1157 trata de especificaciones para los cementos hidráulicos en general, es decir que se incluyen los cementos Pórtland puros o normales y los cementos Pórtland modificados o adicionados, así como los de albañilería, pues para esta norma no importa la composición, categoría de resistencia, tipo, ni nada adicional a su uso y que el cemento fragüe en presencia de agua. Esta norma clasifica a los cementos de la siguiente manera:

- Tipo GU: de uso general en la construcción: se emplean cuando no se requieren condiciones especiales.
- Tipo HE: de alta resistencia inicial o temprana.

- Tipo MS: de moderada resistencia a los sulfatos.
- Tipo HS: de alta resistencia a los sulfatos.
- Tipo MH: de moderado calor de hidratación.
- Tipo LH: de bajo calor de hidratación.

Según el Reporte ACI 522R-10, el cemento que se debe utilizar para la mezcla del concreto permeable es el cemento Pórtland que cumpla con las especificaciones de la Norma ASTM C 150, C 595 o C 1157. La cantidad de material cementante que se le agregue al concreto permeable afectara directamente a la resistencia a compresión y el contenido de vacíos. Si no se le agrega el suficiente cemento puede afectar la cohesión de la pasta con el agregado y reduciría la resistencia a compresión. Así mismo, si se le agrega demasiado cemento, este puede llenar los vacíos disminuyendo así la porosidad. La cantidad de material cementante óptimo dependerá del tamaño y granulometría del agregado.

### **1.9.2. Agregado grueso**

Está formado fundamentalmente por gravas, gravas trituradas, piedra triturada, escoria de hornos de explosión, concreto de cemento hidráulico triturado o una combinación de lo anterior, y se considera como el material retenido a partir del tamiz No. 4.

Para su buena utilización no deben ser demasiado porosos, ni de forma muy alargada de acuerdo con los requerimientos que establece la Norma ASTM C 33 (Especificación Estándar para Agregados del Concreto). Los

agregados gruesos deben estar acorde a los requerimientos descritos en esta norma en lo referente a su granulometría para cada número de tamiz, según el tamaño de agregado a utilizar. El tamaño del agregado se encuentra en función de las necesidades específicas para el diseño del concreto.

Las especificaciones de los límites permisibles de sustancias perjudiciales en los agregados gruesos a utilizar en la fabricación de concreto dependerán del tipo de agregado, la abrasión y elementos a los que serán expuestos. El agregado grueso para uso en concreto que estará expuesto con frecuencia al agua, debe estar libre de material que pueda reaccionar de manera perjudicial con el cemento.

La humedad de los agregados está compuesta por humedad de saturación y humedad superficial o libre. Para corregir el peso del material en las mezclas, se obtiene el porcentaje de humedad contenida, además del porcentaje de absorción del agregado. Los agregados se encuentran en cualquiera de los siguientes estados:

- Seco al horno: completamente seco y absorbente.
- Seco al aire: seco en su superficie pero con poco contenido de humedad, menor que la requerida para saturar las partículas. Poco absorbente.
- Húmedo: contiene exceso de humedad en la superficie de las partículas.
- Saturado y de superficie seca (seco saturado): condición ideal que debe tener el agregado para que no adicione o absorba agua del concreto. Se debe considerar que todos los cálculos deben basarse en el agregado en esta condición.

Es necesario conocer el peso unitario, el cual es el peso del agregado con respecto a su volumen, según las especificaciones de la Norma ASTM C 29. Al determinar el peso unitario se observa que está influenciado por el grado de asentamiento y por el contenido de humedad, por lo que debe calcularse con el material seco apisonado y suelto.

Para la elaboración del concreto permeable, la graduación de los agregados debe ser entre 3/4" y 3/8". Estos agregados no deben tener forma alargada (aplanada) y se prefiere que sean livianos. Deben estar libres de cualquier recubrimiento, tales como polvo, arcilla u otro elemento absorbente, que pueda afectar la cohesión entre pasta-agregado y/o la hidratación del cemento. El agregado debe cumplir con las especificaciones de las Normas ASTM D 448 y C 33 / C 33M.

### **1.9.3. Agregado fino**

El agregado fino para un concreto se determina como el material que pasa por el tamiz No. 4 hasta el tamiz No.100 y se clasifica en arena natural, de canto rodado o de río, manufacturada o combinación de ambas. Deberá estar graduado dentro de los límites que se establecen en la Norma ASTM C 33.

Tabla I. **Límites de granulometría para el agregado fino**

<b>Tamiz</b>	<b>Porcentaje que pasa</b>
<b>3/8" (9,50 mm)</b>	<b>100%</b>
<b>No. 4 (4, 75 mm)</b>	<b>95 a 100%</b>
<b>No. 8 (2,36 mm)</b>	<b>80 a 100%</b>
<b>No. 16 (1,18 mm)</b>	<b>50 a 85%</b>
<b>No. 30 (600 µm)</b>	<b>25 a 60%</b>
<b>No. 50 (300 µm)</b>	<b>10 a 30%</b>
<b>No. 100 (150 µm)</b>	<b>2 a 10%</b>

Fuente: ASTM International, Especificación Estándar para Agregados del Concreto  
ASTMC 33-03, p. 5.

La forma y textura del agregado grueso también influye en el agregado fino. Las partículas alargadas, aplanadas o de formas cúbicas y textura rugosa requieren una mayor cantidad de arena, agua y pasta en una mezcla, debido a la fricción que generan entre ellas es mayor en comparación con los agregados de canto rodado y de textura lisa. El uso del agregado fino en el concreto incrementa su resistencia a compresión, manejabilidad y densidad, sin embargo, la adición de este puede afectar el espacio entre los poros influyendo en el flujo del agua a través del concreto por lo que su uso debe ser limitado.

#### **1.9.4. Aditivos**

Los aditivos son productos capaces de disolverse en agua, que se agregan al concreto durante su mezclado en porcentajes no mayores del 5 por ciento de la masa de cemento, con el propósito de producir una mejora en el comportamiento del concreto en su estado fresco y/o en condiciones de trabajo.

En otras palabras, los aditivos se emplean para aportarle propiedades especiales al concreto fresco o endurecido. Los aditivos pueden mejorar las características de durabilidad, manejabilidad o resistencia de una mezcla dada de concreto. Los aditivos responden a las siguientes normas según su función:

Tabla II. **Normas que regulan los aditivos según su función**

<b>FUNCIÓN</b>	<b>NORMA</b>
Reducción de agua y reguladores de fraguado	ASTMC 494
Incorporadores de aire	ASTMC 260
Fluidificante	ASTMC 1017

Fuente: Asociación de Productores de Cemento. Aditivos del Concreto. p. 2.

Tabla III. **Clasificación de aditivos por las propiedades que modifican**

Aditivo	Descripción
ASTMC 260	Incorporador de aire. Se agregan al concreto durante su elaboración, con el fin de incorporar aire en él, mejorando su trabajabilidad y disminuyendo la segregación y el sangrado.
ASTMC 1017	Fluidificante. Proporcionan incremento en el revenimiento para producir un concreto fluido sin que este pierda su cohesión ni retrase su tiempo de fraguado.
ASTMC 494	<p>TIPO A. Aditivos reductores de agua: Se utilizan para disminuir la cantidad de agua de la mezcla incrementando así la resistencia del concreto, sin afectar su trabajabilidad.</p> <p>TIPO B. Aditivos retardantes: Se utilizan para retardar el fraguado del concreto aumentando así el tiempo de manejo antes de su colocación.</p> <p>TIPO C. Aditivos acelerantes: Se utilizan para acelerar el fraguado del concreto obteniendo la resistencia esperada a corta edad.</p> <p>TIPO D. Aditivos reductores de agua y retardantes: Producen los efectos del aditivo Tipo A y Tipo B.</p> <p>TIPO E. Aditivos reductores de agua y acelerantes: Producen los efectos del aditivo Tipo A y Tipo C.</p> <p>TIPO F. Aditivos reductores de agua de alto rango: Proporcionan una reducción de agua mayor de la que producen los aditivos reductores de agua.</p> <p>TIPO G. Aditivos reductores de agua de alto rango y retardantes: Proporcionan una reducción mayor de agua que los aditivos reductores de agua y se combinan con los efectos de los retardantes de fraguado.</p>

Fuente: elaboración propia.

Según las observaciones de los ensayos realizados en el área de aditivos en el concreto permeable por el Comité ACI 522, se ha utilizado aditivos retardantes, los cuales deben cumplir con Normas ASTM C 494. Estos son útiles especialmente cuando se trabaja en climas cálidos. Los aditivos retardantes pueden mejorar la manejabilidad y otras características del comportamiento del concreto durante su colocación.

#### **1.9.5. Agua**

El agua en el concreto es el elemento que hidrata las partículas de cemento y hace que se vuelvan adhesivas. Así mismo, influye en la trabajabilidad del concreto. El agua suele representar entre el 10 al 25 por ciento del volumen del concreto, además se le debe calificar la calidad de la misma, ya que existen sustancias que pueden resultar perjudiciales para el concreto. El agua que se utiliza para cualquier mezcla de concreto debe ser preferiblemente potable, limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceite, ácidos, azúcar, sales como cloruros o sulfatos, metales, material orgánico y otras sustancias que puedan ser dañinas.

Para un diseño de mezcla de concreto permeable, el efecto que tiene una alta relación w/c es que debido a la fluidez del concreto que se produce, este tiende a llenar los poros provocando que el contenido de vacíos disminuya. Por otro lado, una baja relación w/c provoca que las partículas de cemento no se adhiera al agregado, lo que incide en problemas para su funcionamiento. Según diversos ensayos en este concreto realizados por el Comité ACI 522, se ha demostrado que una relación w/c óptima está en el rango de 0,26 a 0,45, dando una apropiada cohesión entre partículas y fluidez estable.

## **1.10. Ensayos a concreto fresco**

El concreto fresco se define como el que es recién preparado y su estado es plástico y moldeable. En el concreto fresco no se ha iniciado el proceso de fraguado ni endurecimiento y adopta la forma del relleno para el cual se trabaja.

Para conocer que las propiedades del concreto fresco son las adecuadas, se requieren una serie de ensayos establecidos por las Normas ASTM. La regulación del concreto fresco inicia desde su toma de muestra. Para que esta se pueda considerar significativa, debe estar regulada por la Norma ASTM C 172. Según esta norma, se debe proteger la muestra de factores que puedan provocar que la humedad se evapore rápidamente (luz solar, viento, vibraciones, etc.), así como cualquier contaminación y alteración en la muestra del concreto fluido.

Se debe tener en cuenta que para el control de calidad del concreto permeable se deberá realizar los siguientes ensayos:

### **1.10.1. Revenimiento**

Por lo general, el concreto permeable no tiene asentamiento, sin embargo para fines técnicos se han aceptado valores entre 0,8 y 2 pulgadas. Estos valores se usan solo como referencia ya que para determinar un asentamiento real, la Norma ASTM C 143 (Método de prueba estándar para el asentamiento de concreto de cemento hidráulico), no se considera que pueda brindar resultados acertados para el concreto permeable.

### 1.10.2. Peso unitario

Para determinar el peso unitario del concreto permeable, se debe realizar según lo estipulado en la Norma ASTM C 1688 (Método de prueba estándar para determinar la densidad y el contenido de vacío del concreto permeable recién mezclado).

Este ensayo difiere con el establecido en la Norma ASTM C 138 (Método de Prueba Estándar para Determinar la Densidad (Peso Unitario), Rendimiento y Contenido de Aire (Gravimétrico) del Concreto) en que en lugar de utilizar la varilla con punta redondeada, se utiliza el Martillo de Proctor Estándar (5 libras) y a diferencia del ensayo convencional que se hace en tres capas con 25 golpes en cada una, en este ensayo se añade el concreto en dos capas de igual grosor y se golpea con el martillo 20 veces por capa. El peso unitario se obtiene dividiendo el peso neto del concreto (el peso del cilindro lleno de concreto menos masa del cilindro vacío menos) con el volumen del cilindro.

$$P.U. = \frac{PB - tara}{Vol}$$

Mediante este ensayo se puede obtener el porcentaje de vacíos en el concreto mediante la fórmula:

$$P.V. = \frac{T - D}{T} \times 100$$

Donde:

T = Densidad teórica del concreto

D = Densidad real del concreto

Figura 5. **Prueba de peso unitario según ASTM C 1688**



Fuente: MITCHELL, Charles Principios de pruebas al concreto permeable p. 12.

### **1.10.3. Elaboración de cilindros**

Aun no hay una norma que regule la fabricación de especímenes ni el procedimiento del ensayo para obtener una resistencia a compresión acertada. Sin embargo, el subcomité ASTM C 09.49 en Concreto Permeable ha realizado diversas pruebas demostrando que uno de los métodos más aceptados es el de llenar los cilindros de 4 x 2 pulgadas en dos capas, consolidándolos por medio de 20 golpes por capa con el martillo de Proctor Estándar (5 libras).

## 1.11. Ensayos en laboratorio al concreto

En el concreto es importante contar con información de su desempeño en estado endurecido tal como su resistencia a compresión y flexión, por medio de ensayos a muestras en laboratorios especializados para el ensayo a materiales de construcción efectuados por personal capacitado. Entre los ensayos que debe realizarse al concreto permeable en estado endurecido, se encuentran los siguientes:

### 1.11.1. Ensayo a compresión

Para el ensayo a compresión a los cilindros, se utiliza la misma metodología que la del concreto convencional. Es decir, se debe utilizar el equipo y procedimiento descrito en la Norma ASTM C 39 (Prueba Estándar para resistencia a compresión de probetas cilíndricas de concreto). Se deben tomar dos testigos cuya altura sea el doble de su diámetro (generalmente se fabrican probetas de 15 x 30 centímetros) para poder tener un resultado acertado. Si la relación longitud/diámetro (L/D) es 1,75 o menos, el esfuerzo a compresión se debe multiplicar por un factor de corrección.

Tabla IV. Factores de corrección según relación longitud/diámetro

FACTORES DE CORRECCIÓN				
L/D	1,75	1,5	1,25	1,00
FACTOR	0,98	0,96	0,93	0,87

Fuente: ASTM Internacional, prueba estándar para resistencia a compresión de probetas cilíndricas de concreto ASTM C 39. p. 5.

### 1.11.2. Ensayo a flexión

La resistencia a flexión se mide según las Normas ASTM C 78 (cargada en los puntos tercios) o ASTM C 293 (cargada en el punto medio), las cuales establecen los parámetros para el ensayo a flexión del concreto convencional. Se aplica la carga a vigas de 6 x 6 pulgadas y luz de mínimo tres veces el espesor. Se determina el ancho promedio, el peralte y la localización de la línea de falla, con el promedio de tres medidas una en el centro y dos sobre las aristas del espécimen. Para determinar el módulo de ruptura, primero se debe observar el lugar donde ocurrió la falla al realizar el ensayo. Si la fractura se presenta en el tercio medio de la luz, el módulo de ruptura se calcula de la siguiente manera:

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

Donde:

R = módulo de ruptura

P = carga máxima aplicada

L = distancia entre apoyos

b = ancho promedio del espécimen

d = peralte promedio del espécimen

En cambio, si la ruptura se presenta fuera del tercio medio de la luz, en no más del 5 por ciento de su longitud, se calcula el módulo de ruptura de la manera siguiente:

$$R = \frac{3P \times a}{b \times d^2}$$

Donde:

a = distancia promedio entre la línea de fractura y el apoyo más cercano en la superficie de la viga

Si la fractura ocurre fuera del tercio medio del claro en más del 5 por ciento se desecha el resultado de la prueba.

### **1.11.3. Permeabilidad**

La tasa de infiltración mínima que debe presentar el concreto permeable es de 0,2 centímetros/segundo (aproximadamente 283 pulgadas/hora). Para determinar la permeabilidad del concreto permeable, existen dos métodos. Uno se encuentra descrito en la Norma ASTM C 701 "Método Estándar para Prueba de Infiltración en el Concreto Permeable". Para esta prueba se requiere del siguiente equipo:

- Anillo de Infiltración (diámetro 12 pulgadas y altura 2 pulgadas)
- Balanza
- Cinco galones de agua
- Cronometro
- Sellador

Se debe cerciorar que no exista agua en la superficie del concreto cuando se haga la prueba. Al colocar el anillo de infiltración en la superficie, se le debe aplicar el sellador en la orilla para evitar que el agua encuentre salida en la parte inferior del anillo. Para determinar el agua necesaria en el ensayo, se debe hacer una prueba previa agregando 8 libras de agua, determinando el tiempo que se necesita para que no quede agua libre en la superficie. Si el tiempo es menor a 30 segundos, se utilizaran 40 libras de agua para la prueba definitiva, de otra manera se utilizara 8 libras.

Figura 6. **Prueba de permeabilidad según ASTM C 1701**



Fuente: MARTIN, Christy. Pavimento de concreto permeable para mitigación de aguas pluviales p. 68.

Para obtener la tasa de infiltración, se calculara de la siguiente manera:

$$i = \frac{KM}{D^2 t}$$

Donde:

$i$  = tasa de infiltración en pulgadas/hora

$K$  = constante de permeabilidad, que según la Norma ASTM C 1701, para el concreto permeable es  $126,870 \text{ pulg}^3 \times \text{segundo} / \text{libra} \times \text{hora}$

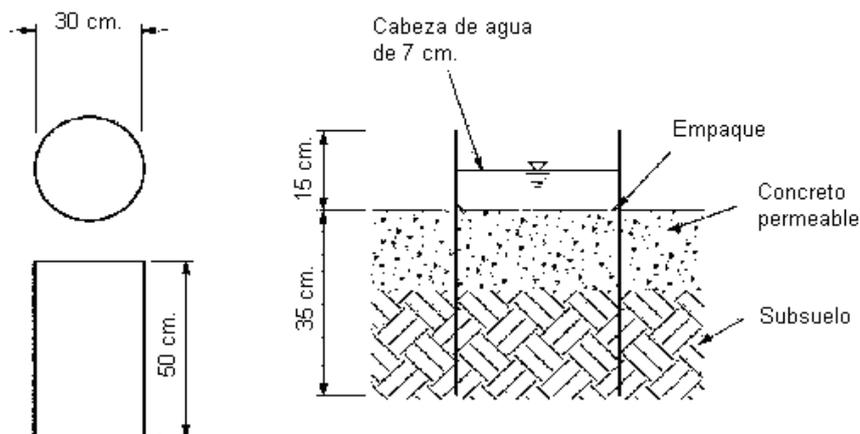
$M$  = masa del agua utilizada en libras

$D$  = diámetro del anillo en pulgadas

$t$  = tiempo que tarda el agua en filtrarse en segundos

La otra prueba se encuentra descrita en el reporte ACI 522R-10,

Figura 7. **Anillo de Infiltración**



Fuente: Comité ACI 522, Reporte de Concreto Permeable  
ACI 522R-10. Capítulo 9.

El anillo de infiltración utiliza el mismo procedimiento que el doble anillo descrito en la Norma ASTM D 3385, con la modificación de que el anillo debe estar empotrado y se usa un anillo simple. Según esta Norma ASTM, se requiere de un área en el suelo de 3 x 3 metros para poder realizar el ensayo. Se debe procurar que el anillo no sea colocado en un lugar que pueda propiciar la evaporación. Se debe mantener un nivel de agua constante y tomar nota de cuanta agua se necesita para lograr mantener ese nivel.



## 2. MARCO METODOLÓGICO

### 2.1. Materiales utilizados en el estudio

A continuación se describen los materiales utilizados para los diseños de mezcla del concreto permeable, según las especificaciones descritas en el reporte ACI 522 R-10.

#### 2.1.1. Cemento

Basado en el reporte ACI 522 R-10, se optó por utilizar un Cemento Estructural 5 800 psi, el cual se describe como cemento tipo Pórtland de alta resistencia inicial (HE) al proporcionar resistencias mayores a cualquier edad que el concreto de 4 000 psi (conocido en este medio como Cemento UGC) el cual cumple con las Normas ASTM C 1157 y COGUANOR NGO 41001.

Figura 8. **Cemento utilizado en diseños de mezcla**



Fuente: imagen captada en el Centro de Investigaciones de Ingeniería el día tres de febrero de 2012.

### 2.1.2. Agregado grueso

Se utilizó un agregado grueso con tamaño nominal de 3/8 de pulgada. El agregado grueso utilizado para la mezcla presento un peso específico de 2,6 y un peso unitario de 1 554,67 kilogramos por metro cúbico, valores que se encuentran dentro de los rangos normales que presentan los agregados utilizados en el concreto. Al comparar la granulometría de este agregado con la tabla 2 de la Norma ASTM C 33 Especificación Normalizada para Agregados para Concreto, donde se especifica la granulometría de los agregados gruesos, se encontró que cumple con los parámetros indicados, excepto en el tamiz No. 4.

Se debe tener en cuenta que mientras más amplia sea la diversidad de tamaños de granos, el concreto permeable se encuentra propenso a perder espacios vacíos.

Figura 9. **Agregado grueso utilizado en diseños de mezcla**



Fuente: imagen captada en el Centro de Investigaciones de Ingeniería el día tres de febrero de 2012.

### **2.1.3. Agregado fino**

El agregado fino que se utilizó presenta valores que pueden utilizarse en la elaboración de concretos ligeros, por ejemplo cuenta con un peso específico de 1,97 y peso unitario de 1 008,32 kilogramos por metro cúbico. El grado de impureza que presento se clasifica en No. 3, el cual es un contenido de materia orgánica máxima permisible según lo estipulado en la Norma ASTM C 40 método de ensayo normalizado para la detección de impurezas orgánicas en agregados finos para concreto.

En los ensayos de granulometría, el agregado demostró tener un porcentaje que pasa el tamiz No. 100 mayor a lo permisible por la Norma ASTM C 33 en las especificaciones de agregado fino en la sección 6.1 Análisis de Tamices, lo que incidió en obtener un módulo de finura correspondiente a una clasificación fina. El alto contenido de finos puede provocar una mayor demanda de agua y cemento, disminuyendo con esto el porcentaje de vacíos. De la misma manera, el material más fino puede ocupar espacios entre los poros, reduciendo la infiltración de agua a través del concreto.

Para solucionar estos inconvenientes, se puede mezclar esta arena con otro material que presente una granulometría con partículas de mayor diámetro. Otra opción será buscar otro agregado que se encuentre en los límites estipulados en la Norma ASTM C 33.

Figura 10. **Agregado fino utilizado en diseños de mezcla**



Fuente: imagen captada en el Centro de Investigaciones de Ingeniería el día tres de febrero de 2012.

#### **2.1.4. Aditivo**

No se utilizaron aditivos para las mezclas, debido a que son de mayor utilidad cuando el concreto permeable se fabrica en lugares con climas extremos. En ensayos anteriores realizados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería, se observó que el desempeño del concreto permeable sin el uso de aditivos ha dado resultados aceptables.

#### **2.2. Elaboración de mezcla**

El diseño de las tres mezclas fueron basadas en parámetros establecidos por el reporte ACI 522R-10, el cual está fundamentado en pruebas que este comité ha realizado para determinar el funcionamiento óptimo de este tipo de concreto.

Tabla V. **Proporciones del concreto permeable**

Rangos típicos* de proporciones de materiales en el concreto permeable**	
Materiales cementantes	270 – 415 kg/m <sup>3</sup> (450 – 700 lb/yd <sup>3</sup> )
Agregados	1190 – 1480 kg/m <sup>3</sup> (2000 – 2500 lb/yd <sup>3</sup> )
Relación agua/ cemento (w/c)	0.27 – 0.30:1***
Relación agregado/cemento	4 – 4.5:1***
Relación agregado fino/cemento	0 – 1:1****

\* Estas proporciones son solo para información

\*\* Aditivos químicos, particularmente retardantes y estabilizadores de hidratación, son usados comúnmente. El uso de materiales cementantes suplementarios, como ceniza y escoria, también son comunes.

\*\*\* Se han utilizado rangos mayores, pero ha resultado en reducción de resistencia y durabilidad.

\*\*\*\* La adición de agregado fino disminuirá el contenido de vacíos e incrementará la resistencia.

Fuente: Comité ACI 522, Reporte de Concreto Permeable ACI 522R-10. Sección 4.1.

Figura 11. **Mezcla de concreto permeable**



Fuente: imagen captada en Centro de Investigaciones de Ingeniería el día tres de febrero de 2012.

### **2.3. Informe de realización de mezcla**

Para obtener la cantidad de material necesaria para una mezcla, primero es necesario conocer el volumen que se requerirá de concreto. Es decir, cuanto volumen de concreto se necesitara en obra, incluyendo el necesario para la obtención de muestras y ensayos de calidad. Para este caso, se realizó el cálculo necesario para cuatro cilindros para el ensayo de compresión y dos vigas para el ensayo de flexión.

Al calcular la cantidad necesaria de concreto, para encontrar una adecuada dosificación para el concreto permeable, es decir la relación de agregados y agua con el cemento, se puede utilizar la información en la tabla V, ya que son parámetros basados en ensayos e investigaciones realizadas por el Comité 522 del ACI. Para este caso, se propusieron tres distintas dosificaciones para poder comprobar la incidencia de la cantidad de agregado fino y grueso en las propiedades mecánicas del concreto permeable.

Al conocer las proporciones que se utilizaran para cada batchada, se debe conocer el peso unitario que se pretende alcanzar. En el caso del concreto permeable, este debe variar entre 1 680 kilogramos por metro cúbico a 1 920 kilogramos por metro cúbico (105–120 libras por pie cúbico).

Figura 12. **Elaboración de mezcla de concreto permeable**



Fuente: imagen captada en Centro de Investigaciones de Ingeniería el día tres de febrero de 2012.

Con estos parámetros establecidos, la cantidad de material se puede calcular de la siguiente manera:

Peso Unitario = PU

Cemento (C): Agregado fino (AF): Agregado grueso (AG): Agua (W)

$$PU_1 = \frac{\text{Peso unitario}}{C + AF + AG + W}$$

$$C \times PU_1 = \text{Cemento kg/m}^3$$

$$AF \times PU_1 = \text{Agregado fino kg/m}^3$$

$$AG \times PU_1 = \text{Agregado grueso kg/m}^3$$

$$W \times PU_1 = \text{Agua kg/m}^3 \text{ (litro/m}^3 \text{)}$$

Luego se toma la cantidad de concreto estimada (CCE) para obtener el peso real que se necesitara de cada material para el diseño de mezcla:

$$\text{Cemento kg/m}^3 \times \text{CCE} = \text{Cemento kg}$$

$$\text{Agregado Fino kg/m}^3 \times \text{CCE} = \text{Agregado fino kg}$$

$$\text{Agregado Grueso kg/m}^3 \times \text{CCE} = \text{Agregado grueso kg}$$

$$\text{Agua litro/m}^3 \times \text{CCE} = \text{Agua litro}$$

#### **2.4. Curado**

El curado es el proceso de mantener el contenido de humedad necesario y la temperatura favorable en el concreto durante el período de hidratación. La resistencia potencial del concreto y su durabilidad se desarrollarán por completo si el curado es aplicado de manera correcta durante un período adecuado. Los ensayos de laboratorio al concreto han demostrado que en un ambiente seco puede perder hasta un 50 por ciento de su resistencia, comparado con un concreto de características similares curado en condiciones húmedas.

Existen diversas maneras de aplicar el curado, entre ellos y el que fue utilizado para este caso fue la inmersión de los especímenes en agua. En este tipo de curado, las probetas se colocan inmersas en agua a temperatura ambiente luego de que hayan transcurrido 24 horas desde su fabricación y permanecen allí hasta el momento de los ensayos.

### **3. TABULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

#### **3.1. Ensayos de laboratorio**

La mezcla y los ensayos realizados a los especímenes del concreto permeable fueron ejecutados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería, siguiendo procedimientos y especificaciones de las códigos ACI 522R:10 reporte de concreto permeable, ASTM C 1064 método de ensayo normalizado de temperatura de concreto de cemento hidráulico recién mezclado, ASTM C 1688 método de prueba estándar para determinar la densidad y el contenido de vacío del concreto permeable recién mezclado, ASTM C 39 prueba estándar para resistencia a compresión de probetas cilíndricas de concreto, ASTM C 78 método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la flexión del concreto (utilizando viga simple con carga en los tercios del claro) y ASTM C 701 método estándar para prueba de infiltración en el concreto permeable.

##### **3.1.1. Diseño de mezcla**

Los diseños de mezcla fueron realizados según lo estipulado en la tabla V y en experiencias anteriores con el concreto permeable en el Centro de Investigaciones de Ingeniería, para lo que se plantearon las tres proporciones. Se trató de que se diferenciaron en la cantidad de agregado para conocer su incidencia en resistencia y permeabilidad, de manera que se pueda conocer como debería ser una dosificación para que el concreto permeable alcance sus propiedades mecánicas óptimas.

- Teórica

Los cálculos para determinar la cantidad de material para cada mezcla se realizó de la siguiente manera:

Cemento: agregado fino: agregado grueso: agua

- 1: 0,37: 4,87: 0,49
- 1: 0,6: 4,5: 0,49
- 1: 0,3: 4,2: 0,49

Para calcular el concreto que se utiliza, se contempla que se elaboraran cuatro cilindros y dos vigas por bachada, resultando un volumen de 0,0533 metros cúbicos por mezcla

- Dosificación

Se realizaron tres diseños de mezcla para poder comprobar la incidencia que tiene la cantidad de agregados y cemento con la resistencia y la permeabilidad de este tipo de concreto. Las mezclas se realizaron el día tres de febrero de 2012 en las instalaciones del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Se planteó un peso específico del concreto permeable de 1 700 kilogramos por metro cúbico, para lo que la cantidad de material a utilizar por cada mezcla se calculó de la siguiente manera:

- Mezcla 1:

1: 0,37: 4,87: 0,49

$$\frac{1700}{1 + 0,37 + 4,87 + 0,49} = \frac{1700}{6,73} = 252,6$$

$$\text{Cemento } 1 \times 252,6 = 252,6 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado fino: } 0,37 \times 252,6 = 93,46 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado grueso: } 4,87 \times 252,6 = 1230,16 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua: } 0,49 \times 252,6 = 125,44 \text{ kg/m}^3$$

- Mezcla 2:

1: 0,6: 4,5: 0,49

$$\frac{1700}{1 + 0,6 + 4,5 + 0,49} = \frac{1700}{6,59} = 257,97$$

$$\text{Cemento : } 1 \times 257,97 = 257,97 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado fino : } 0,6 \times 257,97 = 154,78 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado grueso : } 4,5 \times 257,97 = 1160,87 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua : } 0,49 \times 257,97 = 126,41 \text{ kg/m}^3$$

- Mezcla 3:

1: 0,3: 4,2: 0,49

$$\frac{1700}{1+0,3+4,2+0,49} = \frac{1700}{5,99} = 283,81$$

$$\text{Cemento} : 1 \times 283,81 = 283,81 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado fino} : 0,3 \times 283,81 = 85,143 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado grueso} : 4,2 \times 283,81 = 1192,002 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua} : 0,49 \times 283,81 = 139,07 \text{ kg/m}^3$$

- Práctica

Se estimó que se necesitaría 0,0533 metros cúbicos de concreto para poder realizar los ensayos correspondientes al concreto permeable. La cantidad de material para cada mezcla son las siguientes:

- Mezcla 1

$$\text{Cemento} 2526 \text{ kg/m}^3 \times 0,0533 \text{ m}^3 = 1346 \text{ kg}$$

$$\text{Agregado fino} 9346 \text{ kg/m}^3 \times 0,0533 \text{ m}^3 = 498 \text{ kg}$$

$$\text{Agregado grueso} 123016 \text{ kg/m}^3 \times 0,0533 \text{ m}^3 = 6556 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} 12544 \text{ kg/m}^3 \times 0,0533 \text{ m}^3 = 6,6 \text{ litros}$$

- Mezcla 2

Cemento :  $257,97 \text{ kg/m}^3 \times 0,0533 \text{ m}^3 = 13,75 \text{ kg}$

Agregado fino :  $154,78 \text{ kg/m}^3 \times 0,0533 \text{ m}^3 = 8,25 \text{ kg}$

Agregado grueso :  $1160,87 \text{ kg/m}^3 \times 0,0533 \text{ m}^3 = 61,87 \text{ kg}$

Agua :  $126,47 \text{ kg/m}^3 \times 0,0533 \text{ m}^3 = 6,7 \text{ litros}$

- Mezcla 3

Cemento :  $283,81 \text{ kg/m}^3 \times 0,0533 \text{ m}^3 = 15,13 \text{ kg}$

Agregado fino :  $85,143 \text{ kg/m}^3 \times 0,0533 \text{ m}^3 = 4,54 \text{ kg}$

Agregado grueso :  $1192,002 \text{ kg/m}^3 \times 0,0533 \text{ m}^3 = 63,53 \text{ kg}$

Agua :  $139,07 \text{ kg/m}^3 \times 0,0533 \text{ m}^3 = 7,0 \text{ litros}$

### **3.1.2. Ensayos de laboratorio**

Los ensayos de laboratorio se realizaron según las Normas ASTM C 1064, ASTM C 1688, ASTM C 39, ASTM C 78 y ASTM C 701. Se contó con la asesoría y apoyo de personal capacitado del Centro de Investigaciones de Ingeniería. Se dividieron en ensayos a concreto fresco y a concreto endurecido.

#### **3.1.2.1. Ensayos a concreto fresco**

Es importante obtener una cantidad suficiente de concreto para realizar los ensayos correspondientes, teniendo en cuenta que debe homogeneizarse todo para utilizar una porción representativa. Los ensayos a concreto fresco y el llenado de cilindros y vigas se realizaron entre los primeros 15 minutos según lo estipulado en la Norma ASTM C 172.

- **Peso unitario**

El peso unitario se realizó conforme a la Norma ASTM C 1688, para lo cual se utilizó un cilindro con un peso de 3,63 kilogramos y volumen de siete litros. Se llenaron dos capas por ensayo, compactando el concreto con un martillo proctor estándar (cinco libras) con 20 golpes por capa. Los resultados fueron los siguientes:

- **Mezcla 1:**

Tara : 3,63 kg

Peso Bruto : 9,74 kg

Volumen de tara : 7 litros (0,007 m<sup>3</sup>)

$$P.U. = \frac{9,74 - 3,63}{0,007} = 872,86 \text{ kg/m}^3$$

- **Mezcla 2:**

Tara : 3,63 kg

Peso Bruto : 15,08 kg

Volumen de tara : 7 litros (0,007 m<sup>3</sup>)

$$P.U. = \frac{15,08 - 3,63}{0,007} = 1635,71 \text{ kg/m}^3$$

- Mezcla 3:

Tara : 3,63 kg

Peso Bruto : 14.68 kg

Volumen de tara : 7 litros (0,007 m<sup>3</sup>)

$$\text{P.U.} = \frac{14,68 - 3,63}{0,007} = 1578,57 \text{ kg/m}^3$$

Figura 13. **Peso unitario del concreto permeable fresco**



Fuente: imagen captada en el Centro de Investigaciones de Ingeniería  
el día tres de febrero de 2012.

- Porcentaje de vacíos

Según la Norma ASTM C 1688, el porcentaje de vacíos se puede obtener mediante el peso unitario del concreto, para lo que los resultados serían:

- Mezcla 1:

Peso unitario teórico : 1700 kg/m<sup>3</sup>

Peso unitario real : 872,86 kg/m<sup>3</sup>

$$P.V. = \frac{1700 - 872,86}{1700} \times 100 = 48,65\%$$

- Mezcla 2:

Peso unitario teórico : 1700 kg/m<sup>3</sup>

Peso unitario real : 1635,71 kg/m<sup>3</sup>

$$P.V. = \frac{1700 - 1635,71}{1700} \times 100 = 3,78\%$$

- Mezcla 3:

Peso unitario teórico : 1700 kg/m<sup>3</sup>

Peso unitario real : 1578,57 kg/m<sup>3</sup>

$$P.V. = \frac{1700 - 1578,57}{1700} \times 100 = 7,14\%$$

- Revenimiento

Las especificaciones del código ACI clasifican al concreto permeable como concreto sin asentamiento, y para poder determinar algún parámetro de su trabajabilidad, la Norma ASTM C 143 el cual norma el procedimiento para

determinar el revenimiento en el concreto a base de cemento hidráulico, no brinda un resultado acertado, por lo que este ensayo se omitió, pudiendo tomar un valor arbitrario entre 0,8 y 2 pulgadas.

- Temperatura

Al medir la temperatura del concreto fresco se debe tener en cuenta que al menos tres pulgadas de concreto cubra en todas direcciones al censor del aparato medidor. La cantidad de concreto que debe cubrirlo además tiene que ser un mínimo de 3 veces mayor que el tamaño máximo del agregado grueso.

Tabla VI. **Rangos de temperatura en concreto premezclado**

Descripción	Criterio de aceptación ASTM C 94/C 94M-07					
	Temperatura mínima	Sección mm	<300	300-900	900-1800	>1800
Clima frío	°C		13	10	7	5
	Temperatura máxima	32 °C				
Clima calido	La temperatura debe ser lo mas baja posible, si es mayor a 32 °C se puede encontrar dificultades.					

Fuente: GASTAÑADU, Fernando. Control de calidad de concreto. p. 7.

Se encontró que la temperatura del concreto permeable vario entre 20 a 24 grados Celsius, por lo que, según la tabla VI, la temperatura está dentro del rango de aceptación:

Mezcla 1: 24° C

Mezcla 2: 20° C

Mezcla 3: 20° C

Figura 14. **Temperatura del concreto permeable fresco**



Fuente: imagen captada en el Centro de Investigaciones de Ingeniería el día cinco de marzo de 2012.

### **3.1.2.2. Ensayos a concreto endurecido**

- **Compresión**

La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado a una edad de 28 días; se le conoce con el símbolo  $f'c$ . Para determinar la resistencia a la compresión, se realizan pruebas en cilindros que miden 15 centímetros de diámetro y 30 centímetros de altura.

Para determinar la resistencia a compresión del concreto permeable, se tomaron dos muestras por edad de cada mezcla para obtener un valor confiable. Se ensayaron dichos cilindros a 14 y 28 días por ser considerados los que dan resultados más significativos.

Figura 15. **Cilindros de concreto permeable para ensayo a compresión**



Fuente: imagen captada en el Centro de Investigaciones de Ingeniería el día 17 de febrero de 2012.

Los resultados de los especímenes fueron los siguientes:

Tabla VII. **Resultados de ensayos a compresión**

<b>Diseño de mezcla</b>	<b>Edad</b>	<b>Identificación de cilindro</b>	<b>Resistencia a compresión kg/cm<sup>2</sup></b>
1	14 días	1,1	63,55
		1,2	61,73
	28 días	1,1	75,06
		1,2	48,81
2	14 días	2,1	82,65
		2,2	73,40
	28 días	2,1	80,28
		2,2	87,80
3	14 días	3,1	51,15
		3,2	44,10
	28 días	3,1	49,02
		3,2	56,44

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la tabla VII, la mezcla que cuenta con más contenido de arena presentó mayor resistencia a compresión. Esto demuestra que los agregados se encontraban distribuidos de manera uniforme y que el agregado fino llenaba vacíos de manera que el concreto fuera más resistente a la compresión. Es importante mencionar que los tres diseños de mezcla están entre los límites de resistencia a compresión (28 - 280 kilogramos por centímetro cuadrado).

- Flexión

Los especímenes que se realizaron para obtener la resistencia a flexión del concreto permeable fueron vigas con dimensiones de 6 pulgadas de alto por 6 pulgadas de ancho con una profundidad de 21 pulgadas. Se ensayó una viga por edad a 14 y 28 días.

Tabla VIII. **Resultados de ensayos a flexión**

<b>Diseño de mezcla</b>	<b>Edad</b>	<b>Identificación de viga</b>	<b>Resistencia a flexión kg/cm<sup>2</sup></b>
1	14 días	1,1	21,49
	28 días	1,2	21,33
2	14 días	2,1	24,27
	28 días	2,2	20,39
3	14 días	3,1	22,00
	28 días	3,2	19,18

Fuente: elaboración propia.

Al igual que en la resistencia a compresión, la mezcla 2 que contiene mayor cantidad de agregado fino, presenta mayor resistencia a flexión. Es de notar que los tres diseños de mezcla están dentro de los límites de resistencia a flexión establecidos (10 - 38 kilogramos por centímetro cuadrado).

Figura 16. **Ensayo a flexión de concreto permeable**



Fuente: imagen captada en el Centro de Investigaciones de Ingeniería el día 17 de febrero de 2012.

- Impacto

Para determinar la resistencia a impacto que tendrán los bloques de concreto permeable, debido a que su uso será similar al de una baldosa, se utilizó la misma metodología para determinar la resistencia a impacto en una baldosa de cemento o ladrillo. El ensayo consiste en poner el bloque en el centro de un sistema que está formado por una cama de arena tamizada, con un dispositivo adaptado para que una bala de dos kilogramos de masa golpee por medio de un martinete la baldosa en alturas sucesivas de un centímetro hasta que falle por impacto. Se calcula como la energía potencial que soporta el bloque:

$$E=mgh$$

Donde:

E = energía potencial

m= masa de dos kilogramos

g= gravedad 9,81 metros por segundos cuadrados

h= altura de impacto en centímetros

Según las Normas de Planificación y Construcción para Casos Proyectados del Instituto de Fomento de Hipotecas Aseguradas, las baldosas de cemento.

Tabla IX. **Aceptación de baldosa según Norma FHA**

<b>Pruebas</b>	<b>Tipo</b>		
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
Espesor mínimo de ladrillo cm.	2,3	2,3	2,3
Espesor mínimo de la pastina mm.	2,5	2,5	2,5
Resistencia mínima flexión kg/cm <sup>2</sup>	35	25	15
Desgaste máximo mm de fracturamiento	0,5	0,6	0,8
Altura mínima de fracturamiento por impacto cm.	18	14	10
Absorción agua en 24 horas %	15	20	25

Fuente: Instituto de Fomento de Hipotecas Aseguradas. Normas FHA. Tabla 8-VII

Donde:

El tipo aceptable a utilizarse es el "A"

El tipo "B" podrá aceptarse para casas cuya área de construcción no exceda de 70 metros.

El tipo "C" podrá aceptarse únicamente para patios o áreas similares

- Mezcla 1

$$E = 2 \text{ kg} \times 981 \text{ cm/s}^2 \times 47 \text{ cm} = 922,14 \text{ kg/cm}^2$$

- Mezcla 2

$$E = 2 \text{ kg} \times 981 \text{ cm/s}^2 \times 48 \text{ cm} = 941,76 \text{ kg/cm}^2$$

- Mezcla 3

$$E = 2 \text{ kg} \times 981 \text{ cm/s}^2 \times 61 \text{ cm} = 1196,82 \text{ kg/cm}^2$$

Tabla X. **Resultados de ensayos a impacto**

<b>Diseño de mezcla</b>	<b>Edad</b>	<b>Altura de impacto centímetros</b>	<b>Resistencia a impacto kg/cm<sup>2</sup></b>
1	14 días	47	922,14
2	14 días	48	941,76
3	14 días	61	1 196,82

Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Ensayo a impacto de concreto permeable**



Fuente: Captada en el centro de investigaciones de ingeniería el día 19 de marzo de 2012.

Según los resultados de impacto a los tres diseños de mezcla, se puede observar que en comparación con las baldosas de cemento líquido o ladrillo, la energía potencial que soportan los bloques es mayor. No hay norma establecida para la determinación de la resistencia a impacto a bloques de concreto permeable, sin embargo, se consideró que este método de la FHA era la mejor manera de determinar esta propiedad debido al uso que se le dará es similar al de una baldosa.

- Absorción

La absorción se determina por el cambio en el peso del concreto debido al agua absorbida por los poros de las partículas. Es importante conocer esta propiedad del concreto permeable ya que estará expuesto a la humedad contenida en el suelo.

$$A = [(W - D) / D] * 100$$

Donde:

A = es el porcentaje de absorción

W = es la masa inicial de la muestra

D = es la masa de la muestra seca

Tabla XI. **Resultados de ensayos de absorción**

<b>Diseño de mezcla</b>	<b>Peso húmedo gramos</b>	<b>Peso Seco gramos</b>	<b>Absorción %</b>
1	7 809	7 533	3,66
2	6 740	6 503	3,64
3	8 460	8 198	3,19

Fuente: elaboración propia.

- Permeabilidad

La permeabilidad se determinó mediante el método descrito en la Norma ASTM C 1701. Se fabricaron bloques de 30 x 60 x 7,5 centímetros para cada diseño de mezcla para poder determinar el cambio de infiltración según la cantidad de agregados en el concreto permeable. La tasa de infiltración deberá ser como mínimo 0,20 centímetros por segundo (285 pulgadas por hora).

Se utilizó un anillo con diámetro de 12 pulgadas y altura de dos pulgadas, 40 libras de agua (debido a que ocho libras se infiltraban en menos de 30 segundos) por cada bloque.

Figura 18. **Ensayo de permeabilidad de concreto permeable**



Fuente: Captada en el centro de investigaciones de ingeniería el día 15 de marzo de 2012.

Para lo cual la tasa de infiltración se calculó de la siguiente manera:

- Mezcla 1

$$i = \frac{(126\,870 \text{ pulg}^3 * \text{seg} / \text{lb} * \text{hora}) \times (40 \text{ libras})}{(12^2 \text{ pulg}) \times 20 \text{ seg}} = 1762,08 \text{ pulg/ hora}$$

- Mezcla 2

$$i = \frac{(126\,870 \text{ pulg}^3 * \text{seg} / \text{lb} * \text{hora}) \times (40 \text{ libras})}{(12^2 \text{ pulg}) \times 25 \text{ seg}} = 1\,409,67 \text{ pulg/ hora}$$

- Mezcla 3

$$i = \frac{(126\,870 \text{ pulg}^3 * \text{seg} / \text{lb} * \text{hora}) \times (40 \text{ libras})}{(12^2 \text{ pulg}) \times 22 \text{ seg}} = 1\,601,89 \text{ pulg/ hora}$$

Los tres diseños de mezcla presentaron una tasa de infiltración mayor a la establecida. Es importante señalar que esta tasa de infiltración se obtuvo sin material debajo de los bloques que impidiera el paso del agua, es decir que los bloques seguirán con esta tasa de infiltración si se tiene un suelo que permita el su libre infiltración. Para que seguir obteniendo un resultado similar, se debe considerar colocar los bloques de concreto permeable sobre una base granular para que el agua se infiltre al suelo o sea redirigido a un sistema de drenajes.

Tabla XII. **Resumen de resultados, pruebas a 28 días**

Mezcla	1	2	3
Proporción cemento: arena: piedrin: agua	1: 0,37: 4,87: 0,49	1:0,6:4,5:0,49	1:0,3:4,2:0,49
Peso unitario kg/m <sup>3</sup>	872,76	1 635,71	1 578,57
Porcentaje de vacíos	46,85%	3,78%	7,14%
Resistencia a compresión kg/cm <sup>2</sup>	61,93	84,04	52,73
Resistencia a flexión kg/cm <sup>2</sup>	21,33	22,33	20,59
Impacto kg/cm <sup>2</sup>	922,14	941,76	1 196,82
Permeabilidad pulg/hora	1 762,08	1 409,67	1 601,89

Fuente: elaboración propia

La mezcla 1, la cual contenía menor cantidad de agregado fino (0,3) presentó mejores resultados en porcentaje de vacíos y en tasa de infiltración. A pesar que su resistencia a compresión y a flexión fueron los menores en comparación con las otras mezclas, sus valores son aceptables ya que se encuentran dentro de los límites establecidos (28 - 280 kilogramos por centímetro cuadrado para compresión y 10 - 38 kilogramos por centímetro cuadrado para flexión), por lo que se considera ser la mezcla que mejor se adapta a bloques para paso peatonal en senderos que permitan infiltración.



## CONCLUSIONES

1. Los vacíos del concreto permeable provocan una disminución en la resistencia a compresión y flexión, por lo que se utilizó material cementante de alta resistencia, presentando resistencias entre los límites establecidos de 28 - 280 kilogramos por centímetro cuadrado para compresión y 10 - 38 kilogramos por centímetro cuadrado para flexión. Con el mismo fin, se utilizó agregado fino, determinando que al incrementarlo en pequeña cantidad, el porcentaje de vacíos y la tasa de infiltración disminuye significativamente. Así mismo, se demostró que el uso de aditivos en las mezclas no es necesario en cuanto a resistencia y trabajabilidad, considerando las condiciones climáticas de la ciudad de Guatemala y que los bloques serán prefabricados para senderos peatonales.
2. Para que el concreto permeable presente buena resistencia y tasa de infiltración, los agregados deben cumplir con lo establecido en la Norma ASTM C 33. Para encontrar una cantidad adecuada de agregados, basados en el reporte ACI 522:R-10, se varió su proporción en tres mezclas diferentes, presentando la primera mezcla (agregado fino 0,37 agregado grueso 4,87), la mejor tasa de infiltración (1 762,08 pulgadas por hora, superando las 285 pulgadas por hora) y una resistencia a compresión y flexión aceptable (61,93 kilogramos por centímetro cuadrado para compresión superando el mínimo de 28 kilogramos por centímetro cuadrado y 21,33 kilogramos por centímetro cuadrado para flexión siendo mayor al mínimo de 10 kilogramos por centímetro cuadrado).

3. Se demostró que el tamaño y cantidad de agregado fino que se utiliza en las mezclas de concreto permeable, disminuye el porcentaje de vacíos así como su permeabilidad. De la misma manera, su colocación incide en los vacíos que tendrá este tipo de concreto, por lo que, para esta investigación la colocación se realizó sin ningún tipo de compactación. Otro factor que incide significativamente en la tasa de infiltración del concreto permeable, es el suelo donde es colocado, por lo que se debe contar con uno que permita la filtración de agua.

## RECOMENDACIONES

1. Al elaborar bloques de concreto permeable *in situ*, se debe considerar el uso de un aditivo fluidificante para incrementar su trabajabilidad pero sin que afecte los espacios vacíos donde se infiltrara el agua. Así mismo, la permeabilidad se mejora al utilizar agregados graduados de 3/8", ya que al ser estos más uniformes, permite que el concreto tenga mayor cantidad de vacíos.
2. Para utilizar el concreto permeable en áreas donde la carga esperada sea mayor a la peatonal, se puede incrementar la resistencia utilizando arena con partículas de mayor tamaño, previamente tamizada para reducir el uso de material demasiado fino, evitando disminuir así su permeabilidad.
3. Se debe tomar en cuenta que un factor importante en la infiltración que tendrá el concreto permeable es su colocación, por lo que es importante si los bloques serán colocados *in situ* en bloques para senderos ecológicos, se debe consultar el procedimiento establecido por el ACI 522.1-08. Se debe tomar en cuenta que antes de colocar el concreto permeable, se deberá realizar estudios a los suelos donde serán colocados ya que es importante conocer su tasa de infiltración, debido a que este influirá en la recarga del acuífero. Si el suelo no es adecuado para el uso de concreto permeable (arcillas o limos), se debe considerar su estabilización o creación de un drenaje para conducir el agua infiltrada.



## BIBLIOGRAFÍA

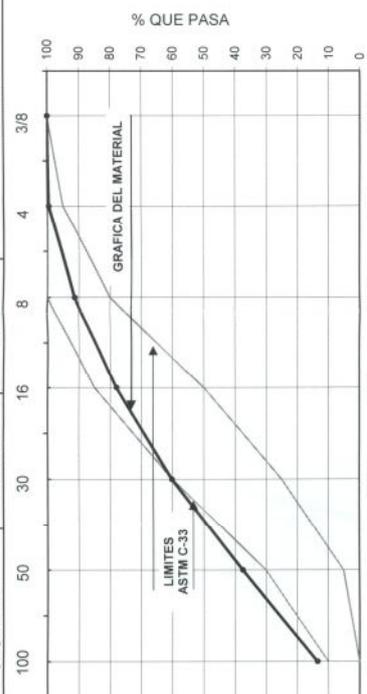
1. AIRE, Carlos. *Concreto Permeable: Alternativas Sustentables*. [en línea]. 3a. ed. México: Abel Campos. 2011, [ref. de 05 de diciembre de 2011]. Disponible en Web: <http://www.imcyc.com/revistacyt/jun11/arttecnologia.htm>
2. American Concrete Institute, Comité 522. *Reporte 522R:10 Reporte en Concreto Permeable*. Estados Unidos de America: ACI, 2010, p. 43.
3. \_\_\_\_\_. *522.1-08 Especificación para pavimentos de Concreto Permeable*. Estados Unidos de America: ACI, 2002, p. 11.
4. American Concrete Institute, Comité 211. *Reporte 211.3R-02 Guía para la Selección de Proporciones de Concretos sin Asentamientos*. Estados Unidos de America: ACI, 2002, p.27.
5. LINSLEY, Ray. *Hidrología para Ingenieros*. 2a. ed. México: McGraw-Hill, 1988, p. 386.
6. MITCHELL, Charles. *Principios de ensayos a concreto permeable*. [en línea]. [ref. 15 de enero 2012]. Disponible en Web: <http://www.google.com.gt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0CEUQFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.nrmca.org%2Faboutconcrete%2Fcips%2FCIP38es.pdf&ei=6taIT7zPA4m68ASWqr m8CQ&usg=AFQjCNEXR80y7LWXEx81ZJiq2RWfdfSdJA&sig2=zYiO8-Um2gTavSsjF7Z-Fg>



## **APÉNDICE**



## Agregado fino para concreto

 <b>UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA</b> <b>CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;"><b>INFORME No.:</b></td> <td>SC - 106</td> <td style="width: 30%;"><b>PROYECTO:</b></td> <td>Trabajo de graduación "Desarrollo y uso de bloques de concreto permeable en senderos ecológicos"</td> </tr> <tr> <td><b>MUESTRA:</b></td> <td>Agregado fino</td> <td><b>FECHA:</b></td> <td>05/03/2012</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td><b>O.T. No.:</b></td> <td>29562</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td><b>LABORATORIO:</b></td> <td>Concretos</td> </tr> </table>	<b>INFORME No.:</b>	SC - 106	<b>PROYECTO:</b>	Trabajo de graduación "Desarrollo y uso de bloques de concreto permeable en senderos ecológicos"	<b>MUESTRA:</b>	Agregado fino	<b>FECHA:</b>	05/03/2012			<b>O.T. No.:</b>	29562			<b>LABORATORIO:</b>	Concretos																		
<b>INFORME No.:</b>	SC - 106	<b>PROYECTO:</b>	Trabajo de graduación "Desarrollo y uso de bloques de concreto permeable en senderos ecológicos"																																
<b>MUESTRA:</b>	Agregado fino	<b>FECHA:</b>	05/03/2012																																
		<b>O.T. No.:</b>	29562																																
		<b>LABORATORIO:</b>	Concretos																																
<b>AGREGADO FINO PARA CONCRETO</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td><b>INTERESADO:</b></td> <td>Natalia Ixchel Rodas Ralida Carné No. 200714530</td> </tr> </table>	<b>INTERESADO:</b>	Natalia Ixchel Rodas Ralida Carné No. 200714530																																
<b>INTERESADO:</b>	Natalia Ixchel Rodas Ralida Carné No. 200714530																																		
<b>CARACTERISTICAS FISICAS:</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Peso Especifico</td><td>1.97</td></tr> <tr><td>Peso Unitario (kg/m<sup>3</sup>)</td><td>1008.32</td></tr> <tr><td>Peso Unitario Suelto (kg/m<sup>3</sup>)</td><td>941.49</td></tr> <tr><td>Porcentaje de Vacios</td><td>48.82</td></tr> <tr><td>Porcentaje de Absorción</td><td>7.31</td></tr> <tr><td>Contenido de Materia Orgánica</td><td>3</td></tr> <tr><td>% que pasa Tamiz 200</td><td>5.81</td></tr> <tr><td>Modulo de Finura</td><td>2.20</td></tr> <tr><td>% Retenido Tamiz 6.35</td><td>0.00</td></tr> </table>	Peso Especifico	1.97	Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1008.32	Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	941.49	Porcentaje de Vacios	48.82	Porcentaje de Absorción	7.31	Contenido de Materia Orgánica	3	% que pasa Tamiz 200	5.81	Modulo de Finura	2.20	% Retenido Tamiz 6.35	0.00	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Tamiz No.</td> <td>9.50</td> <td>4.75</td> <td>2.36</td> <td>1.18</td> <td>0.60</td> <td>0.30</td> <td>0.15</td> </tr> <tr> <td>% Que pasa</td> <td>100.00</td> <td>99.57</td> <td>91.35</td> <td>77.99</td> <td>60.22</td> <td>37.49</td> <td>13.53</td> </tr> </table>	Tamiz No.	9.50	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15	% Que pasa	100.00	99.57	91.35	77.99	60.22	37.49	13.53
Peso Especifico	1.97																																		
Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1008.32																																		
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	941.49																																		
Porcentaje de Vacios	48.82																																		
Porcentaje de Absorción	7.31																																		
Contenido de Materia Orgánica	3																																		
% que pasa Tamiz 200	5.81																																		
Modulo de Finura	2.20																																		
% Retenido Tamiz 6.35	0.00																																		
Tamiz No.	9.50	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15																												
% Que pasa	100.00	99.57	91.35	77.99	60.22	37.49	13.53																												
<b>OBSERVACIONES:</b> a) Muestra proporcionada por el interesado. b) Contenido de materia orgánica máximo permisible No. 3. c) Procedencia .....	 <p style="text-align: center;">GRAFICA DEL MATERIAL</p> <p style="text-align: center;">LIMITES ASTM C-33</p>																																		
Vo. Bo. Inga. Teina Marcela Cano Morales Directora CI/USAC	Inga. Dilys Yémet Mejicanos Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros																																		
 <b>SECCION AGREGADOS, CONCRETOS Y MORTEROS</b> DIRECCION	 SECCION DE AGREGADOS, CONCRETOS Y MORTEROS CIH / USAC																																		

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos, marzo 2012.



## Resistencia de cilindros de concreto a 14 días



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 24960

**RESISTENCIA DE CILINDROS DE CONCRETO**  
**NORMA ASTM C-39**  
INFORME No. S.C. - 117  
HOJA 1/1

O.T. No. 29416

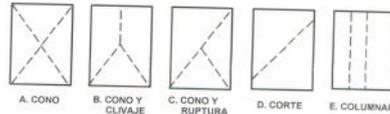
**INTERESADO:** Natalia Ixchel Rodas Raída, Carné: 200714530  
**PROYECTO:** Trabajo de Graduación "DESARROLLO Y USO DE BLOQUES DE CONCRETO PERMEABLE EN SENDEROS ECOLOGICOS"  
**DIRECCIÓN:** Ciudad  
**FECHA:** 16 de marzo de 2012

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE FUNDICIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICIÓN	PESO en kg	DIÁMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA $\text{kg/cm}^2$	RESISTENCIA $\text{lb/ft}^2$	TIPO DE FRACTURA
1.1	18-3	03/02/2012	17/02/2012	14	1 : 0.37 : 4.87 : 0.49	9.946	15.033	30.300	24,869	63.55	903.91	C
1.2	19-3	03/02/2012	17/02/2012	14	1 : 0.37 : 4.87 : 0.49	10.182	15.100	30.500	24,372	61.73	878.04	C
2.1	20-3	03/02/2012	17/02/2012	14	1 : 0.6 : 4.5 : 0.49	10.703	15.033	29.280	32,342	82.65	1175.53	C
2.2	21-3	03/02/2012	17/02/2012	14	1 : 0.6 : 4.5 : 0.49	9.883	15.067	30.500	28,849	73.40	1043.94	C
3.1	22-3	03/02/2012	17/02/2012	14	1 : 0.3 : 4.2 : 0.49	9.372	15.100	30.500	20,195	51.15	727.56	D
3.2	23-3	03/02/2012	17/02/2012	14	1 : 0.3 : 4.2 : 0.49	9.512	15.100	30.500	17,409	44.10	627.19	C

**OBSERVACIONES :**

- a) Muestra proporcionada por el interesado.  
b) El interesado proporcionó:
- No. de cilindro en obra.
  - Fecha de fundición.
  - Edad de ensayo.
  - El representativo de la fundición.

**BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA**



Vo.Bo.

Inga. Telma Marcela Cano Morales  
Directora CII/USAC



Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol  
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros



FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos, marzo 2012.

## Resistencia de cilindros de concreto a 28 días



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



Nº 24961

**RESISTENCIA DE CILINDROS DE CONCRETO  
NORMA ASTM C-39  
INFORME No. S.C. - 118  
HOJA 1/1**

O.T. No. 29416

**INTERESADO:** Natalia Ixchel Rodas Ralda, Carné: 200714530  
**PROYECTO:** Trabajo de Graduación "DESARROLLO Y USO DE BLOQUES DE CONCRETO PERMEABLE EN SENDEROS ECOLOGICOS"  
**DIRECCIÓN:** Ciudad  
**FECHA:** 16 de marzo de 2012

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE FUNDICIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICIÓN	PESO en kg	DIÁMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA kg/cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA lb/plg <sup>2</sup>	TIPO DE FRACTURA
1.1	28-3	03/02/2012	02/03/2012	28	1 : 0.37 : 4.87 : 0.49	7.970	15.167	30.000	29,896	75.06	1067.60	B
1.2	29-3	03/02/2012	02/03/2012	28	1 : 0.37 : 4.87 : 0.49	6.830	15.133	30.500	19,354	48.81	694.19	B
2.1	30-3	03/02/2012	02/03/2012	28	1 : 0.6 : 4.5 : 0.49	7.610	15.133	30.300	31,833	80.28	1141.79	B
2.2	31-3	03/02/2012	02/03/2012	28	1 : 0.6 : 4.5 : 0.49	6.110	15.133	30.500	34,817	87.80	1248.82	B
3.1	32-3	03/02/2012	02/03/2012	28	1 : 0.3 : 4.2 : 0.49	6.690	15.100	30.500	19,354	49.02	697.26	B
3.2	33-3	03/02/2012	02/03/2012	28	1 : 0.3 : 4.2 : 0.49	6.830	15.133	30.400	22,382	56.44	802.80	B

**OBSERVACIONES :**

- a) Muestra proporcionada por el interesado.
- b) El interesado proporcionó:
  - No. de cilindro en obra.
  - Fecha de fundición.
  - Edad de ensayo.
  - El representativo de la fundición.

**BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA**



ATENTAMENTE,

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
Directora CII/USAC



Inga. Dilma Janet Mejicanos Jol  
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos, marzo 2012.

## Ensayo a flexión de vigas de concreto



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 24930

### ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGAS DE CONCRETO

NORMA ASTM C-78

INFORME No. S.C. - 107

HOJA 1/1

O.T. No. 29417

**INTERESADO:** Natalia Ixchel Rodas Ralda Carné No. 200714530  
**PROYECTO:** Trabajo de graduación "Desarrollo y uso de bloques de concreto permeable en senderos ecológicos"  
**DIRECCIÓN:** Ciudad  
**FECHA:** 05 de marzo de 2012

**RESULTADOS:**

MUESTRA	FECHA DE HECHURA	FECHA DE RUPTURA	EDAD (días)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	LARGO (cm)	LUZ ENTRE APOYOS (cm)	CARGA RUPTURA (kg)	ESFUERZO A FLEXIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO A FLEXIÓN (Psi)
1-14	03/02/2012	17/02/2012	14	15.17	15.17	53.43	45.72	1640.00	21.49	305.69
2-14	03/02/2012	17/02/2012	14	15.37	15.20	53.40	45.72	1885.00	24.27	345.26
3-14	03/02/2012	17/02/2012	14	15.27	15.10	53.40	45.72	1675.00	22.00	312.91
1-28	03/02/2012	02/03/2012	28	15.07	14.00	53.47	45.72	1500.00	21.33	303.43
2-28	03/02/2012	02/03/2012	28	15.37	11.27	53.60	45.72	870.00	20.39	290.04
3-28	03/02/2012	02/03/2012	28	15.07	15.20	53.00	45.72	1460.00	19.18	272.74

**OBSERVACIONES:**

- a) Las vigas 1-14, 2-14, 3-14, 2-28 y 3-28, la falla ocurrió en el tercio medio de la viga sin sobrepasar en más de 5%.
- b) La viga 1-28, la falla ocurrió sobrepasando en más del 5% del tercio medio de la viga.

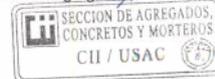
ATENTAMENTE,

Vo.Bo.

Inga. Telma Maticela Cano Morates  
Directora CII/USAC



Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jbl  
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros



EMG

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos, marzo 2012.

## Ensayo de impacto para bloques de concreto permeable



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



### ENSAYO DE IMPACTO PARA BLOQUES DE CONCRETO PERMEABLE

INFORME No. S.C. - 231

O.T. No. 29789

Hoja 1/1

INTERESADO: Natalia Rodas, Carné: 200714530

PROYECTO: Trabajo de Graduacion: "Desarrollo y uso de bloques de concreto permeable en senderos ecologicos".

FECHA: 7 de Mayo de 2012

#### RESULTADOS:

Diseño de mezcla	Edad en Dias	Altura de impacto en cm.	Resistencia a Impacto Kg/cm <sup>2</sup>
1	14	47	922,14
2	14	48	941,76
3	14	61	1196,2

#### OBSERVACIONES:

- Mezcla realizada bajo condiciones de laboratorio.
- Los bloques de concreto fueron proporcionados por el interesado.

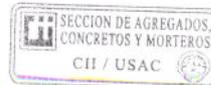
ATENTAMENTE,

Vo.Bo.

Inga. Telma Marcela Cano Morales  
Directora CII/USAC



Inga. Dirla Yanet Mejicanos Jol  
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros



i.c.

## Ensayo de permeabilidad y absorción en concreto permeable



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



### ENSAYO DE PERMEABILIDAD, % ABSORCIÓN EN CONCRETO ASTM C-1701

INFORME No. S.C. - 199

O.T. No. 29418

HOJA 1/1

INTERESADO: Natalia Ixchel Rodas Ralda Carné 200714530

PROYECTO: Trabajo de Graduación "Desarrollo y uso de bloques de concreto permeable en senderos ecológicos"

DIRECCIÓN: Ciudad

FECHA: 19 de abril de 2012

#### RESULTADOS:

	% ABSORCIÓN	TASA DE FILTRACIÓN
Mezcla 1	3.66	1,762.08 pulg/hora
Mezcla 2	3.64	1,409.67 pulg/hora
Mezcla 3	3.19	1,001.09 pulg/hora

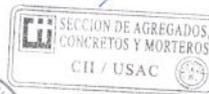
OBSERVACIONES: a) Mezclas realizadas por el interesado.

Atentamente,

Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol  
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros  
M.C.

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
Directora CII/USAC



FACULTAD DE INGENIERÍA --USAC--  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos, abril 2012.