



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

**ESTUDIO Y EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO POLIMÉRICO PERMEABLE
PARA SU UTILIZACIÓN EN PROYECTOS CON FINES AMBIENTALES**

José Iván González Cabrera

Asesorado por la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Guatemala, julio de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO Y EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO POLIMÉRICO PERMEABLE
PARA SU UTILIZACIÓN EN PROYECTOS CON FINES AMBIENTALES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSÉ IVÁN GONZÁLEZ CABRERA

ASESORADO POR LA INGA. DILMA YANET MEJICANOS JOL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, JULIO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Edgar Fernando Valenzuela Villanueva
EXAMINADOR	Ing. Fernando Amílcar Boiton Velásquez
EXAMINADOR	Ing. Victor Manuel López Juárez
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:

ESTUDIO Y EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO POLIMÉRICO PERMEABLE PARA SU UTILIZACIÓN EN PROYECTOS CON FINES AMBIENTALES

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 2 de noviembre de 2012.



José Iván González Cabrera



Guatemala, 18 de mayo de 2015

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: **ESTUDIO Y EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO POLIMÉRICO PERMEABLE PARA SU UTILIZACIÓN EN PROYECTOS CON FINES AMBIENTALES**, elaborado con el estudiante universitario José Iván González Cabrera, quien contó con la asesoría de la suscrita.

Considerando que el trabajo desarrollado por el estudiante universitario González Cabrera, 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





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,
27 de mayo de 2015

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 ESTUDIO Y EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO POLIMÉRICO PERMEABLE PARA SU UTILIZACIÓN EN PROYECTOS CON FINES AMBIENTALES, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil José Iván González Cabrera, 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

Guillermo Francisco Melini Salguero

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



FACULTAD DE INGENIERÍA
ÁREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/bbdeb.
Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala


<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 Escuela de Ingeniería Civil



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 del estudiante José Iván González Cabrera, titulado ESTUDIO Y EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO POLIMÉRICO PERMEABLE PARA SU UTILIZACIÓN EN PROYECTOS CON FINES AMBIENTALES, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

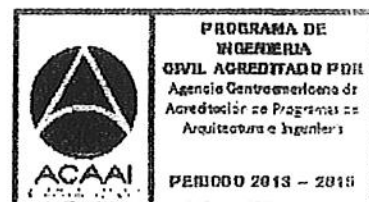
[Handwritten Signature]
 Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, julio 2015

/bbdeb.

Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua





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: **ESTUDIO Y EVALUACION DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO POLIMÉRICO PERMEABLE PARA SU UTILIZACIÓN EN PROYECTOS CON FINES AMBIENTALES**, presentado por el estudiante universitario: **José Iván González Cabrera**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, julio de 2015

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Creador de todas las cosas, supremo, soberano, omnipotente, omnisciente, de quien proviene toda sabiduría y a quien debo todo.
Mi madre	Yolanda Cabrera Arias, por su amor incondicional, por ser pilar fundamental en mi vida, mi guía, madre y amiga.
Mi padre	José David González (q. e. p. d.), por enseñarme que con trabajo, esfuerzo, dedicación y perseverancia los objetivos se alcanzan.
Mis hermanos	Luis Gabriel Cabrera y David Ismael González Cabrera (q. e. p. d.), por ser parte fundamental en mi vida.
Mi cuñada	Fabiola Barrios de Cabrera, por sus consejos y cariño.
Mis sobrinos	Luis Emilio, Meylin, Gaby y Mary Cabrera, por ser ángeles en mi vida.
Mis tíos	Eugenia, Julio, Gustavo, Dina Cabrera, Flori, Leticia Guzmán y Carlos Guerra.

Mis primos

Por su apoyo y su cariño.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por hacer esto posible.
Mis amigos	Por ser la otra familia, por estar allí siempre, por haber compartido mis tristezas y alegrías, sin ustedes esto no hubiera sido lo mismo, por su apoyo incondicional, por ser tantos y no poder nombrarlos en este trabajo, gracias totales.
Mi asesora	Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol, por su apoyo incondicional, por su invaluable colaboración en este trabajo de graduación.
Facultad de Ingeniería	Por abrirme las puertas al conocimiento y formarme académicamente.
Sección de agregados, concretos y morteros CII/USAC	Por el conocimiento compartido y la ayuda brindada durante el período de prácticas finales hasta la ejecución y culminación de este trabajo de investigación.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Gloriosa y tricentenaria casa de estudios, <i>alma mater</i> .
El pueblo de Guatemala	Por haber subsidiado con sus impuestos mi formación profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Concreto permeable	1
1.1.1. Definición del concreto permeable.....	1
1.1.2. Historia	1
1.1.3. Composición del concreto permeable.....	4
1.1.3.1. Cemento	4
1.1.3.2. Agregados	5
1.1.3.3. Aditivos	7
1.1.3.4. Material alternativo	8
1.1.3.5. Agua	10
1.1.4. Características físicas y propiedades mecánicas del concreto permeable	13
1.1.4.1. Propiedades del concreto permeable fresco.....	13
1.1.4.2. Propiedades del concreto permeable endurecido.....	14
1.1.4.2.1. Densidad y relación de vacíos	14

	1.1.4.2.2.	Permeabilidad	15
	1.1.4.2.3.	Resistencia a compresión.....	16
	1.1.4.2.4.	Resistencia a flexión	21
	1.1.5.	Ventajas y desventajas del concreto permeable	24
1.2.		Usos y aplicaciones del concreto permeable en obras civiles	27
	1.2.1.	Estabilización de taludes por medio de sistemas de drenajes de concreto permeable	28
	1.2.2.	Insolación térmica de viviendas por medio de bloques de concreto permeable	31
	1.2.3.	Sistemas de drenajes para aguas pluviales para estructuras planas de paso	33
	1.2.3.1.	Drenajes para recolección de aguas pluviales	34
	1.2.3.2.	Drenajes para infiltración de aguas pluviales	37
	1.2.4.	Pavimentos de concreto permeable en carreteras y estacionamientos abiertos.....	38
1.3.		Propuesta para la dosificación del concreto permeable	44
2.		MARCO EXPERIMENTAL	47
	2.1.	Caracterización de los materiales para concreto permeable....	47
	2.1.1.	Ensayos a agregado fino y grueso según Norma ASTM C-33.....	47
	2.1.2.	Ensayos a fibras de material alternativo (polvillo de PET)	50
	2.1.2.1.	Clasificación de los plásticos.....	50
	2.1.2.2.	Ensayos a polvillo de PET	52

2.2.	Propuestas de diseños de mezcla para concreto permeable ..	54
2.2.1.	Dosificación de mezclas	54
2.2.1.1.	Mezcla 1	56
2.2.1.2.	Mezcla 2	57
2.2.1.3.	Mezcla 3	58
2.2.1.4.	Mezcla 4	59
2.2.1.5.	Mezcla 5	60
2.2.1.6.	Mezcla 6	61
2.2.1.7.	Mezcla 7	62
2.3.	Ensayos físicos y mecánicos a mezclas de concreto permeable.....	63
2.3.1.	Peso unitario de mezclas.....	63
2.3.2.	Temperatura	64
2.3.3.	Ensayo de resistencia a compresión según Norma ASTM C-39 a 3,7 y 28 días.....	65
2.3.4.	Ensayos de resistencia a flexión según Norma ASTM C – 78 a 28 días.....	72
2.3.5.	Prueba de permeabilidad.....	74
3.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	75
	APÉNDICES	83

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Mezcla con poca cantidad de agua.....	11
2.	Mezcla con adecuada cantidad de agua.....	12
3.	Mezcla con excesiva cantidad de agua.....	12
4.	Gráfica de la relación entre esfuerzos de compresión y peso unitario a 28 días.....	18
5.	Gráfica de la relación entre resistencia de compresión y relación de agregado/cemento de los resultados obtenidos por el Nader Ghafoori.....	20
6.	Gráfica de la relación entre esfuerzos de flexión y la relación de vacíos.....	22
7.	Gráfica de la relación entre esfuerzos de flexión y tamaño del poro....	23
8.	Estabilización de talud con concreto permeable y bloques armados ...	28
9.	Estabilización de muro de contención con concreto permeable.....	29
10.	Relleno de muro de estabilización con concreto permeable según diseño de figura 9.....	30
11.	Relleno de muro de estabilización con concreto permeable según diseño de figura 9, relleno de bloques.....	31
12.	Modelo de puente térmico en vivienda convencional.....	32
13.	Modelo de aislamiento en solera con concreto permeable.....	33
14.	Drenaje en estructura de paso de concreto permeable.....	35
15.	Drenaje de recolección de aguas pluviales en pavimentos de concreto permeable.....	35

16.	Drenaje de recolección de agua pluvial en estructura de paso de concreto permeable en terreno inclinado	36
17.	Modelo 1 de drenaje de infiltración en pavimento de concreto permeable	37
18.	Estructura base de pavimentos de concreto permeable	39
19.	Pavimento de concreto permeable y adoquín con drenaje para la recolección de aguas pluviales	40
20.	Pavimento de concreto permeable con drenaje para infiltración	40
21.	Pavimento de concreto permeable	41
22.	Compactado de pavimento de concreto permeable	42
23.	Cortado de pavimento de concreto permeable.	42
24.	Gráfica granulométrica de agregado fino	48
25.	Gráfica granulométrica de agregado grueso.....	49
26.	Códigos de identificación de plásticos	51
27.	Gráfica granulométrica de polvillo de PET.....	53
28.	Fórmula para determinar factor de peso unitario	56
29.	Resultados de los ensayos a cilindros de mezcla núm. 1 a 3, 7 y 28 días	65
30.	Resultados de resistencia en tensión indirecta de cilindros de mezcla núm. 1.....	66
31.	Resultados de los ensayos a cilindros de mezcla núm. 2 a 3, 7 y 28 días	66
32.	Resultados de resistencia en tensión indirecta de cilindros de mezcla núm. 2.....	67
33.	Resultados de los ensayos a cilindros de mezcla núm. 3 a 3, 7 y 28 días	67
34.	Resultados de resistencia en tensión indirecta de cilindros de mezcla núm. 3.....	68

35.	Resultados de los ensayos a cilindros de mezcla núm. 4 a 3, 7 y 28 días	68
36.	Resultados de resistencia en tensión indirecta de cilindros de mezcla núm. 4	69
37.	Resultados de los ensayos a cilindros de mezcla núm. 5 a 3, 7 y 28 días	69
38.	Resultados de resistencia en tensión indirecta de cilindros de mezcla núm. 5	70
39.	Resultados de los ensayos a cilindros de mezcla núm. 6 a 3, 7 y 28 días	70
40.	Resultados de resistencia en tensión indirecta de cilindros de mezcla núm. 6	71
41.	Resultados de los ensayos a cilindros de mezcla núm. 7 a 3, 7 y 28 días	71
42.	Resultados de resistencia en tensión indirecta de cilindros de mezcla núm. 7	72
43.	Resultados de ensayos de flexión a vigas de concreto permeable de mezclas 1, 2, 3, 4, y 5	73
44.	Resultados de ensayos de flexión a vigas de concreto permeable de mezclas 6 y 7	73
45.	Resultados de prueba de permeabilidad de mezclas 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7	74

TABLAS

I.	Propiedades mecánicas de PET	9
II.	Datos de resistencia a compresión obtenidas y las distintas relaciones de agregado/cemento utilizadas por el investigador Nader Ghafoori	19
III.	Rango de proporciones utilizadas para la fabricación de concreto permeable según NRMCA	46
IV.	Tabla de características físicas del agregado fino	48
V.	Tabla de características físicas del agregado grueso	49
VI.	Tabla de características físicas de polvillo de PET	53
VII.	Parámetros para diseño de mezclas.....	55
VIII.	Proporciones de mezcla 1	57
IX.	Proporciones de mezcla 2	58
X.	Proporciones de mezcla 3	59
XI.	Proporciones de mezcla 4	60
XII.	Proporciones de mezcla 5	61
XIII.	Proporciones de mezcla 6	62
XIV.	Proporciones de mezcla 7	63
XV.	Pesos unitarios de mezclas de concreto permeable.....	64
XVI.	Tabla de temperatura de las mezclas de concreto permeable	64

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
AF	Agregado fino
AG	Agregado grueso
W	Agua
C	Cemento
°C	Grados Celsius
M1-1	Mezcla 1 elemento 1
M2-1	Mezcla 2 elemento 1
M3-1	Mezcla 3 elemento 1
M4-1	Mezcla 4 elemento 1
M5-1	Mezcla 5 elemento 1
M6-1	Mezcla 6 elemento 1
M7-1	Mezcla 7 elemento 1

PU

Peso unitario

A/C

Relación agua/cemento

GLOSARIO

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation officials.
ACI	American Concrete Institute.
ACI 522R-6	Informe técnico en la aplicación de concreto permeable, materiales, proporciones y aplicaciones.
ASTM	American Society for Testing and Materials.
Cemento Pórtland	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.
<i>Clinker</i>	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.
Coguanor	Comisión Guatemalteca de Normas.
CPA	Concrete Pavement Analyst.

Infiltración	Movimiento del agua a través de una superficie hacia el suelo y al interior de la tierra.
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
PET	Polietileno tereftalato.
<i>Slump</i>	Prueba que mide el asentamiento en mezclas de concreto.

RESUMEN

El concreto permeable es un material de estructura abierta con revenimiento cero, compuesto por cemento Pórtland, agregado grueso, poco o nada de agregado fino, aditivo y agua. Este material ha sido utilizado como medida de mitigación para los efectos desastrosos que causa la escorrentía de aguas pluviales. También se ha utilizado como medio de recolección de aguas pluviales para su reutilización o infiltración y recargar el manto freático. Independientemente de su uso, el concreto permeable ha demostrado ser una medida excelente para proyectos con fines ecológicos.

El siguiente trabajo busca desarrollar una mezcla de concreto permeable mediante la variación de sus componentes básicos, y un material alternativo derivado del proceso de reciclaje del PET, conocido como polvillo de PET. La variación se hará en las proporciones de siete distintas mezclas para obtener una proporción adecuada, que cumpla con los requisitos de resistencia y permeabilidad para su uso en proyectos con fines ecológicos. Las mezclas serán evaluadas mediante ensayos normados para los elementos de concreto permeable elaborados y se determinara la proporción idónea con base en los resultados de los ensayos realizados.

OBJETIVOS

General

Elaborar un concreto polimérico permeable que proporcione las características físicas y propiedades mecánicas para su utilización en proyectos ambientales, que permitan la filtración de las aguas pluviales y eviten los efectos destructivos de la escorrentía.

Específicos

1. Verificar si el polvillo de PET contribuye a mejorar las características físicas y propiedades mecánicas del concreto permeable.
2. Establecer la incidencia del agregado fino en las mezclas de concreto permeable en cuanto a resistencia y permeabilidad.
3. Determinar si el uso de aditivo en mezclas de concreto permeable contribuyen a mejorar sus características físicas y propiedades mecánicas.
4. Diseñar la mezcla de concreto permeable idóneo con base en los resultados de las distintas muestras elaboradas para su uso en proyectos con fines ambientales.

INTRODUCCIÓN

Guatemala ha sido un país golpeado por las épocas de invierno y los fenómenos que en ellos se manifiestan. Los principales desastres registrados han sido debido a las fuertes lluvias, las cuales descarga grandes cantidades de agua pluvial, debido a la impermeabilidad del área urbana, hasta llegar a formar grandes caudales que provocan severos daños a la infraestructura vial y urbana, resultado en considerables pérdidas económicas para las comunas y sectores privados. La elevada permeabilidad del concreto es una solución al problema del escurrimiento superficial proveniente de las aguas pluviales, cuando se usa como sistemas de pavimentos de concreto permeable, evitando los encharcamientos y reduciendo los daños a la infraestructura vial urbana, permitiendo que se recargue el manto freático, el cual abastece con agua a los distintos pozos en el área urbana.

La capacidad del concreto permeable, de retener contaminantes sólidos en la escorrentía que se filtra a través de su estructura, es otro de los beneficios de este material, impidiendo la contaminación de áreas adyacentes, como sucede con las superficies impermeables. Además, cuando se usa en combinación con áreas verdes, la estructura porosa permite el ingreso de agua y oxígeno necesario, para el crecimiento de las plantas que dan sombra y calidad al aire.

Este trabajo busca elaborar un concreto permeable con las características físicas y propiedades mecánicas ideales para su utilización en proyectos con fines ambientales.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Concreto permeable

Es un concreto de estructura abierta, debido a que se compone de cemento y agregado grueso. Su principal característica es contener una gran cantidad de vacíos, haciendo que sea un concreto poroso que permite la filtración de agua a través de su estructura.

1.1.1. Definición del concreto permeable

Según ACI-522R el concreto permeable es un material de estructura abierta, con revenimiento cero, compuesto por cemento Portland, agregado grueso, poco o nada de finos, aditivos y agua. La combinación de estos materiales produce un material endurecido con poros interconectados, cuyo tamaño varía de 2 a 8 milímetros, lo que permite el paso de agua.

1.1.2. Historia

El concreto permeable ha sido un material utilizado históricamente por los países europeos desde el principio del siglo XIX. Inglaterra registra el uso de este material como muros de carga en edificaciones, debido a sus propiedades físicas, haciéndolo ideal para la insolación térmica. El registro oficial más antiguo lo tiene dos casas, las cuales fueron construidas en dicho país con concreto permeable, estas casas fueron mejor conocidas como las casas Wimpey, en honor a quien hizo uso de la tecnología, un constructor de nombre George Wimpey. Para 1942 se registró la construcción de más de 900 casas de

concreto permeable. Es así como Wimpey dio a conocer al mundo un nuevo material, que a través de los años fue utilizado como paneles y *blocks* curados a vapor, para posteriormente utilizarse en muros para la insolación térmica de las edificaciones.

No fue sino hasta después de la Segunda Guerra Mundial, que el concreto permeable tuvo su auge en la construcción como un material novedoso, de nuevas y distintas características al concreto convencional. El uso del concreto permeable se expandió al resto de Europa, Estados Unidos de América, Venezuela, África, el Medio Oriente y Australia. El concreto permeable requiere muy poco cemento para su elaboración en comparación al concreto convencional, motivo por el cual estimuló el uso del mismo, pero este fue restringido debido a sus propiedades mecánicas, siendo la baja resistencia a esfuerzos de compresión, la que restringió principalmente el uso de este material.

En los Estados Unidos de América el concreto permeable fue una medida implementada para mitigar los efectos de la escorrentía, causada por la rápida expansión urbana, lo cual incrementaba considerablemente las áreas impermeables, acumulando grandes caudales en los medios de evacuación. El estado de Florida fue uno de los primeros en utilizar el concreto permeable en carreteras de tráfico liviano, principalmente en vías que divergían de carreteras principales a las zonas residenciales. El uso del concreto permeable lentamente fue desplazándose a estados como Nuevo México y Utah.

En 1990 la administración de protección ambiental de Estados Unidos, implementó la Ley de Agua Limpia, que más tarde dio lugar a otras fases de ejecución para preservar los cursos de agua libre de contaminantes transmitidos por la escorrentía de las aguas pluviales. Básicamente requiere que el

propietario o desarrollador del proyecto que conlleve a la impermeabilización del suelo logre mantener dentro de la propiedad, tanto como sea posible las aguas pluviales y evitar así el arrastre de sólidos, sedimentos, químicos y otros contaminantes.

Las aguas pluviales al dejar la propiedad deben de estar lo más limpias posibles, libres de sólidos y el menor contenido de contaminantes. El concreto permeable fue reconocido como uno de las mejores prácticas para el manejo de las aguas pluviales, debido a que permite la filtración, limpieza y retención de las aguas pluviales. Luego de la implementación de esta ley a finales de 1990, los estados de California, Illinois, Oklahoma, Kansas y Wisconsin decidieron adoptar similares medidas para el manejo de aguas pluviales, utilizando concreto permeable en aparcamientos, vías peatonales y otras estructuras planas de paso.

La primera implementación de concreto permeable a gran escala se dio en el Metro de Sugar Creek de la ciudad de Kansas, estado de Misuri. Fue utilizado también como hombros de carreteras principales y carreteras de tráfico liviano, especialmente en zonas residenciales, donde se pudo apreciar muchas de las ventajas en el uso de este material, como lo fue una notoria reducción de la contaminación de sonido y la reducción de inundaciones de las carreteras. A partir de 2005, después de la exitosa construcción del metro de Sugar Creek, otras ciudades han implementado sistemas de drenas, carreteras y estructuras para el manejo de aguas pluviales mediante el uso de concreto permeable, práctica que recientemente se ha expandido por todo el país norteamericano.

En Guatemala el uso de concreto permeable ha sido limitado, debido a la falta de conocimiento de este material, su preparación e implementación, puesto que registros no oficiales dan a conocer que la principal restricción es

por su poca resistencia a la compresión. Su uso principal han sido para pasos peatonales y muros en jardines ecológicos para la filtración del agua hacia al suelo y áreas donde pueda ser aprovechado por la flora.

1.1.3. Composición del concreto permeable

Como anteriormente se ha definido, el concreto permeable es un material compuesto principalmente de cemento y agregado grueso. En algunas de sus dosificaciones se ha utilizado una mínima cantidad de agregado fino, pero su uso es muy limitado, debido a que el agregado fino tiende a reducir la permeabilidad del concreto. En países donde el uso de concreto permeable ha aumentado considerablemente durante las últimas 2 décadas, ha generado una gran tendencia a utilizar aditivos para mejorar las propiedades mecánicas. El uso de estos aditivos ha sido una práctica con resultados altamente satisfactorios, lo cual ha llevado a la ampliación del campo de aplicación del concreto permeable.

1.1.3.1. Cemento

Es un material aglomerante, compuesto a base de caliza, esquistos y arcillas pulverizadas, y expuestas a grandes temperaturas para formar un material conocido como *clinker*. Este está formado por una mezcla de silicatos, aluminatos y ferrito aluminato de cal. Posteriormente el *clinker* se pulveriza y adiciona un material regulador de fraguado, como lo es el yeso dihidrato para formar finalmente el cemento.

Los tipos de cemento recomendados para la elaboración de concreto permeable son: Pórtland tipo I y II de acuerdo con lo establecido en la Norma

ASTM C-150 o cemento Pórtland IP o IS de conformidad con lo que establece la Norma ASTM C-595.

Es posible la utilización de cenizas volantes y escorias para la fabricación de concreto permeable. Puede utilizarse cenizas volantes de conformidad con lo establecido en la Norma ASTM C-618 en una cantidad no mayor al 20 % del material cementante y escorias de conformidad con la Norma ASTM C-989 en una cantidad no mayor al 50 % del total del material cementante.

1.1.3.2. Agregados

Son considerados materiales pétreos inertes de la degradación mecánica de rocas, estas pueden ser de origen volcánico como las ígneas, o sedimentarias; como la caliza. El uso del agregado fino es muy limitado en las mezclas de concreto permeable y cuando sea necesario el agregado fino deberá cumplir de conformidad con lo establecido en la Norma ASTM C-33.

Según estudios del FDOT (Departamento de Transporte de Florida por sus siglas en inglés) los agregados retenidos en tamiz núm. 8 que varían de 3/8 de pulgada a núm. 16, que cumplen con lo establecido en la Norma ASTM C-33, ha presentado resultados altamente satisfactorios en la fabricación de concreto permeable, y son utilizados con mayor frecuencia en la pavimentación de parqueos y vías de tránsito vehicular liviano.

Debido a que el tamaño y forma del agregado grueso tienen una influencia significativa en la resistencia y capacidad de infiltración en el concreto permeable, se ha optado por utilizar otros tamaños de agregados en la fabricación del concreto permeable. Tales mezclas se han realizado con

agregados de un solo tamaño, es decir agregados retenidos entre un tamiz y otro abarcando un rango de tamices.

Para las mezclas de concreto permeable con agregado de un solo tamaño se recomienda utilizar agregados retenidos de manera individual, desde el tamiz núm. 4 hasta el tamiz 3/4 de pulgada de conformidad con lo establecido en la Norma ASTM C-33. Agregados de un solo tamaño de hasta 1 pulgada (25 mm) también se han utilizado. Los agregados más grandes proporcionan una superficie más áspera. Por lo que ha resultado más factible utilizar agregados de menor tamaño por razones estéticas.

ASTM D-448 también se puede utilizar para la definición de gradaciones. Una gradación de corto rango es característica muy importante para el concreto permeable. Las gradaciones de agregado grueso habitualmente utilizadas en el concreto permeable son aquellas de conformidad con ASTM C-33 entre núm. 67 (3/4 de pulgada a núm. 4), núm. 8 (3/8 al núm. 16), y núm. 89 (3/8 pulgadas con el núm. 50). Agregados de canto rodado (gravas) y angulares (piedra triturada) se han utilizado para la fabricación de concreto permeable, aunque típicamente se han obtenido resistencias más altas con agregados de canto rodado (gravas), aunque los agregados angulares generalmente son adecuados para la fabricación de concreto permeable.

La Norma ASTM C-33 comprende el control de calidad de los agregados para fabricación de concreto en general, mientras que los agregados utilizados para pavimentos deberán ser aquellos de conformidad con la Norma ASTM D-448, por lo que es de suma importancia analizar lo que se requiera en cada una de estas normas, para analizar los agregados a utilizar en el concreto permeable.

Al igual que en el concreto convencional, el permeable requiere que los agregados se encuentren en condición saturada, de superficie seca o en un estricto control de humedad donde sea posible la determinación de la humedad libre en los agregados.

Es importante señalar que el control de agua en las mezclas de concreto permeable es vital. El agua absorbida por los agregados que no se encuentren bajo las condiciones establecidas producen sequedad en las mezclas de concreto permeable, lo cual conlleva a una mala colocación y compactación de los elementos en el concreto. Sin embargo, el exceso de agua de los agregados, suma líquido a la proporción de la mezcla y aumenta la relación agua cemento en el concreto. Para un mejor resultado global se recomienda lavar los agregados hasta 3 veces para la remoción de impurezas y finos, y mejore así la permeabilidad.

1.1.3.3. Aditivos

Se utilizan para mejorar las propiedades de concreto permeable. Estos pueden ser aditivos reductores de agua de alto rango, que controlan la hidratación del concreto disminuyendo la velocidad de hidratación y extendiendo la vida útil del mismo, y aditivos retardantes de fraguado. La Norma ASTM C-494 determina los aditivos químicos y la Norma ASTM C-260 los aditivos inclusores de aire.

Los aditivos químicos utilizados para la fabricación del concreto permeable altamente recomendados son tipo A, reductores de agua, tipo B, retardantes de fraguado, tipo D, reductor de agua y retardante de fraguado. Todos ellos de conformidad con lo establecido por la Norma ASTM C-494.

Los aditivos reductores de agua se utilizan para mejorar la apariencia de la pasta y la trabajabilidad. Se debe tener especial cuidado en la dosificación de estos aditivos, puesto que la podría llevar a ser muy fluido, con una tendencia a segregarse en la parte inferior de la mezcla. Este fenómeno se llama drenado. Los aditivos retardantes tipo B y D, que controlan hidratación, en condiciones de temperatura ambiente, utilizando una dosis de 3 litros por tonelada de concreto, ofrecen entre 60 y 90 minutos de tiempo de trabajo adicional. Estos aditivos son altamente recomendados, ya que ayudan a eliminar las inconsistencias y la variabilidad del rendimiento de los pavimentos de concreto permeable.

Junto a los aditivos retardantes, los modificadores de la viscosidad resultan beneficiosos en rendimiento del concreto permeable. La utilización de los aditivos modificadores de viscosidad brinda un mejor flujo, menor tiempo de descarga de camión, y una mejor colocación y compactación del concreto permeable. Además, estos aditivos evitan la segregación del concreto, y pueden aumentar tanto la resistencia a la compresión y a la flexión del concreto permeable. Debe tenerse en cuenta que no todos los aditivos modificadores de viscosidad se hacen considerando su uso para la fabricación de concreto permeable, por lo tanto, se debe tener mucho cuidado al elegir un aditivo de este tipo.

1.1.3.4. Material alternativo

El que se utiliza para la fabricación del concreto permeable es un polímero conocido por varios nombres, algunos de ellos son tereftalato de polietileno, politereftalato de etileno, polietilentereftalato o polietileno tereftalato mejor conocido como PET por sus siglas en inglés. Es un plástico muy utilizado para la fabricación de envases de bebidas y químicos, y textiles. El PET es un material desechado a gran escala en Guatemala y no ha sido sino

hasta hace unos años que la industria del reciclaje ha tomado la iniciativa del procesar este material. Algunas de las principales propiedades del PET pueden ser observadas en la siguiente tabla:

Tabla I. **Propiedades mecánicas de PET**

Propiedades Mecánicas	Unidad	ASTM	Valores
Densidad	gr/cm ³	D-792	núm. Cristalizado: 1,33 – 1,34
	gr/cm ³	D-792	Semicristalino: 1,45 – 1,51
	gr/cm ³	D-792	Deformado: 0,93 – 0,95
Peso específico deformado		D-792	0,94
Resistencia a la tracción (fluencia)	MPa	D-638	59
Resistencia a la tracción (rotura)	MPa	D-638	90
Resistencia a la compresión (1 % Deformación)	MPa	D-695	26
Resistencia a la compresión (2 % Deformación)	MPa	D-695	48
Resistencia a la flexión	MPa	D-790	86
Resistencia al choque sin estallar	kg.cm/cm ²	D-256	50
Alargamiento a la rotura	%	D-638	15
Módulo de elasticidad (tracción)	MPa	D-638	2420
Dureza	Shore D	D-2240	85 – 87
Resistencia al desgaste por roce			Muy Buena

Fuente: SANTANA, Orlando. *Comportamiento térmico y mecánico del Polietileno Tereftalato (PET) modificado con resinas poliméricas basadas en Bisfenol A.* p. 204.

El PET en Guatemala es desechado principalmente en estado deformado, en forma de envases de líquidos y químicos, los cuales por falta de su adecuada disposición terminan por acumularse en grandes cantidades en tragantes de aguas pluviales al ser arrastrados por la escorrentía y en aceras de calles y avenidas. El PET y sus derivados recolectados en calles y basureros son clasificados de acuerdo a su estructura para su posterior reciclado, la clasificación se realiza de acuerdo a un número conocido como código de identificación de plástico que se indica más adelante en marco práctico.

El proceso de reciclaje del PET deriva un subproducto, el cual es poco utilizado, este se conoce como polvillo de PET o pelo de PET, son pequeñas fibras y partículas que se producen al triturar los elementos más grandes. El polvillo de PET es utilizado principalmente para mezclas de otros plásticos reciclados utilizados para la fabricación de pilas plásticas, pero su proporción es mínima en comparación a los otros plásticos utilizados, y puesto que se produce a gran escala en el proceso de reciclaje y es el material con mayor grado de contaminación, este pasa a ser un material de muy poco uso y muchas veces desechado. Por esta razón, se ha decidido utilizar este material como un sustituto del agregado fino en mezclas de concreto permeable, donde la utilización del agredo fino es mínima, para brindarle trabajabilidad al concreto y reducir su peso unitario sin que este afecte la relación agua cemento del diseño de mezcla, puesto que es un material no absorbente.

1.1.3.5. Agua

La relación agua/material cementante para la mezclas de concreto permeable se han utilizado entre 0,27 a 0,30 con la inclusión adecuada de aditivos químicos, sin embargo, relaciones agua/material cementante, usan hasta en una relación de 0,34 a 0,40 exitosamente. La relación entre la

resistencia y relación agua/material cementante, no está claramente definida para el concreto permeable, porque a diferencia del concreto convencional, la masa total de la pasta de concreto es menor que el contenido de vacíos entre los agregados. Por lo tanto, una pasta más rica en contenido de material cementante no siempre conduce a la obtención de una mayor resistencia global del concreto permeable. Es por ello que el contenido de agua debe ser estrictamente controlada.

El contenido de agua indicado para la mezcla de concreto permeable debe ser aquel que binde brillo a la mezcla, que no permita el fluido de pasta ni la rápida separación entre los mismos. Un puñado de concreto permeable formado en una bola no deberá derrumbarse, ni perderá su estructura de vacíos mientras la pasta fluya entre los espacios que conectan los agregados, cuando contenga la cantidad de agua indicada. La figura 1, 2, y 3, muestran distintas mezclas de concreto permeable con diferentes contenidos de agua formados en una bola.

Figura 1. **Mezcla con poca cantidad de agua**



Fuente: TENNIS, Paul D; LEMING, Michael L; AKERS, David J.
Pervious concrete pavements. p. 8.

Figura 2. **Mezcla con adecuada cantidad de agua**



Fuente: TENNIS, Paul D; LEMING, Michael L; AKERS, David J.
Pervious concrete pavements. p. 12.

Figura 3. **Mezcla con excesiva cantidad de agua**



Fuente: TENNIS, Paul D; LEMING, Michael L; AKERS, David J.
Pervious concrete pavements. p. 12.

La calidad del agua se describe en el ACI 301. Generalmente el agua que se considere potable es adecuada para su uso en fabricación de concreto. Agua reciclada producto de las operaciones de la producción de concreto

pueden ser utilizadas siempre que cumplan de conformidad con lo establecido en la Norma ASTM C-94 o AASHTO M 157. Si existiese alguna en cuanto a la utilización de cierta agua para la fabricación de concreto permeable, lo más indicado será la realización de algunos ensayos al agua en cuestionamiento de ser posible o en su defecto podrían realizarse mezclas de prueba en pequeñas cantidades para el posterior análisis del concreto.

1.1.4. Características físicas y propiedades mecánicas del concreto permeable

Las propiedades mecánicas del concreto permeable, dependen mucho de las características físicas del concreto, puesto que estas influyen en gran parte en el comportamiento del mismo. Estudios anteriores han relatado que concretos con menor porcentaje de vacíos y mayor peso volumétrico, han obtenido mayores resistencias. Sin embargo, la propiedad permeable se ha visto afectada por estas otras características. A continuación se dan a conocer algunas de las características físicas y propiedades mecánicas del concreto permeable.

1.1.4.1. Propiedades del concreto permeable fresco

La mezcla de concreto permeable es rígida en comparación a la mezcla de concreto convencional. Se han registrado asentamientos generalmente inferiores a 3/4 " (20 mm) sin embargo, se han utilizado concretos con asentamientos de hasta 2 " (50 mm). Cuando el concreto permeable es colocado y compactado, los agregados se adhieren fuertemente entre ellos, formando lo que se caracteriza como una matriz abierta.

Para el control de calidad del concreto permeable, el peso unitario es la medida preferida, debido a que algunas propiedades del concreto fresco como el asentamiento o *slump*, no son significativos para concreto permeable. Los ensayos de resistencia a cilindros normados como los realizados en concreto convencional, también son pocas veces utilizadas como un parámetro de referencia para determinar un indicativo de la resistencia de concreto permeable, puesto que la consolidación en campo del concreto permeable es difícil de reproducir en las muestras cilíndricas, cuya fortaleza dependen en gran parte del contenido de vacíos.

Por ello, generalmente para tener una mejor representación de la resistencia a compresión del concreto permeable se recomienda hacer una extracción. El peso unitario de concreto permeable es de aproximadamente el 70 % del peso unitario de concreto convencional.

1.1.4.2. Propiedades del concreto permeable endurecido

Son las que caracterizan e indican la calidad del concreto fabricado. Las propiedades evaluadas con gran interés para determinar la calidad del concreto permeable son: la densidad y relación de vacíos, permeabilidad, resistencia a compresión y resistencia a flexión.

1.1.4.2.1. Densidad y relación de vacíos

La densidad del concreto permeable depende de las propiedades y las proporciones de los materiales utilizados, especialmente de los agregados, y en los procedimientos de compactación implementados en la colocación. Las densidades típicas del concreto permeable oscilan entre 100 lb/p³ a 125 lb/p³

(1 600 kg/m³ a 2 000 kg/m³), las cuales se encuentran en el rango superior de los concretos livianos.

El contenido de vacíos de estos concretos se encuentran en un rango de 14 a 31 % según los registros del Comité ACI en Los Estados Unidos de América (Schaefer et al, 2006, Jornales ACI). Un pavimento de 5 pulgadas (125 mm) de espesor con 20 % de vacíos, será capaz de almacenar 1 pulgada (25 mm) de aguas pluviales sostenida en sus vacíos, que cubre la gran mayoría de eventos de precipitaciones pluviales en Guatemala, los cuales se encuentran entre 11 a 20 mm de agua.

Cuando se coloca una base de 6 " (150 mm) de espesor de grava o roca triturada de granulometría abierta, la capacidad de almacenamiento aumenta considerablemente hasta un aproximado de 3 " (75 mm) para el almacenamiento de precipitaciones para la filtración de las mismas durante tormentas que excedan el promedio de lluvia, sin embargo estos diseños requerirán de consideraciones de diseño hidrológico.

1.1.4.2.2. Permeabilidad

Es la característica más distinguida de este material. Es una medida de la facilidad con la que un fluido atraviesa este concreto bajo un gradiente de presión. Los materiales utilizados para la elaboración del concreto y las técnicas de colocación del mismo tienen un efecto significativo sobre la permeabilidad de este concreto. Los caudales típicos de agua que atraviesan el concreto permeable se encuentran entre 120 lts/m² por minuto, hasta 320 lts/m² por minuto.

Algunos pavimentos ya en funcionamiento, diseñados bajo especificaciones muy estrictas han llegado a obtener una permeabilidad de hasta 700 lts/m² por minuto. Es fácil entender que la permeabilidad del concreto aumentará, mientras mayor sea la relación de vacíos del mismo, y que esta únicamente incrementará si el tamaño de los agregados utilizados para elaborar el mismo incrementa.

1.1.4.2.3. Resistencia a compresión

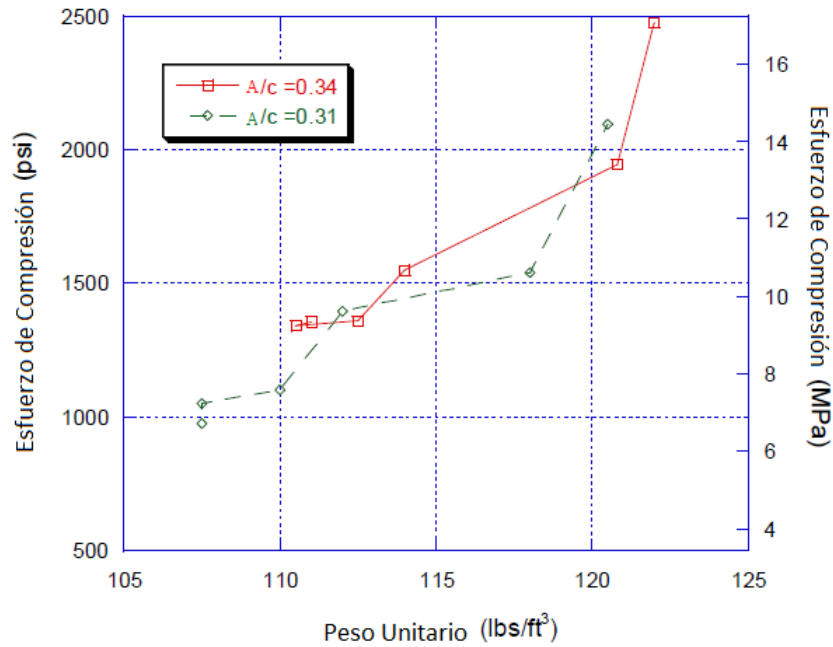
Aunque el concreto permeable se puede utilizar para diversas aplicaciones, su principal inconveniente es baja resistencia a la compresión. Dado que la capa de pasta entre los agregados es delgada, no puede proporcionar suficiente resistencia a la compresión en comparación con el concreto tradicional. Por lo tanto, el uso del concreto permeable se ha limitado a pavimentos de alto volumen. El concreto permeable se ha aplicado en los estacionamientos que no requieren alta resistencia a la compresión.

Las mezclas de concreto permeable pueden desarrollar resistencias a la compresión en el intervalo de 500 a 4 000 lb/pulg² (3,5 MPa a 28 MPa), que es adecuado para una amplia gama de aplicaciones. Los valores típicos son alrededor de 2 500 libras por pulgada cuadrada (17 MPa). Al igual que con cualquier concreto convencional, las propiedades y las proporciones de materiales utilizados, así como las técnicas de colocación y las condiciones ambientales, influirán directamente en la resistencia obtenida en el lugar de aplicación. Las extracciones de muestras de concreto permeable ya fundido es la medida más representativa de la resistencia a compresión del concreto permeable, pues la compactación realizada en campo y la compactación realizada en una muestra cilíndrica puede diferir e incidir en la resistencia significativamente.

Para ampliar el uso y la aplicación del concreto permeable mediante una mayor resistencia a la compresión, varios factores deben ser considerados como la fuerza de la pasta, el grosor de la pasta de revestimiento de los agregados y la interface entre el agregado y pasta. Se sugiere el uso de agregados más pequeño y aditivos para obtener una mayor resistencia a la compresión en el concreto permeable. Para ser más específicos, la resistencia a la compresión del concreto permeable está relacionada con varios factores como la relación de vacíos, peso unitario, relación agua/cemento, materiales cementantes suplementarios, tamaño de los agregados, y la relación de proporciones entre cemento y agregado.

Estudios anteriores han revelado algunas de las variaciones de resistencia a la compresión y otras características del concreto permeable como lo muestra en las siguientes figuras:

Figura 4. **Gráfica de la relación entre esfuerzos de compresión y peso unitario a 28 días**



Fuente: MEININGER, Richard. *Concrete International*. p. 21.

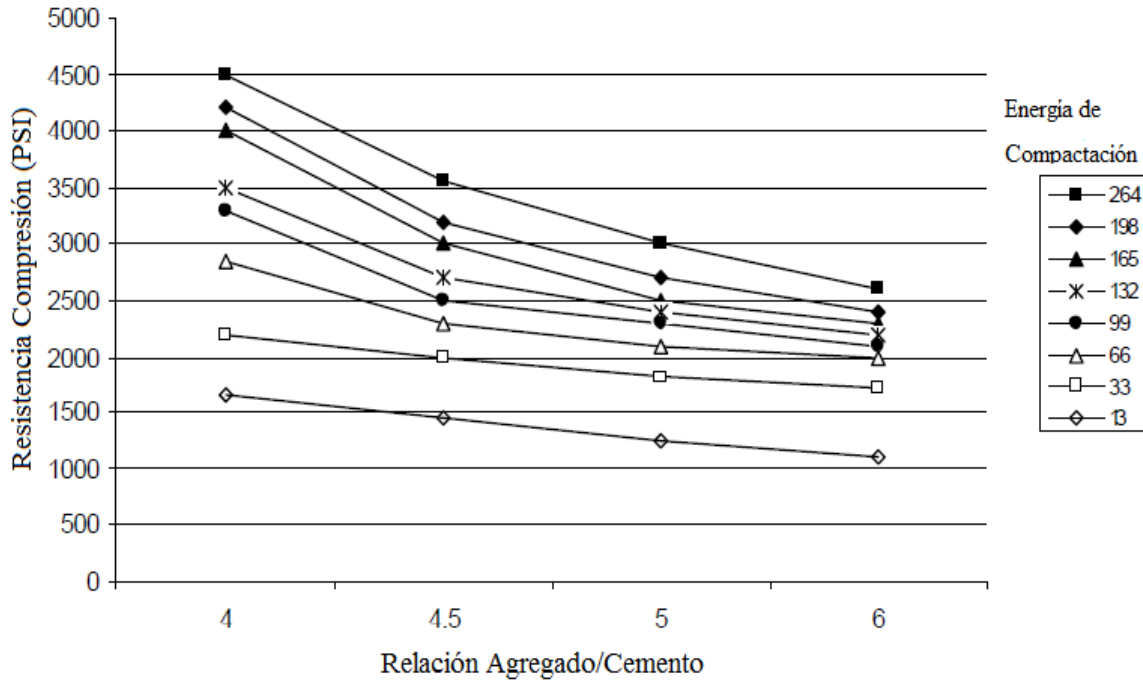
Richard Meininger estudió en 1988 la relación entre el peso unitario de distintos concretos permeables y las resistencias a compresión obtenidas a una edad de 28 días. De dichos resultados se obtiene la gráfica anterior, con la cual se logró concluir que un concreto permeable con mayor peso unitario y relación agua cemento, se obtiene un concreto más resistente.

Tabla II. **Datos de resistencia a compresión obtenidas y las distintas relaciones de agregado/cemento utilizadas por el investigador Nader Ghafoori**

Relación Agregado/Cemento	Contenido de Agua	Energía de Compactación en kN-m/m ³	Permeabilidad en pulgadas/min	Resistencia a compresión en PSI
4	0,372	0,013	215	1 650
		0,033	125	2 200
		0,066	65	2 850
		0,099	60	3 300
		0,132	55	3 500
		0,165	30	4 000
		0,198	20	4 200
		0,264	15	4 500
4,5	0,381	0,013	220	1 450
		0,033	140	2 000
		0,066	115	2 300
		0,099	110	2 500
		0,132	70	2 700
		0,165	60	3 000
		0,198	55	3 200
		0,264	50	3 550
5	0,39	0,013	230	1 250
		0,033	210	1 800
		0,066	150	2 100
		0,099	135	2 300
		0,132	115	2 400
		0,165	100	2 500
		0,198	75	2 700
		0,264	60	3 000
6	0,418	0,013	240	1 100
		0,033	210	1 700
		0,066	190	2 000
		0,099	150	2 100
		0,132	150	2 200
		0,165	130	2 300
		0,198	120	2 400
		0,264	100	2 600

Fuente: GHAFOORI, Nader. *Journal of Transportation Engineering*. p. 477.

Figura 5. **Gráfica de la relación entre resistencia de compresión y relación de agregado/cemento de los resultados obtenidos por el Nader Ghafoori**



Fuente: GHAFOORI, Nader. *Journal of Transportation Engineering*. p. 478.

El investigador Nader Ghafoori lleva a cabo extensos experimentos de laboratorio en 4 muestras diferentes de concreto permeable para determinar las relaciones entre resistencia a la compresión y múltiples variables como el curado, la relación agua/cemento, cemento/agregado y la compactación. Las muestras tenían diferentes proporciones de agua/cemento y agregado/cemento.

Las conclusiones extraídas como resultado de estos experimentos, indicaron que el concreto permeable es comparable con el concreto convencional cuando se considera la contracción y la profundidad de desgaste. Como nota interesante, Ghafoori indica que, bajo las condiciones adecuadas,

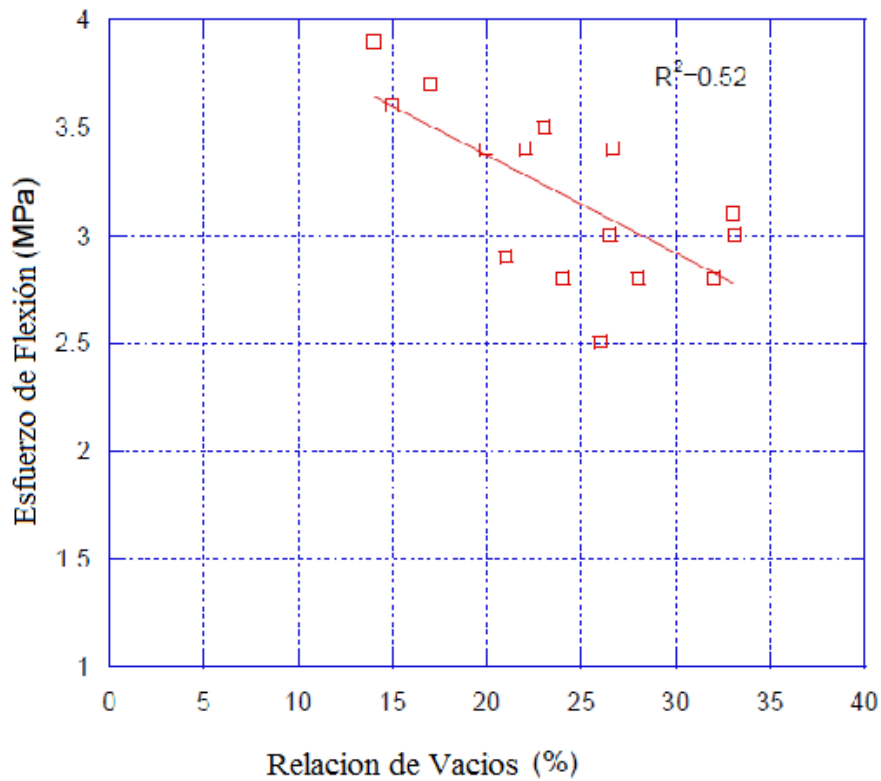
una dosificación adecuada de los materiales y la compactación correcta, el concreto permeable puede alcanzar resistencias a la compresión mayores de 3 000 lbs/pulg². Esto contradice los hallazgos de otros investigadores. Por último, Ghafoori utiliza los datos que había obtenido de sus experimentos sobre el concreto permeable y determinado los niveles de espesor adecuados para diferentes explanadas del suelo y módulos de ruptura. Sus cálculos se basan en diferentes categorías de tráfico que el mismo Ghafoori categorizo.

1.1.4.2.4. Resistencia a flexión

La resistencia a la flexión en concretos permeables, generalmente oscila entre 150 lbs/pulg² (1 MPa) y 550 lbs/pulg² cuadrada (3,8 MPa). Muchos factores influyen, particularmente grado de compactación, porosidad, y la relación de agregada/cemento. Sin embargo, las aplicaciones típicas del concreto permeable no requieren la medición de la resistencia a la flexión para el diseño de las mismas.

Algunas de los diseños de mezclas de concreto permeable han brindado resultados altamente satisfactorios cuando se ha utilizado agregado de tamaño nominal de 1/4 a 1/8 ". Sin embargo, cabe mencionar que, la permeabilidad es la característica principal de este concreto se ve afectada por el porcentaje de vacíos relativamente bajo de un concreto elaborado con agregados de este tamaño. Como era de esperarse, la siguiente figura muestra que la resistencia a la flexión del concreto permeable se reduce por el aumento de la relación de vacíos.

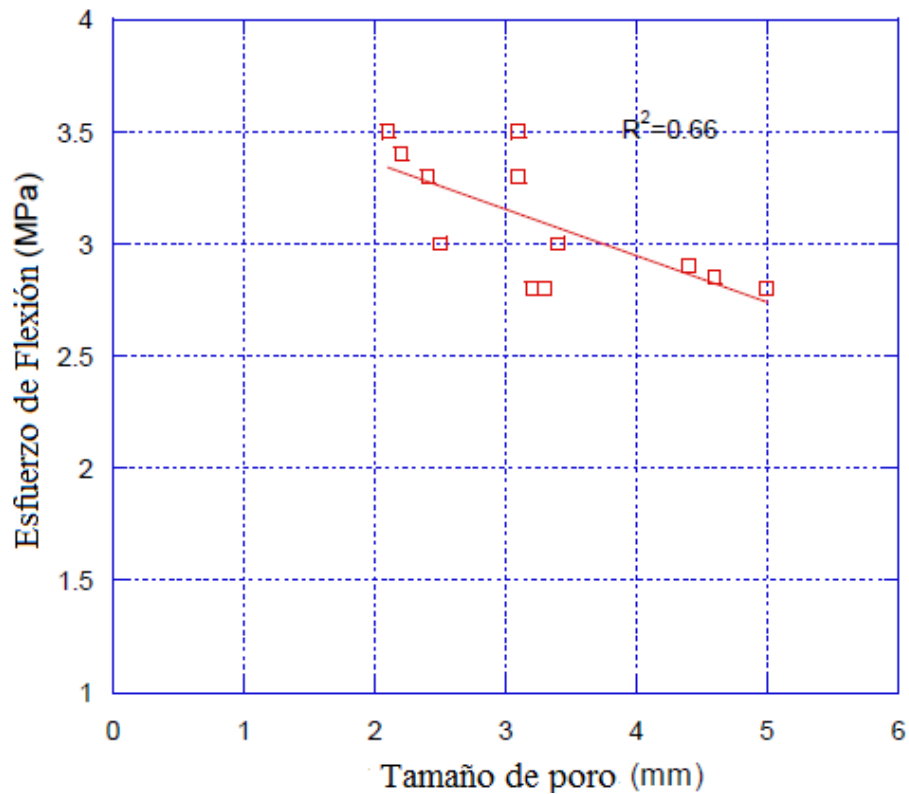
Figura 6. **Gráfica de la relación entre esfuerzos de flexión y la relación de vacíos**



Fuente: MAROLF, A., NEITHALATH, N., SELL, E., WEGNER, K., WEISS, W. J. and OLEK, J..
Influence of aggregate size and grading on the sound absorption of enhanced porosity concrete, ACI Journal. p. 85.

La figura 7 indica la relación entre la resistencia a la flexión y el aumento del tamaño del poro, característico en el concreto permeable según investigaciones realizadas. Se podrá observar que la siguiente figura y la anterior tienden a tener el mismo comportamiento, dejando claramente evidente la disminución de la resistencia del concreto, tanto en flexión como en compresión cuando este tiene un tamaño de poro mucho mayor y un mayor porcentaje de vacíos.

Figura 7. **Gráfica de la relación entre esfuerzos de flexión y tamaño del poro**



Fuente: MAROLF, A., NEITHALATH, N., SELL, E., WEGNER, K., WEISS, W. J. and OLEK, J. *Influence of aggregate size and grading on the sound absorption of enhanced porosity concrete*, *ACI Journal*. p. 86.

Es por estos precisos resultados que surge la dominante tendencia a utilizar agregado fino en la elaboración de dicho concreto, con un agregado de mayor tamaño. Esta práctica ha brindado resultados satisfactorios en mezclas que han contenido una cantidad de hasta 20 % de agregado. Sin embargo, la elaboración de dichas mezclas ha resultado en un laborioso proceso de fabricación y curado, muchas veces afectado por la segregación de los agregados.

1.1.5. Ventajas y desventajas del concreto permeable

Es ventajoso por diversas razones. Algunas de las ventajas físicas sobre el concreto convencional es tener un peso unitario inferior. Se considera aún un concreto liviano y aporta menor carga de diseño se contrae menos y los valores de aislamiento térmico son superiores al hormigón convencional por la cantidad de vacíos que este contiene.

El concreto permeable tiene la capacidad de disminuir el ruido emitido por los vehículos sobre pavimentos de concreto convencional, debido a la reducción de ruido de la interacción entre el neumático y el pavimento. El pavimento poroso construido con concreto permeable tiene la capacidad de absorber el sonido. Para ser más específicos, las características de concreto permeable permiten minimizar el bombeo del aire entre el neumático y la superficie de la carretera, haciendo que las ondas de sonido en el aire se reduzcan debido al poco rebote de las mismas en la superficie del pavimento.

La construcción de cercas en áreas urbanas para bloquear el ruido de las carreteras podría resultar costoso. Sin embargo, la construcción de carreteras con concreto permeable serian una alternativa para reducir el ruido, así como la inversión. El espesor de la capa de pavimento de concreto permeable está estrechamente relacionado con la reducción de ruido.

El concreto permeable puede eliminar las aguas pluviales con mayor rapidez que el concreto convencional, debido a su capacidad de infiltrar las aguas pluviales hacia el suelo para su absorción. Al reducir al mínimo el agua en la superficie del pavimento se mejora drásticamente la resistencia por fricción entre el neumático y el pavimento, reduciendo el riesgo de derrapar.

El concreto permeable puede considerarse una medida para mitigar algunos de los problemas derivados de la explosión urbana, producto del crecimiento poblacional y la zonificación, urbanización de zonas verdes, laderas de cerros en la ciudad de Guatemala. La rápida expansión urbana ha llevado al incremento del área impermeable y consiguio la necesidad de transportar, por medio de sistemas de drenaje, la acumulación de grandes caudales de aguas pluviales y escorrentía que generan daños a la infraestructura y hacen que las áreas urbanizadas en las laderas de los cerros de la ciudad sean altamente vulnerables a desastres por causa de las lluvias.

El concreto permeable puede reducir sustancialmente el agua de escorrentía superficial en comparación con los pavimentos de concreto convencional. Por lo tanto, el concreto permeable puede reducir el tamaño de las alcantarillas necesarias o eliminarlas por completo en proyectos pequeños. Los pavimentos porosos elaborados con concreto permeable permiten la filtración de las aguas pluviales para su posterior absorción por el suelo, directamente debajo de los pavimentos y a su vez cuando este se llegase a saturar, implementando sistemas de drenaje propios a los pavimentos de concretos permeables, se puede transportar el exceso hasta plantas de tratamientos primarios, ya que la filtración a través del concreto ofrece un tratamiento preprimario de las aguas pluviales.

En cuanto al agua que se filtra, el concreto permeable puede remover algunos de los contaminantes en el escurrimiento de aguas pluviales que penetran en el suelo. El concreto permeable ayuda a dirigir a los posibles escurrimientos en el suelo para su uso por las plantas y para la recarga de las aguas subterráneas por la escorrentía infiltrada. Este material ayuda a controlar la cantidad de contaminantes en las vías fluviales. Pavimentos impermeables como los utilizados especialmente estacionamientos, tienden a recoger el

aceite, anticongelante, y otros fluidos de automóviles que pueden llegar hasta los arroyos, lagos, y los océanos cuando llueve.

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) establece límites en los niveles de contaminación en los ríos, lagos, arroyos y cauces naturales de agua. Para cumplir con estos reglamentos, la implementación de pavimentaciones de concreto permeable contribuirían en gran parte a lograr la reducción y mantener los límites establecidos. Algunas de las medidas adoptadas por países como Estados Unidos, en particular el estado de Florida, buscan reducir la escorrentía mediante ordenanzas de zonificación y regulaciones que reducen la cantidad de superficies impermeables en los nuevos proyectos de desarrollo urbano, aumentando las necesidades de espacio verde, e implementando una regulación que responsabilice directamente al dueño de la propiedad a dejar los mínimos de áreas verdes y permeable establecidos, basándose en la cantidad de área impermeable que el nuevo proyecto en desarrollo contenga. Es evidente la forma en la cual el concreto permeable se convierte en una valiosa herramienta de gestión de aguas pluviales que ayuda a conservar este valioso recurso natural.

El color gris claro de los pavimentos de concreto absorben menos calor de radiación solar que los pavimentos más oscuros, y la relativa estructura de poros abiertos del concreto permeable almacenan menos calor, ayudando a reducir los efectos de invernadero en las zonas urbanas. Los árboles plantados en los estacionamientos y las aceras de la ciudad ofrecen sombra y producen un efecto de enfriamiento en la zona, reduciendo aún más el efecto de invernadero. Los pavimento de concreto permeable son ideales para protección de los árboles en un entorno pavimentado. Muchas plantas tienen dificultades para crecer en áreas cubiertas por pavimentos impermeables, aceras y áreas verdes, ya que el aire y el agua tienen dificultades para llegar a las raíces. Los

pavimentos y aceras de concreto permeable permiten a los árboles adyacentes recibir más aire y agua, permitiendo el uso completo del pavimento. El concreto permeable es una solución para los paisajistas y arquitectos que deseen hacer uso de zonas verdes en los estacionamientos y áreas urbanas pavimentadas.

El concreto permeable ha sido poco utilizado en pavimentaciones principalmente por una sola desventaja, su baja resistencia a compresión y flexión. El concreto permeable ha tenido uso mayor en la fabricación de bloques ecológicos utilizados para la filtración y retención de agua en jardines e invernaderos. El poco estudio y avance tecnológico ha limitado su uso, y ha generado gran desconfianza en su utilización en proyectos de pavimentación, desaprovechando así las muchas ventajas que este ofrece sobre el concreto convencional.

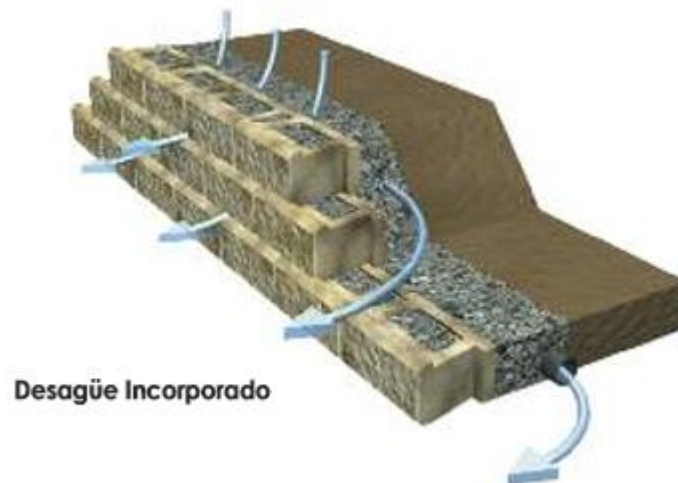
1.2. Usos y aplicaciones del concreto permeable en obras civiles

El concreto permeable ha surgido como un material novedoso en las últimas dos décadas, sin embargo su utilización puede ser remontada como anteriormente se indica hasta principios de los años cuarenta. Su uso ha sido limitado a pasos peatonales, fabricación de bloques ecológicos en jardines e invernaderos para la retención de agua, y muy poco en pavimentaciones de aparcamientos. Este último se ha utilizado en países más desarrollados como lo son los europeos y Estados Unidos de América. En Guatemala aún no se conoce una obra que utilice dicho material a gran escala, debido a la poca investigación que se ha realizado en este material, y la baja resistencia que este brinda, pero sus uso varían desde estabilización de taludes hasta largos sistemas de drenajes, los cuales se darán a conocer a continuación.

1.2.1. Estabilización de taludes por medio de sistemas de drenajes de concreto permeable

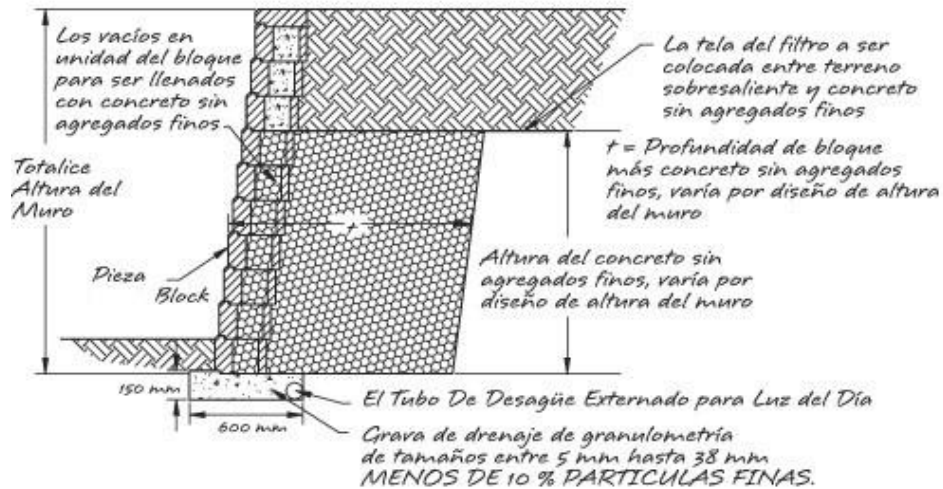
Se ha utilizado para la estabilización de taludes como se puede apreciar en la siguiente figura. El diseño del sistema de estabilización utilizado como se puede apreciar, no consta de concreto permeable únicamente, sino una combinación de rocas y concreto permeable. Aunque los diseños varían según las condiciones del terreno y las necesidades que el caso exija, existen otros diseños utilizados para casos más típicos de estabilización de taludes, los cuales pueden ser adoptados en Guatemala.

Figura 8. **Estabilización de talud con concreto permeable y bloques armados**



Fuente: BLOCK, Allan. *Manual de instalación comercial para muros de contención*. p. 9.

Figura 9. **Estabilización de muro de contención con concreto permeable**



Fuente: BLOCK, Allan. *Manual de instalación comercial para muros de contención*. p. 15.

Los muros de contención típicos requieren una profundidad de excavación mínima del 60 % de la altura del muro; mientras que un muro reforzado con concreto permeable en condiciones similares, solo requiere de 30 - 40 % de la altura del muro, reduciendo la profundidad de excavación. Existen ventajas adicionales con el uso de la solución de concreto permeable, su uso brinda un mejor rendimiento con menos mano de obra. El uso de relleno de concreto permeable también elimina la necesidad de compactación y las pruebas de compactación del suelo reforzado.

Provee un mejor drenaje, ya que el relleno completo es permeable; eliminando así la necesidad de la grava de muro en los espacios de los bloques

y la parte posterior del muro. Este relleno de concreto permeable proveerá una solución sólida que puede reducir los asentamientos detrás del muro.

Figura 10. **Relleno de muro de estabilización con concreto permeable según diseño de figura 9**



Fuente: BLOCK, Allan. *Manual de instalación comercial para muros de contención*, figura b. p. 29.

La figura 10 muestra como se realiza el proceso de llenado de bloques armados en la estabilización del muro de contención. Se puede observar que solo se requiere de una persona para el acomodamiento del concreto, debido a su capacidad de fluir, y no se necesita de compactación como se menciona anteriormente. La figura 11 hace referencia al mismo muro, una vez relleno con concreto permeable se puede observar cómo se llenan los bloques para proporcionar mayor resistencia a las fuerzas de empuje ejercidas sobre el muro.

Figura 11. **Relleno de muro de estabilización con concreto permeable según diseño de figura 9, relleno de bloques**



Fuente: BLOCK, Allan. *Manual de instalación comercial para muros de contención*, figura c. p. 29.

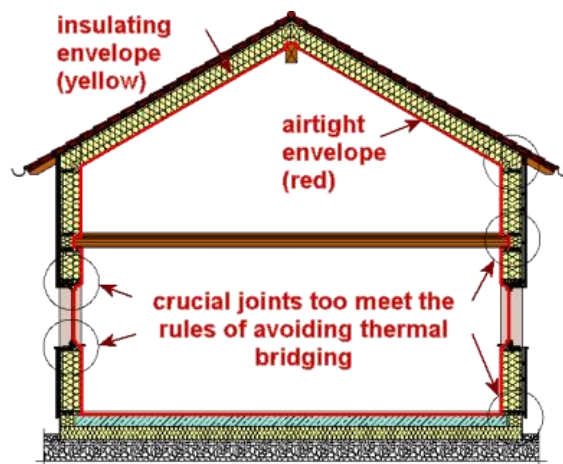
1.2.2. Insulación térmica de viviendas por medio de bloques de concreto permeable

En los países nórdicos europeos se ha utilizado bloques de concreto permeable como una medida de insulación térmica en las casas y edificaciones. El problema principal es que el aire caliente dentro de las casas, forma corrientes de convección por las distintas temperaturas que existen en los ambientes interior y exterior, esto provoca que el calor haga un camino desde el espacio donde es calentado hacia el espacio exterior. Al hacerlo, sigue el camino de menor resistencia.

El concreto permeable es utilizado para la insulación y evitar así un puente térmico, que no es más que un área localizada en la envolvente de la edificación en el que el flujo de calor es indiferente en comparación a las zonas adyacentes, puesto a que la energía de calor se pierde cuando se expone a las partes inferior de la edificación que están en contacto directo con el suelo.

La estructura abierta del concreto permeable brinda las características físicas necesarias para evitar puentes térmicos, lo cual es una sustancial mejora a los sistemas de calefacción, aumentando la durabilidad de la estructura y contribuyendo al ahorro de energía de calefacción.

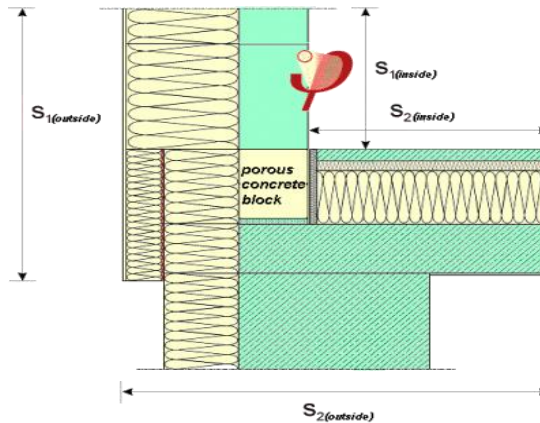
Figura 12. **Modelo de puente térmico en vivienda convencional**



Fuente: TOTTEN, Paul E., PE ; O'BRIEN, Sean M., PE ; PAZERA, Marcin, Ph. D. . *The Effects of Thermal Bridging at Interface Conditions*. ABSTRAC figura 17. p. 12

En la casa pasiva las pérdidas de calor debido a los puentes térmicos son también reducidas, tanto que las pérdidas de calor por puentes térmicos llegan a ser despreciables. La figura indica con un círculo los puntos donde se generan las pérdidas de calor por puentes térmicos, los cuales deben de llevar especial cuidado en el proceso de aislamiento para reducir las pérdidas de calor.

Figura 13. **Modelo de aislamiento en solera con concreto permeable**



Fuente: TOTTEN, Paul E., PE ; O'BRIEN, Sean M., PE ; PAZERA, Marcin, Ph. D.. *The Effects of Thermal Bridging at Interface Conditions*. ABSTRAC figura 23. p. 15

La figura anterior es un ejemplo de una conexión libre de puente térmico utilizando un muro ascendente, desde una losa aislada térmicamente. Como se puede observar bloques de concreto permeable son utilizados en la parte inferior del muro para realizar el aislamiento. Este detalle es calculado mediante el coeficiente de puente térmico, realizando un análisis térmico en el entorno por medio de cámaras infrarojas y parte de una función de un bloque utilizado como punto base obtenida gráficamente por medio de la cámara y la transmisión de calor a través de él.

1.2.3. **Sistemas de drenajes para aguas pluviales para estructuras planas de paso**

En los últimos años el concreto permeable se ha usado como una alternativa a la típica solución de construir drenajes para la conducción y posterior disposición de aguas pluviales en los cuerpos naturales como lo son ríos, riachuelos y todo tipo de cauce perene o efímero. En general, ha tenido

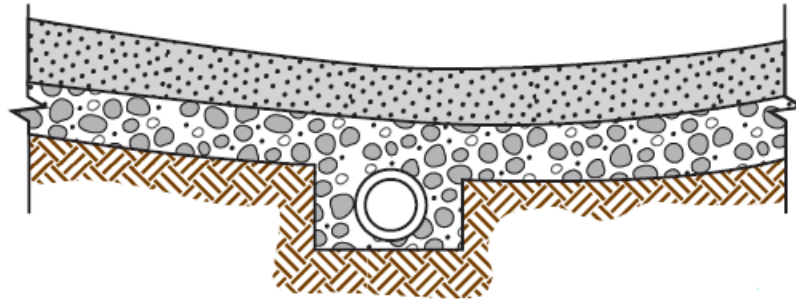
éxito en la construcción de áreas de estacionamiento con pavimentos de concreto permeable que permiten la conducción de aguas pluviales hacia tanques de almacenamiento o filtración del agua al subsuelo, reduciendo el escurrimiento superficial, evitando la contaminación, el encharcamiento y la erosión de áreas aledañas.

El procedimiento constructivo de un sistema de pavimento de concreto conlleva a la construcción de grandes drenajes que a diferencia de la creación de pavimentos de concreto convencional. Su criterio de aceptación no está basado en la resistencia a compresión, sino en la porosidad y permeabilidad, por lo tanto tiene una perspectiva diferente. A continuación algunos de los sistemas de drenajes empleados en la construcción de pavimentos y superficies planas de paso de concreto permeable.

1.2.3.1. Drenajes para recolección de aguas pluviales

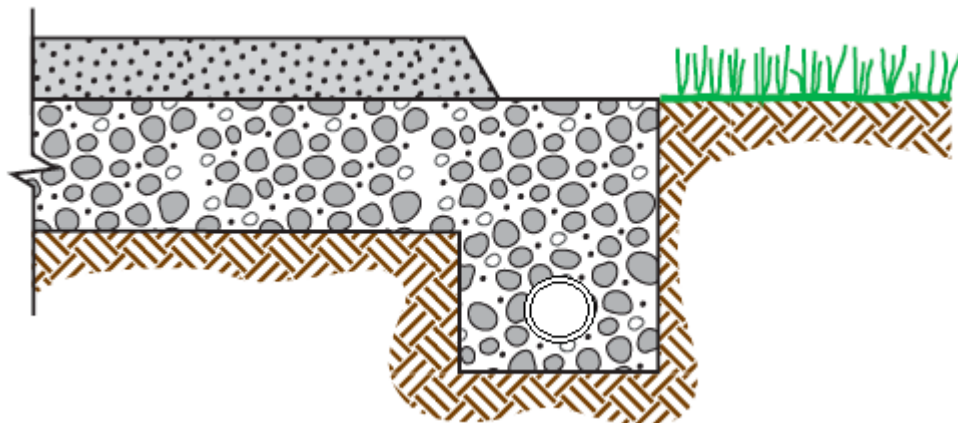
Estos cuentan con un sistema muy sencillo, una carpeta de rodadura o paso de concreto permeable, una base granular, un filtro sintético de tela que previene el paso del suelo fino que pueda obstruir los orificios de la base granular y el concreto permeable, y finalmente un conducto del agua infiltrada por la superficie.

Figura 14. **Drenaje en estructura de paso de concreto permeable**



Fuente: TENNIS, Paul D; LEMING, Michael L; AKERS, David J.
Pervious concrete pavements. p. 14.

Figura 15. **Drenaje de recolección de aguas pluviales en pavimentos de concreto permeable**



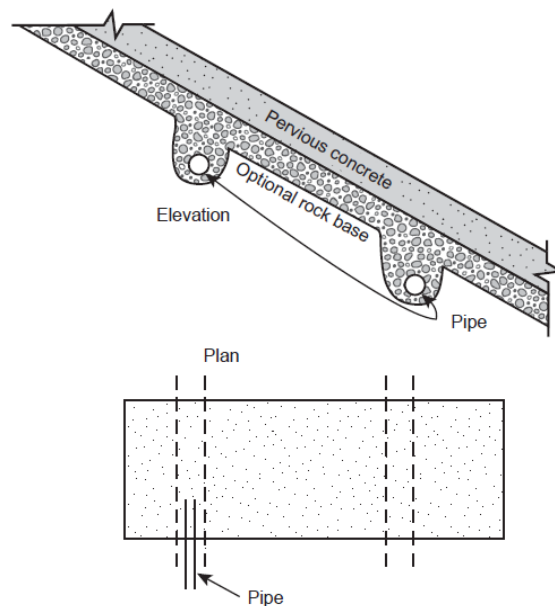
Fuente: TENNIS, Paul D; LEMING, Michael L; AKERS, David J.
Pervious concrete pavements. p. 14.

En la figura 15 se puede observar un diseño que es utilizado para estructuras de paso, como lo son los caminamientos y aceras peatonales, ya

sea aceras de carreteras de carpetas de rodadura impermeables o independientes, dejando así el concreto permeable como un filtro primario para retener contaminantes sólidos que la escorrentía arrastre.

La figura 16 es un diseño utilizado como hombros de carreteras o contornos de aparcamientos para la recolección de todas las aguas pluviales que en su superficie desciendan, y así ser transportadas hasta un tanque de almacenamiento donde puede darse un tratamiento para su reutilización en usos potables o usos que no requieran tratamientos posteriores, como lavados o riegos. Es importante resaltar que las tuberías utilizadas son perforadas para permitir la infiltración de las aguas recolectadas.

Figura 16. **Drenaje de recolección de agua pluvial en estructura de paso de concreto permeable en terreno inclinado**



Fuente: TENNIS, Paul D; LEMING, Michael L; AKERS, David J.

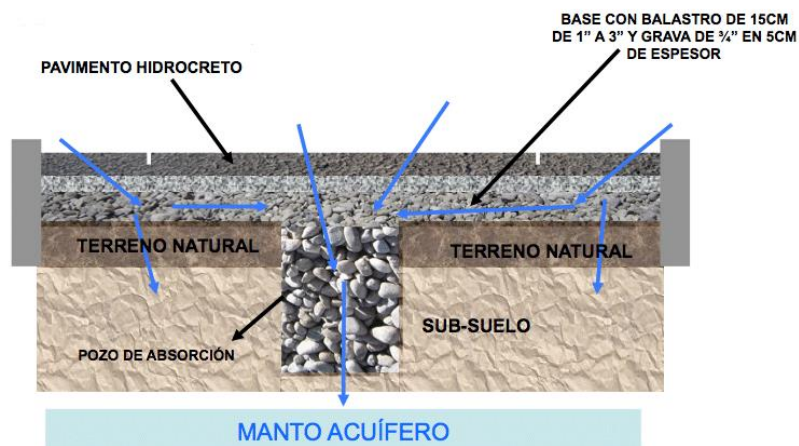
Pervious concrete pavements. p. 17.

La figura 17 muestra en diseño de una carretera de tráfico liviano donde se ha implementado un concreto permeable como carpeta de rodadura y una base granular que permite la filtración de las aguas pluviales hasta los tubos de recolección para su posterior traslado hacia una estructura de almacenamiento.

1.2.3.2. Drenajes para infiltración de aguas pluviales

Los drenajes para infiltración son muy similares a los utilizados para la recolección de aguas pluviales, a diferencia que ellos no cuentan con un conducto que transporte las aguas hasta un tanque de almacenamiento, y la base granular utilizada contiene una mayor altura. Los elementos que conforman estos sistemas para caminamientos, aparcamientos o carreteras son la carpeta de rodadura de concreto permeable, la base granular, y el filtro sintético entre la base granular y el suelo natural.

Figura 17. **Modelo 1 de drenaje de infiltración en pavimento de concreto permeable**



Fuente: GONZÁLEZ G., Juan Fernando. *Retos en el uso de pavimentos de concreto permeable, foro internacional del concreto.* p. 46.

Los pozos de absorción pueden estar localizados al centro de los caminamientos y a un costado en el caso de las carreteras pavimentadas con concreto permeable. Se utilizan diseños muy parecidos a los de la figura 16, y los pozos están localizados generalmente debajo de los hombros de las carreteras o donde se encuentran los drenajes pluviales de las mismas.

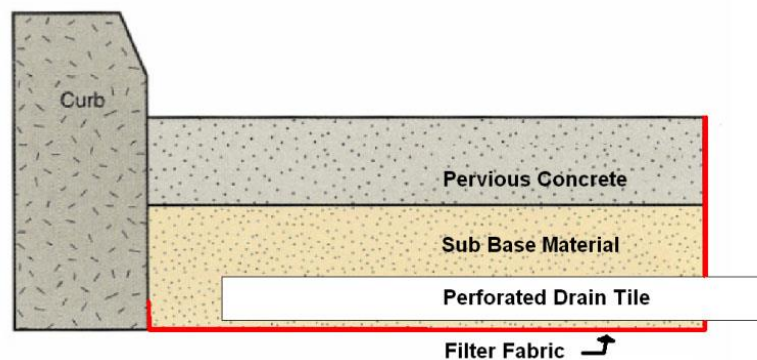
1.2.4. Pavimentos de concreto permeable en carreteras y estacionamientos abiertos

Existe una amplia aplicación de concreto permeable en pavimentaciones, algunas únicamente de concreto permeable y otras una combinación de pavimentos rígidos, semirígidos y flexibles con concreto permeable. Estas combinaciones han demostrado tener gran éxito en la disminución de inundaciones por falta de mantenimiento en drenajes, inclusive en algunas ocasiones han logrado anular el uso de drenajes tradicionales implementando sistemas de drenajes de concreto permeable. Estas aplicaciones han sido utilizadas a gran escala en países como México, Estados Unidos de América y Canadá, aunque en Guatemala ha sido poco el desarrollo de pavimentos de concreto permeable, estos pueden ser una solución a la problemática del invierno guatemalteco y sus consecuencias a la infraestructura pública como se mencionó anteriormente en este trabajo.

La estructura del pavimento sigue siendo la misma, incorporando algunos de los sistemas de drenajes anteriormente mencionados, constando de un filtro geosintético que prevenga el paso de suelo natural hacia los poros de la base y el concreto, una base granular que puede variar según la utilidad que se le brinde a la estructura. Esta base puede ser de grava o piedra triturada limpia con un tamaño nominal máximo hasta de 25 mm, utilizando según las condiciones del suelo, una base de altura entre 10 y hasta 40 cm, y la carpeta

de rodadura que típicamente tiene 15 cm de altura. Una base de 25 a 40 cm es utilizada en lugares donde el nivel freático se encuentre a nivel del suelo o muy cercano a él, en casos extremos se han utilizado bases hasta de 60 cm. Algunos de los diseños utilizados en pavimentos de concreto permeable son los siguientes:

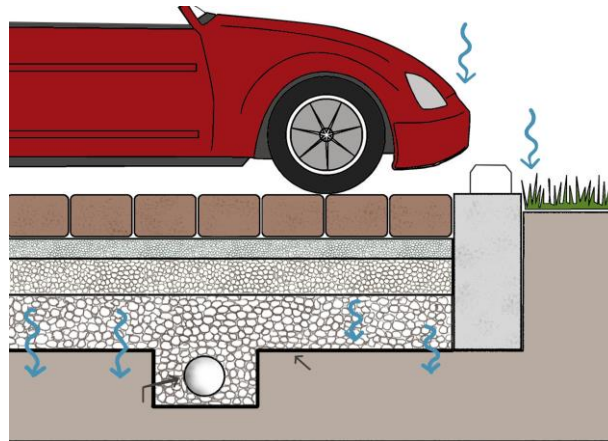
Figura 18. **Estructura base de pavimentos de concreto permeable**



Fuente: TENNIS, Paul D; LEMING, Michael L; AKERS, David J.
Pervious concrete pavements. p. 5.

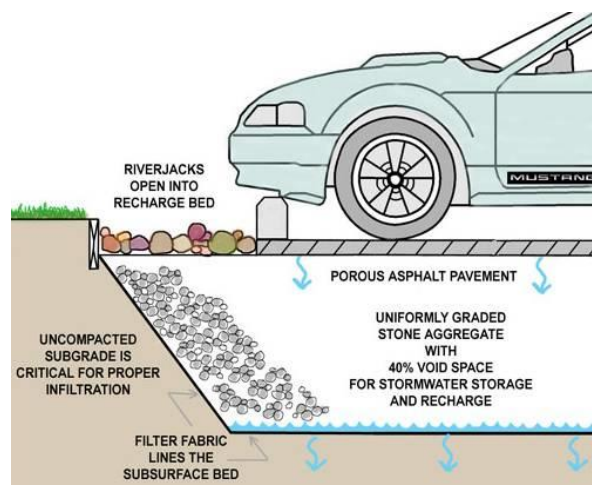
La figura 18 muestra un tope o borde de concreto tradicional, que se utiliza para evitar la erosión de suelo natural, la carpeta de rodadura, base granular y el filtro geosintético. Esta estructura puede ser utilizada en combinación con otros elementos como los adoquines utilizados en pavimentos semirígidos. Obteniendo así un aspecto estético más atractivo, sin perder su funcionalidad, la figura 20 muestra la combinación de tal sistema. En ella se podrá observar la estructura del pavimento junto a un sistema de drenaje de recolección de aguas pluviales, el cual puede ser sustituido por un sistema de drenaje de recolección. Este sistema combinado es muy utilizado en aparcamientos de vehículos livianos, como se muestra en la figura 19.

Figura 19. **Pavimento de concreto permeable y adoquín con drenaje para la recolección de aguas pluviales**



Fuente: Department of Public Utilities. *Storm water drainage manual*. p. 172.

Figura 20. **Pavimento de concreto permeable con drenaje para infiltración**



Fuente: CAHIL, Ron. *Permeable paving fact sheet # 6*. p. 3.

Figura 21. **Pavimento de concreto permeable**



Fuente: OFFENBERG, Matt. *Pervious concrete: The road less raveled.*

<http://www.perviousblog.com/the-road-less-raveled/2012/01/pervious-concrete-at-the-fitzgerald-ga-wal-mart.html>, Consulta: 23 de noviembre de 2014.

Las figuras anteriores muestran los pavimentos de concreto permeable utilizados en la actualidad, es importante resaltar en ellos que no se observan drenajes típicos como en los pavimentos rígidos y flexibles convencionales, lo cual representa un ahorro en el proceso constructivo. Es importante mencionar en que construcciones se deben realizar cortes en su longitud a no más de 6 m a una profundidad de 1/4 a 1/3 del espesor de la carpeta de rodadura. Su compactación idealmente deberá ser con rodillo y los cortes con un rodillo de corte especial u otras herramientas de corte como se muestra en la siguiente figura.

Figura 22. **Compactado de pavimento de concreto permeable**



Fuente: TENNIS, Paul D, LEMING, Michael L, AKERS, David J.
Pervious concrete pavements. p. 19.

Figura 23. **Cortado de pavimento de concreto permeable.**



Fuente: TENNIS, Paul D, LEMING, Michael L, AKERS, David J.
Pervious concrete pavements. p. 19.

El curado del concreto debe de realizarse entre los siguientes 20 minutos de ser colocado por un período de 7 días. Esto puede realizarse utilizando un cobertor impermeable, en la superficie del mismo, evitando la pérdida del agua de curado por evaporación.

Al elaborar estructuras planas de paso como pavimentos de concreto permeable, se utiliza un proceso diferente al de los pavimentos tradicionales, ejemplo de un procedimiento constructivo típico para estructuras de concreto permeable es el siguiente propuesto para una vía de tráfico liviano:

- Abrir caja de 40 cm de profundidad.
- Compactación del terreno natural por medios mecánicos.
- Abrir pozos de absorción de 1,0 x 1,0 x 1,0 metros. Uno por cada 100 m².
- Relleno con balasto (piedras de 4" a 8"). Este relleno se aplicará en pozos y en toda el área.
- Compactación del relleno por medios mecánicos. El espesor del relleno, ya compactado, será de 25 cm.
- Relleno con grava de 3/4 ".
- Compactación del relleno por medios mecánicos. El espesor de este relleno será de 5 cm.

Sobre esta base se coloca el pavimento permeable, con espesor promedio de 10 cm, debido al proceso de vibrocompactación realizado durante

su colocación, sin descuidar la nivelación de la superficie. Existen lugares en los cuales es posible colocar los pavimentos permeables directamente sobre el terreno natural, es decir, sin necesidad de la construcción de bases. Tal es el caso de los terrenos rocosos y los cercanos al mar, los rocosos tienen un alto valor de soporte y normalmente presentan grietas, por las cuales se podrá filtrar el agua. Por ser superficies irregulares, en estos casos se recomienda colocar un relleno de grava sólo para nivelar la superficie para el colado.

En el caso de los terrenos cercanos al mar, la arena que los caracteriza no tiene un alto valor de soporte debido a sus propiedades físicas, por lo cual se pueden colar los pavimentos permeables directamente sobre ellos. En todos los casos será necesario confinar las áreas sobre las cuales se realizarán los colados, utilizando estructuras secundarias de confinamiento, y usando cemento de alta resistencia a los sulfatos para elaborar la mezcla.

1.3. Propuesta para la dosificación del concreto permeable

Debido a la naturaleza abierta de la matriz, la resistencia a compresión obtenida en el concreto permeable es menor de la que normalmente se obtiene en una proporción w/c utilizada en concreto convencional. La resistencia a la compresión de los pavimentos de concreto permeable adecuadamente colocados pueden estar entre 3,5 a 28 MPa, y las resistencias a flexión en entre 1 a 3,8 MPa, lo cual es adecuado para la mayoría de las aplicaciones de pavimentos de tráfico liviano, incluyendo las cargas de eje largo como camiones de basura y vehículos de emergencias como camiones de bomberos.

La National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA) recomienda asumir la resistencia de 17 megapascales. La medición de la resistencia a la compresión se complica por el hecho de que no existen métodos de prueba de

resistencia a la compresión de elementos de concreto permeable, debido a la forma en a la que se fabrican los pavimentos permeables. Los testigos de concreto son la mejor medida de las resistencias en el lugar, debido a que las diferencias de compactación hacen que los cilindros de cada segmento de mezcla sean menos representativos que el concreto ya colocado.

Típicamente el concreto permeable de 150 mm de espesor proporciona resistencia adecuada para estacionamientos de vehículos livianos y calles de sectores residenciales donde el tráfico tiene similares características. Los pavimentos con un espesor de 200 a 250 mm son apropiados para carreteras con bajo volumen de vehículos pesados y semipesados, entre 3,5 a 5 toneladas y calles de entradas a comerciales. Los pavimentos de concreto permeable son poco recomendados para carreteras de tráfico pesado. El espesor máximo del pavimento que puede colocarse y compactarse adecuadamente se encuentra entre 250 y 300 mm.

Las densidades de los pavimentos colocados se encuentran entre los 1 600 y hasta 2 100 k/m^3 en algunos casos. La tabla II a continuación muestra proporciones típicas de mezclas, adecuadas para el concreto permeable. Estas proporciones se dan a conocer para establecer parámetros de diseño. El diseño requerido variará según las condiciones establecidas y se debe establecer mediante ensayos según las propiedades requeridas, las cuales pueden ser tasa de desarrollo de resistencia, porosidad, permeabilidad, entre otros.

Tabla III. **Rango de proporciones utilizadas para la fabricación de concreto permeable según NRMCA**

	Rango de Proporción en kg/m³
Material cementante	270 a 415
Relación agua/cemento (w/c)	0,20 a 0,45
Agregado grueso	1 190 a 1 700
Agregado fino (no es necesario)	0 a 160
Aditivo (en caso se desee utilizar)	De acuerdo a las especificaciones del fabricante
Porcentaje de vacíos	15% a 35%

Fuente: W. R. Grace. *Technical Bulletin TB – 0111*. p. 2.

Para tráfico pesado se pueden diseñar pavimentos de concreto permeable utilizando ya sea un procedimiento de pavimento estándar, por ejemplo AASHTO, ACI 325.9R o ACI 330R. Sin importar el procedimiento utilizado se deben de tomar en consideración las pautas para las propiedades del subsuelo, las características de los materiales del concreto permeable y las cargas de servicio. Se encuentran disponibles programas de software para el diseño estructural de pavimentos de concreto permeable como Streetpave desarrollado por Concrete Pavement Analyst (CPA por sus siglas en inglés) de NRMCA.

2. MARCO EXPERIMENTAL

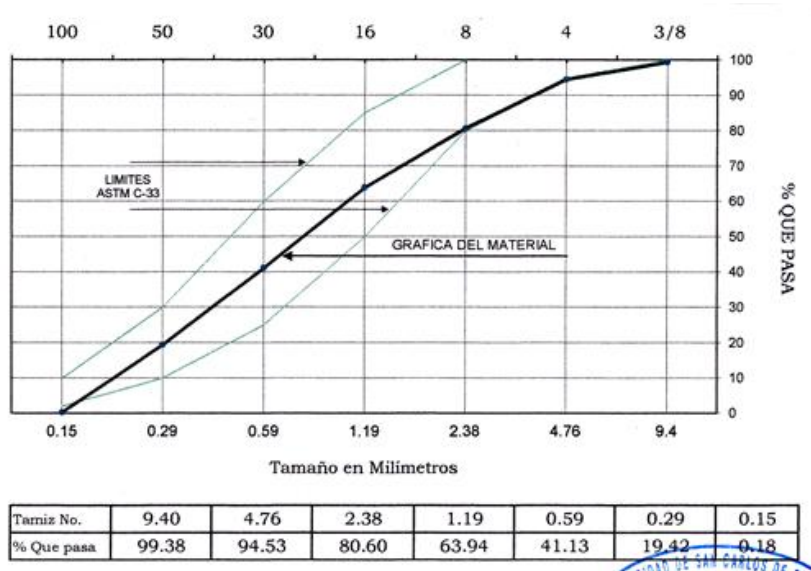
2.1. Caracterización de los materiales para concreto permeable

Los ensayos realizados a los agregados y materiales utilizados para la elaboración de concreto permeable son de vital importancia, ya que brindan las propiedades de los componentes del mismo e identifican las necesidades de la mezcla para un mejor diseño de resistencia.

2.1.1. Ensayos a agregado fino y grueso según Norma ASTM C-33

La siguiente figura muestra los resultados para los ensayos de los agregados fino y grueso según Norma ASTM C-33, realizados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala (CII/USAC).

Figura 24. Gráfica granulométrica de agregado fino



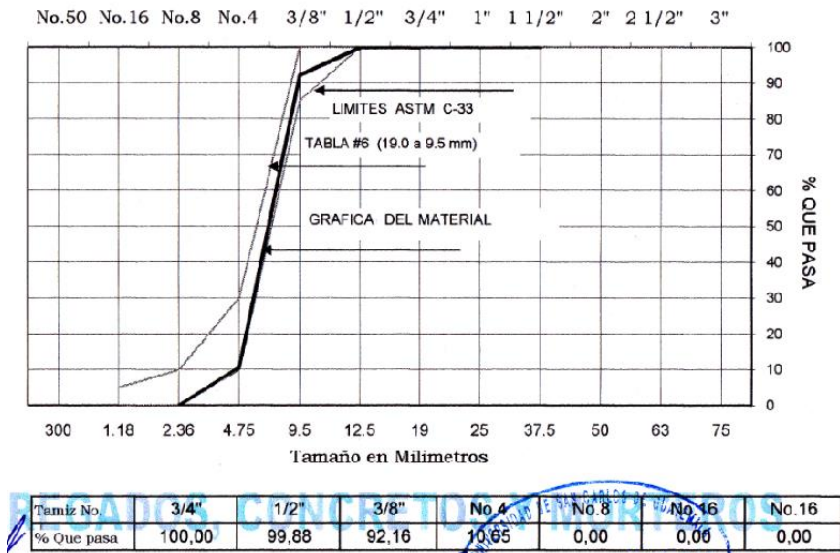
Fuente: hoja de resultados de informe CII/USAC.

Tabla IV. Tabla de características físicas del agregado fino

Peso Especifico	2,72
Peso Unitario (kg/m ³)	1 660
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1 550
Porcentaje de Vacíos	39,00
Porcentaje de Absorción	1,50
Contenido de Materia Orgánica	2
% Retenido en Tamiz 6,35	0,40
% que pasa Tamiz 200	1,50
Modulo de Finura	3,00

Fuente: hoja de resultados de informe CII/USAC.

Figura 25. Gráfica granulométrica de agregado grueso



Fuente: hoja de resultados de informe CII/USAC.

Tabla V. Tabla de características físicas del agregado grueso

CARACTERISTICAS FISICAS:

Peso Especifico	2,70
Peso Unitario (kg/m ³)	1 560
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1 490
Porcentaje de Vacios	42
Porcentaje de Absorción	0,99
% tamiz 201	0,88
% Desgaste por Sulfato de Sodio	-----
% Desgaste por Abrasión	-----
% Partículas Planas y alargadas	-----

Fuente: hoja de resultados de informe CII/USAC.

Como se puede apreciar los resultados para el agregado fino demuestran que el material a utilizar está dentro de un rango aceptable en cuanto a granulometría y sus características físicas. El agregado grueso, por otra parte, es tamaño nominal de 3/8 " y será el utilizado para los diseños de mezcla a analizar. Este será uno de los elementos que componen el concreto permeable que no tendrá variación al igual que el cemento.

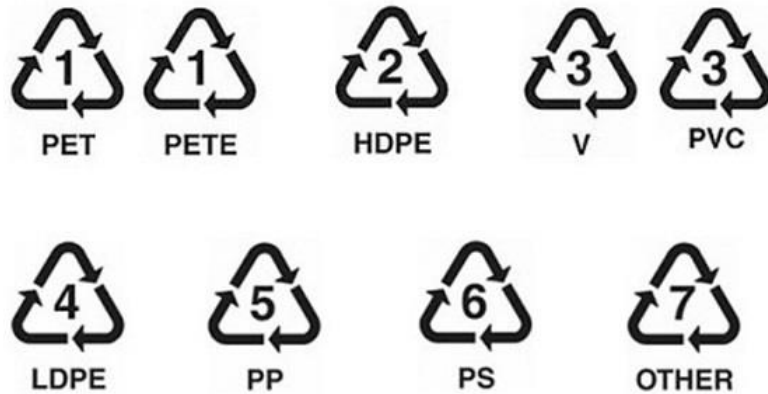
2.1.2. Ensayos a fibras de material alternativo (polvillo de PET)

El polvillo de PET es un material derivado de proceso de reciclaje del mismo, el cual tiene muy poca utilización en Guatemala. La caracterización de este material brinda importante información en cuanto a su utilización y lo que este aportará al concreto permeable en cuanto a resistencia, peso y permeabilidad.

2.1.2.1. Clasificación de los plásticos

El Código de Identificación de Plástico es un sistema utilizado internacionalmente por el sector industrial para clasificar la composición de las resinas en los distintos envases y otros productos plásticos. Esto fue realizado por la Sociedad de la Industria de Plásticos (SPI) en 1988, con el fin de propiciar y dar más eficiencia al reciclaje. Los diferentes tipos de plástico son identificados con un número del 1 al 7, ubicado en el interior del clásico signo de reciclado (triángulo de flechas en seguimiento), como lo indica la figura.

Figura 26. **Códigos de identificación de plásticos**



Fuente: CARIBBEAN RENEWABLE ENERGY SOCIETY. *Los tipos de plásticos reciclables.*
<https://ambientalblog2010.wordpress.com/2010/11/06/los-tipos-plasticos-reciclables/>. Consulta:
6 de diciembre de 2014.

Cada uno de ellos tiene su denominación y sus características, las cuales se indican a continuación:

- El 1, PET O PETE (polietileno tereftalato). Se utiliza principalmente en la producción de botellas para bebidas. A través de su reciclado se obtiene principalmente fibras para relleno de bolsas de dormir, fabricación de textiles, alfombras, cuerdas y almohadas.
- El 2, HDPE (polietileno de alta densidad). Normalmente se utiliza en envases de leche, detergente, aceite para motor, y otros. El HDPE tras reciclarse se utiliza para macetas, contenedores de basura y botellas de detergente.

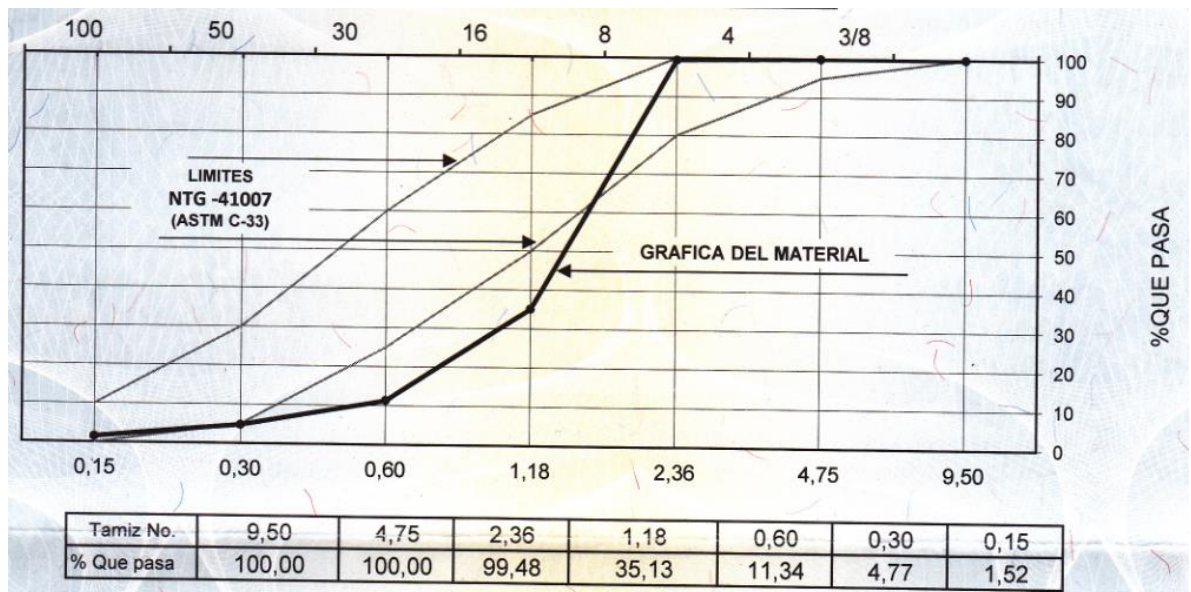
- El 3, V O PVC (cloruro de polivinilo). Es utilizado en botellas de champú, envases de aceite de cocina, artículos de servicio para casas de comida rápida, entre otros. El PVC puede ser reciclado como tubos de drenaje e irrigación.
- El 4, LDPE (polietileno de baja densidad). Se encuentra en bolsas de supermercado, pan, plástico para envolver. El LDPE puede ser reciclado como bolsas de supermercado nuevamente.
- El 5, PP (polipropileno). Se utiliza en la mayoría de recipientes para yogurt, sorbetes, tapas de botella, entre otros. Después del reciclado se utiliza como viguetas de plástico, peldaños para registros de drenaje, cajas de baterías para autos.
- El 6, PS (poliestireno). Se encuentra en tazas desechables de bebidas calientes y bandejas de carne. El PS puede reciclarse en viguetas de plástico, cajas de cintas para casetes y macetas.
- El 7, Otros. Generalmente indica que es una mezcla de varios plásticos. Algunos de los productos de este tipo de plástico son: botellas de ketchup para exprimir, platos para hornos de microondas, y otros. Estos plásticos no se reciclan porque no se sabe con certeza qué tipo de resinas contienen.

2.1.2.2. Ensayos a polvillo de PET

Las siguientes figuras brindan los resultados de los ensayos realizados a las fibras del polvillo de PET. Los resultados fueron obtenidos realizando los ensayos establecidos por la Norma ASTM C – 33 para el agregado fino, puesto

que el material como tal, no posee una norma específica, la cual pueda ser utilizada para el análisis de sus características físicas por encontrarse en un estado alterado. Siendo sustituto del agregado fino en algunos de los diseños de mezclas a realizar, se ha tomado la anterior norma como referencia para el análisis de dichas características.

Figura 27. **Gráfica granulométrica de polvillo de PET**



Fuente: hoja de resultados de informe CII/USAC.

Tabla VI. **Tabla de características físicas de polvillo de PET**

Características físicas	
Peso Específico	0,94
Peso Unitario Compactado (kg/m ³)	520
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	460
Módulo de Finura	3,48

Fuente: hoja de resultados de informe CII/USAC.

2.2. Propuestas de diseños de mezcla para concreto permeable

Para la elaboración de las mezclas de concreto permeable, puesto que no existe un método de diseño específico, usualmente se parte de una proporción o rango de proporciones previamente establecidas y resultados de la misma, para mejorar sus propiedades con base en las variaciones realizadas en ella.

2.2.1. Dosificación de mezclas

Partiendo de las proporciones presentadas en la tabla II, se realiza la propuesta para la elaboración de concreto permeable con las siguientes proporciones, cemento: agregado fino: agregado grueso: agua, de 1: 0,3: 4,2: 0,49 y un peso unitario para el concreto permeable de 1 900 kg/m³. Cabe resaltar que algunas de estas proporciones serán modificadas para algunas mezclas, pero las cantidades de diseño del cemento, agregado grueso y agua que componen la base del concreto permeable, no serán alteradas.

Las mezclas que contengan aditivos, no presentarán modificaciones en la cantidad de diseño del contenido de agua, puesto que la recomendación del fabricante es utilizarse como un porcentaje de la cantidad de cemento a utilizar en la mezcla, entre 0,18 - 0,48 %.

Para efectos de este trabajo se ha establecido utilizar aditivo en un 0,40 % de la cantidad de cemento, disuelto en el agua para la elaboración del concreto permeable. El agua será agregada a la mezcla de concreto permeable, hasta que la mezcla posea una consistencia requerida determinada por un análisis visual de la misma, siempre y cuando no excede la cantidad establecida por el diseño.

Se ha determinado utilizar cemento tipo Pórtland de alta resistencia inicial (HE), el cual cumple con las Normas ASTM C 1157 y COGUANOR NGO 41001, conocido en el medio como Cemento Estructural 5800 psi, puesto que cumple con los requisitos establecidos por el reporte ACR 522 R-10. El aditivo a utilizar es uno tipo D según la Norma ASTM C-494, el cual es un retardante de fraguado y reductor de agua en el concreto.

Los diseños de mezclas de concreto permeable se han elaborado con base en los siguientes parámetros.

Tabla VII. **Parámetros para diseño de mezclas**

Diseño de mezcla	
Resistencia nominal	210 kg/m ³
Resistencia promedio requerida	245 kg/m ³
Relación agua/cemento	0,49

Fuente: hoja de resultados de informe CII/USAC.

A partir de los parámetros previamente establecidos, se procede a calcular las proporciones de las mezclas de concreto permeable a analizar mediante la siguiente expresión:

Peso Unitario = PU

Cemento (C): agregado fino (AF): agregado grueso (AG): agua (W)

Figura 28. **Fórmula para determinar factor de peso unitario**

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

Fuente: RODAS RALDA, Natalia Ixchel. *Desarrollo y uso de bloques de concreto permeable en senderos ecológicos*. p. 43.

Donde:

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

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

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

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

Una vez determinadas las cantidades de material por m^3 de concreto permeable se procede a determinar las cantidades de material utilizado para el volumen de trabajo. Este se calcula multiplicando el volumen de trabajo o volumen de mezcla requerido (V_t) por las cantidades de los materiales, cemento (kg/m^3), agregado fino (kg/m^3), agregado grueso (kg/m^3) y agua (lt/m^3).

2.2.1.1. Mezcla 1

Consta de cemento: agregado fino: agregado grueso: agua, y se determinan las cantidades mediante la siguiente expresión,

$$PU_1 = 1\,900 / (1 + 0,3 + 4,2 + 0,49) = 318 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Cemento (C)} = 1 \times 318 \text{ kg/m}^3 = 318 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado fino (AF)} = 0,3 \times 318 \text{ kg/m}^3 = 95,4 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado grueso (AG)} = 4,2 \times 318 \text{ kg/m}^3 = 1\,335,6 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua (W)} = 0,49 \times 318 \text{ kg/m}^3 = 155,82 \text{ kg/m}^3$$

Aditivo = no utilizado en esta mezcla.

Tabla VIII. **Proporciones de mezcla 1**

Materiales	Proporción en peso	Proporción en volumen (lts)	Proporción en volumen (kg/m³)
Cemento	1	1 SACO	318
Agregado fino	0,3	7,68	95,4
Agregado grueso	4,2	114,42	1 335,86
Agua	0,49	20,83	155,82
Aditivo	N/A	N/A	N/A

Fuente: hoja de resultados de informe CII/USAC.

2.2.1.2. Mezcla 2

Consta de cemento: agregado fino: agregado grueso: agua: aditivo y se determinan las cantidades mediante la siguiente expresión,

$$PU_1 = 1\,900 / (1 + 0,3 + 4,2 + 0,49) = 318 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Cemento (C)} = 1 \times 318 \text{ kg/m}^3 = 318 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado fino (AF)} = 0,3 \times 318 \text{ kg/m}^3 = 95,4 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado grueso (AG)} = 4,2 \times 318 \text{ kg/m}^3 = 1\,335,6 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua (W)} = 0,49 \times 318 \text{ kg/m}^3 = 155,82 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Aditivo} = 0,40\% \times 318 \text{ kg/m}^3 = 1,272 \text{ kg/m}^3$$

Tabla IX. **Proporciones de mezcla 2**

Materiales	Proporción en peso	Proporción en volumen (lts)	Proporción en volumen (kg/m3)
Cemento	1	1 SACO	318
Agregado fino	0,3	7,68	95,4
Agregado grueso	4,2	114,42	1 335,86
Agua	0,49	20,83	155,82
Aditivo	0,004	1,03	1,272

Fuente: hoja de resultados de informe CII/USAC.

2.2.1.3. Mezcla 3

Consta de cemento: polvillo de PET: agregado grueso: agua, y se determinan las cantidades mediante la siguiente expresión,

$$PU_1 = 1\ 900 / (1+0,3+4,2+0,49) = 318 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Cemento (C)} = 1 \times 318 \text{ kg/m}^3 = 318 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Polvillo de PET (PET)} = 0,3 \times 318 \text{ kg/m}^3 = 95,4 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado grueso (AG)} = 4,2 \times 318 \text{ kg/m}^3 = 1\ 335,6 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua (W)} = 0,49 \times 318 \text{ kg/m}^3 = 155,82 \text{ kg/m}^3$$

Aditivo = no utilizado en esta mezcla.

Tabla X. **Proporciones de mezcla 3**

Materiales	Proporción en peso	Proporción en volumen (Its)	Proporción en volumen (kg/m3)
Cemento	1	1 SACO	318
Polvillo de PET	0,3	7,68	95,4
Agregado grueso	4,2	114,42	1 335,86
Agua	0,49	20,83	155,82
Aditivo	N/A	N/A	N/A

Fuente: hoja de resultados de informe CII/USAC.

2.2.1.4. Mezcla 4

Consta de cemento: polvillo de PET: agregado grueso: agua: aditivo y se determinan las cantidades mediante la siguiente expresión,

$$PU_1 = 1\ 900 / (1 + 0,3 + 4,2 + 0,49) = 318\ \text{kg/m}^3$$

$$\text{Cemento (C)} = 1 \times 318\ \text{kg/m}^3 = 318\ \text{kg/m}^3$$

$$\text{Polvillo de PET (PET)} = 0,3 \times 318\ \text{kg/m}^3 = 95,4\ \text{kg/m}^3$$

$$\text{Agregado grueso (AG)} = 4,2 \times 318\ \text{kg/m}^3 = 1\ 335,6\ \text{kg/m}^3$$

$$\text{Agua (W)} = 0,49 \times 318\ \text{kg/m}^3 = 155,82\ \text{kg/m}^3$$

$$\text{Aditivo} = 0,40\% \times 318 \text{ kg/m}^3 = 1,272 \text{ kg/m}^3$$

Tabla XI. **Proporciones de mezcla 4**

Materiales	Proporción en peso	Proporción en volumen (lts)	Proporción en volumen (kg/m³)
Cemento	1	1 SACO	318
Polvillo de PET	0,3	7,68	95,4
Agregado grueso	4,2	114,42	1 335,86
Agua	0,49	20,83	155,82
Aditivo	0,004	1,03	1,272

Fuente: hoja de resultados de informe CII/USAC.

2.2.1.5. Mezcla 5

Consta de cemento: agregado fino: polvillo de PET: agregado grueso: agua: aditivo y se determinan las cantidades mediante la siguiente expresión,

$$PU_1 = 1\ 900 / (1 + 0,3 + 4,2 + 0,49) = 318 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Cemento (C)} = 1 \times 318 \text{ kg/m}^3 = 318 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado fino (AF)} = 0,15 \times 318 \text{ kg/m}^3 = 47,7 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Polvillo de PET (PET)} = 0,15 \times 318 \text{ kg/m}^3 = 47,7 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado grueso (AG)} = 4,2 \times 318 \text{ kg/m}^3 = 1\ 335,6 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua (W)} = 0,49 \times 318 \text{ kg/m}^3 = 155,82 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Aditivo} = 0,40\% \times 318 \text{ kg/m}^3 = 1,272 \text{ kg/m}^3$$

Tabla XII. **Proporciones de mezcla 5**

Materiales	Proporción en peso	Proporción en volumen (Its)	Proporción en volumen (kg/m³)
Cemento	1	1 SACO	318
Agregado fino	0,15	3,84	47,7
Polvillo de PET	0,15	3,84	47,7
Agregado grueso	4,2	114,2	1 335,86
Agua	0,49	20,83	155,82
Aditivo	0,004	1,03	1,272

Fuente: hoja de resultados de informe CII/USAC.

2.2.1.6. Mezcla 6

Consta de cemento: agregado fino: polvillo de PET: agregado grueso: agua y se determinan las cantidades mediante la siguiente expresión,

$$PU_1 = 1\ 900 / (1 + 0,3 + 4,2 + 0,49) = 318 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Cemento (C)} = 1 \times 318 \text{ kg/m}^3 = 318 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado fino (AF)} = 0,15 \times 318 \text{ kg/m}^3 = 47,7 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Polvillo de PET (PET)} = 0,15 \times 318 \text{ kg/m}^3 = 47,7 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado grueso (AG)} = 4,2 \times 318 \text{ kg/m}^3 = 1\,335,6 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua (W)} = 0,49 \times 318 \text{ kg/m}^3 = 155,82 \text{ kg/m}^3$$

Aditivo = no utilizado en esta mezcla.

Tabla XIII. **Proporciones de mezcla 6**

Materiales	Proporción en peso	Proporción en volumen (Its)	Proporción en volumen (kg/m³)
Cemento	1	1 SACO	318
Agregado fino	0,15	3,84	47,7
Polvillo de PET	0,15	3,84	47,7
Agregado grueso	4,2	114,42	1 335,86
Agua	0,49	20,83	155,82
Aditivo	N/A	N/A	N/A

Fuente: hoja de resultados de informe CII/USAC.

2.2.1.7. Mezcla 7

Consta de cemento: agregado grueso: agua: aditivo y se determinan las cantidades mediante la siguiente expresión,

$$PU_1 = 1\,900 / (1 + 0,3 + 4,2 + 0,49) = 318 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Cemento (C)} = 1 \times 318 \text{ kg/m}^3 = 318 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado grueso (AG)} = 4,2 \times 318 \text{ kg/m}^3 = 1\,335,6 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua (W)} = 0,49 \times 318 \text{ kg/m}^3 = 155,82 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Aditivo} = 0,40\% \times 318 \text{ kg/m}^3 = 1,272 \text{ kg/m}^3$$

Tabla XIV. **Proporciones de mezcla 7**

Materiales	Proporción en peso	Proporción en volumen (Its)	Proporción en volumen (kg/m3)
Cemento	1	1 SACO	318
Agregado grueso	4,2	114,42	1 335,86
Agua	0,49	20,83	155,82
Aditivo	0,004	1,03	1,272

Fuente: hoja de resultados de informe CII/USAC.

2.3. Ensayos físicos y mecánicos a mezclas de concreto permeable

Estos ensayos proporcionaran los datos necesarios para determinar las mezcla óptima de concreto permeable a utilizar para los proyectos descritos en este trabajo con base en los resultados obtenidos de cada mezcla. Dichos ensayos se han realizada bajo las normas descritas.

2.3.1. Peso unitario de mezclas

La siguiente tabla proporciona los datos obtenidos para los pesos unitarios de las distintas mezclas de concreto elaboradas.

Tabla XV. **Pesos unitarios de mezclas de concreto permeable**

Pesos unitarios	
Muestra	Peso unitario en kg/m³
Mezcla 1	2 184,29
Mezcla 2	2 161,43
Mezcla 3	1 958,57
Mezcla 4	1 945,71
Mezcla 5	2 145,29
Mezcla 6	2 200,00
Mezcla 7	2 015,71

Fuente: elaboración propia.

2.3.2. **Temperatura**

La siguiente tabla proporciona los datos obtenidos para la temperatura de las distintas mezclas de concreto elaboradas.

Tabla XVI. **Tabla de temperatura de las mezclas de concreto permeable**

Temperatura	
Muestra	Temperatura en °C
Mezcla 1	24,3
Mezcla 2	23,9
Mezcla 3	23,7
Mezcla 4	24,1
Mezcla 5	23,8
Mezcla 6	22,9
Mezcla 7	23,6

Fuente: elaboración propia.

2.3.3. Ensayo de resistencia a compresión según Norma ASTM C-39 a 3,7 y 28 días

Las siguientes figuras brindan los resultados obtenidos en los ensayos a compresión de cilindros de concreto permeable, al igual que los resultados de resistencia por medio del ensayo de tensión indirecta de los mismos.

Figura 29. Resultados de los ensayos a cilindros de mezcla núm. 1 a 3, 7 y 28 días

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 MPa	RESISTENCIA lb/plg ²	TIPO DE FRACTURA
M1-1	82-08	29/04/2014	02/05/2014	3	DISEÑO DE MEZCLA	11,060	15,170	30,537	26 519	6,50	940,00	B
M1-2	83-08	29/04/2014	02/05/2014	3	DISEÑO DE MEZCLA	11,047	15,075	30,490	29 833	7,40	1 070,00	B
M1-4	84-08	29/04/2014	06/05/2014	7	DISEÑO DE MEZCLA	11,040	15,133	30,632	46 303	11,40	1 650,00	D
M1-5	85-08	29/04/2014	06/05/2014	7	DISEÑO DE MEZCLA	11,260	15,215	30,750	40 822	10,00	1 450,00	B
M1-7	86-08	29/04/2014	27/05/2014	28	DISEÑO DE MEZCLA	11,065	15,135	30,410	60 554	15,00	2 180,00	B
M1-8	87-08	29/04/2014	27/05/2014	28	DISEÑO DE MEZCLA	11,010	15,165	30,635	52 003	12,80	1 860,00	B

Fuente: hoja de resultados de informe CII/USAC.

Figura 30. **Resultados de resistencia en tensión indirecta de cilindros de mezcla núm. 1**

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	LONGITUD en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA MPa	RESISTENCIA lb/plg ²
M1-3	88-08	29/04/2014	27/05/2014	28	DISEÑO DE MEZCLA	11,010	15,165	30,635	21 000	1,30	190,00
M1-6	89-08	29/04/2014	27/05/2014	28	DISEÑO DE MEZCLA	11,010	15,165	30,635	22 000	1,35	195,00
M1-9	90-08	29/04/2014	27/05/2014	28	DISEÑO DE MEZCLA	11,010	15,165	30,635	30 000	1,85	270,00

Fuente: hoja de resultados de informe CII/USAC.

Figura 31. **Resultados de los ensayos a cilindros de mezcla núm. 2 a 3, 7 y 28 días**

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 MPa	RESISTENCIA lb/plg ²	TIPO DE FRACTURA
M2-1	91-08	06/05/2014	09/05/2014	3	DISEÑO DE MEZCLA	11,521	15,140	30,600	52 880	13,10	1 900,00	D
M2-2	92-08	06/05/2014	09/05/2014	3	DISEÑO DE MEZCLA	11,512	15,175	30,503	59 458	14,60	2 120,00	D
M2-4	93-08	06/05/2014	13/05/2014	7	DISEÑO DE MEZCLA	11,490	15,050	30,438	68 322	17,10	2 480,00	B
M2-5	94-08	06/05/2014	13/05/2014	7	DISEÑO DE MEZCLA	11,330	15,120	30,618	64 939	16,10	2 340,00	B
M2-7	95-08	06/05/2014	03/06/2014	28	DISEÑO DE MEZCLA	11,170	15,110	30,520	85 476	21,20	3 080,00	D
M2-8	96-08	06/05/2014	03/06/2014	28	DISEÑO DE MEZCLA	11,560	15,518	30,737	80 902	19,00	2 760,00	D

Fuente: hoja de resultados de informe CII/USAC

Figura 32. **Resultados de resistencia en tensión indirecta de cilindros de mezcla núm. 2**

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	LONGITUD en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA MPa	RESISTENCIA lb/plg ²
M2-3	97-08	06/05/2014	09/05/2014	3	DISEÑO DE MEZCLA	11,207	15,225	30,623	26 000	1,60	230,00
M2-6	98-08	06/05/2014	13/05/2014	7	DISEÑO DE MEZCLA	11,290	15,083	30,437	32 000	1,95	285,00
M2-9	99-08	06/05/2014	03/06/2014	28	DISEÑO DE MEZCLA	11,130	15,175	30,642	38 000	2,30	335,00

Fuente: hoja de resultados de informe CII/USAC.

Figura 33. **Resultados de los ensayos a cilindros de mezcla núm. 3 a 3, 7 y 28 días**

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 MPa	RESISTENCIA lb/plg ²	TIPO DE FRACTURA
M3-1	100-08	06/05/2014	09/05/2014	3	DISEÑO DE MEZCLA	10,506	15,135	30,570	24 309	6,00	870,00	D
M3-2	101-08	06/05/2014	09/05/2014	3	DISEÑO DE MEZCLA	10,373	15,120	30,637	20 994	5,20	750,00	B
M3-4	102-08	06/05/2014	13/05/2014	7	DISEÑO DE MEZCLA	10,500	15,080	30,708	27 624	6,90	1 000,00	D
M3-5	103-08	06/05/2014	13/05/2014	7	DISEÑO DE MEZCLA	10,490	15,105	30,623	34 244	8,50	1 230,00	B
M3-7	104-08	06/05/2014	03/06/2014	28	DISEÑO DE MEZCLA	10,370	15,105	30,567	43 014	10,70	1 550,00	B
M3-8	105-08	06/05/2014	03/06/2014	28	DISEÑO DE MEZCLA	10,490	15,175	30,713	41 918	10,30	1 490,00	D

Fuente: hoja de resultados de informe CII/USAC.

Figura 34. **Resultados de resistencia en tensión indirecta de cilindros de mezcla núm. 3**

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	LONGITUD en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA MPa	RESISTENCIA lb/plg ²
M3-3	106-08	06/05/2014	09/05/2014	3	DISEÑO DE MEZCLA	10,487	15,095	30,643	18 000	1,10	160,00
M3-6	107-08	06/05/2014	13/05/2014	7	DISEÑO DE MEZCLA	10,320	15,085	30,590	16 000	1,00	145,00
M3-9	108-08	06/05/2014	03/06/2014	28	DISEÑO DE MEZCLA	10,290	15,160	30,727	22 000	1,35	195,00

Fuente: hoja de resultados de informe CII/USAC.

Figura 35. **Resultados de los ensayos a cilindros de mezcla núm. 4 a 3, 7 y 28 días**

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 MPa	RESISTENCIA lb/plg ²	TIPO DE FRACTURA
M4-1	109-08	13/05/2014	16/05/2014	3	DISEÑO DE MEZCLA	10,641	15,143	30,645	36 437	9,00	1 310,00	D
M4-2	110-08	13/05/2014	16/05/2014	3	DISEÑO DE MEZCLA	10,503	15,223	30,853	34 244	8,40	1 220,00	B
M4-4	111-08	13/05/2014	20/05/2014	7	DISEÑO DE MEZCLA	10,630	15,170	30,685	46 303	11,40	1 650,00	B
M4-5	112-08	13/05/2014	20/05/2014	7	DISEÑO DE MEZCLA	10,590	15,425	30,635	48 495	11,50	1 670,00	D
M4-7	113-08	13/05/2014	10/06/2014	28	DISEÑO DE MEZCLA	10,590	15,160	30,653	55 073	13,60	1 970,00	D
M4-8	114-08	13/05/2014	10/06/2014	28	DISEÑO DE MEZCLA	10,563	15,165	30,603	49 592	12,20	1 770,00	D

Fuente: hoja de resultados de informe CII/USAC.

Figura 36. **Resultados de resistencia en tensión indirecta de cilindros de mezcla núm. 4**

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 MPa	RESISTENCIA lb/plg ²
M4-3	115-08	13/05/2014	16/05/2014	3	DISEÑO DE MEZCLA	10,686	15,120	30,763	21 000	1,30	190,00
M4-6	116-08	13/05/2014	20/05/2014	7	DISEÑO DE MEZCLA	10,600	15,148	30,623	19 000	1,15	165,00
M4-9	117-08	13/05/2014	10/06/2014	28	DISEÑO DE MEZCLA	10,538	15,225	30,672	22 000	1,35	195,00

Fuente: hoja de resultados de informe CII/USAC.

Figura 37. **Resultados de los ensayos a cilindros de mezcla núm. 5 a 3, 7 y 28 días**

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 MPa	RESISTENCIA lb/plg ²	TIPO DE FRACTURA
M5-1	118-08	13/05/2014	16/05/2014	3	DISEÑO DE MEZCLA	11,019	15,150	30,473	49 592	12,20	1 770,00	C
M5-2	119-08	13/05/2014	16/05/2014	3	DISEÑO DE MEZCLA	10,970	15,153	30,560	44 111	10,90	1 580,00	C
M5-4	120-08	13/05/2014	20/05/2014	7	DISEÑO DE MEZCLA	11,460	15,543	30,882	51 784	12,10	1 760,00	B
M5-5	121-08	13/05/2014	20/05/2014	7	DISEÑO DE MEZCLA	11,481	15,168	30,742	52 880	13,00	1 890,00	D
M5-7	122-08	13/05/2014	10/06/2014	28	DISEÑO DE MEZCLA	11,021	15,200	30,737	62 746	15,40	2 230,00	D
M5-8	123-08	13/05/2014	10/06/2014	28	DISEÑO DE MEZCLA	11,070	15,185	30,527	69 466	17,10	2 480,00	D

Fuente: hoja de resultados de informe CII/USAC.

Figura 38. **Resultados de resistencia en tensión indirecta de cilindros de mezcla núm. 5**

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 MPa	RESISTENCIA lb/plg ²
M5-3	124-08	13/05/2014	16/05/2014	3	DISEÑO DE MEZCLA	11,175	15,090	30,682	33 000	2,00	290,00
M5-6	125-08	13/05/2014	20/05/2014	7	DISEÑO DE MEZCLA	10,964	15,138	30,732	33 000	2,00	290,00
M5-9	126-08	13/05/2014	10/06/2014	28	DISEÑO DE MEZCLA	10,820	15,120	30,517	32 000	1,95	285,00

Fuente: hoja de resultados de informe CII/USAC.

Figura 39. **Resultados de los ensayos a cilindros de mezcla núm. 6 a 3, 7 y 28 días**

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 MPa	RESISTENCIA lb/plg ²	TIPO DE FRACTURA
M6-1	127-08	20/05/2014	23/05/2014	3	DISEÑO DE MEZCLA	11,050	15,188	30,673	40 822	10,00	1 450,00	D
M6-2	128-08	20/05/2014	23/05/2014	3	DISEÑO DE MEZCLA	11,120	15,173	30,578	45 207	11,10	1 610,00	D
M6-4	129-08	20/05/2014	27/05/2014	7	DISEÑO DE MEZCLA	11,174	15,125	30,780	43 014	10,60	1 540,00	D
M6-5	130-08	20/05/2014	27/05/2014	7	DISEÑO DE MEZCLA	11,054	15,100	30,748	44 111	11,00	1 600,00	D
M6-7	131-08	20/05/2014	17/06/2014	28	DISEÑO DE MEZCLA	10,937	15,200	30,763	51 784	12,70	1 840,00	D
M6-8	132-08	20/05/2014	17/06/2014	28	DISEÑO DE MEZCLA	11,000	15,225	30,783	53 977	13,20	1 920,00	D

Fuente: hoja de resultados de informe CII/USAC.

Figura 40. **Resultados de resistencia en tensión indirecta de cilindros de mezcla núm. 6**

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 MPa	RESISTENCIA lb/plg ²
M6-3	133-08	20/05/2014	23/05/2014	3	DISEÑO DE MEZCLA	11,010	15,198	30,562	21 000	1,30	190,00
M6-6	134-08	20/05/2014	27/05/2014	7	DISEÑO DE MEZCLA	10,996	15,113	30,473	26 000	1,60	230,00
M6-9	135-08	20/05/2014	17/06/2014	28	DISEÑO DE MEZCLA	10,950	15,320	30,673	24 000	1,45	210,00

Fuente: hoja de resultados de informe CII/USAC.

Figura 41. **Resultados de los ensayos a cilindros de mezcla núm. 7 a 3, 7 y 28 días**

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 MPa	RESISTENCIA lb/plg ²	TIPO DE FRACTURA
M6-1	136-08	26/05/2014	29/05/2014	3	DISEÑO DE MEZCLA	10,667	15,143	30,733	43 014	10,60	1 540,00	D
M6-2	137-08	26/05/2014	29/05/2014	3	DISEÑO DE MEZCLA	10,733	15,165	30,650	37 533	9,20	1 330,00	D
M6-4	138-08	26/05/2014	02/06/2014	7	DISEÑO DE MEZCLA	10,706	15,173	30,768	55 073	13,50	1 960,00	D
M6-5	139-08	26/05/2014	02/06/2014	7	DISEÑO DE MEZCLA	10,726	15,165	30,850	59 458	14,60	2 120,00	B
M6-7	140-08	26/05/2014	23/06/2014	28	DISEÑO DE MEZCLA	10,800	15,145	30,717	67 179	16,60	2 410,00	B
M6-8	141-08	26/05/2014	23/06/2014	28	DISEÑO DE MEZCLA	10,210	15,570	30,860	70 609	16,50	2 390,00	D

Fuente: hoja de resultados de informe CII/USAC.

Figura 42. **Resultados de resistencia en tensión indirecta de cilindros de mezcla núm. 7**

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 MPa	RESISTENCIA lb/plg ²
M6-3	142-08	26/05/2014	29/05/2014	3	DISEÑO DE MEZCLA	10,765	15,200	30,645	24 000	1,45	210,00
M6-6	143-08	26/05/2014	02/06/2014	7	DISEÑO DE MEZCLA	10,995	15,180	30,593	22 000	1,35	195,00
M6-9	144-08	26/05/2014	23/06/2014	28	DISEÑO DE MEZCLA	10,760	15,160	30,693	28 000	1,70	245,00

Fuente: hoja de resultados de informe CII/USAC.

2.3.4. **Ensayos de resistencia a flexión según Norma ASTM C – 78 a 28 días**

Las siguientes figuras muestran los resultados de los ensayos realizados a vigas de concreto permeable según la Norma ASTM C – 78. Este ensayo se realiza colocando una viga sobre dos apoyos simples en los extremos y aplicando una carga puntual sobre el centro de la misma para generar un esfuerzo flexionante y determinar la resistencia del elemento.

Figura 43. **Resultados de ensayos de flexión a vigas de concreto permeable de mezclas 1, 2, 3, 4, y 5**

MUESTRA	FECHA DE HECHURA	FECHA DE RUPTURA	EDAD (días)	ANCHO (mm)	ALTO (mm)	LARGO (mm)	LUZ ENTRE APOYOS (mm)	CARGA RUPTURA (N)	ESFUERZO A FLEXIÓN (Mpa)	ESFUERZO A FLEXIÓN (PSI)
Mezcla 1 Viga 1	29/04/2014	27/05/2014	28	154,27	155,38	538,00	457,00	17256	2,10	305,00
Mezcla 1 Viga 2	29/04/2014	27/05/2014	28	154,55	155,77	539,33	457,00	18041	2,20	320,00
Mezcla 2 Viga 1	06/05/2014	03/06/2014	28	152,52	154,50	537,33	457,00	26867	3,35	485,00
Mezcla 2 Viga 2	06/05/2014	03/06/2014	28	152,00	156,13	537,33	457,00	27455	3,40	495,00
Mezcla 3 Viga 1	06/05/2014	03/06/2014	28	152,20	155,20	537,33	457,00	14510	1,80	260,00
Mezcla 3 Viga 2	06/05/2014	03/06/2014	28	152,07	155,02	533,67	457,00	16079	2,00	290,00
Mezcla 4 Viga 1	13/05/2014	10/06/2014	28	152,40	155,77	533,33	457,00	16276	2,00	290,00
Mezcla 4 Viga 2	13/05/2014	10/06/2014	28	152,13	156,43	538,33	457,00	16472	2,00	290,00
Mezcla 5 Viga 1	13/05/2014	10/06/2014	28	152,27	156,40	537,33	457,00	24517	3,00	435,00
Mezcla 5 Viga 2	13/05/2014	10/06/2014	28	152,37	156,50	534,33	457,00	23925	2,95	430,00

Fuente: hoja de resultados de informe CII/USAC.

Figura 44. **Resultados de ensayos de flexión a vigas de concreto permeable de mezclas 6 y 7**

MUESTRA	FECHA DE HECHURA	FECHA DE RUPTURA	EDAD (días)	ANCHO (mm)	ALTO (mm)	LARGO (mm)	LUZ ENTRE APOYOS (mm)	CARGA RUPTURA (N)	ESFUERZO A FLEXIÓN (Mpa)	ESFUERZO A FLEXIÓN (PSI)
Mezcla 6 Viga 1	20/05/2014	17/06/2014	28	151,88	156,73	535,00	457,00	23974	2,95	430,00
Mezcla 6 Viga 2	20/05/2014	17/06/2014	28	152,93	154,77	537,33	457,00	23483	2,95	430,00
Mezcla 7 Viga 1	26/05/2014	23/06/2014	28	152,53	156,43	537,33	457,00	27063	3,30	480,00
Mezcla 7 Viga 2	26/05/2014	23/06/2014	28	152,40	156,40	536,00	457,00	29220	3,60	520,00

Fuente: hoja de resultados de informe CII/USAC.

2.3.5. Prueba de permeabilidad

La siguiente figura muestra los resultados de la prueba de permeabilidad realizada a planchas de concreto permeable de 15 centímetros de espesor, el cual es un espesor utilizado para pavimentaciones de concreto permeable. Esta prueba determina la capacidad del concreto y los vacíos para percolar el agua.

Figura 45. **Resultados de prueba de permeabilidad de mezclas 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7**

	TASA DE INFILTRACIÓN (pulgadas/hora)
Mezcla 1	3 616,96
Mezcla 2	2 127,74
Mezcla 3	1 812,48
Mezcla 4	1 331,64
Mezcla 5	1 319,02
Mezcla 6	2 752,33
Mezcla 7	4 051,46

Fuente: hoja de resultados de informe CII/USAC.

3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de ensayos de compresión en los cilindros de concreto permeable demuestran que las mezclas 2, 5 y 7 ha brindado mayor resistencia. Estas mezclas han sido elaboradas utilizando un aditivo tipo D, el cual ha mejorado considerablemente esta propiedad mecánica en las mezclas. La mezcla 2, que ha brindado la mayor resistencia a compresión contiene en sus proporciones una pequeña cantidad de agregado fino. La mezcla 7, que fue la mejor resistencia obtuvo después de la 2, no contiene ninguna cantidad de agregado fino o polvillo de PET.

La mezcla 5 contiene pequeñas cantidades de agregado fino y polvillo de PET, lo cual indica que el agregado fino ayuda a mejorar la resistencia a compresión del concreto permeable, caso contrario a lo que el polvillo de PET ha demostrado. Las mezclas 1, 3 y 6, que fueron la mezcla patrón sin aditivo, obtuvieron menores resistencias de compresión a las mezclas que utilizaron aditivo, y las mezclas que contenía únicamente agregado fino, obtuvieron mejor resistencia a la compresión que la mezcla solo con polvillo de PET en ella.

En los ensayos de tensión indirecta la mezcla 2, sigue siendo la que mayor resistencia ha tenido, contrario de lo que sucede en la resistencia a compresión. La mezcla 5 que contiene ambos agregado fino y polvillo de PET, ha obtenido mejores resultados que la mezcla 7 en este ensayo. Esto se debe a que el polvillo de PET, por su forma y estructura, actúa como fibras, resistiendo los esfuerzos de tensión inducidos. No obstante, la mezcla 2, que no contiene polvillo de PET ha brindado la mejor resistencia, demostrando una vez más

que, los beneficios obtenidos con el agregado fino son mayores que los obtenidos con el polvillo de PET para dichas propiedades mecánicas.

Los resultados de los ensayos a flexión han demostrado lo contrario a las expectativas según los resultados de los ensayos anteriores, que la mezcla 7 ha brindado la mayor resistencia a flexión, y la mezcla 2 ha sido, después de la 7, la que mejores resultados han obtenido. Ambas mezclas han resistido esfuerzos de alrededor de los 35 kg/cm², lo cual están dentro de una resistencia aceptable para su utilización en pasos peatonales y carreteras de tráfico liviano, con vehículos no mayores a 3,5 toneladas. Si se observan los resultados de las mezclas 3 y 4, y las mezclas 5 y 6, se pueden determinar valores muy cercanos en la resistencia a flexión, considerando que la única variante entre ellos es el aditivo. Esto indica que el efecto del mismo fue poco consistente en cuanto a mejorar dicha propiedad mecánica en el concreto permeable, especialmente en estas mezclas, la cuales contenían polvillo de PET.

Los resultados de la prueba de permeabilidad ha dejado en claro que el concreto permeable con ninguno contenido de material fino, como lo fue la mezcla 7 y 1, ha logrado resultados satisfactorios en cuanto a permeabilidad superando las 3 500 pulgadas por hora. Sin embargo, la mezcla que menor permeabilidad obtuvo fue la 4 y 5. Esto debido a su contenido de polvillo de PET, agregado fino y aditivo. Basados en los resultados, y considerando los de la mezcla 3 es evidente la poca capacidad permeable que el polvillo de PET brinda el concreto permeable, debido a que las mezclas que contenían agregado fino, obtuvieron mejores resultados en la prueba de permeabilidad que las mezclas que contenían polvillo de PET únicamente.

CONCLUSIONES

1. El uso del polvillo de PET en las mezclas de concreto permeable ha demostrado tener poco beneficio para mejorar sus características físicas y propiedades mecánicas, como se ha demostrado mediante los ensayos realizados.
2. El agregado fino en mezclas de concreto permeable ha brindado resultados satisfactorios en cuanto a las resistencia a compresión y flexión en las mezclas donde fue utilizado, sin embargo, ha demostrado reducir la capacidad de filtración en dichas mezclas de manera poco significativa.
3. La utilización de aditivos en mezclas de concreto permeable ha brindado resultados satisfactorios, puesto que ha mejorado la resistencia de las mezclas donde fue utilizado.
4. Las mezclas de concreto permeable 2 y 7, elaboradas en este trabajo, han demostrado tener las características físicas y propiedades mecánicas necesarias para ser utilizadas en proyectos ambientales como pavimentos de tráfico liviano, pasos peatonales y estabilización de muros, entre otros.

RECOMENDACIONES

1. El uso del polvillo de PET no es recomendado en mezclas de concreto permeable puesto que reduce la permeabilidad y la resistencia del mismo.
2. Un mínimo porcentaje de agregado fino es recomendado en la elaboración de mezclas de concreto permeable, puesto que mejora la resistencia sin reducir la permeabilidad del concreto considerablemente.
3. El uso de aditivo para la elaboración de concreto permeable es altamente recomendado, debido a que mejora considerablemente las propiedades mecánicas de dicho concreto. Al utilizar un aditivo tipo D, como el que se utilizó en este trabajo, o un tipo A, que contiene propiedades reductoras de agua, se ha observado que en el proceso de fraguado, el agua en exceso en la mezcla es expulsada y con ella se pierde material cementante. Es por ello que deben de tomarse las medidas necesarias y hacer pruebas previas de contenido de humedad en el agregado grueso antes de elaborar la mezcla, y también evaluar con mayor exactitud la capacidad de reducción de agua que el aditivo contiene ya que el rango establecido es considerablemente amplio para evitar la pérdida de material cementante con la expulsión de agua en exceso.
4. Utilizar el concreto permeable en proyectos ambientales, aporta el sostenimiento de las condiciones de suelos y el manto freático.


BIBLIOGRAFÍA

1. American Concrete Institute, Comité 522. *Reporte 522R:10 Reporte en Concreto Permeable*. Estados Unidos de America: ACI, 2010. 43 p.
2. CHOPRA, Manoj; WANIELISTA, Marty; MULLINGAN, Ann Marie. *Compressive strength of pervious concrete pavements*. Stormwater Academy, EE.UU: University of Central Florida. 2007. 136 p.
3. DELATTE, Norbert; MILLER, Dan; MRKAJIC, Aleksander. *Portland cement pervious concrete pavements: Field performance investigation on parking lot and roadway pavements*. Final report. Department of Civil & Environmental Engineering, EE.UU: Fenn College of Engineering, Cleveland State University. 2007. 79 p.
4. JOUNG, Young Min. *Evaluation and optimization of pervious concrete with respect to permeability and clogging*. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in the Department of Civil Engineering. EE.UU: A&M University of Texas. 2008. 133 p.
5. KEVEM, John. *Handbook for pervious concrete certification in Greater Kansas City*. EE.UU: University of Missouri, Kansas City. 2009. 38 p.

6. MULLIGAN, Ann Marie. *Attainable compressive strength of pervious concrete paving systems*. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in the Department of Civil Engineering. EE.UU: University of Central Florida, 2003. 145 p.
7. OFFENBERG, Matt. *Pervious concrete pavement permitting*. EE.UU: Land Development printing. 2005. 4 p.
8. *Pervious concrete specifications*. EE.UU: Charger Enterprises Inc. 2009. 30 p.
9. *Propiedades mecánicas de PET*. [en línea]. <https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2009.1/3216/2/49410-2.pdf>. [Consulta: 19 de noviembre de 2014].
10. *Standard specifications for road and bridge construction*. EE.UU: Florida department of transportation. 2010. 996 p.
11. TENNIS, Paul D.; LEMING, Michael L.; AKERS, David J. *Pervious Concrete Pavements*. EE.UU: National Ready Mixed Concrete Association & Portland Cement Association. 2004. 32 p.

APÉNDICES

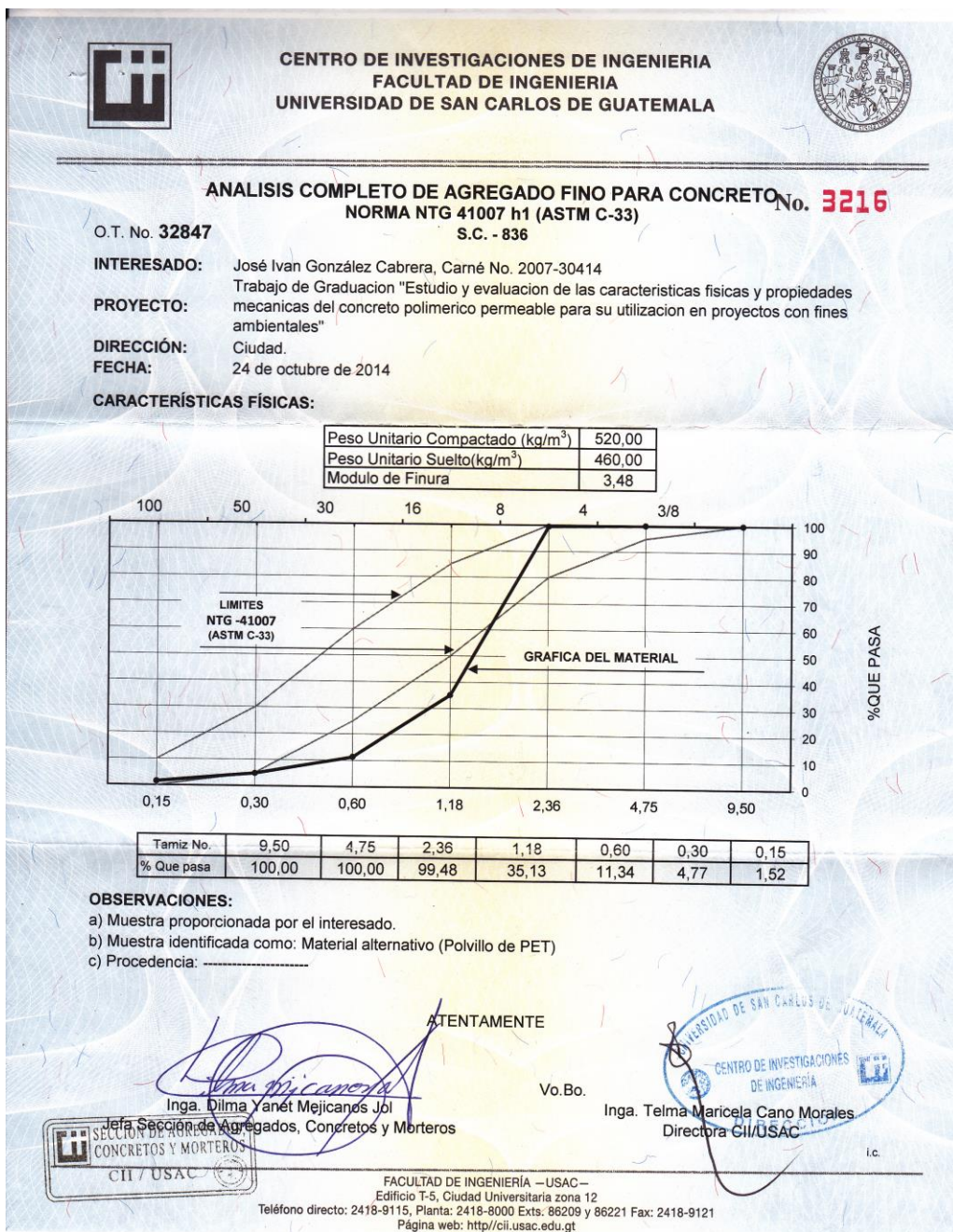
Análisis de agregado grueso

 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA	INFORME No. Trabajo de graduación: "Estudio y Evaluación de las Características Físicas y Propiedades Mecánicas del Concreto Polimérico Permeable para su utilización en Proyectos con Fines Ambientales" O.T. No. 32844 Laboratorio: Agregados, Concretos y Morteros																											
AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO	PROYECTO: S.C. - 215	Fecha: 06/05/2014 O.T. No. 32844																										
INTERESADO: Jose Ivan González Cabrera, Carné: No. 200730414	Muestra: Agregado Grueso	Fecha: 06/05/2014 O.T. No. 32844																										
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Peso Especifico</td><td style="text-align: center;">2,70</td></tr> <tr><td>Peso Unitario (kg/m³)</td><td style="text-align: center;">1560</td></tr> <tr><td>Peso Unitario Suelto (kg/m³)</td><td style="text-align: center;">1490</td></tr> <tr><td>Porcentaje de Vacíos</td><td style="text-align: center;">42</td></tr> <tr><td>Porcentaje de Absorción</td><td style="text-align: center;">0,99</td></tr> <tr><td>% tamiz 200</td><td style="text-align: center;">0,88</td></tr> <tr><td>% Desgaste por Sulfato de Sodio</td><td style="text-align: center;">-----</td></tr> <tr><td>% Desgaste por Abrasión</td><td style="text-align: center;">-----</td></tr> <tr><td>% Partículas Planas y alargadas</td><td style="text-align: center;">-----</td></tr> </table>			Peso Especifico	2,70	Peso Unitario (kg/m ³)	1560	Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1490	Porcentaje de Vacíos	42	Porcentaje de Absorción	0,99	% tamiz 200	0,88	% Desgaste por Sulfato de Sodio	-----	% Desgaste por Abrasión	-----	% Partículas Planas y alargadas	-----								
Peso Especifico	2,70																											
Peso Unitario (kg/m ³)	1560																											
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1490																											
Porcentaje de Vacíos	42																											
Porcentaje de Absorción	0,99																											
% tamiz 200	0,88																											
% Desgaste por Sulfato de Sodio	-----																											
% Desgaste por Abrasión	-----																											
% Partículas Planas y alargadas	-----																											
GRAFICA DEL MATERIAL No.50 No.16 No.8 No.4 3/8" 1/2" 3/4" 1" 1 1/2" 2" 2 1/2" 3" <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th>Tamaño en Milímetros</th> <th>No. 50</th> <th>No. 16</th> <th>No. 8</th> <th>No. 4</th> <th>3/8"</th> <th>1/2"</th> <th>3/4"</th> <th>1"</th> <th>1 1/2"</th> <th>2"</th> <th>2 1/2"</th> <th>3"</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>% Que pasa</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>99,88</td> <td>92,16</td> <td>90,65</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> </tbody> </table>			Tamaño en Milímetros	No. 50	No. 16	No. 8	No. 4	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	% Que pasa	100,00	100,00	99,88	92,16	90,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tamaño en Milímetros	No. 50	No. 16	No. 8	No. 4	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"																
% Que pasa	100,00	100,00	99,88	92,16	90,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																
OBSERVACIONES: *Muestra proporcionada por el interesado.																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Tamiz No.</td> <td>3/4"</td> <td>1/2"</td> <td>3/8"</td> <td>No. 4</td> <td>No. 8</td> <td>No. 16</td> <td>No. 16</td> </tr> <tr> <td>% Que pasa</td> <td>100,00</td> <td>99,88</td> <td>92,16</td> <td>90,65</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> </table>			Tamiz No.	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 16	% Que pasa	100,00	99,88	92,16	90,65	0,00	0,00	0,00										
Tamiz No.	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 16																					
% Que pasa	100,00	99,88	92,16	90,65	0,00	0,00	0,00																					
Vo.Bo. Inga. Telma María <i>Carro Morales</i> Directora CII/USAC																												

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.


2014.

Análisis de polvillo de PET




Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.
2014.

Resistencias de cilindros de concreto de mezcla 1 a 3, 7 y 28 días



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



INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO
NORMA NTG 41017 h1 (ASTM C-39) **No. 0471**

O.T. No. **32848** S.C. - 619 HOJA 1/2

INTERESADO: José Ivan González Cabrera, Carné No. 200730414

PROYECTO: Trabajo de Graduación "Estudio y evaluación de las características físicas y propiedades mecánicas del concreto polimérico permeable para su utilización en proyectos con fines ambientales"


DIRECCIÓN: Ciudad

FECHA: 21 de agosto de 2014


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 MPa	RESISTENCIA lb/pulg ²	TIPO DE FRACTURA
M1-1	82-08	29/04/2014	02/05/2014	3	DISEÑO DE MEZCLA	11,060	15,170	30,537	26 519	6,50	940,00	B
M1-2	83-08	29/04/2014	02/05/2014	3	DISEÑO DE MEZCLA	11,047	15,075	30,490	29 833	7,40	1 070,00	B
M1-4	84-08	29/04/2014	06/05/2014	7	DISEÑO DE MEZCLA	11,040	15,133	30,632	46 303	11,40	1 650,00	D
M1-5	85-08	29/04/2014	06/05/2014	7	DISEÑO DE MEZCLA	11,260	15,215	30,750	40 822	10,00	1 450,00	B
M1-7	86-08	29/04/2014	27/05/2014	28	DISEÑO DE MEZCLA	11,065	15,135	30,410	60 554	15,00	2 180,00	B
M1-8	87-08	29/04/2014	27/05/2014	28	DISEÑO DE MEZCLA	11,010	15,165	30,635	52 003	12,80	1 860,00	B

a) Muestra proporcionada por el interesado.
 b) Muestras ensayadas en máquina de compresión CONTROLS Testing Machine División con capacidad de 1 500 kN.
 c) Dial utilizado para lectura de cargas: 1 500 kN
 d) Cilindros cabeceados según Norma ASTM C-1231
 e) Masa unitaria del concreto: **2 184,29 kg/m³**
 f) Identificación de la mezcla: **MEZCLA No. 1**
 g) El interesado proporcionó:


- Identificación de cilindro.
- Fecha de fundición.
- Edad de ensayo.
- El representativo de la fundición.
- Aditivo utilizado en la mezcla: _____




A. CONO




B. CONO Y CLIVAJE



C. CONO Y RUPTURA

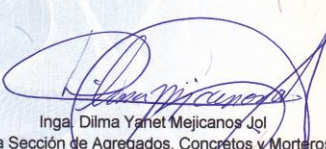


D. CORTE




E. COLUMNAR

ATENTAMENTE,



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

Vo.Bo.



Inga. Telma Maticela Cano Morales
Directora CII/USAC

SECCION DE AGREGADOS
CONCRETOS Y MORTEROS
CII / USAC

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>


EMG

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala
2014.

Resistencias de cilindros de concreto de mezcla 2 a 3, 7 y 28 días



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



INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO
NORMA NTG 41017 h1 (ASTM C-39) No. 0473

O.T. No. **32848** S.C. - 620
 HOJA 1/2

INTERESADO: José Ivan González Cabrera, Carné No. 200730414

PROYECTO: Trabajo de Graduación "Estudio y evaluación de las características físicas y propiedades mecánicas del concreto polimérico permeable para su utilización en proyectos con fines ambientales"

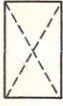

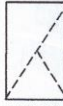
DIRECCIÓN: Ciudad

FECHA: 21 de agosto de 2014

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 MPa	RESISTENCIA lb/pig ²	TIPO DE FRACTURA
M2-1	91-08	06/05/2014	09/05/2014	3	DISEÑO DE MEZCLA	11,521	15,140	30,600	52 880	13,10	1 900,00	D
M2-2	92-08	06/05/2014	09/05/2014	3	DISEÑO DE MEZCLA	11,512	15,175	30,503	59 458	14,60	2 120,00	D
M2-4	93-08	06/05/2014	13/05/2014	7	DISEÑO DE MEZCLA	11,490	15,050	30,438	68 322	17,10	2 480,00	B
M2-5	94-08	06/05/2014	13/05/2014	7	DISEÑO DE MEZCLA	11,330	15,120	30,618	64 939	16,10	2 340,00	B
M2-7	95-08	06/05/2014	03/06/2014	28	DISEÑO DE MEZCLA	11,170	15,110	30,520	85 476	21,20	3 080,00	D
M2-8	96-08	06/05/2014	03/06/2014	28	DISEÑO DE MEZCLA	11,560	15,518	30,737	80 902	19,00	2 760,00	D

a) Muestra proporcionada por el interesado.
 b) Muestras ensayadas en máquina de compresión CONTROLS Testing Machine División con capacidad de 1 500 kN.
 c) Dial utilizado para lectura de cargas: 1 500 kN
 d) Cilindros cabeceados según Norma ASTM C-1231
 e) Masa unitaria del concreto: **2 161,43 kg/m³**
 f) Identificación de la mezcla: **MEZCLA No. 2**
 g) El interesado proporcionó:

- Identificación de cilindro.
- Fecha de fundición.
- Edad de ensayo.
- El representativo de la fundición.
- Aditivo utilizado en la mezcla: **PLASTOCRETE 161 MR**



ATENTAMENTE,



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

Vo.Bo.



Inga. Telma Maricela Cano Morales
 Directora CII/USAC

SECCIÓN DE AGREGADOS,
CONCRETOS Y MORTEROS
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>

EMG

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

2014.

Resistencias de cilindros de concreto de mezcla 3 a 3, 7 y 28 días



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



INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO
NORMA NTG 41017 h1 (ASTM C-39) **No. 0475**

O.T. No. **32848** S.C. - 621 HOJA 1/2

INTERESADO: José Ivan González Cabrera, Carné No. 200730414

PROYECTO: Trabajo de Graduación "Estudio y evaluación de las características físicas y propiedades mecánicas del concreto polimérico permeable para su utilización en proyectos con fines ambientales"

DIRECCIÓN: Ciudad

FECHA: 21 de agosto de 2014

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 MPa	RESISTENCIA lb/pulg ²	TIPO DE FRACTURA
M3-1	100-08	06/05/2014	09/05/2014	3	DISEÑO DE MEZCLA	10,506	15,135	30,570	24 309	6,00	870,00	D
M3-2	101-08	06/05/2014	09/05/2014	3	DISEÑO DE MEZCLA	10,373	15,120	30,637	20 994	5,20	750,00	B
M3-4	102-08	06/05/2014	13/05/2014	7	DISEÑO DE MEZCLA	10,500	15,080	30,708	27 624	6,90	1 000,00	D
M3-5	103-08	06/05/2014	13/05/2014	7	DISEÑO DE MEZCLA	10,490	15,105	30,623	34 244	8,50	1 230,00	B
M3-7	104-08	06/05/2014	03/06/2014	28	DISEÑO DE MEZCLA	10,370	15,105	30,567	43 014	10,70	1 550,00	B
M3-8	105-08	06/05/2014	03/06/2014	28	DISEÑO DE MEZCLA	10,490	15,175	30,713	41 918	10,30	1 490,00	D

a) Muestra proporcionada por el interesado.
 b) Muestras ensayadas en máquina de compresión CONTROLS Testing Machine División con capacidad de 1 500 kN.
 c) Dial utilizado para lectura de cargas: 1 500 kN
 d) Cilindros cabeceados según Norma ASTM C-1231
 e) Masa unitaria del concreto: **1 958,57 kg/m³**
 f) Identificación de la mezcla: **MEZCLA No. 3**
 g) El interesado proporcionó:

- Identificación de cilindro.
- Fecha de fundición.
- Edad de ensayo.
- El representativo de la fundición.
- Aditivo utilizado en la mezcla: _____



A. CONO




B. CONO Y CLIVAJE



C. CONO Y RUPTURA



D. CORTE



E. COLUMNAR

ATENTAMENTE,



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

Vo.Bo.



Inga. Telma Maricela Cano Morales
 Directora CII/USAC


SECCION DE AGREGADOS,
 CONCRETOS Y MORTEROS
 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>

EMG

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.
 2014.

Resistencias de cilindros de concreto de mezcla 4 a 3, 7 y 28 días



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



**INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO
NORMA NTG 41017 h1 (ASTM C-39) No. 0477**

O.T. No. **32848** S.C. - 622 HOJA 1/2

INTERESADO: José Ivan González Cabrera, Carné No. 200730414

PROYECTO: Trabajo de Graduación "Estudio y evaluación de las características físicas y propiedades mecánicas del concreto polimérico permeable para su utilización en proyectos con fines ambientales"

DIRECCIÓN: Ciudad

FECHA: 21 de agosto de 2014


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 MPa	RESISTENCIA lb/in ²	TIPO DE FRACTURA
M4-1	109-08	13/05/2014	16/05/2014	3	DISEÑO DE MEZCLA	10,641	15,143	30,645	36 437	9,00	1 310,00	D
M4-2	110-08	13/05/2014	16/05/2014	3	DISEÑO DE MEZCLA	10,503	15,223	30,853	34 244	8,40	1 220,00	B
M4-4	111-08	13/05/2014	20/05/2014	7	DISEÑO DE MEZCLA	10,630	15,170	30,685	46 303	11,40	1 650,00	B
M4-5	112-08	13/05/2014	20/05/2014	7	DISEÑO DE MEZCLA	10,590	15,425	30,635	48 495	11,50	1 670,00	D
M4-7	113-08	13/05/2014	10/06/2014	28	DISEÑO DE MEZCLA	10,590	15,160	30,653	55 073	13,60	1 970,00	D
M4-8	114-08	13/05/2014	10/06/2014	28	DISEÑO DE MEZCLA	10,563	15,165	30,603	49 592	12,20	1 770,00	D

a) Muestra proporcionada por el interesado.
 b) Muestras ensayadas en maquina de compresión CONTROLS Testing Machine Division con capacidad de 1 500 kN.
 c) Dial utilizado para lectura de cargas: 1 500 kN
 d) Cilindros cabeceados según Norma ASTM C-1231
 e) Masa unitaria del concreto: **1 945,71 kg/m³**
 f) Identificación de la mezcla: **MEZCLA No. 4**
 g) El interesado proporcionó:


- Identificación de cilindro.
- Fecha de fundición.
- Edad de ensayo.
- El representativo de la fundición.
- Aditivo utilizado en la mezcla: **PLASTOCRETE 161 MR**



A. CONO



B. CONO Y CLIVAJE



C. CONO Y RUPTURA



D. CORTE



E. COLUMNAR

ATENTAMENTE,



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

Vo.Bo.



Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC



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>

EMG

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

2014.

Resistencias de cilindros de concreto de mezcla 5 a 3, 7 y 28 días



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



INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO
NORMA NTG 41017 h1 (ASTM C-39) **No. 0483**

O.T. No. **32848** S.C. - 623 HOJA 1/2

INTERESADO: José Ivan González Cabrera, Camé No. 200730414

PROYECTO: Trabajo de Graduación "Estudio y evaluación de las características físicas y propiedades mecánicas del concreto polimérico permeable para su utilización en proyectos con fines ambientales"

DIRECCIÓN: Ciudad

FECHA: 21 de agosto de 2014

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 MPa	RESISTENCIA lb/pig ²	TIPO DE FRACTURA
M5-1	118-08	13/05/2014	16/05/2014	3	DISEÑO DE MEZCLA	11,019	15,150	30,473	49 592	12,20	1 770,00	C
M5-2	119-08	13/05/2014	16/05/2014	3	DISEÑO DE MEZCLA	10,970	15,153	30,560	44 111	10,90	1 580,00	C
M5-4	120-08	13/05/2014	20/05/2014	7	DISEÑO DE MEZCLA	11,460	15,543	30,882	51 784	12,10	1 760,00	B
M5-5	121-08	13/05/2014	20/05/2014	7	DISEÑO DE MEZCLA	11,481	15,168	30,742	52 880	13,00	1 890,00	D
M5-7	122-08	13/05/2014	10/06/2014	28	DISEÑO DE MEZCLA	11,021	15,200	30,737	62 746	15,40	2 230,00	D
M5-8	123-08	13/05/2014	10/06/2014	28	DISEÑO DE MEZCLA	11,070	15,185	30,527	69 466	17,10	2 480,00	D

a) Muestra proporcionada por el interesado.
 b) Muestras ensayadas en maquina de compresión CONTROLS Testing Machine División con capacidad de 1 500 kN.
 c) Dial utilizado para lectura de cargas: 1 500 kN
 d) Cilindros cabeceados según Norma ASTM C-1231
 e) Masa unitaria del concreto: **2 154,29 kg/m³**
 f) Identificación de la mezcla: **MEZCLA No. 5**
 g) El interesado proporcionó:

- Identificación de cilindro.
- Fecha de fundición.
- Edad de ensayo.
- El representativo de la fundición.
- Aditivo utilizado en la mezcla: **PLASTOCRETE 161 MR**



A. CONO



B. CONO Y CLIVAJE



C. CONO Y RUPTURA



D. CORTE



E. COLUMNAR

ATENTAMENTE,



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



Vo.Bo.



Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC




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>

EMG


Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

2014.

Resistencias de cilindros de concreto de mezcla 6 a 3, 7 y 28 días



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



**INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO
NORMA NTG 41017 h1 (ASTM C-39) No. 0485**

O.T. No. 32848

S.C. - 624
HOJA 1/2

INTERESADO: José Ivan González Cabrera, Carné No. 200730414

PROYECTO: Trabajo de Graduación "Estudio y evaluación de las características físicas y propiedades mecánicas del concreto polimérico permeable para su utilización en proyectos con fines ambientales"

DIRECCIÓN: Ciudad

FECHA: 21 de agosto de 2014

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 MPa	RESISTENCIA lb/pulg ²	TIPO DE FRACTURA
M6-1	127-08	20/05/2014	23/05/2014	3	DISEÑO DE MEZCLA	11,050	15,188	30,673	40 822	10,00	1 450,00	D
M6-2	128-08	20/05/2014	23/05/2014	3	DISEÑO DE MEZCLA	11,120	15,173	30,578	45 207	11,10	1 610,00	D
M6-4	129-08	20/05/2014	27/05/2014	7	DISEÑO DE MEZCLA	11,174	15,125	30,780	43 014	10,60	1 540,00	D
M6-5	130-08	20/05/2014	27/05/2014	7	DISEÑO DE MEZCLA	11,054	15,100	30,748	44 111	11,00	1 600,00	D
M6-7	131-08	20/05/2014	17/06/2014	28	DISEÑO DE MEZCLA	10,937	15,200	30,763	51 784	12,70	1 840,00	D
M6-8	132-08	20/05/2014	17/06/2014	28	DISEÑO DE MEZCLA	11,000	15,225	30,783	53 977	13,20	1 920,00	D

a) Muestra proporcionada por el interesado.

b) Muestras ensayadas en maquina de compresión CONTROLS Testing Machine División con capacidad de 1 500 kN.

c) Dial utilizado para lectura de cargas: 1 500 kN



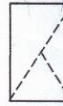
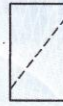
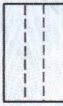
d) Cilindros cabeceados según Norma ASTM C-1231

e) Masa unitaria del concreto: **2 200,00 kg/m³**

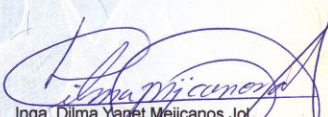
f) Identificación de la mezcla: **MEZCLA No. 6**

g) El interesado proporcionó:

- Identificación de cilindro.
- Fecha de fundición.
- Edad de ensayo.
- El representativo de la fundición.
- Aditivo utilizado en la mezcla: _____








ATENTAMENTE,



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

Vo.Bo.



Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC

SECCION DE AGREGADOS,
CONCRETOS Y MORTEROS
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>

EM3

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

2014.

Resistencias de cilindros de concreto de mezcla 7 a 3, 7 y 28 días



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



INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO
NORMA NTG 41017 h1 (ASTM C-39) **No. 0487**

O.T. No. **32848** S.C. - 625 HOJA 1/2

INTERESADO: José Ivan González Cabrera, Carné No. 200730414

PROYECTO: Trabajo de Graduación "Estudio y evaluación de las características físicas y propiedades mecánicas del concreto polimérico permeable para su utilización en proyectos con fines ambientales"

DIRECCIÓN: Ciudad

FECHA: 21 de agosto de 2014

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 MPa	RESISTENCIA lb/pulg ²	TIPO DE FRACTURA
M6-1	136-08	26/05/2014	29/05/2014	3	DISEÑO DE MEZCLA	10,667	15,143	30,733	43 014	10,60	1 540,00	D
M6-2	137-08	26/05/2014	29/05/2014	3	DISEÑO DE MEZCLA	10,733	15,165	30,650	37 533	9,20	1 330,00	D
M6-4	138-08	26/05/2014	02/06/2014	7	DISEÑO DE MEZCLA	10,706	15,173	30,768	55 073	13,50	1 960,00	D
M6-5	139-08	26/05/2014	02/06/2014	7	DISEÑO DE MEZCLA	10,726	15,165	30,850	59 458	14,60	2 120,00	B
M6-7	140-08	26/05/2014	23/06/2014	28	DISEÑO DE MEZCLA	10,800	15,145	30,717	67 179	16,60	2 410,00	B
M6-8	141-08	26/05/2014	23/06/2014	28	DISEÑO DE MEZCLA	10,210	15,570	30,860	70 609	16,50	2 390,00	D

a) Muestra proporcionada por el interesado.
 b) Muestras ensayadas en máquina de compresión CONTROLS Testing Machine División con capacidad de 1 500 kN.
 c) Dial utilizado para lectura de cargas: 1 500 kN
 d) Cilindros cabeceados según Norma ASTM C-1231
 e) Masa unitaria del concreto: **2 015,71 kg/m³**
 f) Identificación de la mezcla: **MEZCLA No. 7**
 g) El interesado proporcionó:

- Identificación de cilindro.
- Fecha de fundición.
- Edad de ensayo.
- El representativo de la fundición.
- Aditivo utilizado en la mezcla: **PLASTOCRETE 161 MR**



A. CONO



B. CONO Y CLIVAJE



C. CONO Y RUPTURA



D. CORTE



E. COLUMNAR

ATENTAMENTE,



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

Vo.Bo.



Inga. Telma Marcela Cano Morales
Directora CII/USAC



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>

EMG

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

2014.

Resistencias de vigas de concreto ensayadas a flexión



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



INFORME DE ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGAS DE CONCRETO No. 3009 NORMA NTG 41017 h2 (ASTM C-78)

INFORME No. S.C. - 654

O.T. No. 32851

HOJA 1/2

INTERESADO: José Iván González Cabrera, Carné No. 200730414

PROYECTO: Trabajo de graduación "Estudio y evaluación de las características físicas y propiedades mecánicas del concreto polimérico permeable para su utilización en proyectos con fines ambientales"

DIRECCIÓN: Ciudad.

FECHA: 28 de agosto de 2014

RESULTADOS:

MUESTRA	FECHA DE HECHURA	FECHA DE RUPTURA	EDAD (días)	ANCHO (mm)	ALTO (mm)	LARGO (mm)	LUZ ENTRE APOYOS (mm)	CARGA RUPTURA (N)	ESFUERZO A FLEXIÓN (Mpa)	ESFUERZO A FLEXIÓN (PSI)
Mezcla 1 Viga 1	29/04/2014	27/05/2014	28	154,27	155,38	538,00	457,00	17256	2,10	305,00
Mezcla 1 Viga 2	29/04/2014	27/05/2014	28	154,55	155,77	539,33	457,00	18041	2,20	320,00
Mezcla 2 Viga 1	06/05/2014	03/06/2014	28	152,52	154,50	537,33	457,00	26867	3,35	485,00
Mezcla 2 Viga 2	06/05/2014	03/06/2014	28	152,00	156,13	537,33	457,00	27455	3,40	495,00
Mezcla 3 Viga 1	06/05/2014	03/06/2014	28	152,20	155,20	537,33	457,00	14510	1,80	260,00
Mezcla 3 Viga 2	06/05/2014	03/06/2014	28	152,07	155,02	533,67	457,00	16079	2,00	290,00
Mezcla 4 Viga 1	13/05/2014	10/06/2014	28	152,40	155,77	533,33	457,00	16276	2,00	290,00
Mezcla 4 Viga 2	13/05/2014	10/06/2014	28	152,13	156,43	538,33	457,00	16472	2,00	290,00
Mezcla 5 Viga 1	13/05/2014	10/06/2014	28	152,27	156,40	537,33	457,00	24517	3,00	435,00
Mezcla 5 Viga 2	13/05/2014	10/06/2014	28	152,37	156,50	534,33	457,00	23925	2,95	430,00

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 de Guatemala.

2014.

Resistencias de vigas de concreto ensayadas a flexión



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



INFORME DE ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGAS DE CONCRETO No. **3010**
NORMA NTG 41017 h2 (ASTM C-78)
 INFORME No. S.C. - 654
 HOJA 2/2

O.T. No. 32851

INTERESADO: José Iván González Cabrera, Carné No. 200730414

PROYECTO: Trabajo de graduación "Estudio y evaluación de las características físicas y propiedades mecánicas del concreto polimérico permeable para su utilización en proyectos con fines ambientales"

DIRECCIÓN: Ciudad.

FECHA: 28 de agosto de 2014

RESULTADOS:

MUESTRA	FECHA DE HECHURA	FECHA DE RUPTURA	EDAD (días)	ANCHO (mm)	ALTO (mm)	LARGO (mm)	LUZ ENTRE APOYOS (mm)	CARGA RUPTURA (N)	ESFUERZO A FLEXIÓN (Mpa)	ESFUERZO A FLEXIÓN (PSI)
Mezcla 6 Viga 1	20/05/2014	17/06/2014	28	151,88	156,73	535,00	457,00	23974	2,95	430,00
Mezcla 6 Viga 2	20/05/2014	17/06/2014	28	152,93	154,77	537,33	457,00	23483	2,95	430,00
Mezcla 7 Viga 1	26/05/2014	23/06/2014	28	152,53	156,43	537,33	457,00	27063	3,30	480,00
Mezcla 7 Viga 2	26/05/2014	23/06/2014	28	152,40	156,40	536,00	457,00	29220	3,60	520,00

OBSERVACIONES:

a) Muestra fundida y moldeada en laboratorio.
 b) La falla ocurrió en la superficie de tensión dentro del tercio medio de la luz entre apoyos de la viga .

ATENTAMENTE,



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

Vo.Bo.



Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC



SECCION DE AGREGADOS,
CONCRETOS Y MORTEROS
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 de Guatemala.

2014.

Resultados de ensayo de permeabilidad

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA																	
ENSAYO DE PERMEABILIDAD EN CONCRETO NORMA ASTM C-1701		No. 0384																
O.T. No.32850	INFORME No. S.C. - 551 HOJA 1/1																	
INTERESADO:	José Iván Gonzáles Cabrera, Carné No. 2007 30414.																	
PROYECTO:	Trabajo de Graduación "Estudio y Evaluación de las Características Físicas y Propiedades Mecánicas del Concreto Polimérico Permeable para su Utilización en Proyectos con Fines Ambientales"																	
DIRECCIÓN:	Ciudad.																	
FECHA:	28 de julio de 2014																	
RESULTADOS:																		
	<table border="1"><thead><tr><th></th><th>TASA DE INFILTRACIÓN (pulgadas/hora)</th></tr></thead><tbody><tr><td>Mezcla 1</td><td>3 616,96</td></tr><tr><td>Mezcla 2</td><td>2 127,74</td></tr><tr><td>Mezcla 3</td><td>1 812,48</td></tr><tr><td>Mezcla 4</td><td>1 331,64</td></tr><tr><td>Mezcla 5</td><td>1 319,02</td></tr><tr><td>Mezcla 6</td><td>2 752,33</td></tr><tr><td>Mezcla 7</td><td>4 051,46</td></tr></tbody></table>		TASA DE INFILTRACIÓN (pulgadas/hora)	Mezcla 1	3 616,96	Mezcla 2	2 127,74	Mezcla 3	1 812,48	Mezcla 4	1 331,64	Mezcla 5	1 319,02	Mezcla 6	2 752,33	Mezcla 7	4 051,46	
	TASA DE INFILTRACIÓN (pulgadas/hora)																	
Mezcla 1	3 616,96																	
Mezcla 2	2 127,74																	
Mezcla 3	1 812,48																	
Mezcla 4	1 331,64																	
Mezcla 5	1 319,02																	
Mezcla 6	2 752,33																	
Mezcla 7	4 051,46																	
OBSERVACIONES:																		
a) Mezclas realizadas por el interesado.																		
ATENTAMENTE,																		
 Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jor Jefa Sección de Agregados , Concretos y Morteros	Vo.Bo.	 Inga. Telma Maricela Cano Morales Directora CII/USAC																
																		
<small>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</small>																		

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

2014.

