

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA



TEMA:

**“APLICACIÓN DEL CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO GEOSINTÉTICOS EN
LA CONSTRUCCIÓN DE ESTACIONAMIENTOS PARA DIFERENTES TIPOS DE
SUELOS”**

PRESENTAN:

Br. FLORES FLORES KEVIN MANUEL
Br. VÁSQUEZ VÁSQUEZ GERSON BLADIMIR
Br. ZALDAÑA CÁCERES WENDY CECILIA

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

DOCENTE DIRECTOR:

ING. JOSÉ LUIS CASTRO CORDERO

JUNIO 2021

SAN MIGUEL, EL SALVADOR, CENTROAMÉRICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

Ms. ROGER ARMANDO ARIAS

VICERRECTOR ACADÉMICO:

ING. JUAN ROSA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL:

ING. FRANCISCO ALARCÓN

FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL

DECANO:

LIC. CRISTÓBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ

VICEDECANO:

Dr. OSCAR VILLALOBOS

SECRETARIO:

Ms. ISRAEL LÓPEZ MIRANDA

JEFE DE DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA:

ING. RIGOBERTO LÓPEZ

COORDINADOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL:

Ms. GUILLERMO MOYA TURCIOS

COORDINADORA DE PROCESOS DE GRADUACIÓN DEL DEPARTAMENTO DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA:

ING. MILAGRO DE MARÍA ROMERO DE GARCÍA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OPCIÓN AL GRADO DE:
INGENIERO CIVIL

TÍTULO:
“APLICACIÓN DEL CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO GEOSINTÉTICOS EN
LA CONSTRUCCIÓN DE ESTACIONAMIENTOS PARA DIFERENTES TIPOS DE
SUELOS”

PRESENTADO POR:
Br. FLORES FLORES KEVIN MANUEL
Br. VÁSQUEZ VÁSQUEZ GERSON BLADIMIR
Br. ZALDAÑA CÁCERES WENDY CECILIA

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

DOCENTE DIRECTOR:
ING. JOSÉ LUIS CASTRO CORDERO

CIUDAD UNIVERSITARIA, JUNIO 2021

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

ING. JOSÉ LUIS CASTRO CORDERO

DOCENTE DIRECTOR

ING. MILAGRO DE MARÍA ROMERO DE GARCÍA
COORDINADORA DE PROCESOS DE GRADUACIÓN

AGRADECIMIENTOS

Agradezco este logro primeramente a nuestro Padre Dios todo poderoso que está en los cielos iluminando la vida de cada uno de nosotros y dándonos esperanza, fortaleza, sabiduría e inteligencia para poder desarrollarnos como persona y alcanzar nuestros objetivos y metas que nos hemos trazado, a pesar de las dificultades que se nos presenta en la vida llamase económico, social, etc. Se ha logrado superar cada uno de estos problemas es por ello que le dedicó este triunfo a nuestro padre.

A mi padre y a mi madre Manuel de Jesús Flores Caballero, Sulma Yanira Flores de Flores respectivamente mencionado, por haberme alentado y apoyado en todos los momentos de mi vida, ya que han sido mi guía, mis maestros y mis amigos desde mi niñez, sin su presencia jamás hubiera logrado ser un profesional.

A mi abuela Juana Antonia Flores por su apoyo y motivación en todas las circunstancias. A mi Hermana Zulma Claribel Flores porque ha estado siempre en mi vida siendo parte fundamental para culminar este logro.

A mi novia Marina Yamilet Franco por estar siempre en los momentos difíciles y su apoyo incondicional en este logro.

Al Ing. Marlon Vigil que con paciencia y dedicación nos orientó en el tema de investigación.

A nuestro Docente director, Ing. José Luis Castro Cordero por su dedicación, paciencia, por sus exigencias que nos demuestran cómo ser mejores tanto profesional como estudiantil.

A la Ing. Milagro de María Romero por su bondad y carisma en el momento de enseñarnos, brindándonos siempre el respeto, a el Ing. Guillermo Moya por su asesoría, tiempo y orientación.

Al Ing. Humberto Moreira por ser parte del desarrollo de las pruebas de la investigación.

A consultores MZ, por ser apoyo técnico, en los ensayos de investigación especialmente al Ing. Orsy Gutiérrez por apoyarnos en los ensayos.

En fin, le agradezco a todas las personas que, aunque no están sus nombres aquí, estarán siempre en mi mente y estoy muy agradecido por sus importantes aportes tanto emocionales como económicos. Desde el fondo de mi Corazón Mil gracias a todos/as.

KEVIN MANUEL FLORES FLORES

AGRADECIMIENTOS

A JEHOVA. Por haber sido mí guía espiritual de toda la vida. He logrado culminar mis estudios “POR TI OH JEHOVA” gracias.

A mi Mamá LILIAN AYDEE VASQUEZ que fue parte fundamental de este logro obtenido y motivo de inspiración para mí. Te convertiste en madre y padre a la vez supiste sobre llevar la responsabilidad y siempre inculcaste en mí y en mis hermanos los valores y principios para vivir en una sociedad justa. Gracias por que todos los años has estado pendiente de mí; gracias por tus oraciones que hacías por mí cuando viajaba a la universidad a alcanzar mis metas. Este triunfo es tuyo también TE AMO MAMÁ.

A mi Hermano-Papá NELSON HERNADEZ quien me ayudo a seguir en la Universidad. Siendo un pilar fundamental en mi Familia desde muy temprano supliste el rol de padre para mí. No tengo palabras de cómo decirte GRACIAS HERMANO por tu apoyo incondicional.

A mis Hermanas NORMA HERNANDEZ, DELMI VASQUEZ por su apoyo espiritual, y oraciones. Mis Sobrinos SOPHIA, DAVID Y SARA.

A mis compañeros de Tesis que pese a las dificultades salimos adelante.

A Nuestro asesor y Jurado Calificador por el apoyo brindado.

Al Ingeniero Marlon Ebiezer Vigil Sánchez por el aporte brindado.

A mi compañera Wendy que desde el inicio luchamos hasta el final pese a las dificultades encontradas en el transcurso no nos dimos por vencidos.

A todos mis amigos que conocí en la Universidad. Omar, Chema, Manuel, Karla, Fernando, Roger, Alexis, Vigil, Rosita, Leo, Rutilo, Osegueda, Mauricio, Marlon.

A Esposos Méndez Choto, Esposos Román. Por el apoyo espiritual que me dieron GRACIAS.

A todas Mis Tía y Primos, A mi Abuelos HECTOR VASQUEZ, JUANA VASQUEZ (Q.E.D), Mis
Hermanos JAIRO VASQUEZ (Q.E.D), MARILYN AMAYA (Q.E.D)

“PERSEVERACIA Y CONSTANCIAS AYUDA ALCANZAR EL ÉXITO”

GERSON BLADIMIR VÁSQUEZ VÁSQUEZ

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios Todopoderoso y a la Virgen Maria por haberme permitido culminar mis estudios profesionales, quienes antepongo en cada desafío para brincar aquellos obstáculos que veo difíciles de conquistar, y que sin pedir nada a cambio siempre has dejado que llegue hasta donde me lo propongo y más.

A mi mamá Rosa Argelia Cáceres de Zaldaña por ser mi apoyo incondicional y quien aguanto y lloro cada uno mis altos y bajos en berrinches, rabietas, malhumor, enojos y aquellos disgustos que llevaba a casa por no concordar con compañeros, amigos o simplemente aquellas tareas que típicamente dejamos para última hora. Gracias por creer en mí y porque siempre me hiciste saber que era capaz de lograrlo. Gracias porque nunca me dejaste sola y si hubieses podido ser mi compañera en las clases, tus aplausos serían los más rimbombante. Te amo.

A mi papá Fernando Mauricio Zaldaña Martínez, un tipazo, y aunque eres un hombre de pocas palabras he aprendido a que cada gesto, palmadita en el hombro o en la más simple de tus miradas se expresan más de mil palabras. Gracias por ser ese pilar de fortaleza. Gracias por aquellos sacrificios y adversidades que, de pequeña, adolescente y adulta pude causar y que jamás desististe y decidiste confiar en mis retos. Jamás me faltes.

A mi hermano mayor Rodolfo Carlos Aquino Martínez, porque desde que recuerdo y tengo memoria siempre he sido tu cucú. Gracias por aconsejar, motivarme, y por siempre darme tu amor incondicional en las buenas y en las malas.

A mi hermana mayor Maria Rosa Zaldaña Cáceres, por brindarme tu compañía, tiempo, y confianza en este camino lleno de aventuras incontables pero que a pesar de todo hoy reímos y decimos: ¡Lo Lograste!

A mis sobrinos José Fernando Aquino Martínez, Félix Gabriel Aquino Martínez y Carlos Alexander Escobar Zaldaña.

Al personal encargado de nuestro Trabajo de Grado (Docente director y Jurados calificadores), por su ardua labor, conocimientos y apoyo.

Al Ing. Marlon Ebiezer Vigil Sánchez, por su asesoría técnica, dedicación y vocación a temas afine a la carrera. Gracias por su aporte, colaboración y por no claudicar en todo el proceso, mis más sinceros agradecimientos.

Al Ing. Jorge Humberto Moreira, por ser el apoyo del Laboratorio de Suelos y Materiales de la Facultad Multidisciplinaria Oriental, Universidad de El Salvador. Gracias por siempre estar a disposición de aportar tus conocimientos a este trabajo.

A los Ing. Oscar Rene Chica Martínez e Ing. Orsy Norberto Hernández Gutiérrez, quienes aportaron sus conocimientos en las pruebas de este trabajo. Hoy puedo decir que más allá de un trato profesional se convirtieron en dos seres queridos y muy preciados en mi vida personal.

A mi mejor amiga Krissia Milena Castellón Diaz, por tu paciencia en las pláticas oídas, noches de desvelo, y apoyo en todos mis procesos académicos y fuera de ello. Gracias por tu amistad y darme ánimos a lo largo de la carrera.

A mi mejor amigo Jorge Alejandro Sánchez Barrientos por tus palabras en aquellos momentos en los que pensé que no lo lograría o cuando dudaba de mis esfuerzos, gracias por los regaños, y sobre todo por siempre confiar en mi y estar a la par hasta el final.

Y a ti Gerson Bladimir Vásquez Vásquez que en el recorrido de la carrera soportamos situaciones y adversidades que en ocasiones no eran las óptimas, pero: ¡Lo Logramos Amigo!

WENDY CECILIA ZALDAÑA CÁCERES

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN	13
CAPITULO I	
1.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	14
1.2 ENUNCIADO DEL PROBLEMA.....	15
1.3 JUSTIFICACIÓN	16
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	18
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	19
1.5.1 ALCANCES	19
1.5.2 LIMITACIONES	20
CAPITULO II	
2.1 INTRODUCCIÓN.....	21
2.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN	22
2.2.1 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	22
2.2.2 NIVEL DE INVESTIGACIÓN	22
2.2.3 VARIABLES DE ESTUDIO.....	22
2.3 UNIDADES DE ANÁLISIS	24
2.3.1 PLAN DE TRABAJO.....	24
2.3.1.1 DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO PERMEABLE.....	24
2.3.1.2 NÚMERO DE MUESTRAS PARA EL CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.	25
2.3.1.3 NÚMERO DE MUESTRAS PARA EL CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.....	26
2.3.1.4 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE VACÍOS.	27
2.3.1.5 DETERMINACIÓN DE LA TASA DE INFILTRACIÓN	27
2.4 APLICACIÓN IN SITU DEL PROTOTIPO DE LA ESTRUCTURA PARA ESTACIONAMIENTO EN TRES TIPOS DE SUELOS	28
2.4.1 ESTRUCTURA DE ESTACIONAMIENTO EN SUELOS CH.....	29

2.4.2 ESTRUCTURA DE ESTACIONAMIENTO EN SUELOS ML-CL.....	29
2.4.3 ESTRUCTURA DE ESTACIONAMIENTO EN SUELOS MH.....	30

CAPITULO III

3.1 MARCO CONCEPTUAL	31
3.1.1 CONCRETO PERMEABLE EN ESTACIONAMIENTOS	31
3.1.1.1 VENTAJAS DEL ESTACIONAMIENTO DE CONCRETO PERMEABLE	31
3.1.1.2 DESVENTAJAS DEL ESTACIONAMIENTO DE CONCRETO PERMEABLE.....	32
3.1.2 DISEÑO DE MEZCLA POR EL METODO DE LA ASOCIACION NACIONAL DE CONCRETO PREMEZCLADO (NMRCA)	33
3.1.3 GENERALIDADES DEL CONCRETO PERMEABLE	41
3.1.3.1 APLICACIÓN DEL CONCRETO PERMEABLE:	43
3.1.3.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES Y MEZCLAS DE CONCRETO PERMEABLE	45
3.1.3.3 PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE.....	49
3.1.3.3.1 PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO FRESCO.....	49
3.1.3.3.2 PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO ENDURECIDO.	50
3.1.4 GENERALIDADES DE LOS GEOSINTÉTICOS	59
3.1.4.1 GEOTEXTILES	59
3.1.4.1.1 GEOTEXTILES TEJIDOS.....	59
3.1.4.1.2 GEOTEXTILES NO TEJIDOS.....	60
3.1.5.1.3 GEOTEXTILES MIXTOS	60
3.1.4.2 GEOMALLAS	61
3.1.4.2.1 GEOMALLAS UNIAXIALES.	61
3.1.4.2.2 GEOMALLAS BIAXIALES	61
3.1.4.2.3 GEOMALLAS TRIAXIALES	61
3.1.5 FIBRAS DE POLIPROPILENO/POLIETILENO	62
3.1.6 GENERALIDADES DE LOS SUELOS	65
3.1.6.1 UBICACIÓN DE LOS SONDEO	66
3.1.6.2 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS	67
3.1.6.3 DESCRIPCIÓN DE LOS SUELOS SEGÚN AASHTO	68
3.1.7 PRUEBA IN SITU DE INFILTRACIÓN BAJO EL ESTANDAR ASTM C-1701	68
3.1.7.1 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO	69

3.1.7.2 PROCEDIMIENTO DEL METODO DE ENSAYO.....	69
3.2 MARCO NORMATIVO	73
3.2.1 ESTÁNDARES ASTM PARA LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO .	74
3.2.2 ESTÁNDARES ASTM PARA LAS PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO DEL CONCRETO PERMEABLE	74
3.2.3 ESTÁNDARES ASTM PARA LAS PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO DEL CONCRETO PERMEABLE	75
3.2.4 REGLAMENTO ACI 211.3R “GUÍA PARA SELECCIONAR PROPORCIONES PARA CONCRETO SIN ASENTAMIENTO”	75
3.2.6 NORMATIVAS APLICADAS A LOS GEOSINTÉTICOS	75
CAPITULO IV	
4.1 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO GRUESO	77
4.1.1 UBICACIÓN Y SELECCIÓN DEL BANCO DE EXTRACCIÓN.....	77
4.1.1.1 ARENERA SINAÍ	78
4.1.1.2 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXTRACCIÓN	80
4.1.2 ENSAYOS REALIZADOS AL AGREGADO GRUESO	82
4.1.2.1 REDUCCIÓN DE MUESTRAS DE AGREGADO A TAMAÑO DE PRUEBA..	82
4.1.2.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	87
4.1.2.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN.....	90
4.1.2.4 CAPACIDAD DEL DEPÓSITO MEDIDOR, PESOS UNITARIOS Y VACÍOS EN EL AGREGADO	94
4.2 RESUMEN DE DATOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS	103
4.2.1 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE	104
4.2.1.1 SEGÚN LA ASOCIACIÓN NACIONAL DE CONCRETO PREMEZCLADO (NMRCA).....	104
o 4.2.1.2 ELABORACIÓN DE LA MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE	113
4.2.1.2.1 MEZCLA I DE CONCRETO PERMEABLE SIN FIBRAS DE POLIPROPILENO	116
4.2.1.2.2 MEZCLA II DE CONCRETO PERMEABLE CON FIBRAS DE POLIPROPILENO.	116
4.2.1.3 ELABORACIÓN DE ESPÉCIMENES	118
4.2.1.3.1 ESPECÍMENES CILÍNDRICOS.....	118
4.2.1.3.2 ESPECÍMENES PRISMÁTICOS.....	120
4.2.1.4 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS MECÁNICOS DE LOS ESPECÍMENES	126

4.2.1.4.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	127
4.2.1.4.2 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	131
4.2.1.5 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL CONCRETO PERMEABLE.....	135
4.2.1.5.1 TASA DE INFILTRACIÓN	135
4.3 EJECUCIÓN DEL PROTOTIPO DE CONCRETO PERMEABLE PARA ESTACIONAMIENTOS EN DIFERENTES TIPOS DE SUELOS	139
4.3.1 PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA ESTRUCTURA INTERNA DE UN ESTACIONAMIENTO DE CONCRETO PERMEABLE IN SITU PARA TRES TIPOS DE SUELOS FINOS	139
4.3.1.1 RECONOCIMIENTO DEL LUGAR	139
4.3.1.2 ESTUDIO DE SUELOS PRELIMINAR.....	140
4.3.1.3 ENSAYO PRELIMINAR DE INFILTRACIÓN DEL SUELO	142
4.3.1.4 PROCEDIMIENTO APLICATIVO DEL PROTOTIPO A ESCALA DE LA ESTRUCTURA DE ESTACIONAMIENTO EN SUELOS (CH, ML-CL y MH).....	143
4.4 PROCEDIMIENTO DE INFILTRACIÓN BAJO EL ESTÁNDAR ASTM C-1701	148
CAPITULO V	
5.1 ANÁLISIS POR TAMIZADO DE AGREGADO GRUESO	152
(ASTM C136).....	152
5.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO	153
(ASTM C127).....	153
5.3 PESOS UNITARIOS Y VACÍOS EN EL AGREGADO GRUESO	155
(ASTM C29).....	155
5.4 RESULTADOS DE CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO FRESCO	159
5.4.1 PESO UNITARIO DEL CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO FRESCO	159
5.4.2 PORCENTAJE DE VACÍOS DEL CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO FRESCO	162
5.5 RESULTADOS DE CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO ENDURECIDO	165
5.5.1 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO PERMEABLE.....	165
5.5.1.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	165
5.5.1.1.1 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN	167
5.5.1.2 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	168

5.5.1.2.1 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA FEXIÓN	169
5.5.1.3 TASA DE INFILTRACIÓN	170
5.5.1.3.1 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE TASA DE INFILTRACIÓN	170
5.5.1.4 RELACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VS TASA DE INFILTRACIÓN	171
5.5.1.4.1 INTERPRETACIÓN DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN VS TASA DE PERCOLACIÓN	173
5.5.1.5 RELACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VS PESO UNITARIO.	174
5.5.1.5.1 INTERPRETACIÓN DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN VS PESO UNITARIO.....	175
5.5.1.6 RELACIÓN DE RESISTENCIA A FLEXIÓN VS TASA DE PERCOLACIÓN	176
5.5.1.6.1 INTERPRETACIÓN DE RESISTENCIA A FLEXIÓN VS TASA DE PERCOLACIÓN	178
5.5.1.7 RESISTENCIA A COMPRESIÓN VS RESISTENCIA A FLEXIÓN.....	179
5.5.1.7.1 INTERPRETACIÓN DE RESISTENCIA A COMPRESION VS FLEXIÓN	180
5.6 RESULTADOS DE INFILTRACIÓN DE CONCRETO PERMEABLE EN ESTRUCTURA DE ESTACIONAMIENTO IN SITU	180
5.6.1 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE INFILTRACIÓN DE ESTRUCTURA DE ESTACIONAMIENTO	182
CAPITULO VI	
“CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES”	
6.1 CONCLUSIONES.....	183
6.2 RECOMENDACIONES	185
ANEXOS.....	185
BIBLIOGRAFÍA.....	204

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO I

Figura 1.1 Vista de pasillos y estacionamiento con revenimiento de concreto hidráulico y adoquín.....	15
--	----

CAPITULO III

Figura 3.1 Contenido de Vacíos Mínimo para la percolación basada en pruebas	35
Figura 3.2 Relación entre el Contenido de Vacíos y Resistencia a la Compresión a los 28 días para Agregados de Tamaño No. 67 y No. 8	35
Figura 3.3 Rangos visuales (1-5) de la trabajabilidad del Concreto Permeable	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3.4 Cilindros de contenido de vacíos del 18% y 20%	43
Figura 3.5 Grava número 3/8 utilizada para elaboración del concreto permeable	46
Figura 3.6 Aditivo reductor de agua de alto rango y modificador de viscosidad	49
Figura 3.7 Gráfico de la Resistencia a la Compresión versus Contenido de Aire en Especímenes de Concreto Permeable	51
Figura 3.8 Gráfica de la Resistencia a la Compresión versus Peso Unitario en Concreto Permeable.....	52
Figura 3.9 Gráfico de Contenido de Aire para dos Grados de Compactación versus la Relación agua/material cementante (a/mc)	52
Figura 3.10 Gráfico de la Resistencia a la Flexión en Vigas versus Contenido de Vacíos ...	53
Figura 3.11 Gráfica de la Comparación entre la Resistencia a la Flexión versus Resistencia a la compresión	54
Figura 3.12 Relación Porosidad versus Porcentaje de agregado	55
Figura 3.13 Percolación versus Contenido de Vacíos en cilindros.....	56
Figura 3.14 Permeámetro de carga variable	57
Figura 3.15 Geotextil no tejido NT 3000 4.0.....	60
Figura 3.16 Geomalla biaxial P-BX20	61
Figura 3.17 Macrofibras de polipropileno/polietileno	62
Figura 3.18 Embalaje de macrofibras sintéticas de polipropileno/polietileno.....	63
Figura 3.19 Ubicación de sondeos.....	67
Figura 3.20 Instalación de anillo simple de 6”	70
Figura 3.21 Proceso de Pre - humectación	71
Figura 3.22 Proceso de toma de tiempo.....	72

CAPITULO IV

Figura 4.1 Imagen satelital de la ubicación a Cantera Sinaí	79
Figura 4.2 y Figura 4.3	81
Figura 4.4 Partidor Mecánico	84
Figura 4.5 Distribución de la Muestra	84
Figura 4.6 Distribución de la muestra en la tolva	85
Figura 4.7 Manecilla del Partidor Mecánico	85
Figura 4.8 Vista de los conductos del partidor mecánico	86
Figura 4.9 Receptáculos del Partidor Mecánico	86
Figura 4.10 Horno de Laboratorio Model 40GC Lab Oven	88
Figura 4.11 Agitador Mecánico	89
Figura 4.12 Pesos retenidos por cada malla.....	89
Figura 4.13 Horno de Laboratorio Model 40GC Lab Oven	91
Figura 4.14 Tamizaje por la Malla N°4	91
Figura 4.15 Lavado de la muestra por el Tamiz N°4.....	92
Figura 4.16 Muestra sumergida en agua.....	92
Figura 4.17 Condición saturada superficialmente seca	93
Figura 4.18 Condición secada al horno	93
Figura 4.19 Molde Medidor.....	96
Figura 4.20 Capacidad del Molde Medidor	96
Figura 4.21 Molde Medidor.....	97
Figura 4.22 Procedimiento en Estado Suelto.....	97
Figura 4.23 Pesaje del recipiente medidor con el agregado	98
Figura 4.24 Pesajes del Recipiente Medidor con el Agregado	98
Figura 4.25 Molde Medidor.....	99
Figura 4.26 Procedimiento de Consolidación por Varillado	99
Figura 4.27 Pesaje del Recipiente Medidor con el Agregado.....	100
Figura 4.28 Pesajes del Recipiente Medidor con el Agregado	100
Figura 4.29 Molde Medidor.....	101
Figura 4.30 Procedimiento de Consolidación por Sacudido.....	101
Figura 4.31 Pesaje del Recipiente Medidor con el Agregado.....	102

Figura 4.32	Pesajes del Recipiente Medidor con el Agregado	102
Figura 4.33	Datos Generales y características del Agregado	107
Figura 4.34	Campos de Entrada para las características del Cemento/ Aditivos / Contenido de vacíos / Relación agua – material cementante	111
Figura 4.35	Valores calculados para una yarda cúbica de concreto permeable.....	112
Figura 4.36	Cantidades de material para bachadas de moldeo de especímenes	113
Figura 4.37	Grava #0 (chispa), de tamaño 3/8 según ASTM C-33	114
Figura 4.38	Tipos de cemento y cantidad utilizada para bachadas de prueba	114
Figura 4.39	Cantidad de agua según diseño de mezcla	115
Figura 4.40	Aditivo reductor de agua de alto rango, MEGAFLOW y VISCTROL.....	115
Figura 4.42	Concreto permeable con fibra	116
Figura 4.41	Procedimiento de mezcla del concreto permeable sin fibras de polipropileno	117
Figura 4.44	Colocación de concreto en moldes cilíndricos y distribución de golpes.....	120
Figura 4.45	Moldes de vigas prismáticos de 60cm x15cm x 15cm.....	120
Figura 4.46	Procedimiento de elaboración de vigas de concreto permeable utilizando el martillo Proctor (10 lb la ASSTHO T-180)	122
Figura 4.47	Equipos utilizados para el ensayo de peso unitario del concreto permeable....	124
Figura 4.48	Cálculo de contenido de vacíos de concreto permeable.....	125
Figura 4.49	Cálculo de contenido de vacíos de concreto permeable.....	125
Figura 4.50	Concreto permeable.....	128
Figura 4.51	Procedimiento de ensayo de resistencia a la compresión y ruptura de especímenes cilíndricos	129
Figura 4.52	Especímenes Prismáticos	132
Figura 4.53	Ensayo a flexión de concreto permeable	133
Figura 4.54	Ruptura del concreto permeable bajo norma ASTM C-78.....	133
Figura 4.55	Cilindros de 4”x 4” de PVC para ensayo de permeabilidad.....	136
Figura 4.56	Permeámetro de carga variable	136
Figura 4.57	Proceso de saturación del permeámetro	137
Figura 4.58	Diferencias de carga en h_1 y h_2	138
Figura 4.59	Área de la Facultad Multidisciplinaria Oriental, Universidad de El Salvador.	140
Figura 4.60	Infiltrómetro de doble anillo prueba.....	142
Figura 4.61	Dimensionamiento para seis tramos experimentales de 1x1x0.60 (m)	143
Figura 4.62	Muestra Perfil Estratigráfico	144

Figura 4.63 Geotextil no tejido en paredes aledañas	144
Figura 4.64 Colocación de Grava N.º 2	145
Figura 4.65 Colocación de mezcla in situ de concreto permeable.....	145
Figura 4. 66 Colocación de concreto permeable con 15 cm de espesor	146
Figura 4.67 Geotextil estabilizador y aplicado a curación de concreto permeable	147
Figura 4.68 Estructura de concreto permeable	147
Figura 4.69 Equipo Utilizado en la prueba	148
Figura 4.70 Anillo en losa de concreto permeable previo a pre - humectación	149
Figura 4.71 Colocación de agua proceso de pre humectación.....	150
Figura 4.72 Vaciado de agua de 40 lb	151

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO II

Tabla 2.1 Variables de estudio para el análisis muestral	23
Tabla 2.2 Criterio, dosificación de fibras y descripción de mezclas de concreto	24
Tabla 2.3 Cantidad de especímenes cilíndricos para diseños del 18% y 20% de vacíos.....	25
Tabla 2.4 Cantidad de especímenes prismáticos para diseños del 18% y 20% de vacíos.....	26
Tabla 2.5 Diseño del 18% y 20% de vacíos para determinar el contenido de vacíos	27
Tabla 2.6 Tasa de infiltración del concreto permeable	28
Tabla 2.7 Estructura de concreto permeable	29
Tabla 2.8 Estructura de concreto permeable	30
Tabla 2.9 Estructura de concreto permeable	30

CAPITULO III

Tabla 3.1 Valores Efectivos de b/b_0	34
Tabla 3.2 Influencia de los Agregados en el Concreto Permeable en Estado Fresco y Endurecido.....	47
Tabla 3.4 Normas Internacionales de Concreto	73

CAPITULO IV

Tabla 4.1 Coordenadas GPS de la Cantera Sinaí.....	78
Tabla 4.2 Porción de la muestra según el tamaño máximo nominal del agregado..	88
Tabla 4.3 Criterios de diseño de mezcla	103
Tabla 4.4 Dosificación de fibras para diseño por volumen total de materiales	103
Tabla 4.5 Clasificación de suelos de área delimitada en la Universidad de El Salvador Facultad Multidisciplinaria Oriental	141

CAPITULO V

Tabla 5.1 Tamaño máximo nominal de la muestra.....	153
Tabla 5.2 Tamaño máximo nominal de la muestra.....	155
Tabla 5.3 Temperatura ambiente (29°C) tomada.....	155
Tabla 5.4 Peso unitario en estado fresco del concreto permeable (sin fibras de polipropileno para 20% de vacíos).....	160
Tabla 5.5 Peso unitario en estado fresco del concreto permeable (con 25 % de fibras de polipropileno para 20% de vacíos).....	160

Tabla 5.6 Peso unitario en estado fresco del concreto permeable (sin fibras de polipropileno para 18 % de vacíos).....	161
Tabla 5.7 Peso unitario en estado fresco del concreto permeable (con 10 % de fibras de polipropileno para 18 % de vacíos).....	161
Tabla 5.8 Proporciones de diseño para 20% de vacíos	162
Tabla 5.9 Contenido de vacíos del concreto permeable para 20% sin fibras de polipropileno	163
Tabla 5.10 Contenido de vacíos para 20% con fibras de polipropileno	163
Tabla 5.11 Proporciones de diseño para 18% de vacíos	164
Tabla 5.12 Contenido de vacíos para 18% sin fibras de polipropileno	164
Tabla 5.13 Contenido de vacíos para 18% con fibras de polipropileno	165
Tabla A Resistencia promedio sin fibras de polipropileno	166
Tabla B: Resistencia promedio con fibras de polipropileno	166
Tabla C: Resistencia promedio sin fibras de polipropileno	168
Tabla D: Resistencia promedio con fibras de polipropileno.....	168
Tabla E: Tasa de percolación sin fibras de polipropileno	170
Tabla 5.14 Datos de Resistencia a la Compresión vs Taza de percolación para 20% y 18% de vacíos sin fibras de polipropileno para 28 días	171
Tabla 5.15 Datos de Resistencia a la Compresión vs Taza de percolación para 20% y 18% de vacíos con fibras de polipropileno para 28 días.....	172
Tabla 5.16 Resistencia a compresión vs peso unitario sin fibras de polipropileno	174
Tabla 5.17 Resistencia a compresión vs peso unitario con fibras de polipropileno	175
Tabla 5.18 Datos de Resistencia a la Flexión vs Taza de percolación para 20% y 18% de vacíos sin fibras de polipropileno para 28 días	177
Tabla 5.19 Datos de Resistencia a la Flexión vs Taza de percolación para 18% y 20% de vacíos con fibras de polipropileno para 28 días	177
Tabla 5.20 Resumen de tasa de infiltraciones y cantidad de mezclas	181

ÍNDICE DE GRÁFICOS

CAPITULO V

Gráfico 5.1 Relación de resistencia a compresión vs edad para 7,14 y 28 días	167
Gráfico 5.2 Relación de resistencia a la flexión vs edad para 7,14 y 28 días	169
Gráfico 5.3 Relación de resistencia a la compresión vs tasa de percolación para 18% y 20% de vacíos.....	172
Gráfico 5.4 Relación de resistencia a la compresión vs tasa de percolación para 18% y 20% de vacíos.....	173
Gráfico 5.5 Comparación de resistencia a compresión vs peso unitario	176
Gráfico 5.6 Resistencia a flexión vs tasa de percolación	178
Gráfico 5.7 Resistencia a compresión vs resistencia a flexión	179
Gráfico 5.8 Estructura interna de estacionamiento del 18% y 20% de vacíos	182

RESUMEN

El presente proyecto propone una metodología de diseño de concreto permeable, basada en un estudio de las metodologías de diseño de la Asociación Nacional de Concreto Premezclado (NMRCA), donde se rescatan varios puntos, al mismo tiempo que se buscaba mejorar otros; se propuso una metodología de diseño con la cual se realizaron mezclas de prueba variando la dosificación de fibras de polipropileno y la energía de compactación, ya que estos afectan directamente las características más importantes de este concreto. El concreto permeable consiste en la mezcla de cemento hidráulico, agua y agregado grueso; con adición de aditivos para fines de estudio de grado para mejorar ciertas características de este. Debido a la falta o bajo porcentaje de agregado fino permite el paso de líquidos a través de él, siendo esta área de interés, especialmente para el manejo de aguas. Se verificó que dicha metodología incluyera la granulometría de los agregados, características del cemento, porcentaje de aditivos, porcentaje de fibras, para realizar las pruebas que llevaron a encontrar correlaciones entre resistencias e infiltración.

Palabras clave: concreto permeable, concreto poroso, fibras de polipropileno, aditivos, metodología de diseño.

ABSTRACT

This project proposes a permeable concrete design methodology, based on a study of the design methodologies of the National Ready-Mix Concrete Association (NMRCA), where several points are rescued, while at the same time seeking to improve others; A design methodology was proposed with which test mixtures were made varying the dosage of polypropylene fibers and the compaction energy, since these directly affect the most important characteristics of this concrete. Pervious concrete consists of a mixture of hydraulic cement, water, and coarse aggregate; with the addition of additives for grade study purposes to improve certain characteristics of the grade. Due to the lack or low percentage of fine aggregate, it allows the passage of liquids through it, this area being of interest, especially for water management. It was verified that said methodology included the granulometry of the aggregates, characteristics of the cement, percentage of additives, percentage of fibers, to perform the tests that led to find correlations between resistance and infiltration.

Keywords: permeable concrete, porous concrete, polypropylene fibers, additives, design methodology.

INTRODUCCIÓN

El proyecto de investigación está basado en la evaluación de las propiedades mecánicas (compresión y flexión) e hidráulicas (tasa de percolación) del concreto permeable y como se aplica en la estructura de un estacionamiento para tres tipos de suelos finos MH (limo de alta plasticidad), CH (arcilla de alta compresibilidad) y ML-CL (limo arcilloso de media plasticidad) donde se realizaron pruebas de laboratorio para conocer las propiedades índice del agregado (grava #0) que se utilizó para la elaboración de mezcla, para la cantidad de materiales fue utilizado el procedimiento de la Asociación Nacional de Concreto Premezclado (NMRC) en el diseño de mezclas fue una proporción del 18% y 20% de vacíos y la dosificación del 10% y 25% respectivamente.

El objetivo consiste en analizar y comparar las propiedades del concreto permeable utilizando fibras de polipropileno para tener una aplicación en la estructura de un estacionamiento en diferentes tipos de suelos. Destaca que la metodología de evaluación y ensayos están bajo las normas ASTM y el reglamento del ACI para el cálculo de los criterios de diseño, elaboración y aplicación del concreto permeable.

El tema de investigación conlleva seis capítulos desarrollados de la siguiente manera: capítulo uno “Generalidades”, capítulo dos “Metodología”, capítulo tres “Marco Referencial”, capítulo cuatro “Pruebas de Laboratorio y Aplicación en Campo”, capítulo cinco “Análisis de Resultados”, capítulo seis “Aplicación de Conclusiones y Recomendaciones”. El desarrollo del tema es con base a criterios técnicos, investigaciones recientes y métodos empíricos para la evaluación del concreto permeable.

CAPÍTULO I

“GENERALIDADES”

1.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

El flujo vehicular en San Miguel tiene como consecuencias la construcción de proyectos de carreteras para mejorar el confort de las autopistas, vías, estacionamiento entre otros, esto genera que en la ingeniería tenga como opciones impermeabilizar los suelos ocasionando que la evacuación y transporte de aguas lluvias por medio de drenajes no tenga el volumen suficiente para la descarga de sus esorrentías lo que puede generar inundaciones en algunas circunstancias en periodos de lluvias intensas.

En San Miguel el 90% de los pavimentos de carreteras, estacionamientos, vías, pisos y residenciales urbanas consisten en concretos de estructura asfáltica e hidráulica estas obras de ingeniería tienen a comportarse rígidamente ganando propiedades mecánicas optimas, pero modifican el drenaje natural y la absorción de las tormentas cuando llega a los mantos acuíferos, el método de reducción de áreas ecológicas en estacionamientos produce hidroplaneo (superficie de agua que cubre las llantas de vehículo), esta variable como consecuencia genera un menor grado de confort y fuerza de fricción en el tránsito y llantas de los vehículos por lo tanto el excesivo uso de pavimentos rígidos impermeables en la construcción causan condiciones de inestabilidad en los drenajes superficiales de un estacionamiento.

El exceso de estructuras de concreto asfáltico, hidráulico y adoquines en la construcción de estacionamientos en San Miguel son las estructuras que por el procedimiento de elaboración y colocación afectan al medio ecológico superficial como las únicas alternativas de aplicación.

La **figura 1.1** muestra un estacionamiento de la Facultad Multidisciplinaria Oriental, Universidad de El Salvador impermeable de adoquinado en áreas ecológicas.

Figura 1.1 Vista de pasillos y estacionamiento con revenimiento de concreto hidráulico y adoquín



Fuente: Grupo de Tesis

1.2 ENUNCIADO DEL PROBLEMA

La falta de fundamentación técnica e investigación en la evaluación, aplicación y construcción de estacionamientos de concreto permeable utilizando fibras de polipropileno en San Miguel son argumentos para no transmitir las practicas ecológicas en las obras, por lo que se estima fundamental incentivar y anunciar nuevas alternativas de pavimentos permeables en proyectos social.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Construir es un constante movimiento por ende el concreto se encuentra en permanente evolución, y el concreto permeable no puede quedarse atrás en temas de innovación y mejoramiento de métodos, sin olvidar el tema de sostenibilidad.

En El Salvador el tema de concretos permeables ha quedado atrás, por falta de información técnica en la aplicación, métodos de diseño, realización de mezclas, métodos de construcción, tipos de prueba o desconocimientos en tecnologías del concreto. No es hasta el 2009 que el Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC) en su misión, de investigar, desarrollar y promover un mejor y más eficiente uso de los cementos, agregados y concretos hidráulicos, contribuyendo a optimizar la calidad y el desarrollo de la industria de la construcción, en armonía con el ambiente; ha realizado investigaciones en trabajos de grado de la carrera de ingeniería civil de la Universidad de El Salvador: “Diseño de Mezclas de Concreto Poroso para Pavimentos Hidráulicos en El Salvador” y en el 2011 con: “Diseño, Proceso Constructivo y Evaluación Post Construcción de un Pavimento Rígido de Concreto Permeable”.

Este concreto utiliza los mismos componentes básicos del concreto hidráulico convencional, agua, agregado grueso, cemento, la variante con respecto al concreto tradicional es que no incluye arena y adiciona un aditivo el cual potencia las propiedades del cemento logrando resistencias similares al concreto hidráulico. Produciendo un material endurecido con alto contenido de poros interconectados que permiten que el agua pase fácilmente a través de su estructura porosa.

Actualmente, el tema de la protección y conservación del ambiente se ha convertido en el eje transversal del desarrollo de los países, debido a los efectos negativos, permitiendo ver los niveles de deterioro por la falta de atención al daño tan elevado y acelerado que se ha provocado.

El concreto permeable se ha vuelto significativamente muy popular como un método para mejorar los sistemas de drenaje en muchos lugares del mundo.

El impacto de las construcciones civiles en el mundo causa un deterioro exponencial a la “Naturaleza”, las obras urbanísticas eliminan ciclos hidrológicos y elevan los riesgos por inundación y explotación del agua.

El pavimento de concreto permeable reduce el impacto del desarrollo mediante la reducción de las tasas de escurrimiento y la protección de los suministros de agua.

Es una nueva alternativa en la recolección y absorción del agua libre que proviene de la lluvia u otras fuentes. Constituye un medio drenante que permite un movimiento por los vacíos que se encuentran entre los agregados.

La estructura porosa permite al agua pasar directamente a través del espesor del concreto permeable y dentro de las capas subyacentes cuando estas son permeables (sub base de grava, geotextil) o hasta un sitio de evacuación.

La realización de esta propuesta se basará en elaborar una dosificación de concreto permeable con materiales de agregados grueso, que cumplan con los estándares de las normas establecidas (resistencia, permeabilidad, porosidad), permitiendo la infiltración rápida del agua.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

- Analizar la aplicación del concreto permeable utilizando geosintéticos en la construcción de estacionamientos para diferentes tipos de suelos.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar un diseño de mezclas de concreto permeable utilizando el método de la Asociación Nacional de Concreto Premezclado (NMRC) y dosificarlo con fibras de polipropileno.
- Determinar el comportamiento de las propiedades mecánicas e hidráulicas del concreto permeable utilizando fibras de polipropileno.
- Hacer un análisis comparativo entre las propiedades de mezcla de concreto permeable mediante agregados que cumplan bajo los estándares ASTM y mezclas de concreto permeable utilizando aditivos y fibras de polipropileno.
- Evaluar la infiltración in situ en la estructura para estacionamiento de concreto permeable con geotextil para suelos CH, ML-CL y MH.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.5.1 ALCANCES

- Se evaluaron únicamente las propiedades mecánicas de resistencia a la flexión y compresión, y propiedades hidráulicas (tasa de percolación).
- Se utilizaron como geosintéticos, únicamente fibras de polipropileno y geotextiles en la aplicación del concreto permeable.
- Para la elaboración del concreto permeable solo se utilizaron dos aditivos (Megaflo) reductor de agua de alto desempeño y (Visctrol) modificador de viscosidad.
- Se realizaron ensayos de laboratorio al agregado grueso según los estándares ASTM C-136 (Análisis Granulométrico por Tamizado), ASTM C-127 (Densidad, Densidad Relativa y Absorción del Agregado Grueso), ASTM C-29 (Densidad en Masa y Vacíos en el Agregado), ASTM C-39 (Resistencia a la Compresión) y ASTM C-78 (Resistencia a la Flexión).
- Se realizó un análisis comparativo únicamente de la resistencia a la compresión vs tasa de percolación, módulo de ruptura vs tasa de percolación, resistencia a la compresión vs peso unitario, resistencia a la compresión vs módulo de ruptura y la infiltración in situ del prototipo de la estructura del estacionamiento.

1.5.2 LIMITACIONES

- La falta del equipo del permeámetro de carga variable bajo los estándares vigentes, se realizó el ensayo de infiltración bajo el prototipo y recomendaciones del reglamento ACI 522R, por medio de un permeámetro manual.
- La mayor limitante en la investigación fue no contar con los laboratorios que tienen mayores equipos y recursos de investigación para el desarrollo de más ensayos en las propiedades del concreto permeable.
- En la investigación no se analizó los parámetros técnicos de diseños hidrológicos, hidráulicos, estructurales (espesor del concreto), costos y topográficos por falta de recursos económicos y tiempo.
- La metodología de análisis de tipos de suelos fue con base en el Trabajo de Grado: “Zonificación Geotécnica y Propuesta de Edificaciones para la Facultad Multidisciplinaria Oriental, Universidad de El Salvador” presentada por: Argueta Hernández José Matías, Coca Martínez Santos Benjamín y Cruz Granada José Roberto, en el año: 2017.
- La información representativa de los tipos de suelos y estructura de un estacionamiento in situ fue enfocado en la evaluación de la infiltración por la falta en mano de obra y recursos económicos.

CAPÍTULO II

“MARCO METODOLÓGICO”

2.1 INTRODUCCIÓN

La metodología de la investigación descrita en el capítulo dos explica el tipo de investigación cuantitativamente con un enfoque descriptivo que se realizó, sobre un análisis de especímenes donde se utilizaron variables independientes y dependientes.

La variable dependiente tiene el fundamento de estudio las propiedades de los agregados y concreto permeable, la variable independiente analiza la dosificación de fibras de polipropileno, (con base en la investigación: “Influencia de la Incorporación de Fibras de Polipropileno en Concreto Permeable $f'c=210\text{kg/cm}^2$ ”, presentada por: Iván Quispe Soncco y Elmer Isaí Ticona Cutipa, Año: 2017, pág. #25).

El cuadro de operacionalización de variables (**tabla 2.1**) describe los elementos y los estándares utilizados que se evaluaron para la elaboración del concreto permeable y las pruebas de laboratorio en estado fresco y endurecido.

El plan de trabajo consiste en elaborar un diseño de mezcla y serie de especímenes de concreto permeable bajo los estándares del ASTM y el reglamento de la Asociación Nacional de Concreto Premezclado (NMRCA), la metodología de aplicación consiste en evaluar la clasificación del suelo con base a la investigación: “Zonificación Geotécnica y Propuesta de Edificaciones para la Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad de El Salvador”, presentada por: José Matías Argueta Hernández, Santos Benjamín Coca Martínez y José Roberto Cruz Granada, Año: 2017, pág. #168; y proponer una estructura de un estacionamiento y evaluar la tasa de infiltración in situ de la capa de rodadura de concreto permeable bajo el estándar ASTM C-1701.

2.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La metodología consiste en evaluar las características de un agregado que cumpla con los estándares ASTM para elaborar una mezcla de concreto permeable incorporando fibras de polipropileno, para realizar ese estudio se cuenta con un procedimiento sistemático como método, nivel y variables de la investigación que se describen de la siguiente manera:

2.2.1 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El método de investigación es CUANTITATIVO con base en mediciones numéricas finales y análisis para establecer patrones de comportamiento y probar teorías. El método busca evaluar el comportamiento del concreto permeable adicionando fibras de polipropileno.

2.2.2 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación tiene un nivel descriptivo ya que se tiene la medición de variables de estudios previos de agregados y concreto que cumplan con los estándares, reglamentos y referencias bibliográficas para aplicar fibras de polipropileno.

2.2.3 VARIABLES DE ESTUDIO

Las variables de estudio nos darán un breve análisis de cómo se evaluarán las propiedades del agregado y concreto permeable con los estándares y reglamentos que se utilizarán. La **tabla 2.1** de operacionalización de variables muestra el resumen metodológico para las pruebas en el laboratorio.

- Variable Dependiente: propiedades del agregado y concreto (ver **tabla 2.1**)
- Variable Independiente: dosificación de fibras de polipropileno (ver **tabla 2.1**)

Tabla 2.1 Variables de estudio para el análisis muestral

Variab les	Indicadores	Análisis
Granulometría del Agregado (dependiente)	la curva granulométrica y tamaño del agregado	Norma ASTM C-136 y ASTM C-33
Gravedad Específica del Agregado Grueso (dependiente)	Saturación superficialmente seca (SSS)	Norma ASTM C-127
Peso Unitario (dependiente)	Peso Volumétrico Varillado	Norma ASTM C-29
Diseño de Mezclas (dependiente)	Contenido de Cemento Contenido de Agua Contenido de Aditivos	Relaciona NMRCA
Resistencia a la Compresión (dependiente)	Esfuerzo de Compresión	Norma ASTM C-39
Módulo de ruptura (dependiente)	Módulo de Ruptura	Norma ASTM C-78
Infiltración (dependiente)	Tasa de Percolación	ACI 522R para el permeámetro de carga variable
Fibras de Polipropileno (independiente)	Dosificación	Por fabricante e investigación

Fuente: Grupo de Tesis

2.3 UNIDADES DE ANÁLISIS

El plan metodológico se fundamentó de la siguiente manera: Diseño de mezclas de concreto permeable, pruebas de laboratorio a los agregados, especímenes de concreto permeable, tasa de infiltración, tipos de suelos, y estructura de estacionamiento in situ.

2.3.1 PLAN DE TRABAJO

El plan consistió en un proceso sistemático de revisión en la literatura, evaluación de materiales, elaboración, aplicación y análisis de resultados se detallan a continuación:

2.3.1.1 DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO PERMEABLE. El diseño de mezcla fue para dos, uno del 18% y 20% de vacíos con base en la metodología de diseño de la Asociación Nacional de Concreto Premezclado (NMRCA), y tiene como fundamento teórico la investigación: “Diseño, Proceso Constructivo y Evaluación Post Construcción de un Pavimento Rígido de Concreto Permeable”, presentado por: Marlon Ebiezer Vigil Sánchez, en el año: 2012, pág. 83; con la adición del 10% y 25% de fibras de polipropileno del volumen de los materiales respectivamente con fundamento en la investigación: “Influencia de la Incorporación de Fibras de Polipropileno en Concreto Permeable $f'c=210\text{kg/cm}^2$ ”, presentada por: Iván Quispe Soncco y Elmer Isái Ticona Cutipa, en el año: 2017, pág. #25. La tabla 2.2 muestra el resumen.

Tabla 2.2 Criterio, dosificación de fibras y descripción de mezclas de concreto

Descripción	Criterios de diseño	Cantidad de fibras
Diseño de mezcla 1	18% de vacíos	10% de fibras
Diseño de mezcla 2	20% de vacíos	25% de fibras

Fuente: Grupo de Tesis

2.3.1.2 NÚMERO DE MUESTRAS PARA EL CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. La tabla 2.3 muestra la cantidad de muestras que se realizaron para el análisis comparativo de la resistencia a la compresión ($f'c$) en los testigos de concreto permeable, se realizaron bajo los estándares ASTM C-39, y resistencia de diseño del 18% de vacíos ($120\text{kg}/\text{cm}^2$), y 20% de vacíos ($100\text{kg}/\text{cm}^2$) con base al reglamento del ACI 211.3 apéndice 6, relación de contenido de vacíos vs resistencia a la compresión.

Tabla 2.3 Cantidad de especímenes cilíndricos para diseños del 18% y 20% de vacíos

Número de testigos cilíndricos de concreto permeable			
Descripción	Descripción		
Sin fibras para 18% de vacíos	Con 10% de fibras para 18% de vacíos	Sin fibras para 20% de vacíos	Con 25% de fibras para 20% de vacíos
Edad: 7 días	Edad: 7 días	Edad: 7 días	Edad: 7 días
N° de testigos: 3	N° de testigos: 3	N° de testigos: 3	N° de testigos: 3
Edad: 14 días	Edad: 14 días	Edad: 14 días	Edad: 14 días
N° de testigos: 3	N° de testigos: 3	N° de testigos: 3	N° de testigos: 3
Edad: 28 días	Edad: 28 días	Edad: 28 días	Edad: 28 días
N° de testigos: 3	N° de testigos: 3	N° de testigos: 3	N° de testigos: 3

Fuente: Grupo de Tesis

2.3.1.3 NÚMERO DE MUESTRAS PARA EL CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN. La tabla 2.4 muestra la cantidad de especímenes que se realizaron para el análisis comparativo a la resistencia a la flexión (M_r), bajo los estándares ASTM C-78 la resistencia de diseño para 18% de vacíos (28kg/cm^2), y 20% de vacíos (26kg/cm^2), con base al reglamento del ACI 211.3 apéndice 6, relación de contenido de vacíos vs resistencia a la flexión.

Tabla 2.4 Cantidad de especímenes prismáticos para diseños del 18% y 20% de vacíos

Número de testigos prismáticos de concreto permeable			
Descripción		Descripción	
Sin fibras para 18% de vacíos con 2 aditivos	Con 10% de fibras para 18% de vacíos	Sin fibras para 20% de vacíos con 1 aditivo	Con 25% de fibras para 20% de vacíos
	Edad: 7 días	Edad: 7 días	Edad: 7 días
	N° de testigos: 2	N° de testigos: 2	N° de testigos: 2
	Edad: 14 días	Edad: 14 días	Edad: 14 días
	N° de testigos: 2	N° de testigos: 2	N° de testigos: 2
	Edad: 28 días	Edad: 28 días	Edad: 28 días
	N° de testigos: 2	N° de testigos: 2	N° de testigos: 2
	N° de testigos: 2	N° de testigos: 2	N° de testigos: 2

Fuente: Grupo de Tesis

2.3.1.4 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE VACÍOS. La tabla 2.5 determina la cantidad de muestras que se realizaron en las comparaciones correspondientes del contenido de vacíos (%) en ambos diseños de mezcla del 18% y 20% con la adición de fibras en los testigos de concreto permeable con base en la norma estándar ASTM C-1688.

Tabla 2.5 Diseño del 18% y 20% de vacíos para determinar el contenido de vacíos

Número de testigos de concreto permeable			
Descripción		Descripción	
Diseño del 18% sin fibras con 2 aditivos	Con 10% de fibras para 18% de vacíos.	Diseño del 20% sin fibras con 1 aditivo	Con 25% de fibras para 20% de vacíos
N° de testigos: 1	N° de testigos: 1	N° de testigos: 2	N° de testigos: 2

Fuente: Grupo de Tesis

2.3.1.5 DETERMINACIÓN DE LA TASA DE INFILTRACIÓN La tabla 2.6 determina la cantidad de muestras que se realizaron en las comparaciones respectivas de la tasa de infiltración en los testigos de concreto permeable bajo el reglamento del ACI 522R que determina el método empírico de la realización de un permeámetro de carga variable en especímenes cilíndricos de 4"x6" con base en el contenido de vacíos, y la resistencia (compresión y flexión).

Tabla 2.6 Tasa de infiltración del concreto permeable

Número de testigos cilíndricos de concreto permeable			
Descripción		Descripción	
Sin fibras para el 18% de vacíos con 2 aditivos	Con 10% de fibras para 18% de vacíos	Sin fibras para el 20% de vacíos con 1 aditivo	Con 25% de fibras para 20% de vacíos
Edad: 7 días	Edad: 7 días	Edad: 7 días	Edad: 7 días
N° de testigos: 3	N° de testigos: 3	N° de testigos: 3	N° de testigos: 3

Fuente: Grupo de Tesis

2.4 APLICACIÓN IN SITU DEL PROTOTIPO DE LA ESTRUCTURA PARA ESTACIONAMIENTO EN TRES TIPOS DE SUELOS

Se realizaron seis sondeos para tres tipos de suelos donde se mostraron los diseños del 18% y 20% en la estructura de un estacionamiento de concreto permeable con adición de fibras de polipropileno, con base en la revista: “Fibras para Refuerzo de Concreto”, presentada por: Euclid Chemical, Pág. 6, año: 2016; se mostró como evaluar la estructura de un estacionamiento desde la aplicación en la subrasante, procedimiento de colocación de geotextiles, base granular y capa de rodadura para la determinación de la tasa de infiltración in situ de concreto permeable bajo la norma estándar ASTM C-1701 descrito de la siguiente manera:

2.4.1 ESTRUCTURA DE ESTACIONAMIENTO EN SUELOS CH

La **tabla 2.7** describe el procedimiento que se elaboró en campo de la estructura de estacionamiento para determinar la infiltración del concreto permeable con adición de fibras y utilizando geotextiles en las paredes aledañas al sitio y geomalla en la subrasante y la capa granular de la estructura.

Tabla 2.7 Estructura de concreto permeable

Estructura para el 18 % de vacíos	
Sin fibras de polipropileno	Con 10% de fibra de polipropileno
Espesor de concreto permeable: 15cm	Espesor de concreto permeable: 15cm
Geotextil	Geotextil
Espesor de base granular: 40cm	Espesor de base granular: 40cm
Tipo de suelo: CH	Tipo de suelo: CH

Fuente: Grupo de Tesis

2.4.2 ESTRUCTURA DE ESTACIONAMIENTO EN SUELOS ML-CL

La **tabla 2.8** describe el procedimiento que se elaboró en campo de la estructura de estacionamiento para determinar la infiltración del concreto permeable con adición de fibras y utilizando geotextiles en las paredes aledañas al sitio y geomalla en la subrasante y la capa granular de la estructura.

Tabla 2.8 Estructura de concreto permeable

Estructura para el 20 % de vacíos	
Sin fibras de polipropileno	Con 25% de fibra de polipropileno
Espesor de concreto permeable: 15cm	Espesor de concreto permeable: 15cm
Geotextil	Geotextil
Espesor de base granular: 40cm	Espesor de base granular: 40cm
Tipo de suelo: ML-CL	Tipo de suelo: ML-CL

Fuente: Grupo de Tesis

2.4.3 ESTRUCTURA DE ESTACIONAMIENTO EN SUELOS MH

La **tabla 2.9** describe el procedimiento que se elaboró en campo de la estructura de estacionamiento para determinar la infiltración del concreto permeable con adición de fibras y utilizando geotextiles en las paredes aledañas al sitio y geomalla en la subrasante y la capa granular de la estructura.

Tabla 2.9 Estructura de concreto permeable

Estructura para el 18% y 20 % de vacíos	
Sin fibras de polipropileno	Con 10% de fibra de polipropileno
Espesor de concreto permeable: 15cm	Espesor de concreto permeable: 15cm
Geotextil	Geotextil
Espesor de base granular: 40cm	Espesor de base granular: 40cm
Tipo de suelo: MH	Tipo de suelo: MH

Fuente: Grupo de Tesis

CAPÍTULO III
“MARCO REFERENCIAL”

3.1 MARCO CONCEPTUAL

El marco conceptual presenta la recopilación, sistematización y exposición de los conceptos fundamentales para el desarrollo de la investigación, en el área de concreto permeable, diseño de mezclas, estacionamientos, geosintéticos, y suelos. Orientando la búsqueda del lector sobre la metodología necesaria:

3.1.1 CONCRETO PERMEABLE EN ESTACIONAMIENTOS

En este capítulo se desarrollarán los conceptos a tener en cuenta para la adecuada construcción de estacionamiento de concreto permeable. La capa de rodadura de este pavimento consiste en una mezcla de agregados gruesos uniformemente graduados, cemento y agua. La mezcla se desarrolla con una relación agua cemento baja, aumentar la resistencia, que al igual que en el primer caso la pérdida de resistencia es ocasionado por el aumento del porcentaje de vacíos.

En la actualidad a medida que han avanzado las investigaciones el pavimento permeable se viene usando en una amplia gama de aplicación, incluyendo.

- Pavimentos permeables para áreas de estacionamiento
- Capas rígidas de drenajes bajo áreas exteriores de grandes centros comerciales
- Pisos de invernaderos para mantener el piso libre de agua estancada.

3.1.1.1 VENTAJAS DEL ESTACIONAMIENTO DE CONCRETO PERMEABLE

✓ Eliminación del Hidroplaneo

Uno de los mayores riesgos cuando se conduce con agua lluvias es el hidroplaneo, esto es, la capa de agua que se forma entre el neumático y el pavimento rompe el contacto entre ambos, el neumático “flota en el agua” de modo que el conductor pierde el control de su vehículo. La evacuación rápida del agua de la superficie del camino a través del concreto poroso impide que se produzca este fenómeno.

✓ **Resistencia al deslizamiento con pavimento mojado**

Estas mezclas al permitir mantener la superficie del pavimento libre de agua cuando está lloviendo impiden que se produzcan el levantamiento (“splash”) y pulverización (“spray”) del agua al paso de los vehículos mejorando notablemente la visibilidad del usuario.

✓ **Esté como producto**

Forma parte de los concretos ecológicos debido a su bajo impacto en el medio ambiente, ya que posibilita la recarga de los acuíferos al permitir que el agua de lluvia llegue al suelo en zonas pavimentadas.

3.1.1.2 DESVENTAJAS DEL ESTACIONAMIENTO DE CONCRETO

PERMEABLE

✓ **Diseño Geométrico Riguroso**

La Mezcla se debe extender sobre una capa que sea impermeable, estructuralmente estable y además, que tenga una geométrica tal que permite la evacuación del agua

✓ **Drenaje lateral**

El agua que ha escurrido por la mezcla drenante debe ser evacuada a través de drenes laterales, esto implica la construcción de canales y otras obras de arte.

✓ **Perdida de drenabilidad**

Las mezclas porosas en el transcurso de su vida útil pueden colmatarse por la acumulación de polvo y otros agentes contaminantes como arena, materia orgánica, etc., entre los huecos. Es importante señalar que, si bien pierde sus propiedades drenantes, seguirá funcionando como carpeta de rodado. Actualmente existen técnicas de lavado a presión que pueden limpiar las mezclas retardando su colmatación.

✓ **Menor Durabilidad:**

El período de diseño es menor debido a las condiciones propias de las mezclas.

3.1.2 DISEÑO DE MEZCLA POR EL METODO DE LA ASOCIACION NACIONAL DE CONCRETO PREMEZCLADO (NMRCA)

El procedimiento de diseño para la elaboración del concreto permeable consta de dos reglamentos, el comité ACI 211.3R y la **NMRCA (NATIONAL READY MIXED CONCRETE ASSOCIATION)** donde se detallan a continuación:

- **SEGÚN COMITÉ ACI 211.3-02 -GUIA PARA SELECCIONAR PROPORCIONES DE CONCRETO SIN REVENIMIENTO**

En el apéndice 6 de este comité, proporciona un método para la dosificación de concreto permeable sin revenimiento, que se utiliza para pavimentos y otras aplicaciones donde el drenaje y la percolación son necesarios.

Cantidad de agregado grueso:

El agregado grueso, b/b_o , los ensayos de la densidad seca varillada realizado por la National Aggregates Association – National Ready Mixed Concrete Association (NAANRMCA) muestran que la densidad seca varillada del agregado grueso, determinado por la Norma ASTM C 29/29M-07, puede ser usada efectivamente en la proporción del concreto permeable, donde:

Datos de entrada:

Para realizar el ajuste del peso del agregado tomando como referencia el peso volumétrico varillado del agregado (ASTM C-29), se utilizan las siguientes fórmulas para un metro cubico de concreto.

b/b_o = Volumen seco varillado del agregado grueso en una unidad de volumen de concreto.

b = Volumen real del agregado grueso en una unidad de volumen de concreto; y

b_o = Volumen real del agregado grueso en una unidad de volumen de agregado grueso.

El valor b/b_o compensa automáticamente los efectos de diferentes formas de partículas de agregado grueso, clasificación (graduación) y gravedad específica.

La **Tabla 3.1** expone los valores de b/b_o para agregados grueso de tamaño N.º 8 y N.º 67 y para contenidos de agregado fino de 0, 10, y 20% del total de agregado.

Tabla 3.1 Valores Efectivos de b/b_o

Valores Efectivos b/b_o		
Porcentaje Fino	ASTM C-33 N.º 8	ASTM C-33
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

Fuente: Comité ACI 211.3. Apéndice 6

Determinación del peso del agregado.

Ecuación 1 Determinación del Peso del Agregado

$$W_a = \text{peso unitario del agregado} \times \text{factor} \frac{b}{b_o}$$

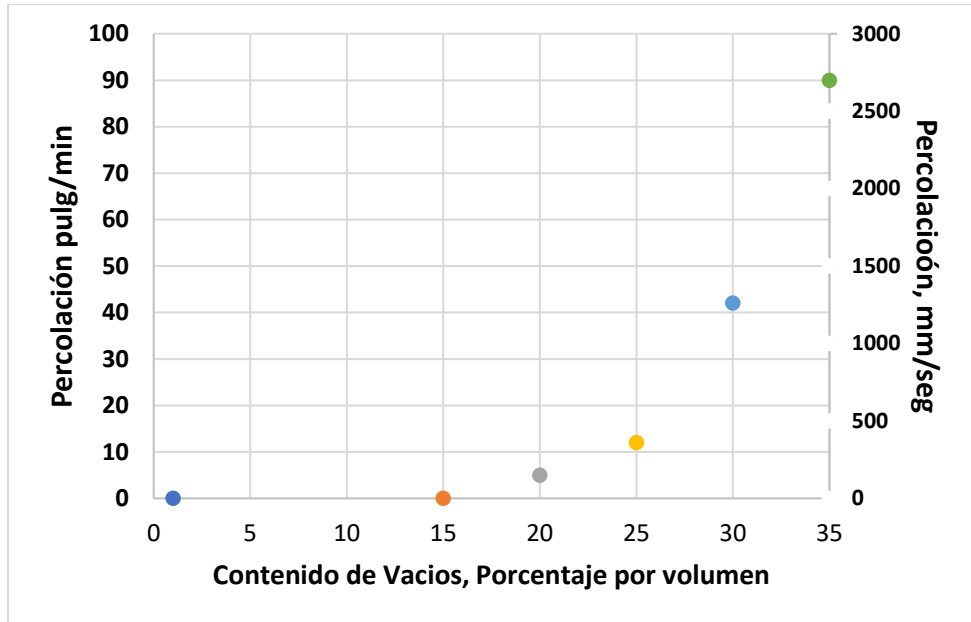
AJUSTAR EL PESO DE AGREGADO SEGÚN SU PESO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO.

Ecuación 2 Ajuste del Peso de Agregado

$$W_{SSS} = W_a \times \text{porcentaje de absorcion}$$

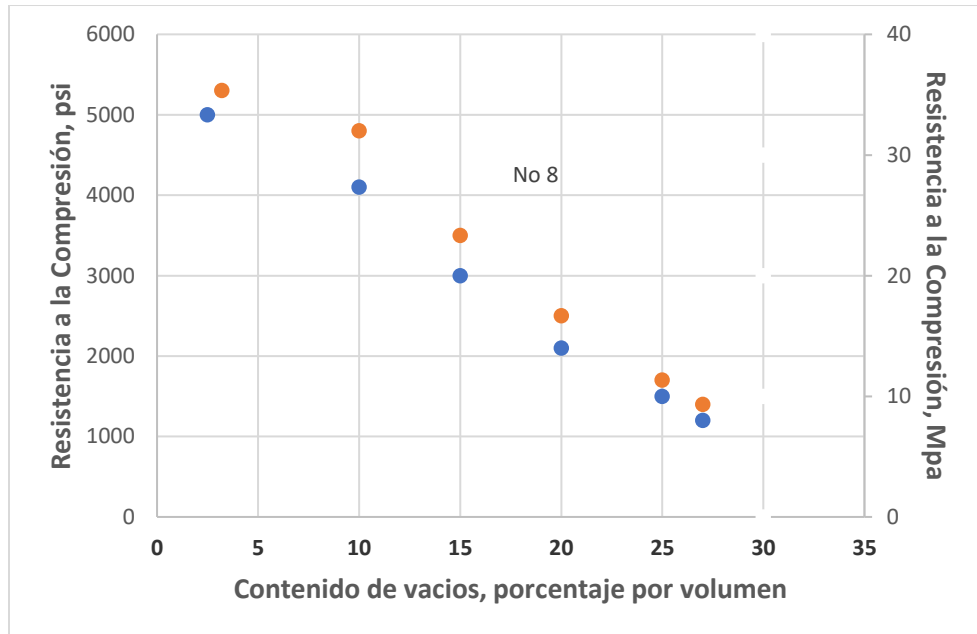
Se realiza un diseño para un contenido de vacíos propuesto como se muestra en el siguiente gráfico. (Ver **figura 3.1**)

Figura 3.1 Contenido de Vacíos Mínimo para la percolación basada en pruebas



Fuente: Comité ACI 211.3. Apéndice 6

Figura 3.2 Relación entre el Contenido de Vacíos y Resistencia a la Compresión a los 28 días para Agregados de Tamaño No. 67 y No. 8



Fuente: Comité ACI 211.3. Apéndice 6

▪ **SEGÚN NRMCA – METODOLOGÍA DE LA NATIONAL READY MIXED CONCRETE ASSOCIATION (NRMCA)**

En el presente trabajo se hizo recurso de esta metodología a través de un software desarrollado por la NRMCA y en la cual posteriormente se realizaron los ajustes necesarios para elaborar una mezcla de diseño definitiva. Así:

PASO 1 - PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS.

Seleccionar el tamaño del agregado grueso:

Para la mayoría de las aplicaciones con el tránsito de peatones, según ASTM C33, N° 8 o N.º 89 (tamaño máximo nominal de 3/8") para agregado grueso. N° 67 (tamaño máximo nominal ½ pulgadas) O un mayor tamaño se puede utilizar para aplicaciones en que no se observe mucho tráfico de peatones.

Obtener o medir la densidad relativa del agregado grueso por la norma ASTM C127 y C128 de agregado fino (si se utiliza). Este valor es necesario para calcular el contenido de vacíos y proporciones por volumen absoluto.

PASO 2 - CALCULAR EL VOLUMEN DE PASTA NECESARIO PARA EL CONCRETO PERMEABLE.

Uno de los principios recomendados para la estimación del volumen de pasta requerida (PV) es la siguiente:

$PV (\%) \text{ requerido} = \text{Contenido total de vacíos} (\%) + IC (\%) - \text{Contenido de vacíos de diseño} (\%).$

CI = Índice de compactación

En pruebas que ha realizado la NRMCA se ha determinado que la elección de un valor de 5% dará lugar a un contenido de vacíos medido experimentalmente según ASTM C1688, valor que está cercano al del contenido de vacíos de diseño.

El valor del índice de compactación puede variar basado en la consolidación prevista para ser utilizada en campo. Para un mayor esfuerzo de consolidación el valor del índice de compactación de 1 a 2% puede ser el más razonable. Para un ligero nivel de consolidación un valor de 7 a 8% puede ser utilizado.

Un valor más alto de IC se traducirá en un mayor volumen de pasta.

El volumen de pasta necesaria en porcentaje se convierte en volumen de pasta necesaria en ft^3 , por yarda cúbica de concreto permeable:

$$\text{PV, pie}^3 = \text{PV\%} \times 27$$

PASO 3 - DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO (w/cm)

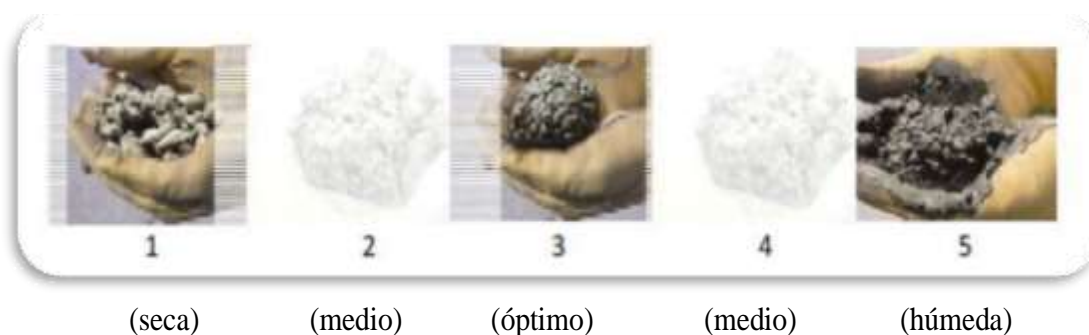
Se sugieren dos aproximaciones para seleccionar la relación adecuada de w/cm:

Una primera aproximación sugiere seleccionar un valor de la relación w/cm entre 0.27 y 0.36 y evaluar la consistencia de la mezcla en las bachadas de prueba. Normalmente, valores más bajos (0.27 a 0.30) son recomendables cuando son utilizados algunos aditivos reductores de agua. Cuando no se agrega ningún aditivo se puede seleccionar un valor en la relación w/cm entre 0.31 y 0.36.

La segunda aproximación, se sugiere una evaluación en la consistencia de la pasta. Mezclar varios tipos de pastas, variando la cantidad de cemento de 0.27 a 0.40 en incrementos de 0.02. Incluyendo los aditivos que se utilizan en dosis apropiadas. Los aditivos pueden incluir algún retardador de agua, estableciendo un control de aditivos estabilizadores de hidratación o modificadores de la viscosidad.

Por lo general la trabajabilidad se comprueba visualmente, tal y como se muestra en la **figura 3.3** sosteniendo en una mano parte de la mezcla del concreto permeable fresco dándole forma de una bola, apretándola con las dos manos.

Figura 3.3 Rangos visuales (1-5) de la trabajabilidad del Concreto Permeable



Fuente: Pervious Concrete: Experimental Validation of Mixture Proportioning Methodology.

NRMCA, 2009

PASO 4 - ESTIMACIÓN DEL PESO DEL CEMENTO, AGUA Y AGREGADO

Una vez conocido el volumen de mezcla y la relación w/cm es necesario conocer las cantidades de cemento, agua y peso de los agregados para una yarda cúbica de concreto permeable.

En los cálculos es utilizada la simbología siguiente:

M_w = Peso del agua, lb/yarda³

M_c = Peso del cemento, lb/yarda³

M_{scm} = Peso del material complementario del cemento, SCM (si lo hay), lb/yarda³

x = Relación entre el peso de SCM sobre el peso total de cemento

y = Relación entre el peso de arena sobre el peso del agregado combinado

V_w = Volumen de agua, pie³

V_{cm} = Volumen absoluto del cemento, pie³

V_{agg} = Volumen absoluto del agregado combinado en estado de Saturado

Superficialmente Seco, pie³

V_{void} = Volumen de los vacíos de diseño, en porcentaje de pie³

$DRUW$ = Peso unitario seco varillado del agregado (combinado si se utiliza más de uno), lb/pie³

RD_c = Densidad relativa (gravedad específica) del cemento (3.15 para cemento portland)

RD_{scm} = Densidad relativa de los materiales complementarios del cemento (si lo hay)

RD_{cm} = Densidad relativa del total de material cementante

RD_{ca} = SSD (saturado superficialmente seco) gravedad específica del agregado grueso

RD_{sand} = SSD (saturado superficialmente seco) gravedad específica de la arena (si se utiliza)

$RD_{ca}(\text{seco})$ = Gravedad específica seca del agregado grueso

$RD_{sand}(\text{seco})$ = Gravedad específica seca de la arena (si se utiliza)

RD_{agg} = SSD (saturado superficialmente seco) gravedad específica de la combinación de los agregados

ρ_w = Densidad del agua (62.4 lb/ft³).

El contenido de vacíos del agregado se calcula mediante el peso específico seco varillado ($DRUW$), de conformidad con la norma ASTM C29 (tenga en cuenta que según ASTM C29 para este cálculo, $\rho_w = 62.3 \text{ lb/ft}^3$, en el Sistema Inglés):

$$Agg_{void} = 1 - \left(\frac{DRUW}{RD_{ca}(\text{seco}) \times 62.3} \right)$$

La gravedad específica del agregado se calcula a partir del valor de Saturado Superficialmente Seco (SSD) y de la absorción del agregado.

La gravedad específica del total del material cementante es:

$$RD_{cm} = \frac{RD_c x RD_{scm}}{[(1 - x) x RD_{scm}] + [x * RD_c]}$$

Cuando solo se ha utilizado un tipo de cemento $RD_{cm} = RD_c$ (3.15 para cemento según ASTM C150).

Cuando se utiliza solo un agregado (agregado grueso) $RD_{agg} = RD_{ca}$.

El peso de la relación agua/cemento para la mezcla es:

$$(W/cm)_w = \frac{M_w}{[M_c + M_{scm}]}$$

El volumen de la relación agua/cemento para la mezcla es:

$$(W/cm)_w = (W/cm)_w \times RD_{cm}$$

Para el volumen de la pasta, PV, en el paso 2 es la suma del volumen del agua y el volumen de la cantidad total del material cementante.

$$PV, pie^3 = V_w + W_{cm}$$

El volumen absoluto de la cantidad total del material cementante es determinada por:

$$V_{cm3}, ft^3 = \frac{PV}{[1 + (W/cm)_v]}$$

El volumen de agua:

$$V_w, pie^3 = PV - V_{cm}$$

El volumen absoluto de la combinación de agregados saturados superficialmente secos

(SSD)(V_{agg}) es:

$$V_{agg} = 27 - (PV + V_{vacío})$$

Convertir los volúmenes de las fracciones a pesos por yarda cubica y para cada una de las batchadas de prueba.

PASO 5 - DETERMINAR EL TIPO Y LA DOSIFICACIÓN DE LOS ADITIVOS QUE SERÁN UTILIZADOS

Los aditivos, pueden incluir algún tipo de reductor de agua, debe establecerse un control en su uso, especialmente cuando se tiene un aditivo incorporador de aire, aditivos estabilizadores de hidratación o aditivos que modifiquen la viscosidad.

Usualmente la dosis de los aditivos está basada en unidades de fl.oz. /100 lb de material cementante. Los aditivos reductores de agua o superplastificantes pueden mejorar la consistencia de la pasta y reducir así la cantidad de agua. Según informes los aditivos modificadores de la viscosidad hacen la mezcla más resistente, por ejemplo: más agua puede ser adicionada sin causar un escurrimiento en la mezcla. Fibras sintéticas normalmente utilizadas en dosificaciones de concretos convencionales también pueden ser utilizadas. Los volúmenes y pesos del aditivo se suponen son insignificantes para los cálculos de las proporciones de la mezcla de concreto permeable.

3.1.3 GENERALIDADES DEL CONCRETO PERMEABLE

El concreto permeable está conformado por una mezcla de granulometría abierta, conteniendo poco o nada de agregado fino, cemento portland, agregado grueso, aditivos y agua.

La combinación de estos producirá un material endurecido, produciéndose una conexión de poros, cuyo tamaño variará entre los 2 a 8 milímetros (0.08-0.32 plg), permitiendo atravesar el agua fácilmente. El porcentaje de contenido de vacíos puede variar entre 18% y 35%, (**ver figura 3.4**) la velocidad de drenaje dependerá del tamaño y la densidad del agregado de mezcla, pero por lo general el rango será de 81 – 730 l/min/m² (2 a 18 gal/min/ft²), con resistencias a la compresión de entre los 2.8- 28 Mpa (400 – 4000 psi).

En 1960 ingenieros observaron que las escorrentías generadas por las zonas urbanas eran agentes de contaminación de aguas superficiales y subterráneas que eran parte de suministro, además se desarrollaban tasas más altas de escorrentía y volúmenes de agua que provocaban inundaciones y erosión en zonas aguas abajo. Hoy en día, el uso de concreto permeable, permite reducir este impacto, protegiendo en gran medida los suministros de agua y disminuyendo el nivel de escorrentía.

El uso del concreto permeable como capa de rodadura, evita el hidropneumático (deslizamiento sobre la superficie del pavimento debido a la formación de películas de agua) en los automotores, debido a que el agua filtra la estructura.

El concreto permeable correctamente utilizado constituye un medio drenante y permite su movimiento por los vacíos que se encuentran entre los agregados por la falta de arena en la mezcla.

La estructura porosa permite al agua pasar directamente a través del espesor de concreto permeable y dentro las capas subyacentes cuando estas son permeables (sub base de grava, espesor de arena, geotextil, drena naturalmente en las capas de suelo) o hasta un sitio de evacuación.

Los ensayos tradicionales en la evaluación del concreto, como revenimiento y contenido de aire, no son aplicables al concreto permeable.

En la **figura 3.4** se observa cómo el agua pasa fácilmente a través de dos testigos de concreto permeable elaborados con los diseños de mezcla considerados

Figura 3.4 Cilindros de contenido de vacíos del 18% y 20%



Fuente: Grupo de Tesis

3.1.3.1 APLICACIÓN DEL CONCRETO PERMEABLE. El concreto permeable es utilizado principalmente para pavimentar superficies de uso vehicular y peatonal y donde se requiera tener áreas permeables permitiendo así que el agua de lluvia infiltre libremente al subsuelo, como resultado obtenemos la reducción o eliminación de escorrentía superficial proveniente de las aguas pluviales. Entre la amplia gama de aplicaciones para el concreto permeable se tienen:

- ✓ Capas de rodadura (Superficies de pavimento);
- ✓ Base permeable y borde de desagües
- ✓ Bases y Subbases para pavimentos
- ✓ Pavimentos de estacionamientos de poco tráfico cuando se desea que sea drenante.
- ✓ Superficies de rodadura

El concreto permeable puede ser utilizado como una superficie de rodadura para estacionamiento vehiculares o pequeños tramos de vías carreteras. El uso proyectado en El Salvador tiene varias aplicaciones. Esto debido a tres factores:

1. El Salvador frecuentemente ocurren muchas tormentas que producen una rápida acumulación de volúmenes de agua lluvia, el uso de concreto permeable reduce el volumen de escorrentía.
2. El agua retenida en el sitio recarga los mantos acuíferos; y
3. El costo efectivo de utilizar concreto permeable sobre pavimentos convencionales es altamente mejorado con la disminución o eliminación de alcantarillas de agua lluvia.

Estacionamientos vehiculares

El concepto de utilizarlo para estacionamientos es el de aprovechar la gran cantidad de agua lluvia precipitada y además de la escorrentía al área adyacente del lugar de estacionamiento.

En El Salvador puede ser tomado en cuenta en la consulta de la Política Nacional de Medio Ambiente a cargo del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

El pavimento de concreto permeable en estacionamientos vehiculares también ha sido seleccionado en otros países como una solución integral al problema de pavimentos que generan calor. La temperatura del aire sobre la superficie del pavimento de concreto permeable del estacionamiento es más fresca que la de un pavimento asfáltico.

Además, está considerado como no contaminante al medio ambiente.

El rango práctico del diseño de espesor para pavimentos de concreto permeable es de 12.5 a 30 cm (5 a 12 pulgadas) para estacionamientos vehiculares en una superficie plana.

El concreto permeable para carreteras es usualmente considerado para dos aplicaciones como son:

- a) Bases drenantes o material de subbase; y
- b) Superficie de carretera o superficie de fricción.

3.1.3.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES Y MEZCLAS DE CONCRETO PERMEABLE La resistencia y permeabilidad obtenidas con un pavimento permeable están determinadas por la mezcla que se va a utilizar. Las variables que afectan el comportamiento del concreto permeable son: granulometría, dosis de cemento, relación agua/cemento, aditivo y contenido de vacíos.

▪ **AGREGADOS**

Los agregados deberán cumplir con los requisitos de Norma ASTM C33-07 y ASTM D 448-07 anteriormente señaladas, pero que hayan demostrado, mediante ensayos (Fotos).

1. La granulometría (tamaño de partícula y distribución)

- Importante para:
- Trabajabilidad
- Proporcionamiento de la mezcla
- Contenido de cemento y por ende el contenido de agua
- Compactibilidad de la mezcla
- Estética del pavimento

Agregado grueso

El agregado grueso deberá reunir los requerimientos de tamaño y gradación definidos en ASTM D 448 – 08. Deberá complementarse con la Norma ASTM C 33 – 07; ACI 522R-10 expone que el tamaño máximo nominal del agregado grueso generalmente es de $\frac{3}{4}$ a $\frac{3}{8}$ de pulgada (19 a 9.5 mm).

Tamaños de Agregados mayores pueden incrementar la porosidad, pero pueden disminuir la trabajabilidad. La N.º 8 ($\frac{3}{8}$ de pulgada o 9.5 mm) es la más común a utilizar en los pavimentos de concreto permeable.

Figura 3.5 Grava número 3/8 utilizada para elaboración del concreto permeable



Fuente: Grupo de Tesis

Conocer las características de los agregados a utilizar en la mezcla de concreto permeable, nos permitirá conocer la influencia que tendrán ya sea en estado fresco como en estado endurecido, en la **tabla 3.2** nos indica cómo afecta la caracterización en dichos aspectos.

Tabla 3.2 Influencia de los Agregados en el Concreto Permeable en Estado Fresco y Endurecido

Características de los agregados	Características	Beneficios
Granulometría	Manejabilidad Requerimientos de agua	Resistencia mecánica Economía
Limpieza (materia orgánica, limo, arcilla y otros finos indeseables).	Requerimientos de agua	Durabilidad Resistencia mecánica
Densidad (Gravedad Específica)	Peso Unitario	Peso Unitario
Absorción y Porosidad	Pérdida de agua en la mezcla	Resistencia mecánica Permeabilidad
Forma de Partículas	Trabajabilidad Requerimiento de agua	Resistencia mecánica Economía
Textura Superficial	Trabajabilidad Requerimiento de agua	Resistencia mecánica Resistencia al desgaste Economía
Tamaño Máximo	Segregación Peso Unitario Requerimiento de agua	Resistencia mecánica Peso Unitario Permeabilidad Economía

Fuente: Tesis de “Diseño, Proceso Constructivo y Evaluación Post Construcción de un Pavimento Rígido de Concreto Permeable”, Presentado por: Marlon E. Vigil Sánchez, Año: 2012, Pág. #236

CEMENTO

Cemento Portland conforme a las Normas ASTM C 150, C 595 o C 1157 se utiliza como el aglutinante principal. En nuestro país se usa el Cemento Portland conforme a ASTM C 1157 Tipo HE es un cemento hidráulico por desempeño, el cual posee la misma composición química del cemento Tipo I.

AGUA

La calidad del agua para concreto permeable será para los mismos requisitos para concretos convencionales. El concreto permeable deberá ser proporcionado con una relativa baja relación agua/material cementante (a/mc) (típicamente 0.26 a 0.40) porque una cantidad de agua en exceso producirá que la pasta fluya y selle el sistema de poros.

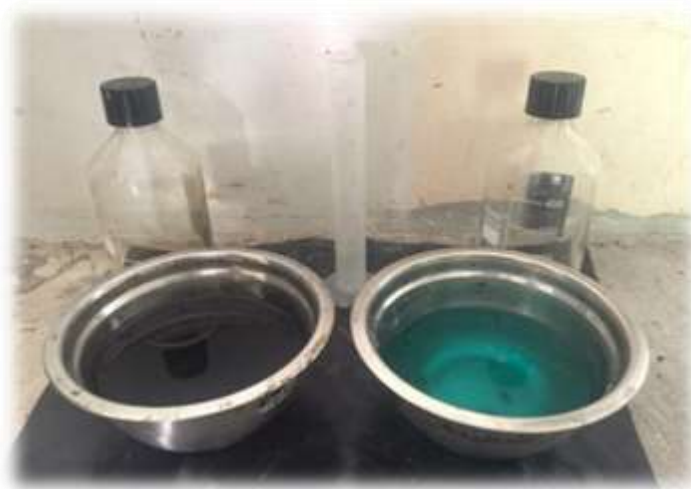
ADITIVOS

Los aditivos deben ser certificados por la casa productora del aditivo. Los aditivos químicos reductores de agua, retardantes y acelerantes deben cumplir las especificaciones de la Norma ASTM C 494 - 08, para aditivos incorporadores de aire, la Norma ASTM C 260 – 08 y para superfluidificantes la Norma ASTM C 1017 - 08.

Estudios reportan que el uso de estabilizadores de hidratación como una ayuda en tiempo de trabajo de la mezcla y los modificadores de viscosidad (Viscosity Modifying Admixtures, VMA) para mejorar la trabajabilidad; (**ver figura 3.6**) estas ventajas también han sido observadas durante la producción actual y en la colocación en proyectos.

Con el uso de múltiples aditivos en cualquier mezcla, es recomendado llevar a cabo la colocación de bachadas de prueba para identificar cualquier problema de incompatibilidad de aditivos y verificar que las propiedades en estado fresco y endurecido son sistemáticamente alcanzables.

Figura 3.6 Aditivo reductor de agua de alto rango y modificador de viscosidad



Fuente: Grupo de Tesis

3.1.3.3 PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE. Las investigaciones han sido basadas ante todo sobre ensayos de laboratorio, con algunos datos obtenidos en instalaciones de campo. Actualmente existen 2 métodos de ensayo bajo la normativa ASTM (ASTM C1688-10 y ASTM C-1701) que específicamente pretende para el uso de concreto permeable, el sub comité ASTM C-949 está desarrollando métodos de ensayo para resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, densidad/porosidad en el sitio.

3.1.3.3.1 PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO FRESCO.

Para control de calidad y aseguramiento de la calidad, el peso unitario o densidad bulk es la medida preferida porque algunas propiedades del concreto permeable en estado fresco, como el revenimiento, no tienen ningún significado para el concreto permeable. El tiempo de trabajabilidad del concreto es típicamente reducido para mezclas de concreto permeable.

Usualmente, una hora entre la mezcla y la colocación es todo lo que se recomienda. De acuerdo con el Comité ACI 309, hay cuatro principales características funcionales del concreto en estado fresco:

a) Compactibilidad

Corresponde a la facilidad de lograr un alto grado de compacidad en el concreto endurecido.

b) Peso Unitario.

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

c) Revenimiento (slump)

Cuanto mayor sea este, implica que más húmeda es la mezcla, el procedimiento de la realización de este ensayo esta descrito en la norma ASTM C143. Sin embargo, la mezcla del concreto permeable se caracteriza por ser de “cero slump” y al ser medido generalmente se obtienen valores de 0 a 1 cm.

d) Contenido de vacíos (porosidad)

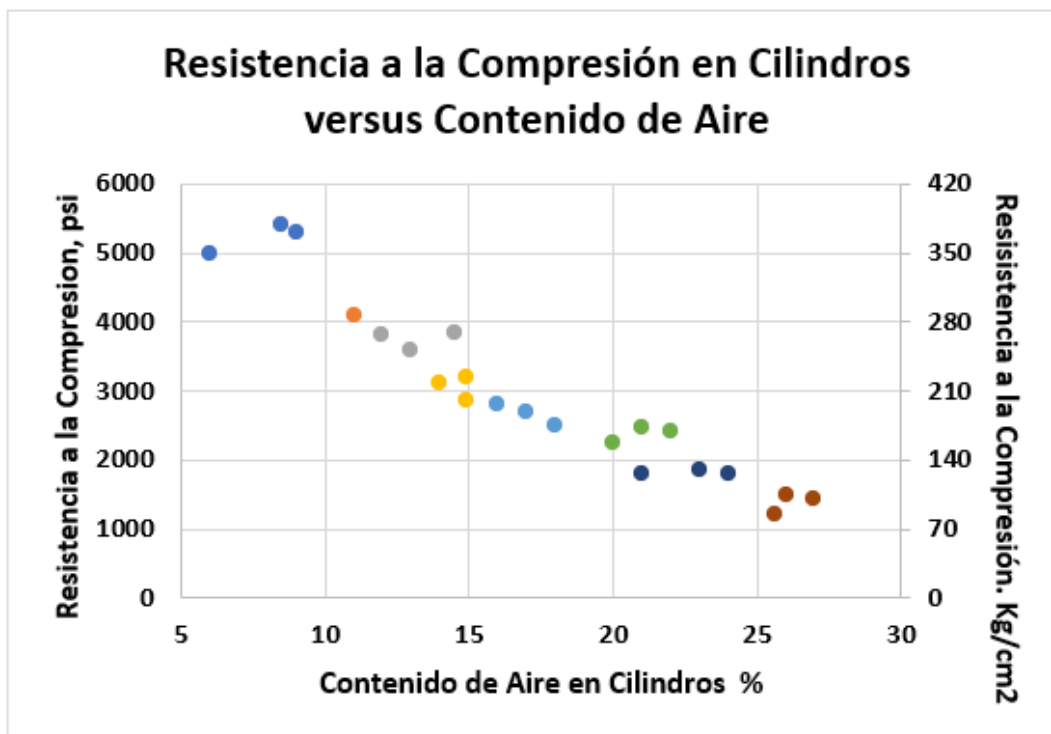
El contenido de vacíos se calcula como porcentaje de aire, y está directamente relacionado con el peso unitario de una mezcla dada de concreto permeable. La energía de compactación aplicada en la elaboración de un concreto permeable influye de sobremanera en el porcentaje de vacíos y por consiguiente en su peso volumétrico.

3.1.3.3.2 PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO

ENDURECIDO. La resistencia a la compresión de concreto permeable se ve altamente afectada por la dosificación de la mezcla y el esfuerzo de compactación durante la colocación.

La figura 3.7 muestra la relación entre la resistencia a la compresión y el contenido de vacíos en cilindros de concreto permeable (Meininger, 1988) y está basada en una serie de ensayos de laboratorio donde dos tamaños de agregado grueso fueron utilizados para mezclas de concreto permeable y donde el esfuerzo de compactación fue variable.

Figura 3.7 Gráfico de la Resistencia a la Compresión versus Contenido de Aire en Especímenes de Concreto Permeable

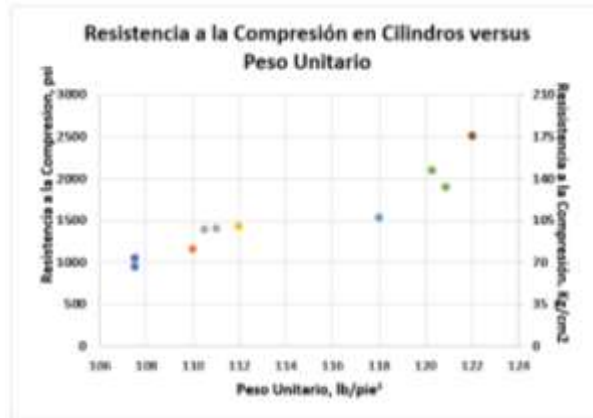


Fuente: Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

En la **figura 3.8** se observa una relación entre la resistencia a la compresión y el peso unitario (Mulligan 2005).

La figura está basada en otra serie de ensayos de laboratorio donde uno de los agregados gruesos fue utilizado y el esfuerzo de compactación y la relación agua/cemento fue variable.

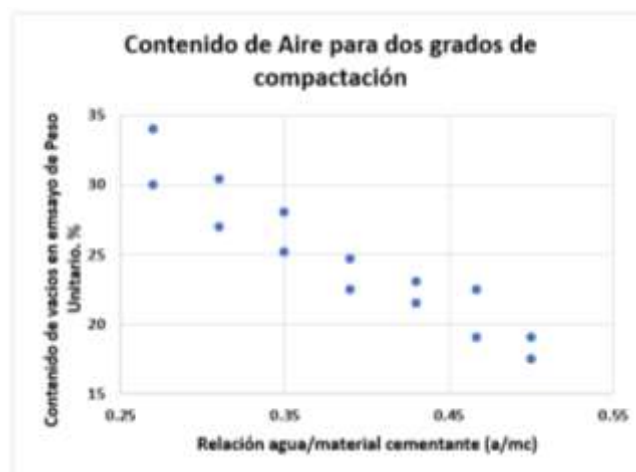
Figura 3.8 Gráfica de la Resistencia a la Compresión versus Peso Unitario en Concreto Permeable



Fuente: Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

La **figura 3.9** muestra la relación entre la relación a/mc y el contenido de vacíos de una mezcla de concreto permeable (contenido de cemento y agregado constantes) a dos grados de compactación (Meininger, 1988). La experiencia demuestra que una relación a/mc de 0.26 a 0.45 provee un buen recubrimiento al agregado y estabilidad en la pasta.

Figura 3.9 Gráfico de Contenido de Aire para dos Grados de Compactación versus la Relación agua/material cementante (a/mc)

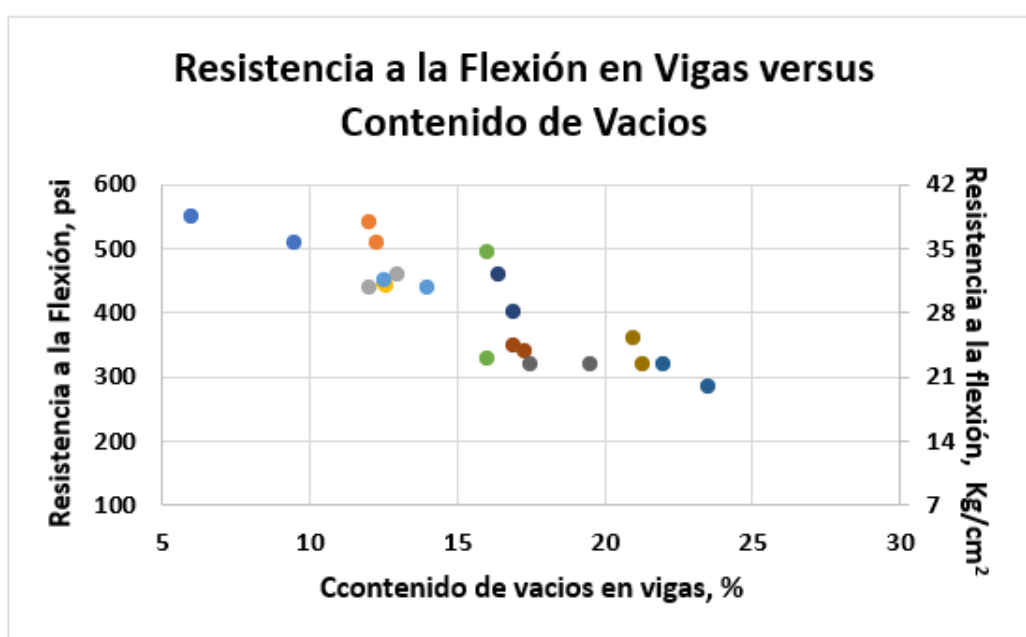


Fuente: Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

→ **Resistencia a flexión.**

La **figura 3.10** (Meininger, 1988) muestra la relación entre la resistencia a flexión del concreto permeable y contenido de vacío basado en vigas ensayadas en la misma serie de ensayos de laboratorios descritos en la **figura 3.7**. Aunque estos resultados están basados en un número limitado de especímenes, comparando los datos de las **figuras 3.11** indica que existe la relación entre la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión del concreto permeable.

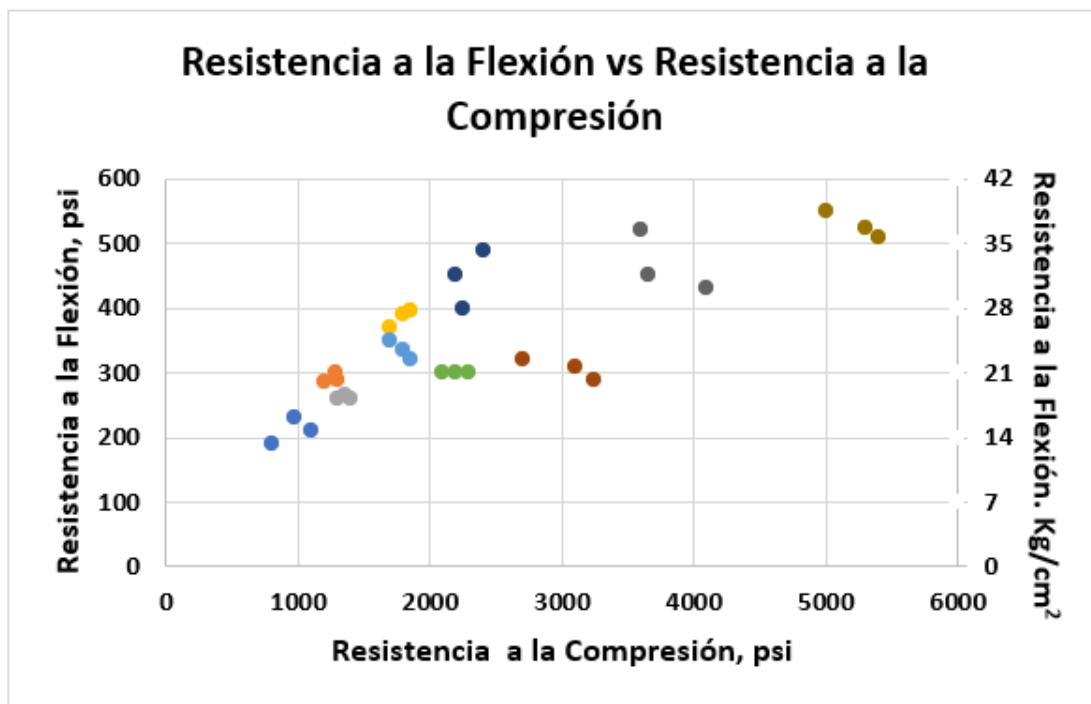
Figura 3.10 Gráfico de la Resistencia a la Flexión en Vigas versus Contenido de Vacíos



Fuente: Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

La **figura 3.11** (Meininger, 1988) muestra la relación entre la resistencia a la compresión y flexión del concreto permeable para una serie de ensayos de laboratorio.

Figura 3.11 Gráfica de la Comparación entre la Resistencia a la Flexión versus Resistencia a la compresión



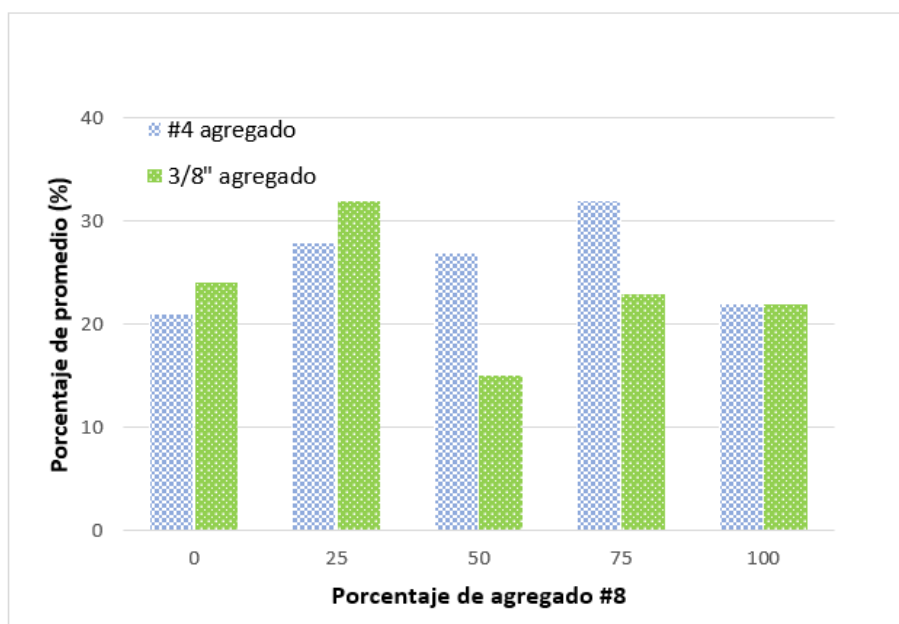
Fuente: Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

Contenido de Vacíos y Peso Unitario

La densidad del concreto permeable fresco se puede determinar por la norma ASTM C1688/C1688M, y está directamente relacionada con el contenido de vacío de una mezcla determinada.

La influencia de la graduación del agregado en la porosidad de las muestras de concreto permeable preparadas en laboratorio se muestra en la **figura. 3.12**. Una gama de porosidad se puede obtener mediante la mezcla de agregados de dos tamaños diferentes (Neithalath 2004).

Figura 3.12 Relación Porosidad versus Porcentaje de agregado



Fuente: Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

El esfuerzo de compactación tiene una influencia sobre el contenido de vacíos, la porosidad y la densidad de una determinada mezcla de concreto permeable.

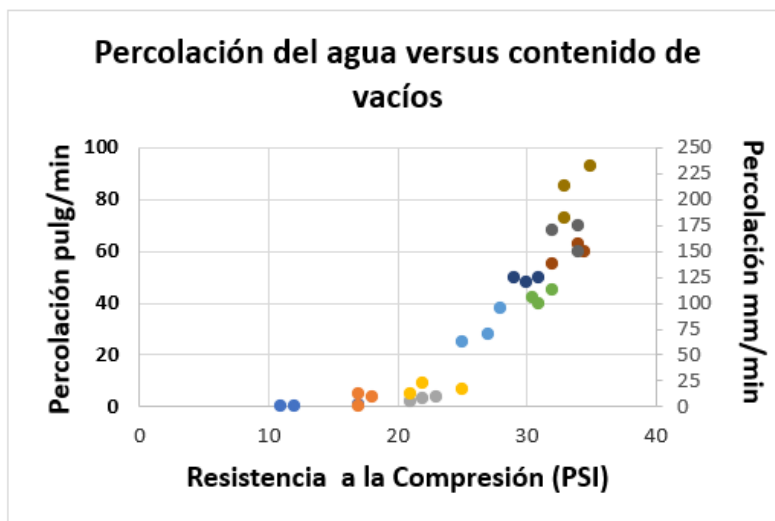
En una serie de pruebas de laboratorio (Meininger 1988), una sola mezcla de concreto permeable compactado con ocho diferentes grados de esfuerzo, producen valores de peso unitario que varía de 1680 a 1920 kg/m³ (105 a 120 lb/pe³).

Tasa de Filtración

Una de las características más importantes del concreto permeable es su capacidad para que el filtre el agua se a través de la matriz. La tasa de percolación en el concreto permeable está directamente relacionada con el contenido de vacíos y el tamaño de los poros. **La Figura 3.13** (Meininger 1988) muestra la relación entre el contenido de vacíos y la tasa de filtración de una mezcla de concreto permeable.

Debido a que la tasa de filtración aumenta a medida que aumenta el contenido de vacíos y, en consecuencia, disminuye la resistencia a la compresión, el reto en la dosificación de mezcla de concreto permeable es lograr un equilibrio entre una tasa de filtración aceptable y una resistencia a la compresión aceptable.

Figura 3.13 Percolación versus Contenido de Vacíos en cilindros



Fuente: Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

Las pruebas han demostrado según Meininger, que un contenido de vacíos de al menos 15% es requerido para lograr una filtración significativa.

Para una porosidad de 20 a 25%, el coeficiente de permeabilidad se reporta que es de aproximadamente 0.01 m/s (Brite/Informe Euram 1994). En otro estudio (Nissoux et al. 1993) se informa de una permeabilidad de 36 L/m²/s (0,88gal/pie²/s).

La permeabilidad del concreto permeable puede ser medida mediante un sencillo permeámetro de carga variable como se muestra en **la figura 3.14** (Neithalath et al. 2003). En este enfoque, la muestra es encerrada en una membrana de látex para evitar el agua fluya a los lados de la muestra.

Figura 3.14 Permeámetro de carga variable



Fuente: Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

Con la válvula cerrada, la probeta está llena de agua. La válvula se abre entonces, y se mide el tiempo en segundos “ t ” necesario para que el agua descienda desde una altura h_1 en la cabeza inicial a un punto final, h_2 . El equipo está calibrado para una carga inicial de 290 mm (11.6 pulgadas) y una carga final de 70 mm (2.8 pulgadas), la permeabilidad k (mm/s [in/s]) puede ser expresada como sigue: Dónde A es igual a una constante de 192 mm (7.7 pulgadas).

Durabilidad

El concreto debe mantener sus propiedades durante la vida útil para la que fue diseñado.

La integridad abarca exclusivamente al material y no a la estructura que este compone. La durabilidad del concreto depende en gran medida de la permeabilidad del material.

El ataque externo del Concreto está generalmente asociado a la presencia de agua con agentes agresivos en solución (succión capilar y flujo).

Por lo tanto, para lograr que un concreto sea durable será necesario disminuir la Porosidad.

- Una baja relación agua/cemento
- Una buena compactación del concreto
- Unos buenos curados húmedos (por lo menos 7 días).

Dureza

Las fibras sintéticas se pueden emplear para aumentar la dureza, que se define como la absorción de energía después de la fisuración del concreto.

La dureza se puede cuantificar en uno de varios métodos de ensayo, tales como la norma ASTM C 1399-01. Esta prueba produce un valor de post agrietamiento en lb/pulg² que se refiere a la resistencia a la flexión de la matriz de concreto.

Pruebas de productos de fibras sintéticas en especímenes de vigas de concreto permeable, de acuerdo con la norma ASTM C 1399-01 demostró que las fibras de 1,5 a 2,0 pulgadas (38 mm a 51 mm) en longitud fueron los más efectivos para proporcionar tenacidad al concreto (SI Concrete Systems 2002).

Adherencia: agregado-pasta

El concreto deberá garantizar la adherencia entre la pasta de cemento y los agregados, para lo cual se podrá realizar una evaluación de esta variable mediante el ensayo de Adherencia por conteo macroscópico de falla en la interfase pasta-agregado y/o mediante al ensayo de Pérdida de Material Cementante por Compactación Utilizando el Martillo Proctor.

3.1.4 GENERALIDADES DE LOS GEOSINTÉTICOS

Son un grupo de materiales fabricados mediante la transformación industrial de sustancias químicas denominadas polímeros, del tipo conocido genéricamente como “plásticos”, que, de su forma elemental, de polvo o gránulos, son convertidos mediante uno o más procesos, en laminas, fibras, perfiles, películas, tejidos, mallas, etc., o en compuestos de dos o más de ellos, existiendo también algunas combinaciones con materiales de origen vegetal. El prefijo “geo” sugiere cuya aplicación tiene que ver con el suelo, las rocas, y/o de la tierra. Para fines del trabajo de investigación se hace mención únicamente de los siguientes geosintéticos:

3.1.4.1 GEOTEXTILES. Es un material textil sintético plano formado por fibras poliméricas (polipropileno, poliéster o poliamidas), similar a una tela, de gran deformabilidad, empleada para obras de ingeniería en aplicaciones geotécnicas (en contacto con tierras y rocas), cuya misión es hacer las funciones de separación o filtración, drenaje, refuerzo o impermeabilización.

Existe una gran variedad de geotextiles; los mismos se eligen según sea su destino y con base al estudio y definición de las propiedades mecánicas e hidráulicas del terreno en cuestión. Ello permite deducir los siguientes conceptos:

3.1.4.1.1 GEOTEXTILES TEJIDOS. Se fabrican a partir de fibras de polipropileno o de poliéster que se entrelazan entre si para crear un tejido único. El geotextil tejido es hecho a base de tejidos de hendidura de película con hebras planas para darles fuerzas.

Los monofilamentos se fabrican con fibras circulares que crean tamaños de la abertura más uniforme necesaria para aplicaciones de drenaje. Pueden ser:

- Tejidos planos
- Tricotados

3.1.4.1.2 GEOTEXTILES NO TEJIDOS. Son materiales textiles planos, permeables y compuestos por fibras poliméricas termoplásticas. Normalmente están realizados por fibras de polipropileno o poliéster. La figura 3.15 muestra el aspecto y forma de un geotextil no tejido, material textil compuesto por fibras poliméricas.

Figura 3.15 Geotextil no tejido NT 3000 4.0



Fuente: Grupo de Tesis

Las principales funciones de los geotextiles no tejidos son el drenaje y filtración, ya que dejan pasar el agua y permiten retener finos. Pueden ser: Agujados y Termosoldados.

3.1.5.1.3 GEOTEXTILES MIXTOS. Se compone de fibras cortadas que no son sometidas a procesos de termofusión, ya que al no haber unión entre sus elementos y no estar ligados entre sí, pueden ser perforados con facilidad ante la aplicación de una fuerza perpendicular porque se abren sus fibras sin ofrecer resistencia, al mismo tiempo los esfuerzos de tracción las separa desenlazándolas. Pueden ser:

- Agujados
- Agujados y Termosellados

3.1.4.2 GEOMALLAS. Son geosintéticos que consisten en un arreglo rectangular o triangular uniforme conformando una estructura abierta que permite al suelo pasar a través del plano, el arreglo está conformado por tiras o costillas de material unidos en un punto, los principales materiales son de poliéster, polipropileno y polietileno. Algunos tipos son:

3.1.4.2.1 GEOMALLAS UNIAXIALES. Están diseñadas para soportar la tensión en una sola dirección. Se forman estirando costillas en una dirección de longitud y su resistencia a la tracción se estira en la dirección de la máquina. Son perfectos para aplicaciones en paredes, muros de contención, vertederos, terraplenes, etc.

3.1.4.2.2 GEOMALLAS BIAXIALES. Están diseñadas para tener equilibrio igual de resistencia a la tracción tanto en la maquina como en las direcciones transversales. Se usan en cimientos en camas de camino, plataformas de camiones ferroviarios, caminos de acarreo, pistas de aeropuertos, estacionamientos, etc.

La **figura 3.16** muestra una geomalla biaxial empleada para el refuerzo de capas granulares en todo tipo de pavimentos, pisos y suelos.

Figura 3.16 Geomalla biaxial P-BX20



Fuente: Grupo de Tesis

3.1.4.2.3 GEOMALLAS TRIAXIALES. Proporciona un nivel mejorado de rigidez en el plano, orientadas en múltiples direcciones equiláteras para formar aberturas triangulares.

3.1.5 FIBRAS DE POLIPROPILENO/POLIETILENO

Las fibras TUF-STRAND SF son macrofibras sintéticas de polipropileno/polietileno patentadas que se utilizan con éxito para prevenir la fisuración en estado endurecido, a reducir el ancho de la fisura si esta se presenta y a permitir el adecuado funcionamiento de la estructura fisurada. Las macrofibras más usadas son las sintéticas y las metálicas cuyos diámetros varían entre 0.005mm a 2.00mm. Las macrofibras se incluyen en el concreto como si fuesen un agregado más, normalmente antes de la colocación del concreto. En general, se recomienda agregar cualquier material de fibra en la planta de concreto premezclado durante el procedimiento por lotes.

Las fibras deben mezclarse con el concreto durante un mínimo de tres (3) a cinco (5) minutos a la velocidad máxima de mezclado, dependiendo del tipo de mezclador, para asegurar una dispersión y uniformidad completa. La **figura 3.17** muestra tiras de macrofibras de polipropileno/polietileno utilizadas en la incorporación de la mezcla de concreto.

Figura 3.17 Macrofibras de polipropileno/polietileno



Fuente: Grupo de Tesis

Las dosificaciones y volúmenes de las fibras metálicas o sintéticas no alteran la resistencia a la compresión y lo hacen de una manera muy leve sobre las resistencias a la tensión y flexión. En pisos y pavimentos reemplazan las mallas de alambre soldadas y barra de refuerzo convencionales en una amplia variedad de aplicaciones.

La **figura 3.18** muestra el embalaje de 5lb de las macrofibras sintéticas de polipropileno/polietileno.

Figura 3.18 Embalaje de macrofibras sintéticas de polipropileno/polietileno



Fuente: Grupo de Tesis

Cumplen con la norma ASTM C 1116, Especificación Estándar para Hormigón Reforzado con Fibra y Hormigón Proyectado, y están específicamente diseñadas para proporcionar resistencia a la tracción y flexión equivalente a los requisitos de refuerzo convencionales.

El concreto reforzado tendrá un refuerzo tridimensional con mayor resistencia a la flexión, resistencia al impacto y a la abrasión y también ayudará a mitigar la formación de grietas por contracción plástica en el concreto.

Algunas de sus aplicaciones primarias son:

- Prefabricados de paredes delgadas (fosas sépticas, bóvedas, muros, etc.).
- Hormigón proyectado para revestimiento de túneles, construcción de piscinas y estabilización de túneles.
- Pavimentos y coberturas blancas.
- Losa sobre rasante y construcción elevada (centros de distribución, almacenes, otros.).

Entre sus características y beneficios podemos mencionar:

- Resistencias equivalentes a WWM y barras de refuerzos proporcionadas por cálculos de ingeniería. Controla y mitiga el agrietamiento por contracción del plástico y reduce la segregación y el sangrado.
- Proporciona un refuerzo tridimensional contra micro y macrogrietas.
- Reduce el desgaste del equipo.
- Aumenta la durabilidad general, la resistencia a la fatiga y la resistencia a la flexión.
- Reducción del costo.
- Se agrega fácilmente a la mezcla de concreto en cualquier momento antes de la colocación.

3.1.6 GENERALIDADES DE LOS SUELOS

Los suelos en términos de su resistencia mecánica, deformación y permeabilidad a los fluidos, tanto en condiciones naturales como cuando estas son modificadas por el hombre.

Así mismo, cada una de estas características se expresan por medio de parámetros de resistencia, deformación y permeabilidad respectivamente, que se obtienen a partir de ensayos de campo, laboratorio e instrumentación. Es así como por medio de este tipo de estudios se determinan, por ejemplo, la resistencia de un suelo -o roca- para soportar el peso de una edificación, o el movimiento que este sufriría por la deformación del suelo; la inclinación -o altura- de un talud para que no falle; las cargas que deberá soportar una estructura de contención, o la cantidad de agua y presiones de ésta al atravesar cierto suelo, entre otros.

Este conocimiento es básico para los análisis posteriores, ya que siendo estos materiales geológicos el producto de la dinámica interna y externa de la tierra (o de la acción del hombre en el caso de materiales artificiales), su distribución y características suelen cambiar de sitio a sitio, aún en pocos metros de distancia.

Sin embargo, aún con la mejor exploración de campo, es aventurado afirmar que se puede llegar a conocer completamente el tipo, distribución y características geomecánicas del material que yace bajo la superficie y siempre hay que resignarse a una aproximación de ellas, basada en las muestras que se obtengan de la exploración del subsuelo mediante perforaciones, apiques y trincheras, o de las inferencias a partir de ensayos in situ.

Esta situación limita el conocimiento del subsuelo aún para el caso de un área relativamente pequeña como la que ocuparía una edificación, y obviamente la limitación es mucho mayor cuando se trata una gran área como es el caso de toda una ciudad.

Por otra parte, a diferencia de los materiales artificiales como el concreto o el acero, en donde sus propiedades pueden diseñarse, las de los suelos y rocas están esencialmente determinadas por la naturaleza, aunque en ocasiones también son influenciadas por las eventuales acciones voluntarias o involuntarias del hombre. Por esta razón, para cada proyecto constructivo es necesario determinar las propiedades particulares de estos materiales geológicos mediante ensayos de laboratorio, ensayos de campo y la instrumentación del terreno; sobre esto trata el segundo aspecto mencionado. Así mismo, las propiedades a determinar dependerán no solo del tipo de material, sino también de las características del proyecto. De igual manera, el grado de aproximación a los valores reales de esas propiedades varía con la cantidad, calidad y pertinencia de la información que se obtenga de los ensayos. De esta manera, a menor información disponible mayor será el grado de generalización, e inclusive se puede llegar al punto de no poder expresar numéricamente una propiedad más que en términos cualitativos. Por ejemplo, la resistencia de un suelo se podría expresar en términos como: suelo duro o suelo blando.

El tercer aspecto tiene que ver con la aplicación de los principios de la mecánica de sólidos y fluidos para el análisis y diseño de la estructura geotécnica de interés como puede ser el cimiento de una edificación o un talud de corte para una vía. Esto implica establecer la interacción suelo-estructura o roca-estructura mediante algún método de análisis. Para ello se debe realizar un modelamiento e idealización no solo de las condiciones de trabajo de la estructura sino del mismo material.

3.1.6.1 UBICACIÓN DE LOS SONDEO. La figura 3.19 muestra la ubicación de los sondeos tomados para la aplicación de la estructura de estacionamiento de concreto permeable dentro de las instalaciones de la Facultad Multidisciplinaria Oriental, Universidad de El Salvador.

Figura 3.19 Ubicación de sondeos



Fuente: satellites.pro/mapa

3.1.6.2 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS. Para fines del trabajo de investigación y por ser solo dentro de la Universidad de El Salvador, Facultad Multidisciplinaria Oriental, una de las limitaciones puesta en el trabajo de investigación es que solo se clasificaron tres tipos de suelo con base a la investigación: “Zonificación Geotécnica y Propuesta de Edificaciones para la Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad de El Salvador”, presentado por: Argueta Hernández José Matías, Coca Martínez Santos Benjamín y Cruz Granada José Roberto en el año 2017.

Como Parte del Grupo de Tesis se limitaron tres tipos de suelos siendo lo más superficiales (ver en la **tabla 3.3**).

Tabla 3.3 Selección de sondeos para fines del trabajo de investigación

Sondeo N.º	Muestra N.º	Rango de Profundidad (m)	Clasificación SUCS	Clasificación AAHTO
1	1	0.00-0.35	CH	A-7-5
	4	1.50-2.00	CH	A-7-5
2	1	0.00-0.35	MH	A-7-5
	6	2.50-3.00	MH	A-7-5
6	1	0.00-0.35	ML-CL	A-4
	5	2.00-2.50	CH	A-7-6

Fuente: “Zonificación Geotécnica y Propuesta de Edificaciones para la Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad de El Salvador” presentado por Argueta Hernández José Matías, Coca Martínez Santos Benjamín y Cruz Granada José Roberto en el año 2017, Página #168.

3.1.6.3 DESCRIPCIÓN DE LOS SUELOS SEGÚN AASHTO

A-7-5: Arcilla de Alta Compresión

A-7-6: Arcilla de Alta Compresión y Cambio de Volumen

A-4: Suelo Limoso de Arena, Sedimento y fino de baja Compresión

Una vez seleccionados y descritos los suelos se evaluó el comportamiento del concreto permeable (tasa de Infiltración) a la capa de la estructura de 15cm con fibras de polipropileno y sin fibras de polipropileno.

3.1.7 PRUEBA IN SITU DE INFILTRACIÓN BAJO EL ESTANDAR ASTM C-1701

Este método de ensayo cubre determinación en la obra de la tasa de infiltración de agua de un concreto permeable previamente colocado. Los valores especificados en unidades SI o en libra/pulgadas, deben considerarse separadamente como el estándar.

Los valores establecidos en cada sistema pueden no ser equivalente exactas; por lo tanto, cada sistema debe ser usado independientemente del otro. La combinación de valores de los dos sistemas, puede resultar en una inconformidad con la norma.

3.1.7.1 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO. Un anillo de Infiltración se sella temporalmente sobre la superficie de un pavimento permeable. Después de pre - humectar la ubicación del ensayo, una masa de agua predefinida se introduce en el anillo y se registra el tiempo que le toma el agua el infiltrarse en el pavimento. La tasa de infiltración se calcula en la ecuación.

Método de Ensayo Significado y Uso

- Los ensayos realizados en la misma ubicación a lo largo de un lapso de tiempo, se puede utilizar para detectar una reducción de la tasa de infiltración del concreto permeable, por lo tanto, para identificar la necesidad de una rehabilitación.
- La tasa de infiltración obtenida por este método de ensayo es válida únicamente para el área específica del pavimento en donde se realizó el ensayo
- Este método de ensayo no mide la influencia en campo de la tasa de infiltración debido al sello de vacíos cerca del fondo de la losa de concreto permeable. Una inspección visual de núcleos de concreto es la mejor opción para determinar el sello de vacíos cerca del fondo de la losa de concreto permeable.

3.1.7.2 PROCEDIMIENTO DEL METODO DE ENSAYO

PASO 1 INSTALACIÓN DEL ANILLO DE INFILTRACIÓN

Limpiar la superficie del pavimento por medio del barrido de basura, escombros y otros materiales no incrustados.

Aplicar la masilla de plomería alrededor del borde inferior del anillo y colocar el anillo encima de la superficie de concreto permeable que se está ensayando. Presionar la masilla en la superficie y alrededor del borde inferior del anillo para crear un sello impermeable. Colocar masilla adicional de ser necesario. (Figura 3.20).

Figura 3.20 Instalación de anillo simple de 6”



Fuente: Grupo de Tesis

PASO 2 PRE-HUMECTADO

Verter el agua en el anillo a una velocidad suficiente para mantener el nivel entre las dos líneas marcadas. Utilizar un total de 3.60 ± 0.05 kg (8.0 ± 0.1 lb) de agua. Comenzar a cronometrar tan pronto como el agua impacta en la superficie de concreto permeable. Terminar de cronometrar cuando no exista agua en la superficie permeable. Registrar la cantidad de tiempo transcurrido con una aproximación de 0.1 s (figura 3.21).

Figura 3.21 Proceso de Pre - humectación



Fuente: Grupo de Tesis

PASO 3 ENSAYO

El ensayo debe comenzar dentro de 2 min después de completar la pre - humectación. Si el tiempo transcurrido en la etapa de pre - humectación es menor de 30 s, entonces utilizar un total de 18.00 ± 0.05 kg (40.00 ± 0.1 lb) de agua. Si el tiempo transcurrido en la etapa de pre - humectación es mayor o igual a 30 s, entonces utilizar un total de 3.60 ± 0.05 kg (8.0 ± 0.1 lb) de agua.

Registrar el peso del agua con una aproximación de 10 g (0.02 lb) (M). Verter el agua adentro del anillo a una velocidad suficiente para mantener el nivel entre las dos líneas marcadas y hasta que la cantidad medida de agua haya sido utilizada.

Comenzar a cronometrar tan pronto como el agua impacte en la superficie de concreto permeable. Detener el cronometro cuando el agua deje de estar presente en la superficie impermeable. Registrar la duración del ensayo (t) con una aproximación de 0.1 s. (figura 3.22).

Figura 3.22 Proceso de toma de tiempo



Fuente: Grupo de Tesis

PASO 4 CÁLCULO

Calcular la tasa de infiltración (I) utilizando unidades consistentes como se describe a continuación:

$$I = \frac{KM}{(D^2 \times t)}$$

Donde:

I = Tasa de Infiltración, mm/h (pulg/h)

M = Masa de Infiltración de agua, kg (lb)

D = Diámetro interior del anillo de Infiltración

t = Tiempo requerido para que una cantidad medida de agua se infiltre en el concreto (s)

K = 4, 583, 666,000 o en Sistema Internacional o 126,870 en Sistema Pulga Libras.

3.2 MARCO NORMATIVO

Las Normas que se aplican para conocer las características de los agregados; las cuales se basan en las Normas ASTM que son aplicadas en El Salvador.

De igual forma por el hecho de ser concreto también se mide su trabajabilidad y su resistencia por lo tanto se aplica la norma ASTM C-94, ASTM C39 respectivamente, que también han sido adoptadas en El Salvador. Actualmente se han hecho investigaciones en la zona central de El Salvador acerca del concreto permeable, aplicando las normas de otros países; considerándolas como ciertos parámetros y bases para los resultados aquí obtenidos.

En otros países ya ha sido implementado con éxito, el concreto permeable, obteniendo los resultados manifestados en las Normas (ASTM /ACI), empleándolas como base para el fundamento de sus propias Normas. En otros sectores se ha sometido el concreto permeable bajo otros variables que modifican sus características convencionales como el empleo de aditivos y fibras de polipropileno. **(Ver la tabla 3.4).**

Tabla 3.4 Normas Internacionales de Concreto

	Tipo de regulación	Instituto	Año	Descripción
Estados Unidos	NORMA	ASTM	2009, 2011	Taza de infiltración, medida in situ
	REGLAMENTO	ACI	2002,2006, 2010	Taza de infiltración de especímenes de concreto

Fuente: Grupo de Tesis

El procedimiento de diseño de mezcla se emplea reglamentos del ACI 211.3R y NMRCA “Para seleccionar proporciones sin revenimiento”, y las Normativas ASTM para selección las propiedades de agregados y mezcla se describen a continuación:

3.2.1 ESTÁNDARES ASTM PARA LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO

Para proporcionar el diseño de mezcla de concreto permeable se utilizan los estándares para agregado (grueso y fino) siguientes:

- “Practica Estándar para el Muestreo de Agregados” ASTM D 75
- “Practica Estándar para la Reducir Muestras de Agregado a Tamaño de Prueba” ASTM C 702
- “Método de Ensayo Normalizado para la Determinación Granulométrica de Agregados Finos y Gruesos” ASTM C 136
- “Especificación Normalizada de Agregados para Concreto” ASTM C 33
- “Método de Ensayo Normalizado para Determinar la Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Especifica), y la Absorción de Agregados Gruesos” ASTM C 127
- “Método de Ensayo Estándar para Determinar la Densidad en Masa (Peso Unitario) e Índice de Huecos en los Agregados” ASTM C29

3.2.2 ESTÁNDARES ASTM PARA LAS PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO DEL CONCRETO PERMEABLE

- “Practica Estándar para la Preparación y Curado de Especímenes de Prueba de Hormigón en el Laboratorio” ASTM C 192
- “Método de Prueba Estándar para la Densidad y el Contenido de Huecos de Concreto Permeable Recién Mezclado” ASTM C 1688

3.2.3 ESTÁNDARES ASTM PARA LAS PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO DEL CONCRETO PERMEABLE

- “Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto” ASTM C 39
- “Método de Ensayo Normalizado para la Determinación de la Resistencia a la Flexión del Concreto (Utilizando Viga Simple con Carga en los Tercios del Claro)” ASTM C

3.2.4 REGLAMENTO ACI 211.3R “GUÍA PARA SELECCIONAR PROPORCIONES PARA CONCRETO SIN ASENTAMIENTO”

3.2.6 NORMATIVAS APLICADAS A LOS GEOSINTÉTICOS

Las Normas que a continuación se describen no fueron realizadas; solo son mencionadas como parte del proceso aplicativo de cada una de las clasificaciones de los geosintéticos:

- “Método para la Determinación de la Resistencia al Estallido de Geotextiles” ASTM D 3786
- “Método de Muestreo de Geosintéticos para Ensayos” ASTM D 4354
- “Método de Ensayo para Medir el Deterioro de Geotextiles a la Exposición de Luz Ultravioleta y Agua” ASTM D 4355
- “Método para la Determinación de la Permeabilidad al Agua de los Geotextiles por Medio de la Permitividad” ASTM D 4491
- “Método para la Determinación de la Resistencia al Rasgado Trapezoidal del Geotextil” ASTM D 4533
- “Método para la Determinación de la Carga de Rotura y la Elongación de Geotextiles” ASTM D 4632

- “Método de Ensayo para Determinar la Tasa de Flujo y la Transmisividad Hidráulica de un Geosintético” ASTM D 4716-03
- “Método Estándar para la Determinación del Tamaño de Abertura Aparente (TAA) de un Geotextil” ASTM D 4751
- “Practica para Establecer la Conformidad de Especificaciones de Geosintéticos” ASTM D 4759
- “Método para la Determinación del Índice de Resistencia al Punzonamiento de Geotextiles, Geomembranas y Productos Relacionados” ASTM D 4833
- “Medida del Potencial de Colmatación de un Sistema Suelo-Geotextil por la Variación del Gradiente Hidráulico” ASTM D 5101-90
- “Método de Ensayo Estándar para Determinar el Espesor Nominal de Geotextiles y Geomembranas” ASTM D 5199
- “Método Estándar para Medir la Masa por Unidad de Área de Geotextiles” ASTM D 5261
- “Método de Ensayo Estándar para Determinar el Coeficiente de Fricción Suelo-Geosintético y Geosintético-Geosintético por el Método de Corte Directo” ASTM D 5321-02
- “Método Estándar para Determinar la Retención de Asfalto de Geotextiles Usados en Repavimentaciones Asfálticas” ASTM D 6140

CAPITULO IV

**“METODOLOGÍA EXPERIMENTAL,
ENSAYOS Y APLICACIÓN IN SITU DE
LA ESTRUCTURA PARA
ESTACIONAMIENTOS DE CONCRETO
PERMEABLE”**

4.1 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO GRUESO

Una propiedad física es aquella estructura del objeto, que es visible y medible, por ende, pueden definirse mediante la observación y la medición.

4.1.1 UBICACIÓN Y SELECCIÓN DEL BANCO DE EXTRACCIÓN

Un agregado de buena calidad consiste de partículas sin fracturas, resistentes a la abrasión, con graduación adecuada y sin formas planas o alargadas; prefiriendo aquellos agregados que no pierden resistencia cuando se humedecen o se secan.

No deben usarse agregados que contengan materiales orgánicos ya que interfieren en la aplicación para la que se ha designado.

La durabilidad de una obra, el tipo y características de los materiales de construcción son puntos básicos en la planeación y costeabilidad de una edificación, donde el estudio del banco de extracción de la materia prima es el punto elemental del Ingeniero.

De ahí la importancia de realizar una investigación preliminar (topografía, geología, áreas potenciales útiles) y detallada (ubicación, tamaño, forma, tipo, estructura) del lugar y del comportamiento del material a extraer (grava, grava triturada, arena, escoria volcánica) para los futuros ensayos de laboratorio que marcaran la capacidad de estos y que estén dentro de los límites de tolerancia de las especificaciones usuales.

Lo que permite reconocer el material más sano, de textura adecuada, no reactivo y que se encuentran en volúmenes suficientes en la fuente de abastecimiento para la explotación y transporte sumamente accesible. Podemos deducir que la ubicación más probable del banco de extracción de la materia prima a utilizar para fines de este trabajo de investigación se encuentra en:

4.1.1.1 ARENERA SINAÍ. La ubicación de la Cantera es de fácil acceso, lo que hace posible la llegada al insumo y su influencia en el mercado. Entre sus características podemos mencionar:

- Ubicación: N13°25'45.8058" y W88°6'0.93168"
- Acceso: km 149 y medio de la carretera Panamericana, en el cantón Miraflores departamento de San Miguel
- Propietario: Miguel Lovo
- Material: arena, grava, bloques, balastro, piedra y material selecto
- Profundidad: 1.5m
- Top Soil: 0.15m
- Over: 11,812.5m³
- Área aproximada: 35,000m²
- Potencia bruta: 52,500m³
- Potencia neta: 47,250m³
- Desbroce: 5,250m³
- Potencia efectiva: 35,437.5m³

La **tabla 4.1** muestra las coordenadas GPS de la Cantera Sinaí.

Tabla 4.1 Coordenadas GPS de la Cantera Sinaí

Coordenadas GPS		
Nombre	Latitud (LAT)	Longitud (LONG)
Sinaí	13.429391	88.100259
	N13°25'45.8058"	W88°6'0.93168"

Fuente: Elaboración del Grupo de Tesis

La **Figura 4.1** muestra el acceso al área de estudio de la materia prima de abastecimiento.

Figura 4.1 Imagen satelital de la ubicación a Cantera Sinaí



Fuente: Google Maps

4.1.1.2 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXTRACCIÓN. Con base a la Norma ASTM D75 “Practica Estándar para el Muestreo de Agregados”, abarca la toma de muestra de agregados finos y gruesos para los siguientes propósitos:

- a) Investigación preliminar de la fuente potencial para el abastecimiento,
- b) Control del producto,
- c) Control de las operaciones del sitio y
- d) Aceptación o rechazo de los materiales.

La calidad de los resultados de este dependerá de la competencia del personal que desarrolla el procedimiento, calibración y mantenimiento de los equipos usados. Las muestras de los materiales para control de la producción en la fuente o control del trabajo en el sitio, son obtenidas por el fabricante, contratista u otra parte responsable que realice el trabajo. Las muestras para ensayo en decisiones de aceptación o rechazo, serán obtenidas por el comprador o su representante autorizado.

Existen cuatro tipos de toma de muestras, estas son:

- 1) Muestreo desde un Flujo de Descarga (Descarga de una Banda o Contenedor):

Se toma una porción de la sección transversal del chorro del material que esta siendo descargado,

- 2) Muestreo desde una Banda Transportadora:

Se inserta dos escotillones cuyas formas coinciden con la banda, espaciándolos de tal manera que el material que queda comprendido entre ambos tenga la porción y peso requerido,

3) Muestreo desde una Pila de Almacenamiento o Unidad de Transporte:

Es aplicable para muestreos de camiones, vagones, barcazas y otras unidades de transporte, y

4) Muestreo desde la Carretera:

Se toma una porción de material de la base o sub base con el espesor completo de la carretera.

Para fines del trabajo de investigación, se optó por el Muestreo desde una Pila de almacenamiento sabiendo que es difícil asegurar muestras imparciales, debido a la segregación, la cual ocurre frecuentemente cuando el material es apilado, con partículas gruesas rodando a la base.

La **figura 4.2** muestra las instalaciones dentro de la Cantera Sinaí y la **figura 4.3** muestra un ejemplo de apilamiento del agregado.

Figura 4.2 Instalaciones de la Cantera Sinaí



Figura 4.3 Pila de Almacenamiento



Fuente: Grupo de Tesis

En donde las muestras del apilamiento deben ser tomadas desde arriba a menos del tercio superior, de la zona media y del tercio inferior del volumen de la pila.

4.1.2 ENSAYOS REALIZADOS AL AGREGADO GRUESO

Los ensayos mencionados a continuación se realizaron con base a los estándares ASTM (American Society for Testing and Materials), estos únicamente se hicieron para el agregado grueso.

4.1.2.1 REDUCCIÓN DE MUESTRAS DE AGREGADO A TAMAÑO DE PRUEBA. Con base a la Norma ASTM C702 “Practica Estándar para Reducir Muestras de Agregado a Tamaño de Prueba”, proporciona procedimientos para reducir la muestra obtenida en el campo al tamaño conveniente para realizar ensayos que describen el material y su calidad de tal manera que la porción más pequeña sea representativa del total del suministro.

Las especificaciones para agregados requieren el muestreo de porciones de material para ensayo. Esta práctica proporciona procedimientos para reducir la muestra total obtenida en el campo o producida en el laboratorio al tamaño conveniente para realizar un numero de ensayos para describir el material y la falla en el seguimiento de los procedimientos puede resultar en suministrar una muestra no representativa.

Para la selección del método se hablará de tres posibles casos que son:

a) Método A “Cuarte Mecánico”

Es un partidador de muestra que tiene un número igual de conductos, pero no menos que un total de ocho para agregado grueso con un tamaño máximo de 1 ½” y doce para agregado fino con un tamaño de ½” a ¾”, el cual descarga alternamente a cada lado del partidador. El partidador estará equipado con dos recipientes que reciben las dos mitades de la muestra después de partirla.

b) Método B “Cuarteo Manual”

Se coloca la muestra sobre una superficie recta, limpia y nivelada que no produzca pérdida ni adición accidental de algún otro tipo de material extraño. Traslape la muestra al menos tres veces para obtener una mezcla homogénea, cuidadosamente distribúyala con un cucharón a un espesor considerado y divida la porción en cuatro partes iguales removiendo los cuartos diagonalmente opuestos.

c) Método C “Apilado en Miniatura”

Para agregado fino coloque la muestra sobre una superficie dura, limpia y nivelada donde no se produzcan pérdidas de material ni adición de materiales extraños. Mezcle y traslape la muestra al menos tres veces hasta obtener una mezcla homogénea. Forme una pila cónica y tómese al menos cinco porciones del material al azar.

En áridos finos: en condiciones saturadas superficialmente seca se sugiere utilizar el Método A, y en condiciones de humedad superficial el Método C.

En áridos gruesos y mezclas de áridos finos y gruesos: utilizar el Método A y el Método B, ya que en el Método C “Pilas en Miniatura” no se permiten agregados gruesos o una mezcla de agregados gruesos y finos.

Para fines del trabajo de grado se optó por el Método A “Cuarteo Mecánico” ya que este método permite a áridos gruesos y mezcla de áridos finos y gruesos separarse con facilidad para su reducción y estudio.

Materiales y Equipo

- Divisor mecánico
- Una bandeja metálica
- Un cucharón
- Muestra
- Cubetas
- Una escoba

Procedimiento:

1. Se instaló el divisor mecánico y sus receptáculos a ambos lados que reciben el material que fluye por los conductos.

Figura 4.4 Partidor Mecánico

Fuente: Grupo de Tesis

2. De la muestra obtenida bajo la Norma ASTM D75, se colocó en la bandeja metálica traslapándola uniformemente para lograr una mezcla homogénea de todas las partículas.

Figura 4.5 Distribución de la Muestra

Fuente: Grupo de Tesis

3. Con la ayuda de un cucharón se tomó la muestra de la bandeja metálica y se distribuyó en la tolva del partidor mecánico de lado a lado.

Figura 4.6 Distribución de la muestra en la tolva



Fuente: Grupo de Tesis

4. Una vez distribuida la muestra en la tolva del partidor mecánico, se halo la manecilla que abre paso al material por los conductos que fluye en cantidades aproximadamente iguales.

Figura 4.7 Manecilla del Partidor Mecánico



Fuente: Grupo de Tesis

5. Se reviso que no quedara muestra estancada en los conductos del partidor mecánico con la ayuda de una brocha para abrir paso.

Figura 4.8 Vista de los conductos del partidor mecánico



Fuente: Grupo de Tesis

6. Se retira del partidor mecánico ambos receptáculos y se procede a utilizar uno de las dos para los ensayos correspondientes.

Figura 4.9 Receptáculos del Partidor Mecánico



Fuente: Grupo de Tesis

4.1.2.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO. Con base a la Norma ASTM C136 “Método de Ensayo Normalizado para la Determinación Granulométrica de Agregados Finos y Gruesos” y C33 “Especificación Normalizada para Agregados para Concreto”, definen requerimientos de graduación y calidad de los agregados que serán usados para concreto.

Por granulometría o análisis granulométrico de un agregado se entenderá todo procedimiento manual o mecánico por medio del cual se puede separar las partículas constitutivas del agregado según sus tamaños.

Por agregado grueso diremos: grava, grava triturada, roca triturada, escoria de hornos de explosión, concreto de cemento hidráulico triturado o una combinación de lo anterior, de acuerdo a esta norma.

Debe cumplir los requerimientos de graduación especificados para cada número de tamiz y libre de sustancias perjudiciales como: arcillas, carbón y lignito. El tamaño será en función de las necesidades del diseño del concreto.

Materiales y Equipo

- Horno
- Balanza
- Juego de mallas (1/2”, 3/8”, #4, #8, #16, #50, Fondo)
- Un agitador mecánico (Ro-tap)
- Recipientes de lamina
- Cepillo de alambre
- Muestra

Procedimiento:

1. Se tomo muestra de uno de los receptáculos del partidor mecánico y se secó al horno por $24 \pm 4h$.

Figura 4.10 Horno de Laboratorio Model 40GC Lab Oven**Fuente:** Grupo de Tesis

2. Pasado el tiempo y esperando a que enfrié la muestra, se tomó 1000g con base a la norma C136.

Tabla 4.2 Porción de la muestra según el tamaño máximo nominal del agregado

Nominal Maximum Size, Square Openings, mm (in.)	Test Sample Size, min, kg (lb)
9.5 (3/8)	1 (2)
12.5 (1/2)	2 (4)
19.0 (3/4)	5 (11)
25.0 (1)	10 (22)
37.5 (1 1/2)	15 (33)
50 (2)	20 (44)
63 (2 1/2)	35 (77)
75 (3)	60 (130)
90 (3 1/2)	100 (220)
100 (4)	150 (330)
125 (5)	300 (660)

Fuente: Norma ASTM C136 numeral 7.4

3. Se colocó la muestra seleccionada en la pila de mallas (1/2", 3/8", #4, #8, #16, #50 y fondo) y con la ayuda del agitador mecánico se tamizó por un periodo de 15 minutos.

Figura 4.11 Agitador Mecánico



Fuente: Grupo de Tesis

4. Pasado el tiempo requerido y bajando las mallas del agitador mecánico, se pesó el material que quedó retenido en cada uno de los tamices guardando la información para los cálculos correspondientes.

Figura 4.12 Pesos retenidos por cada malla



Fuente: Grupo de Tesis

4.1.2.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN. Con base a la Norma ASTM C127 “Método de Ensayo Normalizado para Determinar la Densidad, la Densidad Relativa (Gravedad Especifica), y la Absorción de Agregados Gruesos”, que cubre dependiendo del procedimiento, la densidad en (kg/m³ o lb/ft³) y se expresa como condición secada al horno (OD), condición saturada superficialmente seca (SSD), densidad aparente y la absorción de la misma.

Se usa para determinar la densidad de una porción del todo dando un valor promedio que representara a la muestra.

Esta norma no puede ser usada para agregados de peso ligero y la muestra debe ser sumergida en agua en un lapso de 24 ± 4 h, para lograr una condición saturada en los poros del agregado.

Materiales y Equipo

- Balanza
- Canastilla de suspensión
- Tamiz N°4
- Una Cubeta con agua
- Horno
- Un cucharon
- Cepillo de alambre
- Una bandeja metálica
- Franelas
- Muestra

Procedimiento:

1. Se tomo una porción considerada de uno de los receptáculos del partidor mecánico con base a la norma C702 colocándola al horno por 24 ± 4 h.

Figura 4.13 Horno de Laboratorio Model 40GC Lab Oven

Fuente: Grupo de Tesis

2. Pasado el tiempo considerado y esperando que la muestra enfrié, se tamizo por la malla N°4 tomando 3kg de la muestra que queda arriba de ella y rechazando todo aquel material que pasa a través de ella.

Figura 4.14 Tamizaje por la Malla N°4

Fuente: Grupo de Tesis

3. Se lavo la muestra para remover cualquier tipo de sedimento u otro tipo de recubrimiento de la superficie.

Figura 4.15 Lavado de la muestra por el Tamiz N°4



Fuente: Grupo de Tesis

4. Se dejo la muestra lavada, sumergida en una cubeta con agua por 24 ± 4 h. Tomando nota de los pesos aparente de la cestilla de suspensión vacía y la cestilla de suspensión con la muestra.

Figura 4.16 Muestra sumergida en agua



Fuente: Grupo de Tesis

5. Pasado el tiempo requerido, se sacó la muestra sumergida y con ayuda de franelas se secó hasta una condición saturada superficialmente seca. Tomando nota de su peso en dicha condición.

Figura 4.17 Condición saturada superficialmente seca



Fuente: Grupo de Tesis

6. Se dejó la muestra secando al horno por 24 ± 4 h. Pasado el tiempo requerido y una vez la muestra se enfría, se toma nota de su peso en condición secada al horno para los cálculos correspondientes al ensayo.

Figura 4.18 Condición secada al horno



Fuente: Grupo de Tesis

4.1.2.4 CAPACIDAD DEL DEPÓSITO MEDIDOR, PESOS UNITARIOS Y

VACÍOS EN EL AGREGADO. Con base a la Norma ASTM C29 “Método de Ensayo Estándar para Determinar la Densidad en Masa (Peso Volumétrico) e Índice de Huecos en los Agregados”, se refiere a la condición compactada o suelta del agregado basándose en una misma determinación. Tomándolo como la relación entre el peso de un material y el volumen ocupado por el mismo, expresado en (kg/m^3) . Se define la densidad total o bruta (bulk density) o peso unitario de los agregados como la masa de un volumen unitario de agregado, en la cual el volumen incluye el volumen de las partículas individuales y el volumen de vacíos entre las partículas.

Se establecen otros requerimientos para los moldes tales como que sean de forma cilíndrica, que disponga de asas, que sea impermeable y con la parte superior e inferior planos y nivelados para mantener su forma ante la carga que se aplique. Valorando dos relaciones según el sistema de acomodo que se le dé al material inmediatamente después de la prueba, estas son:

1. En Estado Suelto

- a. Peso Volumétrico Suelto

Usado para la convención de peso a volumen, es decir, para conocer el consumo de agregado por m^3 de concreto.

2. En Estado Compactado

- a. Peso Volumétrico Varillado y Peso Volumétrico Sacudido

Usado para el conocimiento de volúmenes de materiales aplicados y que están sujetos a acomodamientos o asentamientos provocados por el tránsito o por la acción del tiempo.

Entendiendo por compactación a la aplicación mecánica de cierta energía o cantidad de trabajo por unidad de volumen, para lograr una reducción de los espacios entre las partículas sólidas, con el objetivo de mejorar sus características mecánicas.

Al tener un mejor acomodo de las partículas sólidas y la expulsión del aire que contiene, se produce un aumento de su peso específico o volumétrico.

Con base a estos procedimientos se dice que, dependiendo del tamaño máximo nominal del agregado, se selecciona el molde a utilizar para determinar el volumen mínimo apropiado de cada uno de los estados (suelto y compactado), características geométricas y espesor.

Asimismo, se establecen requerimientos para la forma cilíndrica de los moldes (cuya relación diámetro-altura sean similares; la altura no debe ser menor que el 80% ni mayor que 150% del diámetro).

Materiales y Equipo

- Balanza
- Deposito medidor
- Una varilla de acero de 5/8” de diámetro y 24” de largo
- Un cucharon
- Una regla metálica
- Una bandeja metálica
- Un termómetro
- Una placa de vidrio
- Franelas
- Agua potable
- Muestra

Procedimiento: Capacidad del Molde

- Se peso y midió el diámetro y profundidad del molde medidor seleccionado para el desarrollo de los ensayos.

Figura 4.19 Molde Medidor



Fuente: Grupo de Tesis

- Se lleno el recipiente con agua completamente, nivelando la superficie con una placa lisa de vidrio eliminando las burbujas de aire y el exceso de agua. Determinando el peso del molde con agua y su temperatura, para estimar el volumen ocupado en el recipiente.

Figura 4.20 Capacidad del Molde Medidor



Fuente: Grupo de Tesis

Procedimiento: En Estado Suelto

a. Peso Volumétrico Suelto

- Se peso el molde medidor vacío.

Figura 4.21 Molde Medidor



Fuente: Grupo de Tesis

- Se lleno el recipiente medidor con el agregado en su estado suelto, con la ayuda del cucharón metálico a una altura que no exceda de 2" por encima del borde superior. Nivelando con una regla enrasadora teniendo el cuidado de no presionar para no compactar su estado suelto.

Figura 4.22 Procedimiento en Estado Suelto



Fuente: Grupo de Tesis

- Seguidamente se pesó el molde medidor con el agregado.

Figura 4.23 Pesaje del recipiente medidor con el agregado



Fuente: Grupo de Tesis

- Se repitió dos veces lo anterior con el fin de obtener un promedio de los pesajes, guardando los datos correspondientes para realizar una serie de cálculos.

Figura 4.24 Pesajes del Recipiente Medidor con el Agregado



Fuente: Grupo de Tesis

Procedimiento: En Estado Compactado

a. Peso Volumétrico Varillado

- Se pesó el recipiente medidor vacío.

Figura 4.25 Molde Medidor



Fuente: Grupo de Tesis

- Se introdujo el agregado en el recipiente medidor llenándolo en tres capas de igual altura; compactando cada capa con 25 golpes con la ayuda de la varilla lisa de acero de 5/8" de diámetro y 24" de largo. La tercera capa se llenó a dos tercios de su altura y luego se niveló con la ayuda de la regla enrasadora.

Figura 4.26 Procedimiento de Consolidación por Varillado



Fuente: Grupo de Tesis

- Se peso el recipiente medidor con el agregado.

Figura 4.27 Pesaje del Recipiente Medidor con el Agregado



Fuente: Grupo de Tesis

- Se repito dos veces lo anterior con el fin de obtener un promedio de los pesajes, guardando los datos correspondientes para realizar una serie de cálculos.

Figura 4.28 Pesajes del Recipiente Medidor con el Agregado



Fuente: Grupo de Tesis

b. Peso Volumétrico Sacudido

- Se peso el recipiente medidor vacío.

Figura 4.29 Molde Medidor

Fuente: Grupo de Tesis

- Se lleno el recipiente con tres capas aproximadamente iguales de agregado. Compactando cada capa levantando alternadamente los lados opuestos del molde a una altura alrededor de 2” dejando caer 50 veces; 25 veces cada lado. La última capa se llena por encima de la superficie a 2” aproximadamente y se nivelo con la ayuda de la regla enrasadora.

Figura 4.30 Procedimiento de Consolidación por Sacudido

Fuente: Grupo de Tesis

- Se peso el recipiente medidor con el agregado.

Figura 4.31 Pesaje del Recipiente Medidor con el Agregado



Fuente: Grupo de Tesis

- Se repitió dos veces lo anterior con el fin de obtener un promedio de los pesajes, guardando los datos correspondientes para realizar una serie de cálculos.

Figura 4.32 Pesajes del Recipiente Medidor con el Agregado



Fuente: Grupo de Tesis

4.2 RESUMEN DE DATOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS

Para la elaboración de concreto permeable, se evaluaron las propiedades físicas del agregado grueso y se describen en un cuadro resumen de la siguiente manera:

Tabla 4.3 Criterios de diseño de mezcla

Ensayo	Datos.
Tamaño de partículas (ASTM C-136).	3/8"
Gravedad especifica saturada superficialmente seco. (SSS). (ASTM C-127).	2.55
Porcentaje de absorción (ASTM C-127).	2.1%
Peso volumétrico varillado (ASTM C-29)	1,483.92 Kg/m ³

Fuente: Grupo de Tesis

→ **Cálculo de fibras por volumen y porcentajes.**

La dosificación del 10% y 25% fue basado en manual técnico de fibras para concreto con densidades del 0.4 Kg/m³- 0.6Kg/m³ y volúmenes descritos en apartado (**tabla 4.4**).

Tabla 4.4 Dosificación de fibras para diseño por volumen total de materiales

Diseño	volumen (m ³)	Masa(kg)/m ³	Bachada (m ³)	Masa (g) /m ³
18% de vacíos	4.12	1.48	0.09	36
20% de vacíos	3.71	2.47	0.09	54

Fuente: Grupo de Tesis

4.2.1 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE

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

El diseño de mezclas del concreto permeable se asemeja al diseño de mezclas del concreto convencional por el método del ACI, se realizaron dos diseños en contenidos del 18% y 20% de vacíos.

4.2.1.1 SEGÚN LA ASOCIACIÓN NACIONAL DE CONCRETO

PREMEZCLADO (NMRCA). Para obtener el diseño de mezcla de nuestro concreto no convencional, se tuvo en cuenta la metodología través de un software desarrollado por la NRMCA (NATIONAL READY MIXED CONCRETE ASSOCIATION) y en la cual posteriormente se realizaron los ajustes necesarios para elaborar una mezcla de diseño definitiva.

→ **Los Materiales.**

Se diseño en base a materiales que están en la zona oriental y cemento de resistencias a edades tempranas, más la proporción de aditivos reductor de agua (Megaflo).

→ **Materiales Cementantes:**

Se ha optado por trabajar con Cemento Portland tipo I (ASTM C150) marca Cemento Regional y Holcim 5000 por ser de uso general para obras sin especificaciones particulares, y de alto desempeño. El peso específico fue considerado como 3.15 gr/cm^3 .

→ **Agregados:**

Se utilizaron los agregados provenientes de la cantera de Aramuaca San Miguel, para el diseño se consideró el tamaño estándar N° 89 (ASTM C-33).

→ **Tiras de Polipropileno:**

El tamaño (3 mm x 30 mm), la cantidad y material de Tiras que se consideraron en la presente investigación fueron determinados de acuerdo con las conclusiones y recomendaciones de antecedentes de la investigación, como se presentan en el Ítem:

Fundamentos para definir el trabajo de la Metodología de Investigación del Capítulo III.

Procedimiento de diseño

Con los resultados presentados anteriormente se procedió a introducir los datos que el Software necesita para calcular la cantidad de material a utilizar en las distintas bacheadas para el moldeo de especímenes de concreto permeable.

Paso 1: campos de entrada del diseño

La figura muestra los diferentes campos de entrada y de salida, los colores significan que tipo de datos son; el color anaranjado significa que es un campo en el que el usuario debe introducir y que por ende es necesario para el cálculo posterior, el color amarillo es un campo opcional y el color celeste que es el resultado de las operaciones.

En los datos de entrada se coloca la descripción en la sección izquierda y la indicación en la sección derecha de la siguiente manera (**ver figura 4.33**), inicia con la descripción donde se elabora la mezcla de concreto permeable, tipo de mezcla, participantes de la mezcla y el día de su elaboración. Las características del agregado indican en la sección inferior.

Paso 2: características de los agregados

Para el diseño de mezcla se ha introducido el valor de la gravedad específica y absorción del agregado grueso (ASTM C127-07) y del peso unitario del agregado (ASTM C29- 03).

Para el diseño de la mezcla no se introdujo ningún porcentaje de arena.

Los resultados de detallan en cuadrante azul dando un valor del **40.6%** de contenido de vacíos en base al peso volumétrico del agregado y contenido de vacíos de diseño para un 20 %.

Datos de Entrada:

Gravedad Específica: 2.55

Absorción: 2.1 %

Peso Unitario: 1483.92 kg/m³ ≈ 92.5 lb/pie³

CALCULO:

$$Agg = 1 - \left(\frac{92.5 \frac{lb}{pie^3}}{2.55 \times 62.3 \text{ pie}^3} \right) \times 100$$

$$Agg = 40.8 \%$$

Contenido de vacíos de agregado grueso Agg = 41%.

Figura 4.33 Datos Generales y características del Agregado

Required User Input	Optional User Input	Calculated Values
Company Name	Laboratorio de la UES-FMO.	
Mix ID		
Mixture Developed by	Kevin Flores, Wendy Zaldaña, Gerson Vasquez	
Date(s)	06/02/2021	
Aggregate Characteristics		
	Coarse Aggregate	Sand
Description	CHISPA	
Aggregate Specific Gravity (SSD)	2.55	
Aggregate Absorption, %	2.1%	
Percent Sand		
Dry-Rodded Density (Unit Weight), lb/ft ³	92.5	
Aggregate Void Content, %		40.6%

Fuente: Captura de pantalla del Software: Pervious Concrete Mixture – NRMCA

Paso 3: características del cemento.

La figura muestra el valor de la gravedad específica del cemento. Se introdujo la cantidad de aditivo (onzas fluidas por 100 libras de cemento) Para los requisitos de la mezcla se necesita lo siguiente:

- En las características del cemento el cuadrante amarillo indica el tipo de cemento que se utilizara el CEMENTO REGIONAL ASTM C-150 TIPO 1 y el CEMENTO HOLCIM 5000 ASTM C-150 TIPO 1 con densidades de 3.15 (3,150 Kg/cm³).

Paso 4: características de los aditivos.

- En el campo de entrada dos se describen los aditivos que se utilizaran en este diseño, en el cuadrante amarillo nombre del aditivo Megaflo, reductor de agua de alto rango y su densidad.

Paso 5: requerimientos de mezcla y criterios de diseño

1- Para el campo tres explica los requerimientos que lleva la mezcla de concreto permeable, en cuadrante uno se indica un 20% de vacíos de diseño recomendaciones del ACI 211.3R, una relación agua cemento del rango 0.28-0.42, tomando un valor de 0.32, y un índice de compactación del 5%.

2- Se obtienen los resultados en la cantidad de pasta por volumen de un 25.6% para seguidamente obtener los cálculos de la cantidad de materiales a utilizar y su volumen expresado en yardas cubicas/pies cúbicos (yd^3/ft^3).

CÁLCULO:

$$CÁLCULO DE PV (\%) = 41\% + 5\% - 20\%.$$

CÁLCULO DE VOLUMEN DE PASTA POR YARDA CUBICA (Y^3).

$$PV(Y^3) = PV\% \times 27$$

$$PV(Y^3) = 0.26 \times 27$$

$$VOLUMEN DE PASTA PV(Y^3) = 7\%$$

PESO ESPECÍFICO DE LA RELACIÓN AGUA CEMENTO (w/cm)

$$W = \frac{M_w}{[M_c + M_{c/cm}]}$$

$$\left(\frac{W}{cm}\right) W = \frac{1000kg/m^3}{3150kg/m^3}$$

$$\left(\frac{W}{cm}\right) W = 0.32$$

PESO VOLUMETRICO DE RELACIÓN AGUA CEMENTO

$$\left(\frac{w}{cm}\right) V = \left(\frac{w}{cm}\right) W \times RD_{cm}$$

$$\left(\frac{w}{cm}\right) V = 0.32 \times 3.15$$

PESO VOLUMÉTRICO DE RELACION AGUA CEMENTO $\left(\frac{w}{cm}\right) V = 1.008$

VOLUMEN ABSOLUTO DE LA CANTIDAD TOTAL DE MATERIAL CEMENTANTE

$$V_{cm} \text{ ft}^3 = \frac{P_v}{[1 + (W/cm)v]}$$

$$V_{cm} \text{ ft}^3 = \frac{7.02}{1 + 1.008}$$

VOLUMEN DE ABSOLUTO DE LA CANTIDAD CEMENTANTE $V_{cm} \text{ FT}^3 = 3.44$

VOLUMEN ABSOLUTO DE PASTA

$$PV (\%) = V_w + V_{cm}$$

$$7 = V_w + 3.4$$

$$V_w = 3.6$$

VOLUMEN ABSOLUTO DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS

$$V_{ugg} = 27 - (P_v + V_{vacio})$$

$$V_{ugg} = 27 - (7 + 5.4)$$

$$V_{vacio} = P_v \times 27$$

$$V_{vacio} = 0.20 \times 27$$

$$V_{vacio} = 5.4$$

VOLUMEN ABSOLUTO AL AGREGADO $V_{ugg} = 14.6$

CANTIDAD DE MATERIALES

$$d_c = 3,150 \text{ kg/m}^3 = 196.6481 \text{ libra/p}^3$$

$$196.6481 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^3} = \frac{m}{3.44}$$

$$m = 676.47 \text{ lb de cemento}$$

MISMO PROCEDIMIENTO PARA LOS DEMAS MATERIALES PORCENTAJE DE VOLUMEN DE PASTA.

$$V_p = \frac{27 \text{ Ft}^3}{3.44} \times 100$$

$$V_p = 12.74 \%$$

MISMO PROCEDIMIENTO PARA LOS DEMAS MATERIALES

Figura 4.34 Campos de Entrada para las características del Cemento/ Aditivos / Contenido de vacíos / Relación agua – material cementante

Cement Characteristics		
	Portland cement	SCM
Description	REGIONAL TIPO 1	
Specific Gravity	3.15	
SCM % of cementitious		
Admixtures		
	Type/Source	Dosage
<input checked="" type="checkbox"/> Admixture1 (fl. oz./cwt)	MEGAFLOW	15.34
<input type="checkbox"/> Admixture2 (fl. oz./cwt)		
<input type="checkbox"/> Admixture3 (fl.oz./cwt)		
Mixture Requirements		
<input checked="" type="checkbox"/> Design Void Content, %	20%	
<input checked="" type="checkbox"/> Water-to-Cementitious Ratio	0.32	
<input checked="" type="checkbox"/> Compaction Index, %	5%	
Recommended Paste Volume, %	25.6%	
<input checked="" type="checkbox"/> User Selected Paste Volume, %		
Paste volume, ft ³ /yd ³	6.92	

Fuente: Captura de pantalla del Software: Pervious Concrete Mixture – NRMCA

Paso 6: proporciones de mezcla para concreto permeable.

Después de determinar la relación agua /cemento se estima la cantidad de cemento, agregado grueso, agua, y aditivo que se utilizara para una yarda cubica se expresa en lb (**ver figura 4.35**). Se determina el volumen de cada material para obtener el porcentaje de vacíos de diseño de un 20%, su peso volumétrico teórico expresado en lb/ft³, los resultados se muestran a continuación en la siguiente figura.

Figura 4.35 Valores calculados para una yarda cúbica de concreto permeable

Pervious Concrete Mixture Proportions

Required User Input Calculated Values
Optional User Input

Mixture Proportions - for 1 cubic yard

Mixture Component	Weight, lb	Volume (ft ³)	Volume (%)
Cement	677	3.44	12.8%
SCM	0		
Coarse Aggregate, SSD	2337	14.68	54.4%
Sand, SSD	0		
Water	217	3.47	12.9%
MEGAFLOW, fl.oz.	103.8		
Design Void Content, %		5.40	20.0%
Total weight, lbs		3230	
Total volume, ft ³			27.00
Design Density, lb/ft ³			119.6
Theoretical density (void free), lb/ft ³			149.5

Fuente: Captura de pantalla del Software: Pervious Concrete Mixture – NRMCA

Paso 7: proporciones de mezcla para batchadas de prueba

El método para realizar los especímenes se expresa en pie cúbicos, para realizar el procedimiento que se detallara en la siguiente figura se necesita conocer la cantidad de litros que tiene un cilindro y viga proporcionando el ajuste de 1% de material por el contenido de humedad para un cilindro se tiene un volumen de 0.0055m^3 (5.5L), y la viga 0.0135m^3 (13.5L) se utilizó un factor de desperdicio del 25% dando como resultados de la proporciones para nueve cilindros y seis vigas un total de 142L (5 pie³), los resultados se expresan en la figura.

Figura 4.36 Cantidades de material para batchadas de moldeo de especímenes

Batch Quantities		
	Cu. Feet	Cu. Yards
Batch Size	5.0	1.31
Coarse agg. total moisture, %	1.0%	
Sand total moisture, %		
Mixture Ingredient	Lab	Production
Cement	125.4 lb	886.8 lb
SCM	0.0 lb	0.0 lb
Wet Coarse aggregate	428.3 lb	2999.5 lb
Wet Sand	0.0 lb	0.0 lb
Batch Water	44.6 lb	345.3 lb
		41.4 gal
HELP Added extra water		lb
MEGAFLOW	568.6 mL	136.0 fl.oz
		fl.oz
		fl.oz
HELP Measured Density, lb/cu.ft		
Calculated Voids, %		

Fuente: Captura de pantalla del Software: Pervious Concrete Mixture – NRMCA

4.2.1.2 ELABORACIÓN DE LA MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE. Para la elaboración del concreto permeable se dosificaron dos mezclas del diseño (con 20% de vacíos) con la inclusión del aditivo reductor de agua y las tiras de polipropileno.

Equipo.

Concretera de una bolsa

Recipientes de 19L

balanza

Procedimiento de mezcla

Para elaborar la mezcla de concreto permeable se pesa en kg el agregado grueso y utilizando recipientes vacíos se adiciona en 20kg cada recipiente como se muestra en la **figura 4.37**.

Figura 4.37 Grava #0 (chispa), de tamaño 3/8 según ASTM C-33



Fuente: Grupo de Tesis

Se utilizo el cemento ASTM C-150 Tipo 1 (ver figuras), para concretero estructural de resistencias tempranas, la cantidad se pesó en kilogramos según diseño de mezclas.

Figura 4.38 Tipos de cemento y cantidad utilizada para bachadas de prueba



Fuente: Grupo de Tesis

El agua que se utilizó en la mezcla es potable (**ver figuras 4.39**) la medición fue en kilogramos, utilizando un recipiente de 19L.

Figura 4.39 Cantidad de agua según diseño de mezcla



Fuente: Grupo de Tesis

El aditivo que se aplicó al concreto permeable fue un reductor de agua de alto rango MEGAFLOW midiendo los ml con un recipiente y probeta según diseño. (ver figura 4.40) y un visctrol un modificador de viscosidad.

Figura 4.40 Aditivo reductor de agua de alto rango, MEGAFLOW y VISCTROL



Fuente: Grupo de Tesis

4.2.1.2.1 MEZCLA I DE CONCRETO PERMEABLE SIN FIBRAS DE

POLIPROPILENO. Se fue colocando primero una porción de agua, seguidamente el agregado grueso hasta obtener una consistencia de mezcla, cemento en base a características del diseño, y el aditivo con el tiempo de mezclado (ver figura 4.41), seguidamente se mide la consistencia del concreto hasta donde se obtiene una pasta ideal (ver figura III, IV, V) y se prepara para realizar las bachadas de prueba (ver figura VI). Para la proporción volumétrica de esta mezcla se aplicó 100 Litros de volumen a la concretera (ver sección de diseño) para obtener un volumen de pasta y realizar las bachadas de prueba para vigas prismáticas y cilindros.

4.2.1.2.2 MEZCLA II DE CONCRETO PERMEABLE CON FIBRAS DE

POLIPROPILENO. Se realiza similar procedimiento con la cantidad de agregados, cemento, agua y aditivos, para la adición de fibras de polipropileno se aplica en cantidad de gramos bajo la norma ASTM (ver figura 4.42) y el siguiente calculo, en el procedimiento de mezcla se coloca las fibras de polipropileno en porciones a la concretera hasta terminar su volumen.

Figura 4.42 Concreto permeable con fibra



Fuente: Grupo de Tesis

Figura 4.41 Procedimiento de mezcla del concreto permeable sin fibras de polipropileno



(I)



(II)



(III)



(IV)



(VI)



(V)

Fuente: Grupo de Tesis

4.2.1.3 ELABORACIÓN DE ESPÉCIMENES. Debido a que no existe una normativa que especifique la práctica de moldeo de especímenes de prueba, se ha seguido el procedimiento que la NRMCA (National Ready Mixed Concrete Association) ha llevado a cabo en la investigación respecto al diseño de mezclas de concreto permeable en los especímenes cilíndricos, y presentando una propuesta para el moldeo de vigas rectangulares en concordancia con algunas secciones de las Norma ASTM C 192-07 – “Práctica Estándar para Elaboración y Curado en el Laboratorio de Especímenes de Concreto para Ensayo”.

4.2.1.3.1 ESPECÍMENES CILÍNDRICOS. Para moldear los especímenes de prueba se utilizaron moldes de 6” x 12” (ver figura 4.43) dichos moldes cumplen con la Normativa ASTM C 470 —Especificación Estándar de moldes para encofrado vertical de cilindros de concreto.

Figura 4.43 Moldes cilíndricos de 6”x 12”



Fuente: Grupo de Tesis

Equipos

- Moldes estándar de 6 pulg. (15 cm) de diámetro y 12 pulgadas de altura (30.48 cm).
- Martillo de Proctor Estándar de 2.4 N de peso y 0.305 m de caída.
- Collar para los moldes.

Descripción del proceso

Se buscará un sitio plano y nivelado, moldear los especímenes tan cerca como sea practicable al sitio donde ellos están siendo almacenados durante las primeras 24 horas. Colocar los moldes en una superficie rígida libre de perturbaciones.

Se utilizará un cucharón para depositar la muestra de concreto en el molde (el cucharón debe ser acorde a la medida del diámetro del cilindro esto con el objeto de no desparramar la mezcla al suelo y así evitar desperdicios) se coloca más arriba de la mitad del molde, (**ver figura 4.44 A**), es decir más de 6" luego se compacta 5 veces con el martillo de Proctor Estándar (según AASHTO T -180) (**ver figura 4.44 B**) cuyo peso es de 5 kg.

Se moldeará en dos capas, siendo enrasada la segunda capa, (**ver figura 4.44**). En el curado inicial para prevenir la evaporación del agua en el concreto, cubrir los especímenes luego del enrasado, preferiblemente con una capa plástica o algún material no absorbente ni reactivo.

Figura 4.44 Colocación de concreto en moldes cilíndricos y distribución de golpes



Fuente: Grupo de Tesis

4.2.1.3.2 ESPECÍMENES PRISMÁTICOS. Al no existir una normativa específica para el moldeo de especímenes prismáticos, se propone lo siguiente: Se utilizarán moldes conforme a lo establecido en la Norma ASTM C- 192, Sección 4 apartado 4.3 Vigas y Moldes Prismáticos. (ver figura 4.45).

Figura 4.45 Moldes de vigas prismáticos de 60cm x15cm x 15cm



Fuente: Grupo de Tesis

Luego que la mezcla de concreto permeable haya sido muestreada para la elaboración de los especímenes, se coloca el concreto dentro del molde usando un cucharón o una pala, llegando a un nivel que sobrepase la mitad de la profundidad del molde.

En correspondencia con el número de golpes (5 golpes) para el área del diámetro de un cilindro de 6" x 12" (cm²) corresponderá al área superficial del molde prismático.

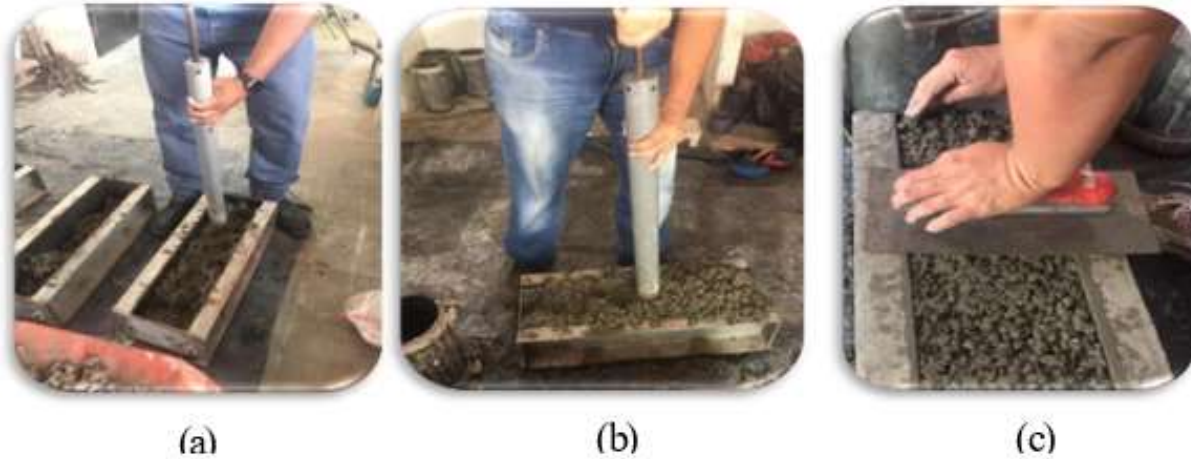
Es decir, si las medidas superficiales de un molde para viga rectangular es 15 cm de ancho y 60 cm de largo, cuya área es 900 cm², dividimos 900 entre 78.5 y luego multiplicamos por 5 para obtener el número de golpes con los que se compactará la mezcla de concreto permeable en el molde prismático.

Dimensiones del Molde para Vigas Rectangulares:

- Profundidad: 15 cm Ancho: 15 cm Largo: 60 cm
- Área superficial: $15 \times 60 = 900 \text{ cm}^2$
- N° de Golpes por capa
- $900 / 176.71 = 6$ ciclos de 5 golpes, es decir $6 \times 5 = 30$ golpes por capa.

Siempre se realizará la compactación con el martillo de Proctor según AASHTO T 180, cuyo peso es de 5 kg (10 lb), uniformemente distribuida en dos capas de 30 golpes (**ver figura 4.46 a**) seguidamente se llena hasta la parte superior y se aplica igual número de golpes hasta que sea enrasada (**ver figura 4.46 b y c**).

Figura 4.46 Procedimiento de elaboración de vigas de concreto permeable utilizando el martillo Proctor (10 lb la ASSTHO T-180)



Fuente: Grupo de Tesis

→ **Parámetros físicos del concreto permeable**

Se realizo el ensayo de peso unitario y contenido de vacíos (ASTM C-1688), para concreto permeable en estado fresco se detalla a continuación:

Densidad y contenido de vacíos de mezclas frescas de concreto permeable (ASTM C- 1688)

Este método nos permite determinar la densidad del concreto permeable en estado fresco y a su vez podemos calcular el porcentaje de vacíos de la muestra ya que conocemos las propiedades físicas de los materiales y el diseño de mezclas, en donde podemos calcular el volumen que ocupan los materiales y de esta manera determinar el porcentaje de vacíos de la mezcla.

Nota 1.- La densidad teórica determinada en laboratorio asume que la composición y proporción de los materiales de todas las mezclas son los mismos.

Esta es calculada con la siguiente ecuación:

$$T = \frac{M_s}{V_s}$$

Donde:

- **T:** Densidad teórica de la mezcla.
- **Ms:** Masa total de todos los componentes de la mezcla.
- **Vs:** Volumen de la mezcla.

La masa total de todos los materiales de la mezcla es la suma de las masas del cemento, agregado fino en la condición aturado-superficialmente-seca, agregado grueso en la condición saturada-superficialmente-seca, el agua de la mezcla, y otros materiales sólidos o líquidos usados

El volumen absoluto de cada ingrediente es igual al cociente de la masa de ese ingrediente dividida por el producto de su densidad relativa (la gravedad específica).

EQUIPO UTILIZADO

- Pisón o Martillo (5.2 kg) del Proctor Standard (ASTM D-698)
- Balanza
- Recipiente de 9lts. (ASTM C231) (**ver figura 4.47**)
- L lana.
- Muestra.

Figura 4.47 Equipos utilizados para el ensayo de peso unitario del concreto permeable



Fuente: Grupo de Tesis

- **Descripción del proceso**
 - El lugar de ensayo será una superficie plana y libre de vibración, luego humecte dentro de la medida (Olla de Washington) antes de poner el concreto permeable.
 - Retire cualquier sobrante de agua del fondo del recipiente con una esponja humedecida.
 - Coloque el concreto permeable en dos capas iguales usando un cucharón grande, durante el llenado, mueva el cucharón grande alrededor del perímetro de la apertura para asegurar una distribución igual del concreto con una segregación mínima.
 - Luego compacte con el martillo (Proctor estándar) 20 veces por cada capa a una altura de 305 mm [12 in.]. Para cada capa, distribuya uniformemente los golpes en toda la superficie.

Figura 4.48 Cálculo de contenido de vacíos de concreto permeable



Fuente: Grupo de Tesis

- Antes de compactar la última capa, se debe llenar el recipiente u olla con exceso de 3mm en todo el borde de la olla y realizar la compactación de 10 golpes, luego se verifica si la cantidad de material es suficiente y si no se corrige la deficiencia y se termina de dar los 10 últimos golpes, en caso si existiera exceso se retira.
- Finalmente se enrasa con la ayuda de una llana desde el centro hacia afuera de manera que la superficie quede nivelada.

Figura 4.49 Cálculo de contenido de vacíos de concreto permeable



Fuente: Grupo de Tesis

- **Ecuaciones para el cálculo de peso unitario y porcentaje de vacíos**

$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m} \quad U = \frac{T - D}{T}$$

Dónde:

- **D:** Peso unitario del concreto (Kg/m³)
- **T:** Densidad teórica del concreto calculada al aire libre (Kg/m³)
- **U:** Porcentaje de vacíos en estado fresco del concreto permeable, incluyendo el aire atrapado dentro de la pasta.
- **Ms:** Masa total de todos los materiales de la mezcla (Kg)
- **Mc:** Masa llenada con concreto (Kg)
- **Mm:** Masa de la medida (Olla de Washington) (Kg).

4.2.1.4 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS MECÁNICOS DE LOS ESPECÍMENES. Al igual que el concreto convencional esta propiedad en el concreto permeable no debe ser relacionada exclusivamente con la calidad del concreto, más bien debe ser vista como una de las diversas propiedades que el concreto permeable endurecido requiere para ser durable.

La resistencia a compresión del concreto poroso no es una propiedad definida al igual que el concreto convencional como pudiera suponerse debido a varios factores y condiciones cambiantes que intervienen en su determinación.

Debido a que en la actualidad se viene trabajando métodos de prueba para este ensayo (ACI 522), en el presente trabajo de investigación se tomó como referencia trabajos anteriores tanto como para la elaboración de especímenes como para el ensayo a compresión (ASTM C-39) y el ensayo a flexión (ASTM C-78) que son la evaluación de los parámetros mecánicos del concreto permeable evaluando el peso unitario en estado endurecido para las diferentes edades, se detallan a continuación el procedimiento de cada uno de ellos.

4.2.1.4.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. Se ensayaron los especímenes cilíndricos conforme la Norma ASTM C 39-05 – Método de ensayo estándar para esfuerzo de compresión en especímenes cilíndricos de concreto.

Equipo:

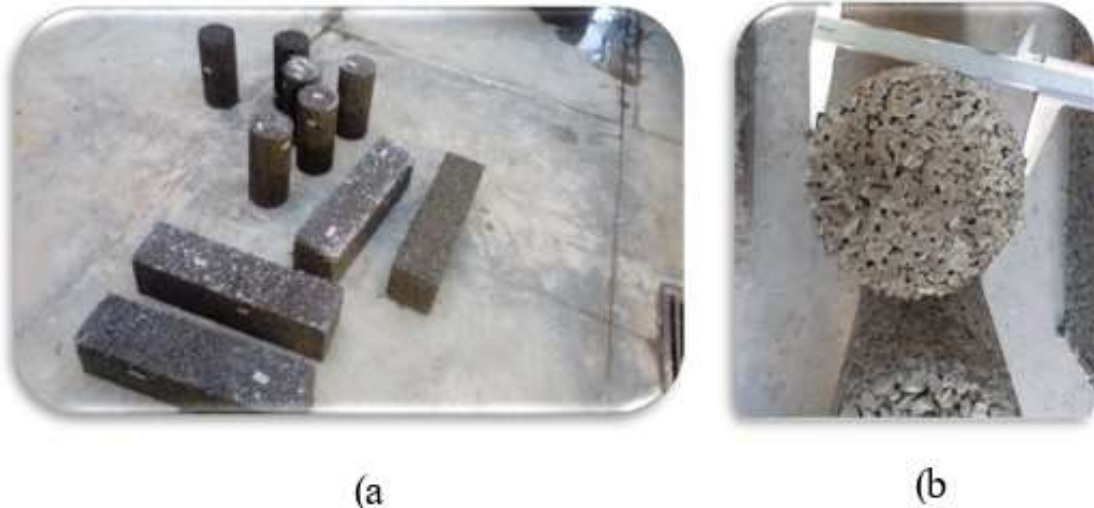
- Máquina de compresión calibrada
- Balanza
- Pie de Rey

Descripción del proceso

Previo al ensayo los especímenes estarán sumergidos en agua cumpliendo así el método de curado húmedo, esto significa que los especímenes de ensayo tendrán agua libre mantenida en el área superficial completa todo el tiempo. Se removerán del sitio de curado para luego permitir que drene el agua por su estructura porosa tomando como límite 5 minutos o también observando que el espécimen no seque totalmente, esto se nota en el agregado por lo que la referencia es que el agregado expuesto tenga la apariencia de una condición SSS (Saturado Superficialmente Seco). (Ver figura 4.50 (a)).

Se tomarán las medidas siguientes: Diámetro del cilindro, cm (promedio de dos, medido en dirección perpendicular); altura del espécimen, cm (promedio de dos medidas); masa del espécimen, gramos. (ver figura 4.50 (b))

Figura 4.50 Concreto permeable

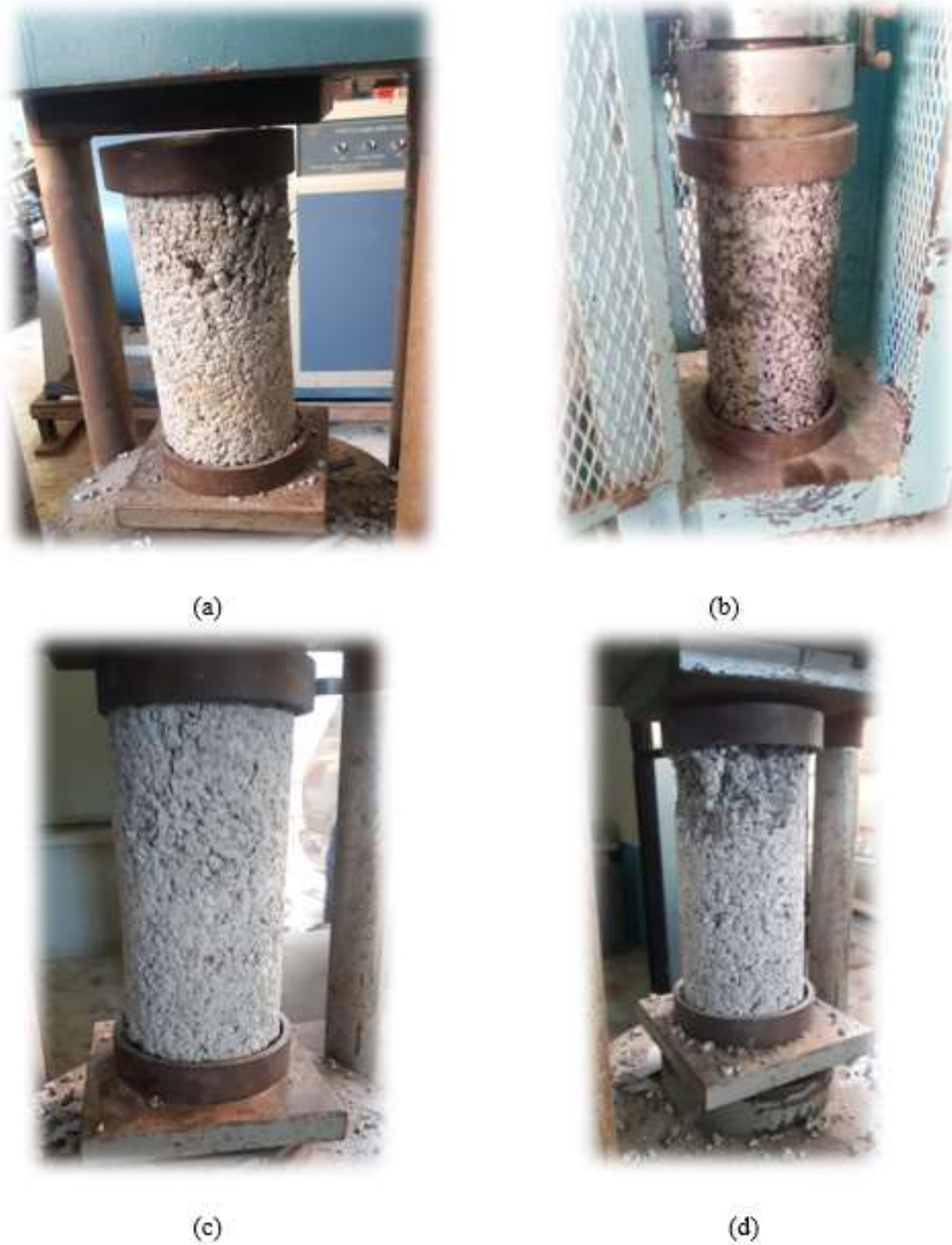


Fuente: Grupo de Tesis

Se ensayarán a la compresión usando tapas no adheridas como sistema de cabeceado, conforme a la Norma ASTM C 1231-07 -Práctica Estándar para Uso de Tapas No 213.

Adheridas en la Determinación del Esfuerzo de Compresión de Cilindros de Concreto Endurecido. Se procede como lo describe la norma ASTM C39-05, tomando el valor de carga máxima en la que falla el espécimen a la compresión. Se presentan los datos y resultados obtenidos para este ensayo en el formato. Colocación de almohadilla a concreto permeable con fibras de polipropileno (**figura 4.51(c)**) y sin fibras de polipropileno (**figura 4.51 (d)**). El cuadro resumen de los resultados se muestra en el formato siguiente donde describe para un diseño del 20% el capítulo cinco resume todos los resultados.

Figura 4.51 Procedimiento de ensayo de resistencia a la compresión y ruptura de especímenes cilíndricos



Fuente: Grupo de Tesis

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION ASTM C39

PROYECTO: "Aplicación del concreto permeable utilizando geosintéticos en la construcción de estacionamiento para diferentes tipos de suelos".

UBICACIÓN: Universidad de El Salvador FMO.

Tipo de cemento utilizado: ASTM C-150, tipo 1

Relación A/C: 0.32

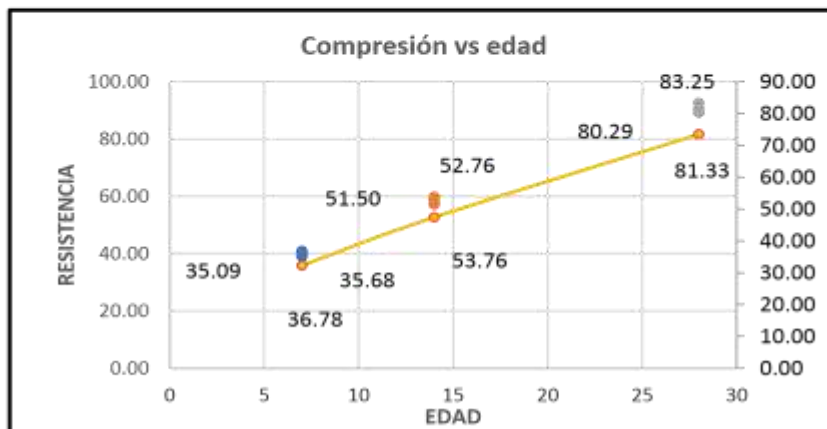
Lugar de ensayo: MZ Constructores SA. SV.

Laboratorista: Kevin Manuel Flores, Wendy Cecilia Zaldaña, Gerson Bladimir Vasquez

Tipo de muestra: Concreto Permeable sin fibras de polipropileno para un 20% de vacíos.

Observaciones: Concreto elaborado con cemento ASTM C-150, y aditivo Megaflow, reductor de agua.

No	Edad	rev. (cm)	diam (cm)	h (cm)	área (cm ²)	peso (Kg)	peso-vo (Kg/m ³)	carga (Kg)	resistencia (Kg/cm ²)	tipo de falla
1	7	0	15	30.48	176.71	8.50	1466.13	6305.7	35.68	
2	7	0	15	30.48	176.71	8.56	1476.48	6201.0	35.09	
3	7	0	15	30.48	176.71	8.34	1438.53	6500.0	36.78	
PROMEDIO									35.85	
4	14	0	15	30.48	176.71	9.05	1561.00	9323.0	52.76	
5	14	0	15	30.48	176.71	9.1	1569.62	9100.0	51.50	
6	14	0	15	30.48	176.71	9.22	1590.32	9500.0	53.76	
PROMEDIO									52.67	
7	28	0	15	30.48	176.71	9.10	1569.62	14188	80.29	
8	28	0	15	30.48	176.71	9.20	1586.87	14372	81.33	
9	28	0	15	30.48	176.71	9.23	1592.05	14711	83.25	
PROMEDIO									81.62	



4.2.1.4.2 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN. Se ensayaron las vigas prismáticas conforme a la Norma ASTM C78-08 – Método de Ensayo Estándar para Resistencia a la Flexión del Concreto (Usado viga simple con Carga a los Tercios del Claro). (ver figura 4.52), Previo al ensayo de Flexión las vigas han estado en una piscina de curado, como paso previo al ensayo se drenan las vigas a ensayar evaluando visualmente que el agregado expuesto mantenga la condición SSS (Saturado Superficialmente Seco). (Ver figura 4.52).

EQUIPOS:

- Balanza de 10g de precisión.
- Cinta métrica.
- Máquina de resistencia a la flexión.

Descripción de proceso

Coloque la muestra de modo que la cara de tensión corresponda a la parte superior o inferior de la muestra como corte del material original. Centrar el sistema de carga en relación con la fuerza aplicada. Poner los bloques de aplicación de carga en contacto con la superficie de la muestra en los terceros puntos y aplicar una carga de entre 3 y 6% de la carga final estimada. Usando calibradores de paletas de hoja de 0.10 mm [0.004 pulgadas] y 0.40 mm [0.015 pulgadas], determine si cualquier espacio entre el espécimen y los bloques de aplicación de carga o soporte es mayor o menor que cada uno de los calibres a lo largo de una longitud de 25 mm [1 in.] o más. Moler, tapar o usar cuñas de cuero en la superficie de contacto de la muestra para eliminar cualquier espacio en exceso de 0.10 mm [0.004 in.] de ancho.

Las cuñas de cuero deben tener un espesor uniforme de 6 mm [0.25 in.], una anchura de 25 a 50 mm [1.0 a 2.0 in.] y extenderse a lo largo de todo el ancho de la muestra.

La **Figura 4.52** nos muestra después del curado en estado saturado superficialmente seco (SSS), para determinar su masa (a), seguidamente según normativa ASTM C-78, se toma la longitud del claro y se resta una pulgada en cada cara, y se divide en tres tercios del claro de la viga (**figura 4.52(b)**).

Figura 4.52 Especímenes Prismáticos



Fuente: Grupo de Tesis

Se obtiene la masa de cada viga colocándolos en una balanza con precisión 10 g. Se coloca la viga en el conjunto donde se realizará el ensayo (**ver figura 4.52 (b)**), cuidando de cumplir con lo que la Norma ASTM C78 establece, luego se aplica la carga hasta que el prisma falle. (**Ver figura 4.53**) Se registra el valor obtenido de la carga máxima.

Luego se mide el ancho y profundidad de la viga en la zona de falla; (**ver figura 4.54**) con los datos obtenidos se calcula el Módulo de Ruptura. Se presentan los datos y resultados obtenidos para este ensayo en el formato.

Figura 4.53 Ensayo a flexión de concreto permeable



Fuente: Grupo de Tesis

Figura 4.54 Ruptura del concreto permeable bajo norma ASTM C-78



Fuente: Grupo de Tesis

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXION, ASTM C 78

PROYECTO: "Aplicación del concreto permeable utilizando geosinteticos en la construccion de estacionamientos para diferentes tipos de suelos".

Ubicación: Universidad de El Salvador, FMO.

Tipo de cemento utilizado: ASTM C-150, tipo 1

Relación A/C: 0.32

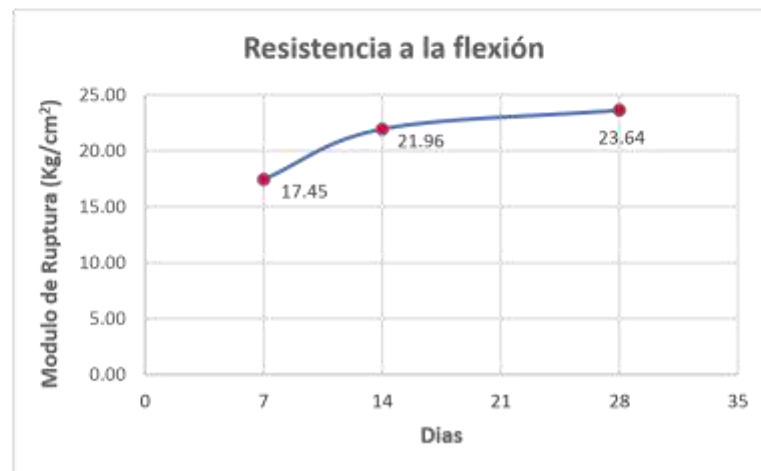
Lugar de ensayo: MZ Constructores SA. SV.

Laboratorista: Kevin Flores, Wendy Zaldaña, Gerson Vasquez

Tipo de muestra: Vigas de concreto permeable sin fibras de polpropileno ensayadas para un 20 % de vacios.

Observaciones: Vigas elaboradas con aditivo reductor de agua de alto rango MEGAFLOW.

No	Edad	rev (cm)	Masa (Kg)	Claro (cm)	Ancho (cm)	Profundidad (Cm)	Carga (Kg)	Mr (Kg/cm ²)
1	7	0	28.03	38.00	15.00	15	1500	16.89
2	7	0	28.56	38.00	15.00	15	1600	18.01
PROMEDIO								17.45
3	14	0	26.38	38.00	15.00	15	1900	21.39
4	14	0	27.06	38.00	15.00	15	2000	22.52
PROMEDIO								21.96
5	28	0	28.40	38.00	15.00	15	2000	22.52
6	28	0	28.60	38.00	15.00	15	2200	24.77
PROMEDIO								23.64



4.2.1.5 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL CONCRETO PERMEABLE. Para conocer los datos de las propiedades hidráulicas del diseño de mezcla expuesto anteriormente, se realizaron dos ensayos específicos: Peso Unitario y Permeabilidad.

4.2.1.5.1 TASA DE INFILTRACIÓN. No existe normativa para evaluar este parámetro, sin embargo, en el comité ACI 522 menciona un aparato para calcular este valor, y describe un permeámetro de carga variable. Para lo cual se moldearon 3 cilindros de altura de 20 cm y 10 cm de diámetro. Se calculó el tiempo que tarda en tener una carga de agua de 30 cm a 8 cm sobre la superficie de la probeta ensayada. Las unidades de la tasa de permeabilidad son mm/s.

EQUIPO UTILIZADO

- Equipo de permeabilidad.
- Cronometro

Descripción del proceso:

Se cortaron los especímenes elaborados (10 cm x 20 cm) para obtener las dimensiones recomendadas como se muestra en la **figura 4.55**. La permeabilidad del concreto fue medida por una sencilla caída de cabeza en el permeámetro como se muestra en la **figura 4.56 (ACI 522R-10)**. Usando este enfoque. El agua es añadida en el cilindro para llenar celda de la muestra y la tubería de drenaje. Se evaluaron seis especímenes cilíndricos utilizando dos porcentajes de vacíos del 20% y el 18% para determinar su permeabilidad tres bachadas de prueba para que conlleve fibras de polipropileno y tres bachadas sin fibras de polipropileno, el ensayo carece de normativa se utiliza interpretando ecuaciones de la ley de Darcy y teniendo como referencia la prueba de carga variable

Figura 4.55 Cilindros de 4"x 4" de PVC para ensayo de permeabilidad



Fuente: Grupo de Tesis

Figura 4.56 Permeámetro de carga variable



Fuente: Grupo de Tesis

La muestra se acondiciona previamente al permitir que el agua drene hacia fuera a través de la tubería hasta que el nivel en el cilindro graduado sea el mismo que la parte superior de la tubería de drenaje (**ver figura 4.57**) Esto reduce al mínimo el aire atrapado en la muestra y se asegura de que el espécimen este completamente saturado.

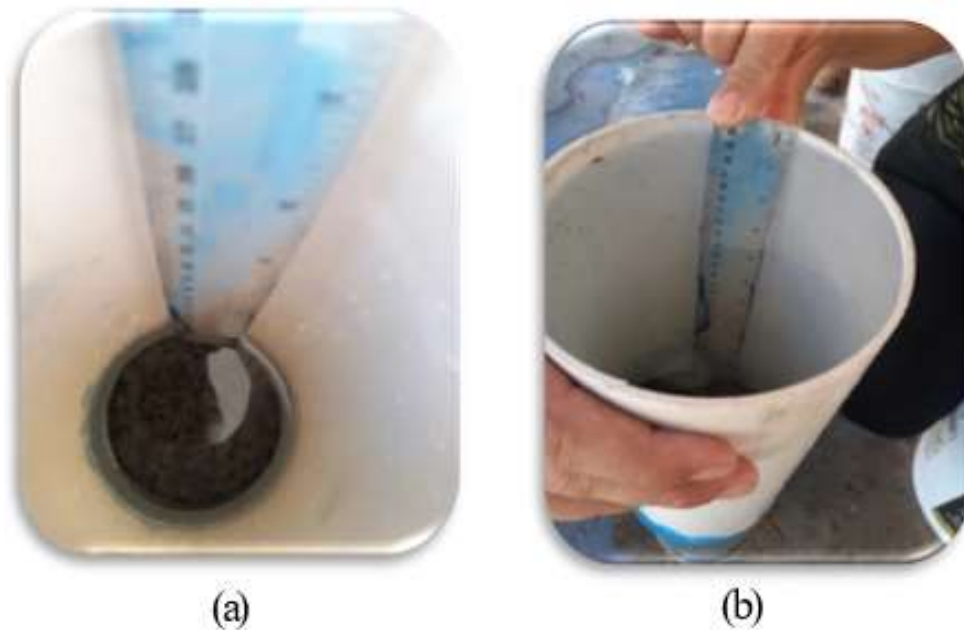
Figura 4.57 Proceso de saturación del permeámetro



Fuente: Grupo de Tesis

Con la válvula cerrada, el cilindro se llena con agua. Luego se abre la válvula, y se registra el tiempo en segundos “ t ” que se requiere para que el agua caiga de una cabeza inicial h_1 a una cabeza final h_2 (**ver Figura 4.58 (a)**) se verifica cuando la carga final cae hasta los 8cm descritos anteriormente al mismo tiempo utilizando el cronometro para medir el tiempo, se realizó el mismo procedimiento para tres muestras sin fibras de polipropileno y tres muestras con fibras de polipropileno para realizar un promedio de todo teniendo como referencia el diseño y las cantidades de dosis de cemento y agua para el 18% y 20% de vacíos.

Figura 4.58 Diferencias de carga en h_1 y h_2



Fuente: Grupo de Tesis

En cuanto al cálculo del coeficiente permeabilidad fue realizado utilizando la ley de Darcy Dónde:

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

- **K** : Coeficiente de permeabilidad (cm/s).
- **L** : Longitud de la muestra (cm).
- **A** : Área de la muestra (cm²).
- **a** : Área de la tubería de carga (cm²).
- **t** : Tiempo en demora en pasar de h_1 a h_2 (s).
- **h₁** : Altura de la columna de agua medida del nivel de referencia (cm).
- **h₂** : Altura de tubería de salida del agua con respecto al nivel de referencia (1cm).

Se realiza el mismo procedimiento para toda la tabla.

4.3 EJECUCIÓN DEL PROTOTIPO DE CONCRETO PERMEABLE PARA ESTACIONAMIENTOS EN DIFERENTES TIPOS DE SUELOS

Después de realizar las pruebas de laboratorio para la resistencia a compresión, flexión, y tasa de percolación con la aplicación de fibras de polipropileno se determinó un procedimiento constructivo de la estructura interna de un estacionamiento utilizando geotextil no tejido, geomalla, fibras de polipropileno y aplicarlo a tres tipos de suelos finos delimitados y evaluados en la Universidad de El Salvador, Facultad Multidisciplinaria Oriental.

4.3.1 PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA ESTRUCTURA INTERNA DE UN ESTACIONAMIENTO DE CONCRETO PERMEABLE IN SITU PARA TRES TIPOS DE SUELOS FINOS

Se delimitará un área específica para la demostración cualitativa de la estructura interna de un estacionamiento de concreto permeable con la aplicación de geosintéticos (geomalla, geotextil, y fibras de polipropileno) en tres tipos de suelos se realizó un proceso experimental repetitivo para obtener datos cuantitativos de infiltración para diferentes porcentajes de vacíos e infiltraciones del concreto permeable.

4.3.1.1 RECONOCIMIENTO DEL LUGAR. La representación de concreto permeable es de carácter demostrativo para una cantidad de seis sondeos en tres tipos de suelos en las instalaciones de la Facultad Multidisciplinaria Oriental, Universidad de El Salvador, sobre el km 144 Carretera al Cuco, Cantón El Jute, San Miguel, El Salvador, Centroamérica. Ver figura 4.59.

Figura 4.59 Área de la Facultad Multidisciplinaria Oriental, Universidad de El Salvador



Fuente: Trabajo de Grado: “Zonificación Geotécnica y Propuesta de Edificaciones para la Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad de El Salvador” febrero 2017, Pág. #73.

4.3.1.2 ESTUDIO DE SUELOS PRELIMINAR. Para la construcción y evaluación de un estacionamiento se realizó una clasificación de suelos de carácter preliminar donde se determinó la plasticidad del suelo en base a la norma ASTM D-4318 y la granulometría (ASTM D-422), para posteriormente clasificarlo con los criterios de la norma estándar ASTM D-2487.

El análisis de las características físicas para los diferentes tipos de suelos tuvo un enfoque descriptivo y limitado al lugar de la Universidad de El Salvador (ver **tabla 4.5**).

Tabla 4.5 Clasificación de suelos de área delimitada en la Universidad de El Salvador Facultad Multidisciplinaria Oriental

SONDEO N°	MUESTRA N°	Rangos de profundidad (m)	Contenido de humedad (w%)	Clasificación SUCS	Limite Liquido LL (%)	Índice de Plasticidad IP (%)	Pasante de Malla No 200 (75µM)	Descripción del suelo (ASTM 2487)
1	1	0.00-0.35	24	CH	75	41	61.5	Arcilla densa arenosa.
	4	1.50-2.00	23.68	CH	79	44	58.75	Arcilla densa con grava.
2	1	0.00-0.35	31.95	MH	46	13	66.00	Limo elástico arenoso.
	6	2.50-3.00	20.44	MH	55	25	57.76	Limo elástico arenoso con grava.
6	1	0.00-0.35	21.11	ML-CL	17	8	41.63	Arcilla limosa arenosa
	5	2.00-2.50	25.4	CH	67	38	81.53	Arcilla densa con mucha grava y arena

Fuente: Trabajo de Grado: “Zonificación Geotécnica y Propuesta de Edificaciones para la Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad de El Salvador” febrero 2017, Pág. #73.

4.3.1.3 ENSAYO PRELIMINAR DE INFILTRACIÓN DEL SUELO. Se

determino en base a las características de infiltración del suelo por métodos que calculan la infiltración del suelo in situ para aplicar la estructura preliminar de un estacionamiento se necesita conocer la permeabilidad del suelo se detalla de la siguiente manera:

→ **Método de infiltración del suelo por medio del Infiltrómetro de doble anillo**

El método consiste en saturar una porción de suelo limitada por dos anillos concéntricos para a continuación medir la variación del nivel del agua en el cilindro interior. El tiempo que transcurra hasta alcanzarse las condiciones finales de saturación dependerá de la humedad previa, la textura y la estructura del suelo, el espesor del horizonte por el que discurre el agua, y la altura del agua en el anillo interior. (ver **figura 4.60**).

Figura 4.60 Infiltrómetro de doble anillo prueba



Fuente: Con base al estándar ASTM D-3385

4.3.1.4 PROCEDIMIENTO APLICATIVO DEL PROTOTIPO A ESCALA DE LA ESTRUCTURA DE ESTACIONAMIENTO EN SUELOS (CH, ML-CL y MH). Los pasos que a continuación se describe se aplicaron a los 6 sondeos para los tres tipos de suelo (CH, MH Y ML-CL).

- **Procedimiento:**

Paso 1. La selección del dimensionamiento de los tramos de prueba para la estructura del estacionamiento es criterio propio del grupo de tesis las dimensiones son de 1x1x 0.60 (m) y para la prueba de 0.40x0.40 x 0.55 (m) (**ver figura 4.61**) para evaluar la infiltración del concreto permeable in situ, y verificar la estructura del estacionamiento en tres tipos de suelos descritos a continuación.

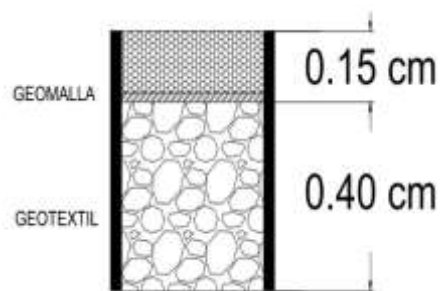
Figura 4.61 Dimensionamiento para seis tramos experimentales de 1x1x0.60 (m)



Fuente: Grupo de Tesis

Para verificar la estructura de un estacionamiento se realizará un procedimiento en campo de dimensiones de 0.40x0.40x0.55 (m) donde se detallarán las capas de cada una de ellos y sus espesores posteriormente la tasa de infiltración del concreto permeable medida para tres tipos de suelos y con sus dos respectivos diseños del 18% y 20% incluyendo la adición de fibras de polipropileno. En la figura 4.62 muestra el perfil donde lleva 0.40 cm de Grava N° 2 y 15 cm de concreto permeable.

Figura 4.62 Muestra Perfil Estratigráfico



Fuente: Grupo de Tesis

Paso 2. Se colocó geotextil no tejido en las paredes adenañas a la estructura por capa por capa, la **figura 4.63** muestra la colocación de geotextil no tejido.

Figura 4.63 Geotextil no tejido en paredes adenañas



Fuente: Grupo de Tesis

Paso 3. Se colocó 40 cm de grava N.º 2 en la estructura ver **figura 4.64**

Figura 4.64 Colocación de Grava N.º 2



Fuente: Grupo de Tesis

Paso 4. Elaboración de mezclas de concreto permeable para contenidos de vacíos del 18% y 20% (ver apartado 2.4.1 capítulo II) y procedimiento de colocación (**ver figura 4.65**).

Figura 4.65 Colocación de mezcla in situ de concreto permeable



Fuente: Grupo de Tesis

Paso 5 Se colocó 15 cm de espesor concreto Permeable para un 18% de vacío con fibra de polipropileno y 20% de vacío sin fibra de Polipropileno ver **figura 4.66**.

Figura 4. 66 Colocación de concreto permeable con 15 cm de espesor



Fuente: Grupo de tesis

Paso 6 Procedimiento de curado

El proceso de curado para el concreto permeable in situ descrito en el ACI 522R apartado 4, describe utilizar un plástico sintético para que el concreto no pierda las propiedades de índices del contenido de vacíos, se optó por utilizar el geotextil no tejido (**ver figura 4.67**) para el procedimiento de curación de la losa de concreto permeable durante un periodo de 48 horas para optar a realizar el procedimiento de infiltración (ASTM C-1701).

Figura 4.67 Geotextil estabilizador y aplicado a curación de concreto permeable



Fuente: Grupo de Tesis

Paso 7. Desencofrado de la estructura de 0.40x0.40x0.55 con espesor de 40 cm de grava N°2 y colocación de geotextil no tejido en paredes aldañas y colocación de geomalla entre medio de la grava N°2 y 15 cm de concreto permeable ver **figura 4.68**.

Figura 4.68 Estructura de concreto permeable



Fuente: Grupo de Tesis

4.4 PROCEDIMIENTO DE INFILTRACIÓN BAJO EL ESTÁNDAR ASTM C-1701

Este procedimiento se calcula la infiltración basándose en la norma ASTM C-1701 método de tasa de infiltración de concreto permeable en el lugar que requiere la norma bajo INSITU. Con anillo de infiltración en la superficie del concreto permeable donde se usaron tubo de PVC de 6 pulgadas de 10 cm para los 6 tramos de prueba, cubeta, una báscula, cronometro y cinta métrica (**ver figura 4.69**). El anillo de infiltración se debe colocar sobre la superficie del concreto permeable dejando limpio de escombros, basuras y otros factores que afecte la prueba.

Equipo.

- Anillo cilíndrico de PVC (6 pulgadas).
- Balanza (precisión 10g)
- Recipientes cilíndricos (19L).
- Cronometro (0.1s).

Figura 4.69 Equipo Utilizado en la prueba



Fuente: Grupo de Tesis

Después de un curado por 48 horas (ASTM C-1701), la prueba se realiza colocando el anillo en una superficie limpia del tramo experimental, se aplica pegamento a los laterales de fontanería con el cuidado de no tapar los vacíos (**ver figura 4.70**), seguidamente se espera un periodo de 3 horas para realizar la pre - humectación.

Figura 4.70 Anillo en losa de concreto permeable previo a pre - humectación



Fuente: Grupo de Tesis

Paso 1. Proceso de pre humectación 10 lb de agua en tubo de PVC de 6 pulgada, se mide el tiempo cuando el agua llega a la superficie del anillo si el tiempo de infiltración es menor a 30segundos se utilizará 40lb de agua si el tiempo es superior a 30segundos se usará 8lb de agua ver **figura 4.71**.

Figura 4.71 Colocación de agua proceso de pre humectación



Fuente: Grupo de Tesis

Paso 2: Prueba de infiltración para concreto permeable

La prueba se iniciará dentro de dos minutos después de la finalización de la pre-humectación. Vierta el agua en el anillo a una velocidad suficiente para mantener la cabeza entre las dos líneas marcadas y hasta que la cantidad medida de agua ha sido utilizados. Empezar a cronometrar tan pronto como el agua afecta a la permeable superficie de concreto. Detener el cronómetro cuando el agua ya no es libre presentes en la superficie permeable. Registrar la duración de la prueba (t) con una precisión de 0,1 segundos. (**ver figura 4.72**).

Figura 4.72 Vaciado de agua de 40 lb



Fuente: Grupo de Tesis

Nota: se realizó el mismo procedimiento para los 2 diseños de mezcla del 18% y 20% de vacíos, con 10% y 25% de fibras respectivamente, y para los seis sondeos descritos anteriormente.

Calculo:

$$I = \frac{KM}{D^2 \times t}$$

Dónde:

I = tasa de infiltración, mm / h [in/ h]

M = masa de agua infiltrada, kg [libras],

D = Diámetro interior del anillo de infiltración, mm [pulgadas],

t = tiempo necesario para medir la cantidad de agua se infiltre el hormigón, s

K = 4 583 666 000 en unidades del SI o 870 en [pulgadas-libras]

CAPITULO V
“ANÁLISIS E
INTERPRETACIÓN DE
RESULTADOS”



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

5.1 ANÁLISIS POR TAMIZADO DE AGREGADO GRUESO

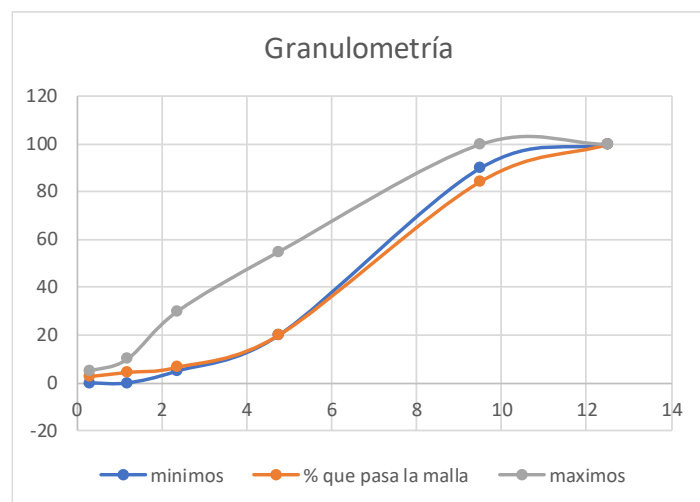
(ASTM C136)

Proyecto: “Aplicación del Concreto Permeable Utilizando Geosintéticos en la Construcción de Estacionamientos para Diferentes Tipos de Suelos”

Fecha: 04/09/2020

Malla	Abertura (mm)	Peso retenido parcial (kg)	% retenido parcial	% retenido acumulado	% que pasa la malla
1/2"	12.5	0	0	0	100
3/8"	9.5	0.1555	15.55	15.55	84.45
#4	4.75	0.6436	64.36	79.91	20.09
#8	2.36	0.1348	13.48	93.39	6.61
#16	1.18	0.0215	2.15	95.54	4.46
#50	0.3	0.0174	1.74	97.28	2.72
Fondo		0.0272	2.72	100	0
Σ		1	100		

Abertura (mm)	minimos	% que pasa la malla	maximos
12.5	100	100	100
9.5	90	84.45	100
4.75	20	20.09	55
2.36	5	6.61	30
1.18	0	4.46	10
0.3	0	2.72	5





UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

5.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

(ASTM C127)

Proyecto: “Aplicación del Concreto Permeable Utilizando Geosintéticos en la Construcción de Estacionamientos para Diferentes Tipos de Suelos”

Fecha: 09/09/2020

La masa mínima para la muestra será tomada según el tamaño de las partículas dadas en la siguiente tabla:

Tabla 5.1 Tamaño máximo nominal de la muestra

Nominal Maximum Size, mm (in.)	Minimum Weight of Test Sample, kg (lb)
12.5 (½) or less	2 (4.4)
19.0 (¾)	3 (6.6)
25.0 (1)	4 (8.8)
37.5 (1½)	5 (11)
50 (2)	8 (18)
63 (2½)	12 (26)
75 (3)	18 (40)
90 (3½)	25 (55)
100 (4)	40 (88)
112 (4½)	50 (110)
125 (5)	75 (165)
150 (6)	125 (276)

Fuente: Estándar ASTM C-127

Datos obtenidos:

- A: masa al aire de la muestra seca al horno, gr
- B: masa al aire de la muestra saturada superficialmente seca, gr
- C: masa aparente de la muestra sumergida en agua, gr

Cálculos:

a. Gravedad Especifica_(seca)

$$G_{(seca)} = \frac{A}{(B - C)}$$

$$G_{(seca)} = \frac{2,916_g}{(2,978_g - 1,810.5_g)}$$

$$G_{(seca)} = 2.50$$

b. Gravedad Especifica_(sss)

$$G_{(sss)} = \frac{B}{(B - C)}$$

$$G_{(sss)} = \frac{2,978_g}{(2,978_g - 1,810.5_g)}$$

$$G_{(sss)} = 2.55$$

c. Gravedad Especifica_(aparente)

$$G_{(aparente)} = \frac{A}{(A - C)}$$

$$G_{(aparente)} = \frac{2,916_g}{(2,916_g - 1,810.5_g)}$$

$$G_{(aparente)} = 2.64$$

d. Porcentaje de Absorción

$$\%A = \left[\frac{(B - A)}{A} \right] \times 100$$

$$\%A = \left[\frac{(2,978_g - 2,916_g)}{2,916_g} \right] \times 100$$

$$\text{Absorción} = 2.13\%$$



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

5.3 PESOS UNITARIOS Y VACÍOS EN EL AGREGADO GRUESO

(ASTM C29)

Proyecto: “Aplicación del Concreto Permeable Utilizando Geosintéticos en la Construcción de Estacionamientos para Diferentes Tipos de Suelos”

Fecha: 11/09/2020

La capacidad del depósito medidor será tomada según el tamaño de las partículas dadas en la siguiente tabla 5.2:

Tabla 5.2 Tamaño máximo nominal de la muestra

Nominal Maximum Size of Aggregate		Capacity of Measure ^a	
in.	mm	ft ³	L (m ³)
½	12.5	⅓	2.8 (0.0028)
1	25.0	⅓	9.3 (0.0093)
1½	37.5	½	14 (0.014)
3	75	1	28 (0.028)
4	100	2½	70 (0.070)
5	125	3½	100 (0.100)

Fuente: Estándar ASTM C-29

La temperatura del agua que se tomó fue con base a la temperatura ambiente, utilizando la regla de tres para encontrar con mayor precisión su escala:

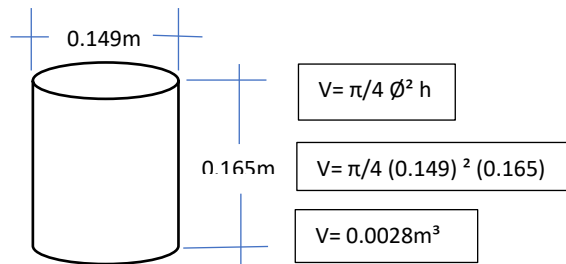
Tabla 5.3 Temperatura ambiente (29°C) tomada

Temperature		lb/ft ³	kg/m ³
°F	°C		
60	15.6	62.366	999.01
65	18.3	62.336	998.54
70	21.1	62.301	997.97
73.4	23.0	62.274	997.54
75	23.9	62.261	997.32
80	26.7	62.216	996.59
85	29.4	62.166	995.83

Fuente: Estándar ASTM C-29

Cálculos: Capacidad del depósito medidor

$^{\circ}\text{C}$		ρ
26.7	–	996.59
29	–	x
29.4	–	995.83



$$\frac{x - 995.83}{29.4 - 29.0} = \frac{996.59 - 995.83}{29.4 - 26.7}$$

$$(x - 995.83)(29.4 - 26.7) = (29.4 - 29.0)(996.59 - 995.83)$$

$$(x - 995.83)(2.7) = (0.4)(0.76)$$

$$2.7x - 2688.741 = 0.304$$

$$2.7x = 0.304 + 2688.741$$

$$x = \frac{2689.045}{2.7}$$

$$x = 995.94 = \rho(^{\circ}\text{T}); \text{ densidad del agua a temperatura ambiente in-situ } (29^{\circ}\text{C})$$

$$\gamma = \rho g$$

$$\gamma = (995.94 \text{ kg/m}^3)(9.81 \text{ m/s}^2)$$

$$\gamma = 9770.17 \text{ N/m}^3; \text{ peso específico del agua } \gamma (^{\circ}\text{T})$$

$$V = \frac{W}{\gamma(^{\circ}\text{T})}$$

$$V = \frac{mg}{\gamma(^{\circ}\text{T})}$$

$$V = \frac{(2.88\text{kg})(9.81 \text{ m/s}^2)}{9770.17 \text{ N/m}^3}$$

$$V = 0.0028\text{m}^3; \text{ volumen del depósito medidor}$$

Cálculos: Pesos Volumétricos

- Peso Volumétrico Suelto (PVS):

$$W_{\text{molde}} = 2,840\text{g} = 2.84\text{kg}$$

$$W_{\text{molde+agregado}} = 6,915\text{g} = 6.915\text{kg}$$

$$W_{\text{molde+agregado}} = 7,000\text{g} = 7.0\text{kg}$$

$$W_{\text{molde+agregado}} = 7,070\text{g} = \underline{7.07\text{kg}}$$

$$\sum 20.985\text{kg} \div 3 = 6.995\text{kg}$$

$$PVS = \frac{(G_s - T)}{V}$$

$$PVS = \frac{(6.995\text{kg} - 2.84\text{kg})}{0.0028\text{m}^3}$$

$$PVS = 1,483.92 \text{ kg/m}^3$$

- Peso Volumétrico Varillado (PVV): 25 punzones por capa

$$W_{\text{molde}} = 2,840\text{g} = 2.84\text{kg}$$

$$W_{\text{molde+agregado}} = 6,915\text{g} = 6.915\text{kg}$$

$$W_{\text{molde+agregado}} = 7,000\text{g} = 7.0\text{kg}$$

$$W_{\text{molde+agregado}} = 7,070\text{g} = \underline{7.07\text{kg}}$$

$$\sum 20.985\text{kg} \div 3 = 6.995\text{kg}$$

$$PVV = \frac{(G_v - T)}{V}$$

$$PVV = \frac{(6.995\text{kg} - 2.84\text{kg})}{0.0028\text{m}^3}$$

$$PVV = 1,483.92 \text{ kh/m}^3$$

- **Peso Volumétrico Sacudido (PV_s):** 50 sacudidas por capa a una altura de 2”

$$W_{\text{molde}} = 2,840\text{g} = 2.84\text{kg}$$

$$W_{\text{molde+agregado}} = 6,870\text{g} = 6.87\text{kg}$$

$$W_{\text{molde+agregado}} = 6,850\text{g} = 6.85\text{kg}$$

$$W_{\text{molde+agregado}} = 6,820\text{g} = \underline{6.82\text{kg}}$$

$$\sum 20.54\text{kg} \div 3 = 6.84\text{kg}$$

$$PV_s = \frac{(G - T)}{V}$$

$$PV_s = \frac{(6.84\text{kg} - 2.84\text{kg})}{0.0028\text{m}^3}$$

$$PV_s = 1,428.57 \text{ kg/m}^3$$

- **Porcentaje de Vacíos:**

Peso Volumétrico Suelto (PVS):

$$\% \text{ de Vacios} = 100 \left(\frac{S \gamma_{\text{agua}} - PVS}{S \gamma_{\text{agua}}} \right)$$

$$\% \text{ de Vacios} = 100 \left(\frac{(2.50)(998 \text{ kg/m}^3) - 1,483.92 \text{ kg/m}^3}{(2.50)(998 \text{ kg/m}^3)} \right)$$

$$\text{Porcentaje de Vacios} = 40.52 \%$$

Peso Volumétrico Varillado (PVV):

$$\% \text{ de Vacios} = 100 \left(\frac{S \gamma_{\text{agua}} - PVV}{S \gamma_{\text{agua}}} \right)$$

$$\% \text{ de Vacios} = 100 \left(\frac{(2.50)(998 \text{ kg/m}^3) - 1,483.92 \text{ kg/m}^3}{(2.50)(998 \text{ kg/m}^3)} \right)$$

$$\text{Porcentaje de Vacios} = 40.52\%$$

Peso Volumétrico Sacudido (PV_s):

$$\% \text{ de Vacios} = 100 \left(\frac{S \gamma_{agua} - PV_s}{S \gamma_{agua}} \right)$$

$$\% \text{ de Vacios} = 100 \left(\frac{(2.50)(998 \text{ kg/m}^3) - 1,428.57 \text{ kg/m}^3}{(2.50)(998 \text{ kg/m}^3)} \right)$$

$$\text{Porcentaje de Vacios} = 42.74\%$$

5.4 RESULTADOS DE CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO FRESCO

Cuando se elaboró la mezcla de concreto permeable se evaluaron el peso unitario y su contenido de vacíos (ASTM C-1668) y se describen de la siguiente manera:

5.4.1 PESO UNITARIO DEL CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO FRESCO

Esta propiedad del concreto permeable está íntimamente ligado al porcentaje de vacíos de diseño. Para el cálculo del peso unitario del concreto permeable en estado fresco se analizaron atreves de dos tipos de energía de compactación para el 20% de vacíos la cantidad de 25 golpes/capa en dos capas (**ver tabla 5.4 y 5.5**) y para el 18% de vacíos 25 golpes/capa por tres capas (**ver tabla 5.6 y 5.7**), la aplicación de golpes para los contenidos con la adición de fibras de polipropileno se realizó de la misma forma.

Tabla 5.4 Peso unitario en estado fresco del concreto permeable (sin fibras de polipropileno para 20% de vacíos)

DATOS	PESO UNITARIO DEL CONCRETO (D)
Masa del concreto + Recipiente	5.225 kg
Masa de Recipiente	0.0093 m ³
Volumen de Recipiente	22.11W5 kg
Masa del concreto	16.86 Kg
Muestra	1
Peso unitario del concreto (D) = (Mc-Mm) /Vm	1812,90 kg/m³

Fuente: Grupo de Tesis

Tabla 5.5 Peso unitario en estado fresco del concreto permeable (con 25 % de fibras de polipropileno para 20% de vacíos)

DATOS	PESO UNITARIO DEL CONCRETO (D)
Masa del concreto + Recipiente	5.225 kg
Masa de Recipiente	0.0093 m ³
Volumen de Recipiente	22.6115 kg
Masa del concreto	17.335 kg
Muestra	2
Peso unitario del concreto (D) = (Mc-Mm) /Vm	1866,13 kg/m³

Fuente: Grupo de Tesis

Tabla 5.6 Peso unitario en estado fresco del concreto permeable (sin fibras de polipropileno para 18 % de vacíos)

DATOS	PESO UNITARIO DEL CONCRETO (D)
Masa del concreto + Recipiente	5.225 kg
Masa de Recipiente	0.0093 m ³
Volumen de Recipiente	23.7 kg
Masa del concreto	18.445 kg
Muestra	3
Peso unitario del concreto (D) = (Mc-Mm)/Vm	1983.33 kg/m³

Fuente: Grupo de Tesis

Tabla 5.7 Peso unitario en estado fresco del concreto permeable (con 10 % de fibras de polipropileno para 18 % de vacíos)

DATOS	PESO UNITARIO DEL CONCRETO (D)
Masa del concreto + Recipiente	5.225 kg
Masa de Recipiente	0.0093 m ³
Volumen de Recipiente	23.8 kg
Masa del concreto	18.545 Kg
Muestra	4
Peso unitario del concreto (D) = (Mc-Mm) /Vm	1,994.09 kg/m³

Fuente: Grupo de Tesis

5.4.2 PORCENTAJE DE VACÍOS DEL CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO FRESCO

Las siguientes tablas describe la dosificación utilizada para una yarda cubica para el ensayo de contenido de vacíos ASTM 1688 (ver tabla 5.8 y 5.11) y el cálculo de contenido de vacíos de los diseños de mezclas propuestos del 18% y 20% , se realizó una tabulación de datos donde se explicó los elementos para calcular el contenido de vacíos de diseño y de prueba en cada tabla se detalla la masa, volumen, densidad teórica y posteriormente el cálculo del contenido de vacíos.(ver tablas 5.9, 5.10, 5.12 y 5.13), para el análisis comparativo posterior se planteó un resumen de los resultados en las tablas a continuación.

Tabla 5.8 Proporciones de diseño para 20% de vacíos

DESCRIPCION	DOSIFICACION (Lb)	DENSIDAD (kg/m ³)
CEMENTO	677	3.15
AGREGADO GRUESO	2337	2.55
AGUA	217	1.0
REDUCTOR DE AGUA	103.8	15.34

Fuente: Grupo de Tesis

Tabla 5.9 Contenido de vacíos del concreto permeable para 20% sin fibras de polipropileno

DESCRIPCION	DATOS
Masa total de todos los materiales de la mezcla (Ms)	192.26kg
El volumen absoluto de cada ingrediente (Vs)	0.082m ³
Densidad teórica del concreto (T) = Ms/Vs	2354.63 kg/m ³
Peso unitario del concreto (D)	1812.90 kg/m ³
Porcentaje de vacíos en estado fresco (U % = (T-D) /T	23%

Fuente: Grupo de Tesis

Tabla 5.10 Contenido de vacíos para 20% con fibras de polipropileno

DESCRIPCION	DATOS
Masa total de todos los materiales de la mezcla (Ms)	172.765kg
El volumen absoluto de cada ingrediente (Vs)	0.073 m ³
Densidad teórica del concreto (T) = Ms/Vs	2353.91 kg/m ³
Peso unitario del concreto (D)	1866.13 kg/m ³
Porcentaje de vacíos en estado fresco (U % = (T-D)/T	21%

Fuente: Grupo de Tesis

Tabla 5.11 Proporciones de diseño para 18% de vacíos

DESCRIPCION	DOSIFICACION (Lb)	DENSIDAD (kg/m ³)
CEMENTO	730	3.15
AGREGADO GRUESO	2337	2.55
AGUA	234	1.0
MODIFICADOR DE VISCOSIDAD	90.1	12.35
REDUCTOR DE AGUA	112	15.34

Fuente: Grupo de Tesis

Tabla 5.12 Contenido de vacíos para 18% sin fibras de polipropileno

DESCRIPCION	DATOS
Masa total de todos los materiales de la mezcla (Ms)	192.52 kg
El volumen absoluto de cada ingrediente (Vs)	0.082 m ³
Densidad teórica del concreto (T) = Ms/Vs	2359.57 kg/m ³
Peso unitario del concreto (D)	1983.33 kg/m ³
Porcentaje de vacíos en estado fresco (U % = (T-D) / T)	16%

Fuente: Grupo de Tesis

Tabla 5.13 Contenido de vacíos para 18% con fibras de polipropileno

DESCRIPCION	DATOS
Masa total de todos los materiales de la mezcla (Ms)	192.52kg
El volumen absoluto de cada ingrediente (Vs)	0.082 m ³
Densidad teórica del concreto (T) = Ms/Vs	2359.57 kg/m ³
Peso unitario del concreto (D)	1994.09 kg/m ³
Porcentaje de vacíos en estado fresco (U % = (T-D)/T)	15%

Fuente: Grupo de Tesis

5.5 RESULTADOS DE CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO ENDURECIDO

Para evaluar las propiedades del concreto permeable se analizaron las mecánicas e hidráulicas que se describen las siguientes.

5.5.1 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO PERMEABLE

Las pruebas realizadas al concreto permeable se resumieron en la resistencia a la compresión y flexión adicionando fibras de polipropileno.

5.5.1.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. Los parámetros de ensayo de resistencia a compresión se evaluaron para dos diseños de 18% y 20% de vacíos utilizando fibras de polipropileno se detallan en las siguientes tablas y graficas:

Tablas A, y B propiedades mecánicas (resistencia a la compresión)

Tabla A Resistencia promedio sin fibras de polipropileno

Módulo de vacíos	Resistencia f^c (Kg/cm ²)	Edad
18 %	48.33	7
18%	64.67	14
18%	110.32	28
20%	35.85	7
20%	52.67	14
20%	81.62	28

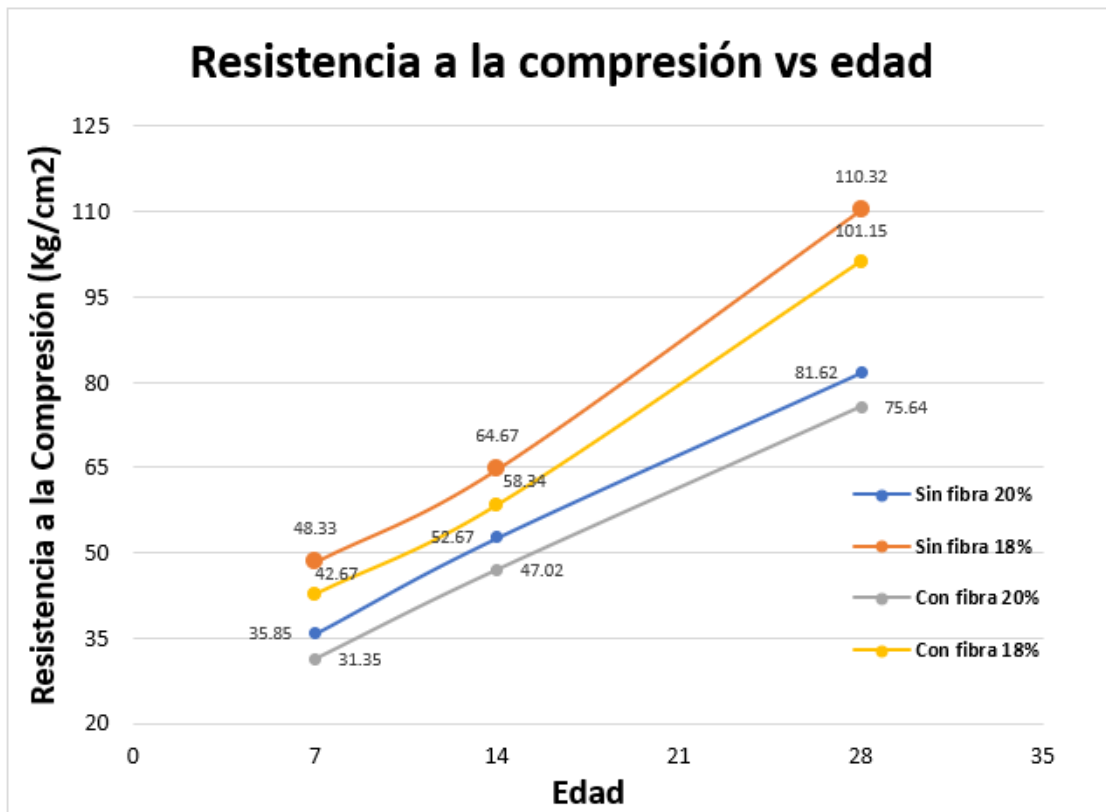
Fuente: Grupo de Tesis

Tabla B: Resistencia promedio con fibras de polipropileno

Módulo de vacíos	Resistencia f^c (Kg/cm ²)	Edad
18%	42.67	7
18%	58.34	14
18%	101.15	28
20%	31.35	7
20%	47.02	14
20%	75.64	28

Fuente: Grupo de Tesis

Gráfico 5.1 Relación de resistencia a compresión vs edad para 7,14 y 28 días



Fuente: Grupo de Tesis

5.5.1.1.1 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A

COMPRESIÓN. De los dos diseños que se propusieron se ha podido observar que la mayor resistencia a la compresión se ha obtenido en el porcentaje de vacíos del 18% sin fibras de polipropileno, y la menor resistencia en 20% con fibras de polipropileno destaca que en la elaboración de mezcla se proporcionó mayor energía de compactación, es de notar que estos resultados son de los especímenes que se reventó a los 7, 14 y 28 días.

5.5.1.2 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN. Los parámetros de ensayo de resistencia a flexión se evaluaron para dos diseños de 18% y 20% de vacíos utilizando fibras de polipropileno se detallan en las siguientes tablas y graficas.

Tablas C, y D propiedades mecánicas (resistencia a la Flexión)

Tabla C: Resistencia promedio sin fibras de polipropileno

Módulo de vacíos	Resistencia f'c (Kg/cm ²)	Edad
18 %	18.09	7
18%	26.86	14
18%	30.15	28
20%	17.45	7
20%	21.96	14
20%	23.64	28

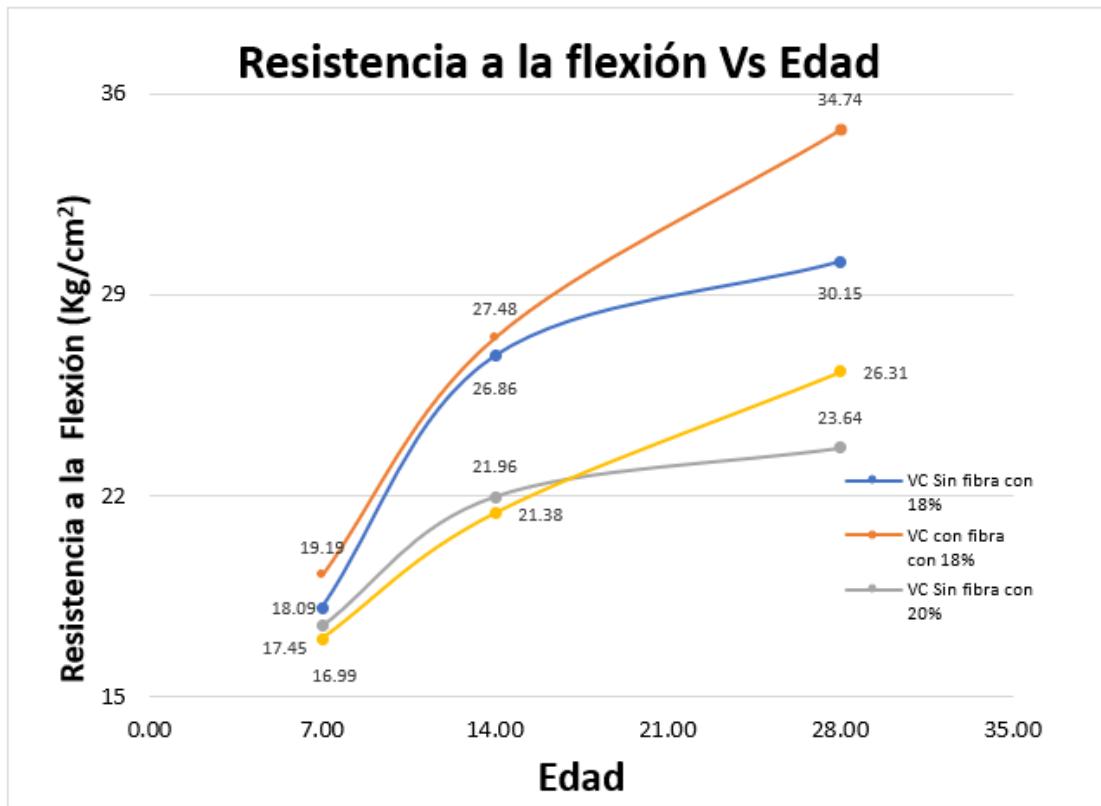
Fuente: Grupo de Tesis

Tabla D: Resistencia promedio con fibras de polipropileno

Módulo de vacíos	Resistencia f'c (Kg/cm ²)	Edad
18%	34.74	7
18%	27.48	14
18%	19.19	28
20%	16.99	7
20%	21.38	14
20%	26.31	28

Fuente: Grupo de Tesis

Gráfico 5.2 Relación de resistencia a la flexión vs edad para 7,14 y 28 días



Fuente: Grupo de Tesis

5.5.1.2.1 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.

De los dos diseños que se propusieron se ha podido observar que la mayor resistencia a la flexión se ha obtenido en el porcentaje de vacíos del 18% con fibras de polipropileno, donde aumenta una mayor energía de compactación de 60 golpes/capa y la menor resistencia en 20% sin fibras de polipropileno destaca que en la elaboración de mezcla se proporcionó menor energía de compactación, 30 golpes/capa es de notar que estos resultados son de los especímenes que se reventó a los 28 días de edad.

5.5.1.3 TASA DE INFILTRACIÓN. El parámetro que se analizó para determinar la propiedad hidráulica fue la tasa de percolación que se describen en las siguientes tablas.

Tablas E, y F propiedad Hidráulica (Tasa de percolación)

Tabla E: Tasa de percolación sin fibras de polipropileno

Módulo de vacíos	Tasa de percolación (cm/s)
18 %	0.27
20%	0.40

Fuente: Grupo de Tesis

Tabla F: Tasa de percolación con fibras de polipropileno

Módulo de vacíos	Tasa de percolación (cm/s)
18%	0.25
20%	0.37

Fuente: Grupo de Tesis

5.5.1.3.1 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE TASA DE INFILTRACIÓN. De los dos diseños de mezcla se ha podido observar que la mayor tasa de percolación se ha obtenido en el porcentaje de vacíos del 20%, sin fibras de polipropileno obtiene mayor tasa de percolación por tener menor energía de compactación y la menor tasa de percolación de 18% con fibras de polipropileno y mayor energía de compactación. Es de hacer notar que estos resultados es el promedio de tres especímenes para una edad de 7 días.

5.5.1.4 RELACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VS TASA DE INFILTRACIÓN. Se Graficará según diseño de mezclas y porcentaje de vacíos “La Resistencia a Compresión vs Taza de Percolación”. Identificando como varia la resistencia y permeabilidad según módulo de vacíos de cada diseño de mezclas.

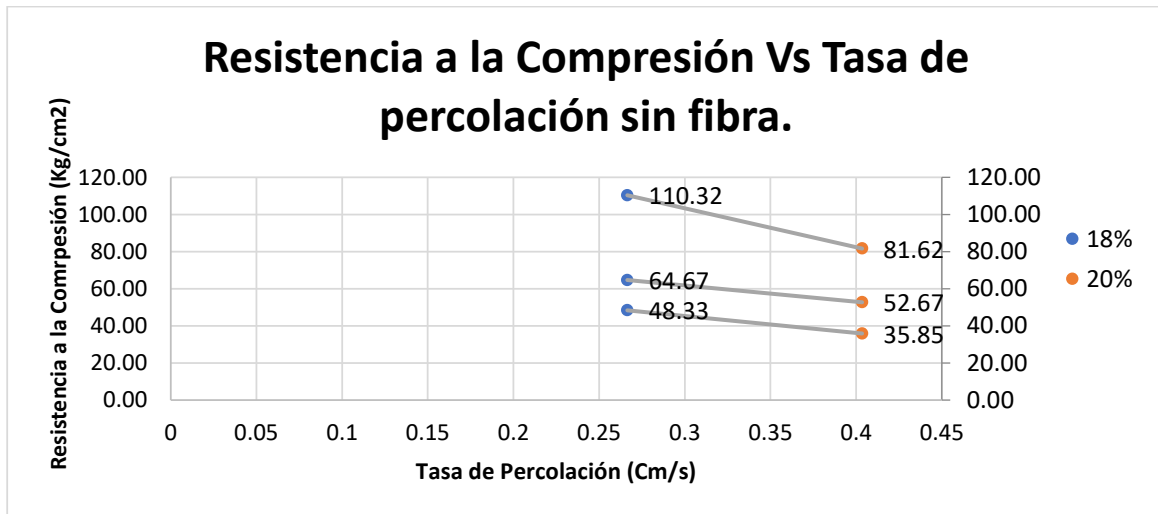
Tabla 5.14 Datos de Resistencia a la Compresión vs Taza de percolación para 20% y 18% de vacíos sin fibras de polipropileno para 28 días

CONCRETO PERMEABLE SIN FIBRAS DE POLIPROPILENO		
% DE VACÍOS	RESISTENCIA PROMEDIO OBTENIDA (Kg /cm²)	TASA DE PERCOLACIÓN (cm/s)
18	110.32	0.27
20	81.62	0.4

Fuente: Grupo de Tesis

Las gráficas muestran la variación de resistencia a compresión como disminuye para 20% de vacíos, (**ver gráfico 5.2**) pero mantiene su tasa de infiltración y para 18% aumenta su resistencia a compresión, pero disminuye su tasa de infiltración. (**ver gráfico 5.3**).

Gráfico 5.3 Relación de resistencia a la compresión vs tasa de percolación para 18% y 20% de vacíos



Fuente: Grupo de Tesis

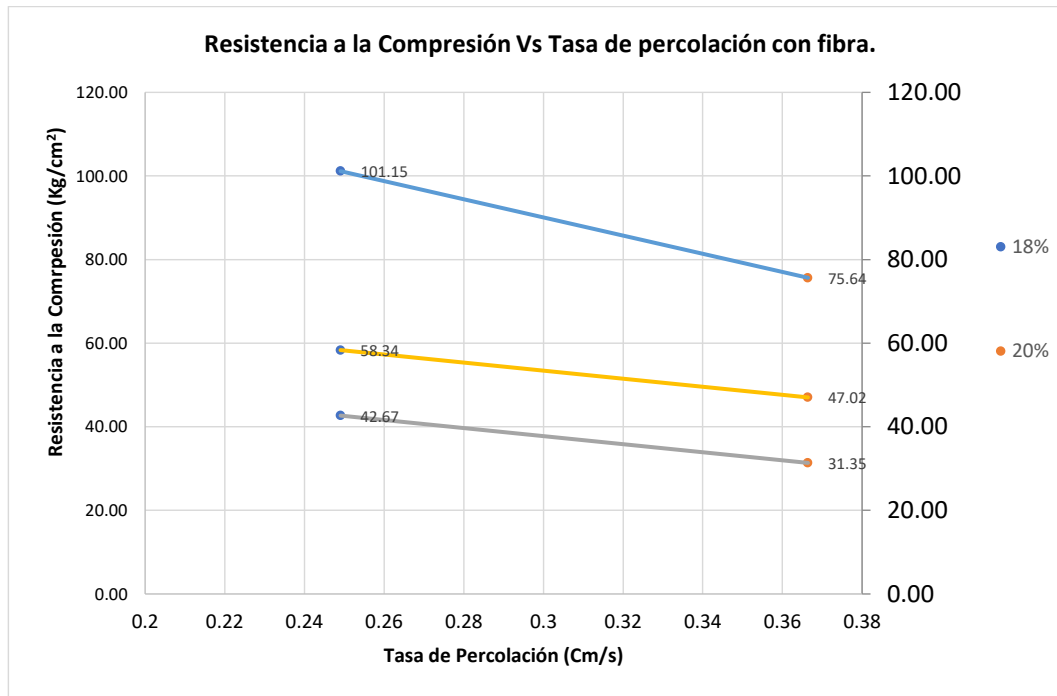
Tabla 5.15 Datos de Resistencia a la Compresión vs Taza de percolación para 20% y 18% de vacíos con fibras de polipropileno para 28 días

CONCRETO PERMEABLE CON FIBRAS DE POLIPROPILENO.		
% DE VACÍOS	RESISTENCIA PROMEDIO (Kg /cm²)	TASA DE PERCOLACIÓN (cm/s)
18	101.15	0.25
20	75.64	0.37

Fuente: Grupo de Tesis

Las gráficas muestran que para el 18% de vacíos con fibras de polipropileno tiene un aumento de resistencia a la compresión y disminución en la tasa de infiltración y para el 20% de vacíos disminución en resistencia a compresión, pero aumenta tasa de infiltración (**ver gráfico 5.4**).

Gráfico 5.4 Relación de resistencia a la compresión vs tasa de percolación para 18% y 20% de vacíos



Fuente: Grupo de Tesis

5.5.1.4.1 INTERPRETACIÓN DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN VS TASA DE PERCOLACIÓN. Los resultados muestran que la mayor resistencia a compresión se obtuvo sin el 25% de fibras de polipropileno y para 18% de vacíos valorando que no genera un aumento en la carga aplicada las fibras, en la comparación de la tasa de infiltración cuando se aplica el 25% y 10% de fibras disminuye la infiltración (ver gráfico 5.3) y no tiene aumento en la resistencia a la compresión se hizo la evaluación en las tres edades pero la comparación se realizó en la edad de 28 días (ver gráfico 5.3) destaca que las fibras de polipropileno no generan un aumento en la resistencia de compresión para concreto permeable.

5.5.1.5 RELACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VS PESO

UNITARIO. Para relacionar el peso unitario del concreto permeable en estado endurecido con la resistencia a la compresión se aplicó 30 golpes/capa en dos secciones a los especímenes cilíndricos para tres edades adicionando fibras de polipropileno y 60 golpes/capa en tres secciones para tres edades con fibras de polipropileno destaca que se aumentó el peso volumétrico para el 18% de vacíos (ver tabla 5.16) y su resistencia a la compresión, pero una disminución en su contenido de vacíos, en el 20% se cumplieron los parámetros de su contenido de vacíos e infiltración, pero no se alcanzó la resistencia a compresión.

Tabla 5.16 Resistencia a compresión vs peso unitario sin fibras de polipropileno

% de vacíos de diseño	% de fibras de diseño	Peso Unitario (Kg/m ³)	Resistencia (Kg/m ²)	Edad (Días)
18%	10%	2035.33	48.33	7
18%	10%	2121.58	64.67	14
18%	10%	2207.82	110.32	28
20%	25%	1438.53	35.85	7
20%	25%	1561	52.67	14
20%	25%	1592.05	81.62	28

Fuente: Grupo de Tesis

Tabla 5.17 Resistencia a compresión vs peso unitario con fibras de polipropileno

% de vacíos de diseño	% de fibras de diseño	Peso Unitario (Kg/m³)	Resistencia (Kg/m²)	Edad (Días)
18%	10%	2035.33	48.33	7
18%	10%	2121.58	64.67	14
18%	10%	2207.82	110.32	28
20%	25%	1438.53	35.85	7
20%	25%	1561	52.67	14
20%	25%	1592.05	81.62	28

Fuente: Grupo de Tesis

5.5.1.5.1 INTERPRETACIÓN DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN VS PESO

UNITARIO. Donde se aplicó una mayor energía de compactación fueron en los especímenes del 18% para obtener una mejor resistencia a compresión (ver tabla 5.16), como no existe una norma para la cantidad de golpes se evaluó el doble de golpes para el 18%. Para el diseño de 20% se aplicó la cantidad de energía de investigaciones con un martillo de 10lb de Proctor, resultando menor resistencia para especímenes de 6"x12", por lo tanto, el grafico 5.5, muestra el resumen de como el mayor peso unitario se obtuvo en 18% con fibras de polipropileno y el menor en 20% sin fibras de polipropileno.

Gráfico 5.5 Comparación de resistencia a compresión vs peso unitario



Fuente: Grupo de Tesis

5.5.1.6 RELACIÓN DE RESISTENCIA A FLEXIÓN VS TASA DE

PERCOLACIÓN. Se evaluará el módulo de ruptura para las tres edades con la tasa de filtración del concreto permeable aplicando el 20 % y 18% de fibras de polipropileno y un análisis comparativo entre sus propiedades se detallan de la siguiente manera.

Los gráficos se especificarán para la edad de 28 días con la tasa de infiltración que se obtuvo del permeámetro con el módulo de ruptura sin fibras y con la aplicación de fibras de polipropileno para detallar una comparación de resultados de resistencia a la compresión y resistencia a la flexión

Tabla 5.18 Datos de Resistencia a la Flexión vs Taza de percolación para 20% y 18% de vacíos sin fibras de polipropileno para 28 días

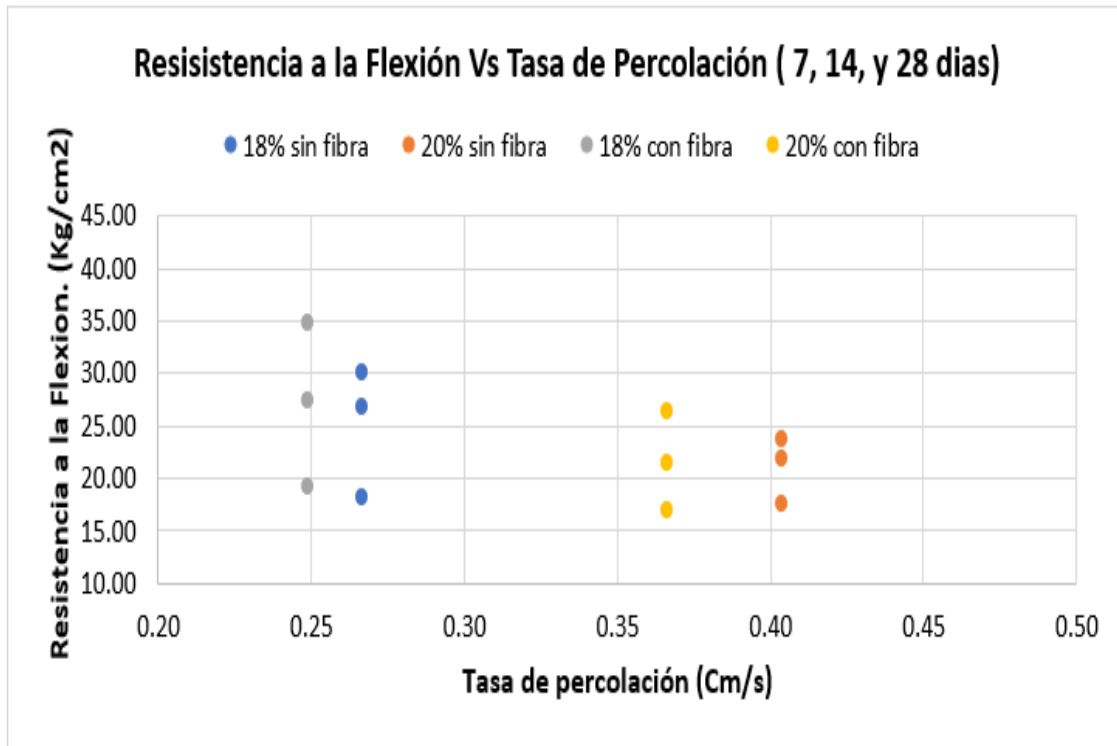
CONCRETO PERMEABLE SIN FIBRAS DE POLIPROPILENO		
% DE VACÍOS	RESISTENCIA PROMEDIO OBTENIDA (Kg /cm²)	TASA DE PERCOLACIÓN (cm/s)
18	30.15	0.4
20	23.64	0.27

Fuente: Grupo de Tesis

Tabla 5.19 Datos de Resistencia a la Flexión vs Taza de percolación para 18% y 20% de vacíos con fibras de polipropileno para 28 días

CONCRETO PERMEABLE CON FIBRAS DE POLIPROPILENO.		
% DE VACÍOS	RESISTENCIA PROMEDIO OBTENIDA (Kg /cm²)	TASA DE PERCOLACIÓN (cm/s)
18	34.74	0.25
20	26.31	0.37

Fuente: Grupo de Tesis

Gráfico 5.6 Resistencia a flexión vs tasa de percolación

Fuente: Grupo de Tesis

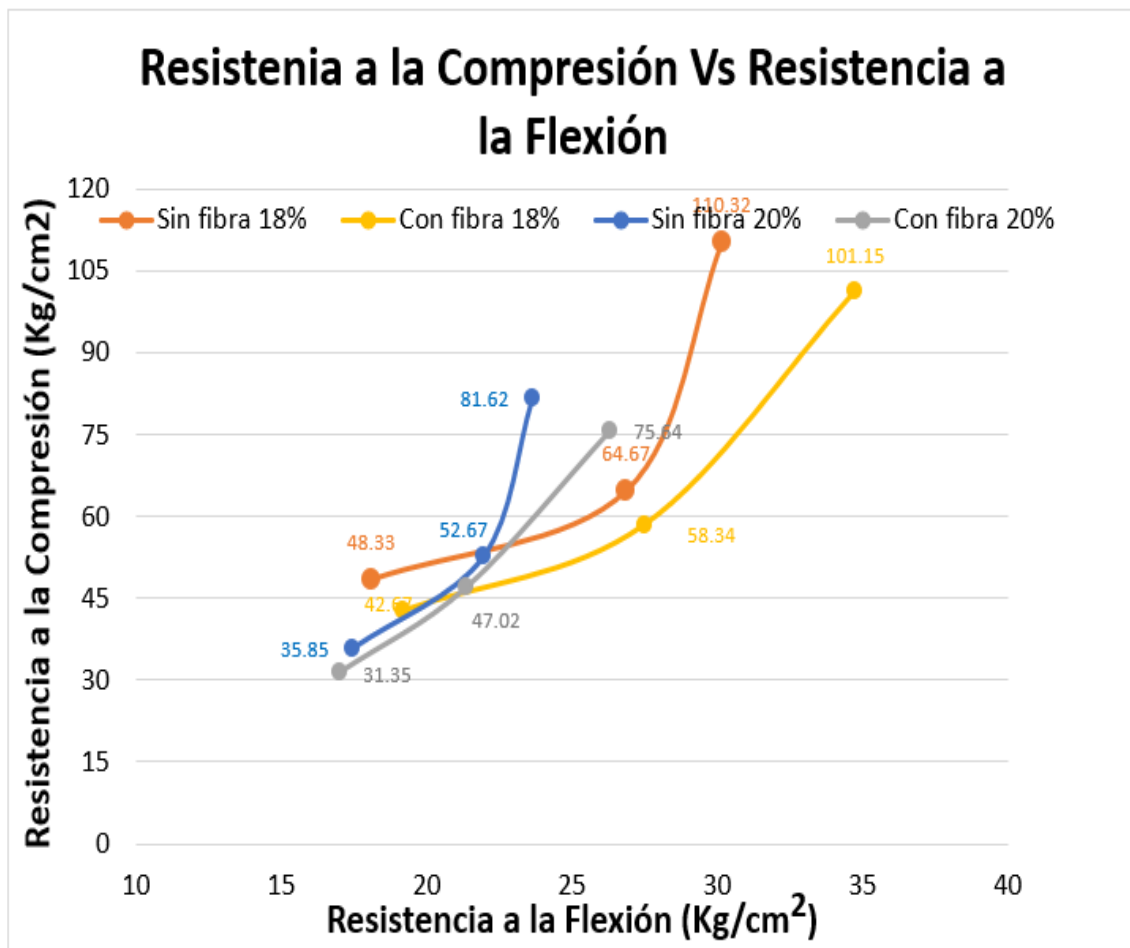
5.5.1.6.1 INTERPRETACIÓN DE RESISTENCIA A FLEXIÓN VS TASA DE

PERCOLACIÓN. La mayor resistencia a flexión se da para el diseño de 18% de vacíos con 10% de fibras de polipropileno (ver gráfico 5.6), y la menor resistencia a flexión se da para 20% de vacíos sin fibras de polipropileno, destaca que el módulo de ruptura aumenta su resistencia al aplicar el 10% de fibras para 18% de vacíos, pero disminuye considerablemente la tasa de infiltración, para el diseño de 20% con 25% de fibras de polipropileno (ver gráfico 5.6). Aumenta la resistencia a flexión en menor proporción, pero mantiene su tasa de infiltración de diseño.

5.5.1.7 RESISTENCIA A COMPRESIÓN VS RESISTENCIA A FLEXIÓN. Se

especificará la relación de la resistencia a compresión con flexión en los siguientes gráficos en las edades de 7,14 y 28 días para los dos diseños de mezclas de concreto permeable la comparación de las curvas unidas se muestra en el grafico siguiente de las 2 proporciones de mezcla del 18% y 20% de vacíos.

Gráfico 5.7 Resistencia a compresión vs resistencia a flexión



Fuente: Grupo de Tesis

5.5.1.7.1 INTERPRETACIÓN DE RESISTENCIA A COMPRESION VS FLEXIÓN.

Las curvas descritas en el grafico 5.8 se relacionan para la edad de 7,14 y 28 días donde el contenido de vacíos del 18% sin la adición de fibras de polipropileno genero la curva de mayor resistencia mecánica en compresión, pero con la adición de fibras en el módulo de ruptura aumento su resistencia mecánica, para el mayor equilibrio el contenido de vacíos del 20% con la adición de fibras de polipropileno nos da la mejor tendencia de crecimiento mecánico de la curva.

5.6 RESULTADOS DE INFILTRACIÓN DE CONCRETO PERMEABLE EN ESTRUCTURA DE ESTACIONAMIENTO IN SITU

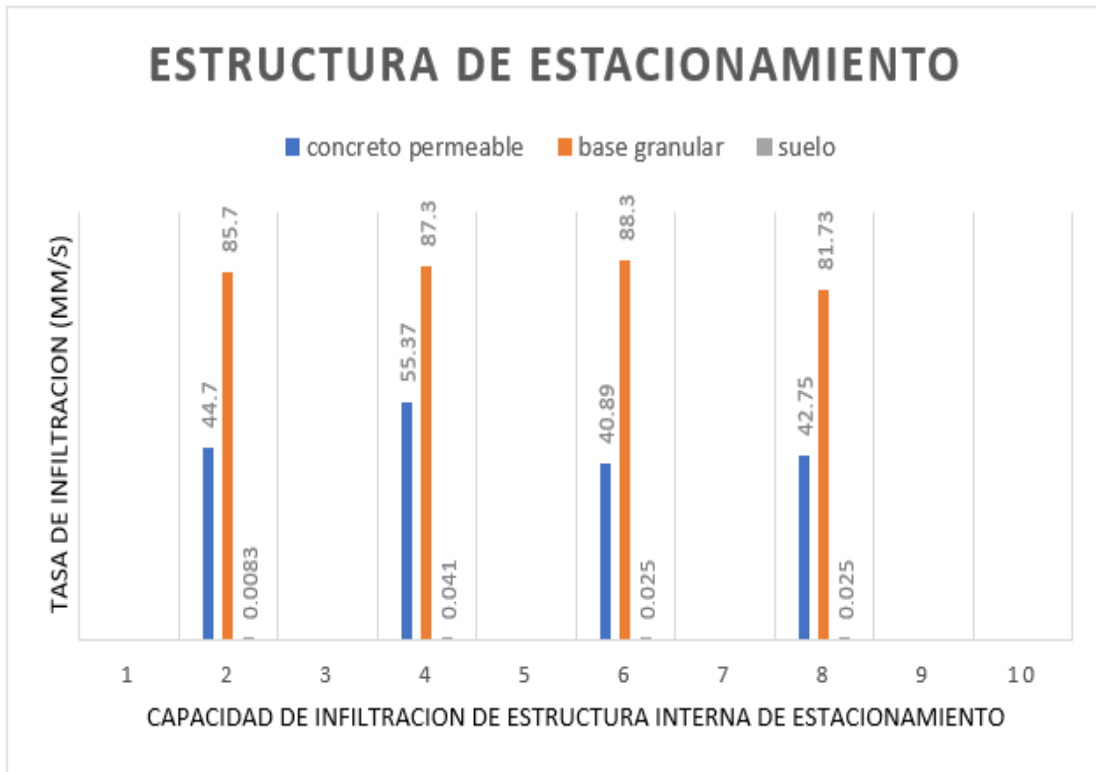
Para la interpretación de resultados se completó la infiltración in situ de concreto permeable bajo el estándar normativo de la ASTM C-1701 “infiltración in situ de concreto permeable” se realizó un cálculo en base a la ecuación de infiltración en la estructura granular de estacionamiento $\Delta l / \Delta t$ donde la diferencia de alturas fue 40cm y el tiempo determinado 4.85 segundos dando un promedio de las bases granular de 8.73 cm/s para la determinación de la infiltración del suelo por medio de la ecuación del ensayo de doble anillo, dando resultados de CH-0.0083mm/s, ML-CL-0.041mm/s, MH-0.025mm/, **ver tabla 5.20** como referencia la investigación de “Análisis de permeabilidad de suelos granulares mediante diferentes ensayos de laboratorio y formulaciones experimentales, Colombia 2012”.

La **tabla 5.20** Detalla los datos obtenidos de la tasa de infiltración de la estructura del estacionamiento y los respectivos diseños de mezcla

Tabla 5.20 Resumen de tasa de infiltraciones y cantidad de mezclas

Sondeo N°	Muestra N°	Contenido de vacíos (%)	Fibras de polipropileno (%)	Agua (kg)	cemento (kg)	agregado grueso (kg)	Tasa de Infiltración de concreto (pulg/seg)	Tasa de infiltración de base granular (mm/s).	Tasa de infiltración de suelos. (mm/s).
1	1	18%	0%	3.5	9.8	31.13	1.76	85.7	CH
	4	20%	0%	3.2	9.1	31.13	2.18	87.3	0.0083
2	1	18%	10%	3.5	9.8	31.13	1.61	88.3	ML-CL
	6	20%	0%	3.2	9.1	31.13	2.96	81.73	0.041
6	1	18%	10%	3.5	9.8	31.13	1.45	84.97	MH
	5	20%	25%	3.2	9.1	31.13	1.68	89.3	0.025

Fuente: Grupo de Tesis

Grafico 5.8 Estructura interna de estacionamiento del 18% y 20% de vacíos

Fuente: Grupo de Tesis

5.6.1 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE INFILTRACIÓN DE ESTRUCTURA DE ESTACIONAMIENTO

La grafica muestra en la barra azul que la mayor infiltración se expresa en 20% de vacíos sin fibras de polipropileno, para la losa de concreto permeable y la menor infiltración en suelo CH, por lo tanto, que el diseño de 18% de vacíos con la adición de 10% de fibras de polipropileno es el diseño óptimo para una base granular de tamaño de 2 pulgadas, y un suelo fino de alta plasticidad por el comportamiento y capacidad de almacenamiento que incluiría el diseño hidrológico.

CAPITULO VI
“CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES”

6.1 CONCLUSIONES

- El análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso cumplió con los requerimientos de tamaño máximo nominal para concreto #8 (3/8" - #16) dado por el estándar ASTM C-33
- Los requerimientos para gravedad específica y absorción del agregado grueso del estándar ASTM C-127 fueron: para gravedad específica_(seca) = 2.5, para gravedad específica_(sss) = 2.55 y para gravedad específica_(aparente) = 2.64 y una absorción del agregado grueso del 2.13%
- Los pesos unitarios y porcentajes de vacíos bajo el estándar ASTM C-29 del agregado grueso fueron: peso volumétrico suelto = 1,483.92kg/m³ con un 40.52% de vacíos, peso volumétrico varillado = 1,483.92kg/m³ con un 40.52% de vacíos y peso volumétrico sacudido = 1,428.57 kg/m³ con un 42.74%
- Se concluye que el método de diseño de mezclas para concreto permeable de la Asociación Nacional de Concreto Premezclado (NMRCA) se adaptó a los recursos del tema de investigación y por tener una memoria de cálculo de mayor exactitud los datos fueron más óptimos que el ACI 211.3R.
- La aplicación de fibras al concreto permeable aumenta la resistencia a la flexión (módulo de ruptura), en un 19% de la resistencia de diseño (28 kg/cm² resistencia de diseño a 34.74 kg/cm², para 18% de vacíos) y 1.19% en resistencia de diseño (26 kg/cm² resistencia de diseño a 26.31 kg/cm², para 18% de vacíos), destaca la mayor energía de compactación en los especímenes para el diseño del 18% de vacíos.

- El equilibrio de las propiedades mecánicas (compresión y flexión) e hidráulicas (tasa de infiltración), se dan en el contenido de vacíos del 20% con la incorporación del 25% de fibras.
- El contenido de vacíos del 18% con la incorporación de fibras de polipropileno, es el diseño ideal para arcillas plásticas (CH, ML-CL y MH) de límite líquido mayor que 50% si es aplicado en la construcción de una estructura de estacionamiento de concreto permeable.
- Los resultados de la tasa de infiltración del prototipo a escala de la estructura de estacionamiento fueron: Arcillas de alta plasticidad (CH) = 0.0083 mm/s, Limos de alta plasticidad (MH) = 0.025 mm/s y Arcillas limosas de baja plasticidad (ML-CL) = 0.041 mm/s.

6.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda la incorporación de 15% y 20% de fibras de polipropileno para diseños del 22% y 25% respectivamente y evaluar propiedades de mezcla en estado fresco, joven y endurecido del concreto permeable y la energía de compactación sea variable con un martillo de menor peso.
- Se recomienda evaluar cómo afecta los periodos de lluvia de mayor intensidad en San Miguel, e investigar un método para calcular el volumen de almacenamiento y diseñar un sistema de captación y riego para el aprovechamiento de recursos hídricos cuando es aplicado a estructuras de estacionamiento para suelos arcillosos.
- Se recomienda incorporar nuevos sistemas para mejorar las propiedades del concreto permeable (geomallas o incorporación de fibras naturales) y que puedan ser utilizados en la construcción de estacionamientos, carreteras y pisos.
- Se recomienda investigar una comparación de costos de concreto hidráulico, asfáltico y permeable, las ventajas y desventajas para la ecología y construcción.

ANEXOS

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION ASTM C39

PROYECTO: "Aplicación del concreto permeable utilizando geosinteticos en la construccion de estacionamiento para diferentes tipos de suelos".

UBICACIÓN: Universidad de El Salvador FMO.

Tipo de cemento utilizado: ASTM C-150, tipo 1

Relación A/C: 0.32

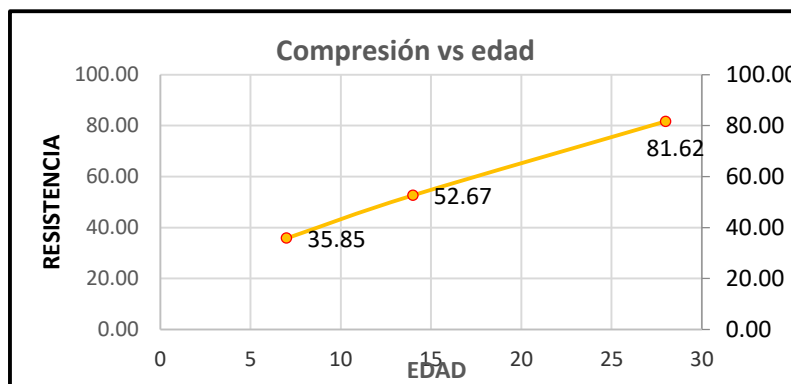
Lugar de ensayo: MZ Constructores SA. SV.

Laboratorista: Kevin Manuel Flores, Wendy Cecilia Zaldaña, Gerson Bladimir Vasquez

Tipo de muestra: Concreto Permeable sin fibras de polipropileno para un 20% de vacios.

Observaciones: Concreto elaborado con cemento ASTM C-150, y aditivo Megaflow, reductor de agua.

No	Edad	rev (cm)	diam (cm)	h (cm)	área (cm ²)	peso (Kg)	peso-vo (Kg/m ³)	carga (Kg)	resistencia (Kg/cm ²)	tipo de falla
1	7	0	15	30.48	176.71	8.50	1466.13	6305.7	35.68	
2	7	0	15	30.48	176.71	8.56	1476.48	6201.0	35.09	
3	7	0	15	30.48	176.71	8.34	1438.53	6500.0	36.78	
PROMEDIO									35.85	
4	14	0	15	30.48	176.71	9.05	1561.00	9323.0	52.76	
5	14	0	15	30.48	176.71	9.1	1569.62	9100.0	51.50	
6	14	0	15	30.48	176.71	9.22	1590.32	9500.0	53.76	
PROMEDIO									52.67	
7	28	0	15	30.48	176.71	9.10	1569.62	14187.9	80.29	
8	28	0	15	30.48	176.71	9.20	1586.87	14372.2	81.33	
9	28	0	15	30.48	176.71	9.23	1592.05	14711.3	83.25	
PROMEDIO									81.62	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION ASTM C39

PROYECTO: "Aplicación del concreto permeable utilizando geosintéticos en la construcción de estacionamiento para diferentes tipos de suelos".

UBICACIÓN: Universidad de El Salvador FMO.

Tipo de cemento utilizado: ASTM C-150, tipo 1

Relación A/C: 0.32

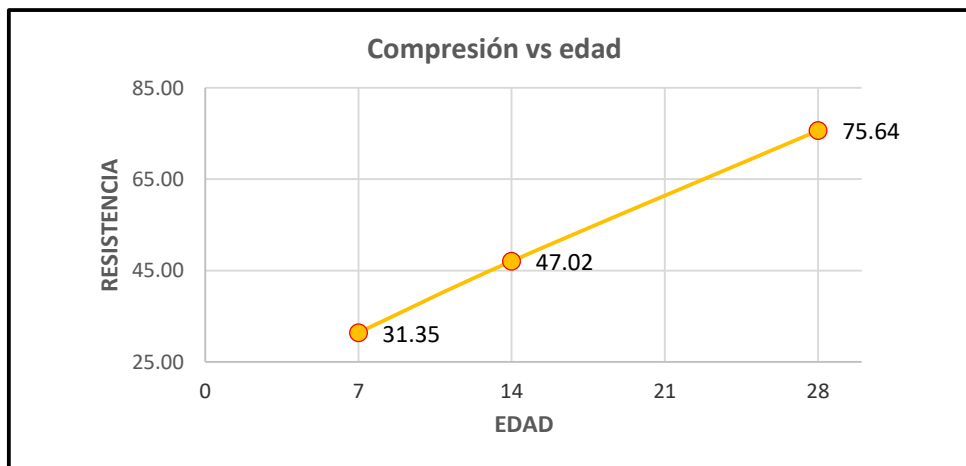
Lugar de ensayo: MZ Constructores SA. SV.

Laboratorista: Kevin Manuel Flores, Wendy Cecilia Zaldaña, Gerson Bladimir Vasquez

Tipo de muestra: Concreto Permeable con fibras de polipropileno para 20% de vacíos.

Observaciones: Con 25% de fibras y aditivo reductor de agua

No	Edad	rev (cm)	diam (cm)	h (cm)	área (cm ²)	peso (Kg)	peso-vo (Kg/m ³)	carga (Kg)	resistencia (Kg/cm ²)	tipo de falla
1	7	0	15.00	30.48	176.71	9.00	1552.37	5598.7	31.68	
2	7	0	15.00	30.48	176.71	9.03	1557.55	5702.4	32.27	
3	7	0	15.00	30.48	176.71	8.56	1476.48	5320	30.11	
PROMEDIO									31.35	
4	14	0	15.00	30.48	176.71	9.01	1554.10	8322.14	47.09	
5	14	0	15.00	30.48	176.71	9.08	1566.17	8098.58	45.83	
6	14	0	15.00	30.48	176.71	9.04	1559.27	8506.47	48.14	
8309.06					PROMEDIO				47.02	
7	28	0	15.00	30.48	176.71	10.60	1828.35	13,900	78.66	
8	28	0	15.00	30.48	176.71	10.40	1793.85	13862.6	78.45	
9	28	0	15.00	30.48	176.71	9.50	1638.62	12338.6	69.82	
13367.1					PROMEDIO				75.64	



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION ASTM C39

PROYECTO: "Aplicación del concreto permeable utilizando geosinteticos en la construccion de estacionamiento para diferentes tipos de suelos".

UBICACIÓN: Universidad de El Salvador FMO.

Tipo de cemento utilizado: ASTM C-150, tipo 1

Relación A/C: 0.32

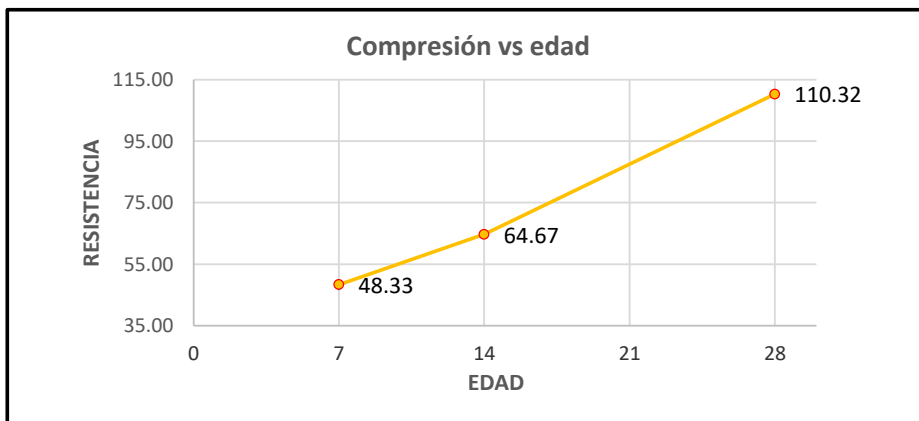
Lugar de ensayo: MZ Constructores SA. SV.

Laboratorista: Kevin Manuel Flores, Wendy Cecilia Zaldaña, Gerson Bladimir Vasquez

Tipo de muestra: Concreto Permeable sin fibras de polipropileno para 18% de vacios.

Observaciones: Concreto elaborado sin de fibras de polipropileno y aditivos reductor de agua Megaflow.y VISCTROL

No	Edad	rev (cm)	diam (cm)	h (cm)	área (cm ²)	peso (Kg)	peso-vo (Kg/m ³)	carga (Kg)	resistencia (Kg/cm ²)	tipo de falla
1	7	0	15.00	30.48	176.71	11.3	1949.09	8598.7	48.66	
2	7	0	15.00	30.48	176.71	11.7	2018.09	8,702	49.24	
3	7	0	15.00	30.48	176.71	11.8	2035.33	8320	47.08	
PROMEDIO									48.33	
4	14	0	15.00	30.48	176.71	11.9	2052.58	11,322	64.07	
5	14	0	15.00	30.48	176.71	12.1	2087.08	11455	64.82	
6	14	0	15.00	30.48	176.71	12.3	2121.58	11,506	65.11	
PROMEDIO									64.67	
7	28	0	15.00	30.48	176.71	12.1	2087.08	19,592	110.87	
8	28	0	15.00	30.48	176.71	11.6	2000.84	19,553	110.65	
9	28	0	15.00	30.48	176.71	12.8	2207.82	19338	109.43	
PROMEDIO									110.32	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION ASTM C39

PROYECTO: "Aplicación del concreto permeable utilizando geosinteticos en la construccion de estacionamiento para diferentes tipos de suelos".

UBICACIÓN: Universidad de El Salvador FMO.

Tipo de cemento utilizado: ASTM C-150, tipo 1

Relación A/C: 0.32

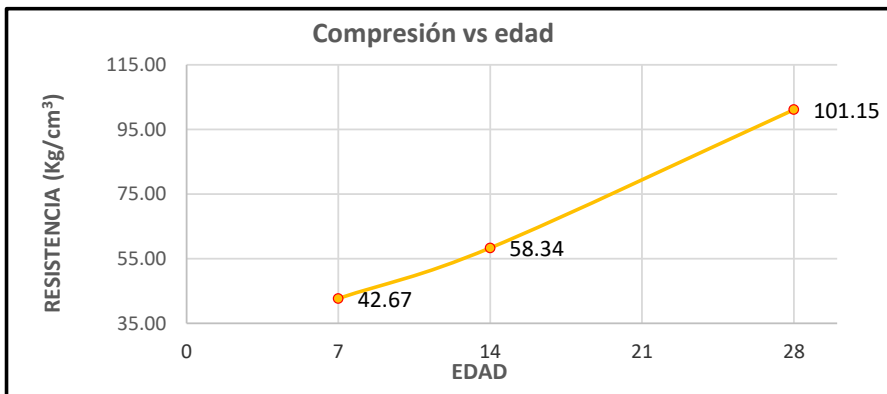
Lugar de ensayo: MZ Constructores SA. SV.

Laboratorista: Kevin Manuel Flores, Wendy Cecilia Zaldaña, Gerson Bladimir Vasquez

Tipo de muestra: Concreto Permeable con fibras de polipropileno para 18 % de vacios.

Observaciones: Concreto elaborado con 10% de fibras de polipropileno y aditivos reductor de agua Megaflo y VISCTROL.

No	Edad	rev (cm)	diam (cm)	h (cm)	área (cm ²)	peso (Kg)	peso-vo (Kg/m ³)	carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)	Tipo de falla
1	7	0	15.00	30.48	176.71	11.57	1995.66	7599	43.00	
2	7	0	15.00	30.48	176.71	11.8	2035.33	7702	43.59	
3	7	0	15.00	30.48	176.71	12.1	2087.08	7320	41.42	
PROMEDIO									42.67	
4	14	0	15.00	30.48	176.71	12.61	2175.05	10,322	58.41	
5	14	0	15.00	30.48	176.71	12.639	2180.05	10,099	57.15	
6	14	0	15.00	30.48	176.71	11.54	1990.49	10,506	59.46	
PROMEDIO									58.34	
7	28	0	15.00	30.48	176.71	13.2	2276.82	17789	100.67	
8	28	0	15.00	30.48	176.71	13.7	2363.06	18877	106.82	
9	28	0	15.00	30.48	176.71	12.4	2138.83	16956	95.95	
PROMEDIO									101.15	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXION, ASTM C 78

PROYECTO: "Aplicación del concreto permeable utilizando geosinteticos en la construccion de estacionamientos para diferentes tipos de suelos".

Ubicación: Universidad de El Salvador, FMO.

Tipo de cemento utilizado: ASTM C-150, tipo 1

Relación A/C: 0.32

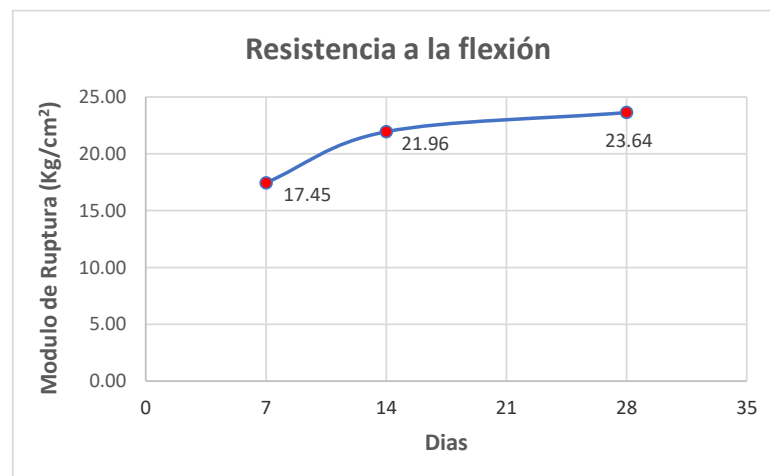
Lugar de ensayo: MZ Constructores SA. SV.

Laboratorista: Kevin Manuel Flores, Wendy Cecilia Zaldaña, Gerson

Tipo de muestra: Vigas de concreto permeable sin fibras de polpropileno ensayadas para un 20 % de vacios.

Observaciones: Vigas elaboradas con aditivo reductor de agua de alto rango MEGAFLOW.

No	Edad	rev (cm)	Masa (Kg)	Claro (cm)	Ancho (cm)	Profundidad (Cm)	Carga (Kg)	Mr (Kg/cm ²)
1	7	0	28.03	38.00	15.00	15	1500	16.89
2	7	0	28.56	38.00	15.00	15	1600	18.01
PROMEDIO								17.45
3	14	0	26.38	38.00	15.00	15	1900	21.39
4	14	0	27.06	38.00	15.00	15	2000	22.52
PROMEDIO								21.96
5	28	0	28.40	38.00	15.00	15	2000	22.52
6	28	0	28.60	38.00	15.00	15	2200	24.77
PROMEDIO								23.64



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXION, ASTM C 78

PROYECTO: "Aplicación del concreto permeable utilizando geosinteticos en la construccion de estacionamientos para diferentes tipos de suelos".

Ubicación: Universidad de El Salvador, FMO.

Tipo de cemento utilizado: ASTM C-150, tipo 1

Relación A/C: 0.32

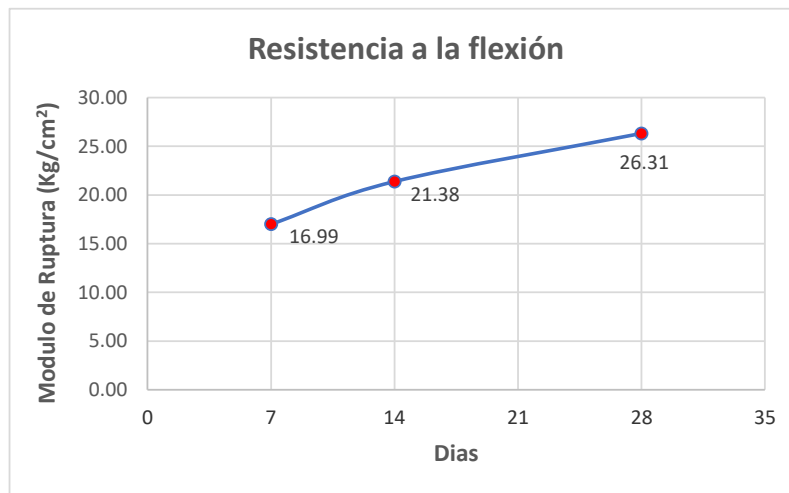
Lugar de ensayo: MZ Constructores SA. SV.

Laboratorista: Kevin Manuel Flores, Wendy Cecilia Zaldaña, Gersc

Tipo de muestra: Vigas de concreto permeable con 25% de fibras de polpropileno.

Observaciones: Vigas elaboradas con aditivo reductor de agua de alto rango MEGAFLOW

No	Edad	rev (cm)	Masa (Kg)	Claro (cm)	Ancho (cm)	Profundidad (Cm)	Carga (Kg)	Mr (Kg/cm ²)
1	7	0	28.03	37.00	15.00	15	1500	16.44
2	7	0	28.56	37.00	15.00	15	1600	17.54
PROMEDIO								16.99
3	14	0	26.38	37.00	15.00	15	1900	20.83
4	14	0	27.06	37.00	15.00	15	2000	21.93
PROMEDIO								21.38
5	28	0	28.40	37.00	15.00	15	2300	25.21
6	28	0	28.60	37.00	15.00	15	2500	27.41
PROMEDIO								26.31



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXION, ASTM C 78

PROYECTO: "Aplicación del concreto permeable utilizando geosinteticos en la construccion de estacionamientos para diferentes tipos de suelos".

Ubicación: Universidad de El Salvador, FMO.

Tipo de cemento utilizado: ASTM C-150, tipo 1

Relación A/C: 0.32

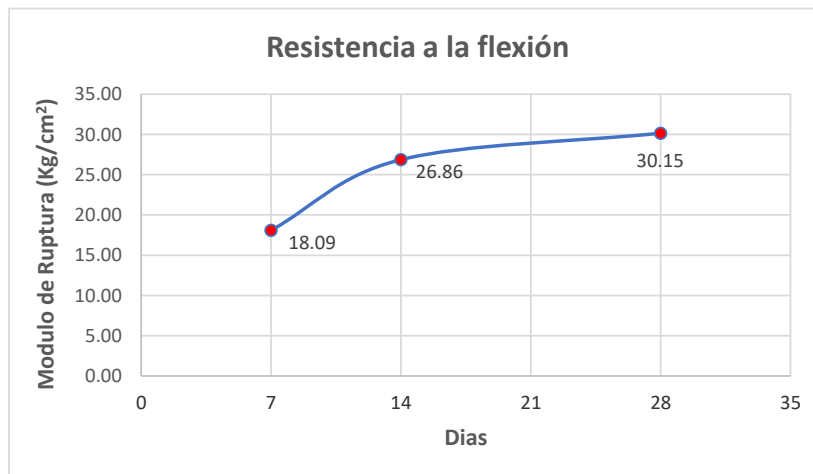
Lugar de ensayo: MZ Constructores SA. SV.

Laboratorista: Kevin Manuel Flores, Wendy Cecilia Zaldaña, Gers

Tipo de muestra: Vigas de concreto permeable sin fibras de polpropileno para 18% de vacios

Observaciones: Vigas elaboradas con aditivos reductor de agua de alto rango MEGAFLOW y VISCTROL

No	Edad	rev (cm)	Masa (Kg)	Claro (cm)	Ancho (cm)	Profundidad (Cm)	Carga (Kg)	Mr (Kg/cm ²)
1	7	0	26.03	37.00	15.00	15	1700.00	18.64
2	7	0	27.56	37.00	15.00	15	1600.00	17.54
PROMEDIO								18.09
3	14	0	28.32	37.00	15.00	15	2400.00	26.31
4	14	0	28.20	37.00	15.00	15	2500.00	27.41
PROMEDIO								26.86
5	28	0	29.40	37.00	15.00	15	2800.00	30.70
6	28	0	29.80	37.00	15.00	15	2700.00	29.60
PROMEDIO								30.15



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXION, ASTM C 78

PROYECTO: "Aplicación del concreto permeable utilizando geosintéticos en la construcción de estacionamientos para diferentes tipos de suelos".

Ubicación: Universidad de El Salvador, FMO.

Tipo de cemento utilizado: ASTM C-150, tipo 1

Relación A/C: 0.32

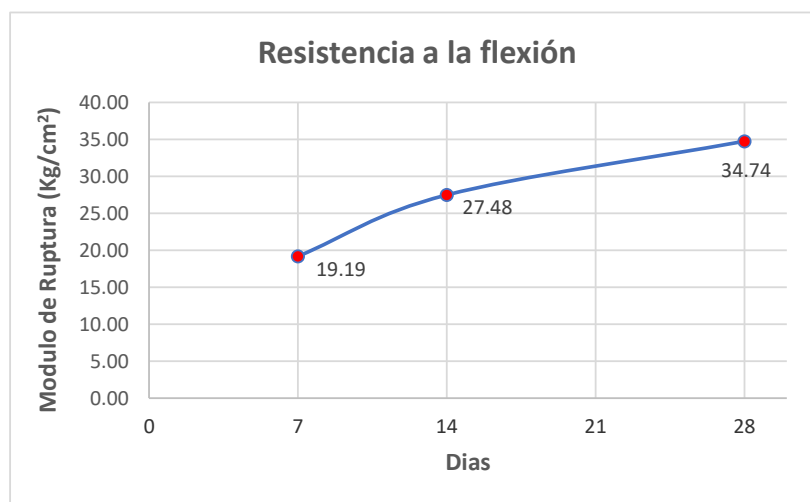
Lugar de ensayo: MZ Constructores SA. SV.

Laboratorista: Kevin Manuel Flores, Wendy Cecilia Zaldaña, C

Tipo de muestra: Vigas de concreto permeable con 10% de fibras de polipropileno para 18% de vacíos

Observaciones: Vigas elaboradas con aditivos reductor de agua de alto rango MEGAFLOW y VISCTROL

No	Edad	rev (cm)	Masa (Kg)	Claro (cm)	Ancho (cm)	Profundidad (Cm)	Carga (Kg)	Mr (Kg/cm ²)
1	7	0	29.03	35.00	15.00	15	1900	19.70
2	7	0	27.56	35.00	15.00	15	1800	18.67
PROMEDIO								19.19
3	14	0	28.32	35.00	15.00	15	2700	28.00
4	14	0	27.20	35.00	15.00	15	2600	26.96
PROMEDIO								27.48
5	28	0	30.00	35.00	15.00	15	3400	35.26
6	28	0	30.80	35.00	15.00	15	3300	34.22
PROMEDIO								34.74



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA



ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEAMETRO DE CARGA VARIA

PROYECTO: "Aplicación del concreto permeable utilizando geosintéticos en la construcción de estacionamiento para diferentes tipos de suelos".

UBICACIÓN: Universidad de El Salvador FMO.

Lugar de ensayo: Laboratorio de Suelos y materiales de la Universidad de El Salvador.

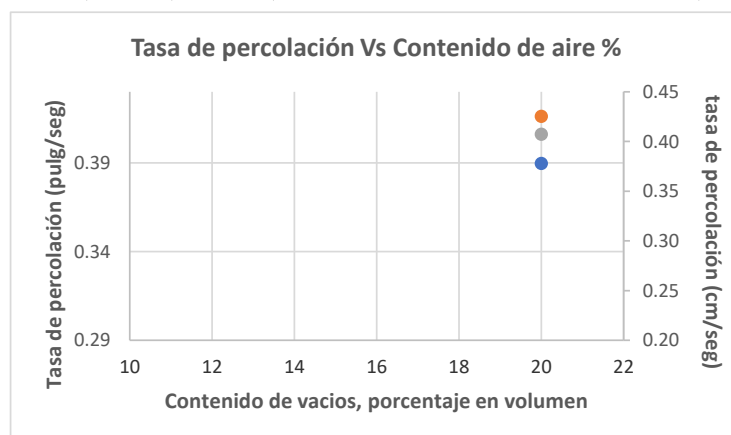
Tasa de permeabilidad de diseño: 0.4 cm/sg

FECHA DE ENSAYO: 20/03/2021

% DE VACIOS DE DISEÑO: 20 %

Observaciones: Permeámetro de carga variable, con tubería de PVC, espécimen moldeado dentro del tubo, sin fibras de polipropileno.

Especimen No	Ensayo No	altura (cm)	diametro (cm)	carga (cm)	tiempo (s)	Promedio (s)	Tasa de percolación (cm/s)
1	1	20.0	10	22.00	13.47	13.39	0.38
	2	20.0	10	22	13.45		
	3	20.0	10	22	13.24		
2	1	20.0	10	22	12.65	11.90	0.43
	2	20.0	10	22	11.6		
	3	20.0	10	22	11.44		
3	1	20.0	10	22	12.69	12.43	0.41
	2	20.0	10	22	12.05		
	3	20.0	10	22	12.54		
Promedio							0.40 Cm/s
							4.03



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA



ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEAMETRO DE CARGA VARIA

PROYECTO: "Aplicación del concreto permeable utilizando geosintéticos en la construcción de estacionamiento para diferentes tipos de suelos".

UBICACIÓN: Universidad de El Salvador FMO.

Lugar de ensayo: Laboratorio de Suelos y materiales de la Universidad de El Salvador.

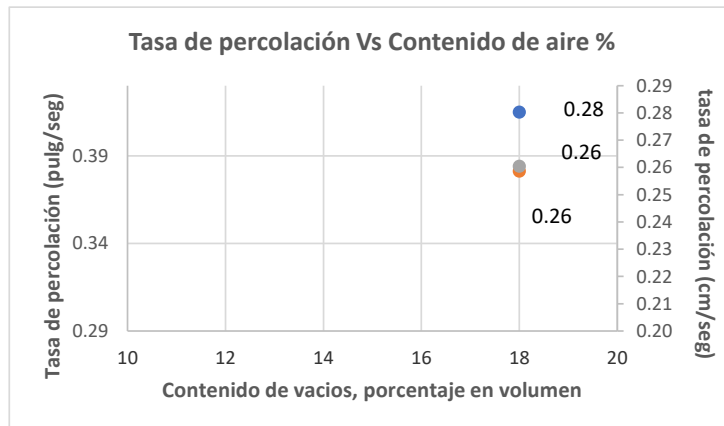
Tasa de permeabilidad de diseño: 0.35 cm/sg

FECHA DE ENSAYO: 20/03/2021

% DE VACIOS DE DISEÑO: 18 %

Observaciones: Permeámetro de carga variable, con tubería de PVC, espécimen moldeado dentro del tubo, sin fibras de polipropileno.

Especimen No	Ensayo No	altura (cm)	diametro (cm)	carga (cm)	tiempo (s)	Promedio (s)	Tasa de percolación (cm/s)
1	1	20	10	22	18.47	18.05	0.28
	2	20	10	22	18.45		
	3	20	10	22	17.24		
2	1	20	10	22	19.65	19.56	0.26
	2	20	10	22	19.6		
	3	20	10	22	19.44		
3	1	20	10	22	19.69	19.43	0.26
	2	20	10	22	19.05		
	3	20	10	22	19.54		
Promedio							0.27 Cm/s
							2.66



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA



ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEAMETRO DE CARGA VARIA

PROYECTO: "Aplicación del concreto permeable utilizando geosintéticos en la construcción de estacionamiento para diferentes tipos de suelos".

UBICACIÓN: Universidad de El Salvador FMO.

Lugar de ensayo: Laboratorio de Suelos y materiales de la Universidad de El Salvador.

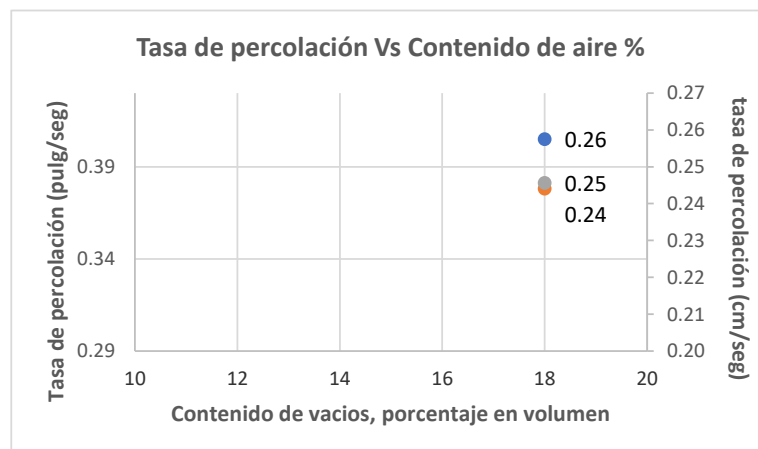
Tasa de permeabilidad de diseño: 0.35 cm/sg

FECHA DE ENSAYO: 20/03/2021

% DE VACIOS DE DISEÑO: 18 %

Observaciones: Permeámetro de carga variable, con tubería de PVC, espécimen moldeado dentro del tubo, con 10% fibras de polipropileno.

Especimen No	Ensayo No	altura (cm)	diametro (cm)	carga (cm)	tiempo (s)	Promedio (s)	Tasa de percolación (cm/s)
1	1	20	10	22	19.87	19.65	0.26
	2	20	10	22	19.3		
	3	20	10	22	19.78		
2	1	20	10	22	20.5	20.73	0.24
	2	20	10	22	20.8		
	3	20	10	22	20.89		
3	1	20	10	22	21.1	20.60	0.25
	2	20	10	22	20.3		
	3	20	10	22	20.4		
Promedio							0.25 Cm/s
							2.49



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA



ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEAMETRO DE CARGA VARIA

PROYECTO: "Aplicación del concreto permeable utilizando geosinteticos en la construccion de estacionamiento para diferentes tipos de suelos".

UBICACIÓN: Universidad de El Salvador FMO.

Lugar de ensayo: Laboratorio de Suelos y materiales de la Universidad de El Salvador.

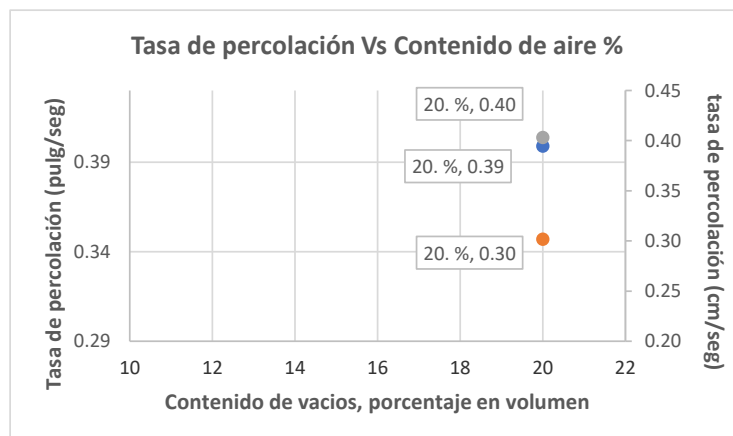
Tasa de permeabilidad de diseño: 0.4 cm/sg

FECHA DE ENSAYO: 20/03/2021

% DE VACIOS DE DISEÑO: 20 %

Observaciones: Permeámetro de carga variable, con tubería de PVC, espécimen moldeado dentro del tubo, con 25% de fibras de polipropileno.

Especimen No	Ensayo No	altura (cm)	diametro (cm)	carga (cm)	tiempo (s)	Promedio (s)	Tasa de percolación (cm/s)
1	1	20.0	10	22.00	12.20	12.82	0.39
	2	20.0	10	22	14.14		
	3	20.0	10	22	12.13		
2	1	20.0	10	22	17.15	16.78	0.30
	2	20.0	10	22	16.59		
	3	20.0	10	22	16.59		
3	1	20.0	10	22	13	12.55	0.40
	2	20.0	10	22	12.91		
	3	20.0	10	22	11.75		
Promedio							0.37 Cm/s
							3.66



ESPECIFICACIÓN TÉCNICA
GEOTEXTIL NO TEJIDO NT 3000 4.0

E S P E C I F I C A C I Ó N T É C N I C A	Propiedades Mecánicas	Norma	Unidad	NT 3000
	Metodo Grab	ASTM D 4632	N (lb) %	830(187)>50
	Resistencia a la flexión			
	Elongación			
	Resistencia al punzonamiento	ASTM D 4833	N (lb)	440(100)
	Método CBR	ASTM D 6241	Kn	2.4
	Resistencia al punzonamiento			
	Resistencia al rasgado trapezoidal	ASTM D 4533	N (lb)	315(71)
	Método Mullen Burst	ASTM D 3786	kPs (psi)	2208(320)
	Resistencia al estallido			
	Propiedades Hidráulicas	Norma	Unidad	NT 3000
	Tamaño de abertura aparente	ASTM D 4751	mm	0.125(120)
	Permeabilidad	ASTM D 4491	cm/s	35x10 ⁻²
	Permitividad	ASTM D 4491	s ⁻¹	1.8
	Tasa de flujo	ASTM D 4491	L/min/m ²	4890
	Retención de asfalto	ASTM D 6140	L/m ²	N.A
	Propiedades Físicas	Norma	Unidad	NT 3000
	Espesor	ASTM D 5199	mm	2.0
	Resistencia UV @ 500 horas	ASTM D 4355	%	>70
	Punto de fusion	ASTM D 276	°C	N.A
	Rollo ancho	medido	m	3.5*3.8*4.0
	Rollo largo	medido	m	120
	Rollo área	calculado	m ²	420*456*480
	Función del geotextil	Norma	Unidad	NT 3000
	Filtracion	-	-	v
	Drenaje	-	-	v
	Protección	-	-	v
Separación	-	-	v	
Estabilización	-	-	-	
Repavimentación	-	-	-	

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA
GEOMALLA BIAxIAL P-BX 20

E S P E C I F I C A C I Ó N T É C N I C A	Propiedades Mecánicas	Norma	P-BX 20
	Resistencia a la tensión 2% deformación (SL/ST) ²	ASTM D 6637	(6.0/9.0) kN/m
	Resistencia a la tensión 5% deformación (SL/ST) ²	ASTM D 6637	(11.8/19.6) kN/m
	Resistencia a la tensión pico (SL/ST) ²	ASTM D 6637	(19.2/28.8) kN/m
	Eficiencia en los nodos ³	GRI GG2	93%
	Rigidez flexural ⁴	ASTM D 1388	750 mg - cm x 100
	Rigidez torsional (J) ⁵	US ARMY COE	6.5 kg - cm / deg
	Propiedades Físicas	Norma	P-BX 20
	Tamaño de abertura (SL/ST) ²	medido	(25/33) mm
	Espesor de costillas (SL/ST) ²	ASTM D 1777	(1.27/1.27) mm
	Área abierta	CW 02215	80%
	Resistencia a los daños de instalación ⁶	ASTM D 6637	(>90)% SC/% SW/% GP
	Resistencia a la degradación a largo plazo ⁷	ASTM D 4355-05	>100%
	Presentación	Norma	P-BX 20
	Ancho del rollo	medido	4.0 m
	Longitud del rollo	medido	75 m
	Área del rollo	medido	300 m ²


[Regresar](#)

MEGAFLOW

Reductor de Agua de Alto Alcance

DESCRIPCION

MEGAFLOW es un compuesto líquido color café, formulado con poderosos reductores de agua que funcionan de forma electro-química con las partículas del cemento. Al tener contacto con el cemento, **MEGAFLOW** hace que las partículas de cemento se carguen negativamente, causando que se repelan entre sí, produciendo un movimiento de plasticidad al tratar de polarizarse con una cantidad mínima de agua presente en la mezcla. Este fenómeno causa que se reduzca el agua de amasado substancialmente. Como resultado se produce un aumento de la resistencia a temprana y última edad. Se puede obtener resistencias muy altas a temprana edad. Esta alta resistencia puede reducir o eliminar en algunos casos el uso de curado a vapor o por calor en operaciones de prefabricado o reforzado. El uso de losas de piso y secciones de carreteras el próximo día, usando **MEGAFLOW** es posible. Aditivos suplementarios como retardadores, acelerantes de fraguado, reductores de agua o impermeabilizantes se pueden usar con **MEGAFLOW** cuando sea necesario.

USO

- ? Para producir concreto con resistencias muy altas a edades de 18 a 24 horas.
- ? Para producir concreto fluido
- ? Para la fabricación de concreto prefabricado o reforzado sin el uso de vapor.
- ? Para acelerar la rehabilitación de reparaciones en losas de concreto o pavimentos.

INFORMACION TECNICA

MEGAFLOW cumple con la norma ASTM C-494 Tipo F y no contiene cloruro.

VENTAJAS

- ? Aumento a temprana edad de la resistencia a la compresión, flexión y adherencia que se obtiene por la reducción de 15% a 30% de agua que produce.
- ? Reduce el contenido de cemento substancialmente mientras mantiene el nivel de resistencia y trabajabilidad deseado.

INTERNATIONAL MATERIALS INDUSTRIES, L.L.C.

2131 Peters Road* Harvey, Louisiana 70058 * PHONE: (504) 227-9944 * Fax: (504) 227-9040

Final 23 Av Sur # 480 San Salvador, Telefono (503) 221-2299 Cel (503) 700-4321

GUARANTEE: La información que contiene esta ficha técnica está basada en pruebas e información de fuentes confiables, sin embargo, no se ofrece garantía ni expresión ni implicación alguna en la exactitud de estos datos, de los resultados que se obtienen por el uso de este o que este sea un infragregado cualquier producto. Esta información se suministra con la condición de que los usuarios que lo reciben harán sus propios pruebas para determinar lo adecuado para su propósito de uso particular. La responsabilidad por dichos datos para el fabricante será, en ningún caso, mayor que el precio del material entregado.

- ? Produce concreto fácil de colocar con revenimiento alto, eliminando o reduciendo la necesidad de compactación mecánica.
- ? Reduce la permeabilidad, produciendo un concreto más denso.
- ? En reparaciones, permite el uso de las estructuras reparadas el próximo día.

APLICACION

Usado como Reductor de Agua de alto alcance MEGAFLOW se debe introducir a la mezcla con el agua de mezclado. Use de 8 a 30 onzas fluidas por 100 libras de cemento (522ml a 2.0L por 100 Kg. de cemento). Para resistencias de 280 Kg/c.c. (4000 lbs/pulg²) a 24 horas en adelante hay que usar una relación agua/cemento de por lo menos 0.3 y una dosificación de MEGAFLOW de 20 oz por 100 lbs de cemento (1.3L por 100 Kg. de cemento).

Usado para producir Concreto Fluido MEGAFLOW produce concreto fluido de 6 a 10 pulgadas (15 a 25cm) de revenimiento, partiendo de un revenimiento inicial de 2 a 4 pulgadas (5 a 10 cm). El MEGAFLOW se debe añadir al camión / mezcladora en la obra y luego mezclar por tres minutos antes de descargar. Use de 8 a 16 onzas fluidas por 100 libras de cemento (522ml a 1.0L por 100 Kg. de cemento)

Usado para mantener el revenimiento: MEGAFLOW se puede re-dosificar varias veces hasta que la dosificación total de MEGAFLOW alcance 30 onzas por 100 lbs de cemento (2.0L por 100 Kg. de cemento). Cuando el colocado de concreto se demora y el revenimiento se comienza a perder, añada MEGAFLOW directamente al camión/mezcladora a razón de una a dos onzas fluidas por 100 libras de cemento (130 - 260 ml por 100 kg de cemento) para mantener el revenimiento.

EUCOMEX



EUCLID CHEMICAL

VISCTROL

aditivo modificador de la viscosidad

Descripción

VISCTROL es un aditivo líquido listo para usar, diseñado para modificar la viscosidad de concreto auto compactado. Al emplear **VISCTROL** en unión con aditivos superplastificantes se obtienen diámetros de extensibilidad de 18"-28" (460-710 mm) sin segregación o disminución de la resistencia a la compresión. cristal de hidróxido de calcio basado en hidróxido de calcio/aluminato de calcio, como se especifica en ACI 223.

Aplicaciones principales

- Modificador de viscosidad en concreto auto consolidable.

Características/Beneficios

- Reduce de manera importante la segregación y sangrado
- Dispersa uniformemente los agregados dentro de la mezcla.
- Elimina la necesidad de vibración.
- Mejora el revenimiento.
- Elimina segregación durante el bombeo.
- De fácil dosificación empleando los equipos convencionales de medición de flujo en aditivos.

Información Técnica

Apariencia: **VISCTROL** es un líquido café de viscosidad media que no decolorara el concreto.

Densidad: 1.23 +/-0.20 g/ml

pH: 8.00 +/-1.00

Líquido color café oscuro

Envase/Rendimiento

- Cubetas de 19 L
- Tambores de 200 L

Tiempo de vida

6 meses en el envase original cerrado.

Limpieza

Limpie con agua las herramientas y el equipo antes de que el material se endurezca.

Especialidades

VISCTROL

Formato Maestro #:

Instrucciones de uso

Secuencia de adición.- La secuencia de adición en un concreto auto consolidable es crítica para optimizar el desempeño de cada aditivo empleado. Datos de laboratorio han mostrado que el siguiente orden de adición permite obtener un mejor resultado:

- Agente incorporador de aire (opcional).
- Reductores de agua (alto rango).
- Acelerante o retardante (opcional).
- VISCTROL.
- HRWR agregado al final de la secuencia de adición.

Nota: VISCTROL puede agregarse al final de la secuencia de adición en una base limitada para corregir un ligero sangrado o problema de segregación.

La dosificación de VISCTROL variará dependiendo de la proporción agua/cemento y la gradación de los materiales utilizados. Consulte a su representante de EUCOMEX para obtener mayor información sobre las dosificaciones adecuadas. Comúnmente deben utilizarse de 39 a 470 ml/ m³ (1 a 3 12 oz/yd³) para controlar el sangrado y segregación en el concreto autoconsolidable cuando se utilizan reductores de agua de poliacrilato. Las variables como proporciones agua/cemento, gradaciones de arena y diseños de mezcla juegan un rol importante. Deben realizarse mezclas de prueba para optimizar los requerimientos de dosificación. Con relaciones altas de agua/cemento y bajas cantidades de finos en un concreto auto compactado y el uso de reductor de agua base naftaleno, se requiere dosis de VISCTROL hasta de 775 ml/m³ (20 oz/yd³).

Precauciones/Limitaciones

- Agite el VISCTROL antes de usar.
- No permita que el material se congele.
- Agentes incorporadores de aire se deben adicionar primero.
- Si se requiere un incremento en el revenimiento, el reductor de agua de alto rango debe agregarse después de la adición de VISCTROL para asegurar un adecuado sistema de inclusión de aire.
- Leves retardos en el fraguado pueden ocurrir con el uso de este producto cuando la dosis es superior a 576 mL/m³
- Los cambios en los tipos de cemento, agregados y la temperatura modifican el desempeño de los aditivos en la mezcla de concreto variando resultados en el concreto fresco o endurecido. En coordinación con el Asesor Técnico Comercial EUCOMEX de la región, es fundamental efectuar pruebas de desempeño de los aditivos bajo las condiciones propias de cada obra. De ésta manera, se podrá definir la solución que ofrezca un mejor costo-beneficio a nuestros clientes.
- Agite el producto antes de usar.
- El producto debe almacenarse en su envase original, bien cerrado, bajo techo, en un lugar fresco y seco.

Rev. 03.16

NOTA: Para mayor información sobre este producto diríjase al Departamento de Servicio a Clientes de EUCOMEX o a su Asesor Técnico Comercial en la región. Los resultados que se obtengan con nuestros productos pueden variar a causa de las diferencias en la composición de los sustratos sobre los que se aplica o por efectos de la variación de la temperatura y otros factores. Por ello recomendamos hacer pruebas representativas previas a su empleo en gran escala. EUCOMEX se esfuerza por mantener la alta calidad de sus productos, pero no asume responsabilidad alguna por los resultados que se obtengan como consecuencia de su empleo incorrecto o en condiciones que no estén bajo su control directo. La única garantía sobre los productos fabricados o ensamblados por EUCOMEX, se describe en la página electrónica www.eucomez.com.mx

BIBLIOGRAFÍA

TESIS:

Comportamiento del Concreto Permeable Utilizando Agregado Grueso de las Canteras, El

Carmen, Aramuaca y La Pedrera, de la Zona Oriental de El Salvador, presentan:

Barahona Aguiluz Rene Alexis, Martínez Guerrero Marlon Vladimir y Zelaya Zelaya

Steven Eduardo, para optar al título de: Ingeniero Civil, San Miguel 2013.

Diseño, Proceso Constructivo y Evaluación Post Construcción de un Pavimento Rígido de

Concreto Permeable, presenta: Marlon Ebiezer Vigil Sánchez, para optar al título de:

Ingeniero Civil, San Salvador 2012.

Evaluación del Comportamiento en el Módulo de Ruptura en Concretos Permeables para

Carpetas de Rodadura de Pavimentos Rígidos Utilizando Geosintéticos en su Estructura,

presentan: Jhony Josué Gámez Bolaños, Carlos David Guzmán Rodríguez y Francisco

Alberto Renderos Ferrer, para optar al título de: Ingeniero Civil, San Salvador 2016.

Influencia de la Incorporación de Fibras de Polipropileno en Concreto Permeable $f'c = 210$

kg/cm², presentan: Iván Quispe Soncco y Elmer Isaí Cutipa, para optar al título de:

Ingeniero Civil, Perú 2017.

REVISTAS Y DOCUMENTOS:

Revista ISCYC No. 65, 2018 *Alternativas para la Construcción de Pavimentos en Vías de Baja*

Intensidad de Tráfico, Ing. Marlon Ebiezer Vigil Sánchez.

Revista ISCYC No. 80, 2017 *Sistema Integral para el Desarrollo Urbano Sostenible Concreto*

Permeable, Ing. Samuel E. Arango C.

Revista P y S Concreto No. 6, 2019 *Concreto Considerado como un Material de Construcción*

Sostenible por el Manejo Adecuado del Agua de las Lluvias, Ing. Carlos Aire Untiveros,

Investigador del Instituto de Ingeniería UNAM.

Manual de Diseño con Geosintéticos, PAVCO, Octava Edición 2009 “Departamento de Ingeniería

– Geosistemas PAVCO S.A., una empresa Mexichem Bogotá D.C - Colombia” XV Jornada

Chilena de Hormigón, *Desarrollo de Mezclas de Hormigón Poros para Pavimentos*

Urbanos.

Participación en certificación de *Sostenibilidad en la Construcción, Pavimentos de Concreto*

Permeable, 2020, Impartido por: Ing. Marlon Ebiezer Vigil Sánchez.

REGLAMENTO Y NORMATIVAS:

ASTM C-702 *REDUCCIÓN DE MUESTRAS A TAMAÑO DE PRUEBA.*

ASTM C-136 *ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS.*

ASTM C-127 *MÉTODO DE ENSAYO PARA GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN
DEL AGREGADO GRUESO.*

ASTM C-29 *MÉTODO DE ENSAYO PARA PESO UNITARIO Y PORCENTAJE DE VACÍOS
EN EL AGREGADO.*

ASTM C-39 *MÉTODO DE ENSAYO PARA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.*

ASTM C-78 *MÉTODO DE ENSAYO PARA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.*

ASTM C-1701 *MÉTODO DE ENSAYO PARA MEDIR LA TASA DE PERCOLACIÓN EN UN
PAVIMENTO DE CONCRETO.*

ACI 522R *CONCRETO PERMEABLE* (2006).

ASOCIACIÓN NACIONAL DE CONCRETO PREMEZCLADO NMRCA.