

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



**“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO EN EL
MÓDULO DE RUPTURA EN CONCRETOS
PERMEABLES PARA CARPETAS DE RODADURA DE
PAVIMENTOS RIGIDOS UTILIZANDO
GEOSINTÉTICOS EN SU ESTRUCTURA.”**

PRESENTADO POR:

JHONY JOSUE GAMEZ BOLAÑOS

CARLOS DAVID GUZMAN RODRIGUEZ

FRANCISCO ALBERTO RENDEROS FERRER

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO 2016

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR INTERINO :

LIC. JOSÉ LUIS ARGUETA ANTILLÓN

SECRETARIA GENERAL :

DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR :

ING. JORGE OSWALDO RIVERA FLORES

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO CIVIL

Título :

**“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO EN EL
MÓDULO DE RUPTURA EN CONCRETOS
PERMEABLES PARA CARPETAS DE RODADURA DE
PAVIMENTOS RIGIDOS UTILIZANDO
GEOSINTÉTICOS EN SU ESTRUCTURA.”**

Presentado por :

JHONY JOSUE GAMEZ BOLAÑOS

CARLOS DAVID GUZMAN RODRIGUEZ

FRANCISCO ALBERTO RENDEROS FERRER

Trabajo de Graduación Aprobado por
Docentes Asesores :

ING. DILBER ANTONIO SÁNCHEZ VIDES

ING. MAURICIO ERNESTO VALENCIA

ING. MARIO ALEJANDRO AVELAR PINEDA

San Salvador, Marzo de 2016

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Asesores :

ING. DILBER ANTONIO SÁNCHEZ VIDES

ING. MAURICIO ERNESTO VALENCIA

ING. MARIO ALEJANDRO AVELAR PINEDA

AGRADECIMIENTOS.

A DIOS TODO PODEROSO por bendecirnos, iluminarnos y darnos fuerzas en este largo camino que un día decidimos emprender juntos y que ahora llega a su final, los problemas fueron muchos, pero siempre nos mostraste tu infinita misericordia, siempre supiste y nos mostraste la dirección correcta y la solución a cada uno de los problemas, gracias a Ti hoy terminamos nuestro Trabajo de Graduación.

A nuestra querida y respetada **UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**, por recibirnos y brindarnos formación, capacitarnos y darnos todos los conocimientos que se necesitan para enfrentar la vida profesional que nos espera y así contribuir con el crecimiento y desarrollo nuestro querido país.

A la **ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL** por formar parte en nuestra formación como profesionales de Ingeniería Civil.

A LOS PROFESIONALES DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR que fungieron como docentes y amigos, que pusieron su grano de arena en nuestra formación brindándonos su apoyo y conocimiento y además colaboraron y formaron parte de nuestro Trabajo de graduación:

Ing. Dilber Antonio Sánchez Vides.

Ing. Mauricio Ernesto Valencia.

Ing. Jorge Oswaldo Rivera Flores.

Ing. Roberto Otoniel Berganza.

Ing. Evelio López.

Ing. José Ranulfo Cárcamo y Cárcamo.

Ph.D.. Edgar Armando Peña.

Tec. Carlos Edgardo Morataya.

A los representantes de las empresas HOLCIM El Salvador, **Ing. Mario Alejandro Avelar Pineda** por además de ser nuestro asesor a lo largo de nuestro trabajo de graduación, colaborarnos con material y equipo para dicha investigación y del Grupo Mexichem al **Ing. A. Mario Boscaino**, por ayudarnos con los materiales necesario para el desarrollo de nuestro Trabajo de Graduación además de su asesoría.

Además nuestros agradecimientos especiales a aquellas personas que colaboraron de una manera u otra en el desarrollo de nuestro Trabajo de Graduación.

Jorge Ulises Valdés.

Carlos Emilio Villacorta Ferrer.

Wilfredo Llanes.

Karla María Rosales.

Y a cada uno de nuestros amigos y compañeros de grupo que de manera directa o indirecta aportaron a nuestro desarrollo como futuros profesionales.

GRACIAS A TODOS.

EL GRUPO

DEDICATORIA.

AI ETERNO, por brindarme siempre sus bonanzas, ya que sin el nada fuera.
Gracias Señor.

A MI MADRE, por el amor y el esfuerzo dedicado hacia mí. Gracias mamá.

MI PADRE, por su amor, ejemplos y consejos y esfuerzo. Gracias papá.

MIS ABUELOS. Por inculcarme los buenos principios de vida, consejos y amor.
Gracias.

MIS TIOS Y TIAS. Por sus consejos y palabras de aliento.

MIS HERMANOS Y HERMANAS. Por ser consejeros, amigos y apoyo siempre.

MIS PRIMOS. Que dejan de ser primos y se hacen hermanos. **Y AL RESTO DE MI FAMILIA**. Gracias por aportar a mi formación.

A MIS AMIGOS. Por brindar su amistad y cariño, además de ser consejeros, tutores, y apoyo en muchas condiciones a lo largo de todo este trayecto llamado vida.

A MIS COMPAÑEROS DE TRABAJO DE GRADUACION. Por además de ser compañeros, son amigos, y le hicimos frente a lo que viniera.

A MIS ASESORES. Por demostrar paciencia, y brindarnos su tiempo y dedicación para dicha investigación. Gracias Maestros.

A TODOS LOS DOCENTES. Que han formado parte de mi formación profesional hasta ahora, y además han mostrado una mano amiga, gracias.

Jhony Josué Gámez Bolaños.

DEDICATORIA

A DIOS TODOPODEROSO Y A LA VIRGEN MARÍA: por ser testimonio de su bendición y misericordia, por darme esta oportunidad de culminar mis estudios profesionales, proteger y guiar a mi familia en los distintos retos que el mundo nos preparara.

A MIS PADRES: Carlos M. Guzmán (papá), Maribel Rodríguez (mamá) por ser ejemplos de sacrificio imparable ante tanta adversidad, por sus consejos, por confiar en mis retos, por guiarme, educarme, amarme, este logro es suyo también.

A MIS HERMANOS: Nidia, Josué, Flory, por estar en todo los momentos y hacerlos feliz, por su confianza, por amarme y amarnos.

A MI ABUELA: Marta Cruz: por su cariño, ternura y entrega, gracias Martita, **Alsenio Barrera, Douglas Barrera (tío), Carmen Elena, Andrea (prima), Marcela (Prima), Otoniel (primo),** por recibirme en su hogar y permitirme ser parte del suyo, les agradezco su apoyo incondicional.

A MI ABUELO Cristóbal Guzmán por su apoyo en todo momento.

A MIS TIOS: Marina Rodríguez, Víctor Rodríguez, Rosa Guzmán, Carmen Guzmán, Rosa R., Manuel R., que pusieron su granito de arena, que fue de gran ayuda para poder llegar a mi objetivo propuesto.

A MIS PRIMOS: Víctor Rivera, Brenda Rivera, Ana Rivera, por su apoyo en todo momento, por su amistad, y ser herramientas esenciales en la carrera de la vida.

A KARLA KASCO (Q.E.P.D.) Y FAMILIA: por ser ejemplo de superación ante tanta dificultad, por su amistad y permitirme ser parte de sus alegrías como tristezas, su apoyo incondicional fue determinante para este logro.

A MIS COMPAÑEROS DE TESIS: Jhony, y Fran, por lo que logramos juntos y sobre todo por la gran amistad que formamos. Por todos los momentos divertidos que hicieron más ameno el aprendizaje.

A MIS AMIGOS: Luis Cardoza, Dimas Serrano, Oswaldo Escobar, Prof. Oscar R. Linares (Q.E.P.D.) y familia, Miguel Villeda, Yami Hércules, Karen Casco, Maricruz Aguilar, Lily Benítez, Roxana Alvarado, Marlon Rivera, Belarmino, Delgado, Karen Cruz, Victoria Guerra, Josué Portillo, Moisés Erroa, Nelson Vásquez, Andrea Villeda, Sendy Villeda, Yoa Villeda, Lisseth García, Ángel García, Prof. Yamileth Fuentes, Prof. Pedro Valle, Karla Rosales, Wil T. Llanes, Jorge Valdez, Jhovanny Anaya, Gerson Molina, Yenci Sibrian, Claudia Carrillo, Jorge Hernández, Javier Soriano, amigos y compañeros de promoción, Porque son calidad de personas y dan lo mejor de sí mismos, sin esperar nada a cambio, porque se han ganado mi cariño, admiración y respeto.

Carlos David Guzmán Rodríguez.

DEDICATORIA.

Recuerdo aquel día que salía de mi casa para iniciar un camino que prometía retos, obstáculos, aventuras, alegrías, tristezas y también muchas satisfacciones, camino en el que aprendí mucho, en el que se tuvo que sacrificar infinidad de cosas, en el que gane, pero también perdí y ahora que llega este momento veo atrás y solo puedo decir **LO LOGRE**; siempre hubo muchas personas que fueron muy importantes para poder seguir adelante en los momentos difíciles, a todas esas personas que estuvieron a mi lado en esta etapa que hoy acaba dedico este triunfo.

A DIOS TODO PODEROSO, por darme sabiduría e inteligencia cuando más lo necesite, gracias por estar conmigo todos los días de mi vida y por dirigir cada paso que doy, por permitirme ver tu inmensa misericordia en todo momento, por tu fidelidad mostrada una vez más en este momento, Bendito seas Padre.

A MIS PADRES, Francisca del Rosario Ferrer y José Francisco Renderos, porque sin su apoyo incondicional, sus consejos y sus regaños nada de esto pudo haber sido posible, gracias por sus desvelos y preocupaciones que en algún momento fueron por mí, gracias por todo, no les debo mucho, les debo todo, gracias a ustedes soy el hombre que soy. LOS AMO.

A MI HERMANA, Lorena Patricia, por su ayuda, por ser mi compañía desde siempre, por sus consejos, por creer en mí, a pesar que solo somos nosotros ha sido suficiente para conocer el valor de y la importancia de un hermano, gracias por todo hermanita.

A TODA MI FAMILIA, que siempre tuvo la fe puesta en mí y nunca dudaron que este momento llegaría, a **Kevin Alejandro**, porque más que un primo es un hermano para mí, a **Emilio Ferrer** por darnos la mano cuando como grupo más

lo necesitamos, a mi **Tía Irene Ferrer y familia**, por acogernos en su hogar cuando lo necesitamos y hacernos parte de él; **MIS ABUELOS, Adela Villacorta, Santiago Renderos, Carmen Ferrer, Rafael Villacorta y “Mamá Chica”**, este triunfo va hacia el cielo, su recuerdo siempre vive en mí.

A MI NOVIA, Ana Leticia, gracias por ser mi amiga, mi apoyo incondicional, por tu paciencia, comprensión y porque nunca perdiste la fe en mí y siempre tuviste las palabras adecuadas para darme ánimos, gracias porque siempre estuviste a mi lado, TE AMO.

A MIS COMPAÑEROS DE TESIS, Jhony Josué y Carlos David, gracias por su amistad, por su paciencia y comprensión en los momentos que lo necesité, el camino y la espera fue larga y difícil hasta el último momento pero logramos el objetivo, agradezco a Dios por haberlos puesto en mi camino y gracias a Él terminamos.

A MIS AMIGOS, Nelson Vásquez, Roberto Cuchilla y Armida Galán, gracias por sus palabras de aliento en los momentos que las necesite y por estar siempre ahí, los quiero. A los que encontré en el camino de mi formación Wilfredo Llanes, Karla Rosales, Jorge Valdés, Willian Guerrero, Nelson Escalante, Edward Quintanilla, Alexander Miranda, Orlando Martínez, Jessica Portillo, Ledy Esquivel, Ángel García, Karen Cruz, Sara Bonilla y a todos aquellos que se me quedan en el tintero, con ustedes libramos batallas que al final se vieron superadas, gracias por todo.

A MIS AMIGAS, Michelle Macías, gracias porque desde el día que me adoptaste para aquella tarea nunca me dejaste solo, a vos te debo mucho de esto, **Milagro Castañeda**, colocha fuiste mi compañera de batallas y a pesar que tuvimos diferencias siempre estuviste a mi lado apoyándome y regañándome; por designios de Dios nuestros caminos se separaron al final pero la amistad perdura para siempre, a las dos las quiero mucho.

A LOS DOCENTES DIRECTORES, Ing. Dilber Sánchez, Ing. Mauricio Valencia e Ing. Mario Avelar, por brindarnos parte de sus conocimientos y por facilitarnos muchas cosas en esta investigación, por su buena voluntad, su entrega y tiempo, Dios les bendiga.

Francisco Alberto Renderos Ferrer

INDICE DE CONTENIDO

CAPITULO I: ANTEPROYECTO.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.2. ANTECEDENTES	4
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
1.4. OBJETIVOS.....	7
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	7
1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	7
1.5. ALCANCES.....	8
1.6. LIMITACIONES.....	9
1.7. JUSTIFICACION.	10
CAPITULO II: GENERALIDADES SOBRE LOS CONCRETOS PERMEABLES.....	11
2.1. GENERALIDADES	12
2.1.1. Ventajas e inconvenientes.....	13
2.1.2. Aplicaciones en pavimentos.....	15
2.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES Y DE LA MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE... ..	19
2.2.1 Agregados.....	21
2.2.2. Relación Ponderal Entre El Agregado Fino Y El Agregado Grueso (F/G).....	25
2.2.3. Cemento.....	26

2.2.4.	Agua	26
2.2.5.	Aditivos	27
2.2.6.	Otros Materiales.....	28
2.3.	PROPIEDADES DE INGENIERÍA DEL CONCRETO PERMEABLE	30
2.3.1.	Propiedades del Concreto Permeable en Estado Fresco.....	30
2.3.2.	Propiedades del Concreto Permeable en Estado Endurecido	31
2.4.	MÉTODOS DE DISEÑO	47
2.4.1.	Según comité ACI 211.3. Guía para seleccionar proporciones de concreto sin revenimiento.....	47
2.4.2	Según ACI 522-10 – reporte sobre concreto permeable	53
2.4.3	NRMCA –Metodología De La National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA).....	55
2.5	DEFINICION DE LOS GEOSINTETICOS.....	68
2.5.1	Composición de los geosinteticos.....	69
2.5.2	Funciones principales de los geosinteticos.....	71
2.5.3	Clasificación de los geosinteticos.....	81
2.5.4	Control de calidad y especificaciones.....	92
2.5.5	Aplicación de geosinteticos en las vías.....	98
2.6	CONCRETO CON FIBRAS DE REFUERZO.....	102
2.6.1	Generalidades.....	102
CAPÍTULO III: PROPUESTA PARA EL TRABAJO EN EL LABORATORIO. ...		111
3.1	DESCRIPCIÓN E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN Y EL TRABAJO EXPERIMENTAL.....	112
3.1.1	Hipótesis de la investigación.....	112

3.2. ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACIÓN A DESARROLLAR.....	116
3.2.1. Descripción del trabajo experimental.....	116
3.2.2. Selección de los materiales a utilizar	116
3.2.3. Pruebas de laboratorio a los agregados de la mezcla.....	117
3.2.4. Diseño de la Mezcla	117
3.2.5. Hechura de la Mezcla y Elaboración de especímenes de concreto.....	117
3.2.6. Ensayos al concreto fresco	117
3.2.7. Ensayos al concreto endurecido.....	117
3.3 DESCRIPCION DE MATERIALES UTILIZADOS.....	118
3.3.1 Agregados.....	118
3.3.2 Cemento.....	118
3.3.3. Agua.....	118
3.3.4. Aditivos.....	118
3.3.5. Geosintético.....	119
3.3.6. Fibras.....	120
3.4 PRUEBAS DE LABORATORIOS A AGREGADOS.....	120
3.4.1. Granulometría de Agregado Grueso.....	121
3.4.2. Curva de análisis granulométrico para agregado grueso	122
3.4.3 Gravedad Específica y Absorción.....	123
3.4.3. Peso volumétrico (Densidad Bulk).....	124
3.5 DISEÑO DE MEZCLAS.....	125
3.5.1 Verificación de diseño de mezcla a utilizar.....	125

3.5.2	Propuestas de colocación de geosintéticos	127
3.6	ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES.....	129
3.6.1	Descripción de trabajo a realizar.....	129
3.6.2	Ensayos al concreto fresco	132
3.7	ENSAYO A CONCRETO ENDURECIDO.....	133
3.7.1	Ensayos de resistencia a flexión con geosintético y fibras.	133
3.7.2	Ensayo de permeabilidad al concreto.....	140
3.7.3	Determinación de porcentaje de vacíos en concreto endurecido. .	142
	CAPITULO IV: ANALISIS DE RESULTADOS	146
4.1.	GENERALIDADES.....	147
4.2	CARACTERIZACION DE LA MEZCLA POR METODO DE DISEÑO DE RESISTENCIA	150
4.2.1	Especímenes de concreto permeable con refuerzo de geomalla en la base.....	150
4.2.2	Especímenes de concreto permeable con refuerzo de geomalla a ¼ de la base.	155
4.2.3	Especímenes de concreto permeable con refuerzo de geomalla biaxial en la base e inclusión de fibras.	158
4.2.4	Especímenes de concreto permeable simple.....	162
4.3	RESUMEN DE RESULTADOS.....	165
	CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	166
5.1	CONCLUSIONES.....	167
5.2	RECOMENDACIONES.....	169
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	171

ANEXOS	174
A.1 CATALOGO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO.	175
A.2 HOJA DE ESPECIFICACION DE GEOMALLA BIAXIAL P-BX11	179
A.3 FOTOGRAFIA ANEXO: PERMEAMETRO DE CARGA VARIABLE.	180
A.4 CARTAS TECNICAS DE ADITIVOS.....	182
A.4.1 MODIFICADOR DE VISCOSIDAD IMI VMA.....	182
A.4.2 RETARDANTE Y PROMOTOR DE RESISTENCIA IMIX RB910.....	184
A.4.3 REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO ULTRAFLOW-5000.....	186

INDICE DE FIGURAS.

FIGURA 2. 1 Permeámetro de Carga Variable.....	42
FIGURA 2. 2 PERMEAMETRO DE CARGA VARIALBE FUENTE: ACI 522-10.	44
FIGURA 2. 3 Molde del cono de flujo, (A) Mesa de flujo y cono de flujo, (B) Ensayo de cono de flujo para la pasta a utilizarse en la mezcla de concreto permeable. Fuente: Pervious Concrete: Experimental Validation of Mixture Proportioning Methodology, NRMCA, 2009	59
FIGURA 2. 4 Muestras del flujo en mezclas de prueba (A) Extensión de 5” en el cono de flujo (B) Extensión de 4” en el cono de flujo. Fuente: Pervious Concrete: Experimental Validation of Mixture Proportioning Methodology. NRMCA, 200960	
FIGURA 2. 5 Rangos visuales (1-5) de la trabajabilidad del Concreto Permeable Fuente: Pervious Concrete: Experimental Validation of Mixture Proportioning Methodology. NRMCA, 2009	61
FIGURA 2. 6 FUNCION DE SEPARACION EN GEOSINTETICOS. Fuente: Manual de Diseño con Geosintéticos.....	72
FIGURA 2. 7 Distribución de esfuerzos. Fuente: Manual de Diseño con Geosintéticos	73
FIGURA 2. 8 COMPORTAMIENTO DE REFUERZO EN UN SUELO AL USAR GEOSINTETICOS Fuente: Manual de Diseño con Geosintéticos	74
FIGURA 2. 9 FUNCION DE FILTRACION DE FLUIDOS PARA UN GEOSINTETICO. Fuente: Manual de Diseño con Geosintéticos	76
FIGURA 2. 10 DRENAJE INSTALADO EN ZONAS DE RELEVANCIA PARA LA ESTRUCTURA DE LA VIA. Fuente: Manual de Diseño con Geosintéticos	78
FIGURA 2. 11 COMPORTAMIENTO DEL AGUA CUANDO UN GEOSINTETICO EJERCE FUNCION DE DRENAJE. Fuente: Manual de Diseño con Geosintéticos	79
FIGURA 2. 12 IMPERMEABILIZACION DE UN GEOSINTETICOS DENTRO DE UN SUELO. Fuente: Manual de Diseño con Geosintéticos	80

FIGURA 2. 13 EJEMPLO DE GEOTEXTIL NO TEJIDO. Fuente: Manual de Diseño con Geosintéticos	82
FIGURA 2. 14 GEOTEXTIL TEJIDO. Fuente: Manual de Diseño con Geosintéticos	83
FIGURA 2. 15 EJEMPLO DE GEOMALLA. Fuente: Manual de Diseño con Geosintéticos	84
FIGURA 2. 16 EJEMPLO DE GEOREDES. Fuente: Manual de Diseño con Geosintéticos	87
FIGURA 2. 17 EJEMPLO DE GEOMEMBRANAS PUESTAS EN OBRAS. Fuente: Manual de Diseño con Geosintéticos.....	88
FIGURA 2. 18 EJEMPLO DE GEOCELDAS. Fuente: Manual de Diseño con Geosintéticos	89
FIGURA 2. 19 EJEMPLO DE GEOCOMPUESTOS DRENANTES. Fuente: Manual de Diseño con Geosintéticos.....	91
FIGURA 2. 20 REDUCCION DE LA MIGRACION DE PARTICULAS DE UNA CAPA A OTRA. Fuente: Manual de Diseño con Geosintéticos	99
FIGURA 2. 21 TRABAJO DE CONFINAMIENTO DE UNA GEOMALLA Fuente: Manual de Diseño con Geosintéticos.....	100
FIGURA 3. 1 ENSAYO DE TENSION SEGÚN NORMA ASTM C-78 CARGADA EN LOS PUNTOS TERCIOS.....	113
FIGURA 3. 2 REPRESENTACION DE ESFUERZO DE TENSION EN ELEMENTO PRISMATICO.....	113
FIGURA 3. 3 REPRESENTACION DE ESFUERZOS AL SER SOMETIDOS A UNA CARGA PERPENDICULAR (ejemplo de ensayo de espécimen cargado en el punto medio ASTM C 293).....	114
FIGURA 3. 4 DIAGRAMA DE ESFUERZOS EN UN ELEMENTO PRISMATICO.	115

FIGURA 3. 5 PROPUESTAS DE COLOCACION DE REFUERZO DE GEOMALLA BIAXIAL.....	115
FIGURA 3. 6 Colocación y Compactación de concreto permeable fresco	130
FIGURA 3. 7 Colocación de Geomalla en la base del molde de vigueta	131
FIGURA 3. 8 Desmoldado y Curado de especímenes.....	131
FIGURA 3. 9 PERMEAMETRO DE CARGA VARIABLE	140
FIGURA 3. 10 RELACION ENTRE POROSIDAD “A” Y POROSIDAD “T”.	144

INDICE DE TABLAS.

TABLA 2. 1 Valores efectivos de b/b0 Referencia: Comité ACI 211.3, apéndice 6	51
TABLA 2. 2 Resumen de Fórmulas para cálculo de contenido de materiales según metodología NRMCA. Fuente: ACI 522-10.	65
TABLA 2. 3 Asignación de letras y siglas	107
TABLA 2. 4 Resumen de designaciones para concretos con Resistencia de 21 N/mm ² (210 Kg/cm ²). Fuente: Revista de Ingeniería de Construcción	108
TABLA 2. 5 Resumen de designaciones para concretos con resistencia de 28 N/mm ² (280 kg/cm ² . Fuente: Revista de Ingeniería de Construcción	108
TABLA 3. 1 Granulometría de Agregado Grueso.....	121
TABLA 3. 2 Gravedad Específica y Absorción.....	123
TABLA 3. 3 Peso volumétrico (Densidad Bulk).....	124
TABLA 3. 4 Características de agregado Grueso	125
TABLA 3. 5 Características del Cemento	125
TABLA 3. 6 Dosificación de Aditivos por 100 kg de Cemento	126
TABLA 3. 7 Requerimientos de Diseño de Mezcla	126
TABLA 3. 8 Diseño de Mezcla para 1 m ³ de concreto permeable.....	127
TABLA 3. 9 Pesos y Volúmenes de Materiales para batchadas.	127
TABLA 3. 10 Resultados de Ensayo de Temperatura a Concreto Fresco.	132
TABLA 3. 11 Resultados de ensayo a flexión a viguetas de concreto permeable.	134
TABLA 3. 12 Resultados de ensayo a flexión a viguetas de concreto permeable.	135

TABLA 3. 13 Resultados de ensayo a flexión a viguetas de concreto permeable.	136
TABLA 3. 14 Resultados de ensayo a flexión a viguetas de concreto permeable.	137
TABLA 3. 15 Resultados de ensayo a flexión a viguetas de concreto permeable.	138
TABLA 3. 16 Resultados de ensayo a flexión a viguetas de concreto permeable.	139
TABLA 3. 17 Resultados de ensayo de permeabilidad a núcleos extraídos de concreto permeable	142
TABLA 3. 18 Resultados de Ensayo de porcentaje de Vacíos según Norma ASTM C 642-13	145
TABLA 4. 1 Factores de probabilidad y porcentajes de ensayos con resistencias menores que MR	148
TABLA 4. 2 Factor de modificación de la desviación estándar cuando se dispone de menos de 30 ensayos (Tabla 5.3.1.2 del ACI 318).....	149
TABLA 4. 3 Resistencia Promedio Requerida cuando es desconocida la desviación estándar	149
TABLA 4. 4 Distribución de Frecuencia de Módulos de Ruptura de viguetas reforzadas con geomalla en la base	150
TABLA 4. 5 Evaluación de criterios de aceptación según ACI 325.9R para viguetas reforzadas con geomalla en la base.	151
TABLA 4. 6 Distribución de Frecuencia de Módulos de Ruptura de viguetas reforzadas con geomalla a un cuarto de la base.	155
TABLA 4. 7 Evaluación de criterios de aceptación según ACI 325.9R para viguetas reforzadas con geomalla a un cuarto de la base.	156
TABLA 4. 8 Distribución de Frecuencia de Módulos de Ruptura de viguetas reforzadas con geomalla en la base e inclusión de fibras.....	158

TABLA 4. 9 Evaluación de criterios de aceptación según ACI 325.9R para viguetas reforzadas con geomalla en la base e inclusión de fibras.	159
TABLA 4. 10 Distribución de Frecuencia de Módulos de Ruptura de viguetas sin refuerzo.....	162
TABLA 4. 11 Evaluación de criterios de aceptación según ACI 325.9R para viguetas sin refuerzo.....	163
TABLA 4. 12 Resumen de resultados de resistencia a flexión, permeabilidad y porcentaje de vacío en los diferentes especímenes de concreto permeable..	165

INDICE DE GRAFICOS.

GRAFICA 2. 1 Resistencia a la compresión en Cilindros versus Contenido de Aire FUENTE: ACI 522-10	32
GRAFICA 2. 2 Resistencia a la Compresión en cilindros versus Peso Unitario FUENTE: ACI 522-10.	33
GRAFICA 2. 3 Contenido de Aire para dos diferentes grados de Compactación FUENTE: ACI 522-10	34
GRAFICA 2. 4 Resistencia a la Flexión en vigas versus Contenido de Vacíos FUENTE: ACI 522-10	35
GRAFICA 2. 5 Resistencia a la Flexión versus Porosidad FUENTE: ACI 522-10.	37
GRAFICA 2. 6 Resistencia a la Flexión en vigas versus Contenido de Vacíos FUENTE: ACI 522-10.	37
GRAFICA 2. 7 Tamaño de Poro característico versus Tamaño de Agregado FUENTE: ACI 522-10.	39
GRAFICA 2. 8 Tamaño de Poro Característico versus porcentaje de agregado más grande reemplazando los más pequeños FUENTE: ACI 522-10.....	40
GRAFICA 2. 9 Percolación de Agua versus Contenido de Vacíos FUENTE: ACI 522-10.....	41
GRAFICA 2. 10 Contenido de Vacíos Mínimo para la percolación basada en pruebas y Métodos de ensayo de la NAA-NRMCA (National Aggegates Association-National Ready Mixed Concrete Association.) FUENTE: ACI 211.3, apéndice 6.	49
GRAFICA 2. 11 Resistencia a la Compresión a los 28 días versus contenido de vacíos; para Agregados de Tamaño No. 67 y No. 8 de la Norma ASTM C 33. FUENTE: ACI 211.3, apéndice 6.	50
GRAFICA 2. 12 Relación de Cantidad de Pasta Cementante y Contenido de Vacíos, en Porcentaje por Volumen, para agregado N° 8, ASTM C 33 Referencia: Comité ACI 211.3,	52

GRAFICO 3. 1 Curva de análisis granulométrico para agregado grueso agregado #8 según ASTM C-33	122
GRAFICO 4. 1 Distribución de Frecuencia de Módulos de Ruptura de viguetas reforzadas con geomalla en la base	151
GRAFICO 4. 2 Distribución de Frecuencia de Módulos de Ruptura de viguetas reforzadas con geomalla a un cuarto de la base.	155
GRAFICO 4. 3 Distribución de Frecuencia de Módulos de Ruptura de viguetas reforzadas con geomalla en la base e inclusión de fibras.....	158
GRAFICO 4. 4 Distribución de Frecuencia de Módulos de Ruptura de viguetas sin refuerzo	162

CAPITULO I: ANTEPROYECTO.

1.1. INTRODUCCIÓN

Los pavimentos rígidos a lo largo de su historia, se han destacado en su comportamiento y durabilidad a lo largo de su vida útil, así como también muestran ser una de las alternativas más utilizadas para demandas considerables de tráfico.

El constante desarrollo urbano en nuestro país y en la red vial han llevado a la utilización del concreto hidráulico como material primordial en la utilización de vías y parqueos para el confort de los usuarios. Existen una gran cantidad de beneficios contraídos con esta solución para la viabilidad, pero es necesario la creación de un proceso de permeabilización de este tipo zonas, ya que el agua filtrada, principalmente ayudara a la realimentación de mantos acuíferos.

Concretos especiales han sido soluciones planteadas a diferentes problemáticas no comunes dentro de la ingeniería civil, y dentro de estos se encuentran los concretos permeables.

Los pavimentos permeables tuvieron sus inicios en Europa en el siglo XIX y están formados por cemento, agua, agregado y algunas veces aditivos, y en las capas inferiores se utilizan materiales que mejorarán la estructura del pavimento

El pavimento de concreto permeable, ha mostrado ser una alternativa rentable, considerando un ahorro significativo en el sistema de drenaje (reducción de tamaños de alcantarillas), que además de ser un material que permite el paso del agua por su estructura, presta condiciones más seguras para los conductores en tiempos de copiosa lluvia reduciendo considerablemente el hidroplaneo, y a los habitantes próximos a estas vías reduciendo los niveles de ruido producidos por el tránsito.

Pero el concreto permeable presenta desventajas, la principal que podemos mencionar es la baja resistencia a la flexión. Razón por la cual, el uso de este concreto para capas de rodadura en el medio no es de gran magnitud, sin contar la falta de investigación e información.

La utilización de fibras dentro de las mezclas de concreto ha presentado ser una solución para el mejoramiento de propiedades mecánicas en el concreto, reducir daños por contracciones en secado, etc. Su implementación hasta en mezclas de concreto permeable ha mostrado ser benéfica para sus características mecánicas.

Es común que dentro de las estructuras de concreto el refuerzo con otros materiales dentro de este sea utilizado para el mejoramiento de características necesarias para el uso de dichas estructuras, como el refuerzo utilizado en capas de rodadura para pavimento.

El concreto permeable mantiene contacto con el agua cuando esta pasa dentro de su estructura y el refuerzo con acero no presenta ser una alternativa viable para su implementación, debido a que el agua provocaría la corrosión del refuerzo y para evitarla, el uso de acero inoxidable no es solución rentable. Un material geosintético en su estructura, busca mejorar el comportamiento del Módulo de Ruptura del concreto permeable con respecto a una mezcla de concreto permeable sin geosintético.

Este documento presenta los antecedentes respecto a los pavimentos de concreto permeable, los objetivos a conseguir, los alcances de esta investigación, la metodología de investigativa orientada hacia el mejoramiento de la capacidad a flexión de los concretos permeables para capas de rodadura con el uso de geosintético y fibras, dentro de este, conforme a la recolección de información, realización de ensayos, toma de datos y análisis de resultados; para finalmente presentar la evaluación de objetivos planteados a través de las pertinentes conclusiones y recomendaciones.

1.2. ANTECEDENTES

Los pavimentos permeables forman parte de soluciones posibles, con que se cuenta para suavizar el impacto que provocan los fenómenos meteorológicos como la lluvia a los usuarios de vías, generándose en ese entorno problemas de hidroplaneo. Cuando hablamos de pavimentar no necesariamente estamos hablando de impermeabilizar.

Los pavimentos permeables tuvieron sus inicios en Europa en el siglo XIX y están formados por cemento, agua, agregado y algunas veces aditivos, y en las capas inferiores se utilizan materiales que mejorarán la estructura del pavimento.

Si deseamos comprender similitudes y diferencias entre los pavimentos rígidos permeables y los pavimentos rígidos convencionales, trataremos de resumir que son los pavimentos permeables, definiendo estos como una subdivisión o una forma especial de pavimento rígido tradicional con algunas características singulares y que se pueden diseñar de igual manera.

Los pavimentos rígidos son un conjunto de capas superpuestas relativamente horizontales con espesores diferentes, teniendo que ser funcionales en relación a la seguridad, eficiencia y rapidez de los usuarios, siendo diseñados para soportar cargas que sobre ellos transiten y evitar fallas que son provocadas tanto por las cargas como por las condiciones climáticas.

Tomando en consideración el agua en la superficie del pavimento y los problemas que causan al tráfico que circulará sobre la vía, se trabajó en alternativas de pavimentos que hacen posible la coexistencia del agua en su estructura y a la vez ayuden a mejorar las condiciones de circulación en los usuarios cuando estos problemas se presenten.

Una alternativa que se planteo es un pavimento de concreto permeable, capaz de coexistir con el agua y bajo un tráfico vehicular, teniendo como solución la

inclusión de geosintéticos en la capa de rodadura, para mejorar su capacidad a flexión, caracterizada por su módulo de ruptura.

La historia nos muestra, que desde la antigüedad, se pusieron en práctica aplicaciones para aumentar la capacidad de los suelos blandos, incorporando algún tipo de elemento dentro del suelo para mejorar sus propiedades mecánicas.

Más en la actualidad, para el año de 1926, experimentado por primera vez con fibras sintéticas para el refuerzo de una estructura de pavimentos el Departamento de Vías de Carolina del sur en Estados Unidos, fueron los que pusieron en marcha un ensayo, que consistió en colocar sobre una base granular de un pavimento flexible una capa gruesa de algodón sobre la cual se esparció asfalto caliente y sobre éste a su vez se colocó una capa de arena de un espesor pequeño. Los resultados del experimento se dieron a conocer nueve años después, dichos resultados demostraron que se logró reducir la fisuración y el agrietamiento en la estructura, así como el mejoramiento de las condiciones de servicio antes de que la fibra tuviera su total deterioro.

Durante la Guerra del Golfo en 1990, el ejército de los Estados Unidos empleó geoceldas para confinar la arena de los sitios por donde se desplazaban, logrando así una mayor rapidez en la movilización de sus tropas; logrando así, aumentar la capacidad de soporte.

No está de más mencionar que el uso de geosintéticos en la construcción es un avance muy importante en tecnología, ya que estos materiales se han desarrollado tanto, que pueden ofrecer características de resistencia iguales o inclusive mayores que el acero, teniendo la ventaja que no sufren de corrosión.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En una mezcla de concreto existe un juego muy importante en las relaciones existentes entre sus propiedades mecánicas y el porcentaje de vacíos de aire. El porcentaje de vacíos de aire resulta ser muy importante en la permeabilidad de un concreto, siendo este tipo especial de concretos utilizados en pavimentos rígidos como una solución a problemas en la circulación de vehículos cuando el agua es un problema. Los concretos permeables son una mezcla de concreto especial debido a la alta exigencia del porcentaje de vacíos de aire que demanda este concreto para mejorar su permeabilidad y la ausencia total o parcial de finos que contribuye a esta singular característica.

Debido a que este tipo de mezclas presenta el alto porcentaje de vacíos de aire y la ausencia de finos, es por ende considerable la reducción de su resistencia a la flexión y compresión.

Esta deficiencia limita la aplicación de concretos permeables a estructuras de pavimentos de demandas de tráfico de mediana y alta categoría, es por eso que consideramos necesario realizar estudios para buscar el mejoramiento de propiedades mecánicas del concreto permeable, específicamente el módulo de ruptura, para ampliar el rango de su utilización a las estructuras de pavimentos. El estudio estará basado en el análisis de resultados de ensayos a módulo de ruptura a especímenes de viguetas de concreto permeable con geosintéticos dentro, esto para carpetas de rodadura en pavimentos rígidos, y en base a las propiedades que aportan geosintéticos a suelos para mejoramiento de características mecánicas de soporte.

1.4. OBJETIVOS.

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el comportamiento del módulo de ruptura, en mezclas de concreto permeable para carpetas de rodadura utilizando geosintéticos en su estructura.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Elaborar especímenes de viguetas de concreto permeable con geosintéticos dentro de estos.
- Evaluar el comportamiento del Módulo de Ruptura del concreto permeable reforzado con geosintético, con respecto a una mezcla de concreto permeable sin geosintético, como la planteada en el trabajo “DISEÑO, PROCESO CONSTRUCTIVO Y EVALUACIÓN POST CONSTRUCCIÓN DE UN PAVIMENTO RÍGIDO DE CONCRETO PERMEABLE” por MARLON EBIEZER VIGIL SÁNCHEZ, Universidad de El Salvador.
- Evaluar la variación en la permeabilidad del concreto permeable con geosintético endurecido, esto con el fin de caracterizarlo también por su permeabilidad.

1.5. ALCANCES.

- Los diseños de mezcla para concreto permeable serán retomados del trabajo de graduación “DISEÑO, PROCESO CONSTRUCTIVO Y EVALUACIÓN POST CONSTRUCCIÓN DE UN PAVIMENTO RÍGIDO DE CONCRETO PERMEABLE” por MARLON EBIEZER VIGIL SÁNCHEZ, Universidad de El Salvador, haciendo en lo necesario modificaciones por variaciones en propiedades de los agregados.
- Reportar los resultados del módulo de ruptura de mezclas de concreto permeable con geosintéticos y comparar su comportamiento con respecto a resultados de la experiencia mencionada en el punto anterior, para evaluar su desempeño
- En base al diseño de mezcla utilizado y el geosintético en la estructura del concreto permeable, daremos valores de referencia de la permeabilidad que este presenta.
- Para el estudio se realizara 30 pares de especímenes de viguetas de ensayo para mezclas de concreto permeable con un tipo de geosintético especificado, de acuerdo con las recomendaciones que da el comité ACI 214.

1.6. LIMITACIONES

- Los agregados deben ser de procedencia estrictamente triturado, para garantizar que los resultados de los ensayos de laboratorio sean estándares controlables de calidad.
- Se seleccionara un tipo de geosintético a partir de un conjunto de propuestas del cual se tendrá el conocimiento de las características y propiedades de cada uno, tomando el más conveniente para el estudio.
- Únicamente se realizaran las pruebas de laboratorio que nos brinden parámetros para el análisis módulo de ruptura.
- Se realizaran los ensayos de laboratorio conforme al equipo y tiempo disponible.

1.7. JUSTIFICACION.

El presente trabajo tiene como finalidad el dar a conocer los resultados de una investigación a través de la realización de ensayos de flexión a viguetas de concreto permeable con adición de fibras y refuerzo de geosintético y especímenes de concreto permeable con refuerzo de geosintético dentro de estos, bajo los parámetros establecidos por la norma ASTM C 78, y decidiendo a partir de los resultados la variación que presente en su módulo de ruptura un diseño de mezcla preestablecido por trabajos anteriores y comparado con especímenes a realizar como parámetro para dicho fin.

También caracterizaremos dichas mezcla con geosintético y adición o no de fibras, por su permeabilidad, para evaluar el comportamiento que está presente respecto a valores obtenidos en la mezcla tipo tomada de trabajos anteriores o dentro de los especímenes a realizar que servirán también como parámetro.

Todo esto porque la implementación de concreto permeable para las estructuras de pavimentos han mostrado ser alternativas que solucionan el problema de retroalimentación de mantos acuíferos subterráneos, hidropilado en momentos de copiosa lluvia, y reducción de ruido para los habitantes cercanos a vías.

Hasta ahora, el uso de capas de rodadura con concreto permeable no es usado en nuestro país, y en otros por sus baja resistencia a la flexión y no logra ser caracterizado su uso para tráfico medianos y pesados. La investigación de nuevas técnicas en los pavimentos está siendo demandada, el desarrollo sostenible puede ser posible, y esta investigación encaja en esta lógica.

**CAPITULO II: GENERALIDADES
SOBRE LOS CONCRETOS
PERMEABLES.**

2.1. GENERALIDADES

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%, 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 hidropelaje (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.

Los ensayos de evaluación de revenimiento y contenido de aire en el concreto permeable, no es de incidencia alguna en su estudio.

2.1.1. Ventajas e inconvenientes

Algunas ventajas del uso de concreto permeable son:

- ✓ Control de la contaminación provocada por el arrastre de las aguas pluviales.
- ✓ Aumento áreas para el estacionamiento vehicular, donde haya zonas de retención de agua.
- ✓ Control de la escorrentía de aguas pluviales.
- ✓ Reducción de hidroplaneo en la superficie de caminos y carreteras;
- ✓ Reducción en gran magnitud del brillo en las superficies de las carreteras, especialmente cuando está mojado por la noche;
- ✓ Reducción del ruido de la interacción entre el neumático y el pavimento;
- ✓ Reducción del tamaño de alcantarillas, y
- ✓ Permitir que el aire y el agua llegue a las raíces de los árboles, incluso cuando el pavimento este dentro de la línea de goteo del árbol.

Existen desafíos para la aplicación de sistemas de concreto permeable, y uno de ellos es la falta de experiencia por parte de los contratistas ante distintas actividades primordiales como lo son la compactación de suelos según lo especificado, o diseños adecuados. Para el éxito del trabajo con concreto permeable se deberá tener en cuenta, la permeabilidad de los suelos, ya que la tasa de infiltración de base, sub-base puede ser menor a la percolación del concreto, y puede ocasionar caos al llegar a tener grandes tormentas.

En el concreto permeable no es necesario un tratamiento especial, cuando es utilizado como capa de base en zonas donde no existe la posibilidad de colmatación (acumulación de sedimentos) por arrastre de finos. Las sub bases impermeables, como las arcillas, deberá tener una capa permeable de al menos

15 cm instaladas entre ella y el pavimento, con el fin de recolectar el agua y evacuarla lateralmente al sistema de drenaje previsto.

Entre los posibles inconvenientes y desafíos a superar están:

- ✓ Uso limitado para áreas de tráfico de vehículos pesados.
- ✓ Prácticas de construcción especializadas.
- ✓ Tiempo de curado extendido.
- ✓ Sensibilidad al contenido de agua y control del concreto fresco
- ✓ Cuidado y atención especial en el diseño para algunos tipos de suelos como los expansivos y susceptible a heladas, además los suelos con una muy baja permeabilidad.
- ✓ Falta de métodos de ensayo estandarizados.
- ✓ Atención al diseño y construcción necesaria.
- ✓ No deberá construirse cerca de zonas de recarga acuífera para abastecimientos de agua, pues la escorrentía podría afectar la calidad del agua del acuífero.
- ✓ Al tener un suelo receptor de agua en condiciones de saturación puede provocar pérdida de carga de soporte en el pavimento.
- ✓ El tipo de mantenimiento periódico que se dará al pavimento a la hora de que exista colmatación por arrastre de finos, deberá ser plasmado en el diseño.

2.1.2. Aplicaciones en pavimentos

Generalmente se ha utilizado el concreto permeable en pavimentos para:

- ✓ Capas de rodadura (Superficies de pavimento);
- ✓ Base permeable y borde de desagües
- ✓ Hombros.
- ✓ Bases y Sub-bases para pavimentos
- ✓ Pavimentos de estacionamientos de poco tráfico cuando se desea que sea drenante.
- ✓ Pavimentos de plazas y parques.
- ✓ Andenes
- ✓ Filtros y drenajes para pavimentos de altas solicitaciones de tráfico

2.1.2.1. Superficies de rodadura

El concreto permeable diseñado como capa de rodadura es resistente al bajo tráfico de vehículos, por ejemplo en los estacionamientos o en pequeños tramos de carreteras, y un desafío es mejorar sus características mecánicas para soportar cargas producidas por un tráfico medio sin generar daños a la estructura en un corto plazo.

En nuestro país las aplicaciones que este tiene en las capas de rodadura son debido a estos factores:

1. La frecuencia de tormentas que producen una rápida acumulación de volúmenes de agua lluvia, y 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.

2.1.2.2. Estacionamientos vehiculares

El beneficio de ocupar el concreto permeable para estacionamientos, es el aprovechamiento de las cantidades de aguas lluvias, no solo de las áreas de concreto permeable sino que también de las áreas adyacentes impermeables, además habrá una notable disminución al problema de pavimentos generadores de calor. Países como Estado Unidos por medio de la Agencia de Protección Medioambiental (Environmental Protection Agency, EPA) han adoptado políticas medioambientales que recomiendan el uso de pavimentos permeables, para mitigar el problema de escorrentía.

Los espesores prácticos de diseño recomendados para estacionamiento vehicular oscilan entre los 12.5cm a 30cm (5 – 12 plg).

2.1.2.3. Carreteras

La aplicación del uso de concreto permeable en las carreteras destaca como: capa de rodadura (superficie de fricción) y base drenante o material de sub-base.

Las características de drenaje son propiedades necesarias, al igual que los requisitos de resistencia, estos pueden variar dependiendo de la ubicación del material en la sección del pavimento. El diseño de espesores de concreto permeable es de 15 a 30 cm (6 a 12 pulgadas) para pavimentos de carretera en una superficie plana. Las capas adheridas (Maynard 1970), sin embargo, son delgadas con un espesor de 5 cm (2 pulgadas). Muchas carreteras en Europa se

construyen utilizando una sobre-capa de concreto permeable con látex modificado que permite el drenaje del pavimento y la reducción de ruido de los neumáticos. El resultado de la modificación con látex ha resultado en la mejora de las propiedades mecánicas del concreto permeable (Pindado et al. 1999). Una base de concreto permeable drena el agua que normalmente acumularía debajo de un pavimento. Este tipo de construcción ayuda a reducir el bombeo de material fino de la subrasante que podría llevar a la falla en el pavimento.

2.1.2.4. Drenajes laterales

En algunos estados de EEUU, los departamentos de transporte han creado estándares para la construcción de bases drenantes y drenajes laterales usando concreto permeable.

California, Illinois, Oklahoma y Wisconsin tienen dichas especificaciones estándar (Mathis 1990). En estas aplicaciones el concreto permeable generalmente es de baja resistencia (70 kg/cm² [1000 psi]), y es utilizado juntamente con un geotextil no tejido. Un sistema similar utilizado en estabilización de taludes.

2.1.2.5. Hombros

Los hombros de concreto permeable han sido utilizados en Francia con el objetivo de reducir el bombeo por debajo del pavimento de hormigón. Se utilizan aditivos inclusores de aire para aumentar la resistencia a la congelación y descongelación. Las porosidades oscilan entre 15 a 25%; se ha encontrado que casi se elimina el riesgo debido a la congelación, a menos que se permite que el concreto se saturase. Resistencias a la compresión son a menudo menos de 2000 psi (14 MPa) a los 28 días.

Otras de las aplicaciones del concreto son como sistema de almacenamiento térmico en plantas de invernadero (Monahan 1981; Herodes 1981). El suelo sirve como un área de almacenamiento, así como un intercambiador de calor para el invernadero de energía solar. El concreto permeable también ha sido utilizado como pavimento de suelos de invernadero evitando que el aguase estanque y eliminar el crecimiento de malas hierbas.

El concreto permeable es usado también en canchas de tenis, en estructuras donde es necesario disipar el ruido evitando la reflexión de ondas acústicas.

2.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES Y DE LA MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE.

El concreto permeable puede ser clasificado en dos tipos: uno es el que la porosidad está presente en el agregado que compone la mezcla (concretos con agregado de peso ligero), y el otro en el que la porosidad es introducida en los componentes de la mezcla que no son agregados

El concreto permeable contiene agregados gruesos con granulometría estrecha, con poco o ningún fino, e insuficiente pasta de cemento para rellenar los vacíos entre las partículas de agregado grueso. Este concreto de baja relación agua-cemento y bajo revenimiento (asentamiento), que parece palomitas de maíz, se mantiene unido por la pasta de cemento en los puntos de contacto del agregado grueso. El concreto producido posee un alto contenido de vacíos (15% a 35%) y alta permeabilidad, permitiendo que el agua fluya a través de él fácilmente.

Los concretos sin finos transmiten las cargas en forma heterogénea a diferencia de los concretos convencionales que lo hacen en forma homogénea. En los concretos sin finos la transmisión de cargas se realiza por puntos de contacto, originando que las cargas sean repartidas en forma aleatoria, dando como resultado que éstas sean distribuidas en una superficie mucho mayor.

Los huecos presentes en estos concretos dan como resultado una mayor elasticidad, comportamiento superior frente a los cambios de temperatura, disminuyendo los movimientos de contracción y expansión y pavimentos más frescos y ligeros.

La transmisión heterogénea de las cargas provoca que la superficie sobre la cual éstas se reparten, sea varias veces mayor al producto de la repartición de cargas en un piso hecho con un concreto convencional o con asfalto. Agregando a esto, las bases diseñadas para los pisos permeables son más económicas, más eficientes y no generan baches.

Como material de pavimentación, el concreto permeable se revuelve o se moldea en la obra con equipos convencionales de pavimentación y después se compacta con rodillos. En obras pequeñas, se pueden utilizar plantillas vibratorias o rodillos manuales. Las superficies de concreto permeable no se deben cerrar o sellar, a fin de que se mantengan sus propiedades y, por lo tanto, se debe evitar su alisado o acabado. La resistencia a compresión de mezclas diversas varía de 35 a 280 kg/cm² o 3.5 a 27.5 MPa (500 a 4000 lb/pulg²). Las tasas de drenaje varían de 100 a 900 litros por minuto por metro cuadrado (2 a 18 galones por minuto por pie cuadrado).

Por lo tanto, cuando se usan pavimentos de concreto permeable, el agua de lluvia se filtra al suelo, recargando la capa freática natural en lugar de fugarse y causar erosión. El primer raudal de una tormenta, esto es, los primeros 25 mm a 35 mm de agua de lluvia, se lleva el 90 por ciento de contaminantes encontrados en el pavimento, los cuales pueden contaminar corrientes y ríos, puesto que normalmente se les permite fluir a las vías fluviales sin tratamiento previo.

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.

La granulometría utilizada resulta fundamental en las propiedades que tendrá el concreto permeable. Se debe utilizar agregados que presenten como mínimo dos caras fracturadas con ausencia casi total de finos, pues impermeabilizarían o sellarían la mezcla; tener un tamaño de agregado bastante uniforme para obtener un porcentaje elevado de vacíos (aunque esto afecta en las propiedades mecánicas de la mezcla).

2.2.1 Agregados

En general, la resistencia de los agregados no se considera cuando se habla de la resistencia del concreto. La falla de las muestras del concreto de un aprueba de flexión por lo general se produce entre el agregado y el cemento. Esto demuestra que la resistencia adhesiva es más débil que la resistencia del cemento y la resistencia del agregado. Todo indica que la resistencia del concreto esta dictada por la resistencia de la unión y no de cada componente.

Sin embargo, en el concreto permeable la pasta de cemento es limitada y el agregado recibe de la superficie de contacto con ella para desarrollar la resistencia entre sí del concreto.

Los agregados deberán cumplir con los requisitos de Norma ASTM C33-07 y ASTM D448-07. Los agregados que no cumplan con las especificaciones de las normas anteriormente señaladas, pero que hayan demostrado, mediante ensayos especiales o en uso, que producen concreto permeable con resistencia y permeabilidad adecuadas, pueden ser utilizados cuando así lo autorice el supervisor.

Normalmente los agregados dentro del rango de 3/8" a 3/4" son utilizados para mezclas de concreto permeable, porque su tamaño arroja como resultado grandes espacios vacíos.

Los agregados se deben almacenar en depósitos o compartimentos adecuados y separados para cada tamaño de agregado. Cada compartimento se debe diseñar para que la operación de descarga sea libre y eficiente, de tal manera que haya una mínima segregación. Los controles de operación deben permitir la interrupción de la descarga de material a la báscula en el momento deseado de manera que el material se pueda medir con precisión (aplica a máquinas dosificadoras).

Existen dos características en los agregados que tienen una importante influencia sobre el Proporcionamiento de las mezclas de concreto y son:

- ✓ 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
- ✓ La naturaleza de las partículas (forma, porosidad, textura superficial).

La calidad del agregado en el concreto permeable es igualmente importante como en el concreto convencional. Deben ser evitadas las partículas largas o escamosas. La graduación estrecha del agregado grueso debe ser dura y limpia, libres de recubrimiento, tal como polvo o arcilla, o sustancia química absorbida que pueda ser perjudicial a la adherencia pasta/agregado o a la hidratación del cemento.

Estas dos características afectan la trabajabilidad del concreto fresco, pero también se logra una mezcla económica porque afecta a la cantidad de concreto que puede fabricarse con una cantidad determinada de cemento y agua:

Son preferibles las fuentes de agregados con un registro de servicio con rendimiento aceptable. En ausencia de ello, una combinación de ensayos pueden llevarse a cabo para proporcionar una base para evaluar la idoneidad del agregado candidato para su incorporación en la mezcla de concreto permeable.

El peso unitario de los agregados deberá ser determinado de acuerdo a ASTM C29/C29M-07.

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 endurecido.

Para fuentes desconocidas y/o nuevas de agregados, los resultados de los ensayos se llevarán a cabo por la norma ASTM C33/C33M - 07 y ASTM D448 - 08 deberá ser revisada con el aporte de la experiencia de un ingeniero en materiales.

El examen de las muestras por un petrógrafo experimentado puede resultar muy valioso en la identificación de las características tales como calidad, dureza, grado de erosión, y la presencia de recubrimiento que pueda perjudicar el funcionamiento del material en servicio.

2.2.1.1. Agregado Grueso

La estructura interna de un concreto permeable puede describirse como un conjunto de partículas de agregado grueso en contacto y unidas entre sí por puentes constituidos por la pasta (cemento y agua) o el mortero que forma la arena (cuando hay presencia de finos en la mezcla) y la pasta; estos puentes son los que movilizan la resistencia del concreto. Esto se puede observar en la compresión de las probetas cilíndricas donde se produce la ruptura de estos puentes, siendo menor el evento de fractura del agregado grueso. El número de puentes que se forman por unidad de volumen es función principalmente del tamaño y la graduación del agregado grueso. La diferencia que presenta el concreto permeable en función del tipo de agregado grueso es notable, con un agregado uniforme se consigue menos resistencia que con uno graduado y tanto menos cuanto mayor sea el diámetro del agregado.

Como prácticamente existe contacto entre las partículas de agregado grueso, se concentra los esfuerzos mecánicos y es conveniente ser más restrictivo en lo que respecta al desgaste de los Ángeles. Como valor de referencia puede emplearse el adoptado por el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja que

indica utilizar agregados con un desgaste de Los Ángeles menor del 22%, absorción menor al 1% y un coeficiente de forma superior a 0.18.

El agregado grueso deberá reunir los requerimientos de tamaño y gradación definidos en ASTM D 448 – 08 —Clasificación para Tamaños de Agregados para la Construcción de Caminos y Puentes o —Tamaños Estándar para Agregados Gruesos, Tabla 4, Especificaciones AASHTO T 2793, 1ª Parte, 13ª Edición, 1982 o más reciente. Deberá complementarse con la Norma ASTM C 33 - 07; ACI 522R-10 expone que el tamaño máximo nominal del agregado grueso generalmente es de 3/4 a 3/8 de pulgada (19 a 9.5 mm). Tamaños de Agregados mayores pueden incrementar la porosidad pero pueden disminuir la trabajabilidad. La N° 8 (3/8 de pulgada o 9.5 mm) es la más común a utilizar en los pavimentos de concreto permeable.

Deberán evitarse agregados bien graduados, ya que reducen la porosidad, y pueden no proveer un adecuado contenido de vacíos. Se sugiere un límite máximo de agregado grueso que pase 15% la malla N° 4 (4.75 mm).

La humedad del agregado al tiempo de la mezcla es importante. La absorción del agregado deberá satisfacer la condición para lograr la condición saturada superficialmente seca (SSS). De otra manera, con un agregado seco resultará una mezcla que falte adecuada trabajabilidad para su colocación y compactación.

Agregado excesivamente húmedo puede contribuir a que la pasta fluya, causando obstrucción intermitente en la estructura de vacíos deseada.

2.2.2.2. Agregado Fino.

El agregado fino si es utilizado, debe cumplir con la Norma ASTM C 33 – 08 —Especificación Estándar para Agregados de Concreto y no deberá exceder de 0.10 m³ por 1.0 m³ de concreto permeable.

Dependiendo del pasante del agregado grueso en la malla N° 4 y como límite máximo del 15%, se podrá adicionar agregado fino según lo siguiente:

- ✓ Para un pasante del 5 al 10% de la malla N° 4 (4.75 mm) agregar 74 kg/m^3 de agregado fino.
- ✓ Para un pasante del 0 al 5% de la malla N° 4 (4.75 mm) agregar 119 kg/m^3 de agregado fino.

2.2.2. Relación Ponderal Entre El Agregado Fino Y El Agregado Grueso (F/G)

El parámetro (F/G) tiene una gran influencia en el comportamiento del concreto permeable, está íntimamente relacionado con el tamaño máximo del agregado grueso, de manera que a mayor tamaño del agregado grueso, y más uniforme, la relación (F/G) deber ser menor. En el trabajo de graduación bajo el título “Resistencia Mecánica y Condiciones de Obra del Concreto Poroso en los Pavimentos Según el Tipo de Granulometría” llevada a cabo por estudiantes de la Universidad de Medellín, Colombia; este valor parece indicar que el valor (F/G) debe oscilar entre 0.05 y 0.30. Una relación inferior a 0.05 impide la formación de puentes suficientemente resistentes con dotaciones de cemento y por otro lado, desampara excesivamente el conglomerante frente a ataques químicos de sustancias transportadoras por el agua o del agua pura misma.

Valores elevados de F/G producen efectos en función de la relación agua/cemento; en estado fresco, si se trabaja con valores altos de agua/cemento y mayor fluidez del mortero, este escurre hacia las zonas inferiores del concreto, colmatando y cementando la masa de dichas zonas, disminuyendo la permeabilidad del conjunto y reduciendo los puentes entre los agregados.

2.2.3. 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 GU es un cemento hidráulico de uso general, por lo que es recomendado para cualquier tipo de uso en las construcciones, como: zapatas, soleras, columnas, vigas, losas, nervios, morteros, suelo cemento, etc.; logrando resistencias mayores a los 4,200 psi a los 28 días. Y el cemento portland conforme siempre a ASTM C1157 tipo HE que alcanza resistencias mayores a los 5,500 psi a los 28 días recomendado para la construcción de pavimentos.

El almacenamiento debe garantizar que el cemento no pierda sus características físicas y químicas establecidas en las normas mencionadas, y se debe tener control sobre las emisiones de polvo. En el caso de que se almacenen varios tipos de cemento, estos se deben almacenar por separado.

Una mayor dosis de cemento generará un concreto más resistente, pero demasiado cemento disminuirá el porcentaje de vacíos interconectados en el concreto, perdiendo este su capacidad de infiltración. Es recomendable usar una dosis que fluctúe entre los 300 Kg/m³ y los 400 Kg/m³, según requisitos de resistencia y permeabilidad

2.2.4. Agua

La calidad del agua para concreto permeable será para los mismos requisitos que gobiernan 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. La adición de agua, por lo tanto, deberá ser monitoreada en el campo. Información adicional de la calidad del agua se

encuentra en el comité ACI 301. Agua reciclada de las operaciones de concreto puede ser utilizada pero solamente si cumple las disposiciones de ASTM C94/94M – 07 o AASHTO M-157.

La dosis de agua utilizada para concreto permeable tiene una gran repercusión en las propiedades de la mezcla. Una cantidad insuficiente de agua resultará una mezcla sin consistencia y con una baja resistencia. Una cantidad excesiva de agua, generará una pasta que sellará los vacíos de la mezcla y que, además, lavará el cemento desde la superficie del agregado, produciendo una baja resistencia al desgaste superficial.

Actualmente, se están llevando a cabo investigaciones sobre la relación agua/cemento, y que está determinada por la cantidad y tipo de cemento y por la granulometría empleada. Se suele utilizar como criterio para determinar este valor, el encontrar la cantidad de agua con la cual la pasta adquiere un brillo metálico.

2.2.5. Aditivos

Los aditivos reductores de agua deben cumplir los requerimientos de la norma ASTM C 494, aditivos reductores de agua de alto y medio rango son usados dependiendo de la relación a/mc , además los aditivos retardantes son usados para un control más estable en la hidratación del cemento, los aditivos retardantes comúnmente son preferidos cuando se tratan mezclas rígidas, tal como las de concreto permeable. Además son especialmente útiles en tiempos cálidos, los aditivos retardantes actúan también como lubricantes, ayudando en el manejo y la colocación in situ del concreto.

Acelerantes pueden ser utilizados cuando el concreto permeable es colocado en climas fríos. 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; 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 bacheadas de prueba para identificar cualquier problema de incompatibilidad de aditivos y verificar que las propiedades en estado fresco y endurecido son sistemáticamente alcanzables.

Los aditivos inclusores de aire deben cumplir con los requerimientos de la norma ASTM C260. Aditivos inclusores de aire no se utilizan comúnmente en concreto permeables, pero se pueden utilizar en ambientes susceptibles a condiciones de hielo-deshielo. Sin embargo no es un método fiable para cuantificar el volumen de aire incluido por estos materiales. La investigación de la resistencia a los ciclos de hielo-deshielo de las mezclas de concreto permeable implican en su mayoría el uso de aditivos inclusores de aires.

El uso en la construcción de químicos especiales es reportado como benéfico cuando las condiciones ambientales producen altas tasas de evaporación y secado por vientos, reduciendo la ventana de tiempo que la mezcla permite para la colocación eficiente en el sitio. El uso de retardantes de evaporación puede ser útil en estas condiciones.

En algunas circunstancias las dosis requeridas de incorporadores de aire, acelerantes y de aditivos retardantes pueden variar. Por consiguiente, se debe permitir un rango de dosificaciones con el fin de obtener los efectos deseados. Antes de la utilización de cualquier aditivo, se debe verificar mediante ensayos la compatibilidad de éstos, con el tipo y calidad del cemento.

2.2.6. Otros Materiales

Cenizas volantes, escoria de altos hornos y humo de sílice deben cumplir con los requerimientos de las normas ASTM C 618, C 989 y C 1240 respectivamente. Se

han empleado con éxito en la elaboración de concreto permeable, adiciones con base en microsíllica (humo de sílice) del orden del 5 al 10 % del peso del cemento para lograr una alta adherencia pasta-agregado y una adecuada consistencia y tixotropía de la pasta para evitar la segregación del material. El máximo porcentaje de sustitución de cemento con éste material será del 20% a menos que pueda demostrarse mediante ensayos de laboratorio que una mayor inclusión de éste material no disminuye la calidad final del concreto permeable en términos de resistencia y durabilidad.

Ceniza volante y puzolana natural cruda o calcinada deben ser de acuerdo con la ASTM C 618 y la escoria de alto horno granulada y triturada debe ser conforme a la Norma ASTM C 989. La microsíllica debe cumplir con la Norma ASTM C 1240 y la ASTM C 311 para cuando se adicionen cenizas volantes.

El máximo porcentaje de sustitución de cemento con éste material será del 50% a menos que pueda demostrarse mediante ensayos de laboratorio que una mayor inclusión de éste material no disminuye la calidad final del concreto permeable en términos de resistencia y durabilidad.

El ensayo de materiales en bacheadas de prueba es estrictamente recomendado para verificar anticipadamente que no haya problemas en la compatibilidad del cemento con el aditivo y que el ajuste del tiempo, rango de desarrollo de la resistencia, porosidad, y permeabilidad puedan ser logrados para proveer las características necesarias para la colocación y condiciones de servicio.

2.3. PROPIEDADES DE INGENIERÍA DEL CONCRETO PERMEABLE

El término concreto permeable, describe un material de granulometría abierta compuesto por cemento portland, agregado grueso, muy poco o nada de agregado fino, aditivos y agua. Cuando combinamos estos materiales obtenemos una estructura endurecida con diversas propiedades que dependen principalmente de la porosidad, que cambia al modificar el contenido de cualquiera de los materiales que lo componen.

Las investigaciones relacionadas han sido relativamente pocas, se basan en ensayos de laboratorios, con datos obtenidos en campo. Los métodos de ensayo se rigen bajo las normas ASTM C1688-10 y ASTM C1701 que se enfocan específicamente en el uso del mismo, el sub comité ASTM C09.49 desarrolla métodos de ensayo para resistencia a la compresión, a la flexión, densidad/porosidad en el sitio.

2.3.1. Propiedades del Concreto Permeable en Estado Fresco

El concreto permeable en estado fresco es mucho más rígido si lo comparamos con el concreto convencional. El revenimiento varía y puede presentarse el menor de $\frac{3}{4}$ de pulgada (20 mm), aunque se pueden encontrar revenimientos altos de 2 pulgada (50 mm).

Por otra parte el peso volumétrico de las mezclas de concreto permeable es aproximadamente el 70% del peso volumétrico de las mezclas del concreto convencional (ASTM C 29), ya que el peso volumétrico del concreto depende del porcentaje de vacíos, en el concreto permeable lo encontramos con un valor que varía entre los 1600 a 2000 kg/cm³.

El tiempo de trabajabilidad del concreto permeable se reduce considerablemente, se recomienda una hora entre la hechura de la mezcla y la colocación, este

tiempo puede prolongarse si se utilizan aditivos retardantes y estabilizadores de hidratación que extienden el tiempo de trabajo hasta 1.5 horas dependiendo de la dosis que se le aplica.

De acuerdo con el ACI 309, existen tres principales características funcionales en el concreto fresco:

a) Estabilidad

Se refiere a la resistencia de la mezcla a segregarse, es decir que está dispuesta a conservarse homogénea.

b) Compactibilidad

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

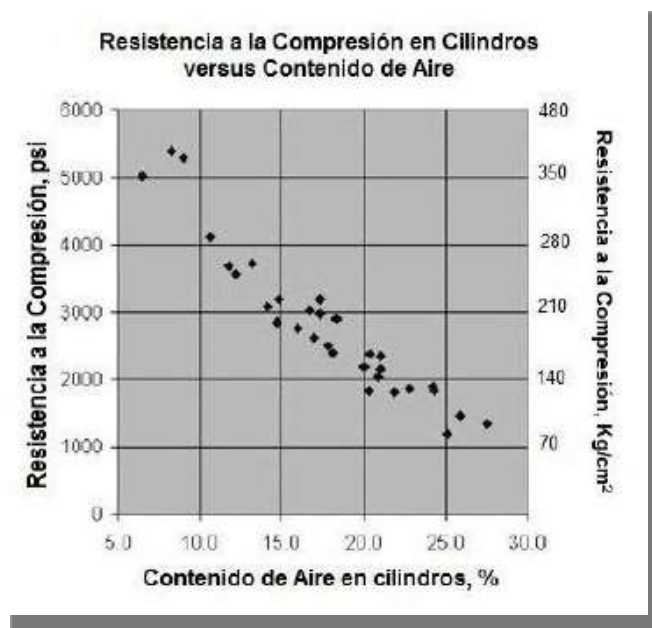
c) Movilidad

Comprende la característica de la mezcla de concreto a deformarse y fluir, depende de la cohesión, viscosidad y ángulo de fricción interna de la mezcla fresca.

2.3.2. Propiedades del Concreto Permeable en Estado Endurecido

2.3.2.1. Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión en el concreto permeable se ve significativamente afectada por cuestiones de dosificación y compactación durante la colocación. El ACI nos presenta en el comité 522-10 la relación entre resistencia a la compresión y el contenido de vacíos en cilindros de concreto permeable, basado en una serie de ensayos de laboratorio donde se utilizaron dos tamaños diferentes de agregado grueso para la mezcla de concreto permeable y donde el esfuerzo de compactación fue variable.

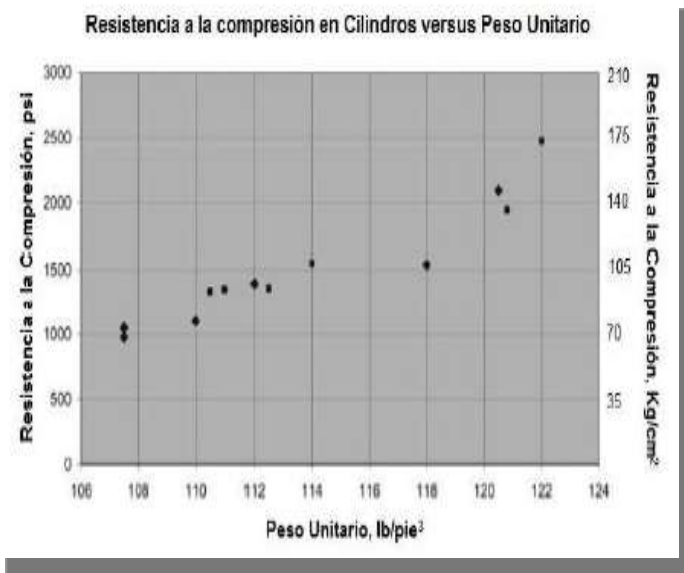


GRAFICA 2. 1 Resistencia a la compresión en Cilindros versus Contenido de Aire

FUENTE: ACI 522-10

Si observamos la gráfica 2-1, podemos darnos cuenta que se pueden obtener resistencias altas en el concreto permeable, pero hay que recordar que las altas resistencias se logran con la reducción de vacíos, como es el caso del concreto convencional. Esto resulta en una pérdida de eficiencia en la percolación del concreto permeable. Se ha reportado un decrecimiento del 11% en la resistencia a la compresión cuando la amplitud de vibración del compactador es reducida 0.086 mm (0.0034 pulgadas) de 0.127 mm (0.005 pulgadas) (Suleiman et al. 2006). Para el caso del incremento en el tamaño del agregado se reporta en una resistencia a la compresión reducida, mientras que con aditivos polímeros y minerales se ha encontrado un incremento en la resistencia a la compresión para la misma graduación de agregado (Jing y Guoliang 2003). Crouch (2006) reporta que un incremento en el módulo de finura del agregado reduce la resistencia a la compresión. Mahboub (2008) previene que la resistencia a la compresión de los

núcleos extraídos en campo puede ser significativamente diferente a los cilindros moldeados para ensayo.

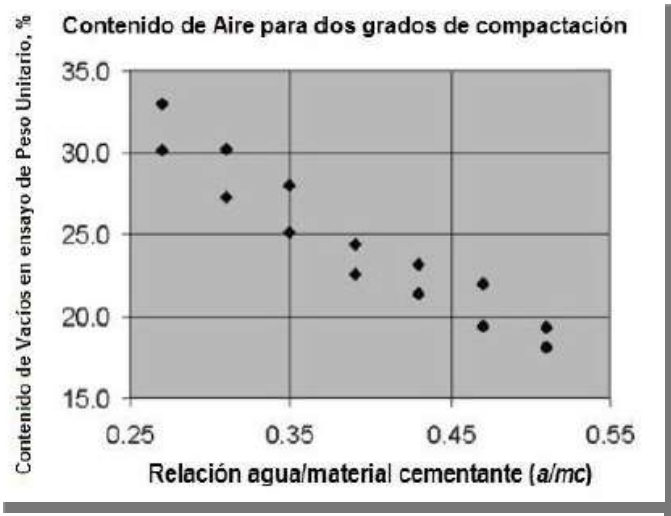


GRAFICA 2. 2 Resistencia a la Compresión en cilindros versus Peso Unitario FUENTE: ACI 522-10.

En la gráfica 2-2 observamos la relación entre la resistencia y el peso unitario (Mulligan 2005). Los resultados fueron obtenidos con una serie de ensayos de laboratorio en los que se usó uno de los agregados gruesos y el esfuerzo a la compactación y la relación agua/cemento fue variable.

La relación a/c es importante para el desarrollo de la resistencia a la compresión y para la estructura de vacíos, caso contrario para el concreto convencional que la relación a/c se relaciona con la resistencia a la compresión, esto no aplica con el concreto permeable. Una relación a/c alta puede causar que la pasta fluya en el agregado, llenando la estructura de una cantidad de vacíos mucho mayor que para la que se ha diseñado, y una baja relación a/c puede causar una adherencia

pobre entre las partículas del agregado y problemas en la colocación del concreto permeable.



GRAFICA 2. 3 Contenido de Aire para dos diferentes grados de Compactación FUENTE: ACI 522-10

La grafica 2-3 presenta la relación a/c y el contenido de vacíos de una mezcla de concreto permeable (Cemento y agregados constantes) a dos grados diferentes de compactación (Meininger, 1988) La experiencia ha demostrado que una relación a/c de entre 0.26 a 0.45 provee un buen recubrimiento al agregado y en la pasta una buen estabilidad.

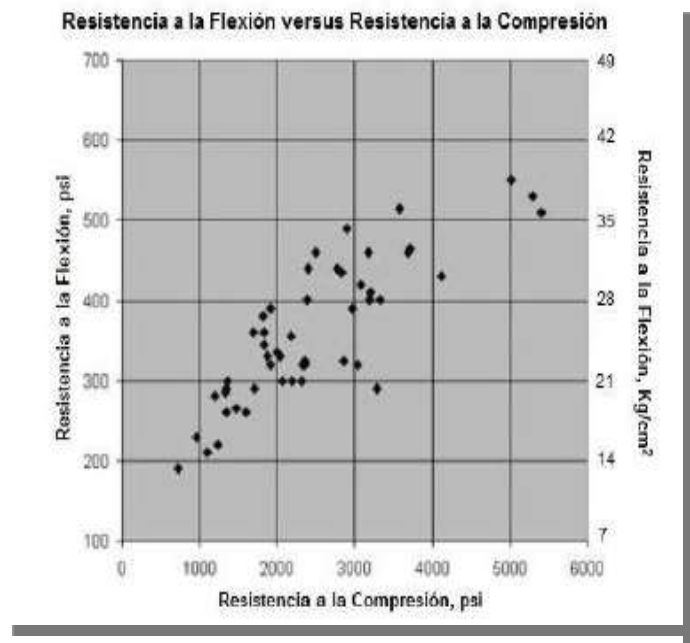
El total cemento en la mezcla de concreto permeable es importante para desarrollar la resistencia a la compresión y el contenido de vacíos. Si existe un contenido excesivo de pasta puede resultar sellando la estructura de vacíos, y por ende reducir la porosidad. Un contenido insuficiente da como resultado una pasta con pobre recubrimiento del agregado y así obtener una resistencia a la compresión reducida.

El encontrar el contenido óptimo de cemento dependerá de la graduación y el tamaño del agregado. Cuando se ha seleccionado el tamaño del agregado, se

debe de realizar el ensayo de la fluidez del aglutinante para determinar el contenido óptimo de cemento.

2.3.2.2. Resistencia a la flexión

La relación entre la resistencia a flexión del concreto permeable y contenido de vacíos, basado en ensayos de laboratorio ya antes mencionados que se realizaron a vigas, lo podemos observar en la siguiente figura, los resultados están limitados a un numero de especímenes, podemos observar una relación entre la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión del concreto permeable (ver grafica 2-4), aunque la resistencia a la compresión dependa de muchas variables.



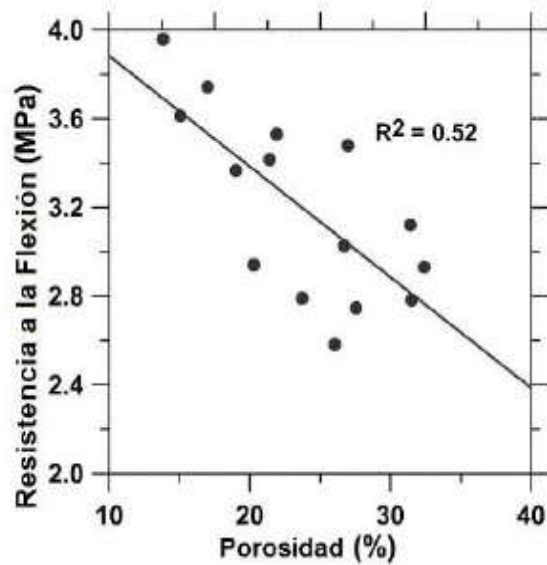
GRAFICA 2. 4 Resistencia a la Flexión en vigas versus Contenido de Vacíos FUENTE: ACI 522-10

Según (Neithalath 2004) si adicionamos una cantidad pequeña de arena (aproximadamente 5% por volumen) incrementa la resistencia a la flexión del concreto. Cuando se utilizan aditivos polímeros se presentan incremento en la resistencia a la flexión del concreto permeable que ha sido reportado cuando se utiliza aditivos polímeros, se ha observado una resistencia a flexotracción cerca de 3 MPa para un concreto permeable usando una proporción de agregado $\frac{1}{4}$ a $\frac{3}{8}$ de pulgada (6 a 10 mm) y teniendo una porosidad del 25% (Nissoux, 1993; Brite, Reporte Euram 1994). Crouch investigó la relación entre la resistencia a flexión f_r y la resistencia a la compresión f'_c para pavimentos permeables. Determinó que la relación se acerca más a la ecuación establecida por Ahmad y Shah (1985) para prefabricados de concreto.

$$f_r = 0.083 f'_c{}^{2/3} \text{ (Sistema Inglés)}$$

$$f_r = 2.3 f'_c{}^{2/3} \text{ (Sistema Internacional)}$$

(Meiniger, 1988) y (Neithalanth 2004) muestran la relación entre la resistencia a la compresión y flexión del concreto permeable para una serie de ensayos y el otro datos que relacionan a la resistencia a la flexión y porosidad, lo podemos observar en las siguientes gráficas. (ver grafica 2.5, 2.6)



GRAFICA 2. 5 Resistencia a la Flexión versus Porosidad FUENTE: ACI 522-10.



GRAFICA 2. 6 Resistencia a la Flexión en vigas versus Contenido de Vacíos FUENTE: ACI 522-10.

2.3.2.3. Contenido de vacíos y pesos unitarios

Según Neithalath (2004) existen dos métodos para determinar la porosidad del concreto permeable endurecido, uno de ellos consiste en determinar volumétricamente la masa del agua que llena una muestra sellada de concreto permeable y que se convierte en un equivalente al volumen de poros.

El segundo método, procedimiento de análisis de la imagen se emplea en muestras de concreto permeable que han sido impregnadas con resina epóxica de baja viscosidad. (Marolf et al, 2004).

Este procedimiento es una ventaja para determinar la variación de la porosidad con la profundidad de una capa o espécimen de concreto permeable.

La porosidad accesible del concreto permeable está en función de los tamaños de los agregados y la relativa cantidad de diferentes tamaños de mezcla (BriteEuram 1994)

El contenido de vacíos depende de factores como la graduación del agregado, contenido de material cementante, relación a/c, esfuerzo de compactación.

Cuando mezclamos agregados de dos tamaños, podemos obtener una porosidad variada (Neithalath 2004), debe de tomarse en cuenta que la relación del tamaño de agregado (relación diámetro del agregado mayor a la de los más pequeños) no son muy grande cuando se utilizan mezclas de agregado. Cuando se utilizan mezclas con proporciones muy altas (2.5 o más), el conjunto más pequeño llena los vacíos que deja el más grande, reduciendo así la porosidad y en consecuencia la permeabilidad.

El esfuerzo de compactación influye de gran manera sobre el contenido de vacíos, la porosidad y la densidad de una mezcla de concreto permeable

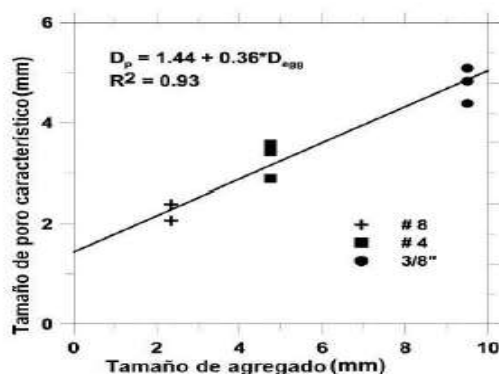
determinada. Meininger (1988) muestra en una serie de pruebas de laboratorio, utilizando una sola mezcla de concreto permeable, con la diferencia que se compactaron con ocho diferentes grados de esfuerzo, producen valores de peso unitario que van desde los 1680 a 1920 kg/m³ (105 a 129 lb/pie³)

2.3.2.4. Tamaños de Poros

Un factor importante que influye en las propiedades del concreto permeable es el tamaño de poros. Esta influye en la permeabilidad del agua y la absorción acústica (Neithalath 2004; Nehithalath et al 2006)

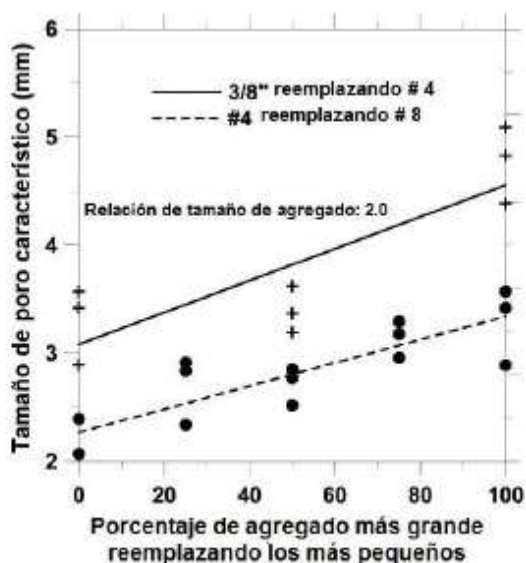
A mayor tamaño de agregado, mayor tamaño de poros, esto reduce las posibilidades que se obstruyan los poros (Nelson y Phillips, 1994).

Las gráficas 2.7 y 2.8 muestran la influencia en el tamaño de poros que tiene un solo tamaño de agregado en la mezcla, así como dos tamaños diferentes en proporciones variables. Cuando sustituimos agregados que tienen un diámetro pequeño, y los sustituimos por un porcentaje creciente de agregado grueso, obtenemos como resultado el aumento del tamaño de los poros.



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

GRAFICA 2. 7 *Tamaño de Poro característico versus*
Tamaño de Agregado FUENTE: ACI 522-10.



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

GRAFICA 2. 8 *Tamaño de Poro Característico versus porcentaje de agregado más grande reemplazando los más pequeños FUENTE: ACI 522-10.*

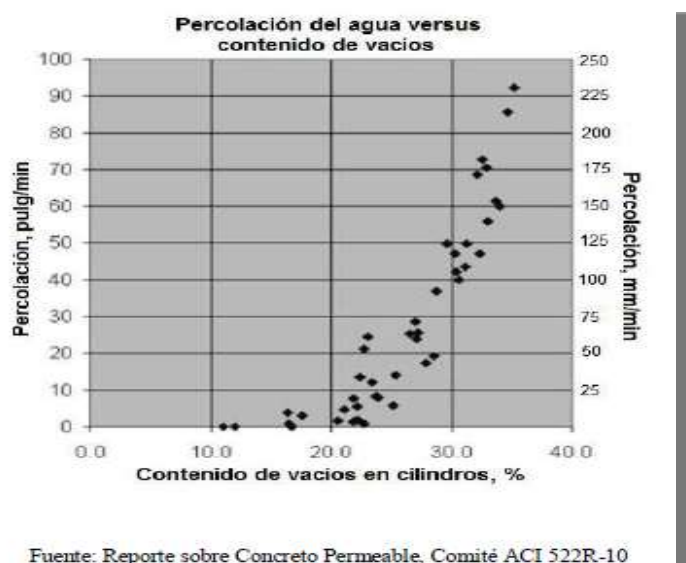
Lo anterior resulta porque las partículas gruesas que se introducen son incapaces de encajar en el vacío dejado por la partícula más fina (Neithalath 2004; Nehithalath et al 2003).

2.3.2.5. Tasa de Filtración

Una de las características más importantes que podemos encontrar en el concreto permeable es la capacidad que tiene para filtrar el agua a través de la matriz de poros. La tasa de percolación en el concreto permeable está directamente relacionada con el contenido de vacíos y el tamaño de los poros. Según Meiniger, un contenido de vacíos de al menos 15% es necesario para una filtración significativa, Para una porosidad de 20 a 25%, el coeficiente de permeabilidad se reporta que es aproximadamente 0.01 m/s (Brite/Informe

Euram 1994). Otros estudios reportan una permeabilidad de 36 L/m²/s (0.88 gal/pie²/s) (Nissoux et al. 1993).

El problema que encontramos en la dosificación de la mezcla de un concreto permeable es que debido a que la tasa de filtración aumenta a medida que aumenta el contenido de vacíos (ver grafica 2.9) y por ende disminuye la resistencia a la compresión, es por eso que se trata de encontrar un equilibrio



GRAFICA 2. 9 Percolación de Agua versus Contenido de Vacíos FUENTE: ACI 522-10.

entre una tasa de filtración que este dentro de los parámetros significativos y una resistencia a la compresión aceptable.

La permeabilidad del concreto permeable, se puede medir a través de permeámetros de carga variable, el procedimiento más común consisten en obtener la permeabilidad por medio de permeámetros LCS [Leachete Collection System], como primer paso se procede a medir el tiempo que tarda en descender

el nivel de agua entre dos marcas, fluyendo el agua a través de un pequeño orificio (ver figura 2-1). Por su parte el permeámetro LCS obtiene los resultados óptimos de permeabilidad los cuales son comparados contra distintos estados de permeabilidad de un pavimento.

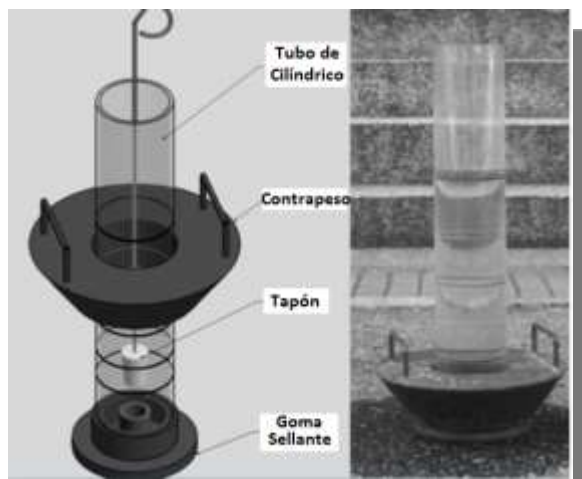


FIGURA 2. 1 Permeámetro de Carga Variable.

En cuanto al permeámetro cabe destacar que no necesita ningún tipo de calibración previa, pues cuenta con las marcas necesarias para realizar la correspondiente medición del tiempo que tarda en infiltrarse el volumen de agua contenido entre ellas. La permeabilidad de las mezclas se considera escasa o deficiente cuando el tiempo medido está por encima de los 200 segundos y satisfactoria cuando es menor de 100 segundos.

La permeabilidad k (mm/s [in/s]) se puede ser expresar de la siguiente manera:

$$K = A/t$$

Donde A es igual a una constante de 192 mm (7.7 pulgadas)

Además de la porosidad y tamaño de poros, algo que influye en la permeabilidad del concreto permeable es el grado de conectividad de la red de poros.

Otro tipo de permeámetro (Ver Fig.) que se puede utilizar (Neithalath et al. 2003) es uno en el que la muestra de concreto permeable se encierra en una membrana de látex para evitar que el agua fluya por los extremos a lo largo de la muestra. Se añade agua a la probeta graduada hasta saturar la muestra y el tubo de drenaje. La muestra se acondicionará 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. Esto reduce al mínimo las bolsas de aire en la muestra y asegura que la muestra está completamente saturada. Con la válvula cerrada, el cilindro graduado se llena con agua. A continuación se abre la válvula, y se mide el tiempo t en segundos requerido para que el agua caiga desde un punto inicial h_1 hasta un punto final h_2 . La altura de la columna de agua del cilindro graduado será de 11.6 pulg. (290 mm) y una final de 2,8 pulg. (70 mm)(ver figura 2.2). El coeficiente de permeabilidad k (pulg/s [m / s]) se puede expresar como:

$$k = A/t$$

Donde $A = 0.35$ in. (0.084 m).

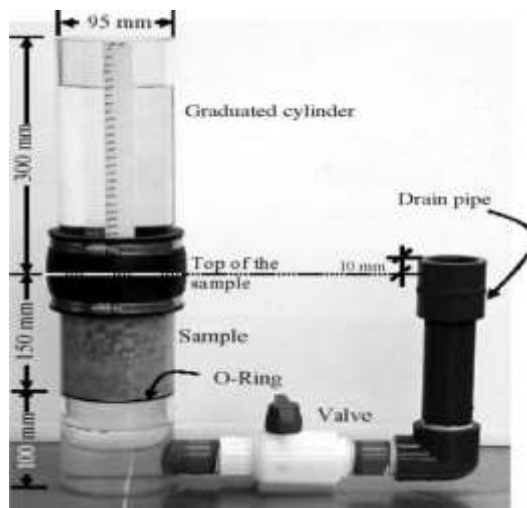


FIGURA 2. 2 PERMEAMETRO DE CARGA

VARIABLE FUENTE: ACI 522-10

Deo'er al. (2008) investigo la eficiencia del concreto permeable en la retención de derrames de aceites de vehículos en su estructura, utilizo modelos y experimentos diseñados cuidadosamente.

Mezclas de concreto con porosidades entre 13 y 25% fueron proporcionados con dos agregados de diferentes tamaños. La retención del aceite y la recuperación experimental en rebanadas de 2 pulgada (50 mm) de probetas de concreto permeable con el método de partición gravimétrica. Como resultado se observó que una porosidad del 20% es ideal para la retención optima de aceite en la estructura de poros del material.

2.3.2.6. Durabilidad

La durabilidad del concreto se refiere al periodo de vida bajo las condiciones ambientales en las que se encuentra y depende en gran medida de la permeabilidad del material.

Para lograr que un concreto sea durable, es necesario disminuir la porosidad teniendo en cuenta lo siguiente.

- ✓ Baja relación agua cemento
- ✓ Buena compactación del concreto
- ✓ Buen curado húmedo (no menos de 7 días)

El uso de un cemento especial suele ser condición necesaria pero no suficiente para asegurar una adecuada durabilidad, con la posible excepción del ataque interno por reacción álcali agregado.

Los efectos físicos que influyen negativamente en la durabilidad del concreto son la exposición a temperaturas extremas y sustancias químicas tales como sulfatos y ácidos.

2.3.2.7 Dureza

La dureza se define como la absorción de energía después de la fisuración del concreto, si se utilizan fibras sintéticas se puede llegar a obtener un aumento en la dureza.

La Norma ASTM C 1399-01, muestra un método de ensayo que produce un valor de post agrietamiento en lb/pulg² que se refiere a la resistencia a la flexión de la matriz de concreto. Pruebas basadas en esta norma, con productos de fibras sintéticas en especímenes de concreto permeable, demostró que las fibras de 1.5 a 2.0 pulgadas (38 a 51 mm) en longitud fueron más efectivas para proporcionar la tenacidad del concreto.

2.3.2.8 Absorción Acústica

El concreto permeable puede ser empleado como un medio para reducir el ruido generado por la interacción de los neumáticos en el pavimento de concreto, esto debido al alto volumen de interconexión en el material.

El ruido se reduce debido a la combinación de reducir la generación de ruido y el incremento de la absorción del sonido.

Con el pavimento permeable se altera la generación de ruido minimizando el bombeo de aire entre el neumático y la superficie de rodadura. Además los poros absorben el sonido a través de la fricción interna entre el movimiento de las moléculas de aire y las paredes de los poros.

Para la evaluación de absorción de sonido en concreto permeable se puede utilizar el ensayo descrito en la Norma ASTM E 1050-08 “Método de Ensayo Estándar para Impedancia y Absorción de Materiales Acústicos, Empleando un Tubo, Dos Micrófonos y un Sistema Digital de Análisis de Frecuencia”

El coeficiente de absorción es la medida de la habilidad de un material para absorber sonido. Un material con un coeficiente de absorción de 0 indica que el material es puramente reflectivo. Concreto convencional, por ejemplo, típicamente tiene un coeficiente de absorción de 0.03 a 0.05 (Neithalath 2004), el concreto permeable típicamente tiene un rango de absorción desde 0.1 (para mezclas con pobre desempeño) hasta aproximadamente 1 (para mezclas con un tamaño y volumen óptimos de poros). El coeficiente de absorción depende de la frecuencia de las ondas sonoras que inciden, y por lo tanto, es importante seleccionar un buen espesor de concreto permeable para reducir al mínimo sonidos de la frecuencia deseada (800 a 1200 Hz es la más desagradable para el oído humano).

2.3.2.9. Contracción

Al fenómeno que se presenta cuando el concreto pierde agua se le conoce como contracción; la contracción que se presenta en el concreto es ocasionada debido a las reacciones químicas de los ingredientes que le conforman, pudiendo

ocasionar alabeo y contracción durante la etapa de endurecimiento, así como la aparición de grietas.

En el concreto permeable se presenta más rápido la contracción, pero es mucho menor que en el concreto convencional debido a la matriz de porosidad. Los valores dependerán de las mezclas y los materiales utilizados, se han reportado valores del orden de 0.002, aproximadamente un cincuenta por ciento menos que las mezclas de concreto convencional. El bajo contenido de pasta y mortero es una posible explicación.

Aproximadamente el 50% al 80% de la contracción ocurre en los primeros 10 días, comparado con 20% a 30% en el mismo periodo para el concreto convencional. Debido a la baja contracción y a la textura de la superficie muchos concretos permeables con construidos sin juntas de control y se dejan romper al azar.

2.3.2.10. 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 ésta variable mediante el ensayo de Adherencia por conteo macroscópico de falla en la interface pasta-agregado y/o mediante al ensayo de Pérdida de Material Cementante por Compactación Utilizando el Martillo Próctor.

2.4. METODOS DE DISEÑO

2.4.1. Según comité ACI 211.3. Guía para seleccionar proporciones de concreto sin revenimiento.

En el apéndice 6 de este comité: *“Proporcionamiento para mezclas de concreto permeable”*, da a conocer un método para la dosificación de concreto permeable

sin revenimiento, utilizado para pavimentos y otras aplicaciones donde el drenaje y la percolación son necesarios.

2.4.1.1. Materiales

Las graduaciones más comunes de agregado grueso utilizadas en el concreto permeable cumplen los requerimientos de la Norma ASTM C 33, los tamaños de malla de 9.5 a 2.36 mm (Tamaño N° 8), 12.5 a 4.75 mm (Tamaño N° 7), y 19.0 a 4.75 mm (Tamaño N° 67).

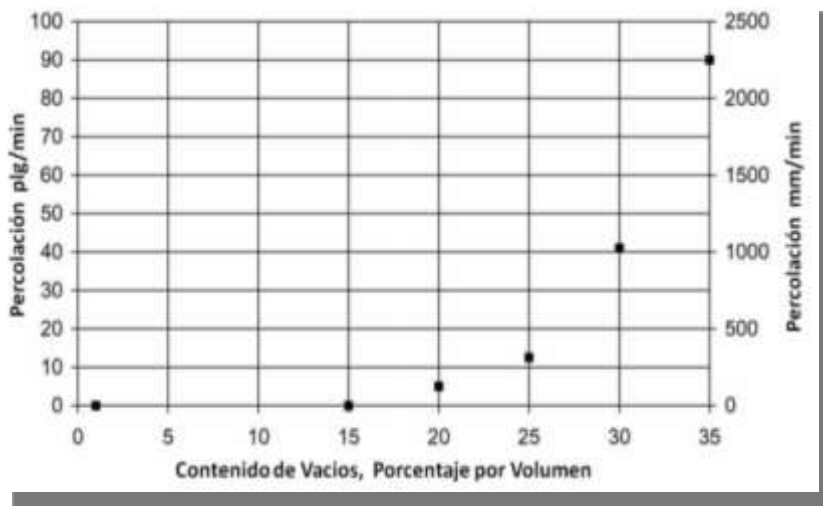
La incorporación de agregado fino aumenta la resistencia a compresión y reduce la percolación a través del concreto.

2.4.1.2. Relación agua/cemento

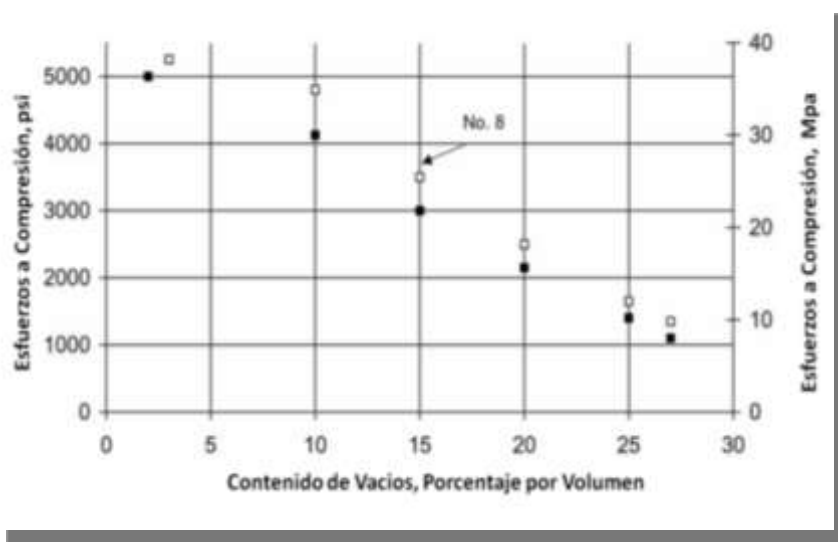
La relación agua/cemento es de suma importancia, dependerá de ella la resistencia, como la estructura de vacíos del concreto. Una alta relación agua/cemento reduce la adhesión de la pasta al agregado, y causa que la pasta fluya y llene los vacíos, aun cuando la compactación sea de menor intensidad. Una baja relación agua/cemento tiende a causar bolas en el mezclador y evita una distribución uniforme. La experiencia muestra que un rango de 0.35 a 0.45 provee el mejor recubrimiento del agregado y estabilidad en la pasta. Aunque no es de descartar que con usos de aditivos los valores de 0.26 en adelante pueden mostrar resultados satisfactorios.

2.4.1.3. Porcentaje de vacíos

Para asegurar la filtración del agua a través del concreto permeable, el porcentaje de vacíos, calculados como porcentaje de aire por el método gravimétrico (ASTM C 138), deber ser mayor o igual a 15% (ver grafica 2.10). A este contenido de vacíos, la resistencia a la compresión del concreto según se muestra en la figura, sería aproximadamente 24 MPa (3500 psi) a los 28 días. A mayor porcentaje de vacíos, mayor tasa de percolación pero menor resistencia a la compresión. A menor porcentaje de vacíos, menor tasa de percolación pero mayor resistencia a la compresión. Además, la resistencia a la compresión aumenta conforme disminuye el tamaño máximo nominal del agregado (ver grafica 2.11).



GRAFICA 2. 10 Contenido de Vacíos Mínimo para la percolación basada en pruebas y Métodos de ensayo de la NAA-NRMCA (National Aggegates Association-National Ready Mixed Concrete Association.) FUENTE: ACI 211.3, apéndice 6.



GRAFICA 2. 11 Resistencia a la Compresión a los 28 días versus contenido de vacíos; para Agregados de Tamaño No. 67 y No. 8 de la Norma ASTM C 33. FUENTE: ACI 211.3, apéndice 6.

2.4.1.4. 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:

- 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. Por otra parte, los valores de b/b_o para una gama de agregados de tamaño

máximo nominal normalmente se utilizan en concreto permeable, de 10 a 20 mm ($\frac{3}{8}$ a $\frac{3}{4}$ pulgadas), son muy similares.

La Tabla 2-1 expone los valores de b/b_0 para agregados grueso de tamaño N° 8 y N° 67 y para contenidos de agregado fino de 0, 10, y 20% del total de agregado.

TABLA 2. 1 Valores efectivos de b/b_0 Referencia: Comité ACI 211.3, apéndice 6

Porcentaje de agregado fino	b/b_0	
	ASTM C33 N° 8	ASTM C 33 N° 67
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

2.4.1.5. Procedimiento de Dosificación

El procedimiento de dosificación para el concreto permeable se basa el cálculo de volumen de pasta necesaria para ligar las partículas de agregado en conjunto, considerando el contenido de vacíos necesario, como se muestra en la figura. La cantidad de agregado depende de la densidad seca varillada y los valores b/b_0 seleccionados de la Tabla 2-1.

Una vez que el volumen de pasta se determina de la gráfica 2-12, y seleccionada la relación Agua/Cemento deseada, el cemento y las cantidades de agua puede determinarse a partir de la relación:

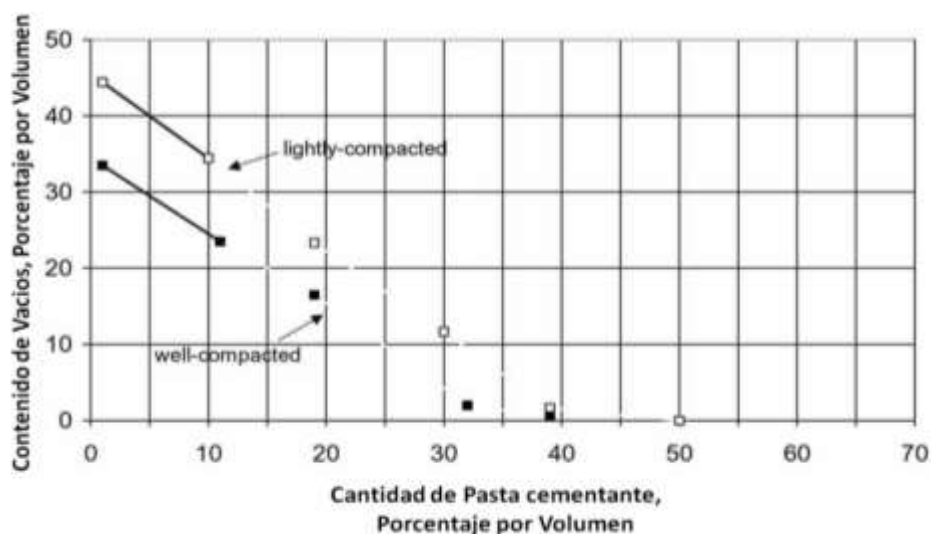
Volumen de Pasta (VP) = Volumen de Cemento + Volumen de Agua, o

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

Donde c es la masa de cemento y w es la masa de agua. Si la relación Agua/Cemento es (w/c) , entonces:

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

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



GRAFICA 2. 12 Relación de Cantidad de Pasta Cementante y Contenido de Vacíos, en Porcentaje por Volumen, para agregado N° 8, ASTM C 33 Referencia: Comité ACI 211.3,

Cuando se utilice agregado fino, el volumen de pasta se debe reducir un 2% por cada 10% de agregado fino del total del agregado para concreto permeable bien compactado y un 1% por cada 10% de agregado fino del total del agregado para concreto permeable ligeramente compactado. Estas reducciones son necesarias para mantener el mismo porcentaje de vacíos por volumen.

La dosificación de la mezcla calculada debe ser revisada en el laboratorio por batchadas de prueba y ajustes según sea necesario.

Se recomienda que las batchadas de prueba incluyan dos mezclas adicionales con 30 kg/m^3 (50 lb/yarda^3) más y 30 kg/m^3 (50 lb/yarda^3) de cemento menos. Estas mezclas deben también incluir los ajustes apropiados en:

- ✓ Agua para producir la relación necesaria de Agua/Material Cementante y en
- ✓ Agregados para mantener el porcentaje de vacíos requerido. En general, logrando el contenido de vacíos requerido y la tasa de percolación con una pasta estable son de mayor importancia que la resistencia a la compresión de la mezcla.

2.4.2 Según ACI 522-10 – reporte sobre concreto permeable

El proceso para desarrollar una proporción de mezcla de concreto permeable generalmente es de prueba y error. En general la filosofía principal del proporcionamiento del diseño de mezcla para concreto permeable es lograr un balance entre vacíos, resistencia, contenido de pasta y trabajabilidad.

El capítulo 6 del Comité ACI 522-10 provee métodos para proporciones de concreto permeable que será utilizado para pavimentos y otras aplicaciones donde la filtración, el drenaje, y alta porosidad es necesaria. Los resultados de las bachadas de prueba pueden ser modificados para obtener mejores resultados en la producción final.

El comité ACI 522 se apoya en el trabajo desarrollado por el comité ACI 211.3-02 en su apéndice N° 6. Y el procedimiento descrito para producir bachadas de prueba iniciales para concreto permeable se muestra en la sección 6.7.1 del comité ACI 522-10 —Reporte sobre Concreto Permeable el método b/bo aplica conceptos de volúmenes absolutos.

Indistintamente de cómo se obtiene la bachada de prueba, es esencial ensayarlo para propiedades requeridas tanto en estado fresco como endurecido antes de ser colocado para los usos con que se ha destinado.

El Método b/b_o para diseñar mezclas de concreto permeable puede ser dividido en una serie de ocho pasos:

- 1) Determinación del peso del agregado;
- 2) Ajustar el peso en estado Saturado Superficialmente Seco (SSS);
- 3) Determinación del volumen de la pasta;
- 4) Determinación del contenido cementante;
- 5) Determinación del contenido de agua;
- 6) Determinación del volumen sólido;
- 7) Evaluar el contenido de vacíos; y
- 8) Bachadas de prueba iterativas:
 - a. Ensayo para propiedades requeridas; y
 - b. Ajuste de proporciones de mezcla hasta que se logre el rendimiento requerido

2.4.3 NRMCA –Metodología De La National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA)

Podemos utilizar el software desarrollado por la NRMCA y en la cual posteriormente se realizaron los ajustes necesarios para elaborar una mezcla de diseño definitiva.

El concreto permeable es diseñado para un contenido de vacíos en el rango de 15 a 30%. A medida disminuye el contenido de vacíos aumenta la resistencia y la permeabilidad se reduce. El siguiente método para dosificación de mezclas puede utilizar para llegar rápidamente a las proporciones que contribuirán al logro del contenido de vacíos en el concreto permeable recién mezclado cuando se mide en conformidad con la norma ASTM C1688 y que es similar a los porcentajes esperados.

3.4.3.1. 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 ó N° 89 (tamaño máximo nominal de 3/8") para agregado grueso. N°67 (tamaño máximo nominal 1/2 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.

Considerar el uso de agregado fino

A pesar que el concreto permeable se define como un concreto con poco o ninguna cantidad de agregado fino, el uso de arena puede ofrecer algunas ventajas, como por ejemplo aumentar la resistencia de la mezcla y la mejora de

su durabilidad en lugares con ciclos de hielo y deshielo. La arena puede mejorar la forma en que la mezcla se mantiene unida y haciendo que el aire entre más fácil en la fracción de pasta de concreto permeable para resistir ciclos de congelación y descongelación (hielo – deshielo). Cuando se usa arena, se reduce el contenido de huecos y la permeabilidad del concreto permeable, pero seguirá siendo adecuada para una tormenta con fines de diseño. El contenido de arena puede variar de 5 a 10% en peso del agregado total.

Medir la densidad bulk secada en horno del agregado grueso (peso específico seco varillado) según ASTM C29. Si se utiliza agregado fino, medir la densidad bulk seca de los agregados según ASTM C29.

Cuando se utiliza el agregado fino debe estar en la misma relación que las proporciones de mezcla y deben ser mezclados completamente junto con el agregado grueso usando una cuchara o una pala. El contenido de vacíos del agregado grueso seco varillado o agregados combinados se puede calcular como se describe en la norma ASTM C29.

Para el agregado grueso el contenido de vacíos varía generalmente entre 35% a 45% con menor contenido de vacíos para los agregados de grava redondeada y mayor contenido de vacíos para agregados angulares de piedra triturada. Cuando se utilizan agregados combinados el contenido de vacíos tiende a disminuir con el aumento de cantidades de agregado fino. Agregados gruesos con un alto porcentaje pasante de la malla N° 8 es probable que tenga una densidad bulk más alta y un contenido bajo de vacíos, debido a que las partículas más finas tienden a llenar los vacíos entre las partículas más grandes.

Determinar la absorción de los agregados y el contenido total de humedad antes de la dosificación.

Monitorear la humedad y controlarla es muy crítico para obtener una mezcla trabajable de concreto permeable. La humedad y la absorción total del agregado

deben ser conocidas para asegurarse de que se añada la cantidad correcta de agua para la mezcla de la bachada. Esto es similar al concreto convencional, pero mucho más crítico debido a la baja trabajabilidad y el corto tiempo disponible de entrega y de trabajo del mismo. Es importante asegurar la cantidad correcta de agua que se agrega durante la mezcla preliminar para evitar en el lugar de trabajo el rápido endurecimiento de la mezcla o la espera para que la mezcla pueda "secarse".

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

Para estimar el volumen de pasta requerida (PV) utilizaremos la expresión siguiente:

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

CI = Índice de compactación

La NRMCA en base a pruebas realizadas 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 varía según 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 índice de compactación (IC) se traducirá en un mayor volumen de pasta.

Los resultados experimentales con las bachadas de prueba de laboratorio reportaron en el informe de la investigación de acompañamiento un IC= 5% utilizado ya que el objetivo era que el contenido de vacíos de diseño coincidiera con el contenido de vacíos medidos experimentalmente (ASTM C1688).

El uso de arena en mezclas de concreto permeable no ha sido evaluada y un valor recomendado para IC no puede hacerse en este momento. Después de prepararse una bachada de prueba preliminar, el contenido de pasta de la mezcla puede ser evaluado y modificado por el usuario con el software que lo acompaña para dicho caso.

Alternativamente, un valor diferente de IC puede ser establecido para posteriores mezclas con arena basadas sobre la experiencia.

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

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

2.4.3.3. 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.
- ✓ 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.

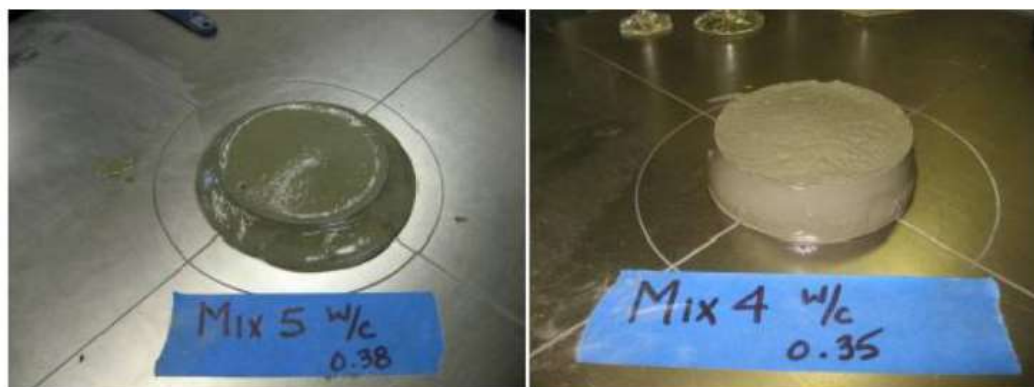
La pasta de cemento es mezclada en una mezcladora de acuerdo con ASTM C 305. La consistencia es evaluada utilizando el molde del cono de flujo según ASTM C1437. El molde del cono de flujo tiene 2,75 pulgadas en el diámetro superior y 4 pulgadas en el diámetro inferior tal y como se muestra en la figura 2.3.



FIGURA 2. 3 Molde del cono de flujo, (A) Mesa de flujo y cono de flujo, (B) Ensayo de cono de flujo para la pasta a utilizarse en la mezcla de concreto permeable. Fuente: Pervious Concrete: Experimental Validation of Mixture Proportioning Methodology, NRMCA, 2009

Se llena de mezcla en dos partes iguales con 5 apisonamientos por capa. Después de haberse colocado y apisonado la segunda capa se enrasa el molde en la parte superior con una regla y se procede a retirar el cono de flujo halándolo

verticalmente. El flujo (pasta) se calcula como el promedio de dos diámetros medidos como se muestra en las Figuras 2.3 y 2.4.



(A)

(B)

FIGURA 2. 4 Muestras del flujo en mezclas de prueba (A) Extensión de 5" en el cono de flujo (B) Extensión de 4" en el cono de flujo. Fuente: *Pervious Concrete: Experimental Validation of Mixture Proportioning Methodology*. NRMCA, 2009

El flujo medido se representa en contra de la relación w/c de la mezcla de la bachada.

Para mezclas de cemento portland se escoge una relación w/c entre 0 y 0.02 menor que el valor que le da una extensión de 5 pulgadas. Si el material cementante incluye Material Cementante Suplementario (SCM, Supplementary Cementitious Material) como cenizas volantes o escorias, deberá realizarse el mismo experimento. Sin embargo la relación óptima de w/c que se recomienda no ha sido validada experimentalmente.

Una relación óptima de w/c es crítica en concreto permeable. Un valor demasiado bajo de w/c resultaría en una trabajabilidad muy pobre y se dificultaría el logro de una buena compactación resultando así vacíos mayores que los requeridos en el diseño.

Estas mezclas serán más susceptibles al desmoronamiento en el campo. Un valor demasiado alto de w/c resultaría en una mezcla demasiado aguada que aumenta la posibilidad de cerrar los vacíos. Por lo general la trabajabilidad se comprueba visualmente, tal y como se muestra en la fotografía de la figura 2.5, sosteniendo en una mano parte de la mezcla del concreto permeable fresco dándole forma de una bola, apretándola con las manos.



FIGURA 2.5 Rangos visuales (1-5) de la trabajabilidad del Concreto Permeable
Fuente: Pervious Concrete: Experimental Validation of Mixture Proportioning
Methodology. NRMCA, 2009

2.4.3.4. PASO 4 - ESTIMACIÓN DEL PESO DE CEMENTO, AGUA Y AGREGADOS

Una vez conocido el volumen de mezcla y la relación w/c debemos calcular 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

DR_{UW} = 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)

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

$RD_{sand}(seco)$ = 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):

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

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

Cuando se utilizan 2 agregados y se calcula el peso específico seco varillado, el contenido de vacíos de los agregados se calcula de la siguiente manera:

$$Agg_{void} = 1 - \left(\frac{DRUW}{62.3} \times \left[\frac{(1-y)}{RD_{ca}(seco)} + \frac{y}{RD_{arena}(seco)} \right] \right)$$

La gravedad específica del total del cemento es:

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

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

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

$$w/c_w = \frac{M_w}{[M_c + M_{scm}]}$$

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

$$(w/c)_v = (w/c)_w * RD_{cm}$$

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.

$$PV, pie^3 = Vw + Vcm$$

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

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

El volumen de agua:

$$Vw, pie^3 = PV - Vcm$$

El volumen absoluto de la combinación de agregados saturados superficialmente secos (SSD)(V_{agg}) es:

$$V_{agg} = 27 - (PV + Vvacío)$$

Para convertir el volumen absoluto de la combinación de agregados saturados superficialmente secos (SSD)(V_{agg}) es:

TABLA 2. 2 Resumen de Fórmulas para cálculo de contenido de materiales según metodología NRMCA. Fuente: ACI 522-10.

Cemento (lb/pie ³)	$= V_{cm} \times RD_{cm} \times \rho_w \times (1 - x)$
SCM (lb/pie ³)	$= V_{cm} \times RD_{cm} \times \rho_w \times x$
Agua (lb/pie ³)	$= V_w \times \rho_w$
Agregado grueso SSD (lb/pie ³)	$= V_{agg} \times RD_{agg} \times \rho_w \times (1 - y)$
Agregado fino SSD (lb/pie ³)	$= V_{agg} \times RD_{agg} \times \rho_w \times y$

2.4.3.5. 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 controlen 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 súper plastificantes mejoran la consistencia de la pasta y reducen la cantidad de agua.

Controlando los aditivos, podrían ser utilizados tal y como se hace en un concreto convencional. El uso de aditivos acelerantes no es recomendado ya que acelerará la tasa de endurecimiento.

Aditivos estabilizadores de hidratación pueden ayudar retrasando el ritmo de curado de las mezclas de concreto permeable manteniendo así su trabajabilidad por un período más largo. Estos aditivos son también conocidos por facilitar la descarga de la mezcla de los camiones mezcladores.

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 supone son insignificantes para los cálculos de las proporciones de la mezcla de concreto permeable.

2.4.3.6. PASO 6 – DETERMINACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN DE MEZCLA PARA BACHADAS DE PRUEBA Y MODIFICANDO PROPORCIONES DE MEZCLA

Al igual que en el concreto convencional, lo más importante en el desarrollo de mezclas de concreto permeable es la realización de una bachada de prueba en laboratorio que sirva para evaluar las características de la mezcla.

Debe medirse en su totalidad la humedad de los agregados antes de preparar la bachada.

Deberán calcularse las cantidades de las proporciones de agregados húmedos y adicionar el agua basándose en el contenido de humedad de los agregados. Estos cálculos son similares a los utilizados para concretos convencionales. Debe de tenerse en cuenta que la mezcladora debe ser pre humedecida o cebada antes de mezclarse la bachada o adicionar la cantidad de mezcla de la bachada que retenga la mezcladora.

En el laboratorio la mezcla se realiza acorde con ASTM C192-07 en una secuencia de mezcla 3-3-2. Se utiliza un mezclado prolongado si es necesario.

Medir y registrar la densidad del concreto permeable y calcular el contenido de vacíos en acorde con ASTM C1688-10.

Evaluar la consistencia de la mezcla por la clasificación visual indicada en la Figura antes mostrada. La pasta debe contener la cantidad suficiente de

agregados y proporcionar la adecuada consistencia para prevenir un secado temprano o escurrimiento de la pasta.

Se deben de realizar pruebas de resistencia si existe algún requerimiento de resistencia en el proyecto. Hay que tener en cuenta que en este momento no existe un método de ensayo estandarizado para la resistencia en especímenes de ensayo de concreto permeable.

Puede utilizarse un procedimiento de consolidación similar al usado en ASTM C1688-10.

Hacer los cambios necesarios en las proporciones de los componentes de la mezcla apoyándose en la evaluación de las bachadas de prueba.

2.5 DEFINICION DE LOS GEOSINTETICOS.

En los últimos años la construcción de carreteras ha demandado la utilización de nuevas tecnologías, que proporcionen mejoras en el desempeño estructural del pavimento, que permitan prolongar la vida útil de los mismos, que sean amigables con el ambiente y además resulten rentables económicamente.

Los geosintéticos los podemos definir como productos elaborados a partir de materiales poliméricos termoplásticos mezclados con fibras naturales, las cuales poseen propiedades Físico-Mecánicas e Hidráulicas, que hacen que su utilización sea apropiada en diferentes obras civiles.

La aplicación de los geosintéticos en la ingeniería vial, surge como una alternativa viable ya que cumple con todas las características antes mencionadas, adicionalmente se obtiene con estos otras ventajas entre las que se pueden mencionar: facilidad de colocación, ahorro en los tiempos de ejecución, utilización de mano de obra no calificada para su instalación, etc.

Los geosintéticos son elaborados a partir de materiales poliméricos termoplásticos tales como el polietileno, polipropileno, poliéster y PVC (policloruro de vinilo), también pueden ser utilizadas otros tipos de fibras como la fibra de vidrio y algunas fibras naturales.

Otra definición proporcionada por la ASTM D - 4439-97 es: Los geosintéticos son productos elaborados a partir de materiales poliméricos usados en suelos, roca, tierra y otros materiales geotécnicos similares, como una parte integral de proyectos de ingeniería civil, estructuras u otras construcciones elaboradas por el hombre.

Los geosintéticos generalmente son identificados por:

- ✓ Polímero componente.
- ✓ Proceso de fabricación.

- ✓ Tipo primario de geosintético.
- ✓ Masa por unidad de área.
- ✓ Cualquier otra información adicional o propiedades físicas necesarias para describir el material en relación a sus aplicaciones específicas.

Así por ejemplo podemos identificar un geosintético como:

- ✓ Geotextil no tejido agujereado de polipropileno de 350 g/cm².
- ✓ Geored de polietileno de 440 g/cm² con aberturas de 8 mm.
- ✓ Geomalla biaxial de polipropileno extruido con aberturas de 25×25 mm.
- ✓ Geomembrana de polietileno de alta densidad de 1.5 mm de espesor.

2.5.1 Composición de los geosintéticos.

Los geosintéticos poseen dentro de su estructura diferentes elementos dentro de los cuales se encuentran los polímeros y algunas fibras naturales como el algodón, el yute y juncos. Los polímeros más utilizados son el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el poliéster (PS), el poliuretano (PU) y el policloruro de vinilo (PVC).

POLIETILENO (PE): El polietileno es un material termoplástico blanquecino, de transparente a translúcido, y es frecuentemente fabricado en finas láminas transparentes. Las secciones gruesas son translúcidas y tienen una apariencia de cera. Mediante el uso de colorantes pueden obtenerse una gran variedad de productos coloreados.

Algunas de las propiedades que hacen del polietileno una materia prima tan conveniente para su utilización en los geosintéticos entre otras podemos mencionar, poco peso, flexibilidad, tenacidad, alta resistencia química y propiedades eléctricas sobresalientes.

POLIPROPILENO: El polipropileno es un plástico muy duro y resistente, es opaco y con gran resistencia al calor pues se ablanda a una temperatura más elevada de los 150 °C. Es muy resistente a los golpes aunque tiene poca densidad y se puede doblar muy fácilmente, resistiendo múltiples doblados por lo que es empleado como material de bisagras. También resiste muy bien los productos corrosivos. Es un material inerte, compatible con todo tipo de cementos y aditivos, por lo que se utiliza para armar morteros de cemento y en la construcción de materiales geosintéticos.

Tiene muy buenas propiedades mecánicas, algunas de las propiedades más importantes que podemos mencionar de este material son: que es de muy baja densidad, es más rígido que la mayoría de los termoplásticos, posee una gran capacidad de recuperación elástica, tiene una excelente compatibilidad con el medio, es un material fácil de reciclar, alta resistencia al impacto, buena resistencia superficial, tiene buena dureza superficial y estabilidad dimensional.

POLIÉSTER (PS): El poliéster es uno de los materiales más empleados en el campo de los geotextiles, son las fibras que, junto a las de vidrio, más se utilizan en la arquitectura textil combinadas con una matriz termoplástica, normalmente policloruro de vinilo (PVC).

Las propiedades del poliéster son elevada estabilidad dimensional, insignificante contracción posterior al moldeo, alta resistencia al calor y cambios bruscos de temperatura, elevada resistencia a la fisuración.

POLICLORURO DE VINILO (PVC): Es una resina termoplástica obtenida a partir de la polimerización de dos materias primas naturales, el cloruro de sodio o sal común (NaCl) y gas natural.

Las propiedades del PVC son: una elevada resistencia a la abrasión, baja densidad ($1,4 \text{ g/cm}^3$), buena resistencia mecánica y al impacto, lo que lo hace común e ideal para la edificación y construcción. Es dúctil y tenaz; presenta estabilidad dimensional y resistencia a la mayoría de agentes químicos.

POLIURETANO (PU): Es una resina sintética que se presenta la mayoría de las veces como una espuma rígida y se utiliza mayormente en la fabricación de georedes debido que presenta una alta resistencia a la deformación por compresión mecánica.

El poliuretano se caracteriza por su alta resistencia a la abrasión, al desgaste, al desgarre, al oxígeno, al ozono y a las temperaturas muy bajas.

2.5.2 Funciones principales de los geosintéticos.

Separación:

Se puede usar los geosintéticos (geotextiles), para separar las capas de la estructura de soporte de la vía, con diferentes propiedades y tamaños de agregados.

El paso de los vehículos sobre la capa de rodamiento, causa el movimiento de las partículas de las capas inferiores, como resultado de esto, los finos de la subrasante pueden ser bombeados hacia arriba, dentro de las capas granulares, reduciendo la resistencia y la capacidad de drenaje de esas capas. Además, los geosintéticos pueden reducir la penetración de las partículas granulares dentro de una subrasante blanda, manteniendo de esta manera el espesor y la integridad de las capas granulares, incrementando además la vida de servicio de la vía. Para cumplir con esta función, el geosintético debe ser resistente a los

esfuerzos concentrados (tracción y punzonamiento) y tener aberturas compatibles con los tamaños de las partículas del material a ser retenido (ver figura 2-6).

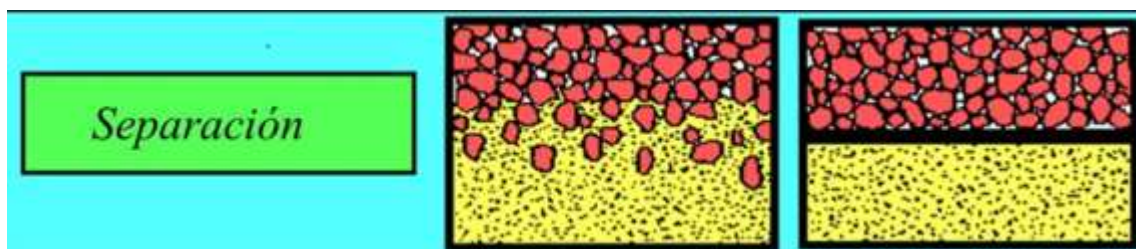


FIGURA 2. 6 FUNCION DE SEPARACION EN GEOSINTETICOS. Fuente: *Manual de Diseño con Geosintéticos*

A continuación se referencian las aplicaciones de Robert M. Koerner en su libro “Designing With Geosynthetics”- Quinta Edición.

- Entre la subrasante y la base de piedra en caminos y pistas de aterrizaje no pavimentados.
- Entre la subrasante y la base de piedra en caminos y pistas de aterrizaje pavimentados.
- Entre la subrasante y el balasto en vías férreas.
- Entre rellenos y capas de base de piedra.
- Entre geomembranas y capas de drenaje de piedra.
- Entre la cimentación y terraplenes de suelos como sobrecargas
- Entre la cimentación y terraplenes de suelos para rellenos de caminos
- Entre la cimentación y terraplenes de suelos para presas de tierra y roca
- Entre la cimentación y capas de suelo encapsuladas
- Entre los suelos de cimentación y muros de retención rígidos
- Entre los suelos de cimentación y muros de retención flexibles
- Entre los suelos de cimentación y pilas de almacenamiento
- Entre taludes y bermas de estabilidad aguas abajo

- Debajo de áreas de sardineles
- Debajo de áreas de estacionamiento
- Debajo de campos deportivos y de atletismo
- Debajo de bloques prefabricados y paneles para pavimentos estéticos
- Entre capas de drenaje en masas de filtro pobremente gradado
- Entre diversas zonas de presas en tierra
- Entre capas antiguas y nuevas de asfalto

Refuerzo: Los geosintéticos (geotextiles, geomallas y geoceldas) instalados sobre subrasantes inestables, pueden eliminar la necesidad de reemplazar estos suelos, incrementando la capacidad de carga del sistema, debido a una mejor distribución de esfuerzos (ver figura 2-7 y 2-8). Cuando se instalan dentro de las

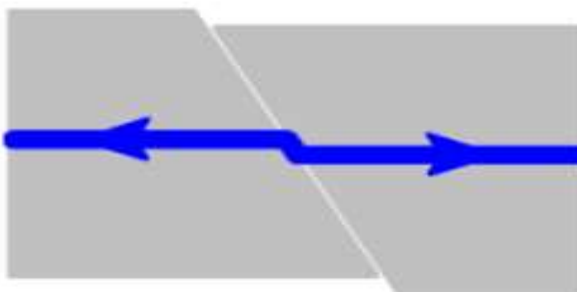


FIGURA 2. 7 Distribución de esfuerzos. Fuente:
Manual de Diseño con Geosintéticos

capas de base o subbase, los geosintéticos pueden ayudar a reducir los asentamientos asociados con la dispersión lateral de los materiales de base y subbase. Las características principales que deben considerarse para esta función son la interacción entre geosintético-suelo, resistencia al daño mecánico, módulo de rigidez tensional y resistencia tensional.

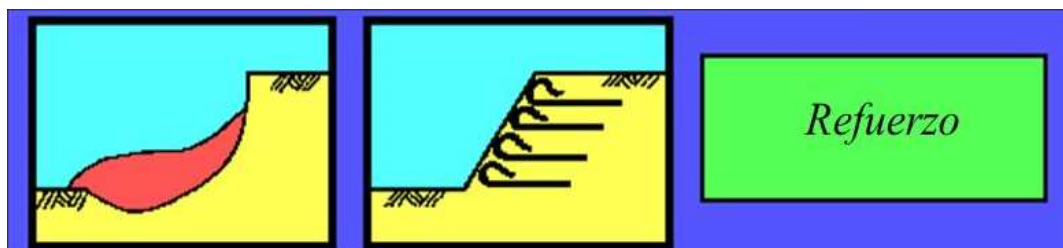


FIGURA 2. 8 COMPORTAMIENTO DE REFUERZO EN UN SUELO AL USAR GEOSINTETICOS

Fuente: Manual de Diseño con Geosintéticos

A continuación se referencian las aplicaciones de Robert M. Koerner en su libro "Designing With Geosynthetics"- Quinta Edición.

- Sobre suelos blandos para caminos no pavimentados
- Sobre suelos blandos para campos de aterrizaje
- Sobre suelos blandos para vías férreas
- Sobre suelos blandos para rellenos
- Sobre suelos blandos en campos deportivos y de atletismo
- Sobre suelos heterogéneos
- Sobre rellenos inestables como sistemas de cerramiento
- Para confinamiento lateral de balasto en vías férreas
- Para envolver suelos en sistemas de telas encapsuladas
- Para construir muros en suelo reforzado
- Para reforzar terraplenes
- Para ayudar en la construcción de taludes pronunciados
- Para reforzar presas de tierra y roca

- Para estabilización temporal de taludes
- Para detener o disminuir la reptación en taludes de suelo
- Para reforzar pavimentos flexibles con juntas
- Como refuerzo basal en áreas cársticas
- Como refuerzo basal entre cabezotes de pilotes de cimentación
- Para hacer un efecto de “puente” entre rocas agrietadas y diaclasas
- Para mantener colchones de filtro de piedra gradada
- Como sustrato de bloques articulados de concreto
- Para estabilizar patios de almacenamiento no pavimentados y áreas de descanso
- Para anclar paneles frontales en muros de tierra reforzada
- Para anclar bloques de concreto en muros de retención pequeños
- Para prevenir el punzonamiento de geomembranas por suelos
- Para prevenir el punzonamiento de geomembranas por materiales de relleno o base de piedra
- Para crear taludes laterales más estables debido a la alta resistencia friccionante
- Para retener suelos blandos en la construcción de presas de tierra
- Como membranas en suelos encapsulados
- Para la compactación y consolidación in-situ de suelos marginales
- Para hacer un efecto de “puente” sobre rellenos irregulares durante el cerramiento del sitio

- Para ayudar en la capacidad portante de cimentaciones superficiales

Filtración: El flujo de agua de la subrasante hacia las capas granulares superiores puede transportar los finos de la misma. Esto puede también ocurrir debido al incremento en los niveles de esfuerzos en la subrasante debido al tráfico. En este caso, un geotextil puede actuar como un filtro, permitiendo el paso libre del agua al mismo tiempo que retiene las partículas sólidas de la subrasante (ver figura 2-9). Para cumplir este rol, el geotextil debe tener propiedades de retención y permeabilidad adecuadas y ser resistente a la colmatación (reducción de permeabilidad debido a la acumulación de finos).

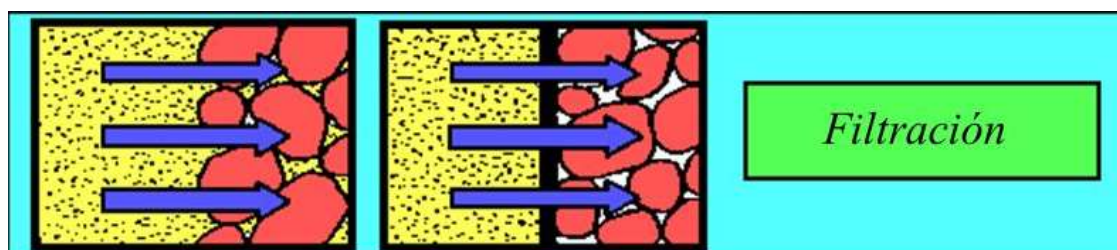


FIGURA 2. 9 FUNCION DE FILTRACION DE FLUIDOS PARA UN GEOSINTETICO. Fuente: *Manual de Diseño con Geosintéticos*

A continuación se referencian las aplicaciones de Robert M. Koerner en su libro "Designing With Geosynthetics" Quinta Edición.

- En lugar de filtro de suelo granular
- Debajo de base de piedras para caminos y pistas de aterrizaje no pavimentados
- Debajo de base de piedra para caminos y pistas de aterrizaje pavimentados

- Debajo de balastro en vías férreas
- Alrededor de piedra picada que rodea los subdrenes
- Alrededor de piedra picada sin subdrenes (Drenes franceses)
- Alrededor de piedra y tubería perforada en pisos de adoquines
- Debajo de rellenos sanitarios para los lixiviados
- Para filtrar rellenos hidráulicos
- Como protección contra los sedimentos
- Como cortina a los sedimentos
- Como barrera contra la nieve
- Como un encofrado flexible para contener arena, inyección o concreto en sistemas de control de erosión
- Como un encofrado flexible para reconstruir pilotes deteriorados
- Como un encofrado flexible para restaurar la integridad en la minería subterránea
- Como un encofrado flexible para restaurar la capacidad portante de pilares socavados de puentes
- Para proteger el material de drenaje en chimeneas
- Para proteger el material de drenaje en galerías
- Entre el suelo de relleno y vacíos en muros de retención
- Entre el suelo de relleno y muros de gaviones
- Alrededor de núcleos moldeados en geodrenes

- Alrededor de núcleos moldeados en drenes de zanja
- Contra georedes para prevenir la intrusión del suelo

Drenaje planar: El buen drenaje es de importancia crítica para evitar el deterioro de la vía debido a la acción de las aguas pluviales que caen sobre la vía o que son bombeadas desde la subrasante hacia las capas de la estructura del pavimento. Un geocompuesto de drenaje instalado en puntos relevantes en la estructura de la vía puede proveer de drenaje transversal a la vía, previniendo la acumulación de agua (ver figura 2-10). En esta aplicación el geocompuesto debe tener una capacidad adecuada de descarga y ser resistente al daño mecánico.

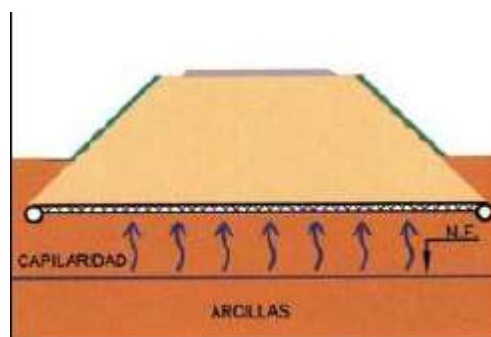


FIGURA 2. 10 DRENAJE INSTALADO EN ZONAS DE RELEVANCIA PARA LA ESTRUCTURA DE LA VIA. Fuente: Manual de Diseño con Geosintéticos

La efectividad del drenaje de un suelo dependerá de la capacidad de drenaje del geosintético empleado y del gradiente de presiones a lo largo del camino de evacuación del fluido.

Para realizar el drenaje satisfactoriamente el espesor debe ser suficiente al aumentar la tensión normal al plano de conducción. Adicionalmente el geotextil debe impedir el lavado o transporte de partículas finas, las cuales al depositarse en él, reducen su permeabilidad horizontal. Además debe garantizar el transporte de agua en su plano sin ocasionar grandes pérdidas de presión (ver figura 2-11).

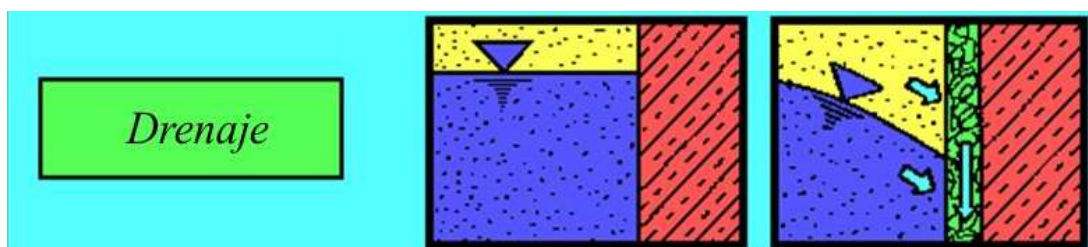


FIGURA 2. 11 COMPORTAMIENTO DEL AGUA CUANDO UN GEOSINTETICO EJERCE FUNCION DE DRENAJE. Fuente: *Manual de Diseño con Geosintéticos*

A continuación se referencian las aplicaciones de Robert M. Koerner en su libro "Designing With Geosynthetics" Quinta Edición.

- Como un dren chimenea en una presa de tierra
- Como una galería de drenaje en una presa de tierra
- Como un interceptor de drenaje para flujo horizontal
- Como una cubierta de drenaje debajo de un relleno de sobrecarga
- Como un dren detrás de un muro de retención
- Como un dren detrás del balasto de vías férreas
- Como un dren de agua debajo de geomembranas
- Como un dren de gas debajo de geomembranas
- Como un dren debajo de campos deportivos

- Como un dren para jardines de techo
- Como un disipador de presión de poros en rellenos de tierra
- En reemplazo de drenes de arena
- Como una barrera capilar en áreas sensibles al congelamiento
- Como una barrera capilar para la migración de sales en áreas áridas
- Para disipar el agua de filtración de las superficies de suelo o roca expuestas

Barrera Impermeable: Los geosintéticos actúan como una barrera impermeable para fluidos entre las capas de los pavimentos y/o encapsulación de suelos expansivos entre otros. Por ejemplo, geomembranas, películas finas de geotextil y geotextiles impregnados con asfalto, elastómeros u otro tipo de mezclas poliméricas son usados como barreras que impiden el flujo de líquidos (ver figura 2-12).

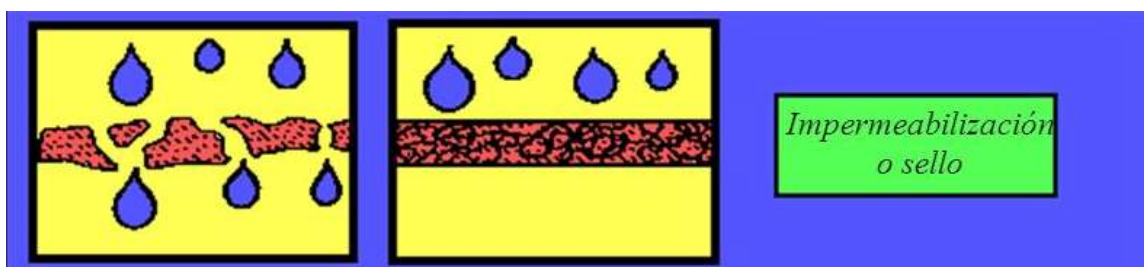


FIGURA 2. 12 IMPERMEABILIZACION DE UN GEOSINTETICOS DENTRO DE UN SUELO. Fuente:
Manual de Diseño con Geosintéticos

2.5.3 Clasificación de los geosintéticos.

2.5.3.1. Geotextiles

Llamamos geotextil al material textil plano, permeable, de apreciable deformabilidad, formado por fibras poliméricas termoplásticas de diversos orígenes, entre las más utilizadas podemos mencionar a las poliolefinas, poliésteres y poliuretanos. Los geotextiles se clasifican en dos grandes grupos: tejidos y no tejidos; los primeros están formados por dos o más conjuntos de hilos, fibras, filamentos u otros elementos entrecruzados perpendicularmente entre sí, formando estructuras bidimensionales; los segundos están constituidos por filamentos repartidos aleatoriamente cuya cohesión, está asegurada por procedimientos mecánicos, térmicos o químicos.

En la mayoría de los casos los geotextiles cumplen con varias funciones, aunque siempre hay alguna de ellas que es la principal. Entre las funciones hidráulicas están la de filtración y drenaje. Entre las funciones mecánicas se pueden destacar la de separación, la de refuerzo y la de protección.

Geotextil no tejido.

Consiste en un geotextil en forma de lámina plana, con fibras, filamentos u otros elementos orientados regular o aleatoriamente, unidos químicamente, mecánicamente o por medio de calor, o por combinación de ellos (ver figura 2-13). Pueden ser de fibra cortada o de filamento continuo. Dependiendo de la técnica empleada en la unión de sus filamentos, pueden ser:

- ✓ Geotextiles no tejidos, unidos mecánicamente.

La unión es mecánica, y en ella un gran número de agujas provistas de espigas atraviesan la estructura en un movimiento alterno rápido.

- ✓ Geotextiles no tejidos, unidos térmicamente.

La unión entre los filamentos se consigue por calandrado (acción conjugada de calor y presión).

- ✓ Geotextiles no tejidos, unidos químicamente.

La unión entre sus filamentos se consigue mediante una resina.



**FIGURA 2. 13 EJEMPLO DE GEOTEXTIL
NO TEJIDO. Fuente: Manual de Diseño
con Geosintéticos**

Geotextil tejido.

Geotextil fabricado al entrelazar, generalmente en ángulo recto, dos o más conjuntos. Se fabrican con resinas poliméricas biológicas y químicamente inertes, resistentes a las diversas condiciones de los suelos, formando mallas cuyas funciones principales se basan en su capacidad drenante y en su resistencia mecánica a la perforación y tracción (ver figura 2-14). Además de ser empleados en la preparación y sellado de vertederos, son de aplicación en la construcción de subbases de carreteras, repavimentaciones y líneas férreas, en



FIGURA 2. 14 GEOTEXTIL TEJIDO.

*Fuente: Manual de Diseño con
Geosintéticos*

encauzamientos, canales y presas tiende de igual modo entre distintas evitando erosiones, en conducciones y drenajes como protección, en muros de contención, balsas, canales y túneles como refuerzo y drenaje del terreno, etc.

2.3.3.2. Geomallas.

Las geomallas son mallas de material polimérico con espacios abiertos (dimensionados para ser compatibles con la granulometría del relleno) llamados “aperturas”, los cuales están delimitados por “costillas”. (Ver figura 2-15)



FIGURA 2. 15 EJEMPLO DE GEOMALLA.

*Fuente: Manual de Diseño con
Geosintéticos*

Las funciones principales que cumple son de refuerzo y estabilización, se puede usar para trabajos de refuerzo de terraplenes pudiendo así diseñarse taludes más verticales, y para incremento de la capacidad de soporte de bases y subbases de carreteras. También se utilizan en fundaciones, en diques, gaviones, obras marinas y otros.

Las características de las geomallas varían mucho según su composición química, tecnología de fabricación y según las diferentes patentes existentes en el mercado. Así, se pueden encontrar geomallas de diferentes materiales y formas, con diferentes tecnologías de unión en las juntas, con distintas aperturas de malla, con distintos espesores. Todas estas variaciones, obviamente, dan

como resultado diferentes propiedades mecánicas y diferentes comportamientos, lo que deberá tenerse en cuenta a la hora de seleccionar la malla más adecuada para una aplicación determinada.

Independientemente de la patente, existen dos tipos básicos de geomallas: las uniaxiales y las biaxiales. Las primeras son producidas a base de polietileno de alta densidad en un proceso de extrusión siguiendo un estiramiento en un solo sentido; poseen toda su capacidad alineada en una única dirección, con juntas transversales, y se utilizan en aplicaciones donde se conoce a ciencia cierta la dirección de aplicación de la carga (por ejemplo en el refuerzo de taludes o muros). Las segundas poseen capacidad dos direcciones, aproximadamente perpendiculares entre sí, y se utilizan para refuerzos con carga de dirección variable (fundaciones, caminos, plataformas).

Por otro lado, dentro de las geomallas biaxiales, pueden diferenciarse otros dos grupos: las geomallas rígidas y las geomallas flexibles. Las geomallas rígidas son aquellas fabricadas en polipropileno, químicamente inerte y con características de uniformidad y homogeneidad, producidas en un proceso de extrusión siguiendo un estiramiento longitudinal y transversal, con juntas integrales conformando un sistema monolítico. Las segundas son fabricadas generalmente con fibras de poliéster unidas en los puntos de encuentro mediante diferentes métodos de tejido con un revestimiento de PVC por lo general.

Dentro de las propiedades de las geomallas podemos mencionar:

- a) Gran fortaleza en las uniones, para garantizar la transferencia de cargas a lo largo y lo ancho de la malla.
- b) Estructura de malla abierta. Para interactuar con materiales de relleno y formar así un material compuesto con una capacidad de carga mucho mayor.
- c) Rigidez torsional, para simplificar la instalación y ofrecer resistencia a la deformación una vez instalada.

- d) Módulo de alta resistencia a la tracción para resistir las cargas dinámicas.
- e) Durabilidad para sobrevivir a los esfuerzos de la instalación y resistir la degradación una vez instalada.

2.3.3.3. Georedes

Las georedes están compuestas por una estructura de dos y tres dimensiones de capas y filamentos paralelos entreteljidos que crean canales de gran capacidad de flujo y drenaje.(ver figura 2-16) Se construyen por extrusión de Polietileno de Alta Densidad (High-Density Polyethylene, HDPE) y son resistentes a agentes químicos y biológicos que normalmente presentan el suelo y los desechos. También se utilizan para resistir la degradación de rayos ultravioleta (UV).

Las georedes biplanares incorporan 2 nervaduras superpuestas en ángulo respecto a la dirección del flujo de los líquidos. Estas uniones se dirigen en la dirección del flujo.

Por todo ello, se ha desarrollado estructuras tridimensionales con elementos verticales rígidos. Sus nervaduras aumentan significativamente la capacidad de tensión y resistencia a la compresión de la geored. Estas nervaduras están también soportadas por estructuras planas que reducen la intrusión y pérdida de flujo de la sección de drenaje. El conjunto permite obtener altos índices de flujo en la vida útil de la estructura, y no solo por algunas horas. En la geored biplanar, por tanto, el flujo es igual en todas las direcciones mientras que en el triplanar es mucho mayor.

Las georedes sustituyen a los materiales naturales como arena y grava, y resuelven gran parte de los problemas asociados a los materiales naturales. De hecho, el uso de materiales naturales crea limitaciones de construcción y calidad tales como: estabilidad de taludes laterales, daños a las geomembranas y consistencia en la calidad y los espesores de los rellenos.



FIGURA 2. 16 EJEMPLO DE GEOREDES. Fuente: *Manual de Diseño con Geosintéticos*

2.3.3.4. Geomembranas

Son láminas de impermeabilización, cuya función principal es evitar el paso de agua y que se emplean en sistemas de impermeabilización tales como: túneles, vertederos, depósitos, almacenamiento de agua ó cubiertas planas de edificación. (ver imagen 2-17)



FIGURA 2. 17 EJEMPLO DE GEOMEMBRANAS PUESTAS EN OBRAS. Fuente: Manual de Diseño con Geosintéticos.

Están fabricadas por diferentes tipos de resinas: caucho sintético, polipropileno, clorosulfonado, cloruro de polivinilo, polietileno de alta, media y de baja densidad.

La aplicación principal de las geomembranas es la impermeabilización en obras civiles, geotécnicas y ambientales en trabajos de manejo de desechos sólidos, rellenos sanitarios, lagunas de oxidación, minería, riego, acuicultura, agricultura, proyectos hidráulicos, canales de conducción, almacenamiento, lagunas de tratamiento de desechos de crudo, etc.

2.3.3.5. Geoceldas

Un material ideal para utilizar en aplicaciones de ingeniería civil ha de ser aquél que proporcione una buena compactación y que permita el drenaje del agua con libertad. (Ver figura 2-18) Con frecuencia nos encontramos que los terrenos con

una buena capacidad de drenaje son difíciles de confinar in situ. La geocelda proporciona la solución para conseguir un confinamiento del terreno o de materiales granulares, con un buen drenaje.

Aunque el confinamiento de materiales de tierra cuenta con numerosos

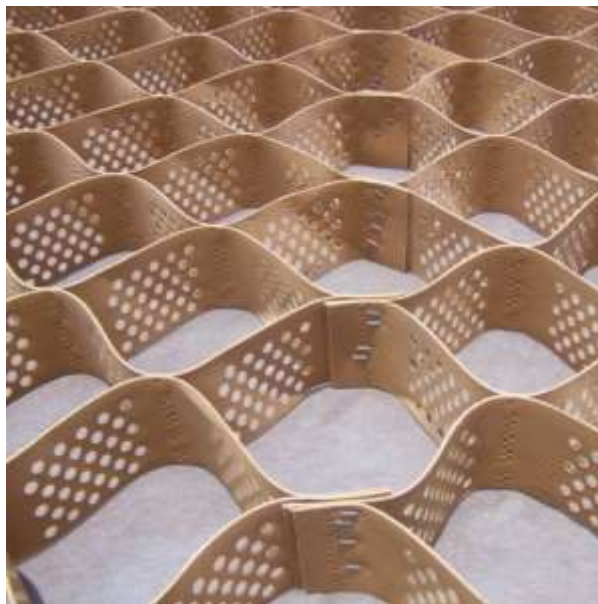


FIGURA 2. 18 EJEMPLO DE GEOCELAS. Fuente:

Manual de Diseño con Geosintéticos

beneficios, no siempre resulta fácil o barato conseguirlo. El US Army Corps of Engineers (El Cuerpo de Ingenieros del Ejército Estadounidense, USACE) experimentó con diferentes métodos que se podrían utilizar para realizar un confinamiento de la arena durante un Asalto Anfibio. La solución que planteaban era un producto en el cual se sueldan tiras de plástico de forma que, cuando se produce una dilatación, las tiras soldadas forman un panel rectangular compuesto de celdas individuales similares a un panal de abeja. Hoy en día, ingenieros civiles de todo el mundo emplean este mismo concepto para conseguir confinamiento del material in situ. El nombre genérico de este producto desarrollado en el USACE es la geocelda.

En situaciones donde la pendiente del talud es tan pronunciada que no resulte factible colocar los paneles de geoceldas sobre la superficie del talud, se puede retener el terreno mediante una estructura de contención construida con el sistema de confinamiento celular.

En la mayoría de las ocasiones el material de relleno será el propio del lugar. Una ventaja adicional de este tipo de construcción es que las celdas exteriores pueden rellenarse con tierra vegetal, lo que va a proporcionar a la pared exterior del muro un aspecto agradable, reduciéndose asimismo el flujo de agua en la cara exterior.

Un muro de contención celular se utiliza en situaciones tanto de relleno como de recorte. Las geoceldas no sólo retienen el terreno en su sitio, sino que además proporcionan el drenaje de toda la estructura.

Las uniones de una geoceldas deben soportar 140 N por centímetro de espesor de la geocelda según lo estipulado en el Informe Técnico del U.S. Army Corps of Engineers (Cuerpo de Ingenieros del Ejército Estadounidense).

Una soldadura de 102 mm soporta:

- ✓ Una carga de 72,5 kg durante un mínimo de 30 días
- ✓ Una carga de 72,5 kg durante un mínimo de 7 días mientras experimenta un cambio de temperatura de 23° C a 54° C en un ciclo de 1 hora de duración.

2.3.3.6. Geocompuestos.

Geocompuestos drenates.

Están formados por una geored que es un material formado por dos hilos superpuestos de polietileno de alta densidad (HDPE) que forman canales con alta capacidad de evacuación de agua, incluso cuando se colocan horizontalmente y se someten a grandes cargas y por uno o dos geotextiles no

tejidos (según la aplicación), que actúan como elementos separadores, protectores, filtrantes y anticontaminantes de finos. (Ver figura 2-19)

Los geotextiles son normalmente de polipropileno (PP), aunque también pueden ser de poliéster (PS). Además existen geocompuestos que llevan incorporada una geomembrana, con lo que la función impermeabilizante se suma a las anteriores.



FIGURA 2. 19 EJEMPLO DE GEOCOMPUESTOS DRENANTES.

Fuente: Manual de Diseño con Geosintéticos.

Propiedades de los geocompuestos

- a) Son productos muy robustos, con resistencias al aplastamiento superiores a los 1,000 kPa (equivalentes a unos 50 m de tierra).
- b) La pérdida de espesor al aumentar la presión es mínima, lo cual garantiza una elevada capacidad drenante bajo cualquier carga. En el mercado existen geocompuestos con capacidades drenantes superiores a los 8 $l/m \times s$ a 500 kPa y gradiente hidráulico unidad.

- c) Tienen un comportamiento excelente a largo plazo ya que la fluencia del material, o reducción del espesor a carga constante con el tiempo, es mínima. La diferencia entre los espesores de las georedes sometidas a 200 kPa y los mismos espesores medidos 1,000 horas es inferior al 3 %.
- d) Elevada resistencia a la tracción, muy superior a las tracciones que recibirá durante la instalación.
- e) Son duraderos puesto que el polietileno de alta densidad y el Polipropileno son materiales químicamente inertes, imputrescibles, insensibles a los agentes atmosféricos y a las aguas salubres y resistentes a la oxidación y a los microorganismos. Además estos materiales no producen efectos negativos al medio ambiente.
- f) Son productos ligeros y flexibles que se adaptan a las pequeñas irregularidades del terreno.
- g) Tienen espesores reducidos, por lo que son fáciles de transportar y almacenar. (Un camión trailer puede almacenar unos 10,000 m² de material, si se requiere drenar la misma superficie con grava, se necesitarían entre 30 y 60 camiones, dependiendo del espesor de la capa drenante).

2.5.4 Control de calidad y especificaciones.

Para justificar el uso de un geosintético en determinada función, deben realizarse una serie de ensayos de laboratorio, que ayuden a predecir el comportamiento de las estructuras reales en las que se va a utilizar.

Existen diferentes normativas dependiendo del país donde estas se apliquen, en esta investigación se hace referencia a las normas dadas por la Asociación Americana de Pruebas y Materiales (ASTM por sus siglas en ingles), organización fundada en 1,898, que ofrece un foro mundial para el desarrollo y publicación de estándares para materiales, productos, sistemas y servicios.

Existen normas de ensayo para determinar la calidad de un material y especificaciones donde se detallan los valores de las propiedades que deben poseer los geosintéticos para ser utilizados en una aplicación particular.

Se hará una descripción de los ensayos de laboratorio donde se obtienen los valores de las propiedades mecánicas e hidráulicas más importantes para el uso de los geosintéticos. Se explicará el concepto fundamental del ensayo, equipo utilizado y el procedimiento, con el fin de entender la importancia que tiene el adecuado control de calidad en las diferentes aplicaciones de los geosintéticos. Este control de calidad deberá aplicarse al momento de la fabricación del geosintético así como también a la hora de la recepción de un lote a utilizar en determinado proyecto.

Como complemento a los ensayos de laboratorio, y en la búsqueda de una correcta utilización de los geosintéticos en obras viales se enumeran en este capítulo algunas especificaciones para la instalación de los mismos; sin embargo dichas especificaciones pueden ser modificadas de acuerdo a las condiciones particulares de cada proyecto.

2.5.4.1 Control de Calidad.

Definiciones

Control de calidad: El conjunto y uso de técnicas operacionales y actividades que sustenten la calidad de un material, producto, sistema o servicio que satisfaga unas necesidades dadas

Aseguramiento de la calidad: Todas aquellas actividades planeadas o sistemáticas necesarias para ofrecer una confiabilidad adecuada de un material, producto, sistema o servicio, que satisfaga unas necesidades dadas.

Especificaciones técnicas.

Las especificaciones técnicas comprenden los requisitos, condiciones y normas técnicas que deben cumplir los contratistas durante la ejecución de las obras, y al mismo tiempo permitir a los supervisores controlar la calidad y correcta ejecución de las mismas.

La especificación deberá estar basada en las propiedades específicas requeridas para diseño e instalación. Los geosintéticos estándar podrían resultar en diseños poco económicos e inseguros. Para especificar un tipo particular de geosintético o su equivalente puede ser muy engañoso. Como resultado el constructor podría seleccionar un producto con propiedades completamente diferentes a las propuestas por el diseñador. Una guía de especificaciones es dada para la aplicación particular.

En las especificaciones se detallan valores de las propiedades que deben poseer los geosintéticos en aplicaciones particulares, por lo tanto previo a la aceptación del material y para comprobar que este cumple con la especificación deberán realizarse los siguientes ensayos:

- ✓ Relación peso/área. ASTM D - 5261

- ✓ Espesor nominal. ASTM D - 5199.
- ✓ Resistencia a la tensión y al alargamiento. ASTM D - 4632.
- ✓ Resistencia al desgarre trapezoidal. ASTM D - 4533-91.
- ✓ Tamaño de abertura aparente. ASTM D - 4751.
- ✓ Resistencia al punzonamiento. ASTM D-4833.
- ✓ Resistencia al estallido (método del diafragma hidráulico - Mullen Burst). ASTM-3786.
- ✓ Determinación del coeficiente de permeabilidad. ASTM D-4491.

Los límites por cumplir en cada una de estas pruebas dependerán del uso previsto del geosintético y estarán definidos en las respectivas especificaciones o en los planos del proyecto.

Todas las especificaciones deben incluir:

- ✓ Requerimientos generales.
- ✓ Propiedades específicas del geosintético.
- ✓ Requerimientos de costuras y traslapes.
- ✓ Procedimientos de colocación.
- ✓ Reparación, y
- ✓ Criterios de aceptación y rechazo.

Requerimientos generales: Incluye los tipos de geosintéticos, materiales poliméricos aceptables, y comentarios relacionados a la estabilidad del material.

Fabricantes de geosintéticos y representantes son buenas fuentes de información sobre estas características. Otros elementos que podrían especificarse en esta sección son instrucciones tanto de almacenamiento y manejo del producto para protegerlo de los rayos ultravioleta, polvo, fango o cualquier otro elemento que pueda afectar el desempeño/funcionamiento.

Propiedades físicas, índices y de desempeño/funcionamiento específicas de los geosintéticos: Deberá estar listado como es requerido por el diseño. Las propiedades deberán ser dadas en los términos de mínimos o máximos, VMPPR (Valor Mínimo Promedio por Rollo) con el método requerido de ensayo. El valor promedio es simplemente el más pequeño (o más grande) valor promedio anticipado que debería ser obtenido por cualquier rollo ensayado. Este valor promedio de las propiedades deberá exceder el mínimo (o ser más pequeño que el máximo) valor especificado para aquella propiedad particular basada en la prueba. Ordinariamente es posible obtener una certificación de VMPPR del fabricante.

Si los ensayos de desempeño han sido conducidos por parte del diseñador, un listado de productos aprobados puede ser entregado. Las listas aprobadas pueden ser elaboradas basadas en la experiencia con condiciones de aplicación recurrente. Una vez aprobada la lista será establecida, nuevos geosintéticos pueden ser añadidos si éstos han sido aprobados. Muestras del fabricante deben ser periódicamente obtenidas y deben ser examinados de la misma forma que los especímenes originales para verificar si el proceso de fabricación ha cambiado desde que el producto fue aprobado.

Requerimientos de costuras y traslapes: Deberá especificarse las propiedades de diseño para ambas telas y el área de la costura aplicable. Un traslape mínimo de 30 cm. es recomendado para todas las aplicaciones de geotextiles, pero los traslapes pueden ser aumentados de acuerdo a los requerimientos de construcción y lo especificado en campo. La fuerza especificada en las costuras deberá ser igual a la fuerza requerida del geosintético, perpendicular a la dirección de la costura usando el mismo procedimiento de ensayo. Para diseños donde ensayos de gran ancho son usados (por ejemplo refuerzo de terraplenes en suelos blandos), la fuerza requerida en la costura es un valor de diseño

calculado. Por lo tanto, la fuerza en la costura no será especificada como un porcentaje de la fuerza del geosintético.

Las geomallas, georedes y geoceldas pueden ser conectadas por sujetadores (grapas) mecánicos, aunque la conexión pueda ser estructural o una ayuda de construcción (cuando la fuerza en la dirección perpendicular a lo largo de la costura no es requerida por el diseño). Las geomembranas son térmicamente unidas y especificadas en términos de la fuerza de la costura.

Procedimientos de colocación: Deberán darse en detalle con la especificación y los planos de construcción. Estos procedimientos deberán incluir pendientes y requerimientos de limpieza del terreno, especificaciones de agregados, espesor de las capas de agregados y requerimientos de equipo. Detalles de procedimientos de colocación son presentados en cada ejemplo de aplicación.

Procedimientos de reparación: Deberán ser detallados los procedimientos de reparación para secciones dañadas de geosintéticos. Tales reparaciones deberán incluir traslapes, costuras cosidas, costuras fundidas o reemplazos. Para reparaciones por traslape, el geosintético deberá extenderse la longitud mínima de traslape requerida de todos los bordes de la rotura (así por ejemplo si se requiere un traslape mínimo de 0.30 m, el parche deberá extenderse al menos 0.30 m de todos los bordes de la rotura).

Criterios de aceptación y rechazo: Los criterios de aceptación y rechazo para materiales geosintéticos deberán ser colocados en la especificación de manera clara y concisa. Es de gran importancia que todas las instalaciones sean observadas por un representante del diseñador quien es conocedor y consciente de los procedimientos de colocación y requerimientos de diseño. Los

requerimientos de muestreos y ensayos solicitados durante la construcción también deberán ser especificados.

2.5.5 Aplicación de geosintéticos en las vías.

2.5.5.1 Separación y estabilización de subrasantes.

En el área de diseño y construcción de carreteras uno de los problemas que se presentan con mayor frecuencia es el deterioro prematuro de las vías, causado por diversos factores relacionados con las características y propiedades de los materiales que conforman la estructura del pavimento y con las condiciones de carga que sobrepasan los valores de diseño. Desde el punto de vista estructural, la contaminación de la(s) capa(s) granular(es), la mezcla de los suelos de diferentes características y el comportamiento mecánico del suelo de subrasante son factores de gran influencia en el deterioro de las vías, lo que se traduce en una reducción de la capacidad portante de todo el sistema.

La utilización de geotextiles como una capa de separación entre los suelos de subrasantes y las capas granulares ha permitido mantener la integridad de los materiales y mejorar su funcionamiento, aumentando la vida útil de las estructuras. Esta capa de separación con geotextil elimina la instalación de un material adicional que se emplea en los diseños tradicionales que solo tiene en cuenta el proceso de contaminación que se produce al inicio del período de vida de servicio, y no tiene en cuenta el proceso de contaminación a largo plazo. (ver figura 2 20)

Comúnmente se recomienda que para que un geotextil cumpla correctamente la función de separación entre un suelo de subrasante y una capa de material granular, el CBR de la subrasante debe estar entre 3% y 10%.

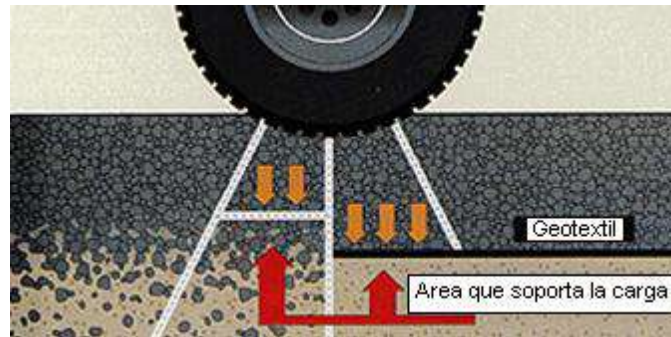


FIGURA 2. 20 REDUCCION DE LA MIGRACION DE PARTICULAS DE UNA CAPA A OTRA. Fuente: *Manual de Diseño con Geosintéticos*

2.3.5.2. Refuerzo en vías con geomallas biaxiales coextruídas

Los pavimentos se caracterizan por ser sistemas multicapa, los cuales están diseñados para absorber y disipar los esfuerzos generados por el tráfico, por lo general estas estructuras poseen capas de mejor calidad cerca de la superficie donde las tensiones son mayores. Tradicionalmente un pavimento trabaja distribuyendo la carga aplicada hasta que llegue a un nivel aceptable para la subrasante.

Mecanismos de refuerzo generados por las geomallas

A través de múltiples investigaciones (Giroud y Noiray, 1,981; Giroud et al. 1,985; Berg et al, 2,000), se ha encontrado que los 3 mecanismos principales de refuerzo que proporciona una geomalla biaxial son los siguientes:

- ✓ Confinamiento lateral de la base o subbase.
- ✓ Mejoramiento de la capacidad portante.
- ✓ Membrana tensionada.

Confinamiento lateral de la base o subbase.

El cual se logra a través de la fricción y trabazón de la geomalla con el agregado. Esto se presenta debido a que los módulos de los materiales granulares son dependientes del estado de esfuerzos, al aumentar el confinamiento lateral, aumenta el módulo de la capa granular sobre la geomalla (ver figura 2-21).

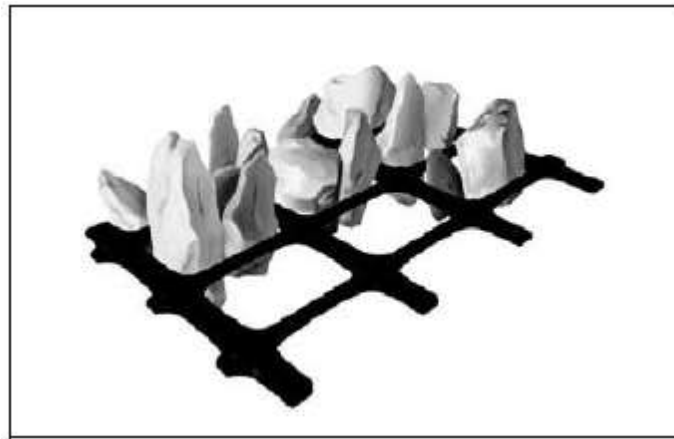


FIGURA 2. 21 TRABAJO DE CONFINAMIENTO DE UNA GEOMALLA Fuente: *Manual de Diseño con Geosintéticos*

Mejoramiento de la capacidad portante.

Se logra desplazando la superficie de falla del sistema de la subrasante blanda hacia la capa granular de mucha más resistencia. Este mecanismo tiende a tener mayor validez en vías sin pavimentar o cuando el estado de esfuerzos sobre la subrasante es alto.

Membrana tensionada.

Este efecto se origina en la propiedad por la cual un material flexible elongado, al adoptar una forma curva por efecto de la carga, el esfuerzo normal sobre su

cara cóncava es mayor que el esfuerzo sobre la cara convexa, lo cual se traduce en que bajo la aplicación de carga el esfuerzo vertical transmitido por la geomalla hacia la subrasante es menor que el esfuerzo vertical transmitido hacia la geomalla. Sin embargo, este mecanismo solo ocurre a niveles de deformación demasiados altos como los que ocurren en vías sin pavimentar después de un número de repeticiones de carga elevado.

De acuerdo con lo anterior, el mecanismo de mayor importancia para las estructuras viales es el confinamiento lateral, mediante el cual se alcanzarían 4 beneficios principales:

- ✓ Restricción del desplazamiento lateral de los agregados de la base o subbase.
- ✓ Aumento del confinamiento y de la resistencia de la base o subbase en la vecindad del refuerzo.
- ✓ Mejoramiento en la distribución de esfuerzos sobre la subrasante.
- ✓ Reducción del esfuerzo y deformación por corte sobre la subrasante.

2.6 CONCRETO CON FIBRAS DE REFUERZO.

2.6.1 Generalidades.

Usadas las fibras inicialmente para reducir el agrietamiento por contracción plástica del concreto, el mercado consistía principalmente en la presencia de fibras sintéticas de polipropileno y nylon.

Inicialmente las fibras eran largas y gruesas que, aunque eran efectivas, resultaban difíciles de acabar y producían losas de concreto “con pelos”. A pesar de estas dificultades, su uso creció de manera importante con el paso del tiempo.

Al madurar el mercado se vio que se fueron introduciendo productos de fibras más cortas y delgadas, al punto que se volvieron invisibles en las losas. El rango de longitud de la fibra es de aproximadamente de 20 a 40 milímetros.

2.6.1.1 Uso de las Fibras

El uso de fibras se hizo imprescindible en el concreto celular, ya que las deficiencias de una mezcla fluida, se ven afectadas por el secado o una deshidratación rápida, lo que ocasiona contracciones, sin embargo, estas contracciones son controladas gracias al uso de la fibra de polipropileno.

De estas fibras deben usarse las del tipo de segunda generación, es decir las que forman una malla tridimensional de refuerzo con el fin de evitar los problemas de curado, por otro lado, los productos de concreto celular prefabricados son más susceptibles mientras ganan buena parte de su resistencia, por lo que al moverlos entre el tercero y sexto días son susceptibles a despieces, la fibra ayuda a controlar esos movimientos y a controlar las grietas por golpes, además se ha

demostrado que el uso de la fibra aumenta la resistencia a la tensión en un 10% y a compresión en un 6%.

2.6.1.2 Aplicaciones.

El concreto con fibras es apropiado para superficies grandes que tiendan a fracturarse precisamente por su longitud muros, losas, pavimentos y pisos industriales.

Como se mencionó, la adición de fibras de diversas clases y tipos al concreto celular, puede reducir la desfavorable contracción.

Los beneficios de la adición de fibras al concreto celular de baja densidad son considerables, estas fibras pueden reducir notablemente la formación de grietas por contracción plástica o por secado e incrementan la resistencia a la flexión y a la tensión.

La fibra debe ser resistente al álcali; puede tratarse de resinas sintéticas o de fibra de vidrio, fibras de polietileno, polipropileno o acero según las necesidades del proyecto. La cantidad utilizada está determinada por la trabajabilidad del concreto y el costo.

Estos concretos pueden catalogarse como de "Prevención de grietas". Al interceptar diminutas grietas, las fibras evitan que lleguen a formar grietas grandes y visibles.

Todo especialista sabe que el concreto va a agrietarse, eso es algo que resulta inevitable. Sin embargo, al usar fibras junto con una disposición apropiada de las juntas, se puede generar un concreto que sea durable, atractivo, y que sea visto de manera positiva por los ojos del constructor y del cliente.

Otras aplicaciones de fibras pueden servir para mantener las grietas rígidamente juntas, lo que puede denominarse “Confinación de grietas”. Se sabe que el concreto va a agrietarse, pero ¿a qué ancho de grietas la apariencia se convierte en algo inadecuado para el propietario? Esta es una cuestión de percepción; sin embargo, aplicando las dosis adecuadas de fibras sintéticas más grandes, macro fibras sintéticas, productos combinados de acero/sintéticos o fibras de vidrio o acero, se puede resolver este problema.

Otra aplicación de las fibras que apenas comienza a tomar forma es el uso de altas dosis, en las cuáles o bien se desea flexibilidad de la matriz del concreto, o se eleva el desempeño estructural o bien, en pisos industriales en donde por muchos años, su uso ha probado ser efectivo para reducir los problemas de desempeño de las juntas por las pesadas cargas en las llantas. El enfoque actualmente está en la prevención de grietas por contracción.

Se supone que el 50% del mercado de concreto premezclado es para trabajos de superficies planas como losas, losas elevadas, muros, etcétera. En este sentido, el mercado de fibras, tan sólo en los Estados Unidos, fue de 83 millones de metros cúbicos en 2006. Sin embargo en México durante el mismo año solo se produjeron alrededor de 600,000 metros cúbicos.

Dentro del mundo del concreto con fibras, la barrera más grande que actualmente existe es la falta de comprensión de los contratistas, propietarios o funcionarios de reglamentos acerca del valor, desempeño y registro de las fibras.

Se podrá ver porqué se hace una disertación sobre el concreto reforzado con fibras.

El concreto de ultra alto desempeño (Ultra-High Performance Concrete) ha sido objeto de numerosas investigaciones. Las resistencias a la tensión del UHPC están limitadas a 8 MPa. Para resolver estos problemas, se les agregaron fibras.

En los últimos años, la utilización de concretos reforzados con fibras (HRF) ha ido creciendo en la construcción de pavimentos rígidos, pisos industriales, contención de túneles, etc. La incorporación de fibras al concreto mejora las propiedades mecánicas del mismo, aumentando su ductilidad, lo cual mejora la calidad de la obra aumentando su vida útil controlando la fisuración, (Hope, 2003).

La incorporación de fibras metálicas, sintéticas en el concreto, ha demostrado ser un medio útil para mejorar su capacidad de controlar la propagación de fisuras aumentar su resistencia a la tracción y su capacidad de deformación.

Desafortunadamente, a pesar del uso cada vez más creciente de los concretos con fibras no existe, a nivel normativo, una instrucción que permita establecer un marco de referencia para la adición apropiada de fibras en los concretos para poder evitar contratiempos durante la preparación, manejo y colado.

2.6.1.3 Producción de Concreto Reforzado con Fibra

Durante la producción de concreto reforzados con fibras, el principal problema que se presenta es cómo garantizar que las fibras se dispersen uniformemente dentro de la matriz del concreto, sin que exista la formación de nidos de fibra. Los nidos de fibras se forman en el momento de la mezcla, básicamente debido a los siguientes problemas:

- ✓ Las fibras ya formaron nidos antes de ser adicionadas en el concreto. Los procesos tradicionales de producción de concreto son incapaces de deshacer estos nidos.
- ✓ Las fibras fueron adicionadas muy rápidamente a la mezcla, impidiendo que se dispersen eficientemente.

- ✓ Un volumen muy grande de fibras fue adicionado a la matriz del concreto.
- ✓ El equipo está muy desgastado o es ineficiente para dispersar las fibras eficientemente.
- ✓ Las fibras fueron introducidas en la mezcladora antes de los demás componentes del concreto, lo que, ciertamente, causará el surgimiento de nidos.

La mejor forma de preparación de la mezcla in situ es colocar el agregado grueso y fino dentro de la mezcladora; luego, poner a mano las fibras en forma de lluvia y, por último, introducir el cemento en proporción al agua. Se debe dar un tiempo de por lo menos 4 minutos de mezclado para su correcta dispersión y para evitar la formación de nidos.

Otra forma es añadir a la mezcla en bolsas pre-pesadas que se desintegran con la acción de mezclado. Las bolsas pueden ser colocadas directamente en el sistema de mezclado para asegurar un porcentaje de mezclado adecuado.

2.6.1.4 Porcentaje de fibras incorporado

El porcentaje de fibras incorporado tiene una influencia muy grande en el comportamiento del compuesto, pues define el número de fibras presentes en la sección de ruptura, que actúan como puente de transferencia de tensiones. Cuanto mayor sea el porcentaje, mayor será la probabilidad de que las fisuras intercepten un mayor número de fibras.

El porcentaje de fibras presenta un efecto muy difícil de controlar, ya que a mayor cantidad de fibras, menor la trabajabilidad.

Para poder aumentar la trabajabilidad se debe aumentar agua, pero a mayor cantidad de agua, menor resistencia.

El porcentaje de fibras de influencia, o el denominado volumen crítico de fibras, fue idealizado por Aveston (Oliveira, 2001). El volumen crítico de fibras es aquel para el cual el compuesto mantiene una resistencia residual (post-cracking) igual al de la matriz.

2.6.1.5 Designación de nombres a los concretos

La designación de nombres codificados a los concretos se realizó en función de la resistencia, el tipo y cuantía de fibra que se utilizó. En la Tabla 2-3, se muestra la asignación de letras a cada tipo de fibra y la asignación de siglas por material, en las Tablas 2-4 y 2-5 se muestra un resumen de la designación para concretos con resistencia de 21 y 28 N/mm², respectivamente. Se ensayaron 304 especímenes a compresión y 220 a flexión, los mismos que contemplan los diferentes tipos de concretos ensayados, con y sin fibra.

TABLA 2. 3 Asignación de letras y siglas

Fuente: Revista de Ingeniería de Construcción

TIPO DE FIBRA	LETRA ASIGNADA	MATERIAL DE LA FIBRA	SIGLA
Stealth	A	Sintética	HRF
Inforce	B	Sintética	HRF
Novomesh	C	Metálica	HRFM

TABLA 2. 4 Resumen de designaciones para concretos con Resistencia de 21 N/mm² (210 Kg/cm²). Fuente: Revista de Ingeniería de Construcción

Designación	Resistencia N/mm ² (Kg/cm ²)	Tipo de fibra	Cuantía y porcentaje de fibras
HRF₂₁ – A1	21 (210)	Stealth	0.60 kg/m ³
HRF₂₁ – A2	21 (210)	Stealth	1.00 kg/m ³
HRF₂₁ – A3	21 (210)	Stealth	1.80 kg/m ³
HRF₂₁ – B1	21 (210)	Inforce	0.90 kg/m ³
HRF₂₁ – B2	21 (210)	Inforce	1.35 kg/m ³
HRF₂₁ – B3	21 (210)	Inforce	1.80 kg/m ³
HRFM₂₁ – C1	21 (210)	Novomesh	0.20%
HRFM₂₁ – C2	21 (210)	Novomesh	0.25%
HRFM₂₁ – C3	21 (210)	Novomesh	0.50%
HRFM₂₁ – C4	21 (210)	Novomesh	0.75%

TABLA 2. 5 Resumen de designaciones para concretos con resistencia de 28 N/mm² (280 kg/cm²). Fuente: Revista de Ingeniería de Construcción

Designación	Resistencia N/mm ² (kg/cm ²)	Tipo de fibra	Cuantía de fibras (Kg/m ³)
HRF₂₈ – A1	28 (280)	Stealth	0.60
HRF₂₈ – A2	28 (280)	Stealth	1.00
HRF₂₈ – A3	28 (280)	Stealth	1.80
HRF₂₈ – B1	28 (280)	Stealth	0.90
HRF₂₈ – B2	28 (280)	Stealth	1.35
HRF₂₈ – B3	28 (280)	Stealth	1.80

Según estudio realizados, con la introducción de una cuantía media de fibras de plástico aumenta el valor del módulo de ruptura del concreto, lo que resulta en una reducción en el espesor de una losa de pavimento rígido. Esta reducción del espesor disminuye el volumen de concreto a utilizar, por tanto, los costos también se ven reducidos a pesar del costo de las fibras.

Con la incorporación de fibras a la mezcla se mejoran las propiedades mecánicas, se controla la fisuración por retracción, de esta manera se mejora la calidad del hormigón incrementando su durabilidad.

Como ejemplo en caso de estudio, podemos mencionar el siguiente: “Efecto de las fibras plásticas en la flexión de estructuras de pavimento porosos” (Estudio publicado en Revista “Ingeniería de Construcción” (Vol. 17 N°2, año 2002) Por Fredy Reyes, Andrés Torres, Grupo CECATA – Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.

Para encontrar el diseño deseado se adecuaron al inicio cuatro diseños de mezcla a un posible diseño permeable, cuyas características se asemejaron a las descritas en las experiencias obtenidas en investigaciones anteriores. Por lo tanto a cada uno de los diseños se les efectuó dos pruebas principalmente, la de compresión simple y la de permeabilidad, y a partir de los resultados obtenidos se seleccionó el de mejor comportamiento.

Una vez determinado el diseño óptimo se dio comienzo a las diferentes adiciones de tiras de plástico (de 2mm x 10mm y de 4mm x 20mm) en diferentes porcentajes (0.025%, 0.05%, 0.075%, 0.100%, 0.200%, 0.300%, 0.400% y 0.500%) y se efectuaron los ensayos de flexión, tracción indirecta y módulo de elasticidad, para que a partir de los resultados obtenidos se pueda determinar el tipo de tira más adecuada y el porcentaje óptimo para obtener un diseño para un pavimento rígido netamente permeable y que este a la par con los demás pavimentos en cuanto a su comportamiento ante los diferentes esfuerzos. De los diferentes resultados que se obtuvieron en los ensayos efectuados a los cuatro

diseños preliminares se pudo determinar que para que un pavimento rígido se comporte como un pavimento permeable debe contar con una relación agua/cemento de 0.30 a 0.35, con unos agregados gruesos sin variaciones notorias en su tamaño, con un porcentaje de finos menor o igual al 15% del peso total de la mezcla. De los resultados obtenidos en los ensayos realizados sobre el diseño optimo con las diferentes adiciones de plástico se determinó que la tira más adecuado y el porcentaje optimo corresponde a la tira uno (4 mm x 20 mm) adicionada en 0.10 %, ya que se obtiene un incremento con respecto a los resultados obtenidos en el diseño optimo sin adición del 3.4% en la compresión, del 37.80 % en la flexión, del 1.00% en la tracción indirecta y del 13.70% en el módulo de elasticidad. De igual manera se observa tan solo una disminución del 15.00% en cuanto a la flexión obtenida en un concreto convencional de $f'c=420$ kg/cm² con $K=2.65$, a pesar de que el concreto poroso tiene tan solo un $f'c=240$ kg/cm². Por lo tanto la principal conclusión que se puede obtener del estudio es que la adición de tiras de desechos plásticos en un porcentaje de 0.10% con dimensiones de 4 mm x 20 mm permite que el concreto poroso mejore sus características en cuanto al comportamiento ante los esfuerzos, principalmente al de flexión.

CAPÍTULO III: PROPUESTA PARA EL TRABAJO EN EL LABORATORIO.

3.1 DESCRIPCIÓN E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN Y EL TRABAJO EXPERIMENTAL.

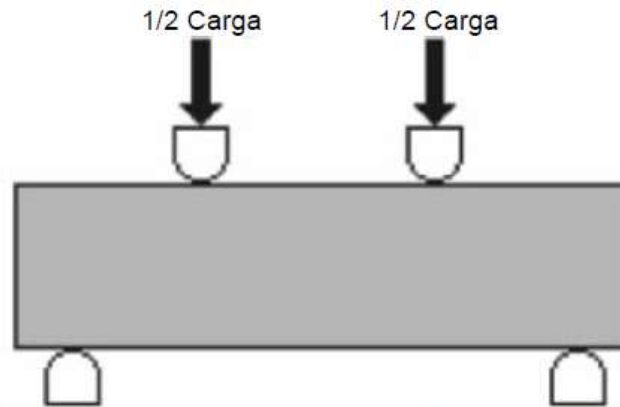
3.1.1 Hipótesis de la investigación.

3.1.1.1. Introducción

La búsqueda del mejoramiento de propiedades mecánicas en materiales ha llevado al uso de estructuras de materiales combinados así como el refuerzo en el concreto con varillas de acero para mejorar la resistencia a la flexión de los diferentes elementos sometidos a este tipo de esfuerzo, como ejemplo en las vigas.

En los pavimentos, no ha sido la excepción, diferentes estudios han buscado que de una u otra forma, la resistencia a la flexión mejore en el concreto de los métodos más conocidos están los refuerzos con acero, y los refuerzos con fibras y esto se debe a que la resistencia a la flexión, o el módulo de ruptura del concreto es un parámetro muy importante para el diseño de los espesores de pavimentos.

La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del concreto. Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada. Se mide mediante la aplicación de cargas a vigas de concreto de 6 x 6 pulgadas (150 x 150 mm) de sección transversal y con luz de como mínimo tres veces el espesor. La resistencia a la flexión se expresa como el Módulo de Ruptura (MR). Es determinada mediante los métodos de ensayo ASTM C78 (cargada en los puntos tercios -ver figura 3.1) o ASTM C293 (cargada en el punto medio) (Ver figura 3.3).



ASTM C78. Cargas en los puntos tercios. La mitad de la carga se aplica en cada tercio de la luz. El módulo de rotura es más bajo que en el caso de la carga en el punto medio. La tensión máxima en el tercio medio de la viga.

FIGURA 3. 1 ENSAYO DE TENSION SEGÚN NORMA ASTM C-78 CARGADA EN LOS PUNTOS TERCIOS.

Los diseñadores de pavimentos utilizan una teoría basada en la resistencia a la flexión, por lo tanto, puede ser requerido el diseño de la mezcla en el laboratorio, basado en los ensayos de resistencia a la flexión, o puede ser seleccionado un contenido de material cementante, basado en una experiencia pasada para obtener el Módulo de Rotura de diseño.

En el ensayo de tensión en los puntos tercios, la tensión en el espécimen tiende a parecer como lo indica la figura 3.2:



FIGURA 3. 2 REPRESENTACION DE ESFUERZO DE TENSION EN ELEMENTO PRISMATICO.

Por lo tanto, los esfuerzos máximos de tensión, al ser elementos prismáticos sometidos a cargas perpendiculares a su superficie se pueden ver representados como en la figura 3.3:

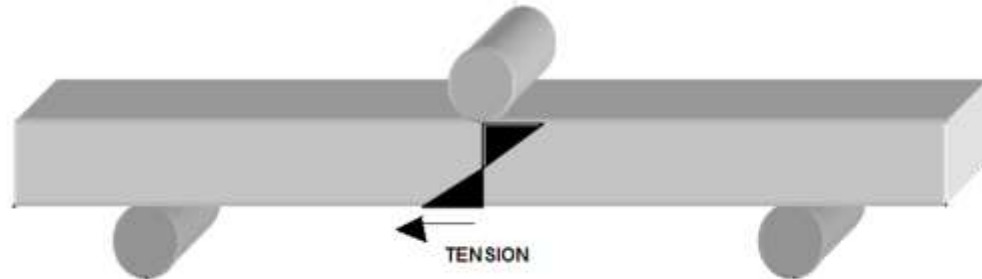


FIGURA 3. 3 REPRESENTACION DE ESFUERZOS AL SER SOMETIDOS A UNA CARGA PERPENDICULAR (ejemplo de ensayo de espécimen cargado en el punto medio ASTM C 293).

Y basados en dicho fenómeno, hemos propuesto estudiar el comportamiento del módulo de ruptura en especímenes de concreto permeable, utilizando como refuerzo, una geomalla biaxial, debido a que el concreto permeable, al permitir que el agua filtre a través de su estructura, crearía un ambiente de gran potencial a corrosión en acero para refuerzo, y utilizaremos también la mezcla de este concreto, con fibra, para revisar su comportamiento.

3.1.1.2. Hipótesis planteadas.

Concreto permeable reforzado con geomalla biaxial.

Sabemos a partir del planteamiento general del fenómeno de flexión en elementos prismáticos, y en condiciones de carga, como establecimos anteriormente, los esfuerzos a tensión se presentan solo en una determinada zona a partir del eje neutro del perfil del elemento. Por ejemplo en la condición que se muestra en la figura 3.4, los esfuerzos a tensión se presentan en la zona abajo del eje neutro.

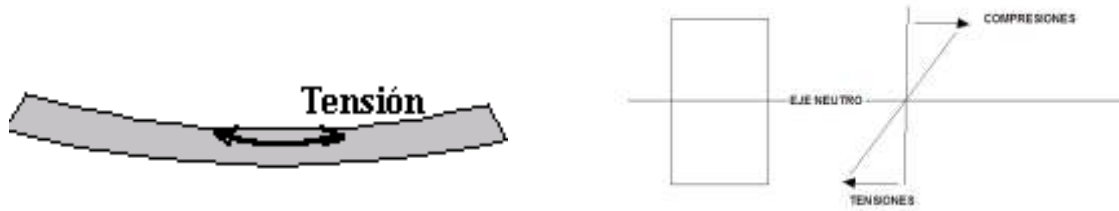


FIGURA 3. 4 DIAGRAMA DE ESFUERZOS EN UN ELEMENTO PRISMATICO.

Entonces, a partir de dicho fenómeno, se planteó que con la elaboración de especímenes prismáticos de concreto permeable reforzados en la zona de tensión, estos resultados serían comparados con especímenes de concreto permeable simple.

La prueba se realizaría colocando el geosintéticos, primeramente en la zona más baja del espécimen (2), y luego a un medio de la zona de tensiones dentro de este (1) (ver figura 3.5).

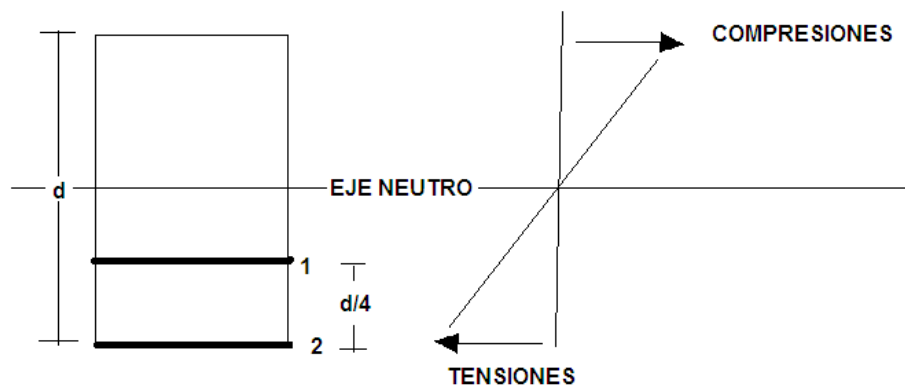


FIGURA 3. 5 PROPUESTAS DE COLOCACION DE REFUERZO DE GEOMALLA BIAXIAL.

Concreto permeable reforzado con fibras.

Hasta ahora, las fibras sintéticas, han sido utilizadas para ayudar con los problemas de agrietamiento por las diferentes deformaciones que el concreto sufre por su naturaleza como material, estudios han indicado, que en concretos convencionales, estas fibras, además de aportar a la reducción del efecto de agrietamiento, ha mostrado resultados favorables con respecto al incremento en el módulo de ruptura.

Por dicho efecto, se planifica la elaboración de especímenes de concreto permeable con fibras, para verificar mediante los resultados de ensayos de flexión si existe un incremento en el módulo de ruptura de dichos especímenes.

3.2. ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACIÓN A DESARROLLAR**3.2.1. Descripción del trabajo experimental.**

Para el desarrollo del trabajo experimental se tomara en cuenta cada uno de los parámetros de los materiales a utilizar para la mezcla y los especímenes, a través de la realización de los ensayos que se deben realizar a los agregados, así como los diferentes parámetros que servirán de control para las mezclas de concreto hidráulico fresco, y en especial, el tipo de mezcla que utilizaremos que será una mezcla de concreto permeable.

Para realizar dicha investigación se llevaran a cabo diferentes etapas, las cuales seguirán un orden lógico de los estados del concreto, a continuación se detallan cada una de ellas:

3.2.2. Selección de los materiales a utilizar

Se determinara una especificación de granulometría que el agregado debe cumplir para la utilización de la mezcla de concreto permeable, además de esto, se seleccionara el tipo de cemento a utilizar y la especificación que lo regirá, así

como los diferentes aditivos y sus dosificaciones y el tipo de geosintético y fibra a utilizar.

3.2.3. Pruebas de laboratorio a los agregados de la mezcla

Se realizarán ensayos de granulometría, gravedad específica y absorción, y pesos volumétricos a los agregados, esto con el fin de obtener los parámetros que son necesarios para el diseño de la mezcla.

3.2.4. Diseño de la Mezcla

La metodología a utilizar será bajo los procedimientos dictados para el diseño de mezclas de concreto permeable por la NRMCA.

3.2.5. Hechura de la Mezcla y Elaboración de especímenes de concreto

La hechura de la mezcla será llevada a cabo en laboratorio, y se elaborarán especímenes tipo viguetas de 15cmx15cmx60cm de dimensiones.

3.2.6. Ensayos al concreto fresco

Se realizarán ensayos de revenimiento y de control de temperatura al concreto fresco.

3.2.7. Ensayos al concreto endurecido

Ya que los especímenes elaborados fueron viguetas, se someterán estos a ensayos de flexión por tres puntos, y además de esto se realizara extracción de núcleos de estas viguetas para la realización de ensayos de permeabilidad para dicho concreto y porcentaje de vacíos.

3.3 DESCRIPCION DE MATERIALES UTILIZADOS.

3.3.1 Agregados.

3.3.1.1 Agregado Grueso

La graduación de agregado grueso para concreto permeable, se encuentra reunidas en la Norma ASTM C 33, el tamaño de grava que utilizaremos será la grava 3/8". No usaremos arena, pero si se quisiera utilizar debe de cumplir con los requerimientos de la ASTM C 33.

3.3.2 Cemento.

El cemento portland que utilizaremos será conforme lo establece la Norma ASTM 1157 Tipo HE, posee la misma composición química que el cemento Tipo I, una característica de este tipo de cemento es que alcanza resistencias mayores a los 294 kg/cm² (4200 psi) a los 28 días, por lo que es recomendado para la fabricación de concretos en pavimentos

3.3.3. Agua.

La calidad del agua para el concreto permeable debe de cumplir con los mismos requisitos que en el concreto convencional. El concreto permeable debe de cumplir con una relación agua/cemento relativamente baja, una cantidad excesiva de agua dará a que la pasta drene y la posteriormente se obstruya la matriz de poros.

3.3.4. Aditivos.

Los aditivos deben cumplir con los requisitos de la norma ASTM C 494. Los aditivos reductores de agua (de alta gama o rango medio) se utilizan en función

de la relación agua/cemento. Los aditivos retardantes se utilizan para estabilizar y controlar la hidratación del cemento. Se utilizó **IMIX-RB910** (Retardante Y Promotor de Resistencia), retardador de fraguado inicial y Promotor de Resistencia con características de revenimiento extendido. Provee a la mezcla máxima trabajabilidad y tiempo para la colocación. La dosificación utilizada es de 130 ml por cada 100 kg de cemento.

IMI VMA, es una mezcla de base líquida que modifica la viscosidad. IMI VMA mejora la estabilidad y resistencia a la segregación del concreto sin reducir la fluidez, lo que resulta en una mejor calidad de la superficie y estética. Ayuda a estabilizar el sistema de vacíos de aire en el concreto recién mezclado y colocado, aumenta la estabilidad de concreto en general. Se usó una dosificación de 260 ml por cada 100 kg de cemento

ULTRAFLOW-5000, superplastificante formulado y modificado para mejorar las propiedades del concreto o mortero. Es un efectivo dispersante, fluidificador y poderoso reductor de agua que provee excelentes propiedades reoplásticas al concreto, la dosificación utilizada es de 195 ml por cada 100 kg de cemento.

3.3.5. Geosintético.

El Geosintético usado en la estructura de los especímenes realizados es una **Geomalla Biaxial Coextruída P-BX11** que tiene una estructura bidimensional de polipropileno que garantiza alta resistencia a la tensión y un alto módulo de elasticidad. Proporciona excelente resistencia frente a posibles daños de instalación y exposición al ambiente.

Las propiedades mecánicas (Resistencia a la tensión) con las que cumple las establece la Norma ASTM D 6637.

3.3.6. Fibras.

La fibra utilizada es una fibra macro-sintética (TUF-STRAND SF), utilizada en construcción de cubiertas de concreto compuestas con acero y se utiliza para el reemplazo del límite del acero estructural en prefabricados, losas construidas sobre tierra, pavimentos y aplicaciones de concreto lanzado utilizado en taludes. Las dosificaciones utilizadas son acorde al ACI 360. La utilizada en los ensayos de laboratorio es de 1.8 kg/m³.

3.4 PRUEBAS DE LABORATORIOS A AGREGADOS.



Se realizó un muestreo de agregado grueso conforme a la normativa ASTM D75-03 con el propósito de tener una cantidad material representativa a la muestra total de agregado grueso acopiada. Luego este material se redujo a cantidad necesaria para ensayo basado en la norma ASTM C702-03.

Los ensayos realizados a los agregados gruesos están bajo la normativa siguiente:

- ASTM C136-06 – Método de Ensayo Estándar para Análisis por Malla de Agregados Grueso y Fino (Ver Tabla 3.1)
- ASTM C29-03 – Método de Ensayo Estándar para Densidad Bruta (Peso Unitario) y Vacíos en los Agregados. (Ver Tabla 3.3)
- ASTM C127-07 – Método de Ensayo Estándar para Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica), y Absorción del Agregado Grueso. (Ver Tabla 3.2)
- ASTM C566-04 – Método de Ensayo Estándar para Contenido de Humedad Total del Agregado por Secado.

3.4.1. Granulometría de Agregado Grueso.

TABLA 3. 1 Granulometría de Agregado Grueso



<p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"</p> </div>  </div> <p>ANALISIS GRANULOMETRICO PARA AGREGADO GRUESO AASTHO T - 27, ASTM C 136</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 30%;">Solicitante:</td> <td style="width: 30%;"></td> <td style="width: 20%;">Material:</td> <td style="width: 20%;">3 / 8 "</td> </tr> <tr> <td>Proyecto:</td> <td>Trabajo de Graduación</td> <td>Laboratorista:</td> <td>J.G,CG, FR</td> </tr> <tr> <td>Procedencia:</td> <td>Planta San Andrés, Holcim</td> <td>Fecha de recibido:</td> <td>3 de Sep / 15</td> </tr> <tr> <td>Ubicación:</td> <td></td> <td>Fecha de ensayo:</td> <td>6 de Sep / 15</td> </tr> </table>								Solicitante:		Material:	3 / 8 "	Proyecto:	Trabajo de Graduación	Laboratorista:	J.G,CG, FR	Procedencia:	Planta San Andrés, Holcim	Fecha de recibido:	3 de Sep / 15	Ubicación:		Fecha de ensayo:	6 de Sep / 15
Solicitante:		Material:	3 / 8 "																				
Proyecto:	Trabajo de Graduación	Laboratorista:	J.G,CG, FR																				
Procedencia:	Planta San Andrés, Holcim	Fecha de recibido:	3 de Sep / 15																				
Ubicación:		Fecha de ensayo:	6 de Sep / 15																				
Peso Inicial:	<u>1194.3 g</u>			% Error	0.03%																		
MALLA																							
MALLA	PESO		% RETENIDO			% ACUMULADO QUE PASA																	
	RETENIDO (gr)	RETENIDO AJUSTADO	% PARCIAL	% ACUMULADO																			
1/2"	2.8	2.8	0.00	0	0.0	100																	
3/8"	7.9	7.9	0.66	0.7	0.7	99																	
N° 4	1108	1107.6	92.74	92.7	93.4	7																	
N° 8	55.3	55.3	4.63	4.6	98.0	2																	
N° 16	7.8	7.8	0.65	0.7	98.7	1																	
Pasa la N° 16	12.9	12.9	1.08	1.1	99.8	0																	
Σ	1194.7	1194.3		100																			

Según ASTM C33, N8

Tamiz	Tamiz (mm)	Menor	Mayor
1/2	12.5	100	100
3/8	9.5	85	100
No 4	4.75	10	30
No 8	2.36	0	10
No 16	1.18	0	5



3.4.3 Gravedad Específica y Absorción.

TABLA 3. 2 Gravedad Específica y Absorción

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</p> <p style="text-align: center;">FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"</p> 																																																									
MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA), Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO ASTM C 127																																																									
Solicitante:		Material:	3 / 8 "																																																						
Proyecto:	Trabajo de Graduación	Laboratorista:	J.G,CG, FR																																																						
Procedencia:	Planta San Andrés, Holcim	Fecha de recibido:	3 de Sep / 15																																																						
Ubicación:		Fecha de ensayo:	9 de Sep / 15																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #92d050;"> <th style="text-align: left;">Ensayo</th> <th style="text-align: center;">1</th> <th style="text-align: center;">2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Masa de Tara/sss (g)</td> <td style="text-align: center;">136.2</td> <td style="text-align: center;">136.2</td> </tr> <tr> <td>Masa Saturada, W_{sss} + tara (g)</td> <td style="text-align: center;">2896.4</td> <td style="text-align: center;">3110.2</td> </tr> <tr> <td>Masa Saturada, W_{sss} (g)</td> <td style="text-align: center;">2760.2</td> <td style="text-align: center;">2974</td> </tr> <tr> <td>Masa Tara S (g)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Masa Tara Sumergida, W_{sum} + TaraS (g)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Masa Sumergida Neta, W_{sum} (g)</td> <td style="text-align: center;">1713.7</td> <td style="text-align: center;">1833.8</td> </tr> <tr> <td>Masa Tara/Seca (g)</td> <td style="text-align: center;">124.5</td> <td style="text-align: center;">127.5</td> </tr> <tr> <td>Masa Seca, W_{seca} + Tara (g)</td> <td style="text-align: center;">2841.5</td> <td style="text-align: center;">3053.9</td> </tr> <tr> <td>Masa Seca, W_{seca} (g)</td> <td style="text-align: center;">2717</td> <td style="text-align: center;">2926.4</td> </tr> <tr> <td>Agua (g)</td> <td style="text-align: center;">43.2</td> <td style="text-align: center;">47.6</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Absorción (%)</td> <td style="text-align: center;">1.59</td> <td style="text-align: center;">1.63</td> </tr> <tr> <td>Gravedad Especifica Seca (Bulk)</td> <td style="text-align: center;">2.60</td> <td style="text-align: center;">2.57</td> </tr> <tr> <td>Gravedad Especifica SSS (aparente)</td> <td style="text-align: center;">2.64</td> <td style="text-align: center;">2.61</td> </tr> <tr style="background-color: #92d050;"> <td>Gravedad Especifica SSS Promedio</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">2.62</td> </tr> <tr style="background-color: #92d050;"> <td>Gravedad Especifica Seca Promedio</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">2.58</td> </tr> <tr style="background-color: #92d050;"> <td>Absorción Promedio (%)</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">1.61</td> </tr> </tbody> </table>				Ensayo	1	2	Masa de Tara/sss (g)	136.2	136.2	Masa Saturada, W _{sss} + tara (g)	2896.4	3110.2	Masa Saturada, W _{sss} (g)	2760.2	2974	Masa Tara S (g)			Masa Tara Sumergida, W _{sum} + TaraS (g)			Masa Sumergida Neta, W _{sum} (g)	1713.7	1833.8	Masa Tara/Seca (g)	124.5	127.5	Masa Seca, W _{seca} + Tara (g)	2841.5	3053.9	Masa Seca, W _{seca} (g)	2717	2926.4	Agua (g)	43.2	47.6				Absorción (%)	1.59	1.63	Gravedad Especifica Seca (Bulk)	2.60	2.57	Gravedad Especifica SSS (aparente)	2.64	2.61	Gravedad Especifica SSS Promedio	2.62		Gravedad Especifica Seca Promedio	2.58		Absorción Promedio (%)	1.61	
Ensayo	1	2																																																							
Masa de Tara/sss (g)	136.2	136.2																																																							
Masa Saturada, W _{sss} + tara (g)	2896.4	3110.2																																																							
Masa Saturada, W _{sss} (g)	2760.2	2974																																																							
Masa Tara S (g)																																																									
Masa Tara Sumergida, W _{sum} + TaraS (g)																																																									
Masa Sumergida Neta, W _{sum} (g)	1713.7	1833.8																																																							
Masa Tara/Seca (g)	124.5	127.5																																																							
Masa Seca, W _{seca} + Tara (g)	2841.5	3053.9																																																							
Masa Seca, W _{seca} (g)	2717	2926.4																																																							
Agua (g)	43.2	47.6																																																							
Absorción (%)	1.59	1.63																																																							
Gravedad Especifica Seca (Bulk)	2.60	2.57																																																							
Gravedad Especifica SSS (aparente)	2.64	2.61																																																							
Gravedad Especifica SSS Promedio	2.62																																																								
Gravedad Especifica Seca Promedio	2.58																																																								
Absorción Promedio (%)	1.61																																																								

3.4.3. Peso volumétrico (Densidad Bulk).

TABLA 3. 3 Peso volumétrico (Densidad Bulk).

	FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		
	ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"		
MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA DENSIDAD BRUTA (PESO UNITARIO) Y VACÍOS EN LOS AGREGADOS. ASTM C 29-03			
Solicitante:		Material:	3 / 8 "
Proyecto:	Trabajo de Graduación	Laboratorista:	J.G,CG, FR
Procedencia:	Planta San Andrés, Holcim	Fecha de recibido:	3 de Sep / 15
Ubicación:		Fecha de ensayo:	9 de Sep / 15

Peso unitario Varillado	
Masa de recipiente vacío (kg)	2.8225
Volumen del Recipiente (m3)	0.0029
Masa de Recipiente + Agregado (kg) #1	7.0866
Masa de Recipiente + Agregado (kg) #2	7.0795
Masa de Recipiente + Agregado (kg) #3	7.0857
Masa de Recipiente + Agregado Prom(kg)	7.08
PESO UNITARIO (kg/m3)	1469.5
PORCENTAJE DE VACIOS %	42.9

3.5 DISEÑO DE MEZCLAS.

3.5.1 Verificación de diseño de mezcla a utilizar.

Para el diseño de mezcla se trabajó, siguiendo la metodología de diseño presentada por la NRMCA (National Ready Mixed Concrete Association – NRMCA), teniendo en cuenta los siguientes datos presentados en las tablas: Tabla 3.4: Características de los Agregado Grueso, Tabla 3.5: Características del Cemento Portland, y Tabla 3.6: Características de Aditivos; como datos de entrada, dentro del procedimiento de trabajo, para facilitar dicha tarea se procedió a la realización de una hoja de cálculo para el diseño de la mezcla, dicha hoja cuenta con condiciones particulares ya que toma solo al cemento como material cementicio y no se considera la adición de agregado fino.

TABLA 3. 4 Características de agregado Grueso

CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS.	
DESCRIPCION DEL AGREGADO GRUESO	N°8-C33
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL (in)	3/8
PESO VOLUMETRICO VARILLADO (kg/m3)	1470
PORCENTAJE DE VACIOS (%)	43
GRAVEDAD ESPECIFICA SSS	2.62
ABSORCION (%)	1.60
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	1.60

TABLA 3. 5 Características del Cemento

CARACTERISTICAS DEL CEMENTO	
TIPO DE CEMENTO	HE ASTM 1157
GRAVEDAD ESPECIFICA	3.03

TABLA 3. 6 Dosificación de Aditivos por 100 kg de Cemento

ADITIVOS		DOSIFICACION RECOMENDADA POR FABRICANTE	DOSIFICACION USADA POR 100Kg DE CEMENTO
ADITIVO 1 (Superplastificante)	ULTRAFLOW 5000	195-652 ml/100 kg de cemento	195
ADITIVO 2 (Modificador de Viscosidad)	VMA	65-455 ml/100kg	260
ADITIVO 3 (Retardante)	RB-910	130-550 ml/100kg	130

TABLA 3. 7 Requerimientos de Diseño de Mezcla

REQUERIMIENTOS DEL DISEÑO DE MEZCLA	
CONTENIDO DE VACIOS DESEADOS EN MEZCLA (%)	20
INDICE DE COMPACTACION (IC)%	5
RELACION A/C	0.29

Luego de la introducción de los datos de entrada se presentan los datos de salida para 1 m³ de concreto permeable (tabla 3.8), y para una bachada de 0.099m³ de concreto permeable necesario para la elaboración de 6 viguetas de dimensión 15 x 15 x 60 cm con un porcentaje de desperdicio de 23%, en la elaboración de especímenes que llevan fibra como elemento adicional se siguió la recomendación del distribuidor que para 1 m³ de mezcla de adicionara 1.8 kg de fibra para 1 m³ de mezcla, siendo 136 gr de fibra las adicionadas por bachada para laboratorio (ver tabla 3.9).

TABLA 3. 8 Diseño de Mezcla para 1 m³ de concreto permeable

Pesos para 1 m ³ de mezcla	
CEMENTO (Kg)	450.24
AGUA (Lt)	130.57
AGREGADO (Kg)	1358.32
ADITIVO 1 (ml)	877.96
ADITIVO 2 (ml)	1170.61
ADITIVO 3 (ml)	585.31

TABLA 3. 9 Pesos y Volúmenes de Materiales para bachadas.

MATERIALES PARA BACHADAS A USAR			
VOLUMEN (m ³)	0.09963	ADITIVO 1 (ml)	87
CEMENTO (Kg)	44.9	ADITIVO 2 (ml)	117
AGUA (Lt)	13.0	ADITIVO 3 (ml)	58
AGREGADO (Kg)	135.3		

3.5.2 Propuestas de colocación de geosintéticos

Como ya antes se planteó en la hipótesis la colocación del geosintético en la zona donde existen tensiones en el espécimen nos indicara por medio de ensayos de flexión si esta geomalla influye o no en la mejora de la resistencia de estos esfuerzos, la primera propuesta es colocar está a 3.75 cm desde la parte inferior del espécimen y, la otra propuesta es colocarla exactamente en el fondo del rostro inferior del espécimen, la ventaja de la primera opción es que la geomalla quedara confinada en la mezcla de concreto y por lo tanto la probabilidad que la malla trabaje será mayor ante los esfuerzos a flexión, aunque su posición no sea en la zona más crítica de estos esfuerzos. En la segunda propuesta ya que él refuerzo con geomalla será colocado al fondo del espécimen, donde teóricamente los esfuerzos a tensión son los mayores, se espera que la geomalla sea sometida a mayores esfuerzos y por lo tanto la contribución a resistencia sea mayor, pero siendo la adhesión de la geomalla menor a la de la primera propuesta ya que la que se propone mejore el confinamiento es la estructura completa del

pavimento, con esto queremos decir que la geomalla estará confinada de mejor forma entre la subbase del pavimento y la carpeta de rodadura.

El otro diseño de mezcla que con lleva la inclusión adicional de fibras también queremos verificar a través de las pruebas si existe o no un mejoramiento sustancial en el módulo de ruptura.

3.6 ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES.

Para la elaboración de viguetas se basó en parámetros y procedimientos de la normativa ASTM C 192-07 “Práctica Estándar para Elaboración y Curado en el Laboratorio de Especímenes de Concreto para Ensayo”, ya que no existe una normativa específica para este tipo de mezcla, pero se describe en el siguiente apartado la metodología utilizada.

3.6.1 Descripción de trabajo a realizar.

Se realizó el mezclado de los materiales en mezcladora de concreto de capacidad de una bolsa de cemento (42.2 kg), conforme a un tiempo de mezclado inicial de 3 minutos, seguidos de 3 minutos de reposo de la mezcla y 2 minutos de mezclado final, luego se procedió a la colocación de la mezcla con cucharón en moldes prismáticos de dimensión 15 x 15 x 60 cm llenando con la primera capa a un nivel de más o menos la mitad de la profundidad del espécimen después de la compactación, y la segunda con el mismo procedimiento enrasando la superficie.

La compactación se realizó con martillo Proctor según especificaciones de AASHTO T-99, cuyo peso es de 2.5 kg (5.5 lb), compactando cada capa con 58 golpes distribuidos uniformemente en su área.



FIGURA 3. 6 *Colocación y Compactación de concreto permeable fresco*

En correspondencia con el número de golpes (5 golpes) para el área del diámetro de un cilindro de 4 x 8 (78.5 cm^2) 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 cm^2 , 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, lo cual resultan 58 golpes por capa (ver figura 3.6). Todo esto está relacionado a un índice de compactación, que para nuestro diseño de mezcla es utilizado el de un 5%.

Para los especímenes cuya geomalla estará en la base, se tuvo el cuidado de ubicarla antes de iniciar la colocación de concreto fresco (Figura 3.7). Y para los especímenes los cuales la geomalla estuvo a un cuarto del fondo del espécimen, se colocó inicialmente una capa que aproximadamente al momento de compactar la malla quedara a aproximadamente a 3.75 cm desde la base, luego se rellena la capa con el concreto restante, y se compacto.



FIGURA 3. 7 Colocación de Geomalla en la base del molde de vigueta

Para el curado inicial en los especímenes se cubrieron con plástico impermeable. Después de 20 ± 8 horas se desmoldaron y se colocaron en condición adecuada para su curado para rupturas a 28 días. (ver figura 3.8)



FIGURA 3. 8 Desmoldado y Curado de especímenes

3.6.2 Ensayos al concreto fresco

3.6.2.1 Temperatura

Según ASTM C1064-08, se introdujo el termómetro 7.5 cm sobre el concreto recién mezclado durante 2 minutos. Se tomaron lecturas de 15 bachadas dando un promedio de $27.5\text{ }^{\circ}\text{C} = 28^{\circ}\text{C}$ (Tabla 3.10)

TABLA 3. 10 Resultados de Ensayo de Temperatura a Concreto Fresco.

Fecha de Elaboración	Cantidad de viguetas	Temperatura °C
17/09/2015	6	28
18/09/2015	10	28
21/09/2015	6	28
22/09/2015	6	27
28/09/2015	12	27
29/09/2015	12	27
30/09/2015	12	27
01/10/2015	10	27
05/10/2015	12	28
06/10/2015	12	28
07/10/2015	6	28
11/11/2015	12	27
12/11/2015	6	28

3.6.2.2 Revenimiento

Conforme a ASTM C 143-90, se realizó el ensayo de revenimiento del cual en la mezcla se obtuvo un revenimiento de 0.0”.

3.7 ENSAYO A CONCRETO ENDURECIDO

3.7.1 Ensayos de resistencia a flexión con geosintético y fibras.

La norma ASTM C 78-02 “Método de Ensayo Estándar para Resistencia a la Flexión del Concreto (Usando Viga Simple con Carga a los Tercios del Claro)” cubre la determinación de la resistencia a flexión del concreto mediante el uso de una viga simple con carga a los tercios del claro. La norma detalla que los ensayos de flexión de especímenes curados húmedos deberán ser hechos tan pronto como sea práctico después de removerlos de su almacenamiento húmedo, se deberá ensayar el espécimen en su posición como fue moldeado ya que por la posición de la Geomalla y el concepto teórico de trabajo de esfuerzos, el experimento no simularía bien la condición buscada si se girara como el procedimiento de la norma lo dicta; además, por la condición de una superficie que no es completamente lisa, ya que la matriz de la mezcla es abierta y no regular, se realizó un asiento con una cama pequeña de arena y neoprenos para evitar concentración de esfuerzos en los puntos de aplicación de carga. Por lo demás se siguió con el procedimiento que la norma dicta para dicho ensayo.

A continuación se presenta los resultados de 122 ensayos a flexión de los cuales 61 son con refuerzo de Geomalla en la base de la vigueta (R), 15 con refuerzo de Geomalla a $\frac{1}{4}$ de la base de la vigueta (R1/4), 30 con refuerzo en la base y con Fibras (RF), 16 sin refuerzo (SR). **(Ver Tablas de 3.11-3.16)**

TABLA 3. 11 Resultados de ensayo a flexión a viguetas de concreto permeable.

Fecha de Ensayo	Vigueta	Tipo	Fuerza P (Kg)	L(cm)	d ₁	d ₂	d ₃	d _{Prom} (cm)	b ₁	b ₂	b ₃	b _{Prom} (cm)	MR(Kg/cm ²)
15/10/15	1	R	2350	45	15,45	15,7	15,41	15,520	15,5	15,3	15,46	15,420	28,47
	2	R	2750	45	15,15	15,24	15,27	15,220	15,69	15,39	15,395	15,492	34,48
	3	SR	2500	45	15,32	15,31	15,31	15,313	15,6	15,56	15,49	15,550	30,85
	4	SR	2500	45	15,36	15,36	15,355	15,358	15,21	15,04	15,435	15,228	31,32
	5	SR	2600	45	15,08	15,15	15,245	15,158	15,33	15,45	15,505	15,428	33,00
	6	SR	2850	45	15,25	15,27	15,34	15,287	15,6	15,4	15,44	15,480	35,45
19/10/15	1	R	2700	45	15,265	15,29	15,37	15,308	15,25	15,33	15,44	15,340	33,80
	2	R	2650	45	15,1	14,99	15,01	15,033	15,41	15,48	15,46	15,450	34,15
	3	R	2550	45	15,23	14,9	15,09	15,073	15,58	15,5	15,49	15,523	32,53
	4	R	2700	45	15,02	15,22	14,85	15,030	15,5	15,53	15,545	15,525	34,64
	5	R	2450	45	15	15,04	15,16	15,067	15,33	15,39	15,3	15,340	31,66
	6	R	2850	45	14,88	14,76	15,16	14,933	15,34	15,24	15,13	15,237	37,74
	7	R	2550	45	15,18	15,32	15,1	15,200	15,48	15,51	15,56	15,517	32,01
	8	R	2350	45	15,44	15,37	15	15,270	15,48	15,43	15,39	15,433	29,39
	9	SR	2350	45	14,87	14,85	14,78	14,833	15,4	15,22	15,21	15,277	31,46
	10	SR	2650	45	15,16	15,1	15,2	15,153	15,32	15,4	15,42	15,380	33,77

TABLA 3. 12 Resultados de ensayo a flexión a viguetas de concreto permeable.

Fecha de Ensayo	Vigueta	Tipo	Fuerza P (Kg)	L(cm)	d ₁	d ₂	d ₃	d _{Prom} (cm)	b ₁	b ₂	b ₃	b _{Prom} (cm)	MR(Kg/cm ²)
19/10/15	1	R	2600	45	15,35	15,25	15,41	15,337	15,66	15,6	15,68	15,647	31,79
	2	R	2700	45	15,2	15,30	15,39	15,297	15,47	15,34	15,46	15,423	33,67
	3	R	2700	45	15,18	15,40	15,38	15,320	15,55	15,47	15,45	15,490	33,42
	4	R	2450	45	14,98	14,95		14,965	15,40	15,51		15,455	31,85
	5	R	2550	45	15,31	15,45	15,45	15,403	15,43	15,34	15,30	15,357	31,49
	6	SR	2250	45	15,02	15,03	14,90	14,983	15,40	15,37	15,34	15,370	29,34
20/10/15	1	R	3300	45	15,3	15,40	15,25	15,317	15,50	15,63	15,80	15,643	40,46
	2	R	3150	45	15,12	15,00		15,060	15,42	15,50		15,460	40,43
	3	R	2750	45	14,95	15,00	15,05	15,000	15,45	15,45	15,50	15,467	35,56
	4	R	2350	45	14,54	14,79	14,62	14,650	15,42	15,40	15,48	15,433	31,93
	5	SR	3200	45	14,88	14,91	14,94	14,910	15,39	15,36	15,33	15,360	42,17
	6	R	2550	45	15,17	15,31	15,10	15,193	15,36	15,25	15,10	15,235	32,63
26/10/15	1	R	3050	45	14,82	14,93	15,12	14,957	15,43	15,39	15,42	15,413	39,81
	2	R	2750	45	15,01	15,31	15,35	15,223	15,52	15,52	15,50	15,513	34,42
	3	R	2550	45	15,19	15,26	15,40	15,283	15,51	15,49	15,54	15,513	31,67
	4	R	4250	45	15,25	15,20	15,23	15,227	15,48	15,37	15,36	15,403	53,55
	5	R	2700	45	14,38	14,70	14,44	14,507	15,42	15,37	15,46	15,417	37,45
	6	R	2800	45	15,31	15,20	15,16	15,223	15,44	15,39	15,34	15,390	35,33
	7	R	2700	45	15,12	15,19	15,15	15,153	15,79	15,57	15,64	15,667	33,77
	8	R	2300	45	15,4	15,31	15,48	15,397	15,58	15,58	15,52	15,560	28,06
	9	R	2750	45	15,24	15,22	15,32	15,260	15,66	15,55	15,54	15,583	34,10
	10	SR	2750	45	15,1	15,05	15,00	15,050	15,21	15,10	15,33	15,213	35,91
	11	SR	2250	45	15,05	15,00	15,10	15,050	15,20	15,21	15,20	15,202	29,41
	12	R	2450	45	14,94	14,50	15,12	14,853	15,12	15,25	15,25	15,207	32,86

TABLA 3. 13 Resultados de ensayo a flexión a viguetas de concreto permeable.

Fecha de Ensayo	Vigueta	Tipo	Fuerza P (Kg)	L(cm)	d ₁	d ₂	d ₃	d _{Prom} (cm)	b ₁	b ₂	b ₃	b _{Prom} (cm)	MR(Kg/cm ²)
27/10/15	1	R	2550	45	14,65	14,8	14,65	14,700	15,28	15,28	15,48	15,347	34,60
	2	R	2300	45	14,88	14,72	14,90	14,833	15,32	15,25	15,25	15,273	30,80
	3	R	2550	45	15,02	15,02	14,85	14,963	15,42	15,6	15,5	15,507	33,05
	4	R	2200	45	14,54	15,08	14,88	14,833	15,62	15,35	15,46	15,477	29,07
	5	SR	2550	45	14,95	15,04	14,80	14,930	15,52	15,5	15,48	15,500	33,21
	6	R	2550	45	14,48	15,00	14,70	14,727	15,28	15,25	15,5	15,343	34,48
	7	R	2000	45	14,75	14,25	14,76	14,587	15,3	15,2	15,05	15,183	27,86
	8	R	2200	45	15,12	15,28	14,70	15,033	15,52	15,42	15,58	15,507	28,25
	9	R	1900	45	15,05	14,75	15,10	14,967	15,38	15,52	15,42	15,440	24,72
	10	R	2300	45	15,18	15,02	15,25	15,150	15,22	15,35	15,50	15,357	29,36
	11	R	2000	45	14,65	14,98	15,12	14,917	15,2	15,39	15,50	15,363	26,33
	12	R	1800	45	15,25	15,28	15,40	15,310	15,38	15,40	15,42	15,400	22,44
28/10/15	1	SR	2700	45	14,8	15,4	15,4	15,200	15,40	15,5	15,6	15,500	33,93
	2	R	2000	45	14,7	14,9	15,3	14,967	14,80	14,8	15,1	14,900	26,97
	3	R	2150	45	14,8	14,9	14,6	14,767	15,30	15,1	15,2	15,200	29,19
	4	R	2100	45	15,3	15,2	15,3	15,267	15,60	15,5	15,7	15,600	25,99
	5	R	2400	45	15,4	15,2	14,9	15,167	14,90	14,9	14,9	14,900	31,51
	6	R	2550	45	15,2	15,1	14,7	15,000	15,60	15,5	15,4	15,500	32,90
	7	R	2550	45	15	15,1	14,9	15,000	15,20	15,2	15,1	15,167	33,63
	8	R	2200	45	14,9	15,0	14,9	14,933	15,50	15,2	15,1	15,267	29,08
	9	R	2350	45	15,1	15,2	15,2	15,167	15,70	15,5	15,6	15,600	29,47
	10	R	2500	45	15,2	15,0	14,8	15,000	15,40	15,4	15,3	15,367	32,54
	11	R	2500	45	15,2	15,0	15,1	15,100	15,90	15,6	15,6	15,700	31,43
	12	R	2350	45	15,2	15,3	15,6	15,367	15,40	15,3	15,4	15,367	29,14

TABLA 3. 14 Resultados de ensayo a flexión a viguetas de concreto permeable.

Fecha de Ensayo	Vigüeta	Tipo	Fuerza P (Kg)	L(cm)	d ₁	d ₂	d ₃	d _{Prom} (cm)	b ₁	b ₂	b ₃	b _{Prom} (cm)	MR(Kg/cm ²)
29/10/15	1	R	2350	45	15	14,9	15,1	15,000	15,4	15,5	15,4	15,433	30,45
	2	R	2450	45	15,3	15,4	15,2	15,300	15,4	15,3	15,3	15,333	30,72
	3	R	2250	45	15	15,2	15,3	15,167	15	15,2	15,1	15,100	29,15
	4	R	2050	45	15,2	14,4	15,1	14,900	15,2	15,1	15,4	15,233	27,28
	5	R	2300	45	15,2	15,3	15,3	15,267	15,5	15,4	15,2	15,367	28,90
	6	R	2550	45	15,1	14,9	15,0	15,000	15,5	15,6	15,5	15,533	32,83
	7	R	2450	45	15,1	15,0	15,0	15,033	15,2	15,2	15,4	15,267	31,95
	8	R	1750	45	14,9	15,0	14,5	14,800	15,1	15,2	15,1	15,133	23,76
	9	R	2200	45	15,2	15,0	14,9	15,033	15,0	15,0	15,7	15,233	28,76
	10	SR	2050	45	15,2	15,2	14,8	15,067	14,9	15,1	15,1	15,033	27,03
04/11/15	1	RF	2650	45	15,4	15,2		15,300	15,4	15,6		15,500	32,87
	2	RF	2250	45	15,1	15,1		15,100	15,5	15,2		15,350	28,93
	3	RF	2350	45	15,5	15,4		15,450	15,7	15,6		15,650	28,31
	4	RF	2300	45	14,8	15,0		14,900	15,3	15,5		15,400	30,27
	5	RF	2300	45	15,3	15,1		15,200	15,5	15,6		15,550	28,81
	6	RF	2500	45	15,3	15,7		15,500	15,7	15,6		15,650	29,92
	7	RF	2200	45	15,2	15,4		15,300	15,5	15,4		15,450	27,37
	8	RF	2300	45	15,2	15,5		15,350	15,3	15,3		15,300	28,71
	9	RF	2100	45	15,3	15,2		15,250	15,5	15,5		15,500	26,22
	10	RF	2350	45	15,6	15,0		15,300	15,0	15,3		15,150	29,82
	11	RF	2450	45	15,5	15,2		15,350	15,4	15,3		15,350	30,48
	12	RF	2300	45	15,1	15,1		15,100	15,2	15,4		15,300	29,67

TABLA 3. 15 Resultados de ensayo a flexión a viguetas de concreto permeable.

Fecha de Ensayo	Vigüeta	Tipo	Fuerza P (Kg)	L(cm)	d ₁	d ₂	d ₃	d _{Prom} (cm)	b ₁	b ₂	b ₃	b _{Prom} (cm)	MR(Kg/cm ²)
03/11/15	1	RF	2200	45	15,2	15,3		15,250	15,4	15,6		15,500	27,46
	2	RF	2300	45	15,6	15,3		15,450	15,3	15,6		15,450	28,06
	3	RF	2500	45	15,4	15,3		15,350	15,6	15,4		15,500	30,80
	4	RF	2500	45	15,3	15,4		15,350	15,5	15,4		15,450	30,90
	5	RF	2400	45	15,2	15,2		15,200	15,3	15,2		15,250	30,65
	6	RF	2100	45	15,0	15,1		15,050	15,3	15,4		15,350	27,18
	7	RF	2400	45	15,2	15,2		15,200	15,3	15,4		15,350	30,45
	8	RF	2500	45	15,0	15,2		15,100	15,2	15,2		15,200	32,46
	9	RF	2350	45	15,1	15,3		15,200	15,4	15,3		15,350	29,82
	10	RF	2500	45	15,1	15,1		15,100	15,4	15,3		15,350	32,14
	11	RF	2000	45	15,0	15,0		15,000	15,1	15,4		15,250	26,23
	12	RF	2100	45	14,7	14,8		14,750	15,3	15,3		15,300	28,39
04/11/15	1	RF	2250	45	15,3	15,3		15,300	15,1	15,2		15,150	28,55
	2	RF	2300	45	15,3	14,8		15,050	15,2	15,2		15,200	30,06
	3	RF	2350	45	15,1	15,2		15,150	15,3	15,4		15,350	30,02
	4	RF	2350	45	14,8	15,2		15,000	15,0	15,2		15,100	31,13
	5	RF	2300	45	15,4	15,1		15,250	15,3	15,4		15,300	29,09
	6	RF	2250	45	15,3	15,4		15,350	15,7	15,3		15,500	27,72

TABLA 3. 16 Resultados de ensayo a flexión a viguetas de concreto permeable.

Fecha de Ensayo	Vigueta	Tipo	Fuerza P (Kg)	L(cm)	d1	d2	d3	dProm (cm)	b1	b2	b3	bProm (cm)	MR(Kg/cm2)
10/12/15	1	R1/4	2200	45	15,1	15		15,050	15,4	15,4		15,400	28,38
	2	R1/4	2450	45	15,2	15,2		15,200	15,4	15,3		15,350	31,09
	3	R1/4	2250	45	15,2	15,1		15,150	15,3	15,4		15,350	28,74
	4	R1/4	2050	45	15,3	15,1		15,200	15,4	15,2		15,300	26,10
	5	R1/4	2450	45	15,4	15,1		15,250	15,3	15,1		15,200	31,19
	6	R1/4	2150	45	15,1	15,1		15,100	14,9	15,3		15,100	28,10
	7	R1/4	2450	45	15,0	15,1		15,050	15,2	15,2		15,200	32,02
	8	R1/4	2800	45	15,3	15,2		15,250	15,1	15,2		15,150	35,76
	9	SR	2100	45	14,8	14,9	15,1	14,933	15,7	15,7	15,7	15,700	26,99
	10	R1/4	2550	45	15,4	15,4		15,400	15,7	15,3		15,500	31,22
	11	R1/4	3000	45	15,4	15,5		15,450	15,4	15,3		15,350	36,84
	12	R1/4	2800	45	15,3	15,4		15,350	15,6	15,7		15,650	34,17
	13	SR	2500	45	15,1	15,2	15,3	15,200	15,3	15,2	15,2	15,233	31,96
	14	R1/4	3000	45	15,2	15,3		15,250	15,4	15,4		15,400	37,69
	15	R1/4	2850	45	15,2	15,2		15,200	15,4	15,4		15,400	36,05
	16	R1/4	2650	45	15,3	15,3		15,300	15,6	15,4		15,500	32,87
	17	SR	2800	45	15,2	15,6	15,3	15,367	15,4	15,3	15,3	15,333	34,80
	18	R1/4	2600	45	15,1	15,1		15,100	15,3	15,2		15,250	33,65

3.7.2 Ensayo de permeabilidad al concreto.

La permeabilidad del concreto permeable puede ser medida mediante un sencillo permeámetro de carga variable como se muestra en la figura 3.9 en este enfoque, la muestra es encerrada en una membrana de látex para evitar el agua fluya a los lados de la muestra. Se añade agua al cilindro graduado para llenar la celda de la muestra y el tubo de drenaje. La muestra está supeditada a que el agua drene a través de la tubería hasta que el nivel en el cilindro graduado es el mismo que la parte superior de la tubería de drenaje. Esto reduce al mínimo las bolsas de aire en la muestra y asegura que la muestra está completamente saturada. (Ver figura 3.9)

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 .



FIGURA 3. 9 PERMEAMETRO DE CARGA VARIABLE

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 (por la constante k (mm/s [in/s]) puede ser expresada como sigue:

$$K = A/t$$

En nuestro caso, el permeámetro fue necesario estabilizarlo, utilizando una caja llena parcialmente con arena, y cuñas, verificar su correcta nivelación, y al no contar con un tubo transparente, marcar el diferencial de nivel, ya con este procedimiento realizado, proseguimos con lo que dicta el procedimiento.

El número de especímenes estudiados fue limitado debido a la capacidad del equipo en el laboratorio en su momento y esto puede considerarse como un factor que pudiera finalizar de determinar la veracidad de dichos resultados.

TABLA 3. 17 Resultados de ensayo de permeabilidad a núcleos extraídos de concreto permeable

Número del espécimen	Tipo de mezcla	Tiempo (s)	K (mm/s)	K mm/s (promedio)	K (mm/s)
1	con fibras	57	3.37	3.43	3.34
		57	3.37		
		54	3.56		
2	con fibras	46	4.17	4.24	
		45	4.27		
		45	4.27		
3	con fibras	83	2.31	2.35*	
		81	2.37		
		81	2.37		
4	sin fibras	41	4.68	4.80	
		40	4.80		
		39	4.92		
5	sin fibras	47	4.09	4.27	
		44	4.36		
		44	4.36		
6	sin fibras	51	3.76	3.84	
		50	3.84		
		49	3.92		

*Dicho valor de permeabilidad puede ser producto de la limitada cantidad de especímenes variantes, debido a la capacidad del laboratorio.

3.7.3 Determinación de porcentaje de vacíos en concreto endurecido.

Se realizó el procedimiento necesario para la determinación del porcentaje de vacíos en concretos endurecidos siguiendo los parámetros establecidos en la norma ASTM C 642-13 y su equivalente en español la norma técnica guatemalteca Norma "COGUANOR NTG 41017 h21", dicho procedimiento consiste en tomar especímenes de concreto endurecido, considerar parámetros como la masa seca, la masa después de un proceso de inmersión de 48 horas y después a un proceso de inmersión en agua por ebullición en un periodo de por

lo menos 5 horas, luego, considerar la masa aparente por inmersión, y todo estos parámetros serán necesarios para los cálculos de las variables buscadas.

Dichos procedimientos se realizó realizando el método de ensayo por el método de inmersión en 48 horas de las probetas de ensayo, y se tomaron las consideraciones realizadas por un estudio publicado por la Escuela Técnica superior de Sevilla, España, titulado “Evaluación de la resistencia mecánica de un hormigón según su porosidad” donde en el estudio, además de mostrar las relaciones entre porosidad y resistencia mecánica, observan a través de los ensayos una relación entre la porosidad obtenida en especímenes por inmersión en 48 horas y los ensayados por inmersión en ebullición de 5 horas.

En dicho estudio, además de establecer que la porosidad obtenida por inmersión en ebullición de especímenes en 5 horas, determinan una ecuación que relaciona la porosidad por inmersión en 48 horas (llamada porosidad “A”) y la porosidad por inmersión en ebullición a 5 horas (llamada porosidad “T”), donde en el 100% de los casos la desviación sería menor al 16%, en el 80% de casos, desviación menor al 10% y en el 41% de casos, menor al 5% de desviación, siendo aceptable utilizar dicha relación, la cual se presenta a continuación y se puede ver en la figura 3.10:

$$P_T = -0.038P_A^2 + 2.47P_A - 8.47$$

Donde:

P_T =Porosidad por inmersión en ebullición de 5 horas. (%)

P_A =Porosidad por inmersión en agua en 48 horas. (%)

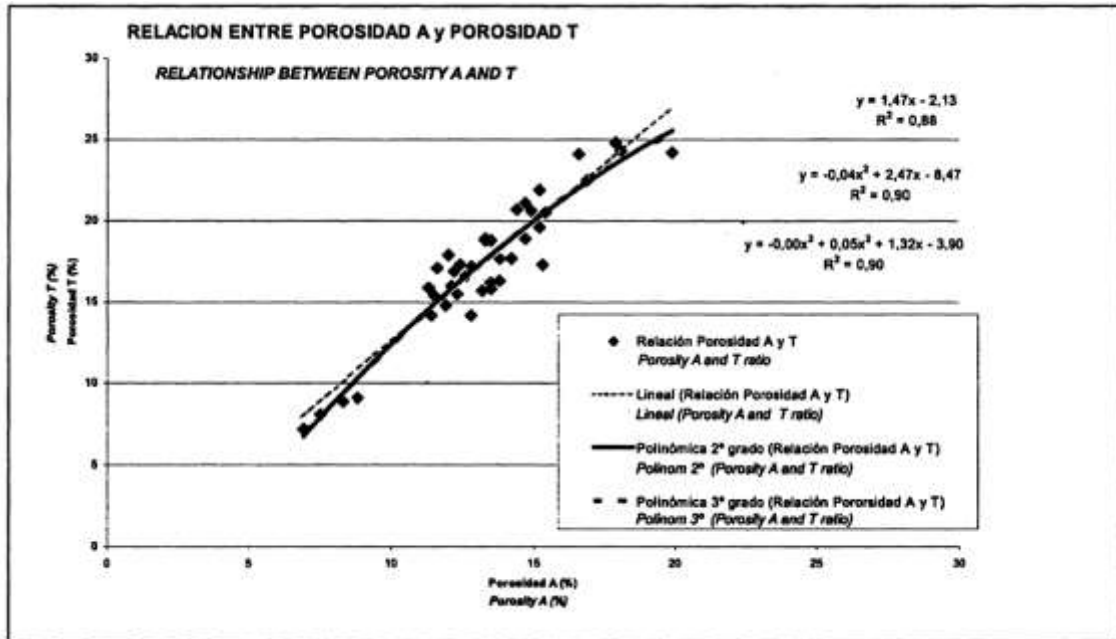




FIGURA 3. 10 RELACION ENTRE POROSIDAD "A" Y POROSIDAD "T".

A continuación se presentan los resultados del dicho ensayo a los especímenes de concreto permeable utilizados en nuestra investigación. Aunque es necesario explicar, que dicho procedimiento no se llevó a cabo a especímenes de que contenían la adición de fibras de polipropileno debido a que se consideró el peligro de que estas sufrieran percances debido a la exposición de calor en el proceso de secado en horno (Ver tabla 3.18).

TABLA 3. 18 Resultados de Ensayo de porcentaje de Vacíos según Norma ASTM C 642-13

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</p> <p style="text-align: center;">FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"</p> 			
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, LA ABSORCIÓN DE AGUA Y LOS VACÍOS EN EL CONCRETO ENDURECIDO. ASTM C 642-13			
Solicitante:		Material:	3 / 8 "
Proyecto:	Trabajo de Graduación	Laboratorista:	J.G,CG, FR
Procedencia:	Planta San Andrés, Holcim	Fecha de recibido:	3 de Sep / 15
Ubicación:		Fecha de ensayo:	9 de Sep / 15
Ensayo	1	2	
Masa Secada en horno (g)	2293.8	2155.5	
Masa Saturada Superficialmente Seca por inmersión en agua a 48 horas (g)	2457.9	2303.9	
Masa Saturada Superficialmente Seca por Ebullición en 5 horas. (g)			
Masa Sumergida (g)	1368.0	1301.9	
Densidad bruta (kg/cm ³)	2104.6	2151.2	
Absorción por inmersión (%)	7.2	6.9	
Absorción por Ebullición (%)			
Porcentaje de Vacíos por inmersión (%)	15	15	
Porcentaje de Vacíos por ebullición (%)			
Densidad bruta (kg/cm ³)	2127.9		
Absorción por inmersión (%)	7.0		
Absorción por Ebullición (%)			
Porcentaje de Vacíos por inmersión (%)	15		
Porcentaje de Vacíos por ebullición (%)	20		
*SE UTILIZO LA CORRELACION DEL PORCENTAJE DE VACIOS POR INMERSION DE 48 HORAS (P _A) Y POR EBULLICION (P _T). (P _A Y P _T EXPRESADOS EN %)			
$P_T = -0.038P_A^2 + 2.47P_A - 8.47$			

CAPITULO IV: ANALISIS DE RESULTADOS

4.1. GENERALIDADES.

El Comité ACI 214 aclara, en su reporte publicado en el 2007, que los conceptos estadísticos aplicados para los ensayos de resistencia a la compresión, son también aplicables para el análisis de los resultados de otros ensayos del concreto, incluyendo la resistencia a la flexión, asentamiento, contenido de aire y densidad.

Por consiguiente, el procedimiento estadístico del ACI 214 puede y debe ser aplicado en todo lo relacionado con el control de esfuerzos de tracción en el concreto. Los requisitos de aceptabilidad de concreto convencional, al cual se le han realizado ensayos a flexión, que según el ACI 325.9R (equivalente al ACI 318) establece que:

- a) El promedio de todos los conjuntos de tres ensayos consecutivos de resistencia (media móvil) debe ser igual o superior al Módulo de Rotura (MR) especificado.
- b) Ningún resultado individual del ensayo de resistencia puede estar 0,5 MPa por debajo del Módulo de Rotura especificado.

El valor de MR_r que se utilice para el diseño será el mayor que se obtenga con las siguientes ecuaciones:

$$MR_r = MR + 1,34 S$$

$$MR_r = MR + 2,33 S - 0,5$$

Cabe mencionar que las ecuaciones anteriores consideran la probabilidad de que solo el 1% de los ensayos arrojen resistencias menores que las establecidas en a) y b) de los requisitos de aceptabilidad mencionados, de allí

que el factor de probabilidad sea de 2,33. Ver tabla: 4.1: Factores de probabilidad y porcentajes de ensayos con resistencias menores que MR.

TABLA 4. 1 Factores de probabilidad y porcentajes de ensayos con resistencias menores que MR

Factor	Porcentaje	Factor	Porcentaje
0,00	50,00	1,60	5,50
0,10	46,00	1,70	4,50
0,20	42,10	1,80	3,60
0,30	38,20	1,90	2,90
0,40	34,50	2,00	2,30
0,50	30,90	2,10	1,80
0,60	27,40	2,20	1,40
0,70	24,20	2,30	1,10
0,80	21,20	2,33	1,00
0,90	18,20	2,40	0,80
1,00	15,90	2,50	0,60
1,10	13,60	2,60	0,45
1,20	11,50	2,70	0,35
1,30	9,70	2,80	0,25
1,40	8,10	2,90	0,19
1,50	6,70	3,00	0,13

Estas ecuaciones pueden expresarse en la siguiente forma generalizada:(valores en MPa)

$$MRr = MR + zkS / (n^{0.5}) \quad (8-1)$$

$$MRr = MR + zkS - 0,5 \quad (8-2)$$

en las que:

z = Factor de probabilidad según el porcentaje de pruebas por debajo del MR que se acepte.

z = 2,33 para 1%. Si se desea otro porcentaje observar tabla 4.1.

k = Factor de modificación de S cuando el número de ensayos es menor que 30. Ver Tabla 4.2

n = Número de ensayos para calcular el factor de probabilidad según la media móvil.

TABLA 4. 2 Factor de modificación de la desviación estándar cuando se dispone de menos de 30 ensayos (Tabla 5.3.1.2 del ACI 318).

Numero de ensayos	Factor modificador de la desviación estándar de la muestra
Menores de 15	Emplear la Tabla 5.3.2.2 de ACI
15	1.18
20	1.08
25	1.03
30 o mas	1
*interpolarse para un número intermedio de ensayos	

TABLA 4. 3 Resistencia Promedio Requerida cuando es desconocida la desviación estándar

Resistencia Especifica	Resistencia Promedio Requerida
Menor que 2.5 MPa	MR+0.92MPa
Entre 2.5 y 4.0 Mpa	MR+1.11MPa
Mayor de 4.0 Mpa	MR+1.31MPa

A continuación se presenta gráficamente la distribución de frecuencia de los módulos de ruptura para viguetas reforzadas en la base con geomalla, reforzadas a un cuarto de la base, con inclusión de fibras y refuerzo con geomalla en la base, y sin refuerzo, para luego caracterizar cada mezcla por el método de diseño por resistencia.

4.2 CARACTERIZACION DE LA MEZCLA POR METODO DE DISEÑO DE RESISTENCIA

4.2.1 Especímenes de concreto permeable con refuerzo de geomalla en la base

TABLA 4. 4 Distribución de Frecuencia de Módulos de Ruptura de viguetas reforzadas con geomalla en la base

TABLA DE FRECUENCIAS							
Clase	Li	Ls	mi	Ni	Ni	fi	Fi
1	26.26	29.02	27.64	6	6	0.2000	0.200
2	29.02	31.78	30.40	8	14	0.2667	0.467
3	31.78	34.54	33.16	10	24	0.3333	0.800
4	34.54	37.30	35.92	4	28	0.1333	0.933
5	37.30	40.06	38.68	1	29	0.0333	0.967
6	40.06	42.82	41.44	1	30	0.0333	1.000

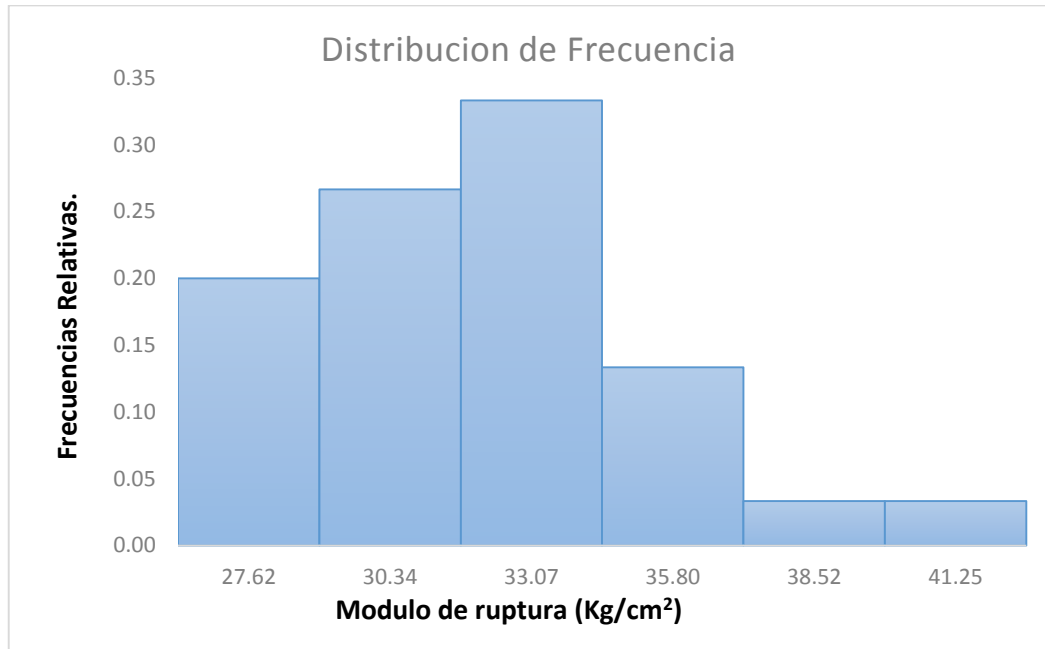


GRAFICO 4. 1 Distribución de Frecuencia de Módulos de Ruptura de viguetas reforzadas con geomalla en la base

Conforme a los requisitos de ACI 325.9R se tiene $MR = 27 \text{ kg/cm}$.

TABLA 4. 5 Evaluación de criterios de aceptación según ACI 325.9R para viguetas reforzadas con geomalla en la base.

Nº	Mr (Kg/cm2)	Media Móvil (kg/cm²)	Media Móvil > 27(kg/cm²)	Mr>MR-5(kg/cm²)
1	28.47	31.48	33.01	SI
2	34.48			
3	33.80	33.98	34.09	SI
4	34.15			
5	32.53	33.59	33.00	SI
6	34.64			

7	31.66	34.70	32.71	SI	Si
8	37.74				
9	32.01	30.70	32.02	SI	Si
10	29.39				
11	31.79	32.73	33.78	SI	Si
12	33.67				
13	33.42	32.64	35.54	SI	Si
14	31.85				
15	31.49	35.98	35.42	SI	Si
16	40.46				
17	40.43	37.99	35.79	SI	Si
18	35.56				
19	31.93	32.28	37.33	SI	Si
20	32.63				
21	39.81	37.11	38.70	SI	SI
22	34.42				
23	31.67	42.61	36.64	SI	SI
24	53.55				
25	37.45	36.39	33.60	SI	SI
26	35.33				
27	33.77	30.92	32.37	SI	SI
28	28.06				
29	34.10	33.48	32.41	SI	SI
30	32.86				
31	34.60	32.70	31.64	SI	SI
32	30.80				
33	33.05	31.06	29.57	SI	SI
34	29.07				

35	34.48	31.17	28.50	SI	SI
36	27.86				
37	28.25	26.49	27.47	SI	SI
38	24.72				
39	29.36	27.85	28.22	SI	SI
40	26.33				
41	26.97	28.08	30.03	SI	SI
42	29.19				
43	25.99	28.75	30.43	SI	SI
44	31.51				
45	32.90	33.26	31.51	SI	SI
46	33.63				
47	29.08	29.27	30.35	SI	SI
48	29.47				
49	32.54	31.98	30.57	SI	SI
50	31.43				
51	29.14	29.80	29.27	SI	SI
52	30.45				
53	30.72	29.93	30.14	SI	Si
54	29.15				
55	27.28	28.09	28.91	SI	SI
56	28.90				
57	32.83	32.39			SI
58	31.95				
59	23.76	26.26			SI
60	28.76				
Media	32.12	32.12	27.47*	100%	100.00%
Desviación	4.5	3.6			

*Dato menor de media móvil.

Sobre-Diseño:

El mayor valor de las ecuaciones:

$$MR'r = MR + ZKS/n^{0.5}$$

$$MR'r = MR + ZKS - 0.5$$

- $MR'r = MR + ZKS/n^{0.5}$

$$MR'r = 27 \frac{kg}{cm^2} + \frac{(2.33 * 1 * 3.6)}{3^{0.5} \frac{kg}{cm^2}}$$

$$MR'r = 27 \frac{kg}{cm^2} + 4.8 \frac{kg}{cm^2}$$

$$MR'r = 31.8 \frac{kg}{cm^2}$$

- $MR'r = MR + ZKS - 5$

$$MR'r = 27 \frac{kg}{cm^2} + 2.33 * 1 * 3.6 - 5 = 27.93 \frac{kg}{cm^2}$$

$$MR'r = 27.93 \frac{kg}{cm^2}$$

$$MR'r = 31.8 \frac{kg}{cm^2}$$

4.2.2 Especímenes de concreto permeable con refuerzo de geomalla a $\frac{1}{4}$ de la base.

TABLA 4. 6 Distribución de Frecuencia de Módulos de Ruptura de viguetas reforzadas con geomalla a un cuarto de la base.

TABLA DE FRECUENCIA R $\frac{1}{4}$							
CLASE	LINF	LSUP	Mi	ni	Ni	Fi	Fi
1	26.10	28.42	27.26	1	1	0.07	0.07
2	28.42	30.74	29.58	3	4	0.20	0.27
3	30.74	33.06	31.90	5	9	0.33	0.60
4	33.06	35.37	34.21	2	11	0.13	0.73
5	35.37	37.69	36.53	4	15	0.27	1.00

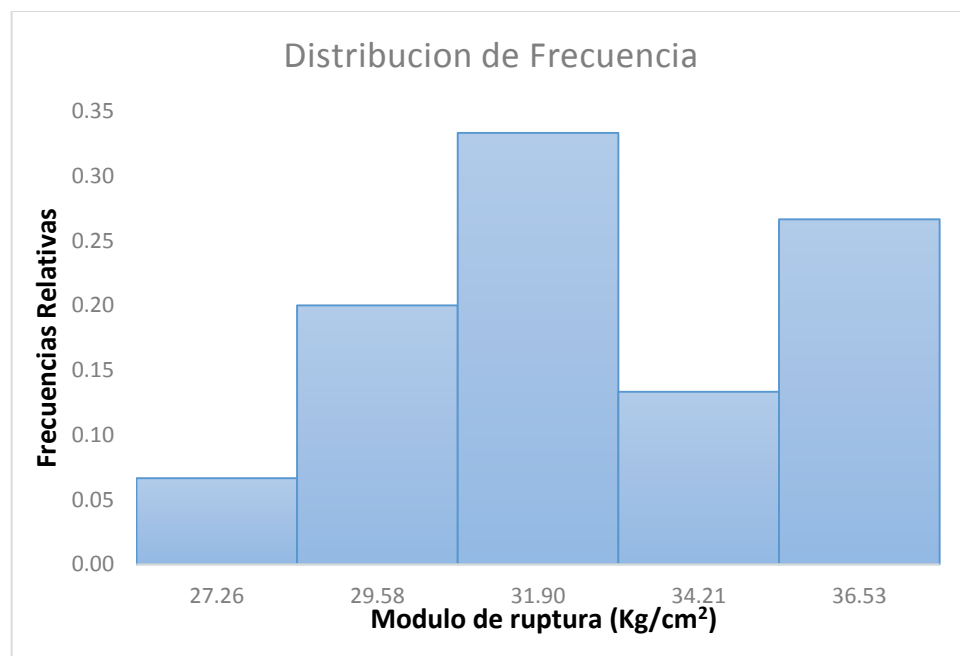


GRAFICO 4. 2 Distribución de Frecuencia de Módulos de Ruptura de viguetas reforzadas con geomalla a un cuarto de la base.

Conforme a los requisitos de ACI 325.9R se tiene $MR = 28 \text{ kg/cm}$.

TABLA 4. 7 Evaluación de criterios de aceptación según ACI 325.9R para viguetas reforzadas con geomalla a un cuarto de la base.

R ¼				
Nº	Mr (Kg/cm ²)	Media Móvil	Media móvil > 28 (Kg/cm ²)	Mr > MR – 5 (Kg/cm ²)
1	28.38			
2	31.09			
3	28.74	29.40	SI	SI
4	26.10	28.64	SI	SI
5	31.19	28.67	SI	SI
6	28.10	28.46	SI	SI
7	32.02	30.44	SI	SI
8	35.76	31.96	SI	SI
9	31.22	33.00	SI	SI
10	36.84	34.61	SI	SI
11	34.17	34.08	SI	SI
12	37.69	36.24	SI	SI
13	36.05	35.97	SI	SI
14	32.87	35.54	SI	SI
15	33.65	34.19	SI	SI
Media	32.26	28.64*	100%	100%
Desviación	3.48			

*Dato menor de media móvil.

Sobre-Diseño

El mayor valor de las ecuaciones:

$$MR'r = Mr + ZKS/n^{0.5}$$

$$MR'r = Mr + ZKS - 0.5$$

- $MR'r = Mr + ZKS/n^{0.5}$

$$MR'r = 28 \frac{kg}{cm^2} + \frac{(2.33 * 1.16 * 3.5)}{3^{0.5} \frac{kg}{cm^2}}$$

$$MR'r =$$

$$MR'r = 33.5 \frac{kg}{cm^2}$$

- $MR'r = Mr + ZKS - 5$

$$MR'r = 28 \frac{kg}{cm^2} + 2.33 * 1.16 * 3.5 - 5$$

$$MR'r = 32.5 \frac{kg}{cm^2}$$

$$MR'r = 33.5 \frac{kg}{cm^2}$$

4.2.3 Especímenes de concreto permeable con refuerzo de geomalla biaxial en la base e inclusión de fibras.

TABLA 4. 8 Distribución de Frecuencia de Módulos de Ruptura de viguetas reforzadas con geomalla en la base e inclusión de fibras.

TABLA DE FRECUENCIA RF							
CLASE	LINF	LSUP	Mi	ni	Ni	fi	Fi
1	27.31	28.14	27.72	4	4	0.27	0.27
2	28.14	28.97	28.55	2	6	0.13	0.40
3	28.97	29.80	29.38	3	9	0.20	0.60
4	29.80	30.63	30.21	2	11	0.13	0.73
5	30.63	31.46	31.04	4	15	0.27	1.00

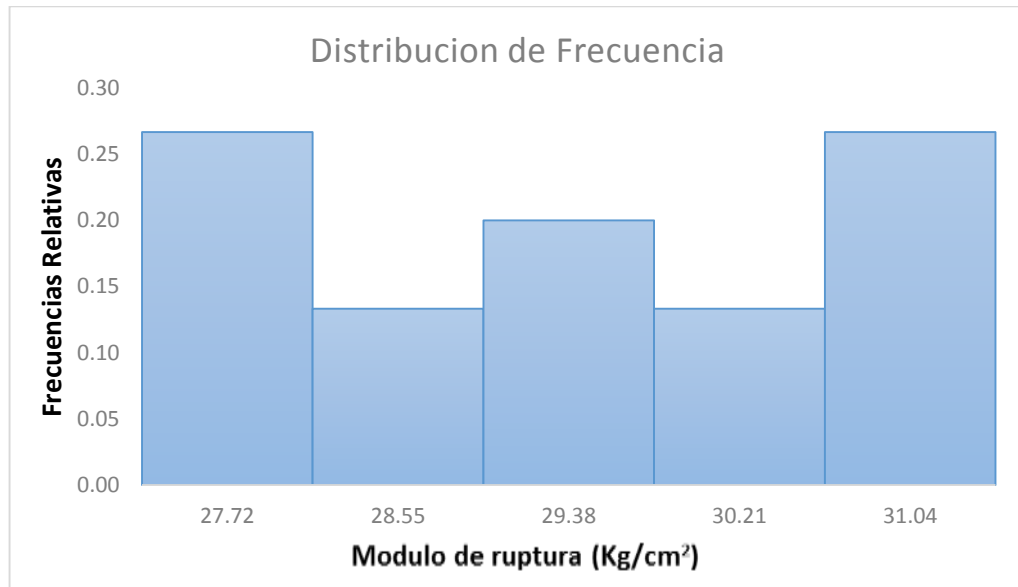


GRAFICO 4. 3 Distribución de Frecuencia de Módulos de Ruptura de viguetas reforzadas con geomalla en la base e inclusión de fibras.

Conforme a los requisitos de ACI 325.9R se tiene $MR = 28 \text{ kg/cm}^2$

TABLA 4. 9 Evaluación de criterios de aceptación según ACI 325.9R para viguetas reforzadas con geomalla en la base e inclusión de fibras.

Nº	Mr (Kg/cm²)		Media Móvil (Kg/cm²)	Media Móvil > 28 Kg/cm²	Mr>MR-5Kg/cm²
1	32.87	30.90			SI
2	28.93				
3	28.31	29.29			SI
4	30.27				
5	28.81	29.36	29.85	SI	SI
6	29.92				
7	27.37	28.04	28.90	SI	SI
8	28.71				
9	26.22	28.02	28.47	SI	SI
10	29.82				
11	30.48	30.08	28.71	SI	SI
12	29.67				
13	27.46	27.76	28.62	SI	SI
14	28.06				
15	30.80	30.85	29.56	SI	SI
16	30.90				
17	30.65	28.92	29.18	SI	SI
18	27.18				
19	30.45	31.46	30.41	SI	SI
20	32.46				
21	29.82	30.98	30.45	SI	SI
22	32.14				

23	26.23	27.31	29.92	SI	SI
24	28.39				
25	28.55	29.31	29.20	SI	SI
26	30.06				
27	30.02	30.57	29.06	SI	SI
28	31.13				
29	29.09	28.41	29.43	SI	SI
30	27.72				
Media	29.42	29.42	28.47*	100%	100%
DESVIACIÓN	1.70	1.34			

*Dato menor de media móvil.

Sobre-Diseño:

El mayor valor de las ecuaciones:

$$MR'r = Mr + ZKS/n^{0.5}$$

$$MR'r = Mr + ZKS - 0.5$$

- $MR'r = Mr + ZKS/n^{0.5}$

$$MR'r = 28 \frac{kg}{cm^2} + \frac{(2.33 * 1.16 * 1.34)}{3^{0.5} \frac{kg}{cm^2}}$$

$$MR'r = 30.1 \frac{kg}{cm^2}$$

- $MR'r = Mr + ZKS - 5$

$$MR'r = 28 \frac{kg}{cm^2} + 2.33 * 1.16 * 1.34 - 5$$

$$MR'r = 26.6 \frac{kg}{cm^2}$$

$$MR'r = 30.1 \frac{kg}{cm^2}$$

4.2.4 Especímenes de concreto permeable simple

TABLA 4. 10 Distribución de Frecuencia de Módulos de Ruptura de viguetas sin refuerzo.

TABLA DE FRECUENCIA SR(Mr)							
CLASE	LINF	LSUP	mi	ni	Ni	fi	Fi
1	26.99	30.03	28.51	4	4	0.25	0.25
2	30.03	33.06	31.55	5	9	0.31	0.56
3	33.06	36.10	34.58	6	15	0.38	0.94
4	36.10	39.14	37.62	0	15	0.00	0.94
5	39.14	42.17	40.65	1	16	0.06	1.00

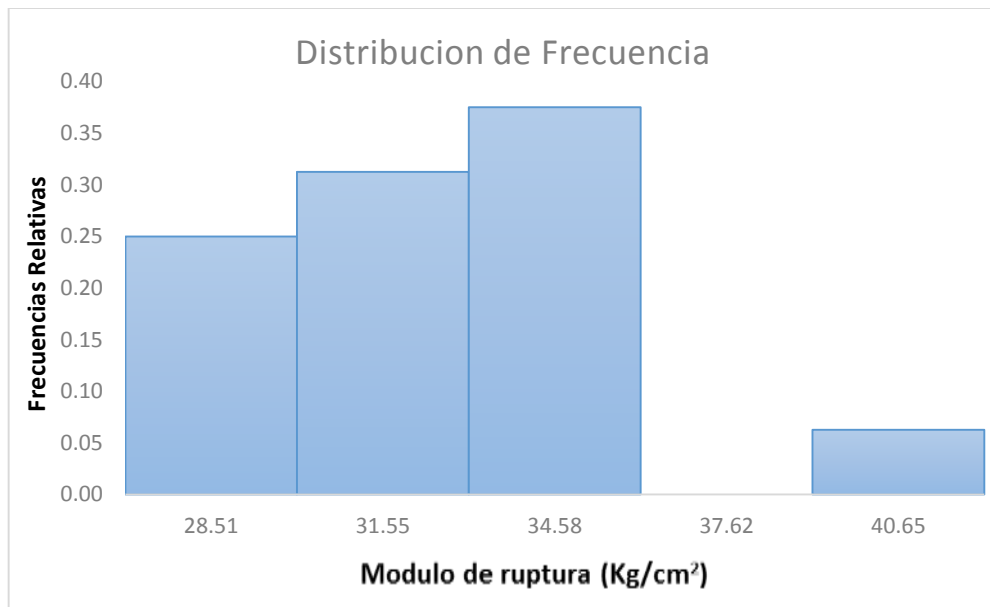


GRAFICO 4. 4 Distribución de Frecuencia de Módulos de Ruptura de viguetas sin refuerzo

Conforme a los requisitos de ACI 325.9R se tiene **MR = 28 kg/cm²**

TABLA 4. 11 Evaluación de criterios de aceptación según ACI 325.9R para viguetas sin refuerzo

SR				
Nº	Mr (Kg/cm ²)	Media Móvil Kg/cm ²	Media Móvil > 28 Kg/cm ²	Mr > MR-5 Kg/cm ²
1	30.85			
2	31.32			
3	33.00	31.73	SI	SI
4	35.45	33.26	SI	SI
5	31.46	33.31	SI	SI
6	33.77	33.56	SI	SI
7	29.34	31.52	SI	SI
8	42.17	35.09	SI	SI
9	35.91	35.81	SI	SI
10	29.41	35.83	SI	SI
11	33.21	32.84	SI	SI
12	33.93	32.18	SI	SI
13	27.03	31.39	SI	SI
14	26.99	29.32	SI	SI
15	31.96	28.66	SI	SI
16	34.80	31.25	SI	SI
Media	32.54	28.66*	100%	100%
Desviación	3.73			

*Dato menor de media móvil.

Sobre-Diseño:

El mayor valor de las ecuaciones:

$$MR'r = Mr + ZKS/n^{0.5}$$

$$MR'r = Mr + ZKS - 0.5$$

- $MR'r = Mr + ZKS/n^{0.5}$

$$MR'r = 28 \frac{kg}{cm^2} + \frac{(2.33 * 1.144 * 3.73)}{3^{0.5} \frac{kg}{cm^2}}$$

$$MR'r = 33.4 \frac{kg}{cm^2}$$

- $MR'r = Mr + ZKS - 5$

$$MR'r = 28 \frac{kg}{cm^2} + 2.33 * 1.144 * 3.73 - 5$$

$$MR'r = 32.9 \frac{kg}{cm^2}$$

$$MR'r = 33.4 \frac{kg}{cm^2}$$

4.3 RESUMEN DE RESULTADOS

Después del análisis estadístico realizado en recomendación a lo que dice el comité ACI 214, podemos describir la resistencia a flexión que caracteriza a nuestra mezcla de concreto permeable, además de la desviación estándar que esta conlleva, cumpliendo los requisitos de tolerancias establecidos por el comité ACI 318. Además, con lo visto en el capítulo III, podemos describir en dichas mezclas, características como la permeabilidad, y el porcentaje de vacíos.

TABLA 4. 12 Resumen de resultados de resistencia a flexión, permeabilidad y porcentaje de vacío en los diferentes especímenes de concreto permeable

	ESPECIMENES CON REFUERZO EN LA BASE CON GEOMALLA	ESPECIMENES CON REFUERZO CON GEOMALLA A 1/4 DE LA BASE	ESPECIMENES CON REFUERZO EN LA BASE CON GEOMALLA Y FIBRA	ESPECIMENES DE CONCRETO PERMEABLE SIMPLE
RESISTENCIA DE ESPECIFICACION (Mr=kg/cm ²)	27	28	28	28
DESVIACIÓN ESTANDAR (kg/cm ²)	4.8	5.5	2.1	5.4
PERMEABILIDAD (lt/m ² /min)	258	258	200.4	258
PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	20	20	---*	20

*Ensayo no llevado a cabo.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 CONCLUSIONES.

- ✓ Se realizaron 60 especímenes de viguetas de concreto permeable con capa de geosintético en la parte de la base de estos, 30 especímenes de viguetas de concreto permeable adicionados con fibras de polipropileno y la capa de geosintéticos en la base, 15 especímenes de viguetas de concreto permeable con capa de geosintéticos a $\frac{1}{4}$ de altura desde la base y 16 especímenes de concreto permeable simple, todos estos suman un total de 121 especímenes. Dicha distribución se realizó en base a criterio de recomendación a partir de pruebas preliminares de mucha menor cuantía, y a consideración del criterio de profesionales en el tema referente al comportamiento mecánico de los diferentes materiales y las limitantes de banco de materiales y tiempo para la realización de dicha experimentación.

- ✓ A partir de los ensayos realizados, y las consideraciones tomadas en base al comité ACI 214 y ACI 318, pudimos caracterizar que la mezcla de concreto permeable simple diseñada con 20 % de vacíos, y utilizada en nuestro trabajo, corresponde a una resistencia a la flexión de 28 kg/cm^2 , los especímenes elaborados con la mezcla de concreto permeable, adición de fibra y refuerzo de geosintético en la base muestran una resistencia a la flexión de 28 kg/cm^2 , los especímenes de concreto permeable con la geomalla biaxial en la base de este mostraron una resistencia a la flexión de 27 kg/cm^2 y los especímenes con la geomalla biaxial a distancia de $\frac{1}{4}$ desde la base de estos, mostraron resistencia a la flexión de 28 kg/cm^2 , por lo tanto, queda en evidencia a partir de los resultados que no existen variaciones considerables en la resistencia a la flexión entre los especímenes de concreto permeable simple y las

variaciones de este reforzados en las diferentes formas durante dicha investigación, aunque queda abierta a diferentes resultados al utilizar otro tipo de fibras, geosintético, agregados y variaciones pertinentes que conserven el concepto de la mezcla como tal.

- ✓ Se llevaron a cabo pruebas de permeabilidad a núcleos extraídos de especímenes tipo viguetas de concreto permeable con el fin de que esto representara de mejor manera la uniformidad del proceso que sufre el manejo del concreto, además no se consideró como un factor crucial el tipo de geomalla utilizada dentro de los especímenes que llevaban esta variante y esto conllevó a que las comparaciones de permeabilidad se llevara entre los especímenes de concreto permeables simple, y los concretos permeables con adición de fibras, siendo en los primeros la permeabilidad $k=4.30$ mm/s, un equivalente de 258 lts/m²/min, y siendo la permeabilidad de los especímenes de concreto permeable con adición de fibras, un $k=3.34$ mm/s equivalente a 200.4 lts/m²/min. Concluyendo que la permeabilidad se ve comprometida como era de esperarse, por la adición de fibras.

5.2 RECOMENDACIONES.

- ✓ En la metodologías de diseño para mezclas de concreto permeable, el peso volumétrico varillado, obtenido por el procedimiento que rige la norma ASTM C 29, consideramos que es un procedimiento que debe verificarse su eficacia como parámetro a considerar para el diseño de dichas mezclas, debido a que el acomodamiento de partículas en la compactación en dicho proceso de norma es considerado para mezclas de concretos convencionales y no para concretos permeables que exigen procedimientos de diferente índole para dicho proceso.

- ✓ Queda abierta la investigación a lo que pueda suceder en el comportamiento de las diferentes mezclas utilizadas en la investigación pero que varíen con respecto al tamaño máximo nominal del agregado grueso a utilizar, la adición de arena, las proporciones de aditivos, el tipo de cemento, el tipo de fibra y el tipo de geosintético.

- ✓ Es la adición de fibras, específicamente con la utilizada en nuestra investigación es recomendable evaluar si la adición de estos elementos es necesario ya que comprometen la permeabilidad de forma considerable, pero esto dependerá del criterio del diseñador.

- ✓ La construcción de tramos de prueba sometidos a condiciones de tráfico con el diferente tipo variantes de refuerzos vistas en estas investigación podrían ser ilustrativos a las diferentes eventualidades que se podrían presentar en procesos constructivos, en la observación continua del comportamiento del pavimento en las diferentes mezclas a lo largo del tiempo y bajo el sometimiento de tráfico y su deterioro. Aunque a lo del

trafico respecta, y bajo las recomendaciones de ACI-522, el pavimento sigue siendo ideal para caminos de baja intensidad y parqueos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

BIBLIOGRAFIA

- **DISEÑO, PROCESO CONSTRUCTIVO Y EVALUACIÓN POST CONSTRUCCIÓN DE UN PAVIMENTO RÍGIDO DE CONCRETO PERMEABLE**, Marlon Ebiezer Vigil Sánchez. Trabajo de graduación Universidad de El Salvador, 2012.
- **Nota Técnica: CONTROL DE CALIDAD EN EL HORMIGON,(CONTROL POR RESISTENCIA, PARTE I Y II)**, INSTITUTO ECUATORIANO DEL CONCRETO Y CEMENTO (INECYC), 2009.
- **EFECTO DELAS FIBRAS PLASTICAS EN LA FLEXION DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS DRENANTES**, Fredy Reyes; Andrés Torres; Grupo CECATA, Revista Ingeniería De Construcción, 2012.
- **MANUAL DE DISEÑO CON GEOSINTETICOS**, DEPARTAMENTO DE INGENIERIA-GEOSISTEMAS PAVCO, BOGOTA COLOMBIA, 9ª EDICION, JUNIO 2012.
- **APLICACIÓN DE LOS GEOSINTÉTICOS EN LA ESTRUCTURA DE LOS PAVIMENTOS Y EN OBRAS DE DRENAJE PARA CARRETERAS**, JONY FRANCINNY DÍAZ GONZÁLEZ, OSCAR EDUARDO ESCOBAR VELÁSQUEZ, EDUARDO JAVIER OLIVO MARTÍNEZ, Trabajo de Graduación, Universidad De El Salvador, 2009.

ESTÁNDARES ASTM

- ASTM C702 – Práctica Estándar para Reducción de las Muestras de Agregado a Tamaños de Prueba.
- ASTM C136 – Método de Ensayo Estándar para Análisis por Malla de Agregados Grueso y Fino.
- ASTM C33 – Especificación Estándar para Agregados de Concreto.
- ASTM C29 – Método de Ensayo Estándar para Densidad Bruta (Peso Unitario) y Vacíos en los Agregados.
- ASTM C127/127M – Método de Ensayo Estándar para Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica), y Absorción del Agregado Grueso.
- ASTM C 192/192M – Práctica Estándar para Elaboración y Curado en el Laboratorio de Especímenes de Concreto para Ensayo.
- ASTM C78 – Método de Ensayo Estándar para Resistencia a la Flexión del Concreto.
- ASTM C494/494M – Especificación Estándar para Aditivos Químicos para Concreto.
- ASTM C125 – Terminología Estándar Relacionada al Concreto y Agregados del Concreto.
- ASTM C1157/1157M – Especificación Estándar para Cemento Hidráulico por Desempeño.
- ASTM C642 – Método Estándar Para La densidad Absorción y Vacíos en Concreto Endurecido.

COMITÉS ACI

- ACI 211.3R – Guía para la Selección de Proportcionamiento de Concreto sin Revenimiento.
- ACI 318 – Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural.
- ACI 214 – Guía de Evaluación de Resultados de las Pruebas de Resistencia de Concreto.
- ACI 325.9R – Guía para la Construcción de Pavimentos de Hormigón y Bases.
- ACI 522R-06. —Pervious Concrete. American Concrete Institute. Farmington Hills, Mich.
- ACI 522.1-08. — Specification for Pervious Concrete Pavement American Concrete Institute. Farmington Hills, Mich.
- ACI 522R-10. —Report on Pervious Concrete. American Concrete Institute. Farmington Hills, Mich.
- ACI 330R-01 —Guide for Design and Construction of Concrete Parking Lots|. American Concrete Institute. Farmington Hills, Mich.

DOCUMENTOS DE NRMCA Y ACPA

- Pervious Concrete: Guideline to Mixture Proportioning. National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA). 2009.
- Pervious Concrete: Hydrological Design and Resources. Portland Cement Association (PCA), National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA), American Concrete Pavement Association (ACPA). 2007.
- Specifier's Guide for Pervious Concrete Pavement Design. Version 1.2, Colorado Ready Mixed Concrete Association. 2009.

ANEXOS

A.1 CATALOGO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO.



EUCLID CHEMICAL

FIBER

REINFORCED CONCRETE



PSI FIBERSTRAND MICRO SYNTHETIC FIBERS
TUF-STRAND MACRO SYNTHETIC FIBERS
PSI STEEL FIBERS AND BLENDED FIBERS



FIBER REINFORCED CONCRETE SOLUTIONS

The Euclid Chemical Company provides synthetic micro and macro fibers and steel fibers for concrete applications under the PSI Fiberstrand, TUF-STRAND and PSI Steel Fibers trade names.

All Euclid Chemical Company PSI Fiberstrand and TUF-STRAND fibers meet or exceed the requirements of ASTM C1116 which defines the use of synthetic fiber-reinforced concrete or shotcrete. All PSI Steel Fibers also comply to ASTM C1116 and also meet the requirements of ASTM A820, Standard Specification for Steel Fibers for Fiber Reinforced Concrete.

SERVICE BEYOND EXPECTATION

Let our team of concrete and engineering professionals work with you to help deliver profitability and service through our fiber products and beyond. Our complete customer service capabilities include:

Concrete Mix Design – Euclid Chemical’s technical sales team is experienced in concrete mix design and how fibers work in concrete. Interactions of chemical admixtures, cement additives, air entrainment and other specialty products are included with each recommendation on fiber products.

Specification and Business Development – Let our team of specification experts make sure that the right fiber is called out for the right application. Our Business Development Group can also review full project specifications and recommend additional Euclid Chemical products.

Fiber Training – One-on-one training and educational materials are available from Euclid Chemical with a full Technical and Marketing package suited towards owners, engineers, contractors and ready-mix producers ensuring a successful fiber project.

Engineered Fiber Calculations – Design aids and other tools are available to all Euclid customers to help them correctly determine appropriate dosage rates for each individual application. Letters of certification and engineering support are included with each recommendation ensuring project compliance.

Industry Association Involvement – Euclid Chemical is a proud member of the Fiber Reinforced Concrete Association and is actively involved in promoting and advancing the state-of-the-art in FRC through participation in other trade associations such as ACI, NRMCA, ASA, NPCA and ASTM.

Testing and Quality Assurance – All of Euclid’s fiber products are tested to assure compliance to today’s standard requirements. State-of-the-art in-house testing equipment for fiber-reinforced concrete including ASTM C1399 and C1609 and RILEM EN14651.

APPLICATIONS

- Industrial floors
- Residential construction
- Highways, roads and bridges
- Pre-cast concrete products
- Shotcrete
- Composite steel decks
- Agricultural applications



FIBER PRODUCTS FOR CONCRETE REINFORCEMENT

PSI FIBERSTRAND MICRO-SYNTHETIC FIBERS

PSI Fiberstrand Fibers are used for plastic shrinkage crack control and are ideally suited to secondary reinforcing applications for slabs and pre-cast concrete. They are available in various sizes and lengths of monofilament and fibrillated polypropylene, monofilament polyester and nylon.

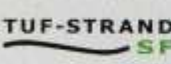


- PSI FIBERSTRAND MULTI-MIX 80
- PSI FIBERSTRAND 100
- PSI FIBERSTRAND 150
- PSI FIBERSTRAND F
- PSI FIBERSTRAND N
- PSI FIBERSTRAND P

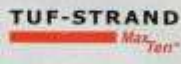
TUF-STRAND MACRO-SYNTHETIC FIBERS

TUF-STRAND Fibers can be used where an equivalent reinforcing option to steel fibers, wire mesh and light gage reinforcing bars are required in pre-cast concrete, slabs on grade, composite steel decks and shotcrete applications. Appropriate dosages are calculated by determining the engineering requirements of the existing design and providing an equivalent residual strength.

TUF-STRAND SF is a patented macro-synthetic fiber that is UL certified for composite steel deck construction and is used for replacement of limited structural steel in pre-cast, slabs on ground, pavements and shotcrete applications. Design Assistance can also be provided for determining appropriate fiber dosages for slab on ground projects designed in accordance with ACI 360 using our proprietary TUF-STRAND-SF Software Program and accompanying Manual.



- ENGINEERED FIBER REPLACEMENT
- SOFTWARE DESIGN ASSISTANCE
- UL CERTIFIED FOR STEEL DECK CONSTRUCTION



- WIRE MESH REPLACEMENT
- NON-PERFORMANCE SPECIFICATIONS

PSI STEEL AND BLENDED FIBERS

PSI Steel Fibers are used primarily for temperature and shrinkage crack control and limited structural applications in pre-cast concrete, slabs on grade, elevated structures and shotcrete applications.



- PSI CRIMPED STEEL FIBER
- PSI CRIMPED STEEL FIBER FB
- PSI CRIMPED STEEL FIBER MB

CUSTOMER SOLUTIONS & ENGINEERING SUPPORT

Euclid Chemical's fiber reinforced concrete products are just a part of the full service support that a ready-mix producer, precast manufacturer or shotcrete customer can expect when dealing with Euclid Chemical.

- Full-line micro and macro-synthetics and steel fibers
- Full-line admixtures, color, repair and construction products
- Available R&D laboratories
- Dedicated product line management
- Professional engineering staff
- Specification guides
- UL approved macro-fiber
- Design software package for floors
- Fully trained salesforce with concrete admixtures and fibers
- Active participation and membership in ACI, ASTM, PCA, FRCA, ACI and more

Quick Reference Guide for Slab on Ground Design with TUF-STRAND macro-fibers, lbs/yd³ (kg/m³)

Slab Thickness	all 6" x 6" (150 x 150 mm)	4" x 4" (100 x 100 mm)		#3 bar (3/8")		#4 bar (1/2")	
	10, 5, 4 gage (W1.4, W2.5, W4.0)	4 gage (W2.7)	4 gage (W4.0)	#12" (305 mm)	#18" (406 mm)	#12" (305 mm)	#16" (406 mm)
4	Use @ 3 lbs/yd ³ (1.8 kg/m ³)	4.6 (2.7)	6.1 (3.6)	4.9 (2.9)	3.6 (2.1)	8.6 (5.1)	6.5 (3.9)
6		3.0 (1.8)	4.0 (2.4)	3.2 (1.0)	3.0 (1.8)	5.8 (3.4)	4.3 (2.6)
8		3.0 (1.8)	3.0 (1.8)	3.0 (1.8)	3.0 (1.8)	4.3 (2.6)	3.2 (1.9)
10		3.0 (1.8)	3.0 (1.8)	3.0 (1.8)	3.0 (1.8)	3.5 (2.1)	3.0 (1.8)

For single layer specified 70 ksi welded wire fabric and 60 ksi light steel as shown for temperature and shrinkage crack control only; 4000 psi concrete and for location of steel in **top half of slab only**. TUF-STRAND SF may also be used for replacement of WWM shown for TUF-STRAND MaxTen at same dosages.



Note: The values shown for pavement and floor construction are valid only for Euclid's TUF-STRAND fiber and have been derived from standardized testing. For dosing requirements in pre-cast concrete, shotcrete, structural floors or other applications, please contact your local Euclid Chemical engineering team.

Full design of fiber-reinforced concrete floors can be done using Euclid Chemical "Slab on Grade" online software according to ACI 360.

INDUSTRY LEADERSHIP

For over 100 years, The Euclid Chemical Company has served as a leading supplier to the concrete and masonry industry offering a full line of engineered concrete admixture and construction products. These products include concrete admixtures, block and masonry additives, fibers, curing and sealing compounds, epoxy adhesives, floor and wall coatings, structural grouts for columns, equipment and machinery, joint fillers and repair products. The Euclid Chemical Company strives to bring innovative technologies and products to the concrete market with industry leading customer service.



EUCLID CHEMICAL

19215 Redwood Road
Cleveland, OH 44110
t 800-321-7628
f 216-481-7072

W90 Fiber Reinforced Concrete © 2016 The Euclid Chemical Company. This material is provided for informational purposes only. The Euclid Chemical Company expressly disclaims any liability resulting from use of this material. Nothing stated herein shall give rise to or constitute any warranty by The Euclid Chemical Company, express or implied, including but not limited to any implied warranty of merchantability or fitness for a particular purpose. The information provided in this material is not intended to be all inclusive, as the manner in which any product is used or handled may involve other or additional considerations that are not addressed herein.

A.2 HOJA DE ESPECIFICACION DE GEOMALLA BIAIXIAL P-BX11



GEOMALLA BIAIXIAL COEXTRUIDA

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS P-BX11 / P-BX12

Las geomallas biaxiales son estructuras bidimensionales de polipropileno, químicamente inertes, producidas mediante un proceso de extrusión, garantizando alta resistencia a la tensión y un alto módulo de elasticidad. Proporciona excelente resistencia frente a posibles daños de instalación y exposición ambiental. Están diseñadas especialmente para estabilización de suelos y aplicaciones de refuerzo.

PROPIEDADES MECÁNICAS	NORMA	P-BX11 ¹	P-BX12 ¹
Resistencia a la tensión 2% deformación (SL/ST) ²	ASTM D6637	(4.1/6.6) kN/m	(6.0/9.0) kN/m
Resistencia a la tensión 5% deformación (SL/ST) ²	ASTM D6637	(8.5/13.4) kN/m	(11.8/19.6) kN/m
Resistencia a la tensión pico (SL/ST) ²	ASTM D6637	(12.4/19.0) kN/m	(19.2/28.8) kN/m
Eficiencia en los nodos ³	GRHGG2	93%	93%
Rigidez flexural ⁴	ASTM D1 388	250 mg - cm x 1000	750 mg - cm x 1000
Rigidez torsional (J) ⁵	US ARMY COE	3.2 kg - cm/deg	6.5 kg - cm/deg

PROPIEDADES FÍSICAS	NORMA	P-BX11	P-BX12
Tamaño de abertura (SL/ST) ²	Medido	(25/33) mm	(25/33) mm
Espesor de costillas (SL/ST) ²	ASTM D1777	(0.76/0.76) mm	(1.27/1.27) mm
Área abierta	CW 02215	75%	80%
Resistencia a los daños de instalación ⁶	ASTM D6637	(>90) %acc./sw./cap	(>90) %acc./sw./cap
Resistencia a la degradación a largo plazo ⁷	ASTM D4355-05	>100%	>100%

PRESENTACIÓN	NORMA	P-BX11	P-BX12
Ancho del rollo	Medido	4.0 m	4.0 m
Longitud del rollo	Medido	75 m	50 m
Área del rollo	Medido	300 m ²	200 m ²

NOTAS

- Valores VMPP (valor mínimo promedio por rollo).
- SL: Sentido longitudinal.
ST: Sentido transversal.
- Capacidad de transferencia de carga determinada de acuerdo con la GRHGG-05 y expresada como un porcentaje de la última resistencia a la tensión.
- Resistencia a la rigidez flexural determinada de acuerdo con la ASTM D1372, en los bordes interiores de las costillas longitudinales, como una escala y la longitud suficiente para permitir mediciones de la rigidez en voladizo. La rigidez es calculada como la raíz cuadrada del producto de los valores de rigidez flexural en sentidos LM y LT.
- Resistencia en el plano rotacional de movimiento medida mediante la aplicación de un momento de 20 kg-cm en la junta central de una muestra de 9" x 9" restringida en su perímetro de acuerdo con la Metodología del Cuerpo de Ingenieros de USA para medida de Rigidez Torsional.
- Resistencia a la pérdida de capacidad de carga o integridad estructural cuando la muestra es sometida a esfuerzos de instalación mecánica en arena arcillosa y material grueso clasificado como grava pobremente gradada (GP). La muestra debe ser obtenida de acuerdo con la ASTM D5118-06 y la capacidad de carga debe ser determinada de acuerdo con la norma ASTM D6637-01.
- Resistencia a la pérdida de capacidad o integridad estructural cuando la muestra es sometida a 500 horas de luz ultravioleta y condiciones extremas de intemperie de acuerdo con la ASTM D4355-05.

CAMPOS DE APLICACIÓN

- Refuerzo de suelos blandos.
- Refuerzo de materiales granulares en vías y terraplenas.
- Refuerzo secundario en muros de contención.
- Refuerzo de terraplenes en vías y pistas aéreas.

VENTAJAS

- Aumenta la vida útil de la estructura inicial al utilizarla en los granulares.
- Genera menor impacto ambiental en la explotación de pétreos al reemplazar los granulares.
- Disminuye espesores de granulares al emplearlos como refuerzo.

A.3 FOTOGRAFIA ANEXO: PERMEAMETRO DE CARGA VARIABLE.

La utilización del permeámetro de carga variable utilizado en dicho trabajo de graduación puede ser utilizado de dos formas: 1) con especímenes moldeados dentro de moldes hechos de tubería PVC. 2) especímenes extraídos de concreto endurecidos de diámetros de 4”.

Para ambos casos debe asegurarse que el espécimen no presente fugas y el flujo completo del agua lo atraviese, de acuerdo a las especificaciones del reporte ACI 522 para usar una constante de $A=152$, necesaria para el cálculo de la constante “k” de permeabilidad. ($k=A/152$), debido a la falta de tubo transparente para la visualización de los niveles de agua debe realizarse el ensayo en un lugar que permita el paso de luz y visualizar los dos puntos de control de la variación de agua que nos servirán para la determinación de “k” (22 cm. De diferencia de niveles en un tubo de 4” de diámetro).



ESPECIMEN DE NUCLEO EXTRAIDO DE CONCRETO PERMEABLE.



PERMEAMETRO DE CARGA VARIABLE DISEÑADO POR ESTUDIANTES DE TRABAJO DE GRADUACION.

A.4 CARTAS TECNICAS DE ADITIVOS.

A.4.1 MODIFICADOR DE VISCOCIDAD IMI VMA

INTERNATIONAL MATERIALS INDUSTRIES. L.L.C.

IMI Concrete Admixtures and Fiber

2800 North Johnson St. New Orleans, Louisiana 70117 * Phone: (504) 267-3344* Fax: (504) 267-3345

IMI VMA (Viscosity Modifying Admixtures)

Description

IMI VMA is a ready to use liquid-based viscosity modifying admixture. IMI VMA improves stability and segregation resistance of concrete mixes without significant reduction of slump or flow, resulting in improved surface quality and aesthetics. IMI VMA is suitable for various types of concrete. IMI VMA has been found to improve plastic properties of Self Consolidating Concrete (SCC) as well as high slump conventional concrete mixes, and mixes containing manufactured sand and/or poorly graded aggregates. IMI VMA helps stabilize the air void system in freshly mixed and placed concrete and increases the overall concrete stability. IMI VMA also reduces the consolidation effort, which could be utilized in a dry-cast application to reduce the production cycle time. IMI VMA is compatible with IMI UltraFlow 5000 high range water reducing admixtures and is recommended for precast and ready mix concrete applications. IMI VMA meets the requirements for ASTM C-494, Type S admixture.

Applications

- Improved flow & aesthetics of low slump extruded concrete mixes
- Higher resistance to segregation is required
- Improved stability during transportation is required
- Lean concrete mix designs are used for SCC production
- Manufactured sand and/or "gap-graded" coarse aggregate is used
- Migration of air within the concrete mixture is observed
- Fluctuation of water content in aggregates causes inconsistent production
- Faster concrete consolidation is required

Benefits

IMI VMA increases overall mix cohesiveness without promoting concrete stiffening, which ultimately results in easier placement, reduced consolidation effort and improved aesthetics.

- Enhances stability of concrete matrix integrity during high slump placements
- Improves distribution of aggregate in the concrete mixture
- Increases the cohesiveness of lean and harsh mix designs
- Reduces segregation and bleeding
- Improves surface finishability

- Improves the air void distribution within the concrete matrix
- Reduces consolidation effort due to reduced stiffening

Dosage

Dosage rates will vary according to materials used, ambient conditions and the requirements of a specific project. IMI recommends dosage at 1.0 - 7 fl.oz/100 lbs. (65-455 ml/100 kg) of cementitious materials. Dosage rates outside the recommended range may be used where specialized materials such as microsilica are specified, extreme ambient conditions are encountered or unusual project conditions require special consideration.

A.4.2 RETARDANTE Y PROMOTOR DE RESISTENCIA IMIX RB910



IMIX-RB910

Retardante Y Promotor de Resistencia

DESCRIPCION

IMIX- RB910 es un compuesto sintético líquido formulado como un aditivo para concreto, retardador de fraguado inicial y Promotor de Resistencia con características de revenimiento extendido. El concreto con **IMIX- RB910** mantiene el revenimiento por tiempo prolongado de acuerdo a las necesidades de la obra. Está diseñado para proveer a una mezcla dada, la máxima trabajabilidad y el tiempo para su colocación comparado con una mezcla sin aditivo.

USO

- Concreto Para Bombeo a gran altura
- Concreto Premezclado en entregas distantes
- Concreto Arquitectónico
- Mezclas con una amplia variedad de cementos Pórtland o Adicionados

VENTAJAS

- Aumenta la resistencia
- Sostiene el revenimiento en temperaturas de hasta 38°C o más.
- Mejora la trabajabilidad
- Controla el grado de frague inicial
- Reduce las grietas por movimientos prematuros durante el fundido del concreto
- Reduce la segregación
- Reduce la permeabilidad
- Mejora la apariencia
- Ayuda a evitar la corrosión en estructuras reforzadas con acero

INTERNATIONAL MATERIALS INDUSTRIES, L.L.C.

2800 N. Johnson St. New Orleans, Louisiana 70117 * PHONE: (504) 267-3344 * Fax: (504) 267-3345

GARANTIA: 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 concerniente a la exactitud de estos datos, de los resultados que se obtienen por el uso de este o que este uso no infringirá cualquier patente. Esta información se suministra con la condición de que los usuarios que la reciban harán sus propios pruebas para determinar la idoneidad para su propósito de uso particular. La responsabilidad por daños para el fabricante será, en ningún caso, mayor que el precio del material entregado.

INFORMACION TECNICA

Cumple la norma ASTM C-494, Tipos B

IMIX- RB910 reacciona con el cemento durante el estado plástico del concreto poniéndolo en estado de reposo por un espacio de tiempo, esto producto de la retardación en la hidratación de los aluminatos tricalcicos y aluminatos dicalcicos. El tiempo es controlado por la dosificación que se use. Esto causa que la perdida de revenimiento sea mínima. El grado relativo de generación de calor de hidratación inicial del concreto disminuye. Con **IMIX- RB910** la temperatura inicial del concreto no aumenta mientras esta en su estado plástico. **IMIX- RB910** aumenta la densidad del concreto. El concreto es menos permeable y con más resistencia a la flexión.

DOTOS TECNICOS

Estado	Liquido
Color	Ámbar
Gravedad Especifica	1.137 a 1.15 a 25°C
pH	10 ± 1

APLICACION

IMIX- RB910 se dosifica a razón de 2 a 8.5 onzas por 100 Lbs. de cemento (130 ml a 550 ml por 100Kg de cemento.)

IMIX- RB910 se debe de introducir a la mezcla con el agua en la planta. La dosificación se puede variar dependiendo del tiempo que se desee sostener el revenimiento, la retardación deseada. y la temperatura del ambiente.

PRECAUSIONES

Mientras no se realicen las pruebas pertinentes **IMIX- RB910** no debe ser usado con otros aditivos en la mezcla que produzcan retardación excesiva. Es compatible con aditivos incorporadores de aire, impermeabilizantes, acelerantes y fluidificantes de la línea **IMI**; al usarse con otro aditivo cada uno debe vaciarse por separado.

Se debe tener especial cuidado si el elemento a fundir es un piso industrial con poca o nula ventilación ya que las condiciones atmosféricas pueden causar un retardo prolongado sin afectar la resistencia del concreto pero si afectar las actividades de acabado.

ALMACENAMIENTO

Debe almacenarse a una temperatura superior a 0°C; en su embase original bien sellado tiene una vida útil mínima de 18 meses dependiendo de las condiciones de almacenamiento puede ser superior.

A.4.3 REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO ULTRAFLOW-5000



ULTRAFLOW-5000

Reductor de Agua de Alto Rango (Última Generación)
(Polycarboxylated Superplasticizer)

DESCRIPCION

ULTRAFLOW-5000 es la última generación de superplastificantes. Es especialmente formulado y modificado para mejorar las propiedades del concreto o mortero. **ULTRAFLOW-5000** es un efectivo dispersante, fluidificador y poderoso reductor de agua que provee excelentes propiedades reholplásticas al concreto.

USOS

- **ULTRAFLOW-5000** es específicamente intencionado a usarse en concreto prefabricado ya que provee una fluidez excepcional y mejora las propiedades de plasticidad del concreto rompiendo la conglomeración del cemento sin el uso de vibradores.
- **ULTRAFLOW-5000** es muy efectivo usado para nivelar pisos que serán cubiertos por alfombras, losetas u otra terminación. Esto se hace sin mayor esfuerzo en la colocación y terminado de la superficie del concreto.
- **ULTRAFLOW-5000** se usa en concreto pre-tensado, donde se requiere resistencias a temprana edad menores de 24 horas de hasta 4000 psi a 18 horas.
- **ULTRAFLOW-5000** aparte de los usos mencionados se puede usar para concreto bombeado, colocar concreto bajo agua, concreto lanzado, losas de concreto con formas especiales, concreto usando humo de sílice y concreto liviano.

INTERNATIONAL MATERIALS INDUSTRIES, L.L.C.

2800 North Johnson Street* New Orleans, Louisiana 70117 * PHONE: (504) 267-3341 * Fax: (504) 267-3345

GARANTIA: La información que contiene este folleto técnico está basada en pruebas e información de fuentes confiables; sin embargo, no se ofrece garantía ni expresada ni implícita concerniente a la exactitud de estos datos, de los resultados que se obtienen por el uso de este o que este uso no infrinja cualquier patente. Esta información se suministra con la condición de que las personas que la reciben harán sus propias pruebas para determinar lo adecuado para su propósito de uso particular. La responsabilidad por daños para el fabricante será, en ningún caso, mayor que el precio del material entregado.

VENTAJAS

ULTRAFLOW-5000 además ofrece las siguientes características para el concreto:

- Fluidez nivelándose solo.
- Resistencia a temprana edad.
- Alta trabajabilidad con bajo contenido de agua.
- Baja relación agua/cemento (Hasta 30%).
- Reducción del cemento.
- Mejora la superficie.

INFORMACION TECNICA

ULTRAFLOW-5000 cumple y excede la especificación ASTM C494, Tipo F y AASHTO M-194 y no contiene cloruros, ni iones de cloruros

El concreto fluidificado con **ULTRAFLOW-5000** se mantiene trabajable por un espacio de tiempo de 1 hora a 1 hora y 25 minutos, a una temperatura ambiental de 80°F a 90°F. La duración de la trabajabilidad no solamente depende de la temperatura ambiental, pero también del tipo y marca del cemento, la clase de agregados, el método de mezclado y el método de transportarlo. **ULTRAFLOW-5000** añadido en las dosificaciones normales, el calor de hidratación no será afectado significativamente.

APLICACION

ULTRAFLOW-5000 se dosifica normalmente a razón de 3 a 10 onzas fluidas por 100 lbs de cemento (195ml a 652ml por 100Kg de cemento). Dosificaciones mas altas pueden ser requeridas dependiendo de las condiciones específicas de la obra, hasta una dosificación de 1.5 L por 100 Kg. de cemento.