

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



**“DISEÑO, PROCESO CONSTRUCTIVO Y
EVALUACIÓN POST CONSTRUCCIÓN DE UN
PAVIMENTO RÍGIDO DE CONCRETO PERMEABLE”**

PRESENTADO POR:
MARLON EBIEZER VIGIL SÁNCHEZ

PARA OPTAR AL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, MAYO DE 2012

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIA GENERAL :

DRA. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR :

DR. ING. EDGAR ARMANDO PEÑA

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 :

**“DISEÑO, PROCESO CONSTRUCTIVO Y EVALUACIÓN POST
CONSTRUCCIÓN DE UN PAVIMENTO RÍGIDO DE
CONCRETO PERMEABLE”**

Presentado por :

MARLON EBIEZER VIGIL SÁNCHEZ

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores:

ING. DILBER ANTONIO SÁNCHEZ VIDES

ING. CARLOS ANTONIO QUINTANILLA RODRÍGUEZ

ING. MAURICIO ERNESTO VALENCIA

San Salvador, Mayo de 2012

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores:

ING. DILBER ANTONIO SÁNCHEZ VIDES

ING. CARLOS ANTONIO QUINTANILLA RODRÍGUEZ

ING. MAURICIO ERNESTO VALENCIA

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a IAHWEH (יהוה) mi creador; a mi familia: mi madre Milagro de la Cruz Sánchez, mis hermanos: Carlos Alexander, Ariel Osmín, Jairo Aarón. Mis sobrinitas: Naara Isabella y Victoria Hadara. Cuñada: Marielos Agreda y Sobrino Enrique Agreda.

Quiero agradecer de manera muy especial a las personas, y a las instituciones y empresas que han contribuido para la realización de este trabajo de graduación:

A la **Universidad de El Salvador** a través de la Escuela de Ingeniería Civil, la Junta directiva de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura y la Unidad de Desarrollo Físico. Quienes a lo largo de este trabajo aportaron a la causa para que las gestiones del Tramo de Prueba que se propone en este documento se lleve a cabo. Agradecer a las siguientes personas:

Ing. Mario Roberto Nieto Lovo, desde que era decano de la FIA en el día que le presente la propuesta del trabajo de graduación siempre estuvo en la disposición de aportar su colaboración y aún en el cargo de Rector no claudicó hasta que se concretaran las gestiones.

Ing. Francisco Antonio Alarcón Sandoval, Decano FIA por continuar las gestiones para la realización del tramo de prueba.

Ing. Oscar Eduardo Marroquín Hernández, Vice Decano FIA, por su ayuda y colaboración a este trabajo.

Dr. Edgar Armando Peña, Director Escuela Ingeniería Civil

Ing. Pedro Jaco, Jefe UDF

A todos mis profesores de Universidad en el Área Básica y de las distintas Escuelas de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, en especial la de Ingeniería Civil; al impartir sus conocimientos que son pilares en el grado obtenido.

A Licda. Silvia Milagro Mayorga por el apoyo incondicional que me brindó a lo largo de la carrera, mis más sinceros agradecimientos por su ayuda.

A Roxana Galicia de la Escuela de Ingeniería Civil por su apoyo y colaboración, a Sra. Patricia de Velásquez de Administración Académica de la FIA por su comprensión y apoyo, a Sra. Doris Bonilla porque cuando fue solicitada su ayuda estuvo atenta a apoyar. Les estoy muy agradecido.

A mis Asesores de la Universidad: Ing. Mauricio Ernesto Valencia, Ing. Dilber Antonio Sánchez. Gracias por sus consejos y apoyo para la realización del trabajo de graduación.

A mi asesor externo: Ing. Carlos Antonio Quintanilla Rodríguez, a quien admiro por la dedicación, conocimiento y entrega en su trabajo; gracias por creer en mí y en el proyecto que se presentaba, por sus enseñanzas y aportes a este Trabajo de Graduación.

Al **Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC)** por su apoyo decidido a la causa de encontrar nuevas tecnologías en el uso eficiente del Cemento y del Concreto, por lo que su apoyo en la realización del presente Trabajo de Graduación es muestra de ello, su apoyo merece un reconocimiento grande no solamente en el presente trabajo, sino en el aporte a la ingeniería de El Salvador que hacen a través de las diversas investigaciones que realizan.

Al personal Administrativo del ISCYC, Ing. Rafael González Magaña (Director Ejecutivo) por su apoyo, consejos, gestiones realizadas, por creer en este proyecto; Ing. Carlos Quintanilla Rodríguez por su tiempo, entrega, conocimiento, por alentarme y guiarme en el proceso de todo el trabajo de graduación; Maritza de Avilés por sus consejos, amistad y compañerismo; Arq. Karla Benítez de Escamilla por su comprensión y apoyo. A Don Jaime Santos, Niña Lupita Sánchez y Henry Rivera por su compañerismo y su apoyo.

Al Personal Técnico del Laboratorio del ISCYC: Ing. Ricardo Burgos (Jefe de Laboratorio) por la accesibilidad al realizar ensayos y pruebas en laboratorio, Ing. Jaime Ávalos por su colaboración cuando fue requerida. Al Técnico: Julio A. Hernández.

A mis nuevos amigos y compañeros: Ing. Dimas Alí García, Víctor Samuel Ramírez, Ronald Retana Pineda; que en su momento llegue a decir que eran mis compañeros de tesis, gracias por su apoyo, correcciones, por el equipo que hicimos en este trabajo, sin ustedes no hubiera sido posible realizar con éxito los ensayos y pruebas de laboratorio, les estoy muy agradecido, les deseo lo mejor en sus vidas personales y profesionales. A Gabriela de González aunque ya no estás pero gracias por el apoyo cuando fue requerido. A Valeria Pacheco por tu compañerismo y colaboración.

A la Empresa **HOLCIM EL SALVADOR y FUNDACESSA**, por ser parte fundamental en el Tramo de Prueba, por innovar la Construcción Auto Sostenible apoyando proyectos que benefician el Medio Ambiente. Por el aporte de la maquila y colocación del concreto permeable en el proceso constructivo del tramo de prueba. Todo esto demuestra la calidad de empresa que invierte en nuevas tecnologías de construcción y en la investigación para el beneficio de una nueva sociedad. A las siguientes personas que colaboraron fuertemente en este proyecto:

Lic. Ricardo Chávez Caparroso

Ing. Hernán Pimentel

Ing. Mario Avelar

Ing. Guillermo Flores

Ing. Steve Domínguez

Ing. César Vega Rodríguez

Técnico Elías García

A las personas que de alguna manera me ayudaron a concretar este proyecto con su apoyo: Marvin Ayala, Leonardo Hernández, Ivy Juárez y Tatiana Vanesa Flores en el área de topografía. Saira Alexandra Maravilla Machado en la documentación. Técnico

David Guevara en la digitalización de planos. Técnicos: Gabriela Beatriz Aguirre y Josué Alberto Robles en ensayos de laboratorio.

Mis amigos del área básica: David Eliseo Martínez y Hazzel Beatriz Flores, los estimo mucho. Gracias por su amistad.

A mis compañeros de universidad: Chepy Orellana Mayorga, Mauricio Amaya, Jenny Melgar, Lissandra Soriano, Carlos Leonardo Hernández, Salvador Velásquez, Melvin Alvarado, Humberto Cuéllar, Elder Santos Fabián, Merlin Sánchez, Tatiana Vanesa Flores, Luis Carranza, Ítalo González, Juan Carlos Rico, Gonzalo Mena, César Castaneda, Carlos Díaz, Guillermo Escobar, Noel López, Isidro García, Ernesto Muñoz, Alfredo Ramírez; por brindarme su compañerismo y darme ánimos a lo largo de la carrera.

A mi gran y estimada amiga aún en la distancia: Wilbeth Lugo, gracias por tu apoyo a través de todos estos años, te quiero mucho.

Son muchas personas a las que debo agradecimientos, aún aquellas que en el camino fueron como piedras en el camino, sabiendo hoy en día que era para cumplir un propósito; sirva el presente trabajo un beneficio para todos ellos y para las futuras generaciones de nuestro país.

DEDICATORIA

מוֹדָה (מוֹדָה) אֲנִי לְפָנֶיךָ מֶלֶךְ חַי וְקַיִים. שְׁהַחֲזִירְתָּ בִּי נְשָׁמָתִי בְּחַמְלָה. רַבָּה אֲמוּנָתְךָ

Doy gracias ante ti, Oh Rey Vivo y Eterno, por haberme devuelto bondadosamente el alma;

Grande es Tu fidelidad

Quiero dedicar este logro primeramente a IAHWEH (יהוה) la razón de mi existir, La Fuente de Luz, El Origen de Todo. “Modeh Aní” (Doy gracias) por ayudarme a encontrar en esta vida una razón, un propósito para compartir las capacidades y habilidades que has depositado en mí. Por guiarme en el camino de la vida, y estar pendiente de mi caminar. Es quien me ha sostenido, me ha sustentado y me ha permitido llegar a culminar esta meta. A Ti sea el esplendor y la honra por la eternidad.

A mi madre Milagro de la Cruz Sánchez y mi padre por haberme concebido

A mi Madre: Milagro de la Cruz Sánchez de Vigil, por ser bastión en mi vida, porque aparte de ser el medio para venir a este mundo, es mi compañera, amiga y la mejor madre del mundo al darme de su amor. Te convertiste en madre y padre a la vez para sobrellevar la responsabilidad del hogar y siempre inculcaste en mí y mis hermanos valores y principios para vivir en una sociedad justa, solidaria y más humana, además de los valores espirituales, para ser personas de bien y saber la importancia de la consecuencia de nuestros hechos. Gracias porque en todos estos años has sido un motor para la consecución de este grado académico, es uno de los mayores regalos que has podido darme; gracias por estar pendiente del trabajo desarrollado por las pláticas de días y altas horas de la noche, por tu confianza y porque no me defraudaste nunca. Porque desde muy pequeños nos hiciste partícipes de estudiar en el Alma Máter del cual también tú te graduaste, por todo lo que has hecho por mí y mis hermanos ¡Te Amo Mamá!

A mí estimada y recordada Abuelita: María Teresa Sánchez Flores. Han transcurrido ya 11 años y sigo extrañando su presencia; su ejemplo en integridad, dedicación, cariño y amor queda grabado en nuestros corazones, ha sido un gran privilegio el habernos dedicado su tiempo y enseñanzas. Sé que usted está gozando en la dimensión que se encuentra e intercede también a favor nuestro. Espero que algún día nos reunamos y celebremos la vida ¡Te Amo Abuelita Tere!

A mis hermanos: Carlos Alexander Vigil Sánchez y familia, por tus sabios consejos, apoyo y amistad. Ariel Osmín Vigil Sánchez, por tu amistad, apoyo y por la hermosa sobrina. Jairo Aarón Vigil Sánchez, por tu ejemplo, dedicación y apoyo. Hermanos los amo mucho y les deseo lo mejor, les agradezco por estar presentes en mi vida, son parte esencial e importante en el transcurrir de mi vida, vaya pues por ustedes también este logro alcanzado.

A las hermosas princesitas, mis sobrinitas: Naara Isabella Vigil Zelaya y Victoria Hadara Vigil Agreda, al verlas dan ganas de vivir para verlas crecer y sobre todo de trabajar para que encuentren un mundo mucho mejor del que estamos. Por los sobrinos y sobrinas que han de venir. Cuñada Marielos Agreda de Vigil, sobrino Enrique Agreda.

A mi futura esposa e hijos, pronto estaremos juntos y en su tiempo estaremos satisfechos de haber realizado juntos este trabajo. Las piezas se seguirán moviendo a nuestro favor.

A mis tíos que han estado pendientes de nosotros y aún en la distancia han sido como padres. Gracias Tía Gladys y Fabio Rodríguez. Tío Domingo Jesús Sánchez y Jesús Sánchez. Tío Pablo Sánchez y Beatriz Sánchez. Miguel y Celeste Ferrary. A todos mis primos y primas: Dinora, Ligia, Pablo, Joseph, Adilis, Gerson, Daniel, Dámaris, Heber. Sobrinas y sobrinos: Jensine, Jairo, Giselle, Alex, Daniel, Eliyah, Pablo, Emma. Tía Noemí Sánchez de Clara y familia, Mila López Viuda de Sánchez que desde pequeños nos ha inculcado principios morales y espirituales.

Mis primos: César Emilio Montalvo, Julio Montalvo, Jorge Alberto Montalvo y sobrinos: Karlita, Fernanda, Marianita, Valentín, Camilita.

A mis amigos: Ing. Marvin Emmanuel Ayala Loza e Inga. Ivy Eneida Juárez Alarcón. Aunque no logramos terminar juntos este proyecto de carrera, somos amigos y compañeros en desvelos, trabajos, aún en caídas pero siempre supimos levantarnos. Gracias por apoyarme en este trabajo de graduación y por estar pendientes del proceso, les estimo y aprecio mucho.

Amigos de la familia que a través de todos estos años han compartido su compañerismo y amistad.

Por último, dedico este trabajo a todos los que soñamos con un mundo mejor, que nos ilusionamos en las cosas que parecen locuras para otros y que rompen paradigmas; para aquellos que me han dado la oportunidad de estudiar en la Universidad de El Salvador y que a través de sus impuestos logran sostener la casa de estudios, hablo de los pequeños, los desfavorecidos de nuestra sociedad; espero que algún día no muy lejano puedan ser partícipes de los beneficios de este trabajo.

Todo tiene un propósito, las buenas oportunidades vienen disfrazadas de malas ocurrencias. Todo es para bien.

☆ לַחַיִּים! Le jaim! (¡Por la Vida!)

A cada sueño, cada idea, cada amor, entrégate con pasión, lleva siempre la verdad en tu interior y tu propia religión.

INDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
CAPÍTULO I	1
1.1. INTRODUCCION	2
1.2. ANTECEDENTES.....	4
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
1.4. OBJETIVOS	8
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	8
1.4.2. OBJETIVO ESPECIFICOS.....	8
1.5. ALCANCES	10
1.6. LIMITACIONES	11
1.7. JUSTIFICACION	12
CAPÍTULO II	13
2.1. INTRODUCCIÓN	14
2.2. GENERALIDADES DEL CONCRETO PERMEABLE.....	15
2.2.1. General	15
2.2.2. Ventajas, Inconvenientes y Desafíos.....	18
2.2.3. Aplicaciones en Pavimentos	21
2.2.3.1. Superficies de rodadura	23
2.2.3.2. Estacionamientos vehiculares.....	23
2.2.3.3. Carreteras.....	24
2.2.3.4. Drenajes laterales	25
2.2.3.5. Hombros	26
2.2.4. Otras aplicaciones	26
2.2.4.1. Drenajes.....	26
2.2.4.2. Invernaderos	27

2.2.4.3.	Canchas de tenis.....	27
2.2.4.4.	Barreras de sonido y construcción de muros	28
2.2.5.	Efecto de Islas de Calor	28
2.3.	CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES Y DE LA MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE.....	31
2.3.1.	Agregados	32
2.3.1.1.	Agregado grueso	35
2.3.1.2.	Agregado fino	37
2.3.1.3.	Relación ponderal entre el agregado fino y el agregado grueso (F/G) ..	39
2.3.2.	Cemento.....	40
2.3.3.	Agua	41
2.3.4.	Aditivos	43
2.3.5.	Otros materiales	45
2.4.	PROPIEDADES DE INGENIERIA DEL CONCRETO PERMEABLE	47
2.4.1.	General	47
2.4.2.	Propiedades del concreto permeable en Estado Fresco.....	48
2.4.3.	Propiedades del concreto permeable en Estado Endurecido.....	50
2.4.3.1.	Resistencia a la Compresión	50
2.4.3.2.	Resistencia a la Flexión	54
2.4.3.3.	Contenido de Vacíos y Peso Unitario	57
2.4.3.4.	Tamaño de Poros.....	60
2.4.3.5.	Tasa de Filtración.....	62
2.4.3.6.	Durabilidad	67
2.4.3.7.	Dureza	69
2.4.3.8.	Absorción acústica	70
2.4.3.9.	Contracción.....	72
2.4.3.10.	Adherencia agregado – pasta	72
2.5.	MÉTODOS DE DISEÑO.....	73

2.5.1.	SEGÚN COMITÉ ACI 211.3-02 – GUIA PARA SELECCIONAR PROPORCIONES DE CONCRETO SIN REVENIMIENTO.....	73
2.5.1.1.	Materiales	73
2.5.1.2.	Relación agua/material cementante.....	73
2.5.1.3.	Porcentaje de vacíos	74
2.5.1.4.	Cantidad de agregado grueso.....	74
2.5.1.5.	Procedimiento de Dosificación.....	77
2.5.2.	SEGÚN ACI 522-10 – REPORTE SOBRE CONCRETO PERMEABLE...	79
2.5.3.	SEGÚN NRMCA – METODOLOGÍA DE LA NATIONAL READY MIXED CONCRETE ASSOCIATION (NRMCA)	83
2.5.3.1.	PASO 1 – Propiedades de los Agregados.....	84
2.5.3.2.	PASO 2 – Calcular el Volumen de Pasta Necesario para el Concreto Permeable	86
2.5.3.3.	PASO 3 – Determinación de la Relación Agua/ Cemento (w/cm)	88
2.5.3.4.	PASO 4 – Estimación del Peso de Cemento, Agua y Agregados.....	91
2.5.3.5.	PASO 5 – Determinar el Tipo y la Dosificación de los Aditivos que serán Utilizados.....	95
2.5.3.6.	PASO 6 – Determinación de la Dosificación de Mezcla para Bachadas de Prueba y Modificando Proporciones de Mezcla	96
2.5.4.	Experiencia Salvadoreña, Tesis Universidad Politécnica de El Salvador “Diseño de Mezcla de Concreto Poroso para Pavimentos Hidráulicos en El Salvador	98
2.6.	DOSIFICACIONES.....	104
2.6.3.	ACI – American Concrete Institute - Comité ACI 522.....	106
2.7.	DISEÑO ESTRUCTURAL.....	107
2.7.1.	General	107
2.7.2.	Resistencia del Concreto	113
2.7.3.	Selección del espesor de la estructura.....	113
2.8.	DISEÑO HIDROLÓGICO.....	122
2.8.1.	General	122
2.8.3.	Tasas de Exfiltración	126

2.8.4.	Tormenta de Diseño	128
2.8.5.	Diseño de Drenaje	131
2.8.6.	Capacidad de Almacenamiento.....	135
2.8.7.	Efecto de pendiente	137
2.8.8.	Capacidad Efectiva de Almacenamiento – Recuperación de Infiltración. ..	141
2.9.	DISEÑO DE JUNTAS	143
2.10.	PROCESO CONSTRUCTIVO.....	144
2.10.1.	Preparación de la Subrasante y Sub-base.....	144
2.10.2.	Formaletas	146
2.10.3.	Elaboración y Transporte del Concreto Permeable	147
2.10.4.	Métodos de Colocación y Consolidación	148
2.10.5.	Colocación y Compactación del Concreto.....	149
2.10.5.1.	Equipo de colocación y aserrado.....	151
2.10.5.2.	Acabado	152
2.10.5.3.	bordes.....	152
2.10.5.4.	Tolerancias	152
2.10.6.	Juntas	153
2.10.7.	Curado y protección.....	155
2.10.8.	Apertura al Tráfico	156
2.11.	CONTROL DE CALIDAD	157
2.11.1.	General.....	157
2.11.2.	Requisitos antes de la construcción	158
2.11.2.1.	Paneles de Prueba:	159
2.11.2.2.	Cemento	160
2.11.2.3.	Subrasante	161
2.11.3.	Control de Calidad durante la construcción	161
2.11.3.1.	Condición de maquinaria y equipo	162
2.11.3.2.	Ensayos al concreto fresco	162
2.11.4.	Control de Calidad post construcción	163

2.11.4.1.	Peso unitario	163
2.11.4.2.	Contenido de vacíos.....	164
2.11.4.3.	Resistencia a la Compresión	164
2.11.4.4.	Resistencia a la Flexión	165
2.11.4.5.	Permeabilidad.....	166
2.11.4.6.	Porcentaje de Vacíos en la Mezcla	166
2.11.5.	Check List	168
2.11.5.1.	Lista de Requisitos Obligatorios	168
2.11.5.2.	Lista de Requisitos Opcionales	169
2.12.	MANTENIMIENTO.....	170
CAPÍTULO III		171
3.1	INTRODUCCIÓN	172
3.2	. CONDICIONES DEL TRAMO DE PRUEBA EXPERIMENTAL.....	173
3.2.1	Ubicación Geográfica (Ver Plano Adjunto 1/3 – Plano de Ubicación)	173
3.2.2	Características del Lugar	175
3.2.3	Diseño Geométrico.....	176
3.2.4	Estructura del Pavimento (ver Plano Adjunto 2/3 – Estructura del Pavimento) 178	
3.3	ESTUDIOS PREVIOS AL DISEÑO ESTRUCTURAL	179
3.3.1	Tráfico	179
3.3.2	Suelo.....	179
3.3.3	Obtención de Muestras	180
3.4	ENSAYO DE LABORATORIO DE MUESTRA DE SUELO	182
3.4.1	Análisis Granulométrico (ASTM D-422).....	182
3.4.2	Clasificación AASHTO de las Muestras de Suelo Analizadas.....	184
3.4.3	Determinación en Laboratorio de las Características de Compactación de los Suelos (BASADA EN AASHTO T 99-01).....	185
3.4.4	Prueba Próctor Modificada (ASTM D-1557, AASHTO T-180).....	186
3.4.5	Prueba de Relación de Soporte de los Suelos (ASTM D-1883, AASHTO T-193)	188

3.4.6	Ensayo de Placa de Carga Estática No Repetitiva (AASHTO T 222).....	195
3.5	DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE	198
3.5.1	El muestreo de Agregado fue realizado en El Plantel Chanmico de Holcim Concretos, El Salvador, se hizo conforme a la Norma ASTM D75-03 “Práctica Estándar para Muestreo de Agregados”.....	198
3.5.2	Gravedad Específica Agregado Grueso.....	200
3.5.3	Peso Unitario Agregado Grueso	201
3.5.4	Granulometría de Agregado Grueso	202
3.5.5	Elaboración de Especímenes	208
3.5.4.1	Especímenes Cilíndricos	208
3.5.4.2	Especímenes Prismáticos	210
3.6	DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA DE LOS ESPECIMENES ELABORADOS	212
3.6.1	Resistencia a la Compresión.....	212
3.6.2	Resistencia a la Flexión.....	215
3.6.3	Módulo de Elasticidad Estático	217
3.6.4	Desgaste en Máquina de los Ángeles.....	219
3.7	DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL CONCRETO PERMEABLE.....	221
3.7.1	Peso Unitario y Contenido de Vacíos	221
3.7.2	Permeabilidad	223
3.8	DISEÑO ESTRUCTURAL DEL TRAMO DE PRUEBA	225
3.9	DISEÑO DE JUNTAS	228
3.10	DISEÑO HIDROLÓGICO DEL TRAMO DE PRUEBA	229
3.10.1	Desarrollo del Software.....	232
3.10.2	Resumen de Resultados.....	235
3.11	CONDICIONES NECESARIAS DEL PROYECTO	236
3.11.1	Clima	236
3.11.2	Reunión Preparatoria.....	236
3.12	PROCESO CONSTRUCTIVO DEL TRAMO DE PRUEBA	237

3.12.1	Labores Iniciales	237
3.12.2	Terracería, Desalojo, Conformación y Compactación de Subrasante (Ver Plano Adjunto 3/3 – Cortes y Terracería)	237
3.12.3	Colocación y Compactación de Sub Base	238
3.12.4	Elaboración y Transporte del Concreto	238
3.12.5	Colocación, Compactación, Curado del Concreto Permeable.....	239
3.12.6	Aserrado de Juntas (Ver Plano 1/3 – Estructura del Pavimento).....	243
3.12.7	Apertura al Tráfico	243
3.13	METODOLOGÍA PARA EL CONTROL DE CALIDAD	244
3.13.1	Terracería, Compactación y Nivelación de Subrasante.....	244
3.13.2	Colocación y Compactación de la Sub Base de Grava	245
3.13.3	Proceso Constructivo.....	245
3.13.3.1	Concreto Permeable	245
3.13.3.2	Concreto Convencional	246
3.13.3.3	Colocación Escoria Volcánica.....	246
3.13.3.4	Aserrado o Corte de Juntas	247
3.13.3.5	Curado	247
3.13.3.6	Permeabilidad	247
3.14	MONITOREO DEL PAVIMENTO A CORTO PLAZO	248
3.14.1	Observaciones de Campo	248
3.14.1.1	Evaluación Cualitativa	248
3.14.1.2	Evaluación Cuantitativa	248
3.15	CHECK LIST PROCESO CONSTRUCTIVO	250
3.16	PRESUPUESTO DE TRAMO EXPERIMENTAL DE UN PAVIMENTO DE CONCRETO PERMEABLE – a la fecha	253
	CAPÍTULO IV	260
4.1.	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	261
4.2.	RELACIÓN DENSIDAD HUMEDAD (PRÓCTOR).....	266
4.2.1.	Próctor Estándar (AASHTO T 99).....	266

4.2.2. Próctor Estándar (AASHTO T 180).....	266
4.3. PLACA DE CARGA ESTÁTICA NO REPETITIVA	267
4.4. VALOR DE SOPORTE DEL SUELO, CBR.....	268
4.5. DISEÑO DE MEZCLA.....	269
4.6. PESO UNITARIO Y CONTENIDO DE VACÍOS	271
4.7. TASA DE PERMEABILIDAD	272
4.8. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	272
4.9. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.....	273
4.10. MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO.....	274
4.11. DISEÑO ESTRUCTURAL	274
4.12. DISEÑO HIDROLÓGICO.....	275
CAPÍTULO V	280
5.1. CONCLUSIONES	281
5.2. RECOMENDACIONES	285
BIBLIOGRAFÍA.	288
ANEXOS	294

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO II

FIGURA 2.1 – Variación de las proporciones usadas en concretos convencionales, en volumen absoluto.	16
FIGURA 2.2 – Proporciones usadas en Concreto Permeable, sin agregado fino.	16
FIGURA 2.3 – Porcentaje de captación y escorrentía de agua lluvia	17
FIGURA 2.4 – Baldosa de drenaje	27
Figura 2.5 – Sección transversal típica de una ciudad mostrando como son generalmente las temperaturas.	30
FIGURA 2.6 – Gráfico de la Resistencia a la Compresión versus Contenido de Aire en Especímenes de Concreto Pemeable.	51
FIGURA 2.7 – Gráfica de la Resistencia a la Compresión versus Peso Unitario en Concreto Permeable	52
FIGURA 2.8 – Gráfico de Contenido de Aire para dos Grados de Compactación versus la Relación agua/material cementante (a/mc).	53
FIGURA 2.9 – Gráfico de la Resistencia a la Flexión en Vigas versus Contenido de Vacíos	55
FIGURA 2.10 – Gráfica de la Comparación entre la Resistencia a la Flexión versus Resistencial a la Compresión.	56
FIGURA 2.11 – Relación de la Resistencia a la Flexión versus Porcentaje de Porosidad	56
FIGURA 2.12 – Relación Porosidad versus Porcentaje de agregado	59
FIGURA 2.13 - Tamaño de Poro versus Tamaño de Agregado	61
FIGURA 2.14 – Tamaño de Poro versus Porcentaje de Agregado más grande	62
FIGURA 2.15 – Percolación versus Contenido de Vacíos en cilindros	63
FIGURA 2.16 – Permeámetro de carga variable	64
FIGURA 2.17 – Tubo de impedancia para medir las características de absorción acústica del concreto permeable	71

FIGURA 2.18 — 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).	76
FIGURA 2.19 — Relación entre el Contenido de Vacíos y Resistencia a la Compresión a los 28 días para Agregados de Tamaño No. 67 y No. 8 de la Norma ASTM C 33.	76
FIGURA 2.20 — Relación entre pasta y contenido de vacíos para agregados de Tamaño N° 8 según designación de la Norma ASTM C 33.	78
FIGURA 2.21 – Molde del cono de flujo	89
FIGURA 2.22 – Muestras del flujo en mezclas de prueba	89
FIGURA 2.23 – Rangos visuales (1-5) de la trabajabilidad del Concreto Permeable	90
FIGURA 2.24 – Tipos de Tormentas en los Estados Unidos de América.	130
FIGURA 2.25 – Estructura de típica de un sistema de pavimento de concreto permeable	135
FIGURA 2.26 – Comparación de un sistema de concreto permeable con terreno nivelado y plano (A) y con pendiente (B)	138
FIGURA 2.27 – Cama de recarga (A) o Pozo (B) será necesario para pavimentos con pendientes.	140
FIGURA 2.28 – Presas colocadas a lo largo del tramo del sistema de concreto permeable	140
FIGURA 2.29 – Uso de terracería en tramos largos de un sistema de concreto permeable	141
FIGURA 2.30 – Recuperación de la Capacidad de Almacenamiento del Sistema	143
FIGURA 2.31 – Preparación de la sub-base	145
FIGURA 2.32 – Colocación de sub-base y formaletas	146
FIGURA 2.33 – Transporte de concreto permeable en camiones premezcladores.	148
FIGURA 2.34 – Proceso de descarga, colocación y equipos de compactación del concreto permeable	151
FIGURA 2.35 – Acabado de superficie y textura del pavimento	153

FIGURA 2.36 – Corte de juntas en concreto permeable en estado fresco (“cortador de pizza”)	155
FIGURA 2.37 – Colocación de capa plástica para curado	156
FIGURA 2.38 – Posición del espécimen de concreto para el Ensayo a Flexión por el Método de la Carga aplicada en el Tercio Medio del claro.	165

CAPÍTULO III

FIGURA 3.1 – Ubicación del Tramo de Prueba Experimental, Universidad de El Salvador, Campus Central, San Salvador.	173
FIGURA 3.2 – Ubicación del Tramo de Prueba Experimental	174
FIGURA 3.3 – Tramo de Prueba Experimental	175
FIGURA 3.4 – Representación Gráfica de Elementos de un Estacionamiento	176
FIGURA 3.5 – Calicatas realizadas en la zona propuesta para el Tramo de Prueba para la caracterización del suelo y obtención de parámetros de diseño	181
FIGURA 3.6 – Apilamiento de Agregado Grueso y Muestreo de Agregado Grueso, según ASTM D75-03	198
FIGURA 3.7 – Datos Generales y Características del Agregado	203
FIGURA 3.8 – Campos de Entrada para las características del Cemento/ Aditivos / Requisitos de la Mezcla	204
FIGURA 3.9 – Valores calculados para una yarda cúbica de concreto permeable.	205
FIGURA 3.10 – Cantidades de material para bachadas de moldeo de especímenes.	205
FIGURA 3.11 – (A) Muestra de mezcla de concreto permeable elaborada en laboratorio según ASTM C94. (B) Mezcla vertida sobre carretilla para luego elaborar especímenes de ensayo.	207
FIGURA 3.12 – (A) Ensayo al Concreto Permeable en Estado Fresco, “Peso Unitario y Contenido de Vacíos” conforme a la Norma ASTM C1688. (B) Peso del recipiente más el volumen de concreto	207

permeable para luego registrar su valor y calcular el peso volumétrico y contenido de vacíos.	
FIGURA 3.13 – Cilindros Moldeados de Concreto Permeable (4” x 8”)	209
FIGURA 3.14 – Moldeo de Espécimen Prismático Viga de Concreto Permeable	211
FIGURA 3.15 – Espécimen Prismático de Concreto Permeable	211
FIGURA 3.16 – (A) Colocación de almohadillas de neopreno a espécimen de concreto permeable. (B) ajuste de espécimen de concreto permeable en la máquina de ensayo a la compresión. (C) Ensayo de resistencia a la compresión. (D) Especímenes ensayados, observamos la falla típica en estos especímenes	213
FIGURA 3.17 – Ensayo a la Flexión de Vigas de Concreto Permeable	215
FIGURA 3.18 – Colocación del anillo compresómetro – extensómetro para el Ensayo de Módulo de Elasticidad Estático.	217
FIGURA 3.19 – (A) Especímenes perfilados para el ensayo, (B) Especímenes colocados en la máquina de desgaste mediante la Máquina de los Ángeles, (C) Especímenes ensayados entre sí a 300 Revoluciones.	220
FIGURA 3.20 – (A) Especímen de concreto permeable a ensayarse, (B) Permeámetro de carga variable elaborado en el CI – ISCYC.	223
FIGURA 3.21 – Ensayo de Permeabilidad en laboratorio del Concreto Permeable	223
FIGURA 3.22 – Selección del Sistema de Unidades con el que trabajaremos	226
FIGURA 3.23 – Pantalla de introducción de parámetros obtenidos para el diseño de espesores	226
FIGURA 3.24 – Pantalla de resultados del Tramo de Prueba en el Programa AIRPORT.EXE	228
FIGURA 3.25 – Mapa Distribución de Lluvia Precipitada del Evento DT12E (10 – 19 de Octubre 2011)	229
FIGURA 3.26 – Comparación de lluvias que han afectado a la infraestructura vial en El Salvador	230
FIGURA 3.27 – Distribución de Tipos de Lluvia según SCS (Para 24 horas)	232
FIGURA 3.28 – Introducción de los Detalles del Proyecto.	232

FIGURA 3.29 – Datos del Concreto Permeable, Sub base, Tasa de Exfiltración del Sistema de Concreto Permeable (Infiltración del Suelo), Superficie Impermeable, Superficie de Drenaje (Área y Curva Número).	233
FIGURA 3.30 – Datos de lluvia, Curva Número Objetivo.	233
FIGURA 3.31 – Datos introducidos, resultados de la escorrentía en el sistema.	234
FIGURA 3.32 – Resumen de resultados finales e intermedios.	234

CAPÍTULO IV

FIGURA 4.1 – Gráfico de simulación de lluvia de diseño distribuida en 24 horas	278
--	-----

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO II

TABLA 2.1 – Influencia de los Agregados en el Concreto Permeable en Estado Fresco y Endurecido.	38
TABLA 2.2 – Valores Permisibles de Sustancias Químicas en el Agua	42
TABLA 2.3 – Valores Efectivos de b/bo	75
TABLA 2.4 – Dosificación de Cemento en Granulometría con Adiciones de Arena.	98
TABLA 2.5 – Rango Típico de Proporciones de Concreto Permeable	106
TABLA 2.6 – Tipos de suelos y valores medios de sus capacidades.	108
TABLA 2.7 – Valores de Soporte aproximados para Suelos de Subrasantes.	109
TABLA 2.8 – Valores de Densidades Secas, CBR y Módulo de Reacción “K” para distintos tipos de suelo	110
TABLA 2.9 – Módulos de Reacción de Subrasante “k” Compuesto	112
TABLA 2.10 – Tabla de Espesor de Diseño para Pavimentos de Concreto Permeable (Tabla 2.10 A – Tabla 2.10 B)	116
TABLA 2.11 – Expectativas Generales de Permeabilidad	127

CAPÍTULO III

TABLA 3.1 - Dimensiones de espacio para Estacionamiento	177
TABLA 3.2 - Sistema de clasificación de suelos AASHTO.	184

CAPÍTULO IV

TABLA 4.1 – Clasificación de Suelos “SUCS”	263
TABLA 4.2 – Sistema de Clasificación de Suelos AASHTO	264
TABLA 4.3 – Requerimientos de Graduación para Suelos	265
TABLA 4.4 – Distribución de cantidad de lluvia precipita en minutos en un período de 24 horas	279

ÍNDICE DE FORMATOS

CAPÍTULO III

Análisis Granulométrico (ASTM D-422)	182
Determinación en Laboratorio de las Características de Compactación de los Suelos (Basada en AASHTO T99-01)	185
Prueba de Próctor Modificada (ASTM D-1157, AASHTO T-180)	186
CBR Condición Saturada	189
CBR Condición Drenada	192
Ensayo de Placa de Carga Estática No Repetitiva (AASHTO T-222)	195
Gravedad Específica Agregado Grueso	200
Peso Unitario Agregado Grueso	201
Granulometría de Agregado Grueso	202
Resistencia a la Compresión	214
Resistencia a la Flexión	216
Módulo de Elasticidad Estático	218

Desgaste por la Máquina de Los Ángeles	220
Densidad y Contenido de Vacíos en Mezcla de Concreto Permeable	222
Permeabilidad Mediante Permeámetro de Carga Variable	224
Hoja de Colado de Concreto Permeable	241
Ubicación de Losas del Pavimento de Concreto Permeable	242
Check List de Proceso Constructivo	250

CAPÍTULO I

Generalidades

1.1. INTRODUCCION

El pavimento de concreto permeable es una alternativa respecto al pavimento de concreto convencional para vías de bajo tráfico, estacionamientos vehiculares, aceras, ciclovías, etc. Una situación incómoda que puede generarse debido a deficiencias en el diseño hidráulico o a las condiciones topográficas de la vía en calles construidas con el concreto convencional son las películas de agua estancada en la superficie del pavimento, generando así la pérdida de adherencia entre la llanta del vehículo con la superficie del pavimento produciendo una inestabilidad de contacto entre estos, fenómeno conocido como “hidroplaneo”; además los períodos intensos de lluvias, pueden hacer colapsar los sistemas de drenaje, por lo que se necesita que disminuya el caudal para no saturar dicho sistema.

Para atenuar estos efectos, en los últimos años se ha desarrollado a nivel mundial un modo alternativo de diseñar los pavimentos de estacionamientos y calles de bajo tránsito, construyendo estructuras que permiten el paso del agua a través de la capa superficial hacia su interior, donde se almacena para ser infiltrada si el terreno lo permite, o para ser conducida a un sistema de recolección de forma controlada. De este modo, se disminuye la acumulación de agua en su superficie y el escurrimiento superficial aguas abajo.

Este documento describe algunos antecedentes del uso del concreto permeable como capa de rodadura para pavimentos en otros países. Se plantea la problemática de la presente investigación y se trabaja sobre la base de los objetivos, alcances y limitaciones, justificaciones que motivaron el estudio para esta técnica. La teoría es parte indispensable para poder abordar conceptos relacionados con la técnica de los pavimentos de concreto permeable; pero la parte medular de este trabajo de graduación está en la propuesta del Diseño, Proceso Constructivo y Evaluación Post Construcción de un Pavimento Rígido de Concreto Permeable; donde se establecen los parámetros y actividades a seguir para el proyecto que se llevará a cabo en las instalaciones de la Universidad de El Salvador.

Se concluye en base al trabajo realizado en lo que respecta al diseño de mezcla elaborado en el Laboratorio del Centro de Investigaciones del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (CI-ISCYC), los ensayos realizados al suelo de subrasante, el diseño de la estructura del pavimento, parámetros que intervienen en el proceso constructivo y la evaluación luego de construida.

1.2. ANTECEDENTES

En los últimos años existe un creciente interés por la aplicación del concreto permeable en pavimentos rígidos, cuya función ha ido evolucionando; pasando por sub bases y bases, hasta capas de rodadura. Es decir funciones de mayor responsabilidad. La diferencia del concreto permeable respecto al concreto convencional radica en la poca o nula presencia de agregado fino en la mezcla de concreto permeable ya que su objetivo es que el agua filtre a través de su estructura.

Las primeras experiencias con pavimentos permeables utilizando concreto hidráulico se realizaron en EEUU, Suecia y Japón desde los años setenta. La investigación y aplicación del concreto permeable ha ido en avanzada. Su aplicación ya cuenta con millones de m² de pavimentos permeables en Francia, España, Japón, Alemania entre otros. Es importante destacar que el uso principal en EEUU es para el manejo de aguas lluvias, permitiendo que infiltre al subsuelo; en Europa se usa para mejorar la resistencia al deslizamiento y reducir el ruido del tráfico. En EEUU para el año 2006 más de 30 estados utilizan el pavimento permeable y participan 17 universidades en la investigación, asociaciones de concreto, empresas especializadas y administraciones locales.

La aplicación del concreto permeable es reconocida por la Agencia Americana de Protección al Medio Ambiente (EPA, por sus siglas en inglés) como Mejor Práctica de

Manejo (BMP), ya que reduce las cargas de polución que puedan entrar a ríos, lagunas y arroyos; filtrando de manera natural el agua de lluvia, facilitando la recarga de los suministros de agua subterránea localmente.

El Instituto Americano del Concreto (ACI, por sus siglas en inglés) dentro de sus comités, específicamente ACI 522R-06 “Pervious Concrete”, ACI 522.1-08 “Specification for Pervious Concrete Pavement”, ACI 522R-10 “Report on Pervious Concrete”; estudian el concreto permeable, sus aplicaciones, materiales, propiedades, proporciones de mezcla, diseño de pavimentos permeables, proceso constructivo y control de calidad de los mismos. La PCA (Portland Cement Association) lo menciona como concreto permeable o poroso, que contiene poco o ningún fino, e insuficiente pasta de cemento para rellenar los vacíos entre las partículas de agregado grueso.

Varios países han adoptado el proceso constructivo de acuerdo a su conveniencia; para la presente investigación teórica – experimental, servirá de guía el comité ACI522R-10.

En El Salvador no existe ninguna experiencia física (tramo de prueba, proyecto urbano vial o parqueo) de esta técnica. Sin embargo se cuenta con un trabajo de graduación de la Universidad Politécnica de El Salvador realizada en el año 2009 que lleva por título “Diseño de Mezclas de Concreto Poroso para Pavimentos de Concreto Hidráulico en El Salvador”; esta investigación fue realizada con un enfoque de laboratorio específicamente en el diseño de mezclas. Como resultado se obtuvo una mezcla que

presenta las siguientes características: Módulo de Ruptura es de 27 kg/cm^2 , $f'c = 100.2 \text{ kg/cm}^2$, Porcentaje de vacíos del 21.25% y una Permeabilidad promedio de 0.29 cm/seg (174 lts/min/m^2).

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El extenso uso de pavimentos impermeables trae consigo, sobre todo en áreas de un importante desarrollo urbano, considerables problemas en la evacuación de las aguas lluvias y en las condiciones de escurrimiento aguas abajo. El creciente uso de estas estructuras en áreas urbanas, disminuye notoriamente la capacidad de recarga natural de agua en los terrenos, e incrementa de forma considerable el caudal del escurrimiento superficial llevando consigo una mayor carga contaminante, aumentando el riesgo de provocar inundaciones en los sectores más bajos de las urbanizaciones.

Ante la problemática de la acumulación de agua sobre la superficie del pavimento en periodos intensos de lluvia, generando hidropneumático, y el posible colapso del sistema de drenajes por el aumento del caudal debido a la escorrentía y que como solución no se plantea la eliminación sistemática del agua, sino, mas bien el impedir que se acumule en la superficie, llevándola al respectivo sistema de alcantarillado a través de una capa de pavimento rígido permeable.

Siendo inexistente el uso de esta técnica en nuestro país, surge una oportunidad de comenzar el desarrollo de estos.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

- Elaborar una propuesta de diseño para un Pavimento Rígido de Concreto Permeable, que permita evaluar el proceso constructivo en general; desde la elaboración del concreto, transporte, colocación y control de calidad del mismo.

1.4.2. OBJETIVO ESPECIFICOS

- Realizar un diseño de mezcla de Concreto Permeable y ajustarlo para verificar las características mecánicas e hidráulicas que posee, para su posterior utilización en la capa de rodadura del pavimento en el tramo de prueba a construir
- Realizar ensayos al suelo de subrasante para conocer la capacidad de carga del suelo, el grado de compactación y la permeabilidad del mismo.
- Diseñar la estructura del pavimento de Concreto Permeable para un tramo de prueba
- Establecer parámetros para la elaboración y colocación del concreto y evaluar dichas operaciones.

- Proponer un programa de evaluación post construcción, mediante métodos inspectivos tanto destructivos como no destructivos del tramo de prueba a realizarse, con el objetivo de verificar el cumplimiento de los valores obtenidos según lo definido durante la etapa del diseño de la mezcla.

1.5. ALCANCES

La investigación está orientada al diseño y evaluación del proceso constructivo de un tramo de prueba experimental de un pavimento rígido de concreto permeable por lo que se realizarán las gestiones ante la Universidad de El Salvador y empresa privada para el apoyo y financiamiento de la construcción del Tramo de Prueba Experimental de un Pavimento Rígido de Concreto Permeable.

Se empleará un diseño de mezclas elaborado en el Centro de Investigaciones del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (CI – ISCYC)

Para el tramo de prueba se diseñará la estructura de pavimento, aplicando los lineamientos teóricos de dicha técnica con la finalidad de obtener resultados satisfactorios del proceso constructivo.

Se pretende que con las experiencias del extranjero y con las obtenidas a partir de la construcción del tramo experimental se genere la información necesaria, para que a partir de ésta, se determinen los parámetros que intervienen en el proceso constructivo y en el control de calidad.

Proponer este tipo de pavimento, como una alternativa de solución que sea factible técnica, ecológica y económicamente, para el mejoramiento de la red vial con una intensidad de tráfico ligero en nuestro país.

1.6. LIMITACIONES

La mayor limitante es no desarrollar a tiempo el Tramo de Prueba Experimental, debido al tiempo que toman las gestiones que se realizan para obtener el apoyo económico, de recursos, equipo y maquinaria ante las Instituciones que lo financiarán.

El no contar con experiencias de aplicación de este tipo de pavimentos en nuestro medio, limita a desarrollar el trabajo de graduación, en base a lo investigado en otros países y adaptarlo a nuestras condiciones.

En la investigación no se considerarán los estudios sobre el diseño geométrico del tramo de prueba.

1.7. JUSTIFICACION

El presente trabajo tiene como finalidad el dar a conocer la técnica de un pavimento permeable utilizando concreto permeable; dando a conocer el proceso del diseño de la mezcla, diseño estructural del pavimento, diseño hidrológico, proceso constructivo, propuesta de una metodología de control de calidad, monitoreo del pavimento y la propuesta económica. Proporcionando así, una guía completa al lector de todos los parámetros y factores a considerar en este tipo de pavimento.

Asimismo se pretende en esta investigación brindar una solución ecológica al permitir que el agua filtre hacia el suelo, debido a su estructura de vacíos que permite tener una permeabilidad en el que pueda drenar un promedio de 0.29 cm/s (174 lts/min/m²). Al permitir la filtración del agua al subsuelo obtenemos el beneficio de recarga de los mantos acuíferos, disminución del caudal en el sistema de aguas lluvias lo que permitirá reducir considerablemente la saturación y posible colapso del sistema de drenajes en períodos de lluvia intensos. Además reducirá en gran medida las películas de agua estancada en la superficie del pavimento.

La investigación de nuevas técnicas en los pavimentos está siendo demandada, sobre todo por el cambio climático que está sucediendo alrededor del mundo, y nuestro país siendo uno de los más vulnerables necesita de medidas autosostenibles, por lo que este tipo de pavimento encaja perfectamente en esa lógica.

CAPÍTULO II

Generalidades de un Pavimento Rígido de Concreto Permeable

2.1. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de este capítulo es presentar los aspectos básicos de un sistema de pavimento de concreto permeable que es la base teórica del desarrollo de esta técnica.

La investigación se ha concentrado en el análisis del diseño de la mezcla, diseño estructural y diseño hidrológico, dando como resultado la estructura de un pavimento rígido de concreto permeable.

En primer lugar se hace un resumen de generalidades acerca del pavimento de concreto permeable dando una definición del mismo. Enunciando además sus ventajas y limitaciones, aplicaciones que tiene este sistema. Luego se describe la caracterización de la mezcla; identificando las propiedades, características y clasificaciones de los agregados y componentes, métodos de diseño y dosificaciones típicas de mezclas.

Las propiedades del concreto permeable en estado fresco y endurecido forma parte de este capítulo. Además se expondrá los parámetros y factores que intervienen en el diseño estructural e hidrológico.

Se describe las fases que componen el proceso constructivo y el control de aseguramiento de la calidad que puede ser llevado a cabo, y una breve descripción del mantenimiento del sistema de pavimento de concreto permeable.

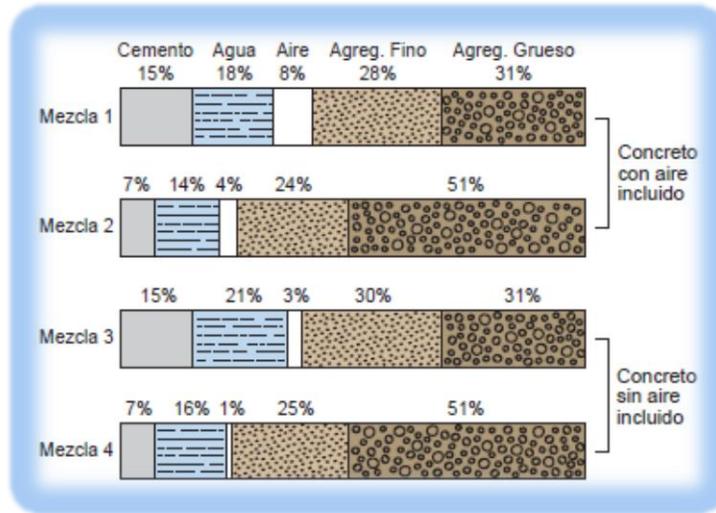
2.2. GENERALIDADES DEL CONCRETO PERMEABLE

2.2.1. GENERAL

El término Concreto Permeable, típicamente se describe como un concreto sin revenimiento (asentamiento), material con granulometría abierta que consiste de cemento portland, agregado grueso, poco o nada de agregado fino, aditivo y agua (Ver figura 2.1 y 2.2). La mezcla de estos ingredientes produce un material endurecido con alto contenido de poros interconectados con tamaños promedios de 2 a 8 mm (0.08” a 0.32”) que permite que el agua pase fácilmente a través de su estructura porosa. El contenido de vacíos puede variar de 18 a 35%, con esfuerzos a la compresión de 2.8 a 28 MPa (400 a 4000 psi). La tasa de drenaje del concreto permeable varía con el tamaño del agregado y la densidad de la mezcla, pero generalmente el rango está entre 81 y 730 litros/minutos/m² (2 a 18 galones/minuto/pie²), o 192 a 1784 pulgadas/hora (0.14 – 1.22 cm/s) con una velocidad de flujo típica de 3.4 mm/seg o más.

La preocupación en la reducción de contaminantes en los suministros de agua y el medio ambiente ha ido creciendo en los últimos años. En 1960, los ingenieros concluyeron que el escurrimiento de las urbes tiene el potencial de contaminar los suministros de aguas superficiales y subterráneas. Así como las zonas se desarrollan (urbanizaciones, industria, etc.), el escurrimiento fluye en volúmenes y tasas más altas, dando lugar a inundaciones aguas abajo erosionando los suelos. El pavimento de concreto

permeable reduce el impacto del desarrollo mediante la reducción de las tasas de escurrimiento y la protección de los suministros de agua. (Ver figura 2.3)



Fuente: Boletín de Ingeniería EB201, Diseño y Control de Mezclas de Concreto, PCA

FIGURA 2.1 – Variación de las proporciones usadas en concretos convencionales, en volumen absoluto.

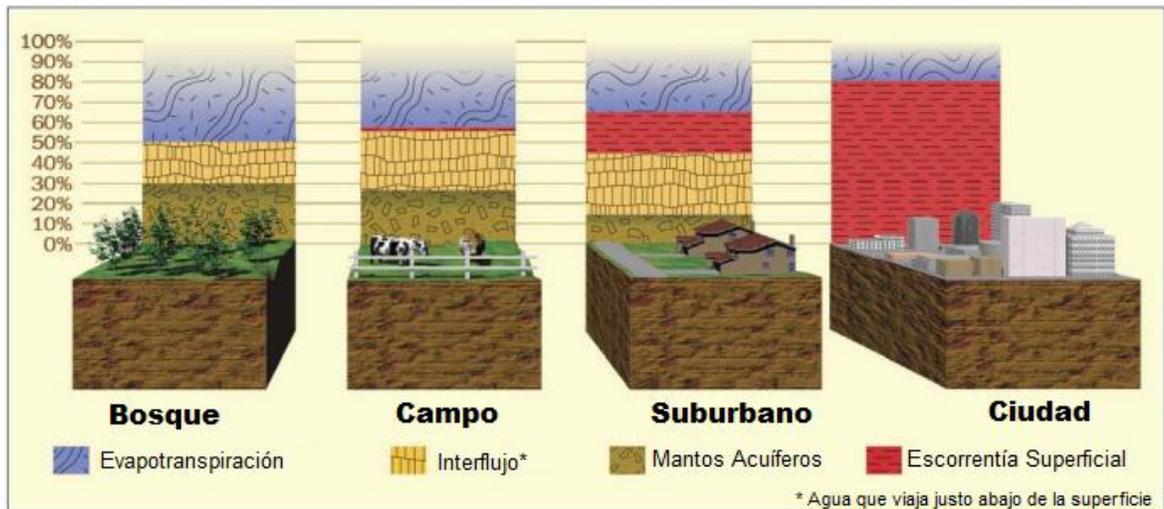
Las mezclas 1 y 3 representan mezclas ricas con agregados de pequeño tamaño. Las mezclas 2 y 4 representan mezclas pobres con agregados gruesos grandes.



Fuente: Comité ACI 522R-10

FIGURA 2.2 – Proporciones usadas en Concreto Permeable, sin agregado fino.

Donde fluye la lluvia - El impacto regional de la urbanización sobre el flujo de agua lluvia.



Fuente: Building Soil: Guidelines and Resources for Implementing Soil Quality and Depth BMP T5.13 in WDOE Stormwater Management Manual for Western Washington, 2010

FIGURA 2.3 – Porcentaje de captación y escorrentía de agua lluvia

El concreto permeable para pavimentos se ha vuelto significativamente muy popular como un método para mejorar los sistemas de drenaje en muchos lugares del mundo. Es una nueva alternativa para recolectar y absorber el agua libre, proveniente de la lluvia u otras fuentes que permite conducirla eficientemente a los sistemas de drenaje sin necesidad de esperar un largo viaje por la superficie, como sucede en los pavimentos convencionales. El concreto permeable correctamente utilizado constituye un medio drenante y permite su movimiento por los vacíos que se encuentran entre los agregados por la falta de arena en la mezcla. La estructura porosa permite al agua pasar directamente a través del espesor de concreto permeable y dentro las capas subyacentes cuando estas son permeables (sub base de grava, espesor de arena, geotextil, drena naturalmente en las capas de suelo) o hasta un sitio de evacuación.

La baja densidad del material originada por el alto contenido de vacíos (18 - 35% de volumen de vacíos) permite reducir la temperatura de la masa de concreto por difusión. Los colores claros y reflectivos de algunos sistemas de pavimento permeable reducen la capacidad de absorber calor. La estructura abierta por la presencia de vacíos en la capa drenante permite disipar las temperaturas desde las diferentes capas de manera rápida. Estos factores permiten construir sistemas de pavimento permeable en donde las temperaturas son similares en las secciones longitudinal y transversal, lo cual disminuye la susceptibilidad a la fisuración por cambios de temperatura.

Cuando se utiliza el concreto permeable como capa de rodadura, actúa como filtro que evita el hidropneumático o deslizamiento sobre la superficie del pavimento por presencia de películas de agua estancada.

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

2.2.2. VENTAJAS, INCONVENIENTES Y DESAFÍOS.

Las ventajas de los pavimentos de concreto permeable sobre los pavimentos de concreto convencional según el comité ACI 522 son:

- Controlar la contaminación que arrastra la corriente en las agua lluvias;

- Incremento de las instalaciones de parqueo, eliminando áreas para la retención de agua;
- Controla la esorrentía de aguas lluvias;
- Reduce el deslizamiento sobre la superficie de caminos y carreteras;
- Reduce el deslumbramiento sobre la superficie de rodadura en gran medida, particularmente cuando está mojado por la noche;
- Reduce la interacción del ruido entre la llanta y el pavimento;
- Elimina o reduce el tamaño de las alcantarillas; y
- Permite que el aire y el agua lleguen a las raíces de los árboles, aun cuando el pavimento esté dentro de la línea de goteo.

El concreto permeable ha sido ampliamente utilizado en estacionamientos vehiculares, filtro de evacuación de agua, aceras, bases de pavimentos, calles y otras vías incluso de alto tráfico. La dosificación de los componentes del concreto permeable crea una estructura abierta que permite el paso libre del agua y el aire. Ciertos tipos de pavimento permeable permiten drenar desde 1.35 hasta 12.17 litros por segundo por metro cuadrado (lts/s/m²), que es mucho mayor a las lluvias más fuertes, lo cual genera una ventaja en la evacuación rápida del agua.

La resistencia mecánica y la durabilidad del concreto permeable utilizado en pavimentos son menores que los de otros materiales elaborados con concreto hidráulico convencionales, pero pueden llegar a valores similares con un buena dosificación de la

mezcla. Existen experiencias de uso del material como capa de rodadura y material de base en varios países del mundo.

El concreto permeable no necesita tratamiento especial cuando es utilizado como capa de base en lugares donde no existe la posibilidad de colmatación por arrastre de finos. Sub bases impermeables, tales como arcilla deben tener una capa permeable al menos de 15 cm instaladas entre ella y el pavimento para recolectar el agua y evacuarla lateralmente al sistema de drenaje previsto.

Entre los posibles inconvenientes y desafíos a superar están:

- Uso limitado para zonas 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 especial que puede exigirse con la calidad del agua subterránea
- Período de vida corto
- Atención especial al diseño y construcción necesarios.

- No deberá utilizarse en zonas de protección de pozos o zonas de recarga de acuíferos para abastecimiento de agua; ya que la escorrentía puede afectar la calidad del agua (dependerá del entorno y del uso. Por ejemplo si filtrarán aceites o líquidos que perjudiquen los mantos acuíferos).

Una de las preocupaciones en el uso del material en capas de pavimentos cuando existen riesgos de colmatación por arrastre de finos es la necesidad de realizar el mantenimiento periódicamente en intervalos cortos de tiempo (meses), si los niveles de materiales finos llegan a ocupar los vacíos, por lo que es necesario en la etapa de diseño del proyecto tener en cuenta los dispositivos necesarios para el mantenimiento. Lavar con agua a presión permite restablecer las condiciones de permeabilidad del pavimento.

También preocupa el hecho de que siendo el suelo quien capta el agua y que también sustenta toda la estructura, en condiciones de saturación puede darse la pérdida de carga de soporte. Este hecho está impulsando investigaciones alrededor del mundo en los lugares donde utilizan este sistema de pavimento.

2.2.3. APLICACIONES EN PAVIMENTOS

La Asociación Norteamericana de Pavimentos de Concreto (American Concrete Pavement Association, ACPA) describe el funcionamiento de los pavimentos de

concreto permeable que a menudo cuentan con una capa subyacente de piedra (triturada) que funciona como reservorio, recoge las aguas lluvias y las almacena hasta que se infiltren en el subsuelo. El uso de este sistema de pavimento requiere del análisis de las condiciones a las cuales se encontrará sometido con el fin de prever el comportamiento del mismo mediante modelaciones en laboratorio.

Los ingenieros han 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

2.2.3.1. Superficies de rodadura

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

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

2.2.3.2. Estacionamientos vehiculares.

El concepto de utilizarlo para estacionamientos es el de aprovechar la gran cantidad de agua lluvia precipitada y además de la escorrentía al área adyacente del lugar de estacionamiento. El concreto permeable permite al agua infiltrarse al suelo. En Estados Unidos la Agencia de Protección Medioambiental (Environmental Protection Agency, EPA) adoptó una política que recomienda el uso de pavimentos permeables como parte de sus Mejores Prácticas de Manejo (Best Management Practices, BMPs) para mitigar el problema de la escorrentía de agua lluvia en las comunidades. En El Salvador puede ser

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

El pavimento de concreto permeable en estacionamientos vehiculares también ha sido seleccionado en otros países como una solución integral al problema de pavimentos que generan calor y que serviría para una Programa de Comunidades Frescas. La temperatura del aire sobre la superficie del pavimento de concreto permeable del estacionamiento es más fresca que la de un pavimento asfáltico. Además está considerado como no contaminante al medio ambiente.

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

2.2.3.3. Carreteras

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

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

En ambas categorías aunque las características de drenaje son propiedades necesarias, los requisitos de resistencia pueden variar dependiendo de la ubicación del material en la sección del pavimento. La práctica en 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. Capas adheridas (Maynard 1970), sin embargo, son delgadas con un espesor de 5 cm (2 pulgadas). Muchas carreteras en Europa se construyen utilizando una sobrecapa 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.

2.2.3.4. 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 usualmente es de muy baja resistencia (70 kg/cm^2 [1000 psi]), y es utilizado juntamente con un geotextil no tejido. Un sistema similar utilizado en estabilización de taludes.

2.2.3.5. Hombros

Los hombros de concreto permeable han sido utilizados en Francia en un esfuerzo por reducir el bombeo debajo de los pavimentos de concreto. Los aditivos incorporadores de aire son utilizados para incrementar la resistencia al hielo – deshielo. Se ha experimentado que la porosidad cercanamente al orden del 15 a 25% elimina el riesgo debido a deshielo, a menos que el concreto permita que se sature. Las resistencias a la compresión a menudo son menores que 140 kg/cm^2 (2000 psi) a 28 días.

2.2.4. OTRAS APLICACIONES

2.2.4.1. Drenajes

Se puede utilizar el concreto permeable para la construcción de baldosas de drenaje bajo estructuras hidráulicas. Las baldosas de drenaje alivian las presiones por elevación y permite que el agua sea evacuada desde las tuberías de desagüe y luego drenada por debajo de las baldosas, ver figura 2.4.



Fuente: <http://www.askthebuilder.com/artman212/uploads/1/DrainTile03.JPG>

FIGURA 2.4 – Baldosa de drenaje

2.2.4.2. Invernaderos

El uso de concreto permeable como un sistema de almacenamiento térmico en pisos de invernaderos ha sido experimentado por investigadores (Monahan 1981; Herod 1991). El piso sirve como un área de almacenamiento así como un intercambiador de calor para el calentamiento solar del invernadero. También se utiliza para pavimentar el piso de invernaderos, para mantener el agua de estancamiento y así eliminar el crecimiento de hierbas mientras provee una superficie durable y rígida para mover equipos.

2.2.4.3. Canchas de tenis

Se utiliza extensivamente en Europa para canchas de tenis. Las losas de concreto permeable permiten al agua fluir y drenar a través de la base de grava. Ceniza volante es incluida en la mezcla para incrementar la trabajabilidad.

2.2.4.4. Barreras de sonido y construcción de muros

Ruidos de tráfico diverso, fuentes u ocupantes de un edificio pueden ser problemáticos. Las barreras de sonido de concreto permeable y muros interiores son construidos ciertas veces para reducir el sonido. La estructura abierta, tiende a absorber y disipar el sonido en el material en lugar de reflejarlo en otra dirección.

Una aplicación no muy experimentada, es el empleo de muros de concreto embebidos en taludes, con misión drenante. En la aplicación a carreteras, estos muros se sitúan en dirección perpendicular al eje de la calzada, disponiéndolos cada cierta distancia y conectándolos por el pie, consiguiéndose así un excelente drenaje del talud.

Entre otras se cuentan:

- Bases en Zanjas de Ductos para tuberías
- Muros de contención y edificaciones
- Protección de Gaviones
- Prefabricados

2.2.5. EFECTO DE ISLAS DE CALOR

El planeta tierra en su totalidad tiene su albedo promedio de 0.35 lo que significa que de toda la energía solar recibida, dicho porcentaje es reflejado de regreso a la atmósfera y

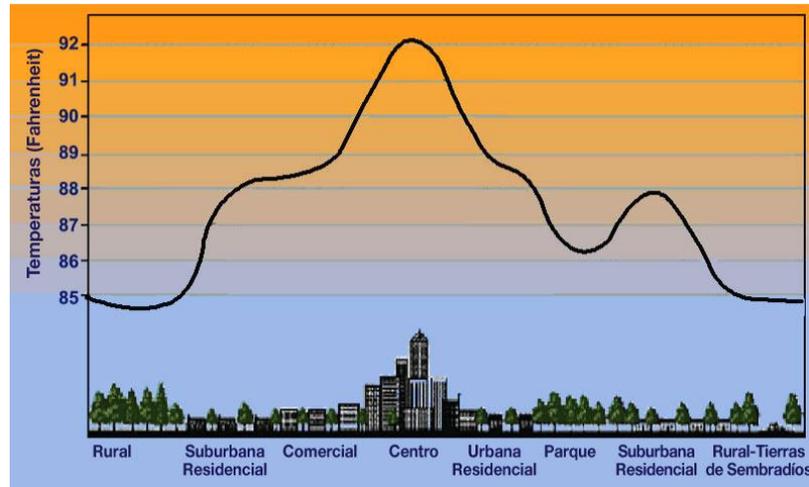
solamente un 65% es absorbido, dando como resultado que la temperatura promedio de la tierra sea de 15°C, de lo cual es el responsable el alto albedo de los hielos polares, que juegan un importantísimo papel en mantener un buen balance de la temperatura terrestre. Con el derretimiento de los casquetes polares el promedio de albedo de nuestro planeta caerá porque los océanos absorberán más calor que el hielo y consecuentemente la temperatura terrestre se incrementará, con una aceleración del calentamiento global. La situación anterior puede ser revertida y el calentamiento global disminuido si utilizáramos más superficies reflectivas, tales como techos blancos y superficies de concreto blanco, obviamente utilizando pavimentos de concreto.

Científicos de la Universidad de California en Berkeley (USA) compararon el albedo de los pavimentos de concreto que es del 10 al 15% con el correspondiente de los pavimentos asfálticos y comprobaron que los pavimentos de concreto presentan una reducción de emisiones de CO₂ de 25 a 38 kg/m² del área pavimentada.

La baja absorción de las superficies claras, tales como las de concreto hidráulico contribuyen a reducir la temperatura de las “islas de calor”, que es el término con que se conocen las áreas urbanizadas. La figura ilustra los efectos de las denominadas “islas de calor”, donde el alto consumo de energía de los edificios de comercio y oficinas, unidos al aire acondicionado, alumbrado y circulación de vehículos en las ciudades, provocan altas temperaturas, formación de “smog” y contaminación ambiental.

Se ha comprobado que los pavimentos claros presentan una diferencia de temperatura de 11°C, con los pavimentos oscuros y consecuentemente limitan el calentamiento, reduciendo el “smog” y la emisión de gases contaminantes.

El concreto permeable contribuye a evitar el efecto de las “islas de calor” debido a la reflectibilidad y ayuda a la reducción de emisiones de CO₂ a la atmósfera.



Fuente: Lisa Gardiner/ Ventanas al Universo, Laboratorio Nacional de Lawrence Berkeley.

Figura 2.5 – Sección transversal típica de una ciudad mostrando como son generalmente las temperaturas.

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

El concreto permeable, también es conocido como concreto poroso, concreto sin agregado fino, concreto discontinuo o concreto de porosidad incrementada; principalmente consiste de cemento portland normal, agregado grueso de tamaño uniforme, y agua. Esta combinación forma un aglomerado de agregado grueso rodeado de una delgada capa de pasta de cemento endurecida en sus puntos de contacto. Esta configuración produce vacíos entre el agregado grueso, el cual permite que el agua se infiltre a una tasa mucho mayor que el concreto convencional.

El concreto permeable es considerado un tipo especial de concreto poroso. El concreto poroso 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* (concreto permeable, Neithalath 2004). Concreto con agregado de peso ligero puede ser elaborado usando agregados porosos o sintéticos. El concreto permeable tiene poco o nada de agregado fino en la mezcla. Otra distinción entre estos dos tipos de concreto poroso está basado principalmente sobre la estructura de vacíos. Concretos con agregados de peso ligero contienen altos porcentajes de vacíos relativamente no conectados. El concreto permeable, sin embargo, contiene altos porcentajes de vacíos

interconectados, que permite el paso rápido del agua a través de la estructura del concreto.

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).

2.3.1. AGREGADOS

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.

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:

1. La granulometría (tamaño de partícula y distribución)

Importante para:

- Trabajabilidad
- Proporcionamiento de la mezcla
- Contenido de cemento y por ende el contenido de agua
- Compactabilidad de la mezcla
- Estética del pavimento

2. 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.

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.

2.3.1.1. 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 $\frac{3}{4}$ a $\frac{3}{8}$ de pulgada (19 a 9.5 mm). Tamaños de Agregados mayores pueden incrementar la porosidad pero pueden disminuir la trabajabilidad. La N° 8 ($\frac{3}{8}$ 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.

2.3.1.2. 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 m^3 por 1.0 m^3 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:

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

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

Conocer las características de los agregados a utilizar en la mezcla de concreto permeable, nos permitirá conocer la influencia que tendrán ya sea en estado fresco como

en estado endurecido, en la tabla 2.1 nos indica cómo afecta la caracterización en dichos aspectos

<u>Características de los Agregados</u>	<u>Aspectos influidos en el concreto</u>	
	Concreto Fresco	Concreto Endurecido
Granulometría	Manejabilidad Requerimientos de agua	Resistencia mecánica Economía
Limpieza (materia orgánica, limo, arcilla y otros finos indeseables)	Requerimientos de agua	Durabilidad Resistencia mecánica
Densidad (Gravedad Específica)	Peso Unitario	Peso Unitario
Absorción y Porosidad	Pérdida de agua en la mezcla	Resistencia mecánica Permeabilidad
Forma de Partículas	Trabajabilidad Requerimiento de agua	Resistencia mecánica Economía
Textura Superficial	Trabajabilidad Requerimiento de agua	Resistencia mecánica Resistencia al desgaste Economía
Tamaño Máximo	Segregación Peso Unitario Requerimiento de agua	Resistencia mecánica Peso Unitario Permeabilidad Economía
Resistencia a la Abrasión	Ninguno	Resistencia a la abrasión Durabilidad
Coefficiente de Expansión Térmica	Ninguno	Propiedades térmicas

Fuente: Normas ASTM C33-07, ASTM C 1688-09, ASTM C 131-07, ASTM C 29-07

TABLA 2.1 – Influencia de los Agregados en el Concreto Permeable en Estado Fresco y Endurecido.

2.3.1.3. 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.

2.3.2. CEMENTO

Cemento Portland conforme a las Normas ASTM C 150, C 595 o C 1157 se utiliza como el aglutinante principal. En nuestro país se usa el Cemento Portland conforme a ASTM C 1157 Tipo HE es un cemento hidráulico por desempeño, el cual posee la misma composición química del cemento Tipo I, pero con la adición de puzolana y filler en proporciones específicas en la molienda final. Este cemento alcanza resistencias mayores a los 294 kg/cm^2 (4200 psi) a los 28 días, por lo que es recomendado para la fabricación de concretos estructurales para 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/m^3 y los 400 Kg/m^3 , según requisitos de resistencia y permeabilidad

2.3.3. 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.

Nota: El agua que se emplee en la fabricación del concreto convencional cumple con la norma ASTM D-1293, debe ser potable, y por lo tanto, estar libre de materiales perjudiciales tales como aceites, grasas, materia orgánica, etc. En general, se considera adecuada el agua que sea apta para el consumo humano. Así mismo, no deberá contener cantidades mayores de las sustancias químicas que las que se indican en la Tabla 2.2, en partes por millón:

SUSTANCIAS PERJUDICIALES	ppm Máx.
Sulfatos (convertidos a Na₂SO₄)	1,000
Cloruros (convertidos a NaCl)	1,000
Materia Orgánica (óxido consumido en medio ácido)	50
Turbiedad y/o lignito	1,500

Fuente: ASTM C 94 – Normativa para la Elaboración de Concreto Premezclado.

TABLA 2.2 – Valores Permisibles de Sustancias Químicas en el Agua

El PH, medido según norma ASTM D 1293 – 08, no podrá ser inferior a cinco (5). El contenido de sulfatos, expresado como SO₄, no podrá ser mayor de un gramo por litro (1g/l). Su determinación se hará de acuerdo con la norma ASTM D 516 – 08.

Su contenido de ión cloro, determinado según norma ASTM D 512 - 07, no podrá exceder de seis gramos por litro (6 g/l)

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.

2.3.4. ADITIVOS

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

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 bachadas de prueba para identificar cualquier problema de incompatibilidad de aditivos y verificar que las propiedades en estado fresco y endurecido son sistemáticamente alcanzables.

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.

Estabilizadores de hidratación pueden ser utilizado y es recomendado en el diseño y producción de concreto permeable. La función primaria del material debería ser como estabilizador de la hidratación, debido a que demora la hidratación del cemento, formando una barrera protector alrededor las partículas de cemento. También debe cumplir con los requisitos de ASTM C 494 – 08 Tipo B Retardantes o Tipo D Reductor de agua/Retardante.

Cuando se genera en el ambiente mucho viento, y hay condiciones de ambiente seco se crean altas tasas de evaporación que reduce la ventana de tiempo para que la mezcla sea colocada más eficientemente. Por ello el uso de retardantes de evaporación puede ser útil en este sentido.

Aditivos colorantes también son incluidos en algunas mezclas, esto con un fin meramente decorativo ya que no aporta alguna propiedad mecánica ni tampoco aporta a las características hidráulicas del concreto permeable. Los colorantes deben tener un alto poder de coloración, gran facilidad para mezclarse con el cemento, insolubles con el agua, que sean estables a la luz y el ambiente, además a los ambientes agresivos y que no alteren el proceso de fraguado del concreto, ASTM C 979-10. El uso de pigmentos produce como resultado un concreto con el color integrado, de larga duración y gran belleza, mejora las características de terminado del concreto, vitalidad y excelente precisión en el color.

2.3.5. OTROS MATERIALES

Cenizas volantes, escoria de altos hornos y humo de sílice deben cumplir con los requerimientos de las normas ASTM C 618-08, C 989-08 y C 1240-08 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 - 08 y la escoria de alto horno granulada y triturada debe ser conforme a la Norma ASTM C 989 - 08. La microsíllica debe cumplir con la Norma ASTM C 1240 - 07 y la ASTM C 311-98 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 bachadas 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.

2.4. PROPIEDADES DE INGENIERIA DEL CONCRETO PERMEABLE

2.4.1. GENERAL

Las diversas propiedades del concreto permeable dependen principalmente de su porosidad (contenido de aire, vacíos) que a su vez depende del contenido de material cementante, a/mc, grado de compactación, y graduación y calidad de la graduación del agregado. El tamaño de poros en el material también impacta las propiedades de resistencia. Aunque el concreto permeable ha sido utilizado por más de 20 años en los Estados Unidos, solamente unas pocas investigaciones han sido realizadas para determinar el funcionamiento (Ghafoori 1995; Wanielista et al. 2007).

Las investigaciones han sido basadas ante todo sobre ensayos de laboratorio, con algunos datos obtenidos en instalaciones de campo. Actualmente existen 2 métodos de ensayo bajo la normativa ASTM (ASTM C1688-10 y ASTM C 1701-) que específicamente pretende para el uso de concreto permeable, el sub comité ASTM C09.49 está desarrollando métodos de ensayo para resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, densidad/porosidad en el sitio. El especificador deberá tener cuidado cuando referencie los métodos de ensayo para concreto permeable que están destinados a concreto masivo.

2.4.2. PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO FRESCO

El concreto permeable en estado plástico es rígido comparado con el concreto tradicional. El revenimiento, cuando es medido, generalmente es menor que $\frac{3}{4}$ de pulgada (20 mm), aunque revenimientos altos de 2 pulgadas (50 mm) han sido utilizados. Cuando es colocado y compactado, los agregados están firmemente adheridos uno a otro y exhibe la característica de una matriz abierta.

Para control de calidad y aseguramiento de la calidad, el peso unitario o densidad bulk es la medida preferida porque algunas propiedades del concreto permeable en estado fresco, como el revenimiento, no tienen ningún significado para el concreto permeable. Cilindros convencionales colados para ensayo de resistencia tienen poco valor, porque la consolidación en campo del concreto permeable es difícil de reproducir en especímenes de ensayo cilíndricos, y la resistencia depende en gran medida del contenido de vacíos. Pesos unitarios de mezclas de concreto permeable son aproximadamente el 70% de las mezclas de concreto convencionales.

El tiempo de trabajabilidad del concreto es típicamente reducido para mezclas de concreto permeable. Usualmente, una hora entre la mezcla y la colocación es todo lo que se recomienda. De otra manera, esto puede ser controlado utilizando retardantes y estabilizadores de hidratación que extienden el tiempo de trabajo de hasta 1.5 horas, dependiendo de la dosis.

Puede decirse que para fines prácticos, el concreto se considera en estado fresco, mientras permanece moldeable, es decir, mientras adquiera su fraguado inicial, aunque resulta más fácilmente moldeable en su fase "durmiente", o blanda.

Para dar el uso y tratamiento adecuado al concreto en estado fresco hasta el estado endurecido, es necesario reconocer sus respectivas características, propiedades y los factores que las modifican, a fin de poder ajustarlas según convenga.

Conviene aclarar que la duración del lapso en que el concreto permanece en estado fresco, o blando, es una característica muy variable que depende de factores intrínsecos relacionados con su composición y factores extrínsecos representados principalmente por la temperatura.

De acuerdo con el Comité ACI 309, hay tres principales características funcionales del concreto en estado fresco:

a) Estabilidad

Esta característica se refiere a la resistencia que las mezclas oponen para segregarse, en otras palabras, representa su disposición para conservarse homogéneas.

b) Compactabilidad

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

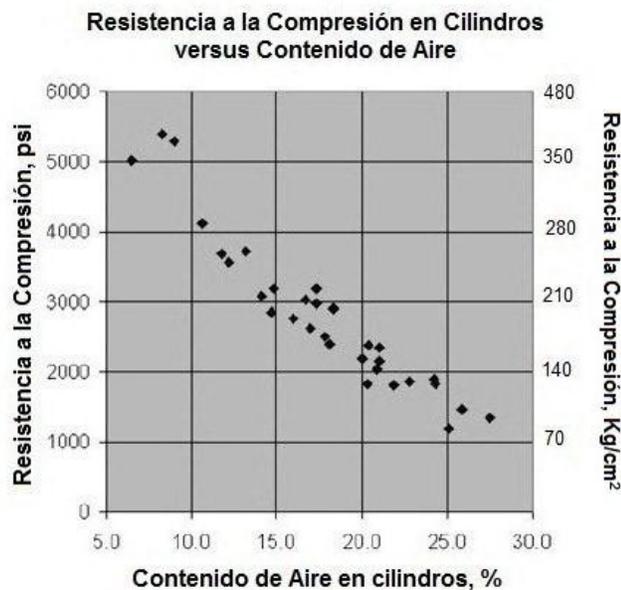
c) Movilidad

Representa la aptitud de las mezclas de concreto para deformarse y fluir; cuya característica depende de la cohesión, viscosidad y ángulo de fricción interna del concreto fresco.

2.4.3. PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO ENDURECIDO

2.4.3.1. Resistencia a la Compresión

La resistencia a la compresión de concreto permeable se ve altamente afectada por la dosificación de la mezcla y el esfuerzo de compactación durante la colocación. La figura 2.6 muestra la relación entre la resistencia a la compresión y el contenido de vacíos del en cilindros de concreto permeable (Meininger, 1988) y está basada en una serie de ensayos de laboratorio donde dos tamaños de agregado grueso fueron utilizados para mezclas de concreto permeable y donde el esfuerzo de compactación fue variable.

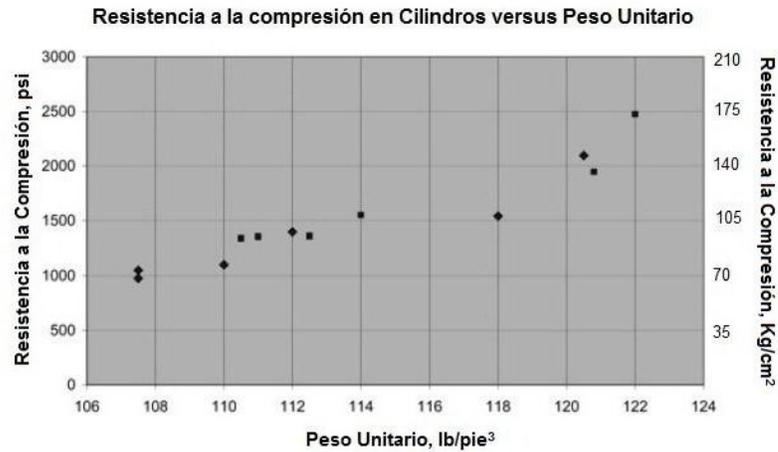


Fuente: Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

FIGURA 2.6 – Gráfico de la Resistencia a la Compresión versus Contenido de Aire en Especímenes de Concreto Pemeable.

La figura 2.6 indica que puede es posible obtener altas resistencias (relativamente respecto a las de un concreto convencional) para mezclas de concreto permeable, pero la alta resistencia se logra solamente con la reducción del contenido de vacíos. 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.



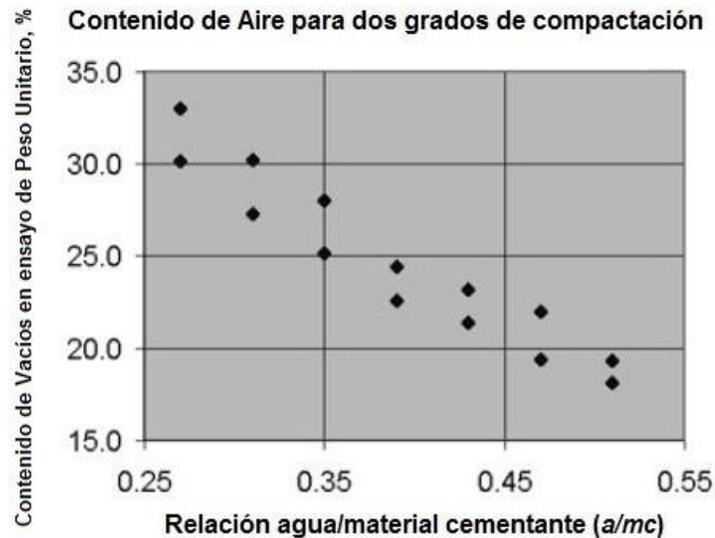
Fuente: Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

FIGURA 2.7 – Gráfica de la Resistencia a la Compresión versus Peso Unitario en Concreto Permeable

En la figura 2.7 se observa una relación entre la resistencia a la compresión y el peso unitario (Mulligan 2005). La figura está basada en otra serie de ensayos de laboratorio donde uno de los agregados gruesos fue utilizado y el esfuerzo de compactación y la relación agua/cemento fue variable.

Aunque la relación a/mc de la mezcla de concreto permeable es importante para el desarrollo de la resistencia a la compresión y para la estructura de vacíos; la relación entre la resistencia a la compresión de un concreto convencional y la relación a/mc no aplica a las propiedades del concreto permeable. Una relación alta de a/mc puede causar que la pasta fluya en el agregado, llenando la estructura de vacíos. Una baja relación

a/mc puede causar una adherencia pobre entre las partículas del agregado y por ende problemas en la colocación del concreto permeable.



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

FIGURA 2.8 – Gráfico de Contenido de Aire para dos Grados de Compactación versus la Relación agua/material cementante (a/mc).

La figura 2.8 muestra la relación entre la relación a/mc y el contenido de vacíos de una mezcla de concreto permeable (contenido de cemento y agregado constantes) a dos grados de compactación (Meininger, 1988). La experiencia demuestra que una relación a/mc de 0.26 a 0.45 provee un buen recubrimiento al agregado y estabilidad en la pasta. Cuando es utilizado agregado fino en dosificaciones de concreto permeable el tamaño del agregado fino en relación al agregado grueso, influenciará en la porosidad, y consecuentemente, la resistencia a la compresión del material (Onstenk, 1993).

El total del contenido de material cementante de una mezcla de concreto permeable es importante para el desarrollo de la resistencia a la compresión y contenido de vacíos. Un contenido de pasta excesiva puede resultar con sellos en la estructura de vacíos, y así 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.

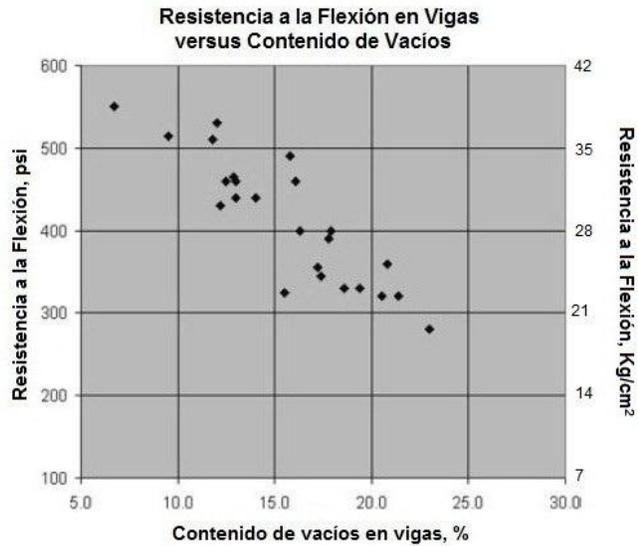
El contenido óptimo de material cementante depende fuertemente en la graduación y el tamaño del agregado. Para el tamaño de agregado seleccionado, se debe llevar a cabo el ensayo de la fluidez del aglutinante para determinar el contenido óptimo de cemento (Nelson y Phillips, 1994).

Otro factor que puede tener un impacto significativo en la resistencia del concreto permeable es el espesor de pasta que rodea el agregado. Esto se relaciona con el tamaño del agregado, contenido de material cementante y la relación a/mc.

2.4.3.2. Resistencia a la Flexión

La figura 2.9 (Meininger, 1988) muestra la relación entre la resistencia a flexión del concreto permeable y contenido de vacío basado en vigas ensayadas en la misma serie de ensayos de laboratorios descritos en la figura 2.5. Aunque estos resultados están basados en un número limitado de especímenes, comparando los datos de las figura 2.5 y 2.8 indica que existe la relación entre la resistencia a la compresión y la resistencia a la

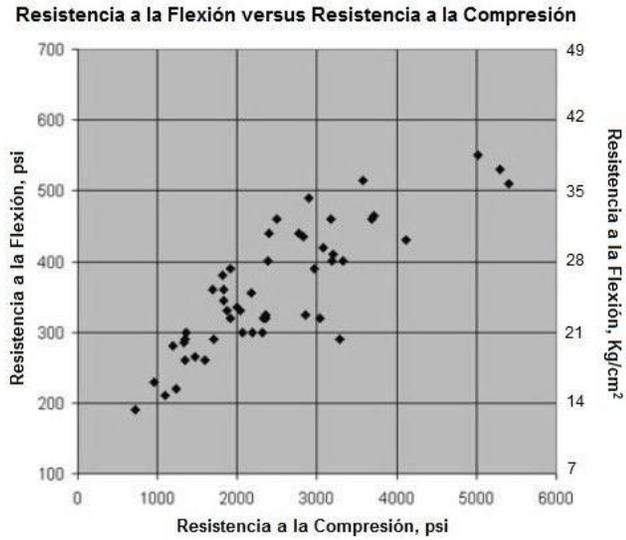
flexión del concreto permeable. Esta relación, como la resistencia a la compresión, depende de muchas variables.



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

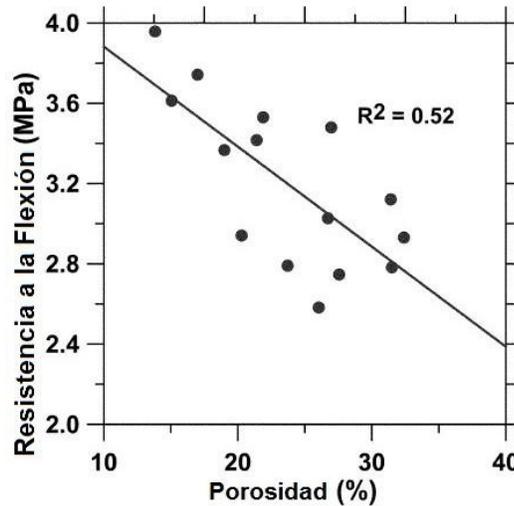
FIGURA 2.9 – Gráfico de la Resistencia a la Flexión en Vigas versus Contenido de Vacíos

La figura 2.10 (Meininger, 1988) muestra la relación entre la resistencia a la compresión y flexión del concreto permeable para una serie de ensayos de laboratorio. Otra serie de datos de ensayos relacionados a la resistencia a flexión y porosidad se muestra en la figura 2.11 (Neithalath 2004).



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

FIGURA 2.10 – Gráfica de la Comparación entre la Resistencia a la Flexión versus Resistencia a la Compresión.



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

FIGURA 2.11 – Relación de la Resistencia a la Flexión versus Porcentaje de Porosidad

La adición de una pequeña cantidad de arena (aproximadamente 5% por volumen) incrementa la resistencia a la flexión del concreto permeable (Neithalath 2004). Un

incremento en la resistencia a la flexión del concreto permeable 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.

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

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

2.4.3.3. Contenido de Vacíos y Peso Unitario

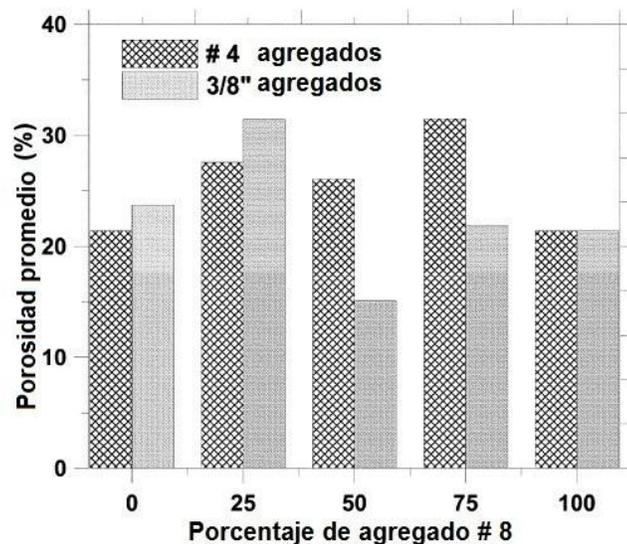
La densidad del concreto permeable fresco se puede determinar por la norma ASTM C1688/C1688M, y está directamente relacionada con el contenido de vacío de una mezcla determinada. Dos métodos adicionales que determinan la porosidad del concreto permeable endurecido han sido reportados (Neithalath 2004). El primer método consiste en una determinación volumétrica donde la masa de agua que llena una muestra sellada de concreto permeable se convierte en un equivalente volumen de poros. En el segundo método, el procedimiento de análisis de la imagen se emplea en muestras de concreto permeable que han sido impregnados con una resina epóxica de baja viscosidad (Marolf et al. 2004). La porosidad accesible en una mezcla

de concreto permeable es una función de los tamaños de los agregados y la relativa cantidad de diferentes tamaños en la mezcla (Brite / Informe Euram 1994).

El procedimiento de análisis de imagen es una ventaja en determinar la variación de la porosidad con la profundidad de una capa o espécimen de concreto permeable.

El contenido de vacíos depende de varios factores: graduación del agregado, contenido de material cementante, relación a/mc, esfuerzo de compactación.

La influencia de la graduación del agregado en la porosidad de las muestras de concreto permeable preparadas en laboratorio se muestra en la figura. 2.12. Una gama de porosidad se puede obtener mediante la mezcla de agregados de dos tamaños diferentes (Neithalath 2004). Se debe prestar atención para asegurarse de que la relación de tamaño de los agregados (relación del diámetro del agregado mayor a la de los más pequeños) no es muy grande cuando se utiliza mezclas de agregado. Si la proporción es muy alta (por lo general 2.5 o más), el conjunto más pequeño llena los vacíos dejados por el más grande, reduciendo la porosidad y, en consecuencia la permeabilidad. A pesar de las propiedades mecánicas mejoradas utilizando mezclas con grandes relaciones de tamaño, que generalmente no se recomienda porque el concreto permeable está diseñado principalmente para la permeabilidad del agua.



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

FIGURA 2.12 – Relación Porosidad versus Porcentaje de agregado

El esfuerzo de compactación tiene una influencia sobre el contenido de vacíos, la porosidad y la densidad de una determinada mezcla de concreto permeable. En una serie de pruebas de laboratorio (Meininger 1988), una sola mezcla de concreto permeable compactado con ocho diferentes grados de esfuerzo, producen valores de peso unitario que varía de 1680 a 1920 kg/m³ (105 a 120 lb/pie³). La figura 2.6 muestra que esta variación del peso unitario y relacionado con el contenido de vacíos puede tener un efecto medible en la resistencia a la compresión del concreto permeable. Para el contenido de pasta constante, el contenido de vacío se reporta para ser una función del esfuerzo de compactación, la forma y la textura de las partículas del agregado, y el coeficiente de uniformidad del agregado (Crouch et al. 2006).

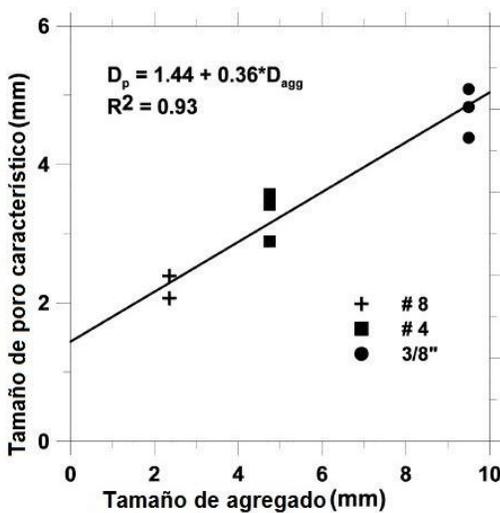
2.4.3.4. Tamaño de Poros

El tamaño o rango de tamaños de poros en el concreto permeable es también un factor importante que influye en sus propiedades. La influencia del tamaño de los poros para permeabilidad del agua y la absorción acústica ha sido documentado (Neithalath 2004; Neithalath et al 2006). Para generar mayor tamaño de poros en el material, se recomienda agregado de mayor tamaño porque pueden reducir las posibilidades de que se obstruya los poros (Nelson y Phillips, 1994).

Las figuras 2.13 y 2.14 muestran la influencia de un solo tamaño de los agregados, así como la mezcla de dos diferentes tamaños de agregados en proporciones variables en los tamaños de poros de concreto permeable. Sustituyendo los agregados de menor diámetro con un porcentaje creciente de mayor diámetro de agregado grueso aumenta el tamaño de los poros. Esto es porque el grueso de partículas introducidas puede no ser capaz de encajar en el vacío dejado por las partículas más finas (Neithalath 2004; Neithalath et al 2003).

La estructura de los poros del concreto permeable es fundamental en todos los las propiedades y características de rendimiento de este material. Low (2008) describe una aproximación estadística a la determinación de los factores que influyen en las características de la estructura de poros tales como la porosidad y el factor de conectividad de los poros, y características de rendimiento (permeabilidad) del

concreto permeable. Utilizando un experimento de diseño factorial con cuatro factores (tamaño de los agregados, relación agregado/cemento, relación a/mc, y la relación arena/agregado grueso), 16 mezclas de concreto permeable fueron proporcionados. A partir de un análisis de rango en las respuestas, sólo los tres primeros de los cuatro factores mencionados dominan las respuestas medidas.

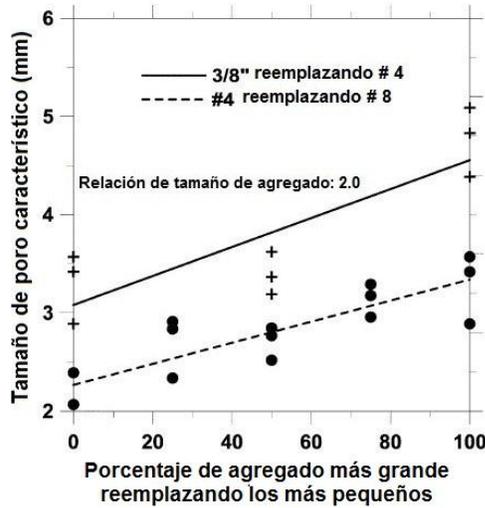


Fuente: Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

FIGURA 2.13 - Tamaño de Poro versus Tamaño de Agregado

Un método de análisis de imágenes en secciones de dos dimensiones para concreto permeable se utilizó para caracterizar la estructura porosa. A los dos parámetros de distribución de Weibull fue utilizada para modelar el área de los poros y la distribución de tamaño de poro del concreto permeable.

El parámetro de escala de la distribución Weibull fue utilizada para describir la “características del área de poros” o “características del tamaño de poros” del concreto permeable.



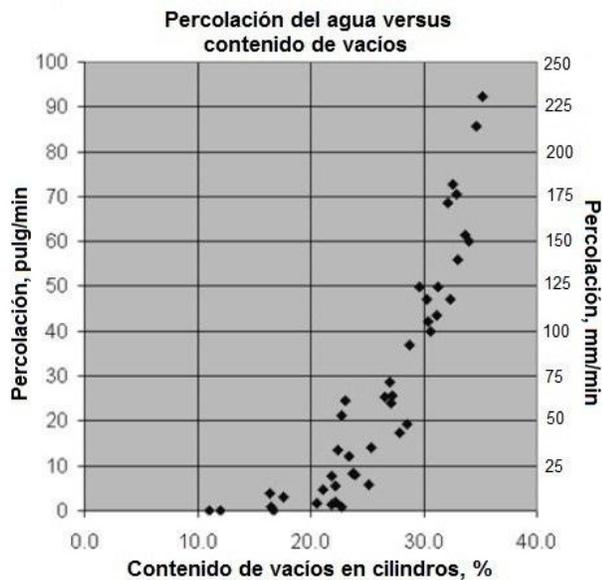
Fuente: Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

FIGURA 2.14 – Tamaño de Poro versus Porcentaje de Agregado más grande

2.4.3.5. Tasa de Filtración

Una de las características más importantes del concreto permeable es su capacidad para que el filtre el agua se a través de la matriz. La tasa de percolación en el concreto permeable está directamente relacionada con el contenido de vacíos y el tamaño de los poros. Las pruebas han demostrado según Meininger, que un de contenido de vacíos de al menos 15% es requerido para lograr una filtración significativa. Para una porosidad de 20 a 25%, el coeficiente de permeabilidad se reporta que es de aproximadamente 0.01 m/s (Brite/Informe Euram 1994). En otro estudio (Nissoux et al. 1993) se informa de una permeabilidad de 36 L/m²/s (0,88gal./pie²/s).

La Figura 2.15 (Meininger 1988) muestra la relación entre el contenido de vacíos y la tasa de filtración de una mezcla de concreto permeable. Debido a que la tasa de filtración aumenta a medida que aumenta el contenido de vacíos y, en consecuencia, disminuye la resistencia a la compresión, el reto en la dosificación de mezcla de concreto permeable es lograr un equilibrio entre una tasa de filtración aceptable y una resistencia a la compresión aceptable.

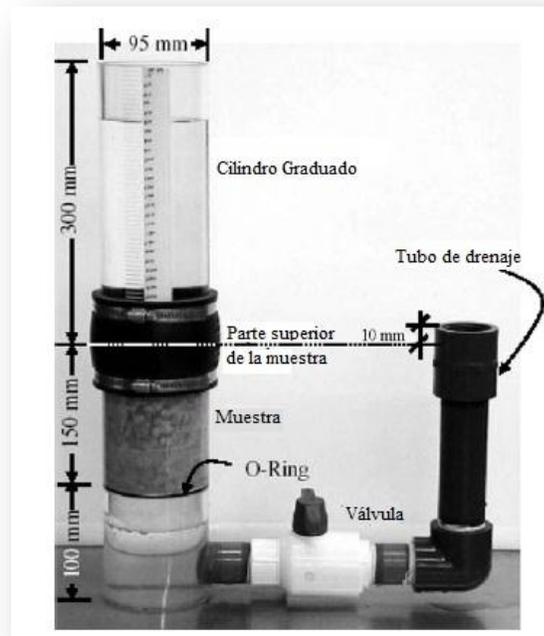


Fuente: Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

FIGURA 2.15 – Percolación versus Contenido de Vacíos en cilindros

La permeabilidad del concreto permeable puede ser medida mediante un sencillo permeámetro de carga variable como se muestra en la figura 2.16 (Neithalath et al. 2003). En este enfoque, la muestra es encerrada en una membrana de látex para evitar el agua fluya a los lados de la muestra. 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.



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

FIGURA 2.16 – Permeámetro de carga variable

Con la válvula cerrada, la probeta está llena de agua. La válvula se abre entonces, y se mide el tiempo en segundos “ t ” necesario para que el agua descienda desde una altura h_1 en la cabeza inicial a un punto final, h_2 .

El equipo está calibrado para una carga inicial de 290 mm (11.6 pulgadas) y una carga final de 70 mm (2.8 pulgadas), la permeabilidad k (mm/s [in/s]) puede ser expresada como sigue:

$$K = A/t$$

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

Un permeámetro triaxial simple de pared flexible de carga constante también puede ser construido para la determinación de la permeabilidad de concreto permeable en el rango de 1 a 14.000 cm/h (0,001 a 10 cm/s) (Crouch et al. 2006). El permeámetro de carga constante parece tomar en cuenta el hecho que la pasta escurra, además el contenido efectivo de burbujas de aire y el tamaño de los poros. Los resultados de los métodos de carga constante y carga variable son razonables para las muestras de laboratorio.

Además de la porosidad y tamaño de los poros, un factor crucial que influye en la permeabilidad del concreto permeable es la tortuosidad de los poros o el grado de conectividad de la red de poros.

No existe una metodología sencilla para medir la conectividad de los poros del concreto permeable. Un estudio (Neithalath et al. 2006) investigó el uso de métodos de impedancia eléctrica, basada en los métodos para determinar el factor de conectividad de los poros en el concreto permeable para vincularlo a las características hidráulicas del material. Se prevé también el amplio uso de técnicas como el de rayo X de tomografía computarizada que dará lugar a la determinación precisa de la conectividad de poros en concreto permeable.

Los beneficios que tiene el concreto permeable están bien documentados. Deo et al. (2008) investigó la eficiencia del concreto permeable en la retención de derrames de aceites de vehículos en su estructura material utilizando modelos y experimentos cuidadosamente diseñados. Las mezclas de concreto permeable con porosidades entre 13 y 25% fueron proporcionadas con dos agregados de diferentes tamaños. La retención del aceite y la recuperación se determinó experimentalmente en rebanadas de 2 pulgadas (50 mm) de probetas de concreto permeable con el método de partición gravimétrica. Se observó que *una porosidad del 20% es ideal para la retención óptima de aceite en la estructura de poros del material*. Un modelo idealizado para la apertura de poros fue utilizado para desarrollar un marco de modelación para la retención de hidrocarburos en concreto permeable. Fueron identificados los parámetros del material, así como las características de entrada que tienen más probabilidades de influir en la retención y recuperación de aceites. Un modelo basado en la programación genética fue utilizado para predecir la retención de hidrocarburos en las muestras de concreto permeable. Esta metodología de modelado proporciona una buena estimación en la retención de aceites. El rendimiento del modelo basado en la programación genética fue juzgado en términos de su error estadístico. Los resultados obtenidos de este modelo eran más fiables que los obtenidos con un método de regresión lineal con los mismos parámetros de entrada. Se espera que el estudio conduzca a más pruebas en la optimización de la estructura de los poros del concreto permeable para aplicaciones que incluyen la retención de aceites y el transporte de agua.

2.4.3.6. Durabilidad

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

La integridad abarca exclusivamente al material y no a la estructura que este compone.

La durabilidad del concreto depende en gran medida de la permeabilidad del material. El ataque externo del Concreto está generalmente asociado a la presencia de agua con agentes agresivos en solución (succión capilar y flujo).

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

- Una baja relación agua/cemento
- Una buena compactación del concreto
- Un buen curado húmedo (por lo menos 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.

La durabilidad del concreto permeable se refiere al período de vida bajo las condiciones ambientales en las que se encuentra. 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. No se han realizado investigaciones sobre la resistencia de concreto permeable a los ataques agresivos por el transporte de sulfatos o

el agua ácida. La durabilidad del concreto permeable en condiciones de hielo –deshielo tampoco está bien documentado.

Pocos ensayos en condiciones de hielo – deshielo indican pobre durabilidad si la estructura entera de vacíos es llenada con agua (NRMCA 2004). Otras pruebas, sin embargo, han demostrado que la estructura de poros que se llena de agua tiene algunas, pero no completa, correlación con los resultados generales. Una condición lenta de congelación (Un ciclo por día, en comparación con cinco o seis según ASTM C 666-03, Procedimiento A) puede permitir que el agua se escurra del concreto permeable, mejorando la durabilidad.

Hay pocos datos de campo para determinar la durabilidad a largo plazo de concreto permeable en los climas más fríos. Se debe tener precaución al utilizar concreto permeable en una situación de saturación completa antes que una helada puede ocurrir.

Las pruebas indican que la entrada de aire, en la pasta de cemento puede mejorar la durabilidad ante ciclos de congelación y descongelación. En el laboratorio bajo condiciones de prueba ASTM C 666-03, sin aire incorporado el concreto permeable falla (módulo dinámico relativo será del menos del 60%) en unos 100 ciclos de congelación y deshielo en la recámara (ASTM C 666-03 requiere una norma 300 ciclos de la prueba). El módulo relativo permanece más de 60%, sin embargo, es para los especímenes que tienen la porción de pasta de protegidos por el aire atrapado.

Además, las muestras de concreto permeable sometidos a congelación lenta y descongelación (un ciclo por día) sufrió menos daños que los sometidos a la norma ASTM C 666-03 Procedimiento A (Neithalath et al. 2005) (de cinco a 12 ciclos por día). La determinación de la dosis adecuada de adición de incorporador de aire, el factor de cemento, y la unidad de peso de la producción de la mezcla se puede lograr a través de lotes de prueba en el laboratorio.

2.4.3.7. Dureza

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

La dureza se puede cuantificar en uno de varios métodos de ensayo, tales como la norma ASTM C 1399-01. Esta prueba produce un valor de post agrietamiento en lb/pulg^2 que se refiere a la resistencia a la flexión de la matriz de concreto. Pruebas de productos de fibras sintéticas en especímenes de vigas de concreto permeable, de acuerdo con la norma ASTM C 1399-01 demostró que las fibras de 1,5 a 2,0 pulgadas (38 a 51 mm) en longitud fueron los más efectivos para proporcionar tenacidad al concreto (SI Concrete Systems 2002).

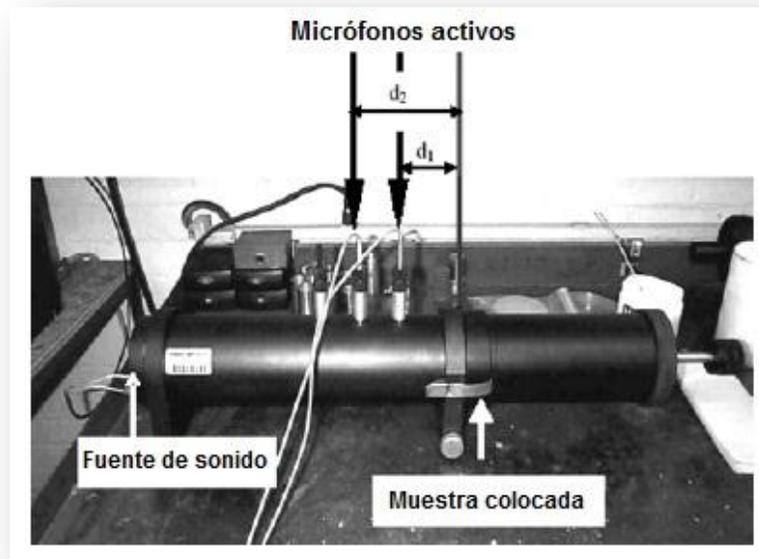
2.4.3.8. Absorción acústica

Debido a la presencia de un gran volumen de interconexión de considerable tamaño en el material, el concreto permeable es altamente eficaz en la absorción acústica. El material puede ser empleado como un medio para reducir el ruido generado por la interacción de los neumáticos en el pavimento de concreto.

La reducción del ruido ocurre debido a la combinación de reducir la generación de ruido e incrementar la absorción del sonido.

Los pavimentos permeables alteran 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 evaluar las características de absorción del sonido del concreto permeable, se puede emplear un tubo de impedancia como se muestra en la figura 2.17. (Neithalath 2004; Marlof et al. 2004). Dicho ensayo está contemplado 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”



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

FIGURA 2.17 – Tubo de impedancia para medir las características de absorción acústica del concreto permeable

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).

2.4.3.9. Contracción

La contracción por secado del concreto permeable se desarrolla más rápido, pero es mucho menor que el concreto convencional. Los valores dependerán de las mezclas y los materiales utilizados, se han reportado valores del orden de 0.002, aproximadamente la mitad de las mezclas de concreto convencional. El bajo contenido de pasta y mortero es una posible explicación. Aproximadamente del 50% al 80% de la contracción ocurre en los primeros 10 días, comparado con 20% a 30% en el mismo período para el concreto convencional. Debido a esta baja contracción y la textura de la superficie, muchos concretos permeables se hacen sin juntas de control y se deja romper al azar.

2.4.3.10. 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 interfase pasta-agregado y/o mediante al ensayo de Pérdida de Material Cementante por Compactación Utilizando el Martillo Próctor.

2.5. MÉTODOS DE DISEÑO

2.5.1. SEGÚN COMITÉ ACI 211.3-02 – GUIA PARA SELECCIONAR PROPORCIONES DE CONCRETO SIN REVENIMIENTO

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

2.5.1.1. Materiales

Las graduaciones más comunes de agregado grueso utilizadas en el concreto permeable reúnen 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). El agregado fino se incorpora para aumentar la resistencia a compresión y reducir la percolación a través del concreto.

2.5.1.2. Relación agua/material cementante

La relación Agua/Material Cementante es una importante consideración para mantener la resistencia y la estructura de vacíos del concreto. Una alta relación Agua/Material Cementante 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/ Material Cementante 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.

2.5.1.3. Porcentaje de vacíos

Para asegurar que el agua filtrará a través del concreto permeable, el porcentaje de vacíos, calculados como porcentaje de aire por el método gravimétrico (ASTM C 138), deber ser 15% o mayor como se muestra en la figura 2.15. 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.

2.5.1.4. 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 (NAA-NRMCA) 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.

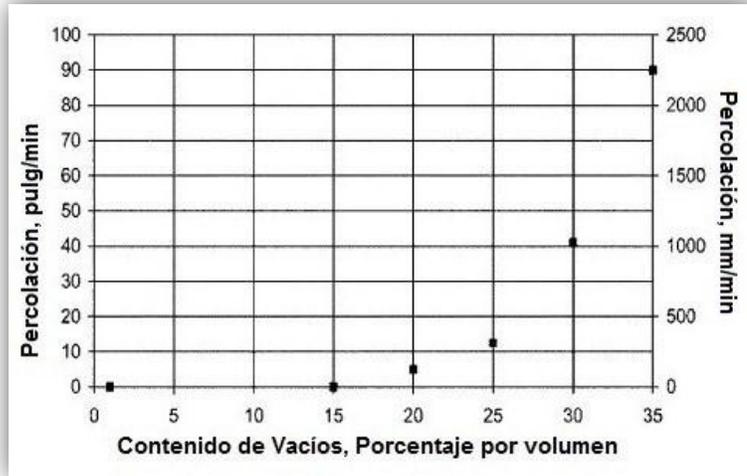
El valor b/b_o compensa automáticamente los efectos de diferentes formas de partículas de agregado grueso, clasificación (graduación) y gravedad específica. Por otra parte, los valores de b/b_o para una gama de agregados de tamaño máximo nominal normalmente se utilizan en concreto permeable, de 10 a 20 mm (3/8 a 3/4 pulgadas), son muy similares.

La Tabla 2.3 expone los valores de b/b_o 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.

Porcentaje de Agregado Fino	b/b_o	
	ASTM C 33 Tamaño N° 8	ASTM C 33 Tamaño N° 67
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

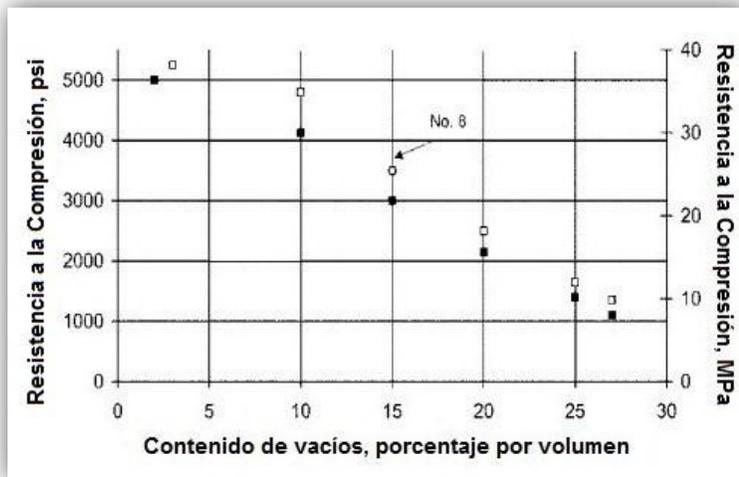
Fuente: Comité ACI 211.3. apéndice 6

TABLA 2.3 – Valores Efectivos de b/b_o



Fuente: Comité ACI 211.3. Apéndice 6

FIGURA 2.18 — Contenido de Vacíos Mínimo para la percolación basada en pruebas y Métodos de Ensayo de la NAA-NRMCA (National Aggregates Association-National Ready Mixed Concrete Association).



Fuente: Comité ACI 211.3. Apéndice 6

FIGURA 2.19 — Relación entre el Contenido de Vacíos y Resistencia a la Compresión a los 28 días para Agregados de Tamaño No. 67 y No. 8 de la Norma ASTM C 33.

2.5.1.5. Procedimiento de Dosificación

El procedimiento de dosificación para el concreto permeable está basado en el volumen de pasta necesaria para ligar las partículas de agregado en conjunto, manteniendo 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_o seleccionados de la Tabla 2.3.

Una vez que el volumen de pasta se determina de la figura 2.20, y seleccionada la relación Agua/Material Cementante deseada, el cemento y las cantidades de agua puede determinarse a partir de la relación:

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

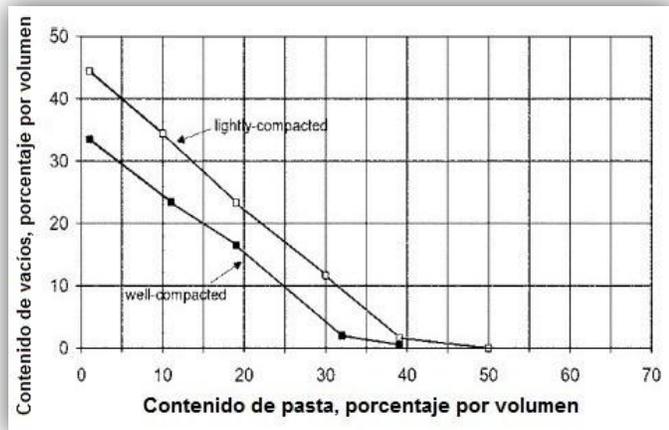
$$V_P = c/3150 + w/1000 \text{ (m}^3\text{)}$$

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

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

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

Cuando el agregado fino se utiliza, 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.



Fuente: Comité ACI 211.3. Apéndice 6

FIGURA 2.20 — Relación entre pasta y contenido de vacíos para agregados de Tamaño N° 8 según designación de la Norma ASTM C 33.

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

Además, se recomienda que las bachadas 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:

- 1) Agua para producir la relación necesaria de Agua/Material Cementante y en
- 2) 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.

2.5.2. SEGÚN ACI 522-10 – REPORTE SOBRE CONCRETO PERMEABLE

El proceso para desarrollar una proporción de mezcla de concreto permeable usualmente es de prueba y error. Por ejemplo, una serie de bachadas de prueba puede desarrollarse en laboratorio y ser ensayada en campo para asegurarse del comportamiento y funcionamiento deseado. 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 pretende ser utilizado para pavimentos y otras aplicaciones donde el drenaje, filtración y alta porosidad es requerida. Los resultados de las bachadas de prueba pueden ser modificados para esperar alcanzar mejores resultados en la producción final.

Básicamente el comité ACI 522 se apoya en el trabajo desarrollado por el comité ACI 211.3-02 en su apéndice N° 6.

El procedimiento 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/b_o aplica conceptos de volúmenes absolutos.

Independientemente 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

Ejemplo – Se necesita una mezcla con las siguientes características:

Proporción bien compactada para una mezcla de concreto permeable con un contenido de vacíos de al menos 20%. La mezcla deberá tener una relación agua/material cementante $(a/mc) = 0.38$. Usando agregado grueso N° 8, que tiene un densidad seca varillada (peso unitario) de 1741.2 kg/m^3 , gravedad específica de 2.75, y absorción de 1.2%. No se utilizará agregado fino en la mezcla.

PASOS A SEGUIR

Paso 1: Determinación del peso del agregado

Para agregado grueso N° 8 sin agregado fino, se recomienda la tabla 2.3 de este capítulo y que corresponde también al Diseño según el Comité ACI 211.3, el valor b/b_o es de 0.99, con una densidad seca varillada de 1741.2 kg/m^3

$$W_a = 1741.2 \text{ kg/m}^3 \times 0.99 = 1723.8 \text{ kg (seca)}$$

Paso 2: Ajuste al peso en estado Saturado Superficialmente Seco

Dado el porcentaje de absorción del 1.2%

$$W_{ssd} = 1723.8 \text{ kg} \times 1.012 = 1744.5 \text{ kg(SSS)}$$

Paso 3: Determinación del volumen de pasta

Usando la figura 2.17 y leyendo a lo largo del porcentaje de vacíos requerido (20% para este ejemplo) para la curva de “bien compactado”, entonces lea abajo para encontrar el porcentaje de pasta que es 15%. Quince por ciento para una metro cúbico es 0.15 metros cúbicos. Además, $VP = 0.15 \text{ m}^3$.

Paso 4: Determinación del contenido de cemento

Aplicando la ecuación

$$c = [VP/(0.315 + w/cm)]$$

$$c = [(150)/(0.315 + 0.38)]$$

$$c = 215.82 \approx 216 \text{ kg}$$

Paso 5: Determinación del contenido de agua

$$w = c(w/cm)$$

$$w = 216 \text{ kg} (0.38) = 82.1 \text{ kg}$$

Paso 6: Determinación de volumen sólido

$$\text{Volumen de Agregado } V_a = 1744.5/2750 = 0.634 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de cemento } V_c = 216/3150 = 0.069 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de agua } V_w = 82.1/1000 = 0.0821 \text{ m}^3$$

$$\text{Total de Volumen Sólido } V_s = V_a + V_c + V_w = 0.634 + 0.069 + 0.0821 = 0.7851 \text{ m}^3$$

Paso 7: Determinación de porcentaje de vacíos

$$\text{Porcentaje de vacíos} = (V_{tot} - V_s)/V_{tot} \times 100$$

$$\text{Porcentaje de vacíos} = (1 - 0.7851) \times 100 = 21.49\%$$

Paso 8: Revisar la porosidad estimada

A 21.5% de vacíos, la figura 2.15 predice una tasa de percolación aproximada de 220 mm/min (8.7 pulg/min).

Paso 9: Bachadas de prueba iterativas y ensayos

Los pesos de bachadas de prueba por pie cúbico son los siguientes:

Cemento = 216 kg

Agua = 82.1 kg

Agregado No. 8 = 1744.5 kg (SSS)

Peso Total= 2042.6 kg

Densidad = 2042.6 kg/m³

2.5.3. SEGÚN NRMCA – METODOLOGÍA DE LA NATIONAL READY MIXED CONCRETE ASSOCIATION (NRMCA)

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

El concreto permeable normalmente es diseñado para un contenido de vacíos en el rango de 15 a 30%. En general a medida que disminuye el contenido de vacíos aumenta la resistencia y disminuye la permeabilidad. El enfoque de la dosificación de mezcla siguiente se puede utilizar para llegar rápidamente a las proporciones de la mezcla 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 al valor objetivo.

2.5.3.1. PASO 1 – PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

Seleccione 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.

Considere el uso de agregado fino

Si bien el concreto permeable se define generalmente como un concreto con poco o ninguna cantidad de agregado fino, el uso de arena puede ofrecer algunas ventajas al 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). El uso de arena normalmente reducirá el contenido de huecos y la permeabilidad del concreto permeable, pero seguiría 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 los agregados gruesos 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. Para agregados combinados el contenido de vacíos normalmente disminuye 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.

Obtener o medir 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".

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

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

PV (%) requerido = Contenido total de vacíos (%) + IC (%) – Contenido de vacíos de diseño (%)

CI = Índice de compactación

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

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

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

En los resultados experimentales con las bachadas de prueba de laboratorio se reporta 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 ft³, por yarda cúbica de concreto permeable:

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

2.5.3.3. PASO 3 – DETERMINACION DE LA RELACION AGUA/CEMENTO (w/cm)

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

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

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

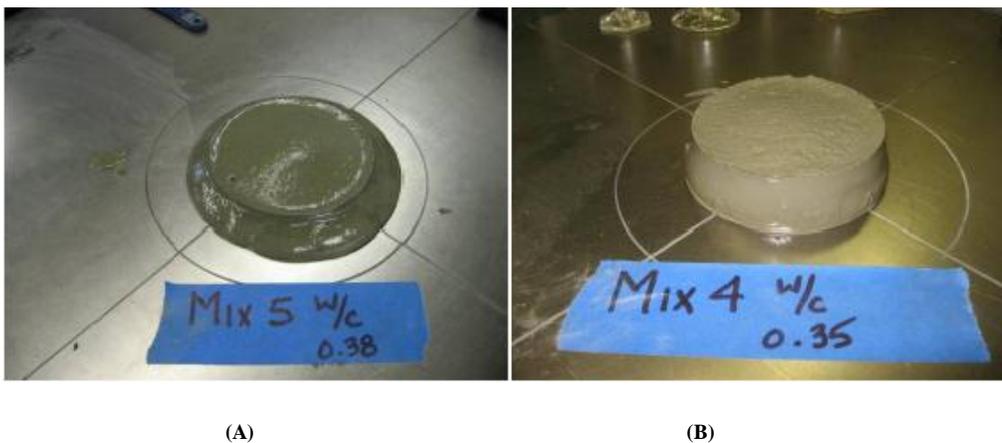
La pasta de cemento es mezclada en una mezcladora Hobart de acuerdo con ASTM C305. La consistencia es evaluada utilizando el molde del cono de flujo según ASTM C1437. El molde del cono de flujo tiene 2,75 pulgadas en el diámetro superior y 4 pulgadas en el diámetro inferior tal y como se muestra en la Figura 2.21.



Fuente: Pervious Concrete: Experimental Validation of Mixture Proportioning Methodology, NRMCA, 2009

FIGURA 2.21 – 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.

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 la Figura 2.22.

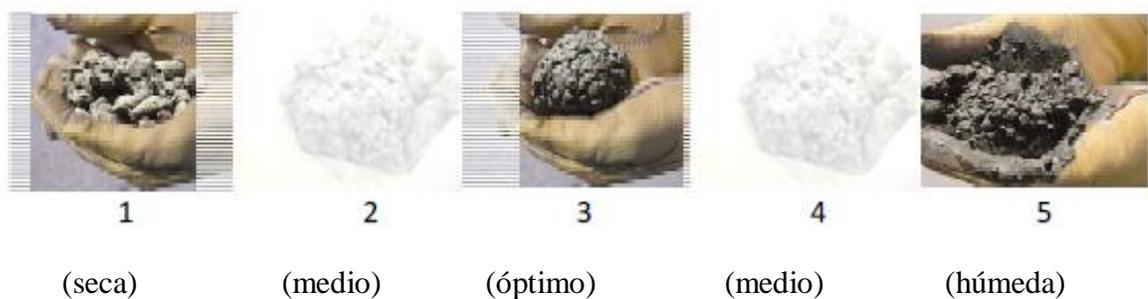


Fuente: Pervious Concrete: Experimental Validation of Mixture Proportioning Methodology. NRMCA, 2009

FIGURA 2.22 – 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

El flujo medido se representa en contra de la relación w/cm de la mezcla de la bachada. Para mezclas de cemento portland se escoge una relación w/cm 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/cm que se recomienda no ha sido validada experimentalmente.

Una relación óptima de w/cm es crítica en concreto permeable. Un valor demasiado bajo de w/cm 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/cm 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 2.6 sosteniendo en una mano parte de la mezcla del concreto permeable fresco dándole forma de una bola, apretándola con las dos manos.



Fuente: Pervious Concrete: Experimental Validation of Mixture Proportioning Methodology. NRMCA, 2009

FIGURA 2.23 – Rangos visuales (1-5) de la trabajabilidad del Concreto Permeable

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

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

En los cálculos es utilizada la simbología siguiente:

M_w = Peso del agua, lb/yarda³

M_c = Peso del cemento, lb/yarda³

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

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

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

V_w = Volumen de agua, pie³

V_{cm} = Volumen absoluto del cemento, pie³

V_{agg} = Volumen absoluto del agregado combinado en estado de Saturado Superficialmente Seco, pie³

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

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

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

RDscm = Densidad relativa de los materiales complementarios del cemento (si lo hay)

RDcm = Densidad relativa del total de material cementante

RDca = SSD (saturado superficialmente seco) gravedad específica del agregado grueso

RDsand = SSD (saturado superficialmente seco) gravedad específica de la arena (si se utiliza)

RDca(seco) = Gravedad específica seca del agregado grueso

RDsand(seco) = Gravedad específica seca de la arena (si se utiliza)

RDagg = SSD (saturado superficialmente seco) gravedad específica de la combinación de los agregados

ρ_w = Densidad del agua (62.4 lb/ft³)

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

$$Agg_{void} = 1 - \left(\frac{DRUW}{RD_{Ca}(\text{sec } o) \times 62.3} \right)$$

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 así:

$$Agg_{void} = 1 - \left(\frac{DRUW}{62.3} x \left(\frac{(1-y)}{RD_{ca} (sec o)} + \frac{y}{RD_{arena} (sec o)} \right) \right)$$

La gravedad específica del total del material cementante es:

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

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

La gravedad específica de la combinación de los agregados es:

$$RD_{cm} = \frac{RD_{ca} x RD_{sand}}{[(1-y) x RD_{sand}] + [x * RD_{ca}]}$$

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

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

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

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

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

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

$$PV, \text{ pie}^3 = V_w + V_{cm}$$

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

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

El volumen de agua:

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

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

$$V_{agg} = 27 - (PV + V_{vacío})$$

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

Cemento (lb/pie³)	$= V_{cm} \times RD_{cm} \times \rho_w \times (1 - x)$
SCM (lb/pie³)	$= V_{cm} \times RD_{cm} \times \rho_w \times x$
Agua (lb/pie³)	$= V_w \times \rho_w$
Agregado grueso SSD (lb/pie³)	$= V_{agg} \times RD_{agg} \times \rho_w \times (1 - y)$
Agregado fino SSD (lb/pie³)	$= V_{agg} \times RD_{agg} \times \rho_w \times y$

2.5.3.5. 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 control en su uso, especialmente cuando se tiene un aditivo incorporador de aire, aditivos estabilizadores de hidratación o aditivos que modifiquen la viscosidad. Usualmente la dosis de los aditivos está basada en unidades de fl.oz./100 lb de material cementante.

Los aditivos reductores de agua o superplastificantes pueden mejorar la consistencia de la pasta y reducir así la cantidad de agua.

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 incorporadores de aire pueden ser utilizados en mezclas de concreto permeable esto hará que al estar sujeta a ciclos de congelación y descongelación sea protegida la integridad de la mezcla. Sin embargo no es posible medir la cantidad de aire contenida en la pasta de la mezcla. La Norma ASTM C 231-09 del ensayo con el medidor de presión no es aplicable. Los investigadores han tratado de usar mediciones microscópicas.

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.

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

Como en el concreto convencional, el paso más importante en el desarrollo de mezclas de concreto permeable es la realización de una bachada o lote de prueba en laboratorio y evaluar las características de la mezcla.

Debe medirse la humedad total de los agregados antes de preparar la bachada.

Calcular 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. Téngase 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 2.23. La pasta debe albergar la cantidad suficiente de agregados y proporcionar la adecuada consistencia para prevenir un secado temprano o escurrimiento de la pasta.

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.

2.5.4. EXPERIENCIA SALVADOREÑA, TESIS UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE EL SALVADOR “DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO POROSO PARA PAVIMENTOS HIDRÁULICOS EN EL SALVADOR

Después de realizar los ensayos respectivos a los materiales a utilizar en el diseño, se procede a la dosificación de la mezcla de concreto permeable.

Para la realización de la dosificación de concreto permeable tomaron como base una investigación chilena en donde se extrajeron parámetros de contenido de cemento, % de vacíos (mínimo 15%), para utilizar en las mezclas de pruebas, los datos utilizados se presentan a continuación:

	8% de Arena		16% de Arena	
Vacíos en la Mezcla, %	15%	17%	15%	17%
W/C	DOSIS DE CEMENTO (kg/m ³)			
0.35	347	313	347	313
0.38	332	300	332	300
0.41	319	288	319	288

Fuente: Tesis Diseño de Mezcla de Concreto Poroso para Pavimentos Hidráulicos de El Salvador, Universidad Politécnica de El Salvador, 2009.

TABLA 2.4 – Dosificación de Cemento en Granulometría con Adiciones de Arena.

Los datos en las casillas sombreadas, fueron tomadas como referencia para el cálculo de diseño de mezcla de concreto permeable; en la investigación se utilizaron los siguientes parámetros:

- Arena 8% y Vacíos de 15%
- Arena 8% y Vacíos de 20 %

- Arena 16 % y Vacíos de 15 %
- Arena 16 % y Vacíos de 20 %
- Arena 16 % y Vacíos de 25 %

En la actualidad en nuestro país no existe una especificación o norma que nos indique los pasos a seguir para un diseño y dosificación de concreto permeable. Los países que se han dedicado a esta investigación toman como base otras experiencias buscando los mejores parámetros de permeabilidad, resistencia a la compresión y flexión entre otros.

Parámetros:

Las investigaciones de mezcla de Concreto Permeable, nos indican que una dosificación que cumpla con las características necesarias para ser utilizada en una capa de rodadura, puede variar de la siguiente manera:

- | | |
|--------------------------------------|---|
| ❖ Revenimiento: | 0 pulgadas |
| ❖ Cemento | entre 300 Kg/m ³ a 400 Kg/m ³ |
| ❖ Agua | entre 50 a 125 lt |
| ❖ Grava | entre 1275 Kg/m ³ a 1500 Kg/m ³ |
| ❖ Arena | entre 0 a 300 Kg/m ³ |
| ❖ Relación A/C | de 0.35 a 0.38 |
| ❖ Peso Volumétrico del concreto seco | de 1750 Kg/m ³ a 2050 Kg/m ³ . |

PROCEDIMIENTO:

Para la dosificación de mezcla tomaron como base el ACI 211 método de volúmenes absolutos y documentación chilena, el cálculo de materiales se realizó en base a una bolsa de cemento ya que utilizaron una mezcladora mecánica (concretera) con dicha capacidad.

PASO I: Materiales a Utilizar

Elegir los materiales adecuados que cumplan con la norma ASTM C33, para uso de una mezcla de concreto poroso el cual será usado en pavimentos hidráulicos.

a) Agregado

Los agregados deben cumplir con los valores antes expuestos

b) Cemento

Utilizar cemento bajo norma ASTM C 1157 tipo GU en bolsas de 42,5 kg.

Este cemento, según especificaciones del fabricante tiene una densidad de 2950 kg/m^3 .

c) Aditivo

Se empleó aditivo MEGAFLOW, reductor de agua de Alto Alcance. Dicho aditivo cumple con la norma ASTM C-494 Tipo F.

PASO II: Cantidad de Cemento

De los parámetros de cemento establecidos anteriormente se eligió una cantidad promedio de cemento a utilizar en nuestras dosificaciones, la cual es de 347 Kg.

Se busca tener cantidades de materiales (ACI 211) se divide la cantidad de cemento entre su gravedad específica la cual es de 2.95

$$C = 347 / 2.95 = 117.6 \text{ lt.}$$

PASO III: Relación A/C

De los parámetros antes mencionados la relación A/C que brinda mejores resultados es de 0.35.

$$A/C = 0.35$$

PASO IV: Cantidad de Agua

La cantidad de agua requerida depende de los parámetros fijados anteriormente y luego se despeja de la relación de agua-cemento (A/C).

$$\text{Si } A/C = 0.35$$

$$\text{y } C = 347 \text{ Kg.}$$

$$\text{Entonces tenemos: } A = 0.35 * (C) = 0.35 * (347)$$

$$A = 121.50 \text{ kg ó } 121.50 \text{ lt.}$$

PASO V: Porcentaje de Vacíos

Si la mezcla se basa para 1 m³ ó 1000 lt de volumen obtenemos el cálculo de 15%, 20% y 25 % de vacíos respectivamente.

$$\text{Vacíos } 15\% = 1000 \text{ lt. } *(15\%) = 150 \text{ lt.}$$

$$\text{Vacíos } 20\% = 1000 \text{ lt. } *(20\%) = 200 \text{ lt.}$$

Vacíos 25% = 1000 lt. *(25%) = 250 lt.

Pero al ocupar la cantidad de vacíos como peso, es despreciable por que no posee peso alguno.

PASO VI: Cantidad de Arena a Utilizar.

Para la investigación se tomaron porcentajes de arena de 8% para las 2 primeras mezclas y para las 3 restantes de 16% de arena, el cual se calcula de la siguiente manera.

Si la mezcla está basada para 1 m³ de concreto y un peso volumétrico seco del concreto poroso oscila entre 1900 a 2000 kg/cm³, el cálculo de cantidad de arena queda de esta manera:

$$1900 \text{ kg/m}^3 * (8\%) = 152 \text{ kg} \approx 160 \text{ kg}$$

$$1900 \text{ kg/m}^3 * (16\%) = 304 \text{ kg} \approx 305 \text{ kg}$$

Luego este resultado se divide por el valor de la gravedad específica del agregado fino el cual es de 2.60, para obtener unidades de volumen (ACI 211)

$$\text{Arena al (8\%)} = 160 \text{ kg}/2.60 = 61.50 \text{ lts}$$

$$\text{Arena al (16\%)} = 305 \text{ kg}/2.60 = 117.3 \text{ lts}$$

PASO VII: Contenido de Grava.

Si la mezcla al inicio se basa para 1 m³ de concreto que es igual que corresponda a 1000 litros en volumen, hay que convertir a una sola unidad de medición.

El cálculo de la grava se realiza por diferencia de volumen. El Cual dice que la sumatoria de todos los agregados será igual a 1000 lt; por lo tanto la grava será la diferencia del cálculo:

Ejemplo:

Para 15% de Vacíos y 8% de Arena

Cemento =117.6 lt

Agua= 121.5 lt.

(15%) de vacíos = 150 lt

Arena (8%)= 61.50 lt

Para un total de la mezcla=1000 lt.

Grava= (1000 – 117.6 – 121.5 –150 - 61.5) lt

Cantidad de Grava= 549.40 lt.

Luego se multiplica por la gravedad específica del agregado grueso que es de: 2.586, obteniendo:

Grava= 549.40 lt *(2.586)= 1420.70 kg.

PASO VIII: Cálculo de Aditivo

La hoja de técnica del aditivo reductor de agua MEGAFLOW dice que por cada 100 kg de cemento se utilizara una cantidad de 522 ml de aditivo. Por lo que la cantidad de aditivo es de 0.25 ml, el aditivo tiene que ir incluido en la cantidad de agua, entonces se tiene 14.82 kg de agua + 0.25 de aditivo, lo que hace un total de líquidos de 121.5 lt de agua más aditivo a utilizar.

- ❖ Relación Agua/Cemento: 0.26 – 0.35
- ❖ Contenido del agregado: El volumen bruto de los agregados para un m³ deberá ser igual a 1000 litros
- ❖ Aditivos: Utilizados de acuerdo con las instrucciones y recomendaciones del fabricante

2.6.2. ORMCA – OHIO READY MIXED CONCRETE ASSOCIATION

- ❖ Relación agregado/cementante: 4:1 – 5:1
- ❖ Peso unitario de la mezcla de concreto: 1840 kg/m³ – 2080 kg/m³
- ❖ Contenido de vacíos de la mezcla: 13% - 25%
- ❖ Contenido de cemento: 267 kg/m³ – 356 kg/m³
- ❖ Contenido cementante suplementario: Cenizas volantes: 25% máximo;
- ❖ Escoria: 25% máx., Combinados: 35% Máx.
- ❖ Relación Agua/Cemento: 0.28 – 0.35
- ❖ Fibras : polipropileno sintético: 0.1% del volumen de la Mezcla ó 0.593 Kg/m³ a 0.890 kg/m³
- ❖ Celulosa: 0.890 kg/m³ a 1.78 kg/m³
- ❖ Contenido de agregado: El volumen bruto de agregado por m³ es de 1000 litros, cuando es calculado de la densidad seca varillada (peso unitario) conforme a la Norma ASTM C 29
- ❖ Aditivos: De acuerdo con las instrucciones y recomendaciones del fabricante

2.6.3. ACI – AMERICAN CONCRETE INSTITUTE - COMITÉ ACI 522

Un esfuerzo conjunto entre la National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA) y la Portland Cement Association (PCA) publicaron la siguiente tabla:

	Proporciones, lb/yarda³	Proporciones, kg/m³
Material Cementante	450 a 700	270 a 415
Agregado	2000 a 2500	1190 a 1480
Relación Agua:cemento *** (por masa)	0.27 a 0.34	-----
Relación Agregado : cemento *** (por masa)	4 a 4.5:1	-----
Relación Ag. Fino : Agregado Grueso**** (por masa)	0 a 1:1	-----

Fuente: NRMCA, PCA

TABLA 2.5 – Rango Típico de Proporciones de Concreto Permeable**

* Estas proporciones son dadas solamente para información. El éxito de la mezcla de diseño dependerá de las propiedades de los materiales particulares y deberán ser ensayados en batchadas de prueba para establecer proporciones adecuadas y determinar el comportamiento esperado. Los productores de concreto deben tener proporciones óptimas de mezclas de concreto permeable para desarrollarlas con materiales locales. En estos casos, las proporciones son preferibles.

**Aditivos químicos, particularmente retardantes y estabilizadores de hidratación, son también comúnmente utilizados, a dosificaciones recomendadas por el fabricante. El uso de materiales suplementarios cementantes, tal como ceniza volante y escoria, es común.

***Relaciones altas han sido utilizadas, pero puede resultar en reducciones significativas en resistencia y durabilidad

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

2.7. DISEÑO ESTRUCTURAL

2.7.1. GENERAL

En la determinación del espesor de la sección de un pavimento permeable, dos análisis importantes deben llevarse a cabo: uno para adecuación estructural y el otro para las características hidráulicas. Estas dos características influyen entre sí y ambos deben abordarse con sumo cuidado. En esta sección se analizan los aspectos aplicables al diseño estructural

Subrasante y sub-base: La subrasante es el suelo por debajo de la sub-base. La sub-base es el conjunto instalado por debajo de la capa de rodadura del pavimento. La sub-base proporciona soporte vertical, capacidad de almacenamiento y capacidad de filtración para el tratamiento de contaminantes.

Algunos suelos pueden proporcionar suficiente drenaje y apoyo por lo que la sub-base puede ser opcional. Si el apoyo, la capacidad de drenaje, o las capacidades de filtración están limitados por la sub-base, debe ser utilizado un material de sub-base. En las zonas expuestas a los ciclos de hielo y deshielo, la sub-base actúa como aislante y proporciona un importante retraso en la formación de hielo por debajo del pavimento permeable (Backstrom 2000; Kevern y Schaefer 2008).

Incrementando la rigidez de la subrasante y de la sub-base, aumenta la capacidad de carga de un determinado sistema de pavimento. La rigidez de la subrasante puede ser medida por el Módulo de Reacción de la Subrasante “*k*” (mediante el Ensayo de Placa de Carga), el California Bearing Ratio (CBR), o por otros métodos menos comunes. ACI 330R proporciona la rigidez típica. Los valores para los distintos tipos de suelos y proporciona las correlaciones entre los valores calculados por los distintos métodos.

TIPO DE SUELO	RESISTENCIA DE LA SUBBASE	CBR (%)	VALOR DE $k \times 10^{-6}$ (Kg/cm ³)
Suelos finos con arena, en los cuales predomina arcilla y limo	BAJO	3 - 6	1620 – 2430
Arenas mal graduadas y suelos predominantemente arenosos con moderadas cantidades de limo y arcilla	MEDIO	30 – 45	2430 – 3560
Gravas, arenas bien graduadas y arenas con gravas relativamente libres de finos plásticos	ALTO	MÁS DE 45	MÁS DE 3560

Fuente: De la Fuente Lavalle, Eduardo. “Suelo-cemento. Usos, Propiedades y Aplicaciones” IMCYC, 1995, Pág. 36

TABLA 2.6 – Tipos de suelos y valores medios de sus capacidades.

El diseño de pavimentos tradicionales excluye en la mayoría de los casos que el agua infiltre al subsuelo por debajo del pavimento. El pavimento permeable está diseñado para permitir que el agua sature la subrasante y toda la estructura del pavimento. Esta condición se debe tomar en cuenta al determinar las propiedades de la subrasante. Cuanto más se compacta el suelo, será menos permeable. Por esta razón, las subrasantes generalmente son compactadas a una densidad más baja que las de pavimentos tradicionales de concreto. El grado de compactación típicamente es del

90% de la densidad máxima seca del método de ensayo Próctor Estándar. El Módulo de Reacción de la subrasante utilizado en el diseño debe tener en cuenta para el menor grado de compactación.

Tipo de suelo	Soporte	<i>k</i> , pci (MPa/m)	CBR	R	SSV
Suelos de grano fino, en las que predominan el tamaño de partículas de limo arcilla	Bajo	75 a 120 (20 – 34)	2.5 a 3.5	10 a 22	2.3 a 3.1
Arenas y mezclas de grava y arena con una moderada cantidad de limo y arcilla	Mediano	130 a 170 (35 – 49)	4.5 a 7.5	29 a 41	3.5 a 4.9
Arenas y mezclas de grava y arena relativamente libres de finos plásticos.	Alto	180 a 230 (50 – 60)	8.5 a 12	45 a 52	5.3 a 6.1

Nota: El valor de *k* también puede ser expresado como psi/in, (lb/pulg²)/pulg

Fuente: Comité ACI 330R -01

TABLA 2.7 – Valores de Soporte aproximados para Suelos de Subrasantes.

ASTM D1883-07 define un método de laboratorio para determinar el CBR de un suelo que incluya una opción para saturar la muestra de suelo en agua durante 96 horas antes de la prueba. Esta opción debe ser utilizada para las pruebas de suelos de grano fino que se compactan conforme a lo anterior, es decir al 90% o del criterio de compactación establecido por el ingeniero.

Clasificación AASHTO	Descripción	Clasificación SUCS	Densidad Seca (lb/pie ³)	CBR (%)	Valor de K (psi/pulg)
SUELOS DE GRANO GRUESO					
A - 1 - a, Bien graduada	Grava	GW	125 - 140	60 - 80	300 - 450
A - 1 - a, Pobrememente graduada		GP	120 - 130	35 - 60	300 - 400
A - 1 - b	Arena Gruesa	SW	110 - 130	20 - 40	200 - 400
A - 3	Arena Fina	SP	105 - 120	15 - 25	150 - 300
A - 2 SUELO (Material Granular con abundante partículas finas)					
A - 2 - 4, Gravoso	Gravas con Limos	GM	130 - 145	40 - 80	300 - 500
A - 2 - 5, Gravoso	Grava Gruesa con Limos				
A - 2 - 4, Arenoso	Arena con Limos	SM	120 - 135	20 - 40	300 - 400
A - 2 - 5, Arenoso	Arenas Gruesas con Limos				
A - 2 - 6, Gravoso	Grava con Arcilla	GC	120 - 140	20 - 40	200 - 450
A - 2 - 7, Gravoso	Arena Gruesa con Arcilla	SC	105 - 130	10 - 20	150 - 350
A - 2 - 6, Arenoso	Arena con Arcilla				
A - 2 - 7, Arenoso	Grava con Arena y Arcilla				
SUELOS FINOS					
A - 4	Limos	ML	90 - 105	4 - 8	25 - 165*
	Limos/Arenas y mezclas de Gravas	OL	100 - 125	5 - 15	40 - 220*
A - 5	Limo Pobrememente Graduado	MH	80 - 100	4 - 8	25 - 190*
A - 6	Arcilla Plástica	CL	100 - 125	5 - 15	25 - 255*
A - 7 - 5	Arcilla Moderadamente Plástica	CL, OL	90 - 125	4 - 15	25 - 215*
A - 7 - 6	Arcilla Altamente Plástica	CH, OH	80 - 110	3 - 5	40 - 220*

Fuente: Supplement to the AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1998.

TABLA 2.8 – Valores de Densidades Secas, CBR y Módulo de Reacción “K” para distintos tipos de Suelo

* El valor de soporte del suelo “K”, depende del grado de saturación del suelo.

Al especificar la compactación para el diseño estructural, se debe considerar el efecto de la compactación que tiene sobre las propiedades hidráulicas de diferentes tipos de suelo. Compactando ciertos suelos arcillosos al 90% puede causar una gran reducción en la permeabilidad, mientras que el grado de compactación de casi 100% en suelos arenosos puede no tener ningún efecto. Es importante, por lo tanto, examinar cuidadosamente los suelos presentes en cada proyecto, tanto para capacidades estructurales y de drenaje antes de especificar un grado de compactación. De igual importancia son necesarias las pruebas de campo de la subrasante y sub-base para la permeabilidad después de la compactación para confirmar que todavía se ajustan a los cálculos realizados para el diseño estructural e hidráulico del lugar.

Los suelos expansivos son aquellos que cambian su volumen en presencia de un contenido de humedad. Los suelos expansivos pueden ser estabilizados por el tratamiento químico o mediante el desalojo de sus capas superiores restituyendo dicho corte por un suelo no expansivo. La profundidad de la restitución del suelo o la estabilización del suelo debe ser seleccionada para proporcionar una superficie estable que exceda la presión generada por el suelo expansivo. Con la estabilización con cal, la permeabilidad de un suelo arcilloso se incrementa rápidamente. Los suelos con altos contenidos de arcilla y aquellos compactados en el lado óptimo seco tienden a mostrar mayores incrementos en la permeabilidad con el tratamiento con cal.

Algunos permeabilidades, sin embargo, disminuyen con la edad (Bell, 1993). Los suelos estabilizados con cemento y cenizas volantes reducen la permeabilidad después de su aplicación (Little et al. 2000). Dependiendo de la aplicación, reduciendo la permeabilidad puede ser deseable para aplicaciones tales como la captación de agua. Adicionando una sub-base granular por debajo del concreto permeable aumenta la capacidad de soporte del pavimento. La Tabla 2.9 (Tabla 2.2 del comité ACI 330R-01), indica el aumento del módulo de reacción de la subrasante proporcionada para diferentes espesores de sub-base. Esta sub-base granular también se puede utilizar como un reservorio para almacenar agua de lluvia.

Valor de k de la subrasante, pci	Espesor de la Sub base			
	4 pulg (100 mm)	6 pulg (150 mm)	9 pulg (225 mm)	12 pulg (300 mm)
	Sub base de agregado granular			
50	65	75	85	110
100	130	140	160	190
200	220	230	270	320
300	320	330	370	430
	Sub base tratada con cemento			
50	170	230	310	390
100	280	400	520	640
200	470	640	830	----
	Otra sub base tratada			
50	85	115	170	215
100	175	210	270	325
200	280	315	360	400
300	350	385	420	490

Fuente: Comité ACI 330R-01

TABLA 2.9 – Módulos de Reacción de Subrasante “ k ” Compuesto

Para diferentes sub bases aplicadas sobre diferentes subrasantes, psi/in [(lb/pulg²)/pulg]

Nota: El valor de las unidades de k pueden ser expresados también como psi/in.

2.7.2. RESISTENCIA DEL CONCRETO

La guía para el diseño estructural de pavimentos de concreto convencional para estacionamientos se proporciona en el comité ACI 330R-01 y para calles y carreteras en el comité ACI 325.12R. Estos documentos abordan diferentes aspectos del diseño de pavimentos. Las recomendaciones de diseño estructural en estos documentos, sin embargo, no son necesariamente aplicables a su uso con pavimento permeable. Como no hay métodos estándar de prueba para el diseño de la resistencia del concreto permeable, la especificación de la resistencia del concreto debe ser evitada.

2.7.3. SELECCIÓN DEL ESPESOR DE LA ESTRUCTURA

No hay datos que ofrezcan un diseño para un rendimiento como los de un pavimento estándar para el uso de tráfico prolongado de camiones pesados.

El éxito de los pavimentos existentes por los instaladores varía según la experiencia, el pavimento, los diseños de mezcla, y las condiciones locales. Categorías de tráfico se definen por el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA). ACI 330R proporciona una discusión completa de este tema. El TPDA no corresponde con un solo camión de tamaño de carga por eje. Supone un conjunto de tamaños de camiones de pequeño a grande, con una alta frecuencia de camiones pequeños y una baja frecuencia de camiones más pesados. Debido a los camiones más pesados, aún en pequeñas

cantidades, dominan el daño por fatiga del pavimento, que debe ser la base para la selección de la categoría de tráfico.

Se debe tomar en cuenta las experiencias en otros lugares para verificar que el historial de desempeño sea exitoso tanto de calidad de la instalación y el uso de diseños similares a las necesidades de cualquier proyecto en específico. Si no puede encontrar ejemplos de proyectos exitosos, la Comisión de la National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA) (2007) sugiere espesores de concreto permeable de 6 pulgadas (150 mm) para pavimentos con baja exposición de camiones pesados considerados en el Tráfico Promedio Diario Anual (menos de 5 camiones) en estacionamientos. Esto se basa en el éxito histórico en los EE.UU. No hay ningún estándar actual de espesores de las calles, pero hay ejemplos de vías de bajo volumen de tráfico en calles con espesores que van desde 150 a 300 mm (6 a 12 pulgadas).

En el libro “Diseño de Pavimentos de Concreto, Construcción y Desempeño” de Norbert Delatte (Concrete Pavement Design, Construction, and Performance) expone lo siguiente:

Las tablas de diseño de los comités ACI A330R-01 y ACI 325.1R-02 son limitadas para un concreto de al menos 3.4 MPa (500 psi). El concreto permeable posee una baja resistencia a la flexión menor de 3.4 MPa (500 psi) se han desarrollado el diseño de las siguientes tablas (Ver Tabla 2.910A – Tabla 2.10 E), y que son aplicables para el

concreto permeable. Resistencias a la flexión de 2.1 a 3.1 MPa (300 – 450 psi) pueden ser utilizadas.

Se supone que la tasa de crecimiento del tráfico de camiones es del 2 por ciento anual. El módulo de elasticidad E del concreto se supone que es de 6750 veces la resistencia a la flexión o módulo de ruptura. El pavimento de concreto permeable no tiene dovelas (pasadores), y supone que no tiene borde de apoyo. Si fueran proporcionados bordes de apoyo, el espesor del pavimento se podría reducir. En este momento, la relación de fatiga para el concreto permeable no se conoce. Como resultado, estas tablas se han desarrollado utilizando 90 por ciento de confiabilidad más del 85 por ciento, para agregar el conservadurismo en el diseño hasta que esté disponible una mejor información sobre el comportamiento a la fatiga del concreto permeable.

CBR = 2 13.5 MPa/m Esfuerzo de Flexión del Concreto

50 psi/m

		kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi
		3100	450	2750	400	2400	350	2100	300
Trafico	TPDA	Espesor de Pavimento Requerido							
		mm	in	mm	in	mm	in	mm	in
Residencial	1	191	7.5	203	8	216	8.5	241	9.5
	10	216	8.8	229	9	254	10	276	10.5
Colector	25	241	9.5	254	10	280	11	305	12
	300	267	10.5	280	11	305	12	330	13
Arteria	100	280	11	305	12	330	13	356	14
Menor	300	292	11.5	318	12.5	343	13.5	381	15
	700	305	12	330	13	356	14	381	15
Arteria	700	330	13	356	14	381	15	419	16.5
Mayor	1500	330	13	356	14	394	15.5	432	17

Fuente: "Concrete Pavement Design, Construction, and Performance", Norbert Delatte, 2008, páginas 189 – 194.

Tabla 2.10 A – Tabla de Espesor de Diseño para Pavimentos de Concreto Permeable

CBR = 2.5 20.3 MPa/m Esfuerzo de Flexión del Concreto

75 psi/m

		kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi
		3100	450	2750	400	2400	350	2100	300
Trafico	TPDA	Espesor de Pavimento Requerido							
		mm	in	mm	in	mm	in	mm	in
Residencial	1	178	7	191	7.5	203	8	229	9
	10	203	8	216	8.5	229	9	254	10
Colector	25	229	9	241	9.5	254	10	280	11
	300	254	10	267	10.5	292	11.5	318	12.5
Arteria	100	267	10.5	280	11	305	12	330	13
Menor	300	280	11	292	11.5	318	12.5	356	14
	700	292	11.5	305	12	330	13	356	14
Arteria	700	305	12	330	13	356	14	381	15
Mayor	1500	318	12.5	330	13	368	14.5	394	15.5

Fuente: "Concrete Pavement Design, Construction, and Performance", Norbert Delatte, 2008, páginas 189 – 194.

Tabla 2.10 B – Tabla de Espesor de Diseño para Pavimentos de Concreto Permeable

CBR = 3		27 MPa/m		Esfuerzo de Flexión del Concreto					
		100 psi/m							
		kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi
		3100	450	2750	400	2400	350	2100	300
Trafico	TPDA	Espesor de Pavimento Requerido							
		mm	in	mm	in	mm	in	mm	in
Residencial	1	178	7	191	7.5	203	8	216	8.5
	10	191	7.5	216	8.5	229	9	241	9.5
Colector	25	216	8.5	229	9	254	10	280	11
	300	241	9.5	254	10	280	11	305	12
Arteria	100	254	10	280	11	292	11.5	318	12.5
Menor	300	267	10.5	280	11	305	12	343	13.5
	700	280	11	292	11.5	318	12.5	343	13.5
Arteria	700	292	11.5	318	12.5	343	13.5	368	14.5
Mayor	1500	305	12	318	12.5	343	13.5	381	15

Fuente: "Concrete Pavement Design, Construction, and Performance", Norbert Delatte, 2008, páginas 189 – 194.

Tabla 2.10 C – Tabla de Espesor de Diseño para Pavimentos de Concreto Permeable

CBR = 6 40.5 MPa/m Esfuerzo de Flexión del Concreto

150 psi/m

		kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi
		3100	450	2750	400	2400	350	2100	300
Trafico	TPDA	Espesor de Pavimento Requerido							
		mm	in	mm	in	mm	in	mm	in
Residencial	1	165	6.5	178	7	191	7.5	203	8
	10	191	7.5	203	8	216	8.5	229	9
Colector	25	203	8	216	8.5	241	9.5	254	10
	300	229	9	241	9.5	267	10.5	292	11.5
Arteria	100	241	9.5	254	10	280	11	305	12
Menor	300	254	10	267	10.5	292	11.5	318	12.5
	700	267	10.5	280	11	305	12	330	13
Arteria	700	280	11	292	11.5	318	12.5	356	14
Mayor	1500	280	11	305	12	330	13	356	14

Fuente: "Concrete Pavement Design, Construction, and Performance", Norbert Delatte, 2008, páginas 189 – 194.

Tabla 2.10 D – Tabla de Espesor de Diseño para Pavimentos de Concreto Permeable

CBR = 10 54 MPa/m Esfuerzo de Flexión del Concreto

200 psi/m

		kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi
		3100	450	2750	400	2400	350	2100	300
Trafico	TPDA	Espesor de Pavimento Requerido							
		mm	in	mm	in	mm	in	mm	in
Residencial	1	152	6	165	6.5	178	7	203	8
	10	178	7	191	7.5	203	8	229	9
Colector	25	203	8	216	8.5	229	9	254	10
	300	216	8.5	241	9.5	254	10	280	11
Arteria	100	229	9	254	10	267	10.5	292	11.5
Menor	300	241	9.5	267	10.5	280	11	305	12
	700	254	10	267	10.5	292	11.5	318	12.5
Arteria	700	267	10.5	292	11.5	305	12	343	13.5
Mayor	1500	280	11	292	11.5	318	12.5	343	13.5

Fuente: "Concrete Pavement Design, Construction, and Performance", Norbert Delatte, 2008, páginas 189 – 194.

Tabla 2.10 E – Tabla de Espesor de Diseño para Pavimentos de Concreto Permeable

Conservadurismo adicional se introduce en el diseño, ya que el espesor se redondeará hasta 12,5 mm (1/2 pulgadas) de incremento para la facilidad de la construcción.

Un concepto eficiente de diseño es la combinación de concreto permeable y convencional en el mismo sitio. Consideremos, por ejemplo, una calle en la ciudad de

cuatro carriles con estacionamiento. Los dos carriles centrales, que lleva la mayoría del tráfico, son de concreto convencional. Los carriles aledaños a las aceras o las orillas están hechos de concreto permeable, y son capaces de manejar tanto el agua que se escapa del concreto convencional y la lluvia que cae sobre ellos. Ellos se encargan de menos tráfico que el de los dos carriles interiores. Esto combina la durabilidad de las calles de concreto convencional con la capacidad de drenaje del concreto permeable.

2.8. DISEÑO HIDROLÓGICO

2.8.1. GENERAL

Para el diseño de sistemas de pavimentos de concreto permeable se debe tener en cuenta dos condiciones posibles para que no ocurra escorrentía superficial en exceso en el evento de la lluvia debido a:

- ❖ Baja permeabilidad del concreto permeable, o
- ❖ Almacenamiento inadecuado previsto en el sistema de concreto permeable.

La permeabilidad, en general no es una limitación o una función crítica de diseño. La permeabilidad del concreto permeable y cualquier capa de base subyacente serán mucho mayores que la constante de infiltración de casi todos los suelos, siempre y cuando la superficie del pavimento es adecuadamente mantenida.

Una porosidad moderada en el sistema de concreto permeable tendrá una permeabilidad de $143 \text{ L/m}^2/\text{minuto}$, el cual es equivalente a una tasa de filtración de 8600 mm/h , valor mucho mayor que cualquier tasa de permeabilidad de un suelo.

La tasa de exfiltración (la cantidad de agua que evacúa del sistema de pavimento de concreto permeable y es depositada a la subrasante para su posterior filtración) de escorrentía capturados en el sistema de pavimento de concreto permeable en la

subrasante está controlada por la infiltración en el suelo. La permeabilidad del pavimento de concreto permeable debe ser mantenida mediante un mantenimiento de rutina en el período de servicio, que puede consistir en utilizar una aspiradora para limpiar de finos que estén colmatando los poros de la estructura del concreto permeable deberá ser periódicamente esta actividad (por ejemplo anuales o semestrales)

El beneficio principal del concreto permeable son sus propiedades hidrológicas. Se puede determinar la cantidad de beneficios que el diseñador es capaz de aprovechar. Sin embargo, independientemente del área geográfica. Se han hecho intentos para reducir el impacto de las urbanizaciones mediante la reducción de los volúmenes de escorrentía de aguas pluviales de pre-desarrollo, los niveles y el tratamiento de las aguas pluviales antes que salgan del sitio. En los EE.UU., el National Pollution Discharge Elimination System (NPDES) requiere que se haga un tratamiento de todas las aguas pluviales para reducir la los niveles de contaminación del agua. Esta es una ciencia empírica, no casi tan exacta como el tratamiento de agua potable debido a la variabilidad de las cargas contaminantes y de los flujos. La tecnología no tiene la intención de purificar el agua a una condición de tipo destilada porque no es práctico, económico, o necesaria. La intención es sólo para eliminar la carga contaminante tanto como sea posible en un intento de descarga de agua más limpia a tasas sostenibles, y reducir el impacto de las urbanizaciones en los suministros de agua.

Los suministros de agua se clasifican en dos categorías: el agua superficial y las aguas subterráneas. Sitios de desarrollo (urbanizaciones, fábricas, etc) en suelos arenosos con depósitos profundos de aguas subterráneas puede seguir una filosofía de diseño de infiltración: la descarga de agua al nivel freático tan limpia como sea posible y descarga a cuerpos de agua superficiales sólo en los eventos de tormenta. Cuando el desarrollo del pavimento se encuentra en sitios con suelos arcillosos o suelos limosos, o en regiones poco profundas de la roca madre, debe tratar el agua antes de salir a fusionarse con un cuerpo de agua superficial, como un arroyo, río o lago. Sin embargo, en estos tipos de suelos de baja permeabilidad, el agua de lluvia se infiltra, al igual que lo hace en los suelos de alta permeabilidad, sólo que en menor cantidad. El efecto acumulado en la recarga y el tratamiento de la calidad del agua en el curso de un año puede ser considerable.

Hay tres características específicas de diseño de concreto permeable que el diseñador se puede beneficiar:

1. Reducción del volumen de escorrentía
2. Reducción del volumen de tratamiento, y
3. reducción de área impermeable en el sitio.

Reducción del volumen de escorrentía – la reducción del volumen de escorrentía es la cantidad de agua de lluvia que una parte de los terrenos, propiedades desarrolladas o urbanizados descargan en un terreno adyacente o en cuerpos de agua (ríos, lagos, mar,

etc.), si las Mejores Prácticas de Manejo (BMPs, por sus siglas en inglés) de aguas pluviales no se encuentran en el lugar, habrá exceso del volumen de descarga respecto a niveles de pre desarrollo. Las BMPs incluyen estanques de retención, drenajes, cunetas, y los humedales. La mayoría de estas BMPs consumen valiosas áreas urbanizables.

Reducción del volumen de tratamiento – El volumen de tratamiento es la cantidad de las aguas pluviales que debe ser tratada en el lugar antes de salir de la propiedad. El tratamiento puede ocurrir a través de una combinación de propiedades químicas, físicas y los procesos biológicos en función del tipo de las BMP.

Reducción del área impermeable – El área impermeable es la fracción de la superficie que no permite la infiltración del agua en el inicio de un evento de lluvioso, que por lo general consiste en construcciones, aceras y pavimentos.

Muchos municipios no limitan la cantidad de área impermeable en un determinado lugar de proyecto.

Para una discusión más profunda del manejo de las aguas lluvias, puede consultarse en el sitio web de la [http:// www.epa.gov/waterscience/stormwater](http://www.epa.gov/waterscience/stormwater).

2.8.2. PROPIEDADES DEL SISTEMA DE PAVIMENTO DE CONCRETO PERMEABLE

Las propiedades de drenaje que son de interés para el concreto permeable y la base de grava son: la porosidad y tasa de flujo vertical.

Para el concreto permeable:

1. La tasa de flujo vertical es típicamente de 5 a 10 gpm/pie² (480 a 960 cm/hr) con valores tan altos como 30 gpm/pie² medidos en pruebas de laboratorio (PCA EB302). Estos valores superan ampliamente cualquier intensidad de lluvia de diseño que se pudiera esperar. El flujo vertical no es limitante.
2. La porosidad del concreto permeable puede variar de región a región. El valor por defecto de 20% es seleccionado como un promedio válido en muchos lugares.

Para la base de grava opcional:

1. El flujo vertical similarmente no resulta limitante.
2. La porosidad es alrededor del 40% para una amplia gama de pesos unitarios

2.8.3. TASAS DE EXFILTRACIÓN

El proceso físico que rige la interacción suelo-agua para que el agua pase del sistema de pavimento de concreto permeable y la absorba el suelo, es bastante complejo. Hay gran cantidad de variables, muchos de los cuales son difíciles de medir y más difícil de

predecir. Con el fin de configurar un sistema de pavimento de concreto permeable, un modelo simple es suficiente.

En el diseño, la exfiltración del sistema de pavimento para la sub-base se calcula suponiendo exfiltración constante cuando se almacena el agua. Esto es consistente con los datos conocidos en el momento de diseño preliminar, y es probable que suficiente en la mayoría de los casos. Para la estimación de las tasas de exfiltración, alguna orientación está disponible en los textos y estudios del suelo del SCS (Soil Conservation Service, Servicio de Conservación de Suelos) tal como lo expone la Tabla 2.10.

Material	Permeabilidad	
	mm/seg	Pulg/hr
Arena	0.01	1.4
Arena limosa	0.002 a 0.0004	0.3 a 0.06
Limo	0.0001 a 0.000001	0.01
Arcilla	<0.000001	0.0001

Fuente: Soil Conservation Service, After Sowers, 1979

TABLA 2.11 – Expectativas Generales de Permeabilidad

La tasa de exfiltración seleccionada para el sitio es muy importante en los casos en que el almacenamiento temporal del volumen de agua de lluvia es grande o el tiempo necesario para la recuperación de la capacidad de almacenamiento es largo.

En el uso de las tasas de infiltración de las referencias tenga en cuenta que:

1. Los valores obtenidos en la tabla son para suelos naturales.
2. Las características del suelo pueden variar mucho en pequeñas distancias.

3. Las tasas de infiltración por lo general disminuye con la profundidad en el suelo.
4. Las operaciones de movimiento de tierras pueden revolver el suelo.
5. Las operaciones de movimiento de tierras suelen dar lugar a suelos muy compactados.

En exploraciones o estudios de viabilidad, es conveniente analizar una serie de tasas de infiltración y el diseño tormentas. Si el rendimiento del sistema parece ser sensible a las variaciones de la tasa de exfiltración, puede ser necesario ensayar las condiciones reales del campo para refinar el diseño. El autor (Malcolm, 2002) utiliza los siguientes valores en los estudios preliminares para evaluar el rendimiento esperado de un sistema:

1. En suelos arenosos usar de 0,5 a 1 pulg/hora
2. En los suelos limosos usar 0.1 pulg/ hora
3. En los suelos arcillosos usar 0.01 pulg/hora

2.8.4. TORMENTA DE DISEÑO

El concepto de tormenta de diseño convencional es utilizado en la gestión de las aguas pluviales, y es la ponderada al centro; la tormenta de diseño del periodo de retorno de interés es una lluvia transcurrida en 24 horas. Varios textos en ingeniería hidrológica proporcionan antecedentes sobre el tema (por ejemplo, Wanielista, 1990). La implementación del concepto más utilizada fue publicado y promovido por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS), ahora el Servicio de Conservación de Recursos

Naturales (NRCS), USDA. El SCS originalmente utiliza cuatro distribuciones de precipitaciones modelo para describir la asignación horaria de precipitación de la tormenta de 24 horas para el período de retorno del lugar de interés.

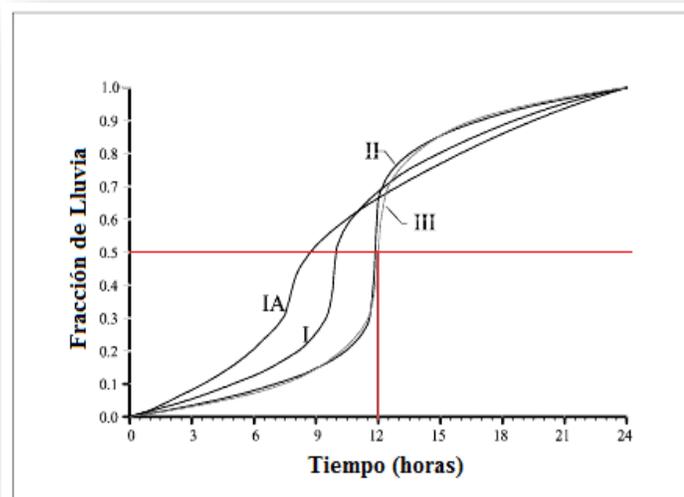
Una vez que el período de retorno apropiado ha sido seleccionado, la precipitación de 24 horas puede ser determinada en función de la ubicación geográfica del sitio. Períodos de retorno se discuten a continuación. Usando las coordenadas publicadas de las distribuciones acumuladas, los incrementos por hora de la tormenta ponderada al centro pueden ser entonces calculados.

La distribución ponderada al centro por lo tanto tiene algunas propiedades especiales que justifiquen su uso en la preparación de una tormenta de diseño prudente. Las cuencas son sensibles a una tormenta para cierta duración. Cuencas pequeñas se inundan durante tormentas cortas e intensas. Cuencas grandes se inundan durante tormentas largas y de menor intensidad. Cada método hidrológico de la estimación del caudal máximo incorpora esta idea de una forma u otra. La distribución ponderada al centro está organizada de tal manera que, si se mide desde el centro hacia afuera, el período de retorno de la tormenta es constante independientemente de la duración. Así, por ejemplo, asumiendo un período de retorno de 2 años, el centro de una hora es de 2 años, 1 hora de tormenta, el centro de seis horas contiene de 2 años, seis horas de profundidad, y así sucesivamente. Cuando el sistema de pavimento de concreto permeable se analiza con esta tormenta como la carga de precipitación, la intensidad de

ráfagas en una hora y mayores duraciones proporcionan para probar el sistema para el espectro completo de duraciones para tormentas de diseño de 2, hasta lluvias de 1 día.

Las tormentas se conocen por sus períodos de retorno estadísticos como el de 1 año, 2 años y 10 años, y se representan como tormentas ponderadas al centro y de 24 horas de duración. (La tormenta de un año es un sobrenombre para una tormenta cuyo período de retorno es cerca de 1.25 años).

La tormenta de un año es frecuentemente la tormenta adoptada para el análisis de calidad de la escorrentía. La tormenta de dos años es la media anual expectativa de una tormenta a sobrepasarse en promedio cada dos años. La tormenta de 10 años es la tormenta de diseño convencional para los sistemas de recogida de aguas pluviales (Malcolm, 1989).



Fuente: Soil Conservation Service (SCS)

FIGURA 2.24 – Tipos de Tormentas en los Estados Unidos de América.

En El Salvador, el tipo de tormenta que semeja el comportamiento de los eventos lluviosos en la Curva de la SCS es la Tipo IA, en la cual, la mayor cantidad de lluvia se precipita antes de la mitad del tiempo que dura el evento. Es decir, son lluvias convectivas.

2.8.5. DISEÑO DE DRENAJE

La esorrentía se estima a través del uso de muchos métodos aceptados. Dos de las herramientas más comunes son el método racional y la del Servicio de Conservación de Suelos (SCS, por sus siglas en inglés) que es el método de la curva número. Ya sea con el método que el diseñador debe considerar en el análisis de la esorrentía, una variedad de variables de entrada y salida tales como la absorción, evaporación, intensidad de lluvia, la infiltración, y la duración de la tormenta. Cada una de estas variables tiene un impacto en el volumen de esorrentía y el tratamiento necesario para el volumen del sitio. El método racional utiliza un coeficiente para determinar la tasa máxima de esorrentía para una determinada intensidad de lluvia y área de drenaje.

El coeficiente de esorrentía C representa el uso de la tierra, el suelo tipo, y la pendiente de la zona. Los valores típicos para el grupo C es de 0,05 para un jardín plano en un suelo arenoso y 0,95 para un tejado. Otros tipos de pavimentos permeables se han asignado coeficientes racionales que van desde 0,65 hasta 0,95. Para pavimentos

impermeables, el tipo de suelo subyacente y su permeabilidad puede tener un impacto en el coeficiente de escorrentía.

Algunas investigaciones en curso (Wimberley et al. 2001) indican que para ciertos diseños de sistemas de concreto permeable, en particular para las subrasantes y subbases con buen drenaje, el coeficiente de escorrentía para el concreto permeable es insignificante para tormentas de diseño de 2 a 5 años, y tan bajo como 0,35 para las tormentas de 100 años.

Otros estudios (Haselbach 2006) también indican que habrá una reducción en la infiltración de los sistemas cubiertos con suelos arenosos pero que los coeficientes de escorrentía se esperan muy bajos para la mayoría de las tormentas.

Las investigaciones muestran que a medida que aumenta la densidad del suelo, la tasa de infiltración, y por lo tanto la permeabilidad del suelo, disminuye significativamente (Das, 1993). Una disminución de la permeabilidad de un suelo, por tanto, debe justificar un aumento en el uso del coeficiente racional para un diseño dado. Las subrasante de suelos permeables para un pavimento de concreto permeable debe ser compactado de manera uniforme y suficiente para proporcionar el apoyo adecuado del pavimento, pero no sobrecompactado a fin de reducir la permeabilidad de la los suelos y aumentar el coeficiente racional. La Asociación de Premezcladores de Concreto de Florida (FCPA) (1990) recomiendan que la compactación de las subrasantes de los suelos arenosos deba

ser a una densidad mínima de 92 a 96% de la densidad máxima seca por AASHTO T-180

Con el método de la SCS (Servicio de Conservación de Suelos, 1986), los suelos se clasifican en grupos de suelos hidrológicos (Hydrological Soil Group. HSGs, por sus siglas en inglés) para indicar el porcentaje mínimo de infiltración obtenido para suelos abiertos después de saturación prolongada. Los HSGs -A, B, C, y D- son un elemento utilizado en la determinación de la curva número de escorrentía. En el Tipo A los suelos tienen la mayor permeabilidad, con cada letra la designación de permeabilidad de los suelos en B, C, D va siendo menor.

Esta designación del suelo, en combinación con el uso de la tierra, se identifica una curva número (CN).

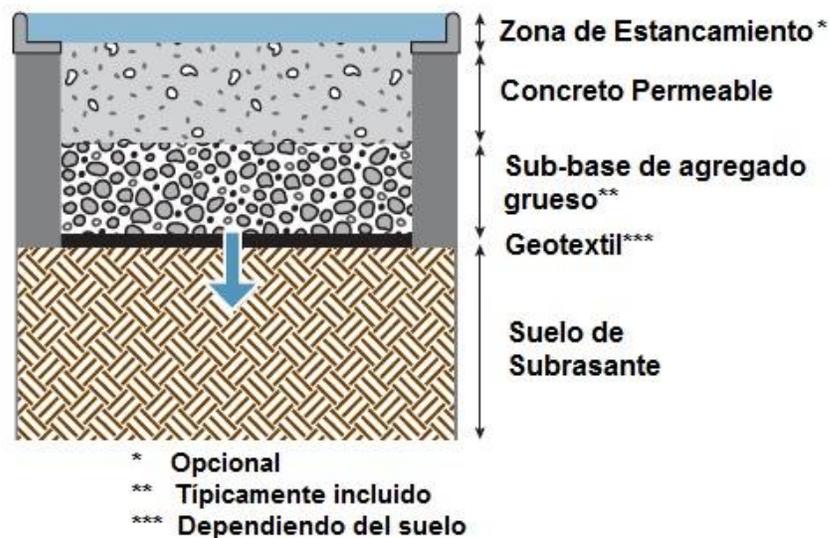
El valor de CN le dice al diseñador el valor de la curva de referencia para determinar el volumen de escurrimiento para un evento dado de tormenta. Este método se usa más comúnmente para generar un hidrograma completo y no solamente la estimación de flujo máximo. Los pavimentos de concreto permeable se ha asignado una CN de 60 a 95. Una vez más, el tipo de suelo de subrasante y el grado de compactación debe tener un impacto en la CN y, por lo tanto, en las propiedades de drenaje del sistema.

Al diseñar un sistema de pavimento permeable, como un sistema de retención o de infiltración, el volumen de ambos debe ser considerado en el diseño del pavimento y dependiendo de la capacidad de infiltración de la subrasante debe ser considerado (Paine, 1990).

Por ejemplo, considere una sección de concreto permeable con 20% de espacio vacío eficaz. En 6 pulgadas (150 mm) de espesor de la sección del pavimento, este espacio vacío es suficiente para mantener a más de 1 pulgada (25 mm) de agua de lluvia. Además, si el concreto permeable se coloca sobre un espesor de 6 pulgadas (150 mm) de una sub-base de piedra triturada, la capacidad total del sistema aumenta a aproximadamente 2½ pulgadas (65 mm). El espesor mínimo del pavimento de concreto permeable será determinado por las necesidades estructurales del sistema de pavimento.

Puede que sea necesario, la construcción de una capa más gruesa de concreto permeable o de la capa de sub-base para aumentar la capacidad de almacenamiento de las aguas pluviales, pero esto puede no ser la solución más económica. Si es necesaria mayor capacidad, el almacenamiento puede estar por encima de la superficie del pavimento hasta el nivel de la altura del borde de cuneta.

En la figura 2.25 se muestra la estructura del sistema de concreto permeable.



Fuente: Hydrologic Design of Pervious Concrete. Portland Cement Association, 2007

FIGURA 2.25 – Estructura de típica de un sistema de pavimento de concreto permeable

2.8.6. CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO

La capacidad total de almacenamiento en el sistema de pavimento de concreto permeable incluye la capacidad de la capa de rodadura, más la sub-base granular, y de ser necesario el incremento puede usarse cordón cuneta y tanques de almacenamiento.

La cantidad de escorrentía capturada debe incluir la cantidad de agua que deja el sistema por infiltración al subsuelo. No todos los vacíos en el concreto permeable serán llenados con agua, algunos tendrán dificultad, ya que el aire atrapado puede en algunos casos causar esta situación. Es más apropiado discutir la porosidad efectiva, que parte del concreto permeable puede ser fácilmente cubierta por el agua.

Si el concreto permeable tiene 15% de porosidad efectiva, entonces cada 25 mm (2.5 cm) de profundidad de pavimento puede captar 3.8 mm de lluvia. Sí un pavimento de concreto permeable tiene 100 mm (10 cm) de espesor con 15% de porosidad efectiva puede almacenar una lluvia de 15 mm.

Una fuente importante es la sub-base compactada, piedra limpia (# 67 conforme a ASTM C33-03, por ejemplo) tiene una porosidad de diseño de 40%; un agregado convencional, con alto contenido de finos, tendrá una menor porosidad (en el orden del 20%). Para el ejemplo mencionado anteriormente, si 100 mm de concreto permeable con 15% de porosidad fuera colocada una sub-base de piedra limpia de 150 mm (6 pulgadas) la capacidad de almacenamiento nominal será de 75mm (3 pulgadas) de lluvia.

Pavimento	+	Sub-base	=	Total
(15%) 10 mm	+	(40%) 150 mm	=	75 mm

El efecto de la sub-base de roca (agregado grueso) sobre la capacidad de almacenamiento del sistema de pavimento de concreto permeable es significativo.

Una tercera fuente potencial de almacenamiento es cuando se utilizan sistemas de pavimento con cordón cuneta. Donde las cunetas proveen un control para el tráfico, capacidad de carga en el borde o seguridad, ya que la acumulación de agua es permitida y aumenta la capacidad de almacenamiento. Un diseño incorporando zona de bordillos

(cordón cuneta) normalmente no es incluido en establecimientos comerciales u otras áreas con tráfico peatonal significativo durante una tormenta intensa. Esta característica puede ser incluida, sin embargo, en aplicaciones tales como zonas de estacionamientos o vías bajo tráfico, sobre todo en suelos con buena drenaje donde el embalse será breve.

Cuando se utiliza bordillos, se provee de un 100% de almacenamiento, así para el almacenamiento total del sistema de pavimento (figura 2.19) en un área plana, continuando con el ejemplo de arriba, la capacidad total del sistema incluyendo 100 mm de altura de bordillo (cuneta) será de 175 mm

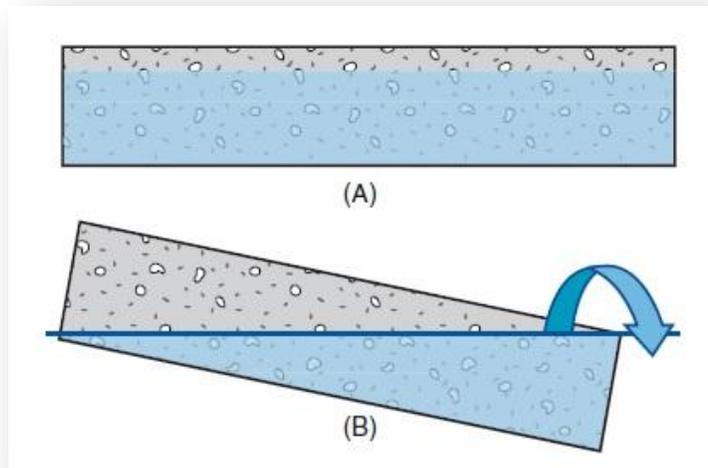
$$\begin{array}{rcccccc} \text{Pavimento} & + & \text{Sub-base} & + & \text{Bordillo} & = & \text{Total} \\ (15\%) 10 \text{ mm} & + & (40\%) 15 \text{ mm} & + & (100\%) 10 \text{ mm} & = & 175 \text{ mm} \end{array}$$

Se puede obtener un almacenamiento adicional agregando dispositivos de almacenamiento o tanques para la captación de agua. Estas “cisternas” son utilizadas para propósitos de simplificar el control de escorrentía.

2.8.7. EFECTO DE PENDIENTE

Una hipótesis crítica hasta ahora es que el suelo está nivelado. Si la losa no está nivelada, y la intensidad de lluvia es mayor que la tasa de infiltración del suelo, la porción superior de la losa no se llenará y rápidamente correrá las partes más bajas de la

losa (Ver Figura 2.26). Una vez que la parte más baja sea llenada, la lluvia correrá fuera del pavimento debido a la alta permeabilidad del concreto permeable, limitando los efectos beneficiosos del concreto permeable.



Fuente: Hydrologic Design of Pervious Concrete. Portland Cement Association, 2007

FIGURA 2.26 – Comparación de un sistema de concreto permeable con terreno nivelado y plano (A) y con pendiente (B)

El volumen efectivo, expresado como un porcentaje del volumen nominal de un pavimento de concreto permeable con una pendiente mayor que d/L , puede mostrarse como sigue:

$$\% \text{ Volumen} = d / (2 s L)$$

Donde d y L son el ancho y la longitud de la losa respectivamente y en unidades consistentes, y s es la pendiente, dicha ecuación es válida solamente con $s > d/L$. Por ejemplo, para una profundidad de 150 mm, 30.5 metros de longitud y 1% de pendiente,

el porcentaje de volúmenes es solamente 25% del volumen nominal del concreto permeable sin considerar los efectos de la sub-base de roca.

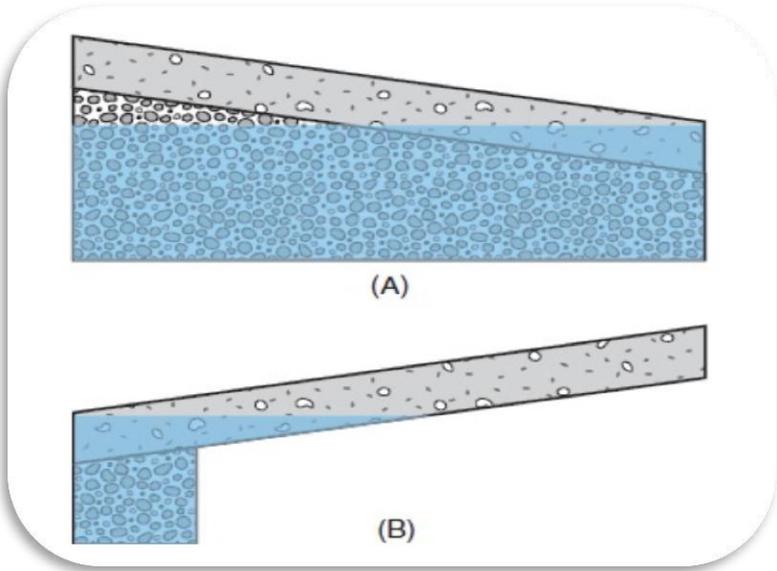
$$\% \text{ Volumen} = (150\text{mm}/1000\text{mm}/\text{m}) / [2 (0.01) / 30.5] = 25\%$$

Estas reducciones en volúmenes utilizables pueden ser significantes e indican dos características importantes en el diseño de sistemas de concreto permeable. Los pavimentos permeables no deberán ser construidos con coronas y deberá ser tan nivelado como sea posible. Cuando el pavimento de concreto permeable no está nivelado, y la tasa de lluvia precipitada sobrepase el rango de infiltración, que es el caso de la mayoría de suelos excepto las arenas limpias y profundas, la profundidad del sistema permeable debe ser incrementada para reunir los objetivos de escurriente deseada. Es frecuente que el espesor de la sub-base sea incrementada debido a consideraciones económicas.

La capacidad de almacenamiento necesaria también puede ser provista por una cama de roca relativamente profunda ubicada aguas abajo (parte más baja) del pavimento. Los efectos de una saturación no uniforme sobre el eje, la capacidad de carga del pavimento debe ser considerada con este tipo de estructura. Cuando la pendiente es inevitable podrá utilizarse una cama de recarga o pozos conforme a la Figura 2.27.

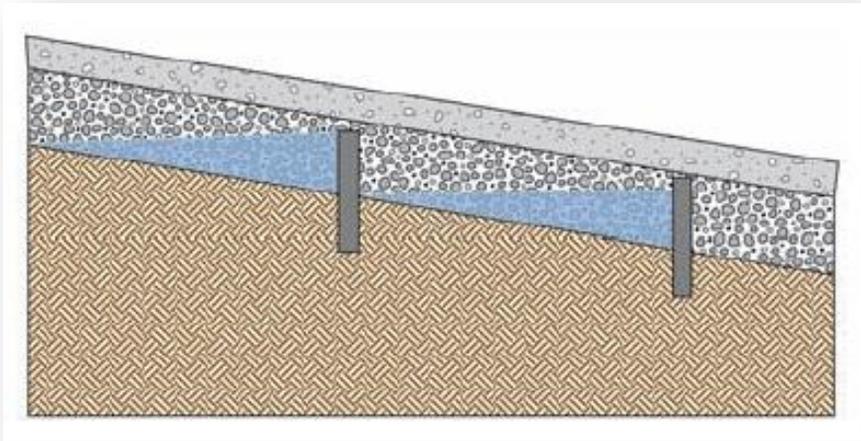
Las implicaciones de diseño de camas de recarga en el sitio debe examinarse cuidadosamente en la parte hidrológica por el diseñador. Para sistemas de concreto

permeable que son muy largos, será necesario el uso de terracería o incluir “presas” a cierta longitud en todo el tramo, para incrementar el volumen de almacenamiento.



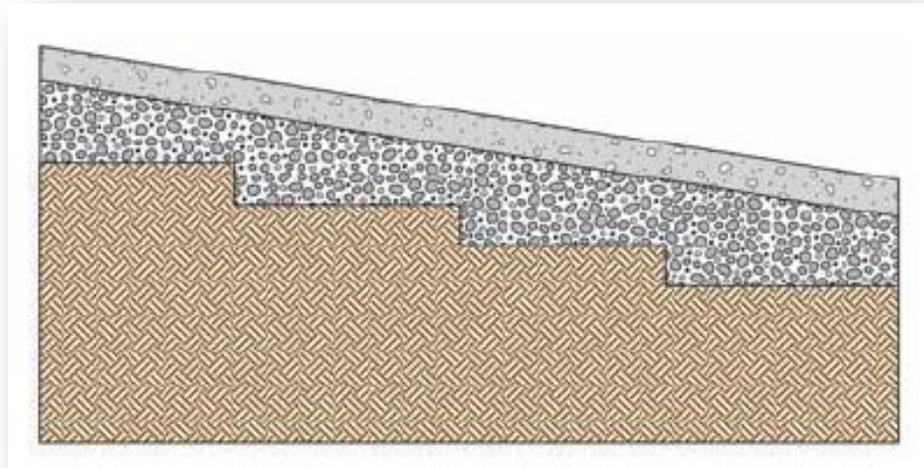
Fuente: Hydrologic Design of Pervious Concrete. Portland Cement Association, 2007

FIGURA 2.27 – Cama de recarga (A) o Pozo (B) será necesario para pavimentos con pendientes.



Fuente: Hydrologic Design of Pervious Concrete. Portland Cement Association, 2007

FIGURA 2.28 – Presas colocadas a lo largo del tramo del sistema de concreto permeable



Fuente: Hydrologic Design of Pervious Concrete. Portland Cement Association, 2007

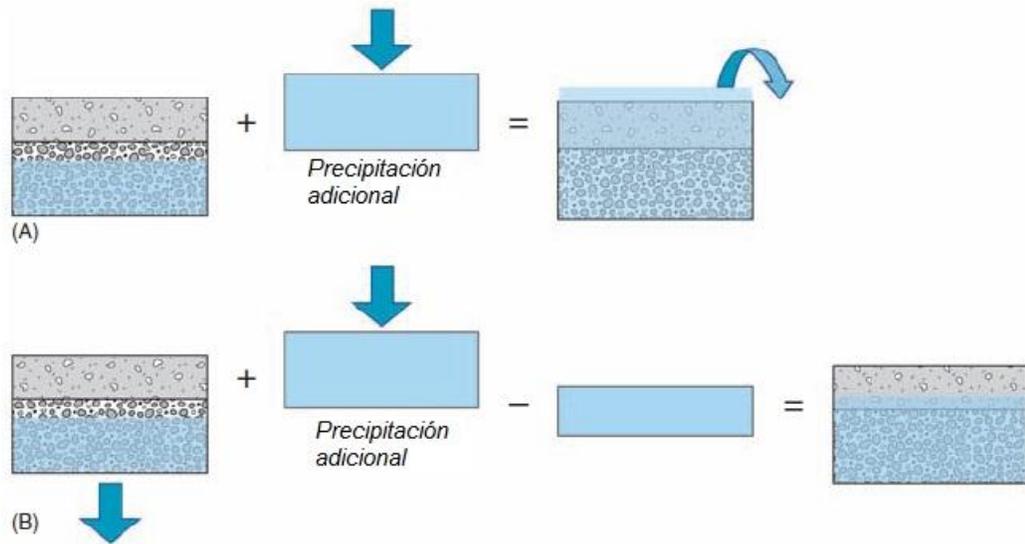
FIGURA 2.29 – Uso de terracería en tramos largos de un sistema de concreto permeable

2.8.8. CAPACIDAD EFECTIVA DE ALMACENAMIENTO – RECUPERACIÓN DE INFILTRACIÓN.

La capacidad de infiltración del suelo afectará significativamente con el tiempo la cantidad de almacenamiento del sistema de pavimento permeable. La capacidad de almacenamiento de la red del sistema de pavimento es dinámica. La cantidad de escorrentía a cualquier instante es una función de la capacidad de almacenamiento del pavimento permeable y la sub-base (basada en la porosidad y geometría), la entrada de escorrentía al sistema de pavimento (la lluvia sobre el pavimento y la escorrentía de superficies adyacentes), y la escorrentía acumulada de lluvias previas, menos infiltración en el suelo (la “exfiltración” del sistema de pavimento). La infiltración del suelo ayuda a drenar el sistema para restaurar parte de la capacidad durante la tormenta y para

remover la lluvia capturada por el sistema después de la tormenta. Un modelo hidrológico desarrollado para predecir el comportamiento de un sistema de concreto permeable deberán ser incluidos los efectos de acumulación de escorrentía y los beneficios positivos de la infiltración en la recuperación de la capacidad de almacenamiento durante la tormenta.

Como ejemplo puede demostrarse el comportamiento del sistema en la figura 2.24, un pavimento de 150 mm (6") de espesor con 15% de porosidad puede contener 23 mm (0.9") de escorrentía. Asumir que el concreto permeable ha acumulado 5 mm (0.2") de lluvia y que, durante la próxima hora, una escorrentía adicional de 20 mm (0.8") fluirá hacia el pavimento. Esto conducirá 2.5 mm (0.1") fuera del sistema si no ocurre infiltración (figura 2.24 A). Si el concreto permeable ha sido colocado en arena arcillosa con una infiltración de 13 mm/h (0.5 pulg/h), ocurrirá el ingreso neto de solamente 7 mm (0.3") de 20 mm (0.8") de ingreso menos 13 mm (0.5") en vez de 3 mm (0.1") de escorrentía del sistema, el concreto permeable tendrá un valor neto positivo de capacidad de almacenamiento de 10 mm (4") restantes (la capacidad total de 23 mm (0.9") menos la suma de 5 mm (0.2") acumulada y la neta de 8 mm (0.3") de entrada) figura 2.30 B. La evaporación del agua lluvia en el concreto permeable después de una tormenta contribuirá a la recuperación de la capacidad de almacenamiento del sistema. No se ha establecido completamente la estimación de la cantidad y la tasa de evaporación para el concreto permeable. Dejar a un lado este efecto es computacionalmente conveniente y a la vez conservador.



Fuente: Hydrologic Design of Pervious Concrete. Portland Cement Association, 2007

FIGURA 2.30 – Recuperación de la Capacidad de Almacenamiento del Sistema

2.9. DISEÑO DE JUNTAS

La baja relación agua/material cementante (a/mc) usada en el concreto permeable reduce el potencial de agrietamiento por contracción. Esto permite que las juntas estén espaciadas a mayores distancias que en el pavimento convencional o que se eliminen todas. ACI 522.1-08 recomienda que el espacio entre juntas de contracción no exceda los 6 m, y que la profundidad de la junta deba ser de 1/4 a 1/3 del grosor del pavimento (con un ancho de junta mínimo para el corte con sierra de 3 mm.) En lugar de cortarlas con sierra, las juntas en el concreto permeable son cinceladas con una herramienta de juntas. Las juntas cortadas en concreto permeable curado tienden a desmoronarse. Si el pavimento permeable está contiguo a pavimento convencional, las juntas en los dos materiales deben alinearse para reducir el potencial de agrietamiento reflexivo de un panel al otro.

2.10. PROCESO CONSTRUCTIVO

2.10.1. PREPARACIÓN DE LA SUBRASANTE Y SUB-BASE

Preparar la subrasante como se especifica en los documentos contractuales. En el proceso constructivo de la preparación de la subrasante debe asegurarse que se obtenga el espesor requerido del pavimento todo el sitio. Para esto se necesitan labores de terracería. Evitar en la medida de lo posible el tráfico fuera de la subrasante durante la construcción. Esto generará una sobre compactación del sitio y por lo tanto se ve afectada la permeabilidad del suelo debido a un suelo más compacto.

Compactar el suelo para obtener la elevación de la subrasante definitiva, tener en cuenta que el grado de compactación no deberá excederse de un 95% conforme AASHTO T99 (es ideal un grado de compactación del 90%). Además no se deberá estabilizar la subrasante con cemento, ya que generará la pérdida de permeabilidad (investigaciones en el uso de subrasantes tratadas con cemento para estructuras de pavimentos de concreto permeable es una opción a ser investigada).

Determinar la permeabilidad de la subrasante de acuerdo a la norma ASTM D3385 (O cualquier otro ensayo que mida el valor de la permeabilidad del suelo). Confirmar que la permeabilidad de la subrasante cumple con los requisitos del documento de contrato.

La nivelación juega un papel importante ya que dependiendo si el nivel de suelo de subrasante es totalmente plano, podrá captar mayor cantidad de lluvia, mientras que en sitios con pendientes, requerirá de obras adicionales; y con respecto a la acumulación de agua en el sistema se verá afectado por un factor relacionado con el porcentaje de la pendiente.



Fuente: Pervious Concrete Pavements, Portland Cement Association, 2007

FIGURA 2.31 – Preparación de la sub-base

La sub-base deberá cumplir con las especificaciones técnicas de los documentos de contrato, en general la sub-base es un material granular (agregado grueso) cuya función es servir de sustento a la capa de rodadura, y como reservorio del sistema de pavimento permeable. Algunos plantean la necesidad que el agregado tenga una granulometría discontinua, otros sostienen que debe ser graduado y cumplir con la norma ASTM C33-03. El tamaño máximo nominal del agregado para material de sub-base va desde 3” hasta 3/8”.



Fuente: Pervious Concrete Pavements, Portland Cement Association, 2007

FIGURA 2.32 – Colocación de sub-base y formaletas

2.10.2. FORMALETAS

Coloque, alinee y asegure o apuntale las formaletas para soportar el equipo que compactará el concreto, y además para cumplir con las tolerancias especificadas en el documento contractual.

Aplique un producto desmoldante en la cara interior de la formaleta, esta cara estará en contacto con el concreto permeable.

El borde del concreto permeable (cara expuesta) ya colocado y endurecido puede ser utilizado como una formaleta. No se aplicará producto desmoldante a dicha cara. Proteja de daños el pavimento ya colocado. El ancho de colocación será conforme a lo especificado en documentos, y que no deberá exceder 6 metros (20 pies), a menos que se especifique lo contrario (para ello deberá evaluarse primero en un panel de prueba) Las

formaletas pueden ser de acero, madera u otro material que sea lo suficientemente rígido para mantener las tolerancias especificadas, y capaz de soportar equipos de colocación de concreto, sea manual o mecánico.

Luego de utilizarlas se limpian las formaletas y se deja libre de residuos de cualquier tipo, el óxido y concreto endurecido.

2.10.3. ELABORACIÓN Y TRANSPORTE DEL CONCRETO PERMEABLE

Elaboración y mezcla en cumplimiento con la norma ASTM C94/C94M-07.

- **Tiempo de Mezcla:**

Las mezcladoras de camión serán operadas a la velocidad designada para el mezclado o la recomendada por el fabricante para 75 a 100 revoluciones del tambor.

- **Transporte:**

La mezcla de los agregados con el cemento debe realizarse en una planta de producción y debe ser usado dentro de una (1) hora de la introducción de agua de mezcla, a menos que se disponga algo contrario por el ingeniero responsable. Este tiempo puede ser aumentado a 90 minutos cuando se utilizan estabilizadores de hidratación.

- **Descarga:**

Cada camión mezclador debe ser inspeccionado por apariencia de uniformidad del concreto. El agua debe ser adicionada para obtener la consistencia de la mezcla requerida. Un mínimo de 20 revoluciones en el dispositivo designado para el mezclado será requerido después de la adición del agua de la mezcla.

La descarga debe ser una operación continua y será completada tan rápidamente como sea posible. El concreto permeable será depositado o descargado tan cerca a su posición final como sea posible y tal que se entrelace con la masa anteriormente colocada.



Fuente: Fotografía tomada en el Plantel Holcim Chanmico, El Salvador. Mayo 2011

FIGURA 2.33 – Transporte de concreto permeable en camiones premezcladores.

2.10.4. MÉTODOS DE COLOCACIÓN Y CONSOLIDACIÓN

A menos que no sea aprobado por el propietario e ingeniero responsable por escrito, el contratista. Si el equipo de colocación no proporciona la mínima fuerza vertical

especificada, un rodillo de ancho completo u otro dispositivo de compactación de ancho completa que proporcione suficiente esfuerzo de compactación serán usados inmediatamente. El contratista estará restringido a anchos de colocación de pavimento de un máximo de 6 m. a menos que el contratista pueda demostrar competencia para proporcionar anchos de colocación de pavimento mayor que el máximo especificado a la satisfacción del propietario de la obra.

2.10.5. COLOCACIÓN Y COMPACTACIÓN DEL CONCRETO

1. Para esta parte del proceso constructivo se enumeran las siguientes actividades:
2. Deposite el concreto, ya sea directamente desde el equipo de transporte o por una cinta transportadora en la sub-base o subrasante previamente humedecida, a menos que se especifique lo contrario.
3. Deposite el concreto entre las formaletas a una altura uniforme.
4. Distribuya el concreto con una a lo largo, ya sea con un rastrillo, o palas.
5. No permitir tráfico de personas en el concreto fresco.
6. Dejar holgado parte del concreto entre las formaletas para que este pueda ser distribuido por la máquina o equipo que lo compactará.
 - a. No utilizar las paletas de acero o de equipos que sellen los poros de la superficie.
 - b. Finalizar el pavimento con las elevaciones y espesores especificados en los documentos contractuales.



A) Descarga



B) Plato Vibrocompactador



D) Codaleado



E) Regla Vibratoria



F) Rodillo



G) Regla Vibratoria Láser



H) Pavimentadora de asfalto



I) Pavimentadora de concreto

Fuente: Comité ACI 522R-10, Pervious Pavement Construction – PCA

FIGURA 2.34 – Proceso de descarga, colocación y equipos de compactación del concreto permeable

2.10.5.1. Equipo de colocación y aserrado

El concreto permeable requiere equipo específico para su compactación y para la hechura de juntas, esto dependerá del volumen de concreto del proyecto, además de su facilidad de manejo y eficiencia para la colocación. En la fotografía 2.10 se muestran diversos equipos para la colocación del concreto, desde manual y equipo liviano a máquinas pesadas.

Métodos de colocación varían en función del tamaño del proyecto. Para trabajos pequeños como caminos o para zonas de difícil acceso, una regla de mano o regla vibratoria es aceptable. Para trabajos más grandes, un marco vibratorio de baja frecuencia puede ser utilizado. Es importante a la holgura en el concreto para que el

equipo lo compacte. Trabajos manuales para las grandes colocaciones, por lo tanto, no se recomienda debido a su falta de la velocidad.

Existen pocos proyectos con pavimentadora láser y de molde deslizante para la colocación de grandes volúmenes de concreto permeable en pavimentos. Este proceso requiere de conocimientos especializados y experiencia en mezcla de dosificación y las técnicas de colocación. La clave está en la compactación y acabado que cualquier método utilizado, deber existir una adecuada consistencia de la mezcla adecuada que debe ser verificada por el método seleccionado.

2.10.5.2.Acabado

Superficie final de la textura Compactar el concreto a lo largo de los bordes de la losa con herramientas manuales. El concreto permeable compactado para una superficie que sea densa y permeable.

2.10.5.3.bordes

La superficie del borde superior debe tener un relación de no menos de 1 / 4 de pulgada (6 mm).

2.10.5.4.Tolerancias

La construcción del pavimento debe cumplir con las tolerancias siguientes:

Altitud: 3 / 4 pulgadas (19 mm), -0 pulgadas (0 mm)

Espesor: +1 ½ pulgadas, - ¼ pulgadas (38 mm, -6 mm)

Profundidad de junta de contracción: 1 / 4 de pulgada (6 mm), - 0 pulgadas (0 mm)

Barrido mecánico del pavimento antes de la prueba del cumplimiento de las tolerancias.



Fuente: Elaboración de Losa de Prueba – Plantel Holcim Chanmico, El Salvador, Mayo 2011

FIGURA 2.35 – Acabado de superficie y textura del pavimento

2.10.6. JUNTAS

Realizar las juntas según lo especificado en los planos y especificaciones técnicas del proyecto de pavimento de concreto permeable, en la medida de lo posible cuando el concreto esté colocado y en estado fresco, esto puede darse a los 20 minutos o menos, según el criterio del encargado de la cuadrilla. Se hará con el equipo llamado “cortador de pizza” o puede ser con algún otro instrumento hecho que siempre y cuando cumpla para las especificaciones de las profundidades y espesor de juntas. También puede llevarse a cabo con una cortadora de concreto convencional, mas no es conveniente ya que puede desprender agregado y generar puntos de falla para la desprendimiento de

agregado en la zona aledaña, o también el polvo pueda generar un poco el proceso de colmatación.

La mayor dimensión horizontal de un panel de placa no excederá un 125% de la dimensión más pequeña. El ángulo entre dos juntas de intersección será de entre 80 y 100 grados, como se especifica en los documentos contractuales. Las juntas se cortan los bordes del pavimento en ángulos de 90 grados y se extenderá hasta por un mínimo de 1 ½ pies (0.5 m) del borde del pavimento donde sea posible, alinear las juntas de los paneles de pavimento adyacentes. Alinear las juntas en los bordillos adyacentes a ¼ de pulgada (6 mm) de las articulaciones en el pavimento. La profundidad de la junta de contracción será de ¼ a 1/3 del espesor del pavimento. Anchura de junta mínima de sierra de corte es de 1/8 de pulgada (3 mm). Cuando se utiliza una sierra de corte en seco, la profundidad del corte será de al menos 1 pulgada (25 mm). El uso de juntas de aislamiento donde el pavimento sólo colinda con objetos fijos, como edificios, fundaciones, y pozos de registro. Extender juntas de aislamiento a través de la profundidad total del pavimento. Llenar la junta de aislamiento completo con material de aislamiento de las juntas. Creación de las juntas de contracción por uno de los siguientes métodos: Herramienta de juntas de contracción a la profundidad y ancho especificados en el concreto fresco inmediatamente después de que el concreto se compacta. Para minimizar el secado, asegurar que los materiales de curado se eliminan sólo cuando sea necesario hacer recortes.



Fuente: Pervious Concrete Construction, Portland Cement Association. 2007

FIGURA 2.36 – Corte de juntas en concreto permeable en estado fresco (“cortador de pizza”)

2.10.7. CURADO Y PROTECCIÓN

Los procedimientos de curado deben empezar dentro de 20 minutos después del final de las operaciones de colocación. La superficie de pavimento será cubierta con una hoja de polietileno u otra película apropiada para cubrir. Antes de realizar el cubrimiento de la capa se puede utilizar una niebla ligera de un retardante de evaporación para evitar la pérdida excesiva de agua en la superficie por la presencia de viento, altas temperaturas o baja humedad relativa. La cubierta debe evitar la pérdida de agua necesaria para la hidratación del cemento, por tanto debe asegurarse la cubierta de tal manera que no se levante con el viento. Cuando existen otras capas sobre el material poroso, las capas superiores deben evitar la pérdida de agua del concreto permeable.

Tiempos de Curado

Cemento Portland Tipo I o, II mínimo 7 días

Cemento Portland Tipo I o II con adiciones de ceniza mínimo 10 días



Fuente: Fotografía tomada en el Plantel Holcim Channmico, El Salvador. Mayo 2011

FIGURA 2.37 – Colocación de capa plástica para curado

2.10.8. APERTURA AL TRÁFICO

No abrir el pavimento al tráfico de vehículos hasta que el concreto se haya curado por lo menos 7 días seguidos y hasta que el pavimento es aceptado por el propietario, y el diseñador para la apertura al tráfico.

2.11. CONTROL DE CALIDAD

2.11.1. GENERAL

El Ensayo e inspección de los materiales del concreto, operaciones y proceso de construcción son primordiales en el control de calidad. La falta de detección de materiales o trabajo defectivo a inicios no prevendrá rechazo si un defecto es descubierto más tarde, ni será tenido en cuenta en la aceptación final.

El éxito del sistema de concreto permeable ha sido variable. En algunas partes ha sido aplicado satisfactoriamente, mientras que en otros lugares ha sido colmatado en un corto período. Muchas malas experiencias pueden ser atribuidas a inexperiencia del contratista, sobre compactación del suelo al valor especificado y a un sitio de diseño inapropiado. Para que el pavimento de concreto permeable trabaje satisfactoriamente deberá:

- Ser verificada la permeabilidad del suelo. Una tasa de percolación de 13 mm/h (0.5 pulg/h) y una capa de suelo de 1.2 m (4 pies) o más, son generalmente los valores recomendados.
- En el lugar de construcción debe ser evitada la escorrentía y equipo pesado. El pavimento de concreto permeable no deberá ser puesto en servicio hasta que toda la zona alterada que drena al sistema sea estabilizada por vegetación. La erosión

y sedimentos deben ser estrictamente controlados durante cualquier construcción o actividad de desarrollo porque son esenciales para prevenir que el sistema sea colmatado y deberá ser incorporado en el lugar de construcción un plan de manejo de aguas lluvias.

- El tráfico de construcción deberá ser desviado del área del pavimento permeable durante la construcción, esto para prevenir compactación de las capas subyacentes y por consecuencia la pérdida de la capacidad de infiltración.

2.11.2. REQUISITOS ANTES DE LA CONSTRUCCIÓN

Registros del diseño de mezcla a utilizar, especificación en masa unitaria (kg/m^3), resistencia a la flexión y permeabilidad.

Si el contratista y/o el productor de concreto tienen poca experiencia o ésta es insuficiente en la fabricación y colocación de concreto de este tipo, el contratista deberá tener un asesor experimentado para monitorear la producción, el manejo y las operaciones de colocación.

2.11.2.1. Paneles de Prueba:

El contratista debe fundir en obra dos paneles de prueba con el espesor definido por el proyecto de mínimo 10 m² para demostrar la capacidad de producción del material con las especificaciones requeridas, especialmente la de masa unitaria de acuerdo con la norma ASTM C 1688-10.

Los paneles de prueba deben ser localizados en los lugares donde se tiene prevista la utilización del material, adicionalmente se debe realizar el ensayo para el volumen de vacíos de acuerdo con la norma ASTM C 1688-10 y el de masa unitaria de núcleos, se debe realizar de acuerdo con la ASTM C 140-10.

El cumplimiento de los paneles de prueba será determinado por:

- Espesor del material compactado no menor que 5 mm del espesor especificado.
- Volumen de vacíos: 15% mínimo, 21% máximo; no menos de 2% del porcentaje de vacíos de diseño.
- Peso unitario $\pm 5\%$ de la masa unitaria de diseño.
- Si el volumen de vacíos medida en los paneles de prueba se encuentra por debajo del 15% o más del 2% abajo del volumen de vacíos de diseño, si el

espesor medido es menor que el espesor de diseño menos 5 mm o si el peso unitario se encuentra por \pm del 5% del peso unitario de diseño, el panel de prueba debe ser demolido y los costos de la demolición y transporte hasta el sitio de disposición de escombros autorizado por la ciudad deberá ser a cargo del contratista.

- Si el panel de prueba reúne los requisitos mencionados anteriormente, podría ser incluido dentro del área de trabajo como parte de la estructura a construir.

2.11.2.2. Cemento

El cemento en bolsas se deberá almacenar en sitios secos y aislados del suelo en tarimas de madera, en acopios de no más de siete bolsas de cemento de 42.5 kg.

Si el cemento se suministra a granel, se deberá almacenar en sitios aislados de la humedad. La capacidad mínima de almacenamiento deberá ser la suficiente para el consumo de un día o una jornada de producción normal.

Todo cemento que tenga más de dos (2) meses de almacenamiento en sacos o tres (3) en silos, deberá ser examinado por el Supervisor del proyecto, para verificar si aún es susceptible de utilización.

2.11.2.3. Subrasante

Un mínimo de 1 prueba de gradación de la sub base es requerida cada 450 m² para determinar el porcentaje de tamaños que pasan el tamiz No. 200 utilizando la norma ASTM C 117 “Método de Ensayo Estándar para Material más Fino que la Malla N° 200 (75 µm) en Agregado Mineral por Lavado”. Deberá caracterizarse conociendo su clasificación, así también haber realizado el ensayo de compactación Próctor Estándar y Modificado según AASHTO T99 y AASHTO T180, para conocer la densidad máxima seca del suelo, valor que servirá al momento de compactar el suelo de subrasante

2.11.3. CONTROL DE CALIDAD DURANTE LA CONSTRUCCIÓN

El contratista deberá emplear un laboratorio de materiales conforme a los requerimientos de las normas ASTM E 329-08 “Especificación para las Agencias comprometidas en el Ensayo y/o Inspección de Materiales usados en la Construcción” y ASTM C 1077-09 “Práctica para Laboratorios de Ensayo al Concreto y Agregados del Concreto para Usar en Construcción y Criterios para Evaluación de Laboratorios”.

Todo el personal involucrado en el ensayo al concreto deberá estar certificado como Técnico de Concreto en Obra, Grado 1 o su equivalente, además haber recibido previo entrenamiento respecto a los ensayos en campo del concreto permeable.

2.11.3.1. Condición de maquinaria y equipo

Verificar que la maquinaria y equipo estén en condiciones óptimas para desarrollar un trabajo eficiente y bien realizado.

2.11.3.2. Ensayos al concreto fresco

Ensayos tradicionales al concreto como el de revenimiento no es aplicable a este tipo de pavimento. Los procedimientos a ser usados incluyen las normas ASTM C 172-07 “Práctica Estándar para Muestreo de Concreto”, ASTM C 29-07 “Método de Ensayo Estándar para Peso Unitario y Vacío en Agregados”, ASTM C 42-04 “Método de Ensayo Estándar para Obtención y Ensayo de Núcleos Taladrados y Vigas Aserradas de Concreto” y ASTM C 1688-10 “Método de Ensayo Estándar para Densidad y Contenido de Vacíos de Concreto Permeable en Estado Fresco”

Los ensayos al concreto fresco se harán a cada 38 m³ o fracción con un mínimo de 1 prueba para cada día de colocación de concreto permeable.

La muestra del concreto se hará conforme ASTM C 172-07. El ensayo de peso unitario en estado fresco está determinado en la norma ASTM C 1688-10. El peso unitario del concreto entregado deberá estar en un rango de $\pm 5\%$ del peso unitario de diseño.

El contenido de vacíos del concreto fresco deberá ser medido de acuerdo a la norma ASTM C 1688 y comparado con el contenido de vacíos de diseño. A menos que no se especifique, el contenido de vacíos deberá estar en el rango de 13% al 25%.

2.11.4. CONTROL DE CALIDAD POST CONSTRUCCIÓN

Los Paneles de prueba deben tener dos núcleos tomados desde cada uno de los dos paneles en conformidad con ASTM C 42-04 tomados siete (7) días después de la colocación del concreto permeable Los núcleos serán tomados para verificar el espesor, el volumen de vacíos, y peso unitario. El promedio de todos núcleos de producción no será menos que el espesor especificado y ninguno de los núcleos debe ser menor a 1.3 cm (1/2 pulgada) del espesor especificado. Los núcleos serán extraídos a una distancia mínima de 0.6 metros del borde del pavimento para asegurar un muestra representativa.

2.11.4.1. Peso unitario

Después de la determinación del espesor, los núcleos serán arreglados para medir el peso unitario en condición saturada como se encuentra descrito en Parágrafo 9.3.1 de ASTM C 140-07. El rango de valores de peso unitario satisfactorio es del de $\pm 5\%$ del peso unitario de diseño o del panel de prueba aprobado.

2.11.4.2. Contenido de vacíos

El contenido de vacíos no deberá ser más bajo del 2% del contenido de vacíos de diseño o del panel de prueba aprobado, el contenido de vacíos deberá ser calculado como sigue:

$$\% \text{ de Vacíos} = 1 - (Dd/Di) * 100$$

Donde: Dd = Densidad del núcleo secado al horno

Di = Densidad del núcleo inmerso

Los agujeros de los núcleos deben ser llenados con concreto permeable de diseño.

2.11.4.3. Resistencia a la Compresión

La Norma ASTM C 39-05 “Método de Ensayo Estándar para Esfuerzo de Compresión en Especímenes Cilíndricos de Concreto” cubre la determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos moldeados.

Consiste en la aplicación de una carga axial de compresión al cilindro moldeado a una razón que está dentro del rango prescrito antes que la falla ocurra, el esfuerzo de compresión se calcula dividiendo la carga máxima obtenida durante el ensayo, por el área de la sección transversal del espécimen.

2.11.4.4. Resistencia a la Flexión

Se extraen vigas aserradas al pavimento transcurridos al menos 7 días, conforme la norma ASTM C 42-04 “Método de Ensayo Estándar para Obtención y Ensayo de Núcleos Taladrados y Vigas Aserradas de Concreto”

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. Los ensayos de flexión de especímenes curados húmedos deberán ser hechos tan pronto como sea práctico después de removerlos de su almacenamiento húmedo, cuando se usen especímenes moldeados, gire el espécimen a ensayar con respecto a su posición como fue moldeado y centrarlo en los bloques de soporte y luego aplique carga.



Fuente: Fotografía tomada en el CI – ISCYC, Abril 2011

FIGURA 2.38 – Posición del espécimen de concreto para el Ensayo a Flexión por el Método de la Carga aplicada en el Tercio Medio del claro.

2.11.4.5. Permeabilidad

Para el ensayo de permeabilidad se ocupara un permeámetro de carga variable (figura 2.16), visto en la sección 2.4.2.5 de Propiedades de Ingeniería del Concreto Permeable.

2.11.4.6. Porcentaje de Vacíos en la Mezcla

El porcentaje de vacíos de una probeta se puede determinar a través del principio de Arquímedes, determinando el empuje al sumergirlo en un líquido de densidad conocida. Este empuje es igual a la diferencia entre el peso de la probeta y el peso de la misma probeta sumergida Para evitar los efectos que pueda tener la absorción de líquido, ambas mediciones deben realizarse en estado saturado superficialmente seco, pues a pesar que al determinar el peso sumergido la probeta estará saturada, el efecto de la absorción puede ser considerable debido a la facilidad que encontrará el agua para ingresar a la probeta.

$$E = \text{Peso Probeta (sss)} - \text{Peso sumergido (sss)}$$

Cuando la densidad del líquido utilizado es uno, el empuje equivaldrá al volumen de líquido desplazado por el cuerpo sumergido. Como las probetas utilizadas poseen huecos accesibles que pueden ser inundados con agua, el volumen desplazado representará, para todos los efectos prácticos, el volumen real de sólidos en la probeta (que en teoría

también incluye los vacíos inaccesibles). Entonces, conocidos el empuje y las dimensiones de la probeta, se obtiene la fracción de sólidos y el porcentaje de vacíos accesibles presentes en la mezcla.

$$V_{Sólidos} = \left(\frac{\text{Empuje}}{\text{Volumen de Probeta}} \right)$$

$$\% \text{ de Vacíos} = \left(1 - \frac{\text{Empuje}}{\text{Volumen de Probeta}} \right) * 100$$

Como ya se ha discutido, el porcentaje de vacíos de la mezcla dependerá del sistema de compactación utilizado. Por esta razón, para conocer la cantidad de vacíos real de la mezcla es necesario medirlos en probetas que simulen la compactación en terreno. La medición de vacíos se realiza a probetas de 15x15x15 cm

2.11.5. CHECK LIST

Tener una lista de actividades, materiales, equipo y maquinaria para evaluar previo, durante y posterior al proceso constructivo es cada vez más necesario para controlar los parámetros en campo para tener mejores experiencias y evitarnos incomodidades al momento de la ejecución de proyectos con concreto permeable.

2.11.5.1.LISTA DE REQUISITOS OBLIGATORIOS

SECCION	NOTAS AL ESPECIFICADOR
Control de Calidad	Revisión para el cumplimiento de las Especificaciones del Proyecto. Designar responsabilidad para inspección de control de calidad y ensayos.
Agregados	Especificar el tamaño máximo del agregado
Subrasante	Especificar la preparación de la subrasante y requisitos de permeabilidad en la sección apropiada del Documento de Contrato.
Espesor del pavimento	Especificar elevaciones de la superficie final y espesor del pavimento en los Documentos de Contrato.
Juntas	Especificar ubicaciones de las juntas, profundidad y dimensiones en los Planos del Proyecto

2.11.5.2. LISTA DE REQUISITOS OPCIONALES

SECCION	NOTAS AL ESPECIFICADOR
Calificación del contratista	Especificar otras calificaciones del contratista: El contratista deberá proveer evidencia escrita y fotográfica de experiencia en construcción de pavimentos de concreto permeable, y evidencia de haberse sometido a un programa de certificación de alguna organización reconocida en el área de concreto permeable. La selección de consultoría estará sujeta a la aceptación del ingeniero ó arquitecto encargado.
Sub base	Especificar tamaño del agregado grueso y requisitos de graduaciones del agregado.
Preparación de la subrasante	Especificar el tipo de sub base en los Documentos de Contrato, cuando sea requerido
Ancho de colocación	Especificar ancho de colocación aceptable
Colocación y acabado	Especificar si hay otros métodos de transporte permitidos
Vibrado	Especificar si hay otros métodos de vibración permitidos.
Curado	Si se extiende el tiempo requerido o permitido, especificar el tiempo
Duración del curado	Especificación de la duración del curado
Juntas	Especificar ángulo aceptable entre juntas

2.12. MANTENIMIENTO

Para realizar las operaciones de limpieza, varios son los modelos de máquinas que se utilizan, centrándose la mayor parte en máquinas autopropulsadas con equipo de lavado-succión trasero con agua, de alta potencia y anchura de 2.5 metros. El agua es en un gran porcentaje, recuperada y filtrada para continuar siendo utilizada en el proceso. La presión de trabajo, la velocidad de circulación de la máquina y el número de pasadas adecuan la intensidad de la limpieza a la necesidad de limpieza del pavimento.

Con relación a la periodicidad con que debe realizarse la limpieza, parece razonable hacerlo una vez al año y después de las lluvias prolongadas, que hayan podido ablandar al máximo la suciedad depositada y así alcanzar los mejores resultados con el menor esfuerzo. En todo caso, la evolución de la permeabilidad debe marcar la pauta.

CAPÍTULO III

Propuesta para un
Tramo de Prueba Experimental
de un Pavimento Rígido
de Concreto Permeable

3.1 INTRODUCCIÓN

El proyecto de investigación en general, considera la construcción de un tramo de prueba el cual tiene como finalidad realizar la experimentación de toda la parte teórica en lo que se refiere al diseño de mezcla, diseño estructural e hidrológico para un pavimento de concreto permeable; pero también proponer un proceso constructivo que sea transferible y de fácil acceso para la ingeniería local. Para lo cual se introducen parámetros para cada uno de los componentes del diseño, construcción y uso de este tipo de pavimento.

En el desarrollo del presente reporte, se describe el trabajo realizado en diferentes áreas como lo son: Diseño de Mezcla, Ensayos de Caracterización del suelo, Topografía, etc.; para llegar a obtener valores que son insumos para los parámetros de diseño, además se presenta la propuesta de la parte financiera que refleja el monto estimado del proyecto.

Se propone una metodología para el control de calidad en el proceso constructivo y el comportamiento del pavimento en corto plazo, dejando sentadas las bases sobre lo que posteriormente será el seguimiento a mediano y largo plazo.

3.2. CONDICIONES DEL TRAMO DE PRUEBA EXPERIMENTAL.

3.2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA (VER PLANO ADJUNTO 1/3 – PLANO DE UBICACIÓN)

El Tramo de Prueba Experimental se encuentra ubicado dentro de las instalaciones de la Universidad de El Salvador, Campus Central, San Salvador. Específicamente en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, al costado norte del Edificio de Ingeniería Industrial y Sistemas Informáticos.



Fuente: Google Earth 2011, fotografía tomada el 3 de Julio de 2010

FIGURA 3.1 – Ubicación del Tramo de Prueba Experimental, Universidad de El Salvador, Campus Central, San Salvador.



Fuente: Google Earth 2011, fotografía tomada el 3 de Julio de 2010

FIGURA 3.2 – Ubicación del Tramo de Prueba Experimental

Sus coordenadas son:

Latitud: $13^{\circ}43'18.10''$ N (86495.232)

Longitud: $89^{\circ}12'01.07''$ O (619666.616)

Elevación: 684 msnm

3.2.2 CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR

El sitio se encuentra en un 50% cubierto de grama y pequeños arbustos, un 50% lo componen suelo sin vegetación y con presencia de escoria volcánica color rojizo.



Vista A



Vista

B

**FIGURA 3.3 – Tramo de Prueba Experimental, Vista Costado Poniente (A) y Costado Oriente (B)
Fotografiado el mes de Julio de 2011.**

La topografía del lugar es relativamente plana con pendientes próximas al 1% en la dirección poniente a oriente.

Se cuenta con drenaje lateral existente y ambos conectan directamente a cajas colectoras distintas, éstas trabajarán en caso que el sistema de pavimento de concreto permeable llegase a sobrepasar la capacidad de almacenamiento.

El área adyacente al sitio del Tramo de Prueba es con poca o nada de vegetación, siendo la vegetación: grama, árboles frutales (almendra, etc), árboles ornamentales (ficus, etc)

Al sur linda con una calle adoquinada y al norte con otra isla de parqueo, con iguales condiciones que el tramo de prueba experimental

3.2.3 DISEÑO GEOMÉTRICO

La isla de estacionamiento en la que se ubicará el tramo de prueba experimental tiene un largo de 72 metros de largo por 16 metros de ancho; pero que dispondremos de un área de 296 metros cuadrados para las losas de concreto permeable. Es decir, 18.5 metros de largo por 16 metros de ancho.

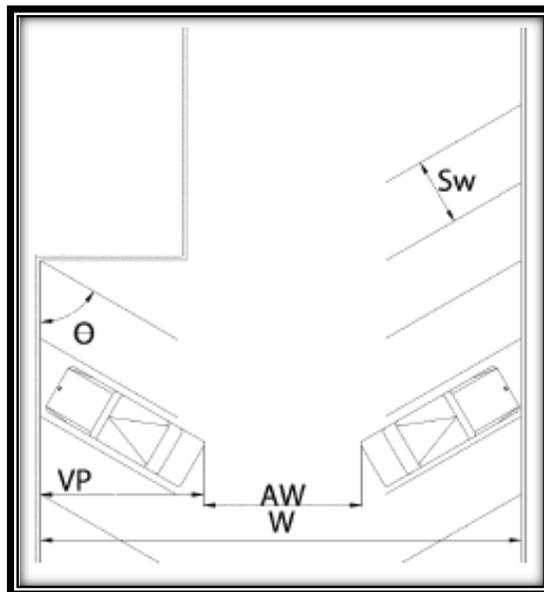
El tramo de prueba es un estacionamiento de vehículos livianos particulares y livianos comerciales, para lo que habrán dos pasillos para la circulación de entrada y salida; dos lotes de estacionamiento para 7 vehículos por lote, haciendo un total de 14 vehículos. Habrá dos accesos al estacionamiento.

Se diseñará conforme al Comité ACI 330, en el apéndice D, Tabla D.1 (b) Dimensiones de Espacio de Parqueo.

Vehículos livianos particulares y livianos comerciales				
Ángulo (θ)	Proyección del Vehículo (VP)	Ancho de Pasillo (AW)	Ancho de Módulo (W)	Ancho de vehículo (SW)
90°	16''	20'	51'	8'
	4.70 m	6.1 m	15.6 m	2.4 m

Fuente: Comité ACI 330 – Guía para el Diseño y Construcción de Parques Vehiculares de Concreto, Apéndice D

TABLA 3.1 - Dimensiones de espacio para Estacionamiento



Fuente: Comité ACI 330R-01 Guide for Design and Construction of Concrete Parking Lots

FIGURA 3.4 – Representación Gráfica de Elementos de un Estacionamiento.

3.2.4 ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO (VER PLANO ADJUNTO 2/3 – ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO)

De acuerdo a los estudios previos del diseño estructural, los elementos más importantes que componen la estructura de pavimento de concreto permeable son los siguientes:

- ❖ **Subrasante:** El suelo sobre el que se asentará la estructura del pavimento, tendrá una pendiente transversal del 0.5%, es decir, una pendiente muy suave y que se reflejará en las capas superiores a ésta. El suelo está clasificado como un suelo SP – SM.

- ❖ **Sub Base de Grava:** Tendrá un espesor de 20 cm, con una granulometría de tamaño máximo nominal de agregado de 1 ½”, dicha sub base será compactada ligeramente con equipo mecánico (rodillo liso 1 tonelada) el contenido de vacíos deberá estar en un rango de 35 a 45 % con un peso unitario superior a 1400 kg/m³. Aparte de ejercer la función de sub base, servirá como un reservorio de agua mientras el agua filtre en suelo de subrasante.

- ❖ **Capa de Rodadura:** Concreto Permeable conteniendo agregado grueso según Norma ASTM C33-03 como N° 8 (Tamaño Máximo Nominal del Agregado: 3/8”).

En el proceso del Diseño de Mezcla se logró obtener un MR= 24 kg/cm² a 28 días, el espesor de la capa de rodadura es de 15 cm.

3.3 ESTUDIOS PREVIOS AL DISEÑO ESTRUCTURAL

3.3.1 TRÁFICO

Respecto al tráfico se ha considerado que el parqueo trabajará en un 100% de su capacidad, realizándose las siguientes estimaciones:

- N° de estacionamientos: 14
- Vehículo de diseño: Liviano Comercial - LC
- El promedio de parqueo es de 4 horas por vehículo, considerando ingresos al parqueo (entradas) entre las 6:00 a.m. a 8:00 a.m.; saliendo al medio día e ingresando nuevamente a las 2:00 pm y retirándose posteriormente a las 5:00 p.m.; además que la mitad del lote vehicular se retira entre dichos lapsos de tiempo, tomando en cuenta lo anterior el número total de repeticiones diarias será de 102.
- Se ha considerado el ingreso de vehículos pesados de carga (tráfico de servicios) a la zona de parqueo, como máximo una repetición por semana.

3.3.2 SUELO

Para conocer las propiedades del suelo, se hace necesario obtener muestras representativas que reflejen las condiciones del sitio donde se asentará la estructura.

Existen dos formas de obtener dichas muestras, las cuales son: Muestras Alteradas y Muestras Inalteradas.

Las muestras pueden ser de dos tipos: alteradas o inalteradas. Se dice que una muestra es alterada cuando no guarda las mismas condiciones que cuando se encontraba en el terreno de donde procede, para obtener muestras alteradas el muestreo debe efectuarse según el fin que se persiga y de la profundidad requerida, se toman muestras de cada capa en un recipiente y se coloca una tarjeta de identificación, que luego son enviadas en bolsas al laboratorio. Se dice que una muestra es inalterada cuando teóricamente guarda las mismas condiciones que cuando se encontraba en el terreno de donde procede, para obtener muestras inalteradas, el caso más simple corresponde al de cortar un determinado trozo de suelo del tamaño deseado (normalmente de un pie cúbico), cubriéndolo con parafina para evitar pérdidas de humedad y empacándolo debidamente para su envío al laboratorio.

3.3.3 OBTENCIÓN DE MUESTRAS

En esta investigación la obtención de muestras se realizó de forma alterada. Se recorrió el sitio y se observó los posibles sitios de extracción.

Se decidió realizar 3 calicatas a cielo abierto, éstas se ubicaron estratégicamente siendo una por lote de estacionamiento y una en el pasillo entre ambos lotes. Para la excavación de las calicatas se utilizaron herramientas como barra, pico y pala.

Las muestras extraídas se colocaron en sacos y se transportaron al Laboratorio del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC). Acompañado cada uno de la siguiente información: fecha de muestreo, localización del proyecto, número de saco, localización del muestreo.



Fuente: Fotografía tomada en parqueo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, San Salvador, Mayo 2011

FIGURA 3.5 – Calicatas realizadas en la zona propuesta para el Tramo de Prueba para la caracterización del suelo y obtención de parámetros de diseño

3.4 ENSAYO DE LABORATORIO DE MUESTRA DE SUELO

3.4.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM D-422)



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro de Investigaciones ISCYC

Urb. Madre Selva, 3^{ra} Etapa Av. El Espino y Boulevard Sur, Antiguo
 Cuscatlan La Libertad Tel. 2505-0162 y 2505-0163 Fax. 2505-0164

ANALISIS GRANULOMETRICO ASTM D-422					
SOLICITANTE : <u>Marlon Ebiezer Vigil Sánchez</u>					
PROYECTO : <u>Tramo de Prueba Pavimento de Concreto Permeable</u>					
UBICACIÓN: <u>Pozo "A"</u>					
MUESTREO: <u>13 de Diciembre de 2010</u>					
FECHA DE RECEPCION: <u>14 de Diciembre de 2010</u>					
FECHA DE ENSAYO: <u>15 - 16 Diciembre de 2010</u>					
LABORATORISTAS: <u>Victor Ramirez Dimas Garcia</u>					
REVISO: <u>Julio Hernández</u>					
OBSERVACIONES: <u>Muestreo realizado por solicitante</u>					
Masa Inicial g = 3405.0					
HOJA DE LABORATORIO					
MALLA	M. RETENIDO PARCIAL (g)	MASA RETENIDA (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	QUE PASA LA MALLA (%)	OBSERVACIONES
21/2"	0.0	0.0	0.0	100	Grava= 9.0 %
2"	0.0	0.0	0.0	100	Arena= 82.0 %
1 1/2"	0.0	0.0	0.0	100	Fino = 9.0%
1"	0.0	0.0	0.0	100	Cc = 0.9
3/4"	0.0	0.0	0.0	100	Cu = 5
1/2"	85.0	2.5	2.5	98	
3/8"	78.2	2.3	4.8	95	
No.4	149.6	4.4	9.2	91	
No.10	234.6	6.9	16.1	84	Clasificacion realizada por laboratorio del ISCYC
No.40	921.4	27.1	43.2	57	
No.200	1628.6	47.9	91.0	9.0	SP - SM- Arena pobremente graduada con limo
FONDO	306.0	9.0	100.0	0	
SUMAS	3403.4	100.0			

CURVA GRANULOMETRICA		ASTM D 2216							
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Masa de muestra humeda, g</td> <td style="text-align: center;">250</td> </tr> <tr> <td>Masa de muestra seca, g</td> <td style="text-align: center;">225.23</td> </tr> <tr> <td>% de Humedad</td> <td style="text-align: center;">11</td> </tr> </table>		Masa de muestra humeda, g	250	Masa de muestra seca, g	225.23	% de Humedad	11
Masa de muestra humeda, g	250								
Masa de muestra seca, g	225.23								
% de Humedad	11								



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto

Centro de Investigaciones ISCYC

Urb. Madre Selva, 3^{ra} Etapa Av. El Espino y Boulevard Sur, Antiguo
Cuscatlan La Libertad Tel. 2505-0162 y 2505-0163 Fax. 2505-0164

ANALISIS GRANULOMETRICO ASTM D-422

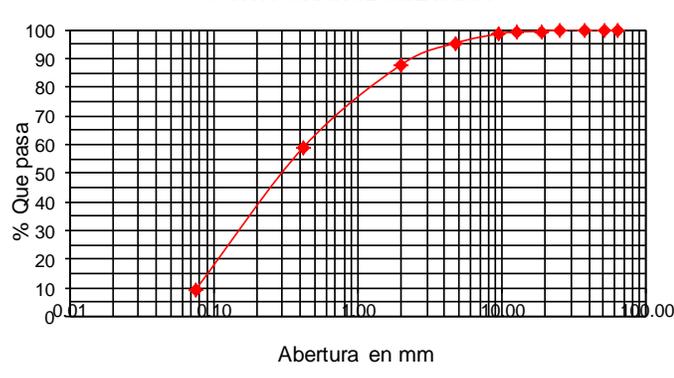
SOLICITANTE : Marlon Ebiezer Vigil Sánchez
 PROYECTO : Tramo de Prueba Pavimento de Concreto Permeable
 UBICACIÓN: Pozo "B"
 MUESTREO: 13 de Diciembre de 2010
 FECHA DE RECEPCION: 14 de Diciembre de 2010
 FECHA DE ENSAYO: 16 - 17 Diciembre de 2010
 LABORATORISTAS: Víctor Ramírez, Dimas García
 REVISOR: Julio Hernández
 OBSERVACIONES: Muestreo realizado por solicitante

Masa Inicial g = 5607.0

HOJA DE LABORATORIO

MALLA	M. RETENIDO PARCIAL (g)	MASA RETENIDA (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	QUE PASA LA MALLA (%)	OBSERVACIONES
21/2"	0.0	0.0	0.0	100	Grava= 5.0 %
2"	0.0	0.0	0.0	100	Arena= 85.6 %
1 1/2"	0.0	0.0	0.0	100	Fino = 9.4%
1"	0.0	0.0	0.0	100	Cc = 1.1
3/4"	33.6	0.6	0.6	99	Cu = 5
1/2"	11.2	0.2	0.8	99	
3/8"	39.2	0.7	1.5	99	
No.4	184.8	3.3	4.8	95	
No.10	420.0	7.5	12.3	88	Clasificacion realizada por
No.40	1612.8	28.8	41.1	59	laboratorio del ISCYC
No.200	2777.6	49.6	90.6	9.4	SP - SM- Arena pobremente graduada con limo
FONDO	526.4	9.4	100.0	0	
SUMAS	5605.6	100.0			

CURVA GRANULOMETRICA



ASTM D 2216

Masa de muestra húmeda, g	250
Masa de muestra seca, g	227.47
% de Humedad	9.9

3.4.2 CLASIFICACIÓN AASHTO DE LAS MUESTRAS DE SUELO ANALIZADAS

Los resultados obtenidos de los análisis de granulometría y límites de consistencia para las muestras son los siguientes:

Características	Pozo A	Pozo B
% pasa malla 10	84	88
% pasa malla 40	57	59
% pasa malla 200	9.0	9.4
LP	NP	NP
IP	NP	NP
Clasificación	A-3	A-3

Clasificación General	MATERIALES GRANULARES (35% o menos del total pasa el tamiz N° 200)						Materiales limo – arcillosos (Más del 35% del total pasa el tamiz N° 200)				
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7	
Clasificación de Grupos	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7			A-7-5 A-7-6	
Porcentaje del material que pasa el tamiz: N° 10	50 max										
N° 40	30 max	50 max	51 max								
N° 200	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	
Características de la fracción que pasa el tamiz N° 40											
Límite líquido, LL				40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	31 mín
Límite plástico, LP	6 máx		NP	10	10	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Índice de grupo	0		0	0			4 máx	8 máx	12 max	16 max	20 may

Fuente: “Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil” Joseph E. Bowles.

TABLA 3.2 – Sistema de clasificación de suelos AASHTO.

3.4.3 DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS (BASADA EN AASHTO T 99-01)



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro de Investigaciones ISCYC

Urb Madre Selva, 3a etapa Av. El Espino Boulevard Sur,

Antiguo Cuscatlan, La Libertad Tel 2505-0162, 2505-0163 Fax 2505-0164

RELACION DENSIDAD-HUMEDAD												
AASHTO T - 99												
PROYECTO:	Tramo de Prueba Pavimento de Concreto Permeable											
UBICACION:	Parqueo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura UES			METODO:	C							
FECHA MUESTREO:	8 de Diciembre de 2011			MARTILLO:	5.5 lb							
FECHA DE ENSAYO:	26 y 27 de Diciembre de 2011			GOLPES P/CAPA:	25							
ESTACIÓN:	----			LABORAT.:								
OBSERVACIONES:	Muestreo realizado por el solicitante			REVISOR:								
PESO UNITARIO												
ENSAYO No.	1	2	3	4		OBSERVACIONES						
% AGUA DE LABORATORIO	16%	18%	20.0%	22%								
AGUA AGREGADA (C.C)	163	137	204	242								
PESO MUESTRA+ MOLDE (g)	5709	5762	5799	5809		Masa de la muestra (g):						
PESO MOLDE (g)	4242	4242	4242	4242		5500						
PESO MUES. HUMEDA (g)	1467	1520	1557	1567								
CAPACIDAD MOLDE (cm ³)	929.4	929.4	929.4	929.4								
PESO VOL. HUMEDO (kg/m ³)	1578	1635	1675	1686								
PESO VOL. SECO (kg/m ³)	1,349	1,392	1,410	1,385								
HUMEDAD												
RECIPIENTE No.	C	T	S	3		OBSERVACIONES						
PESO HUMEDO+TARA (grs)	297.1	225.7	268.5	321.3								
PESO SECO + TARA (grs)	278.3	216.9	252.5	293.8								
PESO AGUA (grs)	18.8	8.8	16.0	27.5								
TARA (grs)	167.7	166.6	167.4	167.4								
PESO SECO (grs)	110.6	50.3	85.1	126.4								
% HUMEDAD	17.0	17.5	18.8	21.8								
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;"> <p style="text-align: center;">RELACIÓN DENSIDAD - HUMEDAD</p> </div> <div style="flex: 0.5; border: 1px solid black; padding: 5px;"> <table border="1"> <tr> <td>P.V.H. max.=</td> <td style="color: red;">1675</td> </tr> <tr> <td>P.V.S. max.=</td> <td style="color: red;">1411</td> </tr> <tr> <td>% Humedad Optima =</td> <td style="color: red;">18.7</td> </tr> </table> </div> </div>							P.V.H. max.=	1675	P.V.S. max.=	1411	% Humedad Optima =	18.7
P.V.H. max.=	1675											
P.V.S. max.=	1411											
% Humedad Optima =	18.7											

3.4.4 PRUEBA PROCTOR MODIFICADA (ASTM D-1557, AASHTO T-180)



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto Centro de Investigaciones ISCYC

Urb Madre Selva, 3a etapa Av. El Espino Boulevard Sur,
Antiguo Cuscatlan, La Libertad Tel 2505-0162, 2505-0163 Fax 2505-0164

RELACION DENSIDAD-HUMEDAD AASHTO T - 180						
PROYECTO:	Tramo de Prueba Pavimento de Concreto Permeable			METODO	D	
UBICACION:	Parqueo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura UES			MARTILLO:	10 lb	
FECHA MUESTREO:	13 de Diciembre de 2010			GOLPES P/C:	56.00	
FECHA DE ENSAYO:	15 y 16 de Diciembre de 2010			LABORAT.:	V.R.; D.G.	
ESTACIÓN:	---			REVISOR:	J.Hernández	
OBSERVACIONES:	Muestreo realizado por el solicitante.- Material A					
PESO UNITARIO						
ENSAYO No.:	1	2	3	4	OBSERVACIONES	
% AGUA DE LABORATORIO	8%	10.0%	12%	14.0%		
AGUA AGREGADA (C.C)	440	548	658	768		
PESO MUESTRA+ MOLDE (g)	9971	10205	10185	10143	Masa de la muestra (g):	
PESO MOLDE (g)	6521	6521	6521	6521	5500	
PESO MUES. HUMEDA (g)	3450	3684	3664	3622		
CAPACIDAD MOLDE (cm ³)	2105	2105	2105	2105		
PESO VOL. HUMEDO (kg/m ³)	1639	1750	1741	1721		
PESO VOL. SECO (kg/m ³)	1,407	1,460	1,481	1,419		
HUMEDAD						
RECIPIENTE No.:	4	1	2	3	OBSERVACIONES	
PESO HUMEDO+TARA (grs)	222.0	183.1	291.0	236.6		
PESO SECO + TARA (grs)	202.9	166.6	273.3	209.3		
PESO AGUA (grs)	19.1	16.5	17.7	27.3		
TARA (grs)	87.0	83.6	172.4	81.0		
PESO SECO (grs)	115.9	83.0	100.9	128.3		
% HUMEDAD:	16.5	19.9	17.5	21.3		

RELACION DENSIDAD - HUMEDAD

CONTENIDO HUMEDAD %	PESO VOLUMETRICO SECO (kg/m ³)
16.5	1407
17.5	1460
18.3	1494
19.9	1481
21.3	1419

P.V.H. max.=	1767
P.V.S. max.=	1494
% Humedad Optima =	18.3



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto Centro de Investigaciones ISCYC

*Urb Madre Selva, 3a etapa Av. El Espino Boulevard Sur,
Antiguo Cuscatlan, La Libertad Tel 2505-0162, 2505-0163 Fax 2505-0164*

RELACION DENSIDAD-HUMEDAD AASHTO T - 180											
PROYECTO:	Tramo de Prueba Pavimento de Concreto Permeable				METODO:	D					
UBICACION:	Parqueo de la Facultad de Ingenieria y Arquitectura UES				MARTILLO:	10 lb					
FECHA MUESTREO:	13 de Diciembre de 2010				GOLPES P/CA:	56.00					
FECHA DE ENSAYO:	16 y 17 de Diciembre de 2010				LABORAT.:	V.R.; D.G.					
ESTACION:	---				REVISOR:	J.Hernández					
OBSERVACIONES:	Muestreo realizado por el solicitante.- Material B										
PESO UNITARIO											
ENSAYO No.:	1	2	3	4		OBSERVACIONES					
% AGUA DE LABORATORIO	10%	12.0%	14%	16.0%							
AGUA AGREGADA (C.C.)	550	660	770	880							
PESO MUESTRA+ MOLDE (g)	10175	10291	10189	10168		Masa de la muestra (g):					
PESO MOLDE (g)	6521	6521	6521	6521		5500					
PESO MUES. HUMEDA (g)	3654	3770	3668	3647							
CAPACIDAD MOLDE (cm ³)	2105	2105	2105	2105							
PESO VOL. HUMEDO (kg/m ³)	1736	1791	1743	1733							
PESO VOL. SECO (kg/m ³)	1,506	1,534	1,466	1,435							
HUMEDAD											
RECIPIENTE No.:	3	1	2	4		OBSERVACIONES					
PESO HUMEDO+TARA (grs)	190.8	194.1	195.6	195.9							
PESO SECO + TARA (grs)	176.1	177.9	177.4	176.0							
PESO AGUA (grs)	14.7	16.2	18.2	19.9							
TARA (grs)	80.0	81.2	81.0	80.0							
PESO SEGO (grs)	96.1	96.7	96.4	96.0							
% HUMEDAD:	15.3	16.8	18.9	20.7							
					<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black;">P.V.H. max.=</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">1789</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black;">P.V.S. max.=</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">1536</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black;">% Humedad Optima =</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">16.5</td> </tr> </table>	P.V.H. max.=	1789	P.V.S. max.=	1536	% Humedad Optima =	16.5
P.V.H. max.=	1789										
P.V.S. max.=	1536										
% Humedad Optima =	16.5										

3.4.5 PRUEBA DE RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO, CBR (ASTM D-1883, AASHTO T-193)

Se determinó el valor de CBR de diseño al porcentaje del máximo peso volumétrico seco requerido, normalmente este valor es el mínimo porcentaje de compactación permitido en carreteras (95% del Peso volumétrico seco máximo).

Se realizó este ensayo bajo las siguientes condiciones:

Energía de Compactación: AASHTO T 99 – ASTM D 698 (600 kN-m/m³)

Tiempo de saturación: 10 días (240 horas)

Ensayo de Penetración: A 10 días (saturado)

A 10 días (drenado)

El principal objetivo que se persigue con esta campaña de CBR es el de modelar en laboratorio el comportamiento del suelo de subrasante para un escenario en específico.

La Norma AASHTO T 193 – ASTM D 1883, establece que el tiempo de saturación es de 96 horas (4 días). El escenario que se realizó es para una duración de 10 días simulando el evento lluvioso DT 12E que ocurrió en nuestro país del 10 al 19 de octubre de 2011. El ensayo de penetración de los especímenes fue en ciclos de saturación y drenado.

CONDICIÓN SATURADA



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro de Investigaciones ISCC

Urb. Madre Selva, 3^{ra} Etapa Av. El Espino y Boulevard Sur Antiguo
Cuscatlán, La Libertad Tel.2505-0162 y 2505-0163 Fax. 2505-0164

VALOR RELATIVO DE SOPORTE (CBR) ASTM D-1883

PROYECTO : TRAMO DE PRUEBA PAVIMENTO CONCRETO PERMEABLE - UES
SOLICITANTE : MARLON EBIEZER VIGIL SÁNCHEZ
TIPO DE MATERIAL : SUELO SP-SM
TIEMPO DE INMERSIÓN : 10 DÍAS
FECHA DE ENSAYO : 27 DIC 11 - 6 ENE 2012
LABORATORISTA : VICTOR RAMIREZ

Datos de Relación Densidad Humedad según AASHTO T-99

P.V.H. Máx.	1674	kg/cm ³
P.V.S. Máx.	1410	kg/cm ³
Humedad Óptima	18.7	%

No. de Golpes	56	25	10
MOLDE No	1	2	3
Peso suelo húmedo+ molde (g)	10665	10557	10323
Peso suelo húmedo+ molde después saturación (g)	10770	10775	10630
Peso molde (g)	7085	7180	7207
Volumen molde (cm ³)	2105	2105	2105
Peso suelo húmedo antes saturación(g)	3580	3377	3116
Peso suelo húmedo después saturación (g)	3685	3595	3423
Altura muestra (cm)	11.60	11.60	11.60
Contenido de Agua después de penetración (%)	24.10	26.56	30.49
Contenido de Agua antes de saturación (%)	18.15	18.03	17.89
Peso volumetrico húm. antes de saturación (kg/m ³)	1701	1604	1480
Peso volumetrico húm. después de saturación (kg/m ³)	1751	1708	1626
Peso volumetrico seco antes saturación(kg/m ³)	1439	1359	1256
Peso volumetrico seco después saturación(kg/m ³)	1411	1349	1246

No. de golpes	HUMEDAD DE SATURACION			HUMEDAD DE BANDEJA ANTES DE COMP		
	56	25	10	56	25	10
Recipiente No	1C	MD6	ART	K	S	I
Peso Suelo Humedo + Tara (g)	220.6	211.6	131.1	301.20	301.60	293.90
Peso Suelo Seco + Tara (g)	193.2	183.9	119.3	280.80	281.10	274.90
Peso del Agua (g)	27.4	27.7	11.8	20.40	20.50	19.00
Peso Tara (g)	79.5	79.6	80.6	168.40	167.40	168.70
Peso Suelo Seco (g)	113.7	104.3	38.7	112.40	113.70	106.20
Contenido de Agua (%)	24.1	26.6	30.5	18.15	18.03	17.89
HINCHAMIENTO (%)	0.066	0.153	0.175			

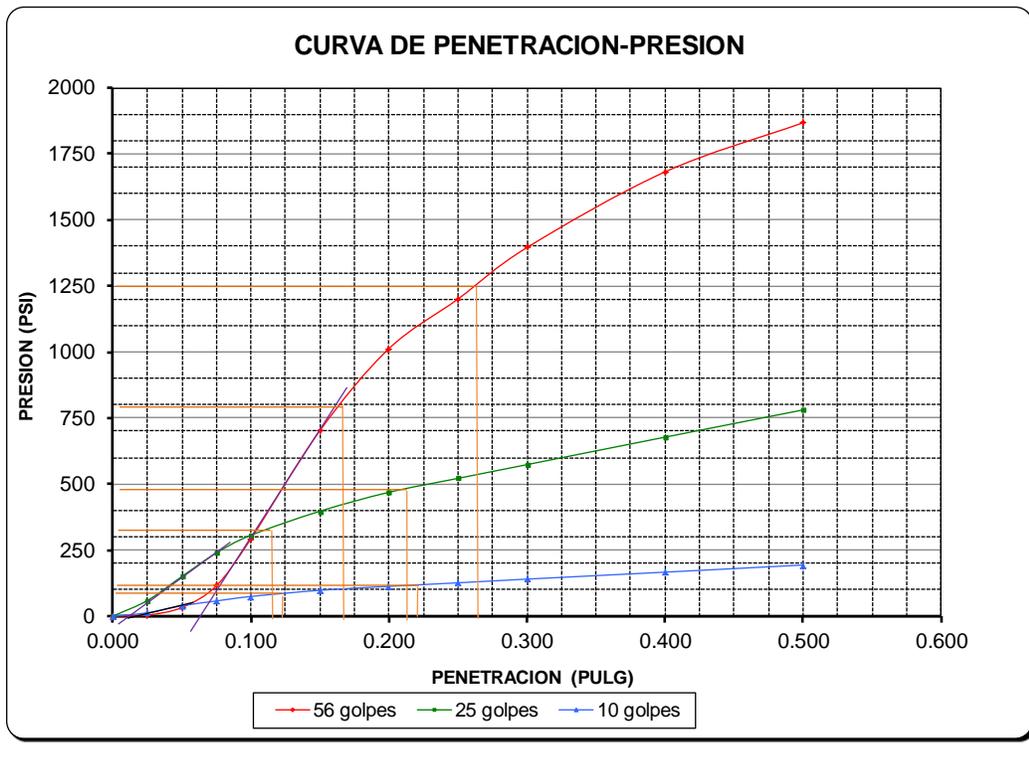
HINCHAMIENTO

Precisión de		Molde:1 Golpes:56		Molde:2 Golpes:25		Molde:3 Golpes:10	
Deformimetro: 0.001"		Sobrecarga		Sobrecarga		Sobrecarga	
Fecha	Hora	Lectura	Pulg.	Lectura	Pulg.	Lectura	Pulg.
13/12/2011	04:30 p.m.	0	0.000	-5	-0.005	-12	-0.012
14/12/2011	10:30 a.m.		0.000		0.000		0.000
14/12/2011	04:30 p.m.		0.000		0.000		0.000
15/12/2011	07:30 p.m.		0.000		0.000		0.000
15/12/2011	04:30 p.m.		0.000		0.000		0.000
16/12/2011	07:30 p.m.		0.000		0.000		0.000
16/12/2011	04:30 p.m.		0.000		0.000		0.000
19/12/2011	04:30 p.m.		0.000		0.000		0.000
20/12/2011	04:30 p.m.		0.000		0.000		0.000
21/12/2011	04:30 p.m.		0.000		0.000		0.000
22/12/2011	04:30 p.m.		0.000		0.000		0.000

ABUNDAMIENTO Precisión (pulg) = 0.001			
No. golpes	56	25	10
Lect. Final	0.003	0.007	0.008
Porcentaje [%]	0.066	0.153	0.175

**VALOR RELATIVO DE SOPORTE (CBR)
ASTM D-1883**

PENETRACION						
Equipo: Versaloader (razon de carga = 6.6)						
Área del Pistón (Pulg ²) = 3.0 pulg ²						
Penetración (Pulg)	Molde 1 (56 golpes) Sobre Carga 10 Lbs.		Molde 2 (25 golpes) Sobre Carga 10 Lbs.		Molde 3 (10 golpes) Sobre Carga 10 Lbs.	
	Carga (Lbs)	Presión (Lb/pulg ²)	Carga (Lbs)	Presión (Lb/pulg ²)	Carga (Lbs)	Presión (Lb/pulg ²)
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	12.00	4.00	177.00	59.00	38.00	12.67
0.050	98.00	32.67	450.00	150.00	117.00	39.00
0.075	345.00	115.00	717.00	239.00	172.00	57.33
0.100	878.00	292.67	918.00	306.00	223.00	74.33
0.150	2107.00	702.33	1191.00	397.00	293.00	97.67
0.200	3037.00	1012.33	1406.00	468.67	338.00	112.67
0.250	3600.00	1200.00	1564.00	521.33	378.00	126.00
0.300	4185.00	1395.00	1720.00	573.33	420.00	140.00
0.400	5044.00	1681.33	2032.00	677.33	499.00	166.33
0.500	5602.00	1867.33	2341.00	780.33	580.00	193.33



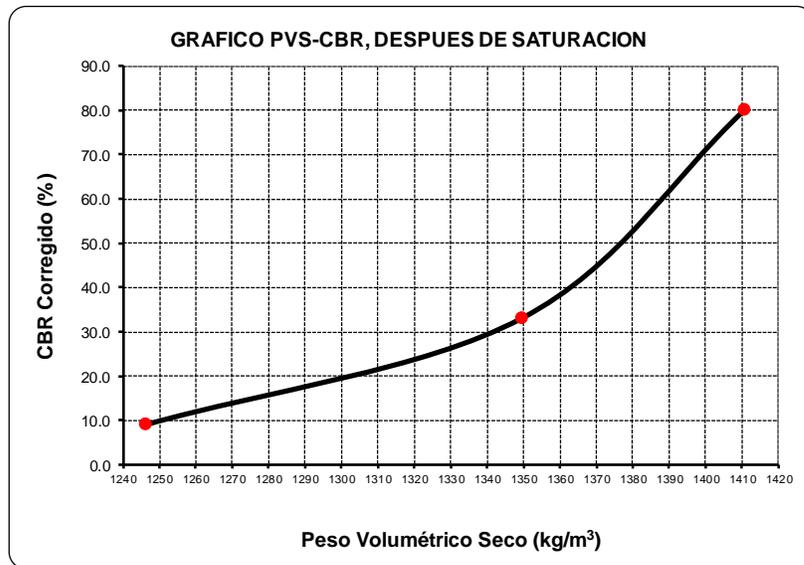
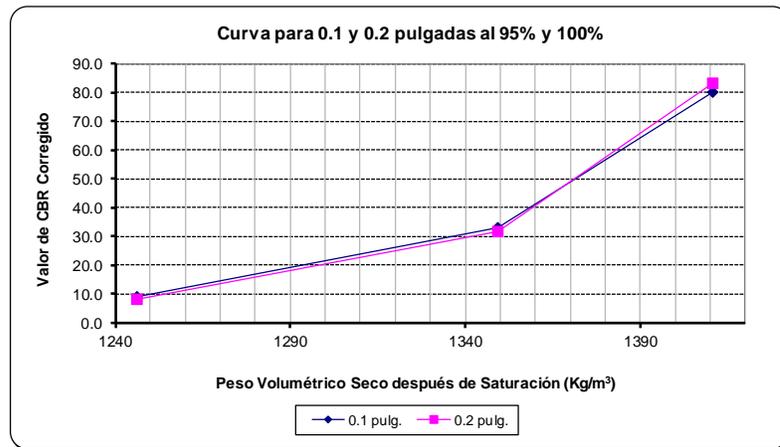
**VALOR RELATIVO DE SOPORTE (CBR)
ASTM D-1883**

95% PVS Máx 1340 kg/m³

para 0.1 pulg.			
Peso volumétrico seco después de saturación (kg/m ³)			
# de golpes	PVS (kg/m ³)	CBR (%)	CBR corregido
56	1411	29	80.0
25	1349	31	33.0
10	1246	7	9.0
Valor de CBR para 95% de PVS Máx =			30.5

para 0.2 pulg.			
Peso volumétrico seco después de saturación (kg/m ³)			
# de golpes	PVS (kg/m ³)	CBR (%)	CBR corregido
56	1411	67	83.3
25	1349	31	31.7
10	1246	8	8.3
Valor de CBR para 95% de PVS Máx =			29.8

El valor de CBR para 0.2 plg de penetración es menor que el valor CBR para 0.1 plg por lo que el ensayo es satisfactorio.



CBR de diseño: 30.0 %

CONDICIÓN DRENADA



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto Centro de Investigaciones ISCYC

*Urb. Madre Selva, 3^{ra} Etapa Av. El Espino y Boulevard Sur Antiguo
Cuscatlán, La Libertad Tel.2505-0162 y 2505-0163 Fax. 2505-0164*

VALOR RELATIVO DE SOPORTE (CBR) ASTM D-1883

PROYECTO : TRAMO DE PRUEBA PAVIMENTO CONCRETO PERMEABLE - UES
 SOLICITANTE : MARLON EBIEZER VIGIL SÁNCHEZ
 TIPO DE MATERIAL : SUELO SP-SM
 TIEMPO DE DRENADO : 10 DÍAS
 FECHA DE ENSAYO : 27 DIC 11 - 6 ENE 2012
 LABORATORISTA : VICTOR RAMIREZ

Datos de Relación Densidad Humedad según AASHTO T-99

P. V. H. Máx.	1674	kg/m ³
P. V. S. Máx.	1410	kg/m ³
Humedad Óptima	18.7	%

No. de Golpes	56	25	10
MOLDE No	1	2	3
Peso suelo húmedo+ molde después saturación (g)	10425	10425	10334
Peso molde (g)	7085	7180	7207
Volumen molde (cm3)	2105	2105	2105
Peso suelo húmedo después saturación (g)	3340	3245	3127
Altura muestra (cm)	10.33	10.33	10.33
Contenido de Agua después de penetración (%)	18.36	22.52	24.34
Contenido de Agua antes de saturación (%)	0.00	0.00	0.00
Peso volumetrico húm. después de saturación (kg/m3)	1587	1542	1486
Peso volumetrico seco después saturación(kg/m3)	1341	1258	1195

HUMEDAD DE SATURACION			
No. de golpes	56	25	10
Recipiente No	A	R	O
Peso Suelo Humedo + Tara (g)	290.8	310.5	272
Peso Suelo Seco + Tara (g)	272.5	284.4	251.6
Peso del Agua (g)	18.3	26.1	20.4
Peso Tara (g)	172.8	168.5	167.8
Peso Suelo Seco (g)	99.7	115.9	83.8
Contenido de Agua (%)	18.4	22.5	24.3
HINCHAMIENTO (%)	0.000	0.000	0.000

HINCHAMIENTO

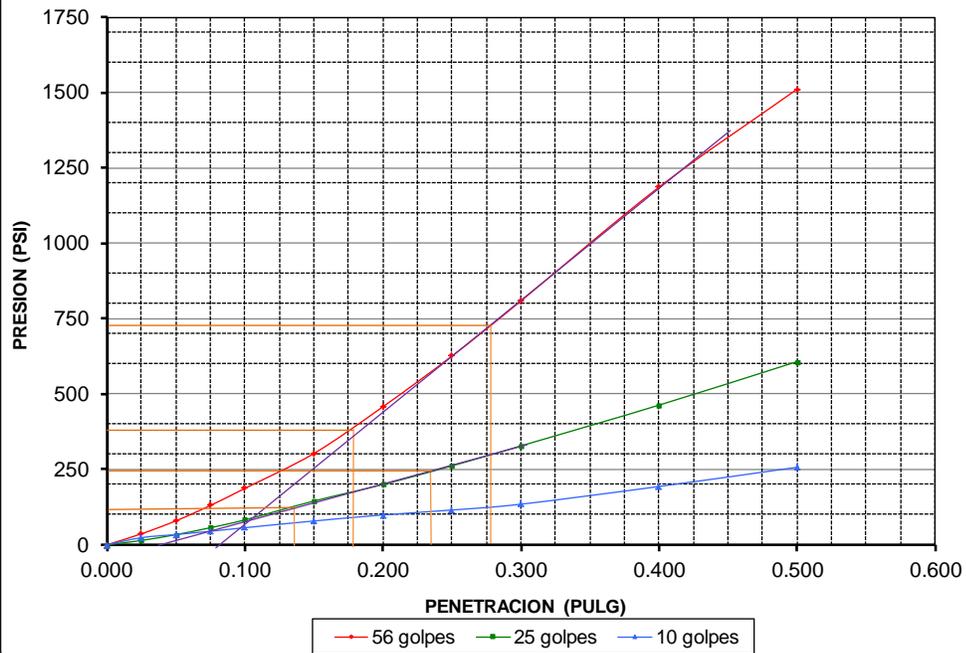
Precisión de Deformimetro: 0.001"		Molde:1 Golpes:56		Molde:2 Golpes:25		Molde:3 Golpes:10	
		Sobrecarga		Sobrecarga		Sobrecarga	
Fecha	Hora	Lectura	Pulg.	Lectura	Pulg.	Lectura	Pulg.
			0.000		0.000		0.000
			0.000		0.000		0.000
			0.000		0.000		0.000
			0.000		0.000		0.000
			0.000		0.000		0.000
			0.000		0.000		0.000
			0.000		0.000		0.000

ABUNDAMIENTO			
Precisión (pulg) = 0.001			
No. golpes	56	25	10
Lect. Final			
Porcentaje [%]	0.000	0.000	0.000

**VALOR RELATIVO DE SOPORTE (CBR)
ASTM D-1883**

PENETRACION						
Equipo: Versaloder (razon de carga = 6.6)						
Área del Pistón (Pulg ²) = 3.0 pulg ²						
Penetración (Pulgadas)	Molde 1 (56 golpes) Sobre Carga 10 Lbs.		Molde 2 (25 golpes) Sobre Carga 10 Lbs.		Molde 3 (10 golpes) Sobre Carga 10 Lbs.	
	Carga (Lbs)	Presión (Lb/pulg ²)	Carga (Lbs)	Presión (Lb/pulg ²)	Carga (Lbs)	Presión (Lb/pulg ²)
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	109.00	36.33	43.00	14.33	71.00	23.67
0.050	238.00	79.33	101.00	33.67	102.00	34.00
0.075	391.00	130.33	170.00	56.67	135.00	45.00
0.100	561.00	187.00	248.00	82.67	170.00	56.67
0.150	908.00	302.67	435.00	145.00	237.00	79.00
0.200	1373.00	457.67	600.00	200.00	297.00	99.00
0.250	1877.00	625.67	785.00	261.67	346.00	115.33
0.300	2425.00	808.33	984.00	328.00	404.00	134.67
0.400	3557.00	1185.67	1389.00	463.00	580.00	193.33
0.500	4531.00	1510.33	1822.00	607.33	771.00	257.00

CURVA DE PENETRACION-PRESION



**VALOR RELATIVO DE SOPORTE (CBR)
ASTM D-1883**

95% PVS Máx 1340 kg/m³

para 0.1 pulg.
Peso volumétrico seco después de saturación (Kg/m³)

# de golpes	PVS (kg/m ³)	CBR (%)	CBR corregido
56	1341	19	39.0
25	1258	8	12.5
10	1195	6	6.0

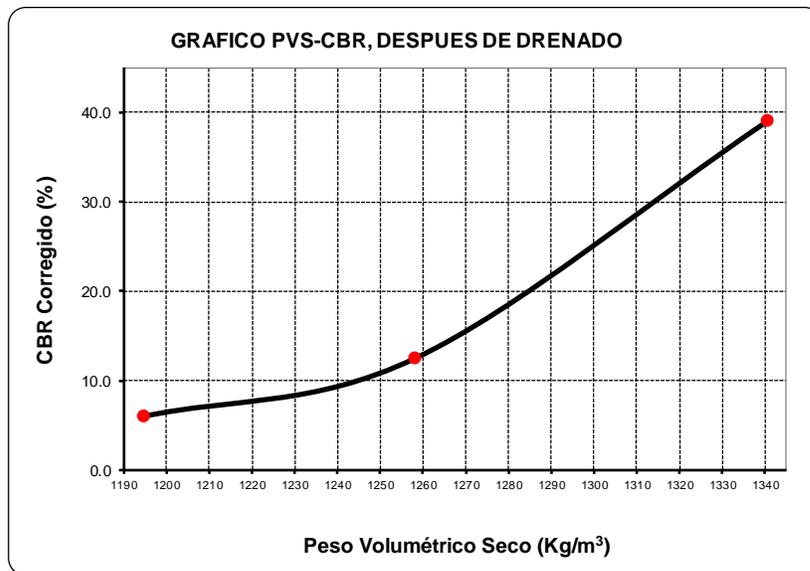
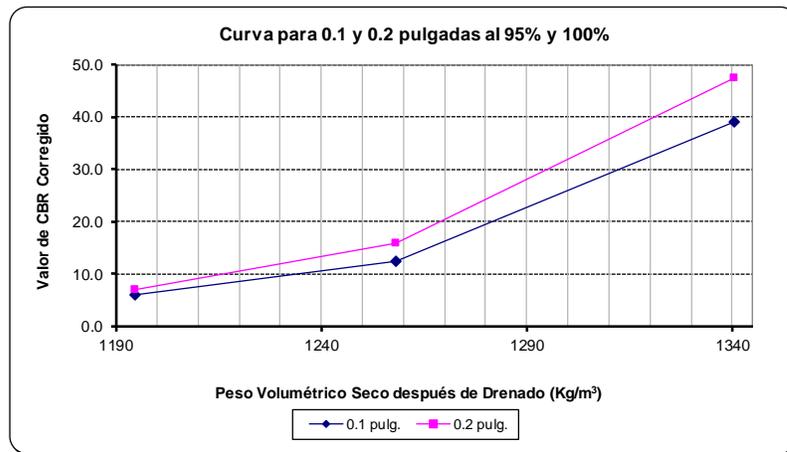
Valor de CBR para 95% de PVS Máx = **37.8**

para 0.2 pulg.
Peso volumétrico seco después de saturación (Kg/m³)

# de golpes	PVS (kg/m ³)	CBR (%)	CBR corregido
56	1341	31	47.3
25	1258	13	16.0
10	1195	7	7.0

Valor de CBR para 95% de PVS Máx = **46.8**

El valor de CBR para 0.2 plg de penetracion es mayor que el valor CBR para 0.1 plg por lo que el ensayo debe repetirse.



3.4.6 ENSAYO DE PLACA DE CARGA ESTÁTICA NO REPETITIVA (AASHTO T 222)



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto Laboratorio de Investigaciones ISCC

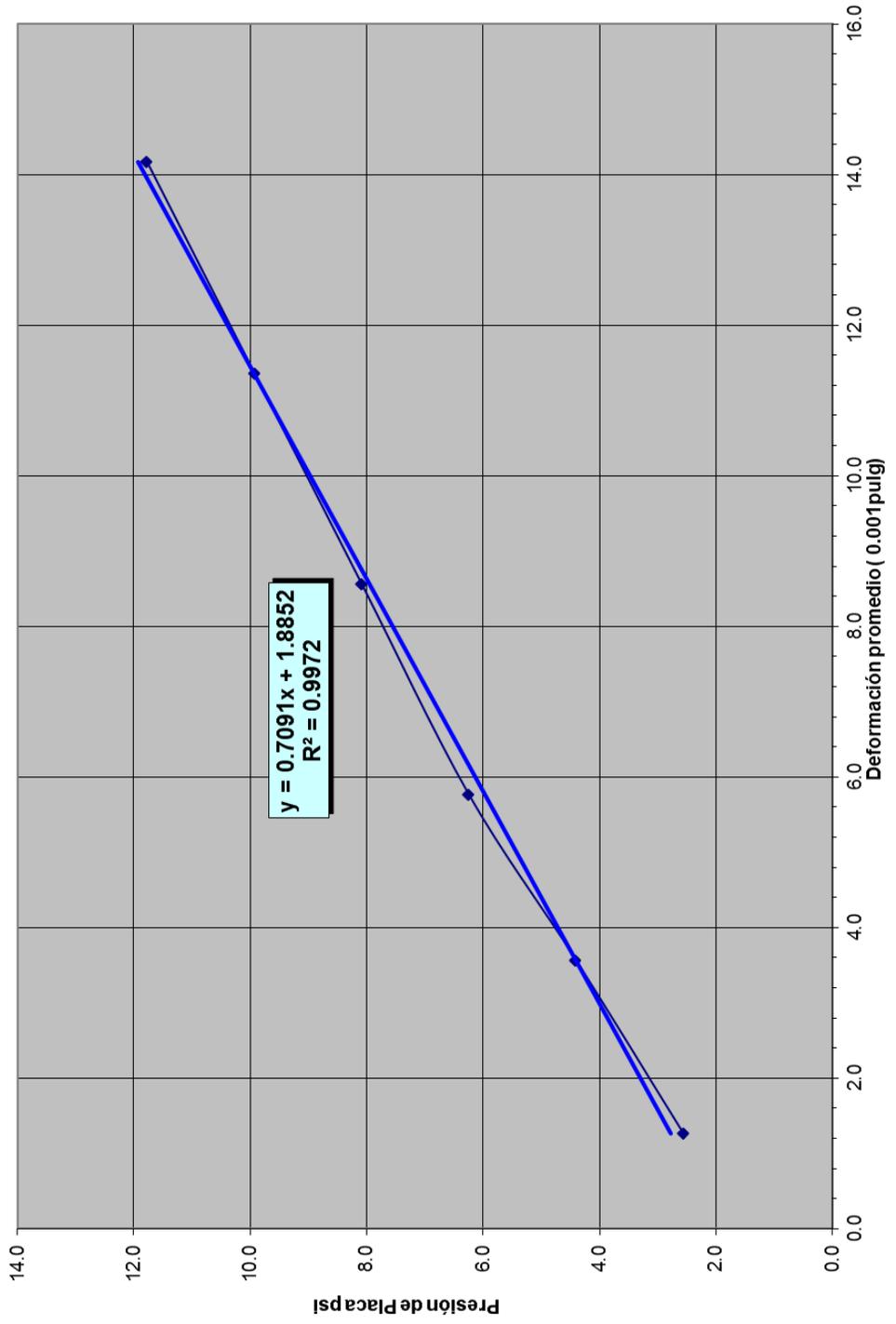
Urb. Madre Selva, 3^{ra} Etapa Av. El Espino y Boulevard Sur, Antiguo

Cuscatlán La Libertad Tel. 2505-0162 y 2505-0163 Fax. 2505-0164

ENSAYO DE PLACA DE CARGA ESTÁTICA NO REPETITIVA								
AASHTO T 222								
PROYECTO: Tramo de Prueba Pavimento de Concreto Permeable					Fecha: 12 de Mayo de 2011			
UBICACIÓN: UES - Campus Central					Condición de Clima : Despejado			
ESTACIONAMIENTO:					Temperatura Inicial: 25 °C			
TIPO DE MATERIAL : SP-SM					Temperatura Final: 24 °C			
Carga Muerta: 508 lb					Realizaron : J.H., V.R, D.G			
Diámetro de pistón = 2.88 pulg					Supervisó : Julio Hernández			
Area de Pistón = 6.514 pulg ²								
Diámetro de placa base = 30 pulg								
Area de placa = 707 pulg ²								
Hora	Presión de Manómetro (psi)	Carga Generada (lbs)	Carga Generada más Carga muerta (lbs)	Presión de Placa Base (psi)	Lecturas de Deflexión 0,001 pulg			Deflex. prom. 0.001 pulgs.
11:36 a.m.	200	1302.8	1811	2.6	1.0	0.5	2.3	1.3
11:40 a.m.	400	2605.6	3114	4.4	3.0	1.0	6.7	3.6
11:44 a.m.	600	3908.4	4416	6.2	5.0	2.0	10.3	5.8
11:48 a.m.	800	5211.2	5719	8.1	9.0	3.0	13.7	8.6
11:52 a.m.	1000	6514	7022	9.9	11.8	4.5	17.8	11.4
11:56 a.m.	1200	7816.8	8325	11.8	15.0	6.0	21.5	14.2
<p>Módulo de reacción del suelo (no corregido)</p> $K'_u = \frac{69,0 \text{ Kpa (10 Psi)}}{\text{Deflexión Promedio}} = 709.1 \text{ pci}$ <p>Módulo de reacción del suelo corregido por flexión de placa</p> $K_u = 510 \text{ pci (lbs / pulg}^3 \text{)}$								



Gráfico Esfuerzo-Deformación- Placa de Carga no Repetitiva- AASHTO T 222
Tramo de Prueba - Pavimento de Concreto Permeable - Facultad de Ingeniería y Arquitectura UES
(12-05-201)



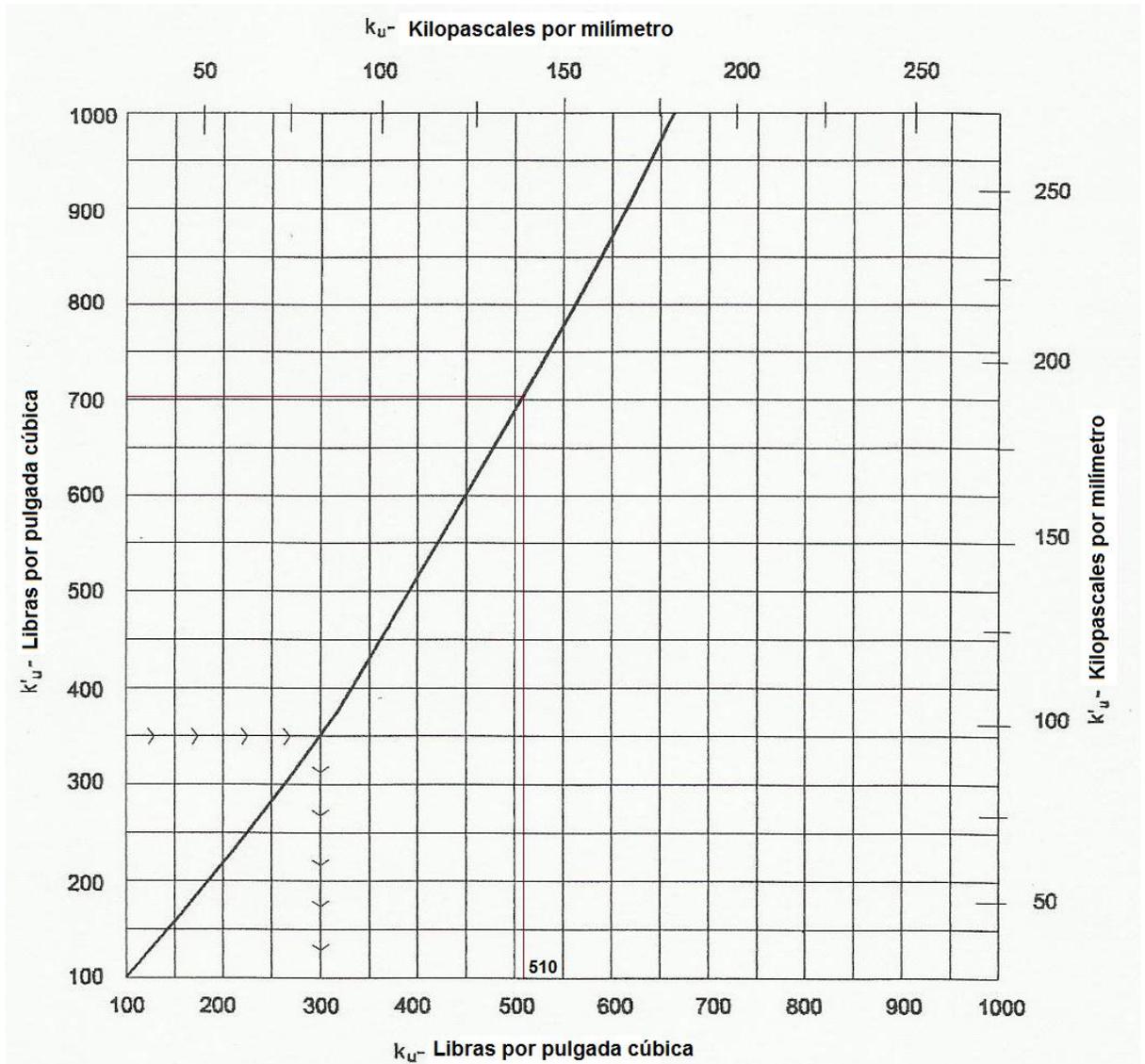


FIGURA 3.8 – Corrección por Deflexión de Placa

El valor de reacción k de la subrasante luego se afecta en aproximadamente un 20% (es decir el 80% de su valor corregido por deflexión de placa) debido a la saturación del suelo en presencia del agua.

$$K = 510 \text{ pci} \times 0.80 = 408 \text{ pci}$$

3.5 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE

3.5.1 EL MUESTREO DE AGREGADO FUE REALIZADO EN EL PLANTEL CHANMICO DE HOLCIM CONCRETOS, EL SALVADOR, SE HIZO CONFORME A LA NORMA ASTM D75-03 “PRÁCTICA ESTÁNDAR PARA MUESTREO DE AGREGADOS”.



Fuente: Fotografía tomada en Plantel Holcim Chanmico, El Salvador. Marzo 2011.

FIGURA 3.6 – Apilamiento de Agregado Grueso y Muestreo de Agregado Grueso, según ASTM D75-03

En el diseño se asistió con el Software “Pervious Concrete Mixture Proportioning Software” desarrollado por la Asociación Nacional de Premezcladores de Concreto (National Ready Mixed Concrete Association - NRMCA, por sus siglas en Inglés).

Se realizaron ensayos de laboratorio a los agregados a utilizar en el diseño de la mezcla, dichos ensayos bajo las normas ASTM son los siguientes:

- ASTM C702-03 – Práctica Estándar para Reducción de las Muestras de Agregado a Tamaños de Prueba.

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

3.5.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA AGREGADO GRUESO



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto

Laboratorio de Investigaciones ISCYC

*Urb. Madre Selva, 3ra etapa Av. El Espino y Boulevard Sur, Antiguo
Cuscatlán, La Libertad, Tel 2505 - 0162 y 2505 - 0163 Fax: 2505 - 0164*

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO ASTM C - 127			
PROYECTO:	TRAMO DE PRUEBA PAVIMENTO DE CONCRETO PERMEABLE		
MUESTRA:	GRAVA 3/8" N° 8		
UBICACIÓN:	PLANTA HOLCIM - CHANMICO		
F. DE MUESTREO:	01/03/2011		
F. DE ENSAYO:	29-30/03/11		
LABORATORISTAS	Ronald Retana, Marlon V. Sánchez		
REVISO:	Téc. Julio Hernández		
OBSERVACIONES:	_____		
HOJA DE LABORATORIO			
MUESTRA N°: 1		MUESTRA N°: 2	
MASA TARA/ sss (g):	19.3	MASA TARA/ sss (g):	19.3
MASA SATURADA, Wsss + TARA (g):	2146	MASA SATURADA, Wsss + TARA (g):	2138
MASA SATURADA, Wsss (g):	2126.7	MASA SATURADA, Wsss (g):	2118.7
MASA TARA SUMERGIDA (g):	849	MASA TARA SUMERGIDA (g):	849
MASA SUMERGIDA, Wsum + TARA SUM (g):	2147	MASA SUMERGIDA, Wsum + TARA SUM (g):	2142
MASA SUMERGIDA NETA, Wsum (g):	1298	MASA SUMERGIDA NETA, Wsum (g):	1293
MASA TARA/ seca (g):	225.7	MASA TARA/ seca (g):	226.3
MASA SECA, Wseca + TARA (g):	2319	MASA SECA, Wseca + TARA (g):	2308
MASA SECA, Wseca (g):	2093.3	MASA SECA, Wseca (g):	2081.7
AGUA (g):	33.4	AGUA (g):	37
ABSORCIÓN (%)	1.60	ABSORCIÓN (%)	1.78
GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA:	2.53	GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA:	2.52
GRAVEDAD ESPECÍFICA SSS:	2.57	GRAVEDAD ESPECÍFICA SSS:	2.57
GRAVEDAD ESPECIFICA SECA PROMEDIO	2.52	GRAVEDAD ESPECIFICA SSS PROMEDIO	2.57
ABSORCIÓN PROMEDIO (%)		1.69	
FORMULAS			
Agua: $W_{sss}(g) - W_{seco}(g)$		g	
Absorción: $[W_{sss}(g) - W_{seca}(g) \times 100 / W_{seca}(g)]$		%	
G. E. Seca: $W_{seca}(g) / [W_{sss}(g) - W_{sum}(g)]$			
G.E. SSS: $W_{sss}(g) / [W_{sss}(g) - W_{sum}(g)]$			

3.5.3 PESO UNITARIO AGREGADO GRUESO



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto

Laboratorio de Investigaciones ISCYC

*Urb. Madre Selva, 3ra etapa Av. El Espino y Boulevard Sur, Antiguo
Cuscatlán, La Libertad, Tel 2505 - 0162 y 2505 - 0163 Fax: 2505 - 0164*

PESO UNITARIO ASTM C - 29			
PROYECTO:	TRAMO DE PRUEBA PAVIMENTO DE CONCRETO PERMEABLE		
MUESTRA:	GRAVA 3/8"	N°8	
UBICACIÓN:	PLANTA HOLCIM - CHANMICO		
F. DE MUESTREO:	01/03/2011		
F. DE ENSAYO:	28/03/2011		
LABORATORISTAS	Alí García, Marlon V. Sánchez		
REVISO:	Téc. Julio Hernández		
OBSERVACIONES:	_____		
HOJA DE LABORATORIO			
SUELTO		VARILLADO	
A MASA RECIPIENTE VACÍO (kg)	1.727	A MASA RECIPIENTE VACÍO (kg)	1.727
B VOLUMEN RECIPIENTE (m ³)	0.00284	B VOLUMEN RECIPIENTE (m ³)	0.00284
MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #1:	5.694	MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #1:	5.970
MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #2:	5.713	MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #2:	5.965
MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #3:	5.7	MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #3:	5.967
C MASA AGREGADO (kg) PROMEDIO:	3.975	C MASA AGREGADO (kg) PROMEDIO:	4.240
PESO UNITARIO (kg/m ³)	1399.8	PESO UNITARIO (kg/m ³)	1493.1
FORMULAS: C Masa Agregado Promedio: [MASA AGREGADO + RECIPIENTE (kg) PROMEDIO] - A = kg Peso Unitario: (C / B) = kg/m³			
CALIBRACIÓN DEL RECIPIENTE (cada año)			
A MASA RECIPIENTE VACÍO (kg):		TEMPERATURA DEL AGUA (°C):	
D MASA VIDRIO (kg):		F MASA DEL AGUA (kg)	
E MASA RECIPIENTE+VIDRIO+AGUA (kg):		G DENSIDAD DEL AGUA, -VER NORMA- (kg/m ³):	
F MASA DEL AGUA = (E - A - D) =			kg
VOLUMEN DEL RECIPIENTE = F / G =			m ³

3.5.4 GRANULOMETRÍA DE AGREGADO GRUESO



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Laboratorio de Investigaciones ISCYC

*Urb. Madre Selva, 3ra etapa Av. El Espino y Boulevard Sur, Antiguo
 Cuscatlán, La Libertad, Tel 2505 - 0162 y 2505 - 0163 Fax: 2505 - 0164*

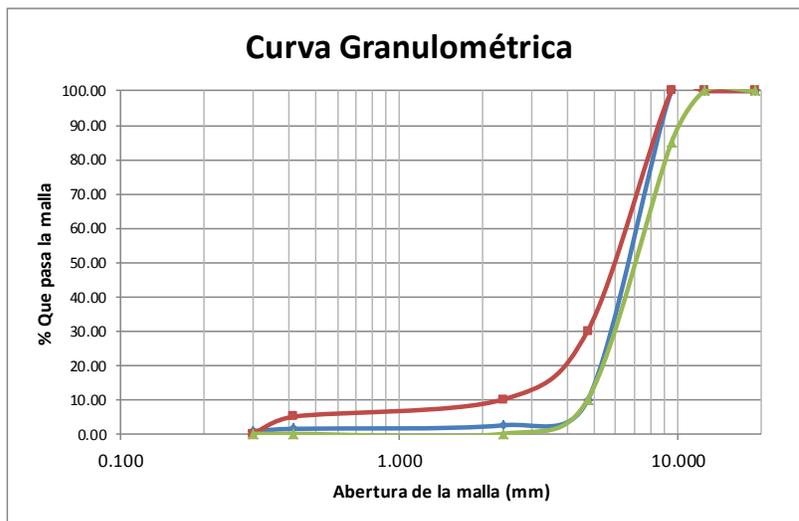
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
ASTM C - 136

PROYECTO: TRAMO DE PRUEBA PAVIMENTO DE CONCRETO PERMEABLE
 MUESTRA: GRAVA 3/8" N° 8
 UBICACIÓN: PLANTA HOLCIM - CHANMICO
 F. DE MUESTREO: 01/03/2011
 F. DE ENSAYO: 28/03/2011
 LABORATORISTAS: Víctor Ramírez, Marlon V. Sánchez
 REVISO: Téc. Julio Hernández
 OBSERVACIONES: _____

HOJA DE LABORATORIO

MASA TARA, g = _____ MASA TARA + MUESTRA, g = _____ MASA MUESTRA, g = 1345

MALLA	M. RETENIDO PARCIAL (g)	MASA RETENIDA (%)	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA LA MALLA (%)	OBSERVACIONES (Según ASTM C-33, N° 8)
1/2"	0	0.00	0.00	100	100
3/8"	0	0.00	0.00	100.00	85-100
N° 4	1214.2	90.22	90.22	9.78	10-30
N° 8	98.3	7.30	97.53	2.47	0-10
N° 16	13.8	1.03	98.55	1.45	0-5
N° 50	8.5	0.63	99.18	0.82	
FONDO	11	0.82	100.00	0.00	
SUMAS	1345.8	100			



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

Pervious Concrete Mixture Requirements		
Required User Input	Optional User Input	Calculated Values
Company Name	Laboratorio de Investigaciones ISCYC	
Mix ID	1-8-SA	
Mixture Developed by	Marlon Ebiezer Vigil Sánchez	
Date(s)	31/03/2011	
Aggregate Characteristics		
	Coarse Aggregate	Sand
Description	Chanmico	
Aggregate Specific Gravity (SSD)	2.57	
Aggregate Absorption, %	1.7%	
HELP Percent Sand		
HELP Dry-Rodded Density (Unit Weight), lb/ft ³	93.2	
Aggregate Void Content, %		40.8%

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

FIGURA 3.7 – Datos Generales y Características del Agregado

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

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

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

El programa trabaja con unidades del sistema inglés.

Datos de Entrada:

Gravedad Específica: 2.57

Absorción: 1.69%

Peso Unitario: 1493.1 kg/m³ ≈ 93.2 lb/pie³

Cement Characteristics		
	Portland cement	SCM
Description	Holcim CessaPav	
Specific Gravity	2.95	
SCM % of cementitious		
Admixtures		
	Type/Source	Dosage
Admixture1 (fl. oz./cwt)	Megaflo	15.34
Admixture2 (fl. oz./cwt)	Visctrol	12.35
Admixture3 (fl.oz./cwt)		
Mixture Requirements		
Design Void Content, %	20%	
Water-to-Cementitious Ratio	0.27	
Compaction Index, %	5%	
Recommended Paste Volume, %	25.8%	
User Selected Paste Volume, %		
Paste volume, ft ³ /yd ³	6.96	

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

FIGURA 3.8 – Campos de Entrada para las características del Cemento/ Aditivos / Requisitos de la Mezcla

La figura 3.8 muestra el valor de la gravedad específica del cemento. Se introdujo la cantidad de aditivo (onzas fluidas por 100 libras de cemento)

Para los requisitos de la mezcla se necesita lo siguiente:

Contenido de Vacíos de Diseño: 20%

Relación Agua/Cemento: 0.27

Índice de Compactación: 5%

 Pervious Concrete Mixture Proportions			
Required User Input		Calculated Values	
Optional User Input			
Mixture Proportions - for 1 cubic yard			
Mixture Component	Weight, lb	Volume (ft ³)	Volume (%)
Cement	714	3.88	14.4%
SCM	0		
Coarse Aggregate, SSD	2347	14.64	54.2%
Sand, SSD	0		
Water	193	3.09	11.4%
Megaflow, fl.oz.	109.5		
Visctrol, fl.oz.	88.1		
Design Void Content, %		5.40	20.0%
Total weight, lbs	3253		
Total volume, ft ³		27.00	
Design Density, lb/ft ³		120.5	
Theoretical density (void free), lb/ft ³		150.6	

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

FIGURA 3.9 – Valores calculados para una yarda cúbica de concreto permeable.

Batch Quantities			
	Cu. Feet		Cu. Yards
Batch Size	0.3		1.31
Coarse agg. total moisture, %	0.5%		
Sand total moisture, %			
Mixture Ingredient	Lab		Production
Cement	9.0 lb		934.8 lb
SCM	0.0 lb		0.0 lb
Wet Coarse aggregate	29.2 lb		3023.3 lb
Wet Sand	0.0 lb		0.0 lb
Batch Water	2.8 lb		303.8 lb
			36.5 gal
RELIN Added extra water			
Megaflow	40.8 mL		143.4 fl.oz
Visctrol	32.8 mL		115.5 fl.oz
			fl.oz
RELIN Measured Density, lb/cu.ft			
Calculated Voids, %			

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

FIGURA 3.10 – Cantidades de material para batchadas de molde de especímenes.

Posterior a los resultados que ofrece el software, se hace una valoración y se procede a hacer un ajuste en las cantidades de material. A continuación se expone la cantidad ajustada de material para producir un metro cúbico de concreto permeable:

MATERIAL	CANTIDAD
Cemento ASTM C1157 HE	330 kg
Grava N° 8 (3/8")	1450 kg
Agua	89.1 litros
Aditivo MEGAFLOW	3.3 litros
Aditivo VISCTROL	2.6 litros

Resultados obtenidos de la mezcla de diseño:

Propiedad	Valor obtenido
Relación a/mc	0.27
Peso Unitario	1856 kg/m³
Contenido de vacíos	20 %
Permeabilidad (7 días)	0.72 cm/s
Módulo de Ruptura (28 días)	24 kg/cm²



(A)



(B)

Fuente: Fotografías tomadas en el Laboratorio del Centro de Investigaciones del ISCYC, Marzo 2011.

FIGURA 3.11 – (A) Muestra de mezcla de concreto permeable elaborada en laboratorio según ASTM C94. (B) Mezcla vertida sobre carretilla para luego elaborar especímenes de ensayo.



(A)



(B)

Fuente: Fotografías tomadas en el Laboratorio del Centro de Investigaciones del ISCYC, Marzo 2011.

FIGURA 3.12 – (A) Ensayo al Concreto Permeable en Estado Fresco, “Peso Unitario y Contenido de Vacíos” conforme a la Norma ASTM C1688. (B) Peso del recipiente más el volumen de concreto permeable para luego registrar su valor y calcular el peso volumétrico y contenido de vacíos.

3.5.5 ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES

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

Previo a la elaboración de los especímenes se realizará el Ensayo ASTM C 1688-10 – “Método de Ensayo Estándar para la Determinación del Contenido de Vacíos y Densidad de la Mezcla de Concreto Permeable en Estado Fresco” (Ver Fotografía N° 8); así verificaremos los valores del diseño de mezcla. No es aplicable la Norma ASTM C 231-09 – “Método Estándar de Ensayo para Contenido de Aire en una Mezcla de Concreto Fresco por el Método de Presión”.

3.5.4.1 ESPECIMENES CILÍNDRICOS

Para moldear los especímenes de prueba se utilizaron moldes de 4” x 8”, dichos moldes cumplen con la Normativa ASTM C 470 “Especificación Estándar de moldes para encofrado vertical de cilindros de concreto”

Se buscará un sitio plano y nivelado, moldear los especímenes tan cerca como sea practicable al sitio donde ellos están siendo almacenados durante las primeras 24 horas.

Si no es practicable el moldeo de los especímenes donde serán almacenados, moverlos al sitio de almacenamiento inmediatamente después de haber sido enrasados. Colocar los moldes en una superficie rígida libre de perturbaciones.

Se utilizará un cucharón para depositar la muestra de concreto en el molde (el cucharón debe ser acorde a la medida del diámetro del cilindro esto con el objeto de no desparramar la mezcla al suelo y así evitar desperdicios) se coloca más arriba de la mitad del molde, es decir más de 4"; luego se compacta 5 veces con el martillo de Próctor Estándar (según AASHTO T 99) cuyo peso es de 2.5 kg. Se moldeará en dos capas, siendo enrasada la segunda capa.

En el curado inicial para prevenir la evaporación del agua en el concreto, cubrir los especímenes luego del enrasado, preferiblemente con una capa plástica o algún material no absorbente ni reactivo.



Fuente: Fotografías tomadas en el Laboratorio del Centro de Investigaciones del ISCYC, Marzo 2011.

FIGURA 3.13 – Cilindros Moldeados de Concreto Permeable (4" x 8")

3.5.4.2 ESPECIMENES PRISMÁTICOS

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

Luego que la mezcla de concreto permeable haya sido muestreada para la elaboración de los especímenes, se coloca el concreto dentro del molde usando un cucharón o una pala, llegando a un nivel que sobrepase la mitad de la profundidad del molde. En correspondencia con el número de golpes (5 golpes) para el área del diámetro de un cilindro de 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.

Dimensiones del Molde para Vigas Rectangulares

Profundidad: 15 cm Ancho: 15 cm Largo: 60 cm

Área superficial: $15 \times 60 = 900 \text{ cm}^2$

N° de Golpes por capa

$900 / 78.5 = 11.5$ ciclos de 5 golpes, es decir $11.5 \times 5 = 57.5 \approx 58$ golpes por capa

Siempre se realizará la compactación con el martillo de Próctor según AASHTO T 99, cuyo peso es de 2.5 kg (5.5 lb).



Fuente: Fotografías tomadas en el Laboratorio del Centro de Investigaciones del ISCYC, Marzo 2011.

FIGURA 3.14 – Moldeo de Espécimen Prismático Viga de Concreto Permeable



Fuente: Fotografías tomadas en el Laboratorio del Centro de Investigaciones del ISCYC, Marzo 2011.

FIGURA 3.15 – Espécimen Prismático de Concreto Permeable

3.6 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA DE LOS ESPECIMENES ELABORADOS

3.6.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Se ensayaron los especímenes cilíndricos conforme la Norma ASTM C 39-05 – “Método de Ensayo Estándar para Esfuerzo de Compresión en Especímenes Cilíndricos de Concreto”.

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

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

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

Adheridas en la Determinación del Esfuerzo de Compresión de Cilindros de Concreto Endurecido”.

Se procede como lo describe la Norma ASTM C 39-05, tomando el valor de carga máxima en la que falla el espécimen a la compresión. Se presentan los datos y resultados obtenidos para este ensayo en el formato.



(A)



(B)



(C)



(D)

Fuente: Fotografías tomadas en el Laboratorio del Centro de Investigaciones del ISCYC, Marzo 2011.

FIGURA 3.16 – (A) Colocación de almohadillas de neopreno a espécimen de concreto permeable. (B) ajuste de espécimen de concreto permeable en la máquina de ensayo a la compresión. (C) Ensayo de resistencia a la compresión. (D) Especímenes ensayados, observamos la falla típica en estos especímenes



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto Laboratorio de Investigaciones ISCYC

Urb. Madre Selva, 3^{ra} Etapa Av. El Espino y Boulevard Sur, Antiguo
Cuscatlan La Libertad Tel. 2505-0162 y 2505-0163 Fax. 2505-0164

RESISTENCIA A LA COMPRESION ASTM C-39													
PROYECTO :		<u>Tramo Experimental UES - Parqueo Pavimento de Concreto Permeable</u>											
UBICACION :		<u>Universidad de El Salvador - Campus Central</u>											
ESTACIONAMIENTO :		-----											
LABORATORISTAS :		<u>V.R., D.G.</u>											
REVISO :		<u>Julio Hernández</u>											
TIPO DE CURADO :		<u>Tanque de agua</u>											
TIPO DE MUESTRA :		<u>Concreto Permeable</u>											
OBSERVACIONES :		<u>Cilindros moldeados 4" x 8" ensayados conforme C-39</u>											
CILINDRO No.	FECHA elaboración	FECHA Ruptura	EDAD (días)	REV. (cm)	DIAM (cm)	ALT (cm)	AREA (cm ²)	PESO (g)	PES-VOL (kg/m ³)	CARGA (kg)	RESIST (kg/cm ²)	TIPO DE FALLA	
1	31/3/11	7/4/11	7	0	10.0	20.3	78.5	2873.00	1801.98	5730.00	72.96	---	
2	31/3/11	7/4/11	7	0	10.0	20.3	78.5	2846.00	1785.04	6000.00	76.39	---	
3	31/3/11	7/4/11	7	0	10.0	20.4	78.5	2829.00	1765.68	5340.00	67.99	---	
Prom.											72.45	(kg/cm²)	
4	31/3/11	14/4/11	14	0	10.0	20.4	78.5	2947.00	1839.33	7330.00	93.33	---	
5	31/3/11	14/4/11	14	0	10.0	20.4	78.5	2927.00	1826.85	6910.00	87.98	---	
6	31/3/11	14/4/11	14	0	10.0	20.4	78.5	2894.00	1806.25	7260.00	92.44	---	
Prom.											91.25	(kg/cm²)	
7	31/3/11	28/4/11	28	0	10.0	20.3	78.5	2907.00	1823.30	8600.00	109.50	---	
8	31/3/11	28/4/11	28	0	10.0	20.4	78.5	2918.00	1821.23	7900.00	100.59	---	
9	31/3/11	28/4/11	28	0	10.0	20.4	78.5	2964.00	1849.94	8002.00	101.88	---	
Prom.											103.99	(kg/cm²)	
Tipo de Falla:		Conica	Conica y Cortante	Cortante	Conica y Partida	Columnar							
													
Nomenclatura:		CN	CNCR	CR	CNPA	COL							
FORMULAS:													
		Peso Volumétrico: $\text{Peso (g)} / \text{Alt (cm)} \times \text{Area (cm}^2) \times 1000 =$						kg / m³					
		Resistencia a la Compresión: $\text{Carga (kg)} / \text{Area (cm}^2) =$						kg / cm²					
		1 MPa= 9.81 kg/cm²											

3.6.2 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

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

Se obtiene la masa de cada viga colocándolos en una balanza con precisión 10 g. Se coloca la viga en el conjunto donde se realizará el ensayo, cuidando de cumplir con lo que la Norma ASTM C78 establece, luego se aplica la carga hasta que el prisma falle. Se registra el valor obtenido de la carga máxima. Luego se mide el ancho y profundidad de la viga en la zona de falla; con los datos obtenidos se calcula el Módulo de Ruptura. Se presentan los datos y resultados obtenidos para este ensayo en el formato.



Fuente: Fotografías tomadas en el Laboratorio del Centro de Investigaciones del ISCYC, Marzo 2011.

FIGURA 3.17 – Ensayo a la Flexión de Vigas de Concreto Permeable

Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto



Laboratorio de Investigaciones ISCYC

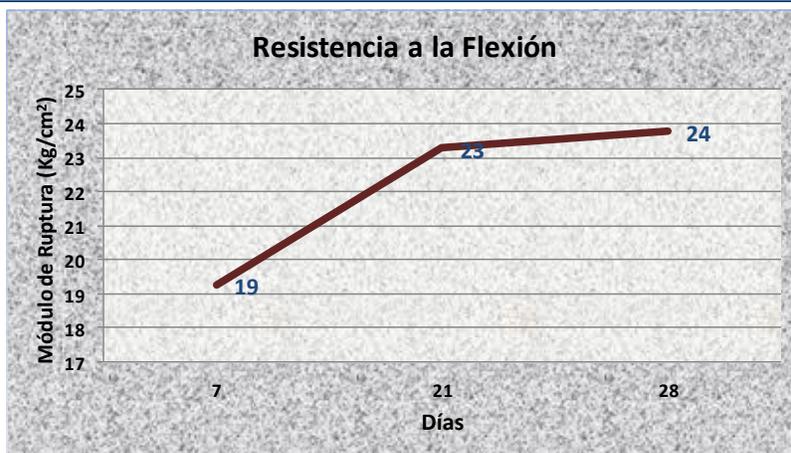
"Diseño, Proceso Constructivo y Evaluación Post Construcción de un Pavimento Rígido de Concreto Permeable"

**ESFUERZO DE FLEXION EN CONCRETO
(USANDO VIGA SIMPLE CON CARGA AL TERCIO)
ASTM C-78**



SOLICITANTE: Marlon Ebiezer Vigil Sánchez
 PROYECTO: TRAMO EXPERIMENTAL UES - PAVIMENTO DE CONCRETO PERMEABLE
 TIPO DE ESPECIMEN: Viga 15 x 15 x 60 cm
 TIPO DE MATERIAL: CONCRETO PERMEABLE - Agregado 3/8"
 FECHA DE ENSAYO: 13 DE ABRIL DE 2011
 LABORATORISTAS: Víctor Samuel - Julio Hernández
 REVISO: Julio Hernández
 TIPO DE CURADO: Vigas inundadas en piscina de curado
 OBSERVACIONES: Vigas de concreto permeable ensayadas con la norma que rige la de concreto convencional

VIGA N°	FECHA COLADO	FECHA RUPTURA	MASA (g)	EDAD (días)	REVENIMIENTO (cm)	CLARO (L) (cm)	ANCHO (b) (cm)	PROFUNDIDAD (d) (cm)	CARGA (P) (kg)	MR (kg/cm ²)
1	06/04/2012	13/04/2012	25350	7	0	46	15	15	1410	19.22
2	06/04/2012	13/04/2012	25850	7	0	46	15	15	1430	19.49
3	06/04/2012	13/04/2012	25950	7	0	46	15	15	1400	19.08
PROMEDIO										19
4	11/04/2011	02/05/2011	27500	21	0	46	15.3	15.3	1910	24.53
5	11/04/2011	02/05/2011	26625	21	0	46	15.2	15	1780	23.94
6	11/04/2011	02/05/2011	26625	21	0	46	15.1	15.3	1640	21.34
PROMEDIO										23
7	05/04/2011	03/05/2011	26200	28	0	46	15.2	15.2	1780	23.32
8	05/04/2011	03/05/2011	26200	28	0	46	15.1	15.1	1780	23.78
9	05/04/2011	03/05/2011	26325	28	0	46	15.1	15.1	1810	24.18
PROMEDIO										24



3.6.3 MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

Se hizo el ensayo de Módulo de Elasticidad Estático en especímenes cilíndricos de 15 x 30 cm, a la edad de 28 días. Se hace referencia a la Norma ASTM C469 “Método de Ensayo Estándar para la Determinación del Módulo de Elasticidad Estático del Concreto a Compresión”.

En general, se estima que éste módulo será bajo comparado con el del concreto normal.

Los resultados se presentan en el formato correspondiente a dicho ensayo.



Fuente: Fotografías tomadas en el Laboratorio del Centro de Investigaciones del ISCYC, Marzo 2011.

FIGURA 3.18 – Colocación del anillo compresómetro – extensómetro para el Ensayo de Módulo de Elasticidad Estático.



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Laboratorio de Investigaciones ISCYC

Módulo de Elasticidad Estático y Relación de Poisson del Concreto a Compresión						
ASTM C - 469						
SOLICITANTE : Marlon Ebiezer Vigil Sánchez						
PROYECTO : Tramo Experimental UES - Estacionamiento Pavimento Concreto Permeable						
FECHA DE ENSAYO : 9 de Mayo 2011						
ELABORO : J.H., V.R.						
REVISO : Julio Hernández						
Observación : Muestreo y edad controlado por Solicitante						
Datos de los cilindros - MR = 24 kg/cm ² , Bachada de Prueba						
Cilindro No. : 2		EDAD : 28 Días				
Diámetro (cm) : 15		Area cm ² : 176.7		(Datos de cilindro compañero 1)		
Carga Máxima del compañero :		14880		kg		
40 % de la Carga Máxima del compañero :		5952		kg		
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">CARACTERISTICAS DEL COMPRESOMETRO</div>						
Altura efectiva del compresómetro (pulg) :		8		Precisión (pulg) : 0.0001		
Deformación Unitaria para (0.0001 pulg) :		1.25E-05				
Cilindro No	Esfuerzo del compañero (kg/cm ²)	Esfuerzo del 40% (kg/cm ²) S ₂	Esfuerzo de la defor. 5x10 ⁻⁵ (kg/cm ²) S ₁	Deformación Uni. Long. Por S ₂ ϵ_2	Módulo de Elasticidad (PSI) E	Módulo de Elasticidad (kg/cm ²) E
1	84	34	8	0.00016875	3.1E+06	2.2E+05
$E = (S_2 - S_1) / (\epsilon_2 - 0.000050)$						

3.6.4 DESGASTE EN MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

Se experimentó el desgaste por impacto en la máquina de Los Ángeles, se moldearon 3 cilindros de concreto permeable en moldes metálicos de 4" x 8", posteriormente se sumergieron en una piscina de curado durante 27 días posterior a su moldeado.

El día 28 de haber sido elaborados se procedió a decantarlos después de haber sido extraídos de la piscina de curado. Se dejó transcurrir suficiente tiempo para drenara el agua de los especímenes.

Se perfilaron por la mitad los tres especímenes mediante una máquina con disco de corte. Se midieron la masa de los especímenes ya perfilados y luego colocaron el espécimen N°1 (dos mitades, es decir 2 de 4" x 4") en la Máquina de Los Ángeles y luego se le proporcionaron 300 revoluciones a la Máquina. Se hizo de la misma forma para los especímenes 2 y 3. Luego de completar las revoluciones, se procede a medir la masa del espécimen ensayado y por diferencia de masa se obtiene el porcentaje de desgaste.



(A)

(B)

(C)

Fuente: Fotografías tomadas en el Laboratorio del Centro de Investigaciones del ISCYC, Mayo 2011.

FIGURA 3.19 – (A) Especímenes perfilados para el ensayo, (B) Especímenes colocados en la máquina de desgaste mediante la Máquina de los Ángeles, (C) Especímenes ensayados entre sí a 300 Revoluciones.



**INSTITUTO SALVADOREÑO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO
LABORATORIO DE INVESTIGACIONES ISCYC**

RESISTENCIA AL DESGASTE DEL CONCRETO PERMEABLE POR ABRASION E IMPACTO EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES				
SOLICITANTE:		Marlon Ebiezer Vigil Sánchez		
PROYECTO:		Tramo Experimental UES - Pavimento Concreto Permeable		
MATERIAL:		Concreto Permeable		
FECHA DE ENSAYO:		1 de Junio de 2011		
LABORATORISTAS:		V.R.		
SUPERVISO:				
Revoluciones:		300		
Observaciones:		Se muestrearon 3 cilindros de 4" x 8", luego se perfilaron mecánicamente por la mitad Se ensayaron a 28 días de elaborados los especímenes		
MUESTRA No.	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AG.	MASA INICIAL (g)	MASA FINAL (g)	DESGASTE (%)
1	3/8"	2816	1886	33.03
2		2923	2061	29.49
3		2862	2073	27.57
PROMEDIO				30.03
% Desgaste = $\frac{\text{MASA INI.} - \text{MASA FIN.}}{\text{MASA INICIAL}} \times 100$				

3.7 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL CONCRETO PERMEABLE

Para conocer los datos de las propiedades hidráulicas del diseño de mezcla expuesto anteriormente, se realizaron dos ensayos específicos: Peso Unitario y Permeabilidad

3.7.1 PESO UNITARIO Y CONTENIDO DE VACÍOS

La norma que rige este ensayo está bajo la designación ASTM C1688, “Método de Ensayo Estándar para la Determinación de la Densidad y Contenido de Vacíos de la Mezcla de Concreto Permeable en Estado Fresco”. Se utiliza un recipiente de 7 litros conforme lo expone la Norma ASTM C231, un martillo de Próctor, cucharón y balanza.

Se coloca la muestra de concreto permeable en dos capas en el recipiente y en cada capa se aplica 20 caídas del martillo de Próctor; luego de haber compactado y enrasado el concreto en el recipiente, se coloca en la balanza y se registra el valor de la masa obtenido. Ver figura 3.12

En el formato se muestran los datos obtenidos.



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Laboratorio de Investigaciones ISCYC

*Urb. Madre Selva, 3ra etapa Av. El Espino y Boulevard Sur, Antiguo
 Cuscatlán, La Libertad, Tel 2505 - 0162 y 2505 - 0163 Fax: 2505 - 0164*

**MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD Y
 CONTENIDO DE VACÍOS DE LA MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO FRESCO
 ASTM C1688/C1688M**

PROYECTO:	TESIS UES - PAVIMENTO DE CONCRETO PERMEABLE
FECHA:	13 de Abril de 2011
TMNA:	3/8"
% VACÍOS DE DISEÑO:	20.00
PESO UNITARIO DE DISEÑO:	1800.00
OPERADOR:	Marlon E. V. Sánchez
OBSERVACIONES:	Ensayo realizado de bachada para moldeo de especímenes

PESO UNITARIO DEL CONCRETO PERMEABLE (D)		
MASA RECIPIENTE VACÍO (kg)	M_m	2.427
VOLUMEN RECIPIENTE (m ³)	V_m	0.007077
MASA RECIPIENTE + CONCRETO(kg)	M_c	15.565
MASA DEL CONCRETO (kg)		13.138
PESO UNITARIO (kg/m³)		1856.4

CONTENIDO DE VACÍOS (U)	
PESO UNITARIO TEÓRICO (T)	2379.28
PESO UNITARIO OBTENIDO (D)	1856.44
% VACÍOS	21.97

PESO UNITARIO TEÓRICO: 2379.28 kg/m³

VARIACIÓN

PESO UNITARIO 56.44 kg/m³
 % VACÍOS -1.97 %

PESO UNITARIO TEÓRICO (T)			
MATERIAL	DENSIDAD	MASA (kg)	VOL. (m ³)
		M_s	V_s
GRAVA	2.57	49.3	0.02
ARENA			
CEMENTO	2.95	12.9	0.00
AGUA	1	4.37	0.00
ADITIVO	1.2	0.129	0.00
OTROS			
TOTALES		66.699	0.03
PESO UNITARIO TEÓRICO		2379.28 kg/m³	

FÓRMULAS

PESO UNITARIO TEÓRICO: $T = \frac{M_s}{V_s}$

PESO UNITARIO: $D = \frac{M_c - M_m}{V_m}$

CONTENIDO DE VACÍOS: $U = \frac{T - D}{T} \times 100\%$

3.7.2 PERMEABILIDAD

No existe normativa para evaluar este parámetro, sin embargo en el comité ACI 522 hace mención de un aparato para calcular este valor, y describe un permeámetro de carga variable. Para lo cual se moldearon 3 cilindros de altura de 15 cm y 10 cm de diámetro.

Se calculó el tiempo que tarda en tener una carga de agua de 29 cm a 7 cm sobre la superficie de la probeta ensayada. Las unidades de la tasa de permeabilidad son mm/s.



(A)



(B)

Fuente: Fotografías tomadas en el Laboratorio del Centro de Investigaciones del ISCYC, Mayo 2011.

FIGURA 3.20 – (A) Especimen de concreto permeable a ensayarse, (B) Permeámetro de carga variable elaborado en el CI – ISCYC.



Fuente: Fotografías tomadas en el Laboratorio del Centro de Investigaciones del ISCYC, Mayo 2011.

FIGURA 3.21 – Ensayo de Permeabilidad en laboratorio del Concreto Permeable



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Laboratorio de Investigaciones ISCYC

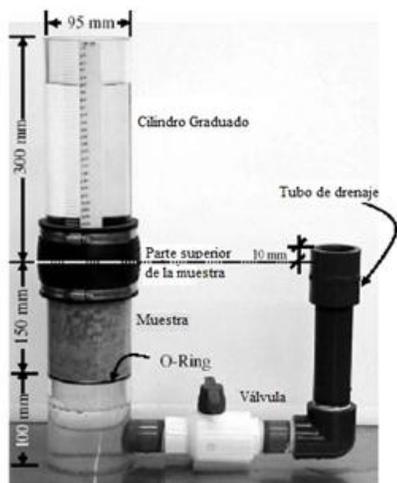
*Urb. Madre Selva, 3ra etapa Av. El Espino y Boulevard Sur, Antiguo
 Cuscatlán, La Libertad, Tel 2505 - 0162 y 2505 - 0163 Fax: 2505 - 0164*

ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE CARGA VARIABLE

PROYECTO: Tesis UES - Pavimento de Concreto Permeable
 % DE VACÍOS DE DISEÑO: 20%
 TASA DE PERM. DE DISEÑO: -----
 FECHA DE ENSAYO: 31 Mayo de 2011
 OPERADOR: V.R., D.G., R.P.
 OBSERVACIONES: Permeámetro de carga variable, con tubería de PVC, espécimen moldeado dentro del tubo

ESPECIMEN N°	ENSAYO N°	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Carga (cm)	Tiempo (s)	Promedio Tiempo (s)	Permeabilidad mm/s
1	1	15.00	10.00	22.00	11.92	11.63	16.51
	2	15.00	10.00	22.00	11.63		
	3	15.00	10.00	22.00	11.34		
2	1	15.00	10.00	22.00	12.06	12.25	15.67
	2	15.00	10.00	22.00	12.94		
	3	15.00	10.00	22.00	12.44		
3	1	15.00	10.00	22.00	12.22	12.32	15.58
	2	15.00	10.00	22.00	12.09		
	3	15.00	10.00	22.00	12.42		

PROMEDIO 15.92 mm/s



Fórmula:

$$K=A/t$$

Dónde:

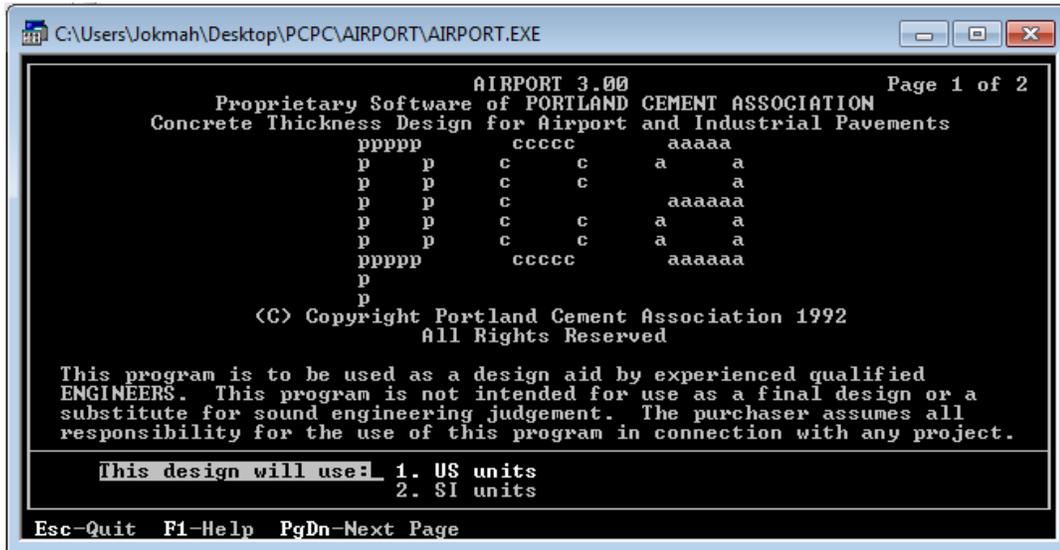
- K** = Permeabilidad [mm/s]
- A** = 192 mm (constante)
- T** = Tiempo (s)

3.8 DISEÑO ESTRUCTURAL DEL TRAMO DE PRUEBA

El método para diseñar es el propuesto por la Portland Cement Association (PCA) para pavimentos rígidos. Se hizo recurso del Software AIRPORT 3.00, Software propiedad de la Asociación del Cemento Portland (PCA, por sus siglas en inglés). Este programa es para el diseño de espesores de concreto en pavimentos para Aeropuertos y Pisos Industriales, ya que las condiciones de un estacionamiento son similares a éstos en el hecho que el sentido de las llantas no es bidireccional sino multidireccional.

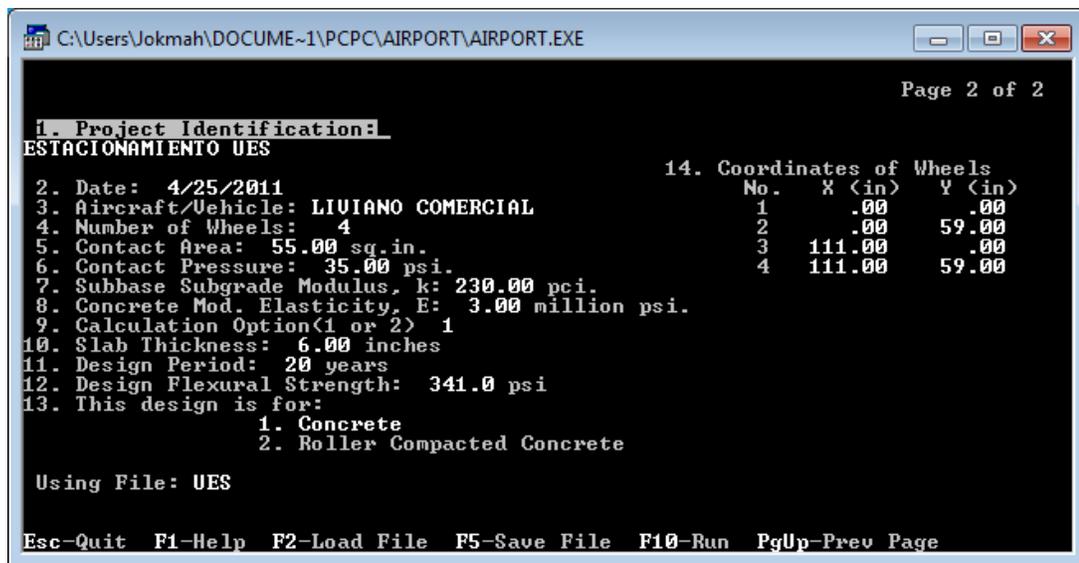
El programa permite hacer iteraciones de espesores para los parámetros ya obtenidos, como lo son:

- Número de llantas
- Área de contacto (de la llanta)
- Presión de contacto de llanta
- Módulo de Reacción K de la sub base y subrasante
- Módulo de Elasticidad del Concreto (Estático)
- Esfuerzo a la flexión (Módulo de Ruptura)
- Período de Diseño



Fuente: Captura de pantalla del software AIRPORT.EXE, desarrollado por la Portland Cement Association (PCA).

FIGURA 3.22 – Selección del Sistema de Unidades con el que trabajaremos.



Fuente: Captura de pantalla del software AIRPORT.EXE, desarrollado por la Portland Cement Association (PCA).

FIGURA 3.23 – Pantalla de introducción de parámetros obtenidos para el diseño de espesores

Las variables consideradas en el diseño estructural del pavimento son:

Vehículo de Diseño: Liviano Comercial

Número de llantas: 4

Coordenadas de las llantas		
N°	X	Y
1	0.00	0.00
2	0.00	59.00
3	111.00	0.00
4	111.00	59.00

Presión de Contacto: 35 psi

Área de Contacto: 55 in²

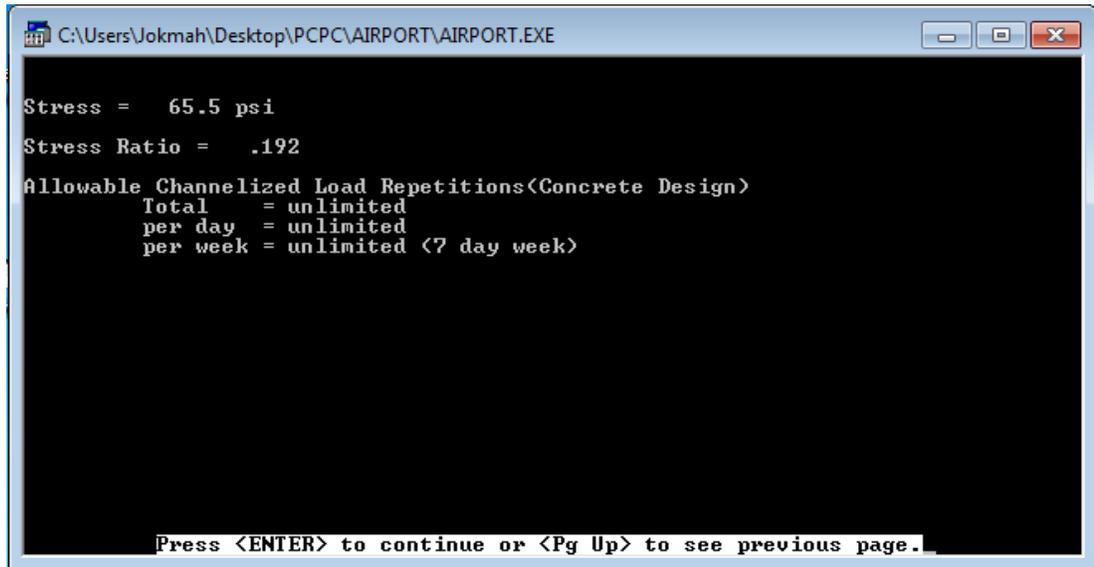
Período de Diseño: 20 años

Módulo de reacción k (compuesto): 230 pci

Esfuerzo de Flexión: 341 lb/in²

Módulo de Elasticidad del Concreto: 3 millones

Luego de iterar con diferentes espesores de concreto y valores de módulo de reacción “ k ” de la subrasante y la subbase se concluyó que para la estructura el espesor de Concreto Permeable es de 15 cm. Según la “Teoría de Minor” con los parámetros obtenidos de nuestro diseño (datos de entrada) las Repeticiones de Carga son Ilimitadas. A continuación se presenta la ventana de resultados.

A screenshot of a Windows command prompt window titled "C:\Users\Jokmah\Desktop\PCPC\AIRPORT\AIRPORT.EXE". The window has a black background with white text. The text displayed is: "Stress = 65.5 psi", "Stress Ratio = .192", and "Allowable Channelized Load Repetitions(Concrete Design)" followed by a list: "Total = unlimited", "per day = unlimited", and "per week = unlimited <7 day week>". At the bottom, it says "Press <ENTER> to continue or <Pg Up> to see previous page.".

```
C:\Users\Jokmah\Desktop\PCPC\AIRPORT\AIRPORT.EXE

Stress = 65.5 psi
Stress Ratio = .192
Allowable Channelized Load Repetitions(Concrete Design)
    Total = unlimited
    per day = unlimited
    per week = unlimited <7 day week>

Press <ENTER> to continue or <Pg Up> to see previous page.
```

Fuente: Captura de pantalla del software AIRPORT.EXE, desarrollado por la Portland Cement Association (PCA).

FIGURA 3.24 – Pantalla de resultados del Tramo de Prueba en el Programa AIRPORT.EXE

3.9 DISEÑO DE JUNTAS

Considerando El área total del área a pavimentar y la geometría del mismo, así como los criterios de diseño de distribución de juntas ACPA, se ha especificado la realización de juntas a cada 2.7 metros en ambos sentidos, por lo que la relación largo/ancho es de 1.

(Ver Plano 2/3)

3.10 DISEÑO HIDROLÓGICO DEL TRAMO DE PRUEBA

Por el historial de lluvias que hemos tenido en el país los últimos 13 años vemos que los eventos lluviosos han variado notablemente, y específicamente de los años 2009 al 2011 las precipitaciones han alcanzado récords.

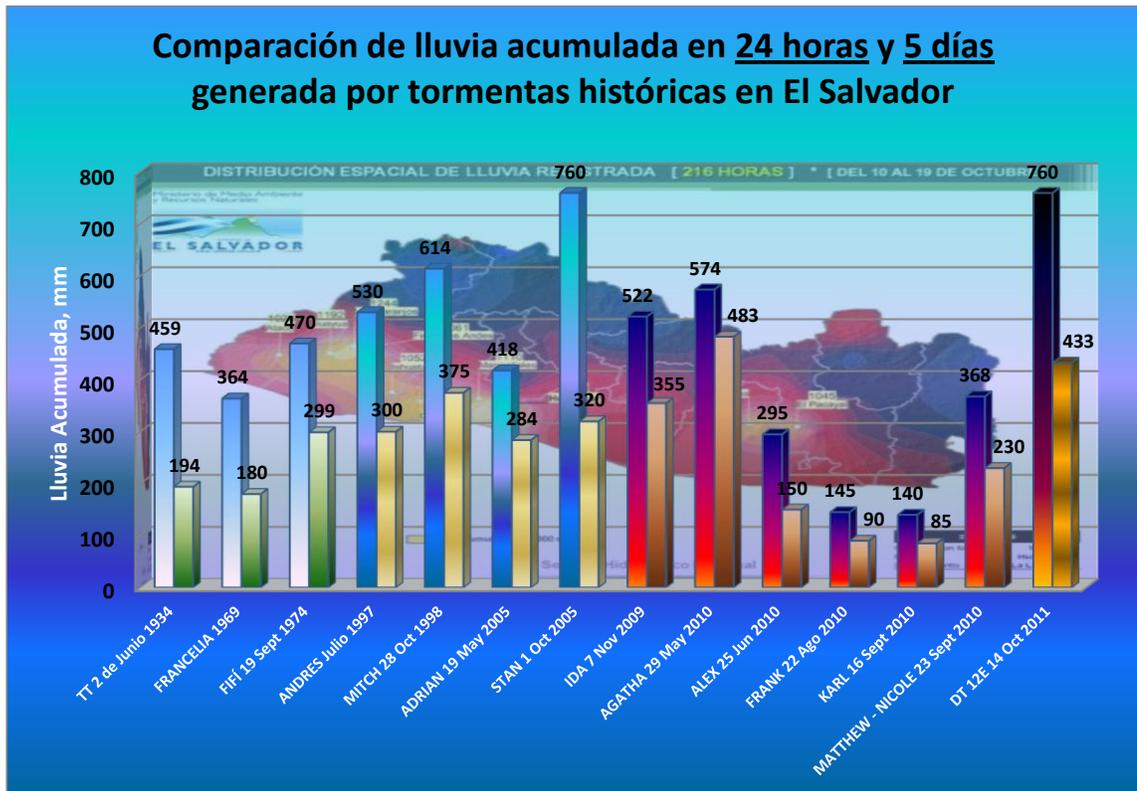


Fuente: Boletín Informativo Octubre 2011, Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET)

FIGURA 3.25 – Mapa Distribución de Lluvia Precipitada del Evento DT12E (10 – 19 de Octubre 2011)

El evento lluvioso más reciente y de mayor precipitación en nuestro país, ocurrió en los días 10 al 19 de Octubre de 2011, se registró 1470 mm de lluvia en la Estación Meteorológica de Huizúcar.

La infraestructura vial ha sido fuertemente impactada por estos fenómenos, generando desde baches hasta colapso de estructuras pavimentadas. Se presenta un gráfico comparativo de las lluvias que han afectado la red vial.



Fuente: Recopilación de Eventos Lluviosos Intensos, (SNET)

FIGURA 3. 26 – Comparación de lluvias que han afectado a la infraestructura vial en El Salvador

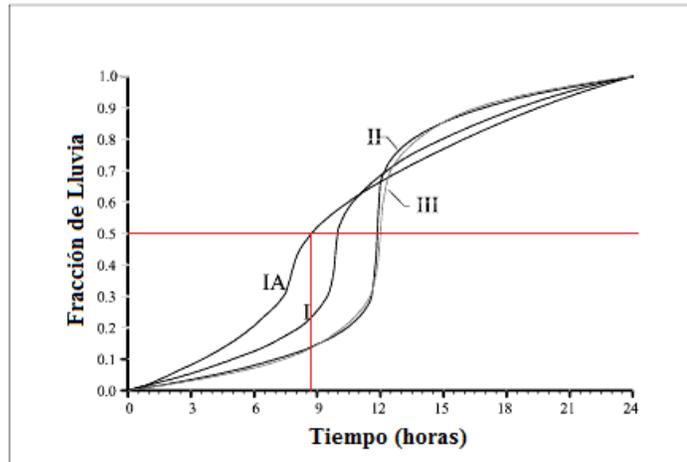
Para el Análisis Hidrológico se hizo empleo del Software desarrollado en conjunto por la PCA, NRMCA y ACPA (Pervious Concrete: Hydrological Analysis Program). Los datos de entrada son los siguientes:

PARÁMETRO	VALOR
Espesor Concreto Permeable:	15 cm (5.9")
Contenido de Vacíos de Diseño:	20%
Área de Concreto Permeable:	296 m ² (3186.12 pies ²)
Espesor de Sub Base de Grava:	20 cm (7.87")
Contenido de vacíos:	40%
Área de Sub Base de Grava:	296 m ² (3186.12 pies ²)
Tasa de Exfiltración del Suelo:	3 mm/hr (0.120 pulg/hr)
Superficie impermeable adyacente:	80 m ² (862 pies ²)
Superficie permeable adyacente:	135 m ² (1453 pies ²)
CN (Curva Número):	69
Tipo de Tormenta:	IA (según SCS)
Precipitación (24 horas):	433 mm (17")
Período de Retorno:	2 años
CN objetivo:	65

Para determinar el tipo de tormenta, se utilizó el gráfico que la SCS (Soil Conservation Service) ha elaborado para los distintos tipos de tormentas que ocurren en los Estados Unidos de América; la gráfica muestra las curvas respecto a la fracción de lluvia precipitada en el lapso de 24 horas.

La lluvia IA nos muestra que para la fracción de 0.5 (la mitad de la cantidad de lluvia precipitada) se logra antes de las 9 horas del evento lluvioso; es decir, antes de la mitad del tiempo que dura el evento lluvioso). En nuestro país, los eventos lluviosos por lo

general la mayor cantidad de lluvia precipitada ocurre antes de la mitad del tiempo en que transcurre el evento lluvioso.



Fuente: Soil Conservation Service, SCS

FIGURA 3.27 – Distribución de Tipos de Lluvia según SCS (Para 24 horas)

3.10.1 DESARROLLO DEL SOFTWARE

Analysis Start

Data Input Sheet

Data Input Sheet

Instructions: Press Tab to move from Cell to Cell

Project Details	
Project:	Tramo de Prueba - Parqueo FIA - UES
Designer:	Marlon Ebiezer Vigil Sánchez
Date Run:	11/24/2011

Fuente: Captura de pantalla del software Pervious Concrete Hydrological Analysis Program, desarrollado por la Portland Cement Association (PCA), American Concrete Pavement Association (ACPA) y la National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA).

FIGURA 3.28 – Introducción de los Detalles del Proyecto.

	Results
	Rainfall Info
	SCS Curve Numbers
	Help

Pervious concrete	
Thickness	<input type="text" value="6"/> in
Surface area	<input type="text" value="3,186"/> sq ft
Porosity	<input type="text" value="20"/> %
Gravel base	
Thickness	<input type="text" value="8"/> in
Porosity	<input type="text" value="40"/> %
Ponding limit	<input type="text" value="0"/> in
Exfiltration rate	<input type="text" value="0.120"/> in/hr
Impervious surface	
Surface area	<input type="text" value="862"/> sq ft
Off-site drainage	
Area	<input type="text" value="1,453"/> sq ft
CN	<input type="text" value="69"/>

 Click here for: SCS Curve Numbers

Fuente: Captura de pantalla del software Pervious Concrete Hydrological Analysis Program

FIGURA 3.29 – Datos del Concreto Permeable, Sub base, Tasa de Exfiltración del Sistema de Concreto Permeable (Infiltración del Suelo), Superficie Impermeable, Superficie de Drenaje (Área y Curva Número).

Storm Type	<input type="text" value="IA"/>
24-hr Precipitation	<input type="text" value="17.05"/> in
Location	<input type="text" value="El Salvador"/>
Return period	<input type="text" value="2"/> yr

 Click here for: Rainfall information

Design Aim	Target CN <input type="text" value="65"/>
------------	---

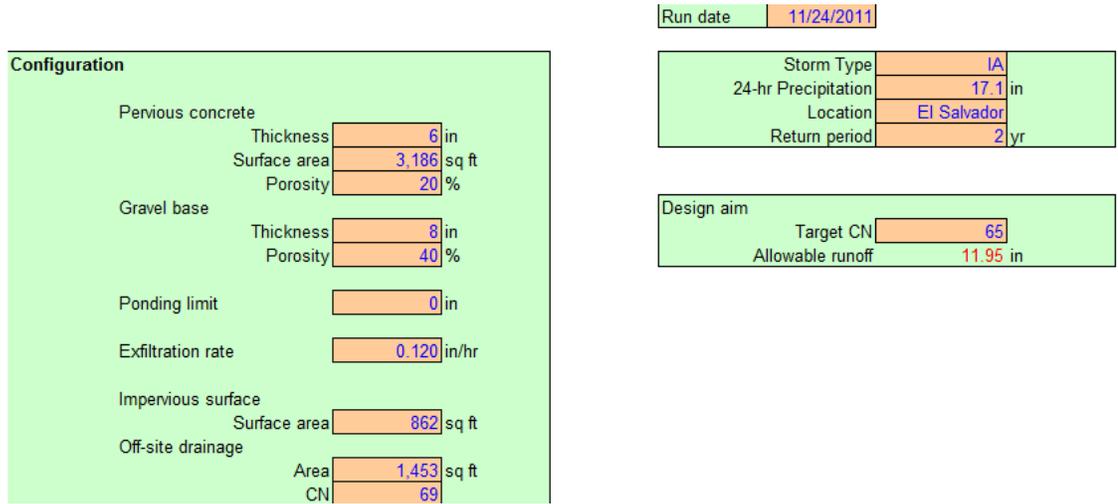
After you have completed entering the above data, click the Results Button:



Results

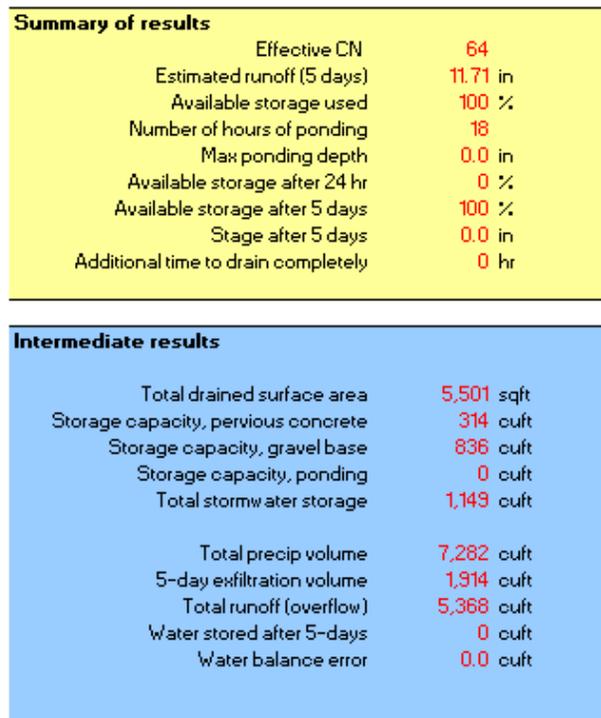
Fuente: Captura de pantalla del software Pervious Concrete Hydrological Analysis Program

FIGURA 3.30 – Datos de lluvia, Curva Número Objetivo.



Fuente: Captura de pantalla del software Pervious Concrete Hydrological Analysis Program

FIGURA 3.31 – Datos introducidos, resultados de la escorrentía en el sistema.



Fuente: Captura de pantalla del software Pervious Concrete Hydrological Analysis Program

FIGURA 3.32 – Resumen de resultados finales e intermedios.

3.10.2 RESUMEN DE RESULTADOS

CN Efectivo	64
Escorrentía estimada	297.43 mm (11.71")
Almacenamiento usado disponible	100%
Almacenamiento Disponible después de 24 horas	0 %
Almacenamiento Disponible después de 5 días	100 %
Escenario después de 5 días	0 mm (0.0")
Tiempo adicional para drenar completamente el sistema	0 horas
Capacidad del concreto permeable	8.89 m ³
Capacidad de la sub base de grava	23.67 m ³
Volumen total precipitado	206.20 m ³
Volumen de exfiltración en 5 días	54.20 m ³
Total escorrentía	152.00 m ³

3.11 CONDICIONES NECESARIAS DEL PROYECTO

3.11.1 CLIMA

Evitar en lo posible colocar concreto permeable si la temperatura ambiente supera los 32°C (referencia ACI 305). En caso de lluvia, el agua puede afectar la relación agua/cemento; por lo que no es recomendable colocar el concreto en dicha situación.

3.11.2 REUNIÓN PREPARATORIA

Se sostendrá una reunión previa a la construcción del pavimento con los actores del proceso, para explicar el procedimiento a seguir en el proceso de terracería, conformación de subrasante, conformación de la sub base.

Posteriormente se convocará a una reunión preparatoria con las personas involucradas en la colocación del concreto, que son: El proveedor del concreto y la cuadrilla que colocará el concreto permeable.

3.12 PROCESO CONSTRUCTIVO DEL TRAMO DE PRUEBA

3.12.1 LABORES INICIALES

Se entenderá como labores iniciales a las actividades de limpieza y desmonte donde sea necesario, además de limpiar las áreas de drenaje como son las cunetas y media caña. Ya que con la maquinaria pueden dañar el borde de estas estructuras.

3.12.2 TERRACERÍA, DESALOJO, CONFORMACIÓN Y COMPACTACIÓN DE SUBRSANTE (VER PLANO ADJUNTO 3/3 – CORTES Y TERRACERÍA)

Las labores de terracería se harán con equipo mecánico (mini cargador), el suelo extraído se cargará a un camión de volteo en el que transportará dicho material a un lugar especificado. El volumen de material extraído se estima en 250 m³. Además se contará con recurso humano para dar conformación respecto al nivel que se dará en campo. En la compactación del nivel de subrasante se utilizará un rodillo vibratorio de 1 tonelada para compactar al 90% el suelo según AASHTO T-99. Se ha estimado la tasa de infiltración del suelo en 3 mm por hora.

Hay dos niveles de subrasante que se trabajarán: una es para la zona de pavimento de concreto permeable (sub base y capa de rodadura suman un espesor de 35 cm) y la otra

es el área de las losas de aproximación al área permeable, cuyo espesor de 15 cm, asentada sobre suelo compactado al 95% según AASHTO T-180; siendo el Peso Volumétrico Húmedo Máximo del Suelo de 1778 kg/cm³.

3.12.3 COLOCACIÓN Y COMPACTACIÓN DE SUB BASE

La sub base servirá como un reservorio de agua mientras el suelo ejerce su capacidad de infiltración. La sub base es un material granular con tamaño máximo nominal de 1 ½". Dicho material se extenderá en la zona destinada al área de pavimento permeable con un espesor de 20 cm para luego compactar ligeramente el material con el rodillo liso de una tonelada. Se verificarán niveles para evitar ondulaciones y desniveles; para ello será necesaria la labor de una persona relacionada al campo de la topografía. El espesor especificado es de 20 cm.

3.12.4 ELABORACIÓN Y TRANSPORTE DEL CONCRETO

La elaboración del concreto permeable estará a cargo de la Empresa HOLCIM Concretos El Salvador, con el diseño de mezcla obtenido en el laboratorio del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC). La mezcla es elaborada y entregada bajo el estándar ASTM C 94. Se transportará el concreto en camiones premezcladores.

3.12.5 COLOCACIÓN, COMPACTACIÓN, CURADO DEL CONCRETO PERMEABLE.

Se esparcirá agua sobre la sub base de grava, esto con el objetivo de brindar un pre humedecimiento para que no se vea afectada el contenido de agua de la mezcla de concreto permeable cediéndola al material granular.

La descarga del concreto será directa del camión premezclador sobre la sub base de grava para luego ser compactado mediante equipo mecánico. Los equipos de colocación son los siguientes: Pavimentadora TITAN y Regla Vibratoria. Para lo cual se realizará en dos días la actividad de colocación del concreto.

Primer día: Pavimentadora TITAN, colocará las 2 franjas centrales con pendiente del 0.5% a ambos lados en sentido transversal. Y cuya área es de 98.79 m². Esta máquina tiene la capacidad de ir colocando y conformado el concreto, por lo que no se necesitará de moldes laterales. Se deberá cumplir que a más tardar en los 20 minutos de colocado el concreto se cubrirá con plástico durante 7 días, siendo éste el método de curado del concreto. Se realizarán las juntas cada 2.67 cm en ambos sentidos, generando así losas cuadradas. El corte de juntas podrá ser en estado fresco o al día siguiente con una cortadora de concreto convencional

Segundo día: Regla Vibratoria, que colocará las 4 fajas restantes con un área de 197.21 m². Para este día tendremos como molde el cordón cuneta y el borde de losa del concreto

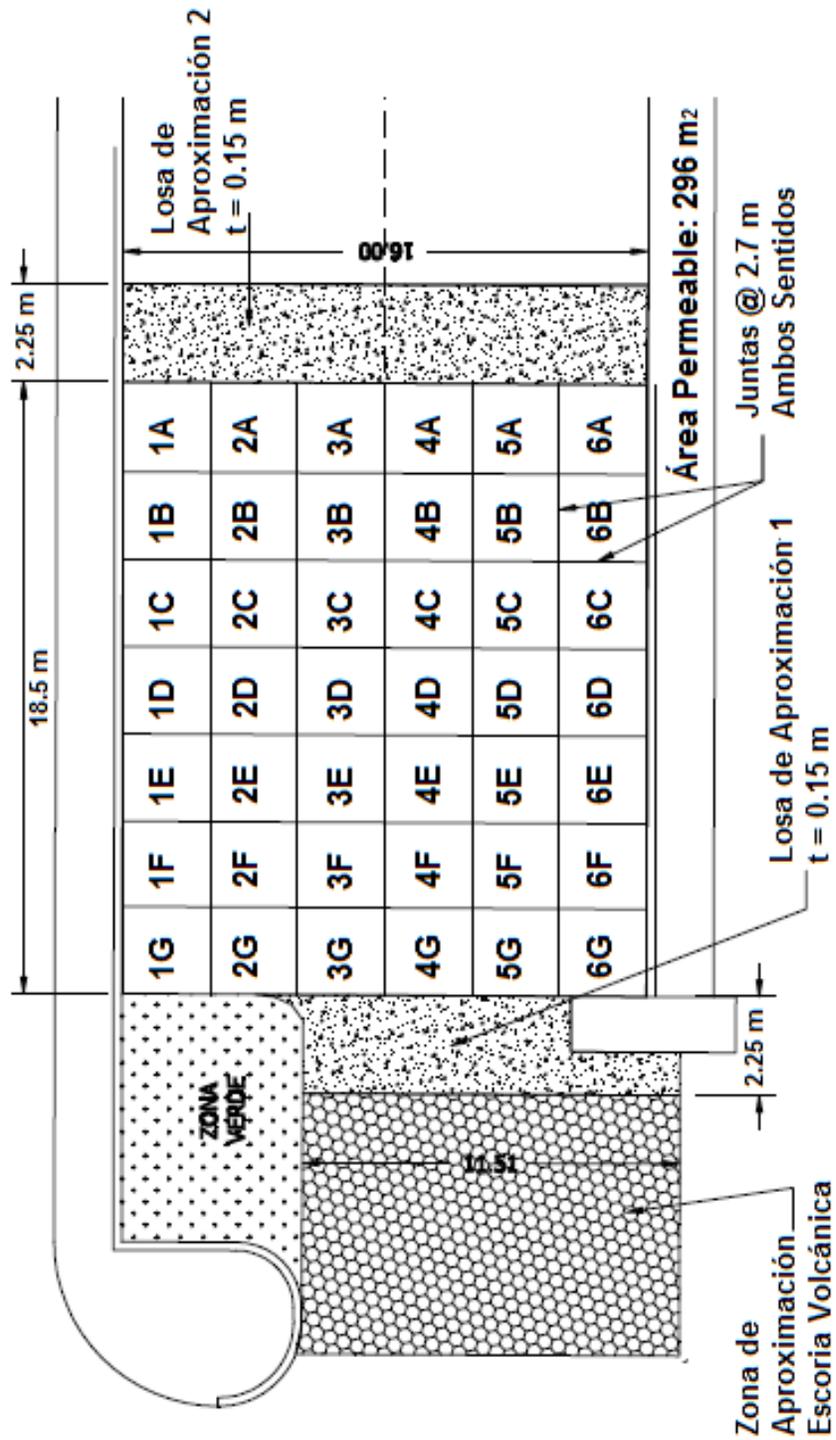
colocado el día anterior; para la descarga será necesario contar con azadones para distribuir el concreto descargado. Luego de colocado y compactado el concreto se procederá a cubrirla con plástico para que en los próximos 7 días se mantenga cubierto. Se realizará el corte de juntas al día siguiente a cada 2.67 m en ambos sentidos, generando así losas cuadradas

Tercer día: Se colocará el concreto convencional para las losas de aproximación, siendo un total de 66.67 m² de área impermeable adyacente a la zona del pavimento permeable. El método de curado se hará por medio de una bomba de aspersión aplicando un componente químico sobre el concreto. Se requerirá que el concreto tenga un MR= 40 kg/cm². Se aserrarán las juntas por contracción a cada 2.67 m coincidiendo con las juntas de las losas del concreto permeable.

Cuarto día: se colocará la escoria volcánica al finalizar la colocación del concreto convencional, se distribuirá con equipo mecánico y se le proporcionará una compactación leve, el espesor de la capa de escoria volcánica será de 15 cm.

A continuación se presenta una propuesta de formatos para el colado del concreto permeable, además de un plano donde se observan las losas de la zona permeable. Esto a la hora de colar servirá como una referencia del concreto colocado dependiendo del camión mezclador.

PLANO DE UBICACIÓN DE LOSAS DE CONCRETO PERMEABLE



Maquinaria de compactación

Equipo de Corte de Juntas

Curado del concreto

3.12.6 ASERRADO DE JUNTAS (VER PLANO 1/3 – ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO)

Las juntas se harán con equipo para concreto permeable, el espesor de juntas será de 1/3 el espesor de losa (5 cm).

Para el concreto permeable la programación será la siguiente:

20 minutos como límite de tiempo para iniciar las labores de elaboración de juntas en el concreto permeable en estado fresco.

Para el concreto convencional:

Podrán ser realizadas el mismo día de colocado el concreto, siempre y cuando el concreto esté en la condición de realizar esta labor.

NOTA: Se respetará que cuando se hagan las juntas se vuelva a colocar la capa plástica de curado del concreto permeable.

3.12.7 APERTURA AL TRÁFICO

Se abrirá al tráfico en los 7 días posterior al último colado de concreto permeable, ya que al menos deberán transcurrir 7 días de curado del concreto permeable.

3.13 METODOLOGÍA PARA EL CONTROL DE CALIDAD

A lo largo del proceso constructivo se contará con un plan de control de calidad en la que destacarán diferentes etapas:

3.13.1 TERRACERÍA, COMPACTACIÓN Y NIVELACIÓN DE SUBRASANTE

Para la terracería se contará adicionalmente con un topógrafo con teodolito y nivel verificando la nivelación y sus pendientes de acuerdo a lo establecido en los planos constructivos.

Para la compactación se controlará mediante el equipo densímetro nuclear que junto al valor obtenido de Próctor Estándar según AASHTO T99 para el suelo de subrasante del pavimento permeable y de Próctor Modificado según AASHTO T180 para el área de concreto convencional y la zona de aproximación con escoria volcánica. El porcentaje de compactación deberá estar en el rango de 90 y 95% para el área permeable y convencional respectivamente. La pendiente lateral es del 0.5%

3.13.2 COLOCACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LA SUB BASE DE GRAVA

Verificar la nivelación de dicha capa, que guarde el 0.5% de pendiente especificado en planos constructivos.

La grava deberá estar limpia y no deberá presentar grumos de tierra, mucho menos de arcilla. La granulometría deberá en lo posible ser discontinua y utilizando un tamaño máximo nominal del agregado de 1 ½". (Ver plano adjunto)

3.13.3 PROCESO CONSTRUCTIVO

3.13.3.1 CONCRETO PERMEABLE

Se procederá a hacer el método de ensayo estándar para el peso unitario y contenido de vacíos para el concreto permeable en estado fresco según ASTM C1688.

Se tomarán muestras aleatorias de concreto en estado fresco a camiones premezcladores para medir el contenido de vacíos y peso unitario del concreto permeable. Además para la elaboración de 6 especímenes cilíndricos (4" x 8") y 3 especímenes cilíndricos (4" x 6") para resistencia a la compresión y permeabilidad respectivamente, y 6 vigas estándar para ensayo a flexión (15 x 15 x 60 cm). Esto se hará por cada 25 m³.

Para la colocación del concreto no se deberá dejar mucho tiempo, siendo 20 minutos lo máximo para realizar dicha actividad.

3.13.3.2 CONCRETO CONVENCIONAL

Se colocará en el área asignada como losas de aproximación las cuales servirán para aislar el tramo de concreto permeable del suelo del lugar, evitando así una pronta colmatación. Se tomará muestra de concreto para elaborar 6 vigas estándar de 15 x 15 x 60 cm para comprobar en laboratorio su módulo de ruptura, Verificando el valor de diseño $MR= 40 \text{ kg/cm}^2$.

3.13.3.3 COLOCACIÓN ESCORIA VOLCÁNICA

Se colocará escoria volcánica en la zona próxima a la losa de aproximación (concreto convencional) y servirá como acceso y ayudar al sistema permeable a tener mayor área permeable adyacente. Además proveerá un aspecto estético al tramo de prueba.

3.13.3.4 ASERRADO O CORTE DE JUNTAS

Verificar la calidad de junta y que sea lineal. Que sea compatible entre losas coladas en días anteriores. La distribución de juntas del concreto convencional en la medida de lo posible deberán coincidir con las del concreto permeable.

3.13.3.5 CURADO

Verificar que la capa plástica sea colocada sobre el concreto permeable y que esté durante los 7 días.

3.13.3.6 PERMEABILIDAD

Transcurridos los 7 días evaluar las condiciones in situ de la permeabilidad mediante el Ensayo Estándar ASTM C1701-10. Tomando el criterio de realizar dicho ensayo en las zonas donde se crean convenientes, o de hacer una prueba por cada 150 m²

3.14 MONITOREO DEL PAVIMENTO A CORTO PLAZO

3.14.1 OBSERVACIONES DE CAMPO

3.14.1.1 EVALUACIÓN CUALITATIVA

Llevar una bitácora bibliográfica y audiovisual semanalmente del comportamiento del pavimento en su aspecto físico, es decir lo que vemos físicamente en el pavimento: si hay partes selladas con pasta de cemento, si hay algún indicio de grietas, comportamiento en eventos lluviosos, etc. Por un período de 30 días

3.14.1.2 EVALUACIÓN CUANTITATIVA

Realización de ensayos en laboratorio y en campo para la comprobación de valores de diseño en las que destacan:

- Extracción de núcleos (conforme ASTM C42) y vigas aserradas (conforme ASTM C42)
- Ensayo a Compresión a Núcleos Extraídos y Elaborados en Campo, Conforme ASTM C39

- Ensayo de Resistencia a Flexión de Vigas Aserradas y Elaborados en Campo, conforme ASTM C78
- Método de Ensayo Estándar para la Determinación de la Tasa de Infiltración en Concreto Permeable In Situ (ASTM C1701)
- Permeabilidad y contenido de vacíos de concreto permeable endurecido.

3.15 CHECK LIST PROCESO CONSTRUCTIVO

El siguiente Check List es una recomendación previo y durante el proceso constructivo, con el objetivo de maximizar los recursos humanos, materiales y maquinaria. No deberá entenderse como la regla y está sujeto a modificación según lo crea el encargado, y dependerá del tipo de proyecto y la magnitud del mismo.

Proyecto: Tramo de Prueba Experimental - Pavimento de Concreto Permeable
Ubicación: Parqueo Facultad de Ingeniería y Arquitectura - Universidad de El Salvador

LABORES INICIALES	
Limpieza de drenajes	
Equipo	_____
Personal	_____
Comienzo Actividad	_____
Fin Actividad	_____
Imprevistos	_____
Observaciones	_____
Firma Conforme	Firma Encargado
_____	_____
TERRACERÍA	
Delimitación de Áreas	
Equipo	_____
Maquinaria	_____
Personal	_____
Comienzo Actividad	_____
Fin Actividad	_____
Imprevistos	_____
Observaciones	_____
Firma Conforme	Firma Encargado
_____	_____
DESALOJO	
Equipo	_____
Maquinaria	_____
Camiones	_____
Personal	_____
Comienzo Actividad	_____
Fin Actividad	_____
Viajes Realizados	_____
Volumen desalojado	_____
Imprevistos	_____
Observaciones	_____
Firma Conforme	Firma Encargado
_____	_____

CONFORMACIÓN DE SUBRASANTE	
	Equipo _____
	Maquinaria _____
	Personal _____
	Comienzo Actividad _____
	Fin Actividad _____
Imprevistos	_____
Observaciones	_____
Firma Conforme	Firma Encargado
_____	_____
COLOCACIÓN SUB-BASE GRAVA	
Revisión de Conformación de Subrasante	
	¿Cumple Niveles? _____
	¿Hay Rellenos que hacer? _____
Colocación	
	Equipo _____
	Maquinaria _____
	Personal _____
	Comienzo Actividad _____
	Fin Actividad _____
Imprevistos	_____
Observaciones	_____
Firma Conforme	Firma Encargado
_____	_____
COLOCACIÓN CONCRETO PERMEABLE	
Revisión de Sub-base de grava	
	¿Cumple niveles? _____
	¿Hubieron arreglos? _____
Colocación	
	Equipo <u>Pavimentadora</u>
	Maquinaria _____
	Personal _____
	Comienzo Actividad _____ Fin Actividad _____
	Equipo <u>Regla Vibratoria</u>
	Maquinaria _____
	Personal _____
	Comienzo Actividad _____ Fin Actividad _____
Curado	
	Plástico _____
Imprevistos	_____
Observaciones	_____
Firma Conforme	Firma Encargado
_____	_____

COLOCACIÓN CONCRETO CONVENCIONAL	
Colocación	Equipo _____
	Maquinaria _____
	Personal _____
	Comienzo Actividad _____
	Fin Actividad _____
Curado	Método de Curado _____
Imprevistos	_____
Observaciones	_____
Firma Conforme	_____ Firma Encargado _____
CORTE DE JUNTAS	
Concreto Permeable	Equipo _____
	Maquinaria _____
	Personal _____
	Comienzo Actividad _____
	Fin Actividad _____
Imprevistos	_____
Observaciones	_____
Concreto Convencional	Equipo _____
	Maquinaria _____
	Personal _____
	Comienzo Actividad _____
	Fin Actividad _____
Imprevistos	_____
Observaciones	_____
Firma Conforme	_____ Firma Encargado _____
APERTURA AL TRÁFICO	
Imprevistos	Fecha Estipulada _____
Observaciones	_____
Firma Conforme	_____ Firma Encargado _____

3.16 PRESUPUESTO DE TRAMO EXPERIMENTAL DE UN PAVIMENTO DE CONCRETO PERMEABLE – A LA FECHA

HOJA DE ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
OFERTANTE:					FECHA: 9-dic-11	
PROYECTO: Tramo de Prueba Pavimento de Concreto Permeable						
PARTIDA: Terracería y Desalojo					UNIDAD: m ³	
CANTIDAD ANALIZADA: 217 m ³			RENDIMIENTO: 15 m ³ /hora			
EQUIPO						
DESCRIPCION	CANT.	MARCA	TIPO	TARIFA/HORA	REND H/MA	VALOR UNITARIO
Minicargador	1	Bob Cat	S220	\$ 20.00	15.00	\$ 1.33
Rodo vibratorio	1	CAT	CB14	\$ 8.00	15.00	\$ 0.53
Camión	1	Mack		\$ 33.00	15.00	\$ 2.20
					15.00	\$ -
(1) SUB-TOTAL						\$ 4.07
MATERIALES						
DESCRIPCION	UNIDAD	P. UNIT.	CANTIDAD	VALOR UNITARIO		
Herramientas varias	SG	\$ 0.50	1.00	\$ 0.50		
				\$ -		
(2) SUB-TOTAL						\$ 0.50
TRANSPORTE						
MATERIAL	VOL O PESO	DISTANCIA	m ³ / km	TARIFA	VALOR UNITARIO	
Suelo extraído	21	20.00	\$0.35	15	\$ 9.80	
(3) SUB-TOTAL						\$ 9.80
MANO DE OBRA						
PERSONAL	CANT.	Hora	Total	PRESTACION	REND. H/HO	VALOR UNITARIO
Auxiliares	7	\$ 3.09	\$ 21.63	100%	15.00	\$ 1.44
Operador	1	\$ 4.37	\$ 4.37	100%	15.00	\$ 0.29
motorista	incluido en precio de transporte					
(4) SUB-TOTAL						\$ 1.73
(5) = (1) + (2) + (3) + (4) TOTAL DE COSTO DIRECTO						\$ 16.10
COSTOS INDIRECTOS						
DESCRIPCION	PORCENTAJE		VALOR			
Direccion Tecnica	15%		2.42			
Gastos Administrativos	12%		1.93			
Utilidad	10%		1.61			
(6) TOTAL DE COSTO INDIRECTO						\$ 5.96
COSTO TOTAL DIRECTO						\$ 16.10
COSTO TOTAL INDIRECTO						\$ 5.96
COSTO TOTAL DIRECTO + INDIRECTO						\$ 22.06
IVA (13%)						\$ 2.87
COSTO UNITARIO TOTAL						\$ 24.92
Total						\$ 5,408.60

HOJA DE ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OFERTANTE: _____ FECHA: 2-dic-11
 PROYECTO: Tramo de Prueba Pavimento de Concreto Permeable
 PARTIDA: Colocación Sub Base Granular, Espesor = 20 cm UNIDAD: m²
 CANTIDAD ANALIZADA: 296 m² RENDIMIENTO: 37 m²/hora

EQUIPO

DESCRIPCION	Cantidad	Marca	Tipo	Tarifa	Días	VALOR UNITARIO
Minicargador	1	Bob Cat	S220	\$ 125.00	2.00	\$ 250.00
Rodo vibratorio	1			\$ 40.00	2.00	\$ 80.00
Herramientas	6			\$ 1.00	2.00	\$ 12.00
					2.00	\$ -
(1) SUB-TOTAL						\$ 342.00

MATERIALES

DESCRIPCION	Unidad	Precio	Cantidad	VALOR UNITARIO
Sub Base Triturada	m ³	\$ 14.16	144.00	\$ 2,039.04
Combustible	galones	\$ 4.13	33.00	\$ 136.29
(2) SUB-TOTAL				\$ 2,175.33

TRANSPORTE

MATERIAL	Volumen	Distancia	m ³ ton / km	Tarifa	VALOR UNITARIO
Sub Base Triturada	90	55.00	m ³ / km	\$ 0.1400	\$ 693.00
(3) SUB-TOTAL					\$ 693.00

MANO DE OBRA

PERSONAL	Cantidad	Jornal	Prestación	Total	Días	VALOR UNITARIO
Auxiliares	4	\$ 9.00	1.80	\$ 64.80	2.00	\$ 129.60
Encargado	1	\$ 25.00	1.80	\$ 45.00	2.00	\$ 90.00
					2.00	\$ -
Operador incluido en maquinaria						
(4) SUB-TOTAL						\$ 219.60
(5) = (1) + (2) + (3) + (4) TOTAL DE COSTO DIRECTO						\$ 3,429.93

COSTOS INDIRECTOS

DESCRIPCION	PORCENTAJE	VALOR
Dirección Técnica	10%	342.99
Gastos Administrativos	12%	411.59
Utilidad	6%	205.80
(6) TOTAL DE COSTO INDIRECTO		\$ 960.38

COSTO TOTAL DIRECTO	\$ 3,429.93
COSTO TOTAL INDIRECTO	\$ 960.38
COSTO TOTAL UNITARIO (DIRECTO + INDIRECTO)	\$ 4,390.31
COSTO POR M ² :	\$ 14.83
COSTO POR M ² + IVA (13%):	\$ 16.76

HOJA DE ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
OFERTANTE:					FECHA: 2-dic-11	
PROYECTO: Tramo de Prueba Pavimento de Concreto Permeable						
PARTIDA: Colocación Concreto Permeable, Espesor = 15 cm					UNIDAD: m ²	
CANTIDAD ANALIZADA: 197.58 m ²			RENDIMIENTO: 1 día			
EQUIPO						
DESCRIPCION	CANT.	MARCA	TIPO	TARIFA	Días	VALOR UNITARIO
Regla vibratoria	1	Wacker	Manual	\$ 45.00	1.00	\$ 45.00
Herramientas	8			\$ 1.00	1.00	\$ 8.00
Cortadora de concreto	1			\$ 50.00	1.00	\$ 50.00
					1.00	\$ -
(1) SUB-TOTAL						\$ 103.00
MATERIALES						
DESCRIPCION	Unidad	Precio	Cantidad	VALOR UNITARIO		
Concreto	m ³	\$ 110.00	34.30	\$ 3,773.00		
Combustible	galones	\$ 4.13	3.00	\$ 12.39		
Plástico	Rollo	\$ 138.00	1.00	\$ 138.00		
Acero	qq	\$ 40.00	1.50	\$ 60.00		
Alambre de amarre	lb	\$ 0.40	15.00	\$ 6.00		
Tubo estructural		\$ 20.00	2.00	\$ 40.00		
Disco de corte		\$ 573.00	0.04	\$ 22.00		
(2) SUB-TOTAL						\$ 4,051.39
TRANSPORTE						
MATERIAL	Volumen	Distancia	m ³ ton / km	Tarifa	VALOR UNITARIO	
Concreto	55	3.00	m ³ / km	\$ 0.2500	\$ 41.25	
(3) SUB-TOTAL						\$ 41.25
MANO DE OBRA						
Personal	Cantidad	Jornal	Prestación	Total	Días	VALOR UNITARIO
Auxiliares	4	\$ 9.00	1.80	\$ 64.80	1.00	\$ 64.80
Auxiliares	2	\$ 9.00	1.80	\$ 32.40	3.00	\$ 97.20
Aux. Albañil	1	\$ 12.00	1.80	\$ 21.60	1.00	\$ 21.60
Aux. Albañil	1	\$ 12.00	1.80	\$ 21.60	3.00	\$ 64.80
Albañil	2	\$ 15.00	1.80	\$ 54.00	3.00	\$ 162.00
Encargado	1	\$ 25.00	1.80	\$ 45.00	2.00	\$ 90.00
Motorista	1	\$ 6.00	1.80	\$ 10.80	3.00	\$ 32.40
Operador incluido en maquinaria						\$ -
(4) SUB-TOTAL						\$ 532.80
(5) = (1) + (2) + (3) + (4) TOTAL DE COSTO DIRECTO						\$ 4,728.44
COSTOS INDIRECTOS						
DESCRIPCION	PORCENTAJE		VALOR			
Dirección Técnica	10%		472.84			
Gastos Administrativos	12%		567.41			
Utilidad	6%		283.71			
(6) TOTAL DE COSTO INDIRECTO						\$ 1,323.96
COSTO TOTAL DIRECTO						\$ 4,728.44
COSTO TOTAL INDIRECTO						\$ 1,323.96
COSTO TOTAL UNITARIO (DIRECTO + INDIRECTO)						\$ 6,052.41
COSTO POR M ² :						\$ 30.63
COSTO POR M ² + IVA (13%):						\$ 34.61

HOJA DE ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
OFERTANTE:					FECHA: 2-dic-11	
PROYECTO: Tramo de Prueba Pavimento de Concreto Permeable						
PARTIDA: Colocación Concreto Permeable, Espesor = 15 cm					UNIDAD: m ²	
CANTIDAD ANALIZADA: 98.79 m ²			RENDIMIENTO: 1 día			
EQUIPO						
DESCRIPCION	Cantidad	Marca	Tipo	Tarifa	Días	VALOR UNITARIO
Pavimentadora	1	Titan		\$ 225.00	1.00	\$ 225.00
					1.00	\$ -
					1.00	\$ -
					1.00	\$ -
(1) SUB-TOTAL						\$ 225.00
MATERIALES						
DESCRIPCION		Unidad	Precio	Cantidad	VALOR UNITARIO	
Concreto		m ³	\$ 110.00	16.80	\$ 1,848.00	
Combustible		galones	\$ 4.13	6.00	\$ 24.78	
Plástico		Rollo	\$ 138.00	0.50	\$ 69.00	
					\$ -	
(2) SUB-TOTAL						\$ 1,941.78
TRANSPORTE						
MATERIAL		Volumen	Distancia	m ³ ton / km	Tarifa	VALOR UNITARIO
Concreto		27.5	3.00	m ³ / km	\$0.2500	\$ 20.63
(3) SUB-TOTAL						\$ 20.63
MANO DE OBRA						
PERSONAL	Cantidad	Jornal	Prestación	Total	Días	VALOR UNITARIO
Auxiliares	2	\$ 9.00	1.80	\$ 32.40	1.00	\$ 32.40
Aux. Albañil	1	\$ 12.00	1.80	\$ 21.60	1.00	\$ 21.60
Albañil	1	\$ 15.00	1.80	\$ 27.00	1.00	\$ 27.00
Encargado	1	\$ 25.00	1.80	\$ 45.00	1.00	\$ 45.00
Motorista	1	\$ 6.00	1.80	\$ 10.80	1.00	\$ 10.80
Operador incluido en maquinaria						\$ -
(4) SUB-TOTAL						\$ 136.80
(5) = (1) + (2) + (3) + (4) TOTAL DE COSTO DIRECTO						\$ 2,324.21
COSTOS INDIRECTOS						
DESCRIPCION					PORCENTAJ	VALOR
Dirección Técnica					10%	232.42
Gastos Administrativos					12%	278.90
Utilidad					6%	139.45
(6) TOTAL DE COSTO INDIRECTO						\$ 650.78
COSTO TOTAL DIRECTO						\$ 2,324.21
COSTO TOTAL INDIRECTO						\$ 650.78
COSTO TOTAL UNITARIO (DIRECTO + INDIRECTO)						\$ 2,974.98
COSTO POR M ² :						\$ 30.11
COSTO POR M ² + IVA (13%):						\$ 34.03

HOJA DE ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
OFERTANTE:					FECHA: 2-dic-11	
PROYECTO: Tramo de Prueba Pavimento de Concreto Permeable						
PARTIDA: Colocación Concreto Convencional, Espesor = 20 cm					UNIDAD: m ²	
CANTIDAD ANALIZADA: 62 m ²			RENDIMIENTO: 1 día			
EQUIPO						
DESCRIPCION	Cantidad	Marca	Tipo	Tarifa	Días	VALOR UNITARIO
Regla vibratoria	1	Wacker	Manual	\$ 45.00	1.00	\$ 45.00
Herramientas	8			\$ 1.00	1.00	\$ 8.00
Cortadora de concreto	1			\$ 50.00	1.00	\$ 50.00
Bomba de aspersión	1			\$ 15.00	1.00	\$ 15.00
(1) SUB-TOTAL						\$ 118.00
MATERIALES						
DESCRIPCION		Unidad	Precio	Cantidad	VALOR UNITARIO	
Concreto		m ³	\$ 130.00	10.50	\$ 1,365.00	
Combustible		galones	\$ 4.13	3.00	\$ 12.39	
Disco de corte		unidad	\$ 573.00	0.02	\$ 11.00	
Curador		Cubeta	\$ 21.15	1.00	\$ 21.15	
Durapax (1/2")		Pliego	\$ 1.35	16.00	\$ 21.60	
(2) SUB-TOTAL						\$ 1,431.14
TRANSPORTE						
MATERIAL		Volumen	Distancia	m ³ ton / km	Tarifa	VALOR UNITARIO
Concreto		13.5	3.00	m ³ / km	\$ 0.2500	\$ 10.13
(3) SUB-TOTAL						\$ 10.13
MANO DE OBRA						
PERSONAL	Cantidad	Jornal	Prestación	Total	Días	VALOR UNITARIO
Auxiliares	4	\$ 9.00	1.80	\$ 64.80	1.00	\$ 64.80
Aux. Albañil	2	\$ 12.00	1.80	\$ 43.20	1.00	\$ 43.20
Albañil	2	\$ 15.00	1.80	\$ 54.00	1.00	\$ 54.00
Encargado	1	\$ 25.00	1.80	\$ 45.00	1.00	\$ 45.00
Motorista	1	\$ 6.00	1.80	\$ 10.80	1.00	\$ 10.80
Operador incluido en maquinaria						\$ -
(4) SUB-TOTAL						\$ 217.80
(5) = (1) + (2) + (3) + (4) TOTAL DE COSTO DIRECTO						\$ 1,777.07
COSTOS INDIRECTOS						
DESCRIPCION				PORCENTAJE	VALOR	
Direccion Tecnica				10%	177.71	
Gastos Administrativos				12%	213.25	
Utilidad				6%	106.62	
(6) TOTAL DE COSTO INDIRECTO						\$ 497.58
COSTO TOTAL DIRECTO						\$ 1,777.07
COSTO TOTAL INDIRECTO						\$ 497.58
COSTO TOTAL UNITARIO (DIRECTO + INDIRECTO)						\$ 2,274.65
COSTO POR M ² :						\$ 36.69
COSTO POR M ² + IVA (13%):						\$ 41.46

HOJA DE ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OFERTANTE: _____ FECHA: 2-dic-11
 PROYECTO: Tramo de Prueba Pavimento de Concreto Permeable
 PARTIDA: Colocación Sub Base Granular, Espesor = 15 cm UNIDAD: m²
 CANTIDAD ANALIZADA: 93 m² RENDIMIENTO: 37 m²/hora

EQUIPO

DESCRIPCION	Cantidad	Marca	Tipo	Tarifa	Días	VALOR UNITARIO
Minicargador	1	Bob Cat	S220	\$ 125.00	1.00	\$ 125.00
Rodo vibratorio	1			\$ 40.00	1.00	\$ 40.00
Herramientas	6			\$ 1.00	1.00	\$ 6.00
					1.00	\$ -
(1) SUB-TOTAL						\$ 171.00

MATERIALES

DESCRIPCION	Unidad	Precio	Cantidad	VALOR UNITARIO
Escoria Volcánica	m ³	\$ 20.00	20.00	\$ 400.00
Combustible	galones	\$ 4.13	10.00	\$ 41.30
(2) SUB-TOTAL				\$ 441.30

TRANSPORTE

MATERIAL	Volumen	Distancia	m ³ ton / km	Tarifa	VALOR UNITARIO
Sub Base Triturada	20	35.00	m ³ / km	\$ 0.2000	\$ 140.00
(3) SUB-TOTAL					\$ 140.00

MANO DE OBRA

PERSONAL	Cantidad	Jornal	Prestación	Total	Días	VALOR UNITARIO
Auxiliares	4	\$ 9.00	1.80	\$ 64.80	1.00	\$ 64.80
Encargado	1	\$ 25.00	1.80	\$ 45.00	1.00	\$ 45.00
					1.00	\$ -
Operador incluido en maquinaria						
(4) SUB-TOTAL						\$ 109.80
(5) = (1) + (2) + (3) + (4) TOTAL DE COSTO DIRECTO						\$ 862.10

COSTOS INDIRECTOS

DESCRIPCION	PORCENTAJE	VALOR
Dirección Técnica	10%	86.21
Gastos Administrativos	12%	103.45
Utilidad	6%	51.73
(6) TOTAL DE COSTO INDIRECTO		\$ 241.39

COSTO TOTAL DIRECTO	\$ 862.10
COSTO TOTAL INDIRECTO	\$ 241.39
COSTO TOTAL UNITARIO (DIRECTO + INDIRECTO)	\$ 1,103.49
COSTO POR M ² :	\$ 11.87
COSTO POR M ² + IVA (13%):	\$ 13.41

HOJA DE ANALISIS DE PRECIOS						
OFERTANTE:					FECHA: 9-dic-11	
PROYECTO: Tramo de Prueba Pavimento de Concreto Permeable						
PARTIDA: Zona Verde, Zona de Aproximación, Curado de Concreto					UNIDAD:	
CANTIDAD ANALIZADA:					RENDIMIENTO:	
MATERIALES						
	CANT.	UNIDAD	COSTO	TARIFA/HORA	REND H/MA	VALOR UNITARIO
Bloque (40 x 20)	190	unidad	0.65			\$ 123.50
Bloque mitad (20 x 20)	25	unidad	0.5			\$ 12.50
Hierro (3/8")	3	qq	40			\$ 120.00
Hierro (1/4")	2.5	qq	40			\$ 100.00
Alambre de amarre	6	lb	1			\$ 6.00
Arena	4	m3	24			\$ 96.00
Grava	2.5	m3	32			\$ 80.00
Cemento Albañilería	13	bolsa	7			\$ 91.00
Cemento Uso General	21	bolsa	7.25			\$ 152.25
Pintura (cancha deportiva)	3	galón	24.8			\$ 74.40
Placa conmemorativa	1		300			\$ 300.00
Plástico	1	rollo	138			\$ 138.00
Escoria Volcánica Rojiza	20	m3	20			\$ 400.00
(1) SUB-TOTAL						\$ 1,693.65
EQUIPO						
DESCRIPCION			UNIDAD	P. UNIT.	CANTIDAD	VALOR UNITARIO
Herramientas varias			SG	\$ 20.00	1.00	\$ 20.00
						\$ -
(2) SUB-TOTAL						\$ -
TRANSPORTE						
MATERIAL		VOL O PESO	DISTANCIA	m ³ / km	TARIFA	VALOR UNITARIO
Suelo extraído		0		\$0.35	15	\$ -
(3) SUB-TOTAL						\$ -
MANO DE OBRA						
PERSONAL	CANT.	qq	Total	PRESTACION	Diario	VALOR UNITARIO
Armador	2	5.50	\$ 12.00	1.8	20.00	\$ 277.60
Auxiliar	3	3.00	\$ 9.00	1.8	10.00	\$ 175.80
motorista	incluido en precio de transporte					
(4) SUB-TOTAL						\$ 453.40
(5) = (1) + (2) + (3) + (4) TOTAL DE COSTO DIRECTO						\$ 2,147.05
COSTOS INDIRECTOS						
DESCRIPCION					PORCENTAJE	VALOR
Direccion Tecnica					15%	322.06
Gastos Administrativos					12%	257.65
Utilidad					10%	214.71
(6) TOTAL DE COSTO INDIRECTO						\$ 794.41
COSTO TOTAL DIRECTO						\$ 2,147.05
COSTO TOTAL INDIRECTO						\$ 794.41
COSTO TOTAL DIRECTO + INDIRECTO						\$ 2,941.46
IVA (13%)						\$ 382.39
COSTO TOTAL						\$ 3,323.85

CAPÍTULO IV

Análisis de Resultados

4.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

El suelo de Subrasante fue ensayado bajo el Estándar ASTM D 422 y clasificado con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelo “SUCS” y Clasificación de Suelos AASHTO. Una vez realizado el ensayo de tamizado de la muestra de suelo y seguir el procedimiento para obtener los porcentajes de material que pasan y se retienen las mallas es necesario hacer un análisis e interpretación de los resultados, esto se comparará con la tabla que proporciona la Norma AASHTO M 147 – Especificación Estándar para Materiales para Agregado, Suelos de Sub Base, Base y Superficies de Rodadura. La importancia radica en que el suelo estudiado forma parte de la estructura de un pavimento. A continuación se resume los resultados obtenidos:

MUESTRA “A”

Malla N°	Porcentaje que pasa
½”	98
3/8”	95
N° 4	91
N° 10	84
N° 40	57
N° 200	9

Grava: 9.0 %

Arena: 82.0%

Fino: 9.0 %

Cc= 0.9

Cu= 5

Clasificación SUCS: SP – SM (Arena Pobrementemente Graduada con Limo)

MUESTRA “B”

Malla N°	Porcentaje que pasa
¾”	99
½”	99
3/8”	99
N° 4	95
N° 10	88
N° 40	59
N° 200	9

Grava: 5.0 %

Arena: 85.6%

Fino: 9.4 %

Cc= 1.1

Cu= 5 **Clasificación SUCS: SP – SM (Arena Pobrementemente Graduada con Limo)**

Verificarlo con la tabla siguiente y los resultados obtenidos.

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS (SUCS) ASTM D 2487

Criterios para la asignación de símbolos de grupo y nombre de grupo con el uso de ensayos de laboratorio		Clasificación de suelos	
		Simbolo de grupo	Nombre del grupo
	Gravas limpias Menos del 5% pasa la malla No. 200	GW	Grava bien graduada
		GP	Grava mal graduada
Gravas Mas del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla No. 4	IP < 4 o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	GM	Grava limosa
	IP > 7 o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC	Grava arcillosa
	Cumple los criterios para GW y GM	GW-GM	Grava bien graduada con limo
	Cumple los criterios para GW y GC	GW-GC	Grava bien graduada con arcilla
Suelos de partículas gruesas mas del 50% es retenido en la malla No. 200	Entre el 5 y 12% pasa malla No.200	GP-GM	Grava mal graduada con limo
		GP-GC	Grava mal graduada con arcilla
	Arenas limpias Menos del 5% pasa la malla No. 200	SW	Arena bien graduada
		SP	Arena mal graduada
Arenas El 50% o mas de la fracción gruesa pasa la malla No. 4	IP < 4 o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	SM	Arena limosa
	IP > 7 o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC	Arena arcillosa
	Cumple los criterios para SW y SM	SW-SM	Arena bien graduada con limo
	Cumple los criterios para SW y SC	SW-SC	Arena bien graduada con arcilla
	Cumple los criterios para SP y SM	SP-SM	Arena mal graduada con limo
	Cumple los criterios para SP y SC	SP-SC	Arena mal graduada con arcilla

Fuente: Norma ASTM D 2487

TABLA 4.1 – Clasificación de Suelos “SUCS”

Clasificación AASHTO

Características	Pozo A	Pozo B
% pasa malla 10	84	88
% pasa malla 40	57	59
% pasa malla 200	9.0	9.4
LP	NP	NP
IP	NP	NP
Clasificación	A-3	A-3

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz Nº 200)						Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz Nº 200)				
	A-1		A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Grupo:	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Porcentaje que pasa: Nº 10 (2mm) Nº 40 (0,425mm) Nº 200 (0,075mm)	50 máx 30 máx 15 máx	- 50 máx 25 máx	- 51 mín 10 máx	- - 35 máx				- - 36 mín			
Características de la fracción que pasa por el tamiz Nº 40 Límite líquido Índice de plasticidad	- 6 máx		- NP (1)	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín 11 mín	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín (2) 11 mín
Constituyentes principales	Fracmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa			Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Características como subgrado	Excelente a bueno						Pobre a malo				

(1): No plástico

(2): El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor al LL menos 30

El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL menos 30

Fuente: Norma AASHTO M 145

TABLA 4.2 – Sistema de Clasificación de Suelos AASHTO

Requerimiento de Graduación para Suelos – Materiales de Agregados							
Designación de Mallas		Porcentaje de Masa Pasando.					
Standard, mm	Alternativa	Graduación A	Graduación B	Graduación C	Graduación D	Graduación E	Graduación F
50	2 Pulg	100	100	.....	.....	.....	.....
25.0	1 Pulg	.....	75 – 95	100	100	100	100
9.5	3/8 Pulg	30 – 65	40 – 75	50 – 85	60 – 100	.....	.....
4.75	N° 4	25 – 55	30 – 60	35 – 65	50 – 85	55 – 100	70 – 100
2.00	N° 10	15 – 40	20 – 45	25 – 50	40 – 70	40 – 100	5 – 100
0.425	N° 40	8 – 20	15 – 30	15 – 30	25 – 45	20 – 50	30 – 70
0.075	N° 200	2 – 8	5 – 20	2 – 15	5 – 20	6 – 20	8 – 25

Fuente: Norma AASHTO M-147

TABLA 4.3 – Requerimientos de Graduación para Suelos

Para materiales usados como base la norma AASHTO M-147 sugiere todas las graduaciones mostradas en la tabla anterior. Para la granulometría obtenida se observa que clasifica en la Graduación F a pesar que en la malla de 3/8” no especifica el porcentaje que pasa, se asume que es 100% debido a que en la malla de 1” pasa el 100% de partículas de suelo.

4.2. RELACIÓN DENSIDAD HUMEDAD (PRÓCTOR)

4.2.1. PRÓCTOR ESTÁNDAR (AASHTO T 99)

Los resultados obtenidos de la muestra analizada son los siguientes: en la muestra clasificada como SP-SM (A-3) se obtuvo un peso volumétrico seco máximo de 1410 kg/m³ y una humedad óptima de 18.7%.

La razón por la que se realizó el ensayo conforme a esta norma es evaluar la alternativa que en campo se lleve a cabo la compactación con dicha energía de compactación, ya que el objetivo es que no se vea afectada la permeabilidad del suelo de subrasante. El objeto que exista una capa de rodadura drenante y una sub base granular es que la subrasante sea el medio receptor del agua lluvia, para su posterior recarga en los mantos acuíferos

4.2.2. PRÓCTOR ESTÁNDAR (AASHTO T 180)

Los datos de las muestras analizadas fueron: para la muestra A clasificada como SP-SM (A-3) el peso volumétrico seco máximo es de 1494 kg/m³ y la humedad óptima de 18.3%, en la muestra B el peso volumétrico seco máximo es 1536 kg/m³ y la humedad óptima de 16.5%.

El objeto de este ensayo es para las zonas donde servirá como sub base para las losas de concreto convencional tal como lo son las losas de aproximación a la zona del concreto permeable.

4.3. PLACA DE CARGA ESTÁTICA NO REPETITIVA

El ensayo de Placa de Carga es el método más recomendable para evaluar suelos de subrasante, sub bases, capas de rodadura para obtener el valor de Módulo de Reacción “k” específico para el diseño de pavimentos rígidos.

El ensayo realizado en el sitio de tramo de prueba dio como resultado un valor de 709.1 pci (poundal cubic inch) sin corregir por la deflexión de placa, el valor corregido es de 510 pci, pero a la vez este resultado se ve afectado por la saturación a la que pueda estar sometido el suelo en tales condiciones, por lo que el valor corregido por deflexión de placa afectado en un 20% por la saturación del suelo es de 408 pci que es el valor final para el Módulo de Reacción “k” del sitio donde se llevará a cabo el Tramo de Prueba Experimental.

4.4. VALOR DE SOPORTE DEL SUELO, CBR

Este ensayo es de mucha importancia para evaluar las posibilidades de sustentación un cimiento con el objeto de calcular el espesor de un pavimento Se realizó el ensayo de CBR con la energía de compactación conforme a la Norma AASHTO T 99, el valor de CBR para un 95% del Peso Volumétrico Seco Máximo (1410 kg/m^3) en la gráfica se muestra el resultado de 30.5%. Este valor es producto de una saturación de 10 días simulando que el suelo de subrasante estará expuesto durante ese tiempo continuo a saturación.

Luego fue ensayada a 10 días drenando completando ciclos de 10 días para ver el Valor de CBR resultando ser de 37.8%.

Se adaptó la Norma AASHTO T 193 respecto al número de días el cual estarán saturándose los especímenes para simular un evento con muchos días de precipitación y al comparar la capacidad de soporte del suelo en estado saturado varía respecto al estado drenado en una diferencia de 7.3% de recuperación respecto al saturado.

En condiciones de energía de compactación de AASHTO T 99, se ve un panorama muy favorable ya que no se vería afectado en gran manera el suelo de sub rasante en presencia constante del agua precipitada.

4.5. DISEÑO DE MEZCLA

Al igual que en las mezclas de concreto convencional, los parámetros para el diseño de mezclas de concreto permeable contemplan los valores del Peso Unitario Varillado, Gravedad Específica SSS, Absorción y Humedad del agregado.

Los valores obtenidos de la caracterización del agregado grueso para el diseño de mezclas se presentan en la siguiente tabla:

PROPIEDADES FISICAS DEL AGREGADO		
Propiedad	Resultado	Tolerancias (Según ASTM)
Granulometría	Nº 8 (TMNA= 3/8")	Ver ASTM C33
Gravedad Específica SSS	2.57	2.40 – 2.80
Absorción	1.69	< 3%
Peso Volumétrico Suelto	1399.8	(1200 – 1760) kg/m ³
Peso Volumétrico Varillado	1493.1	

El software nos solicitaba los datos de la tabla anterior pero además las características que deseamos para el diseño de mezclas tales como contenido de vacíos, relación agua/cemento, índice de compactación de la mezcla.

- Contenido de Vacíos de Diseño: 20%
- Relación Agua/Cemento: 0.27

- Índice de Compactación: 5%
- Peso volumétrico: 1800 kg/m³

Además en el diseño de mezcla se contempla el uso de aditivos. Un aditivo reductor de agua de alto rango conforme a ASTM C 494 tipo F que además tiene función de fluidificante, el aditivo utilizado es MEGAFLOW con una dosificación de 1000 ml por cada 100 kg de cemento.

También se utiliza un aditivo modificador de viscosidad la cual tiene la función de que la pasta no desparrame sino que homogenice la mezcla evitando segregaciones, la dosificación es de 788 ml por cada 100 kg de cemento.

El cemento utilizado está fabricado bajo la Norma ASTM C 1157 HE, un cemento por desempeño y cuya resistencia inicial es alta en los primeros días y es ideal para las características de la obra a realizar. En nuestro país es el más utilizado para obras de pavimentación.

El agregado fue muestreado en el Plantel Holcim Chanmico.

El diseño final fue una iteración entre los resultados obtenidos del Software de Diseño de Mezclas de Concreto Permeable de la NRMCA y las bachadas realizadas en el laboratorio del Centro de Investigaciones del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (CI – ISCYC).

Obteniéndose las siguientes cantidades de materiales por metro cúbico (m³)

MATERIAL	CANTIDAD
Cemento ASTM C1157 HE	330 kg
Grava N° 8 (3/8")	1450 kg
Agua	89.1 litros
Aditivo MEGAFLOW	3.3 litros
Aditivo VISCTROL	2.6 litros

Los resultados obtenidos a los especímenes para los ensayos realizados son los siguientes:

Propiedad	Valor obtenido
Peso Unitario	1856 kg/m³
Contenido de vacíos	21.97 %
Permeabilidad (7 días)	15.92 mm/s
Módulo de Ruptura (28 días)	24 kg/cm²

4.6. PESO UNITARIO Y CONTENIDO DE VACÍOS

El peso unitario de la mezcla de concreto permeable elaborada en laboratorio es de 1856.4 kg/m³ con un 21.97% de contenido de vacíos. Inicialmente se planteaba un 20% de vacíos y un peso unitario de 1800 kg/m³.

Como se expresó anteriormente, el encontrar un equilibrio entre las propiedades hidráulicas y mecánicas de la mezcla de concreto permeable, se asegurará un concreto

de calidad para el uso requerido que es el de filtrar el agua y así evitar que se formen películas de agua estancada.

Se obtuvo entonces 1.97% de más en porcentaje de vacíos, y 56.4 kg/m^3 de más en el peso unitario de la mezcla de diseño. Estos valores influirán directamente en las propiedades hidráulicas del concreto permeable, favoreciendo la percolación del agua sobre su estructura.

4.7. TASA DE PERMEABILIDAD

Al realizar el ensayo en el permeámetro de carga constante se obtuvo el valor de 15.92 mm/s. Valor que sobrepasa cualquier evento lluvioso que se haya registrado en la historia de la existencia humana. Por lo que cumple satisfactoriamente la mezcla de diseño.

4.8. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Aunque para el diseño de la estructura no es necesario este dato, podemos registrarlo y reportarlo para conocer más a fondo las propiedades mecánicas que este concreto tiene.

El promedio de 3 especímenes de 4" x 8" a 28 días de ensayo es de 104 kg/cm², debido a la inexistencia de una normativa que especifique el moldeo de especímenes para mezclas de concreto permeable, se hizo uso de la metodología que la National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA) utilizó para el diseño de un software de diseño de mezclas de concreto permeable.

4.9. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Este ensayo determina el Módulo de Ruptura del Concreto Permeable. Elaborados los 3 especímenes prismáticos y ensayados a 7, 14 y 28 días. Los resultados fueron los siguientes: 19 kg/cm², 23 kg/cm² y 24 kg/cm² respectivamente.

En los ensayos de compresión y resistencia a la flexión se observa que la adherencia de la pasta – agregado funciona satisfactoriamente, ya que los planos de falla que se generan afectan directamente al agregado junto con la pasta. Nos quiere decir que los enlaces o puentes que existe entre el agregado y la pasta son muy fuertes y que trabajan juntos ya que no “deslizan” sino más bien se “cortan”

4.10. MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

El valor del Módulo de Elasticidad es un parámetro en el diseño estructural para la determinación del espesor de concreto. El valor obtenido fue de 3.1×10^6 psi (2.2×10^5 kg/cm²). Para un concreto con cemento portland el valor está en el rango de 3×10^6 hasta 6×10^6 psi, cumpliendo el valor obtenido en nuestro diseño de mezcla.

4.11. DISEÑO ESTRUCTURAL

Haciendo uso del Software AIRPORT.EXE desarrollado por la Portland Cement Association (PCA) y con los datos obtenidos en el campo del módulo de reacción “k” compuesto (sub base granular más la subrasante), módulo de elasticidad del concreto permeable, módulo de ruptura del concreto permeable, presión de llanta del vehículo de diseño, área de contacto de la llanta del vehículo de diseño, período de diseño.

Se hizo iteraciones hasta llegar a un valor del espesor de losa de concreto permeable en la que las repeticiones de carga fueran ilimitadas.

El esfuerzo generado es de 65.5 psi y la relación de esfuerzos de 0.192; la Teoría de Minor establece que un valor debajo de 0.5 se considerará repeticiones ilimitadas.

Para el diseño de juntas se estableció trabajar con una relación largo ancho de 1, es decir losas cuadradas de 2.7 m x 2.7 m

4.12. DISEÑO HIDROLÓGICO

El evento lluvioso seleccionado para el cálculo correspondiente en el software de diseño hidrológico fue el ocurrido entre los días del 10 al 19 de Octubre de 2011 denominado DT 12E (Depresión Tropical 12E). Los datos aquí manejados son oficializados por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET).

La cantidad precipitada en 24 horas fue de 433 mm (17”), este dato se ingresará en el software ya que el cálculo lo realiza para un evento que dura 24 horas y que dependiendo del tipo de tormenta lo configura de tal manera que a través de las próximas 120 horas (5 días) haga una modelación del comportamiento del sistema respecto a los valores de permeabilidad del suelo, contenido de vacíos de la sub base granular, contenido de vacíos del concreto permeable, espesores de las distintas capas que conforman el pavimento, las áreas de las zonas permeables e impermeables adyacentes a la zona del concreto permeable. Generando como resultados la escorrentía total, el volumen que se filtrará en el sistema de pavimento de concreto permeable, los escenarios del sistema a través del tiempo.

Los datos de entrada son:

PARÁMETRO	VALOR
Espesor Concreto Permeable:	15 cm (5.9")
Contenido de Vacíos de Diseño:	20%
Área de Concreto Permeable:	296 m ² (3186.12 pies ²)
Espesor de Sub Base de Grava:	20 cm (7.87")
Contenido de vacíos:	40%
Área de Sub Base de Grava:	296 m ² (3186.12 pies ²)
Tasa de Exfiltración del Suelo:	3 mm/hr (0.120 pulg/hr)
Superficie impermeable adyacente:	80 m ² (862 pies ²)
Superficie permeable adyacente:	135 m ² (1453 pies ²)
CN (Curva Número):	69
Tipo de Tormenta:	IA (según SCS)
Precipitación (24 horas):	433 mm (17")
Período de Retorno:	2 años
CN objetivo:	65

Y los resultados finales fueron:

CN Efectivo	64
Escorrentía estimada	297.43 mm (11.71")
Almacenamiento usado disponible	100%
Almacenamiento Disponible después de 24 horas	0 %
Almacenamiento Disponible después de 5 días	100 %
Escenario después de 5 días	0 mm (0.0")
Tiempo adicional para drenar completamente el sistema	0 horas
Capacidad del concreto permeable	8.89 m ³
Capacidad de la sub base de grava	23.67 m ³
Volumen total precipitado	206.20 m ³
Volumen de exfiltración en 5 días	54.20 m ³
Total escorrentía	152.00 m ³

Referente a la CN objetivo (curva número) de 65 que es el valor al que tenemos por objetivo es satisfactoriamente logrado ya que el CN efectivo resultó ser de 64, esto indica que a medida el valor es menor, más permeable es el sitio por lo que teniendo inicialmente un valor de 69 se ha visto afectado el sitio en 5 unidades hacia abajo, impactando positivamente el sitio respecto a la permeabilidad y capacidad de captación de agua precipitada.

El software funciona con tipos de tormenta típicas en los Estados Unidos de América, por lo que se hace necesario saber el tipo de tormenta equivalente para nuestro país siendo la IA, esto lo clasificó la Soil Conservation Service (SCS).

De la 7a hora a la hora 24 en el sistema se generará escorrentía, es decir el sistema estará siendo utilizado en un 100% y en la hora 61 el sistema estará disponible en un 100%. Esto es en una condición ideal considerando que se mantiene constante la tasa de permeabilidad.

El sistema tiene la capacidad de almacenar 32.54 m^3 de agua. Para este evento lluvioso el sistema de pavimento de concreto permeable estará aportando al suelo 54.20 m^3 , y generando una escorrentía de 152.20 m^3 .

La gráfica y tabla de distribución de lluvia a través de 24 respecto al tipo de tormenta se presenta a continuación:

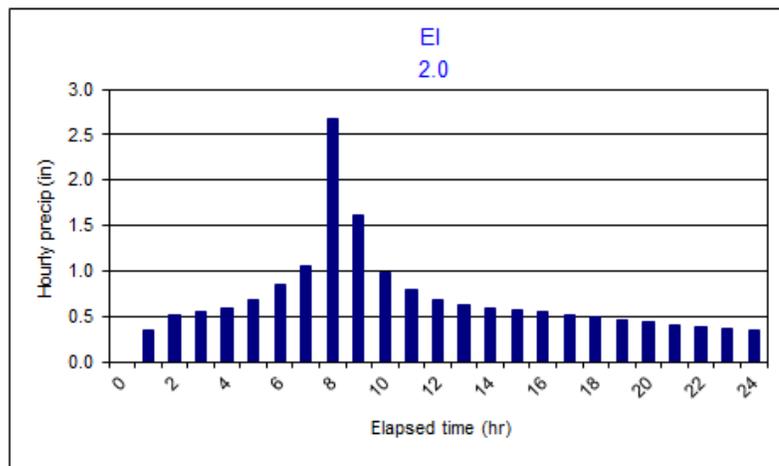


FIGURA 4.1 – Gráfico de simulación de lluvia de diseño distribuida en 24 horas

El comportamiento de la precipitación a través del tiempo, para un Tipo de Tormenta IA queda:

T (min)	T (hr)	Accum P (in)	Precip (in)
0	0.0	0.00	0.00
60	1.0	0.34	0.34
120	2.0	0.9	0.51
180	3.0	1.4	0.54
240	4.0	2.0	0.58
300	5.0	2.7	0.68
360	6.0	3.5	0.85
420	7.0	4.6	1.05
480	8.0	7.2	2.67
540	9.0	8.8	1.62
600	10.0	9.8	0.97
660	11.0	10.6	0.80
720	12.0	11.3	0.68
780	13.0	11.9	0.63
840	14.0	12.5	0.60
900	15.0	13.1	0.56
960	16.0	13.6	0.54
1020	17.0	14.1	0.51
1080	18.0	14.6	0.49
1140	19.0	15.1	0.46
1200	20.0	15.5	0.44
1260	21.0	15.9	0.41
1320	22.0	16.3	0.37
1380	23.0	16.7	0.36
1440	24.0	17.0	0.34

TABLA 4.4 – Distribución de cantidad de lluvia precipita en minutos en un período de 24 horas

CAPÍTULO V

Conclusiones y Recomendaciones

5.1. CONCLUSIONES

- El diseño de mezclas obtenido en laboratorio reúne las características indispensables y primordiales para un concreto permeable, donde las propiedades mecánicas e hidráulicas son las siguientes: permeabilidad de 15.92 mm/s, porcentaje de vacíos del 21.97%, resistencia a la flexión de 24 kg/cm², módulo de elasticidad estático de 2.2 x10⁵ kg/cm², desgaste por abrasión e impacto (sin esferas) en la máquina de los ángeles de un 30%
- La metodología del diseño de la mezcla se basó en la experiencia de la NRMCA (National Ready Mixed Concrete Association) y luego se ajustó mediante bachadas de prueba, en las que los parámetros hidráulicos (permeabilidad y velocidad de infiltración) y mecánicos (Módulo de Ruptura) deben lograr un equilibrio. La mezcla ha sido diseñada sin contenido alguno de agregado fino.
- Existen muchos métodos para colocar y compactar el concreto permeable, pero poco se sabe de los efectos de los métodos de construcción para una larga durabilidad. La energía de compactación relacionada con las propiedades del concreto permeable puede ayudar a lograr un equilibrio en resistencia y permeabilidad requerida.

- El contenido de vacíos de un concreto permeable está en función de tres factores para una cantidad constante de pasta y son: esfuerzo de compactación, forma y superficie de textura de partículas del agregado, coeficiente de uniformidad del agregado. Agregados más redondeados producen menos contenido de vacío al mismo esfuerzo de compactación. El contenido de vacíos efectivo disminuye al incrementar el coeficiente de uniformidad del agregado.
- Para el Diseño Estructural, se trabajó con el Software AIRPORT.EXE (desarrollado por la PCA). El resultado final del espesor es el producto de trabajar iterativamente con los valores obtenidos del diseño de mezcla, Módulo de Reacción k de la subrasante y sub base, Vehículo de Diseño, Módulo de Elasticidad Estático del Concreto. Aunque desconocemos la durabilidad de este sistema de pavimento, se ha tenido a bien diseñar para un período de 20 años. El vehículo de diseño es un liviano comercial tipo pick up doble cabina.
- La compactación de la subrasante deberá ser comparada con el Valor del Peso Seco Máximo del Próctor Estándar AASHTO T99, debido a que la energía de compactación del suelo no deberá afectar la permeabilidad, factor importante para la exfiltración del agua del sistema de concreto permeable.

- El sistema de pavimento de concreto permeable en comparación con el de concreto convencional, hace una excepción en aislar la subrasante ante la presencia del agua. El pavimento de concreto permeable está diseñado para captar el agua lluvia precipitada y conducirlo al suelo de subrasante para luego ser filtrada y recargar así los mantos acuíferos; o para ser conducida a sistemas de captación para su uso posterior.
- La lluvia de diseño ha sido seleccionada de datos oficiales emitidos por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), y es la correspondiente al evento lluvioso DT 12E (10 – 19 de Octubre de 2011) y que el máximo precipitado en 24 horas fue de 432 mm de lluvia.
- El software de Análisis Hidrológico desarrollado por la NRMCA, PCA y ACPA utiliza valores de lluvia precipitada en 24 horas y simula (con las condiciones hidráulicas del suelo donde se asentará la estructura del pavimento) el comportamiento del sistema durante 5 días respecto al volumen de agua que infiltrará, el volumen de agua de escorrentía, porcentaje de recepción de agua del sistema en tiempo, tiempo estipulado en completar la infiltración del agua en la estructura del pavimento.
- Los parámetros básicos para el buen funcionamiento de un pavimento de concreto permeable son:

- Las características hidráulicas y de capacidad de soporte del suelo sobre la que se asentará la estructura.
 - Las características topográficas del sitio (pendientes longitudinales y transversales)
 - El tráfico que circulará sobre él,
 - Las características de la mezcla de concreto permeable que se va a utilizar (Permeabilidad, Módulo de Ruptura).
-
- A partir de dichos parámetros, será posible obtener las características del pavimento: el espesor y dimensiones de las losas, y la necesidad de disponer de obras adicionales al sistema.

5.2. RECOMENDACIONES

- Para la selección del diseño de mezclas se necesita realizar diferentes batchadas de prueba y verificar las propiedades mecánicas e hidráulicas de estas, seleccionando aquel diseño que cumpla satisfactoriamente ambos ya que en gran medida el éxito de este sistema de pavimentos depende de ello.
- El uso de aditivos es opcional en proyectos donde no abarca un área muy grande, pero teniendo cuidado de colocar la mezcla de una manera rápida y eficiente sin afectar la calidad del concreto. Ya que el fraguado para este tipo de concreto es rápido comparado al de un concreto convencional.
- Es importante aclarar que el pavimento de Concreto Permeable está concebido para ser aplicado en estacionamientos vehiculares, calles de poco a mediano tráfico. También en aplicaciones tales como: aceras, senderos, fuentes, orillas de piscinas. No para tráficos vehiculares altos, a no ser que sirvan como sub bases drenantes en los que ayudaría en buena medida a evitar la migración de finos evitando así en futuro el fenómeno de bombeo.
- El uso de este sistema debe ser bien elaborado, observando todos los factores posibles por las cuales o afectaría al sistema de pavimento de concreto permeable, o el sistema afectaría a su entorno. Esto es cuando hay estructuras

aledañas que podrían verse afectadas por la infiltración de agua y generando a largo plazo un daño a dichas estructuras. Por lo que algunos autores indican que la distancia de un sistema de concreto permeable a una estructura tal como un edificio debe ser mayor de 4 metros.

- Una buena campaña geotécnica referente a la capacidad de soporte del suelo (CBR), placa de carga para la determinación del módulo de reacción “k”, densidad del suelo (Próctor), permeabilidad del suelo, límites y consistencia del suelo; nos proporcionará insumos necesarios y básicos para predecir el comportamiento del suelo de subrasante en condiciones desfavorables y cómo podría afectar la estructura de pavimento de concreto permeable que sustentará. Por lo que se hace necesario realizar de la mejor manera cada ensayo que servirá para el diseño de la estructura.
- Llevar a cabo la realización del tramo de prueba experimental, para verificar in situ y comparar los resultados obtenidos en laboratorio. Determinando cual es la diferencia entre sí y evaluando el porqué de los resultados.
- Evaluar y monitorear el desempeño estructural y funcional del pavimento a largo plazo, llevando un registro documental, fotográfico y de vídeo especialmente en el comportamiento del sistema ante eventos lluviosos de gran magnitud

- Realizar estudios acerca del proceso de colmatación y la prevención de la misma
- Estudiar como fallan los Pavimentos Rígidos de Concreto Permeable y dar soluciones para las técnicas de mantenimiento, reparación y rehabilitación
- Realización de una investigación para la elaboración de un catálogo de espesores, en función del suelo sobre el que se coloca la estructura del Pavimento Rígido de Concreto Permeable.
- Llevar a cabo más diseños de mezclas utilizando agregados de nuestro país para ir estableciendo comparativas en las características hidráulicas y mecánicas, pero también en el costo de producirlas para que el sistema sea accesible a la población.

BIBLIOGRAFÍA.

- Diseño de Mezclas de Concreto Poroso para Pavimentos Hidráulicos en El Salvador, Alas Aguilar, Ana; Zaldívar Cerón, Claudia; Portillo Donado, Marvin. Trabajo de Graduación Universidad Politécnica de El Salvador. 2009
- Resistencia Mecánica y Condiciones de Obra del Concreto Poroso en los Pavimentos según el Tipo de Granulometría, Meneses Ospina, Catalina; Bravo Erazo, César. Universidad de Medellín, 2007.
- CONCRETO POROSO DRENANTE DE ALTO DESEMPEÑO, Borrador de Especificaciones básicas (Documento en Revisión). Asocreto, 2003
- Propuesta de un manual de Laboratorio de Mecánica de Suelos Conforme a la Norma ASTM 2003. García Trejo, Sandra; Ramírez López, María. Trabajo de Graduación Universidad de El Salvador, 2006.
- Concrete Pavement Design, Construction, and Performance. Norbert Delatte, 2008.
- ACI Committee 522R-06. “Pervious Concrete”. American Concrete Institute. Farmington Hills, Mich.
- ACI Committee 522.1-08. “Specification for Pervious Concrete Pavement” American Concrete Institute. Farmington Hills, Mich.
- ACI Committee 522R-10. “Report on Pervious Concrete”. American Concrete Institute. Farmington Hills, Mich.

- ACI Committee 330R-01 “Guide for Design and Construction of Concrete Parking Lots”. American Concrete Institute. Farmington Hills, Mich.
- 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.

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 C566 – Método de Ensayo Estándar para Contenido de Humedad Total del Agregado por Secado.
- ASTM C 192/192M – Práctica Estándar para Elaboración y Curado en el Laboratorio de Especímenes de Concreto para Ensayo.
- ASTM C 1688 /1688M – Método de Ensayo Estándar para la Determinación del Contenido de Vacíos y Densidad de la Mezcla de Concreto Permeable en Estado Fresco
- ASTM C470 – Especificación Estándar de moldes para encofrado vertical de cilindros de concreto
- ASTM C39/39M – Método de Ensayo Estándar para Esfuerzo de Compresión en Especímenes Cilíndricos de Concreto.
- ASTM C1231 – Práctica Estándar para Uso de Tapas No Adheridas en la Determinación del Esfuerzo de Compresión de Cilindros de Concreto Endurecido.
- ASTM C78 – Método de Ensayo Estándar para Resistencia a la Flexión del Concreto (Usado viga simple con Carga a los Tercios del Claro)
- ASTM C469 – Método de Ensayo Estándar para la Determinación del Módulo de Elasticidad Estático del Concreto a Compresión”.
- ASTM C1701 – Método de ensayo estándar para la determinación de la tasa de infiltración en concreto permeable in situ.

- ASTM C42/42M – Método de Ensayo Estándar para la Obtención de Núcleos Taladrados y Vigas Aserradas.
- ASTM C94/94M – Especificación Estándar para Concreto Premezclado
- ASTM C131 – Método de Ensayo Estándar para la Resistencia al Desgaste de Agregado Grueso de Tamaño Pequeño por Abrasión e Impacto en la Máquina de Los Ángeles.
- ASTM C138/138M – Método de Ensayo Estándar para la Densidad (Peso Unitario), Rendimiento, y Contenido de Aire (Gravimétrico) 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 D422 – Método de Ensayo Estándar para Tamaños de Partícula para Análisis de Suelo.
- ASTM D448 – Clasificación Estándar para Tamaños de Agregado para Caminos y Construcción de Puentes

- ASTM D698 – Método de Ensayo Estándar para Laboratorio para las Características de Compactación del Suelo Utilizando Esfuerzo Estándar (12,400 pie-lbf/pie³ (600 kN-m/m³))
- ASTM D1557 – Método de Ensayo Estándar para Laboratorio para las Características de Compactación del Suelo Utilizando Esfuerzo Modificado (56,000 pie-lbf/pie³ (2,700 kN-m/m³))
- ASTM D1883 – Método de Ensayo Estándar para CBR (Relación de Soporte de California) de Suelos Compactados en Laboratorio.
- ASTM D2487 – Práctica Estándar para la Clasificación de Suelos para Propósitos de Ingeniería (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)
- ASTM D3385 – Método de Ensayo Estándar para la Tasa de Infiltración de Suelos en Campo Utilizando el Infiltrómetro de Doble Anillo.
- ASTM D1050 – Método de Ensayo Estándar para Impedancia y Absorción de Materiales Acústicos Utilizando un Tubo, Dos Micrófonos, y un Sistema Digital de Análisis de Frecuencia.

COMITÉS ACI

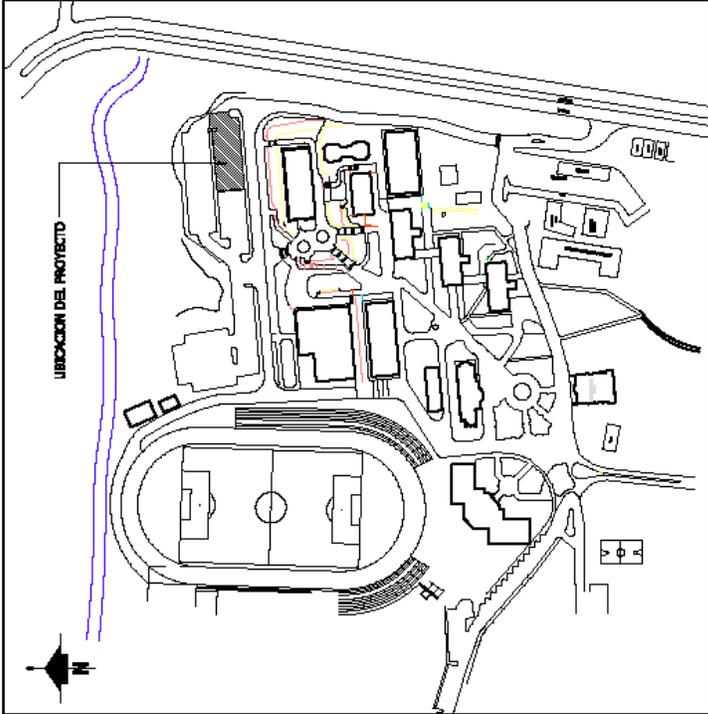
- ACI 211.3R – Guía para la Selección de Proporcionamiento de Concreto sin Revenimiento.
- ACI 305 – Colado en Clima Caliente
- ACI 116 – Terminología de Cemento y Concreto

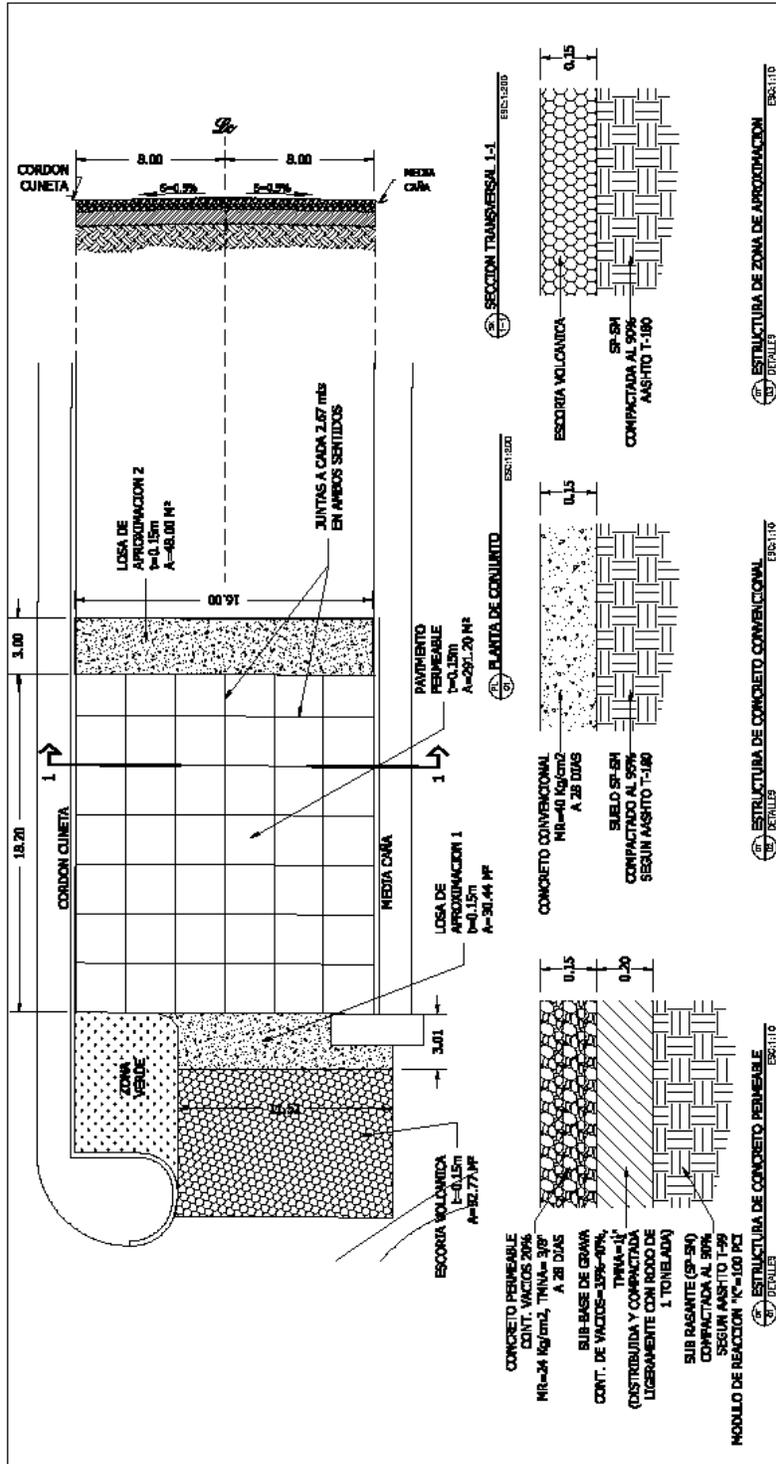
- ACI 212.1R – Aditivos para Concreto
- ACI 212.3R – Aditivos Químicos para Concreto

Artículo: Estudio de dosificaciones en laboratorio para pavimentos porosos de hormigón, Javier Castro, Hernán de Solminihac, Carlos Videla, Bonifacio Fernández.
2009

ANEXOS

Planos Constructivos

 <p style="text-align: center;">UBICACION DEL PROYECTO</p> <p style="text-align: center;">Facultad de Ingeniería y Arquitectura</p>	<p>Propietario: Universidad de El Salvador</p>  <p>Proyecto: Tramo de Prueba Experimental de un Pavimento Rígido de Concreto Permeable Estacionamiento Vehicular en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador</p> <p>Contenido: Plano de Ubicación Presenta: Br. Marlon Eblezer Vigil Sánchez Area: 684 m² = 979 vns²</p> <p>Asesores: Ing. Carlos Antonio Quintanilla Rodríguez - ISCYC Ing. Dilber Antonio Sánchez Vides - UES Ing. Mauricio Ernesto Valencia - UES</p> <p>Fecha de presentación: 09 de Diciembre de 2011 Escala: Sin Escala</p> <p>Hoja: 1/3</p>
--	---



Propietario: Universidad de El Salvador	Proyecto: Tramo de Prueba Experimental de un Pavimento Rígido de Concreto Permeable Estacionamiento Vehicular en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador	Contenido: Estructura del pavimento Presenta: Br. Marlon Eblezer Vigil Sánchez	Asesores: Ing. Carlos Quintanilla Rodríguez - ISCVC Ing. Dilber Antonio Sánchez Vidales - UES Ing. Mauricio Ernesto Valencia - UES	Hoja: 2/3

ANEXOS

Hoja Técnica de Aditivos Utilizados



VISCTROL

ADITIVO MODIFICADOR DE LA VISCOSIDAD

DESCRIPCIÓN

Es un aditivo líquido listo para usar, diseñado para modificar la viscosidad de concreto auto compactado. Al emplear VISCTROL en unión con aditivos superplastificantes se obtienen diámetros de extensibilidad de 18" - 28" (460-710 mm) sin segregación o disminución de la resistencia a la compresión.

APLICACIONES PRINCIPALES

- Modificador de viscosidad en concreto auto compactado.

BENEFICIOS

- Reduce de manera importante la segregación y sangrado.
- Dispersa uniformemente los agregados dentro de la mezcla.
- Elimina la necesidad de vibración.
- Mejora el reventamiento.
- Elimina segregación durante el bombeo.
- De fácil dosificación empleando los equipos convencionales de medición de flujo en aditivos.

APARENCIA

Es un aditivo de viscosidad media, líquido de color café oscuro, no cambia el color del concreto.

Densidad: 1.22 ± 0.01 Kg/L.

ENVASE

- Tambor de 200 Lt.
- Galón de 20 Lt.

INFORMACIÓN TÉCNICA

Proporciones de Mezcla

Contacte a su representante de Euclid México para una mejor asesoría.

Secuencia de adición

La secuencia de adición en un concreto auto compactado es crítica para optimizar el desempeño de cada aditivo empleado. Datos de laboratorio han mostrado que el siguiente orden de adición permite obtener un mejor resultado:

- Agente incorporador de aire (opcional).
- Reductores de agua (alto rango).
- Acelerante retardante (opcional).
- VISCTROL.

DOSIFICACION

La dosificación de VISCTROL puede variar ampliamente dependiendo de la relación agua/cemento y de la granulometría de los materiales usados. Consulte su representante de Euclid México para fijar una apropiada dosificación.

La dosis típica es de (30-230 mL/m³) para control de la segregación y del sangrado. Variables tales como la relación agua/cemento, granulometría de arena y diseño de mezcla juegan un papel muy importante. Se requieren mezclas de ensayo para optimizar la dosis requerida. Altas relaciones agua/cemento y altas cantidades de finos en un concreto auto compactado requieren altas dosis de VISCTROL, alrededor de 775 mL/m³.



The Euclid Chemical Company
www.euclidchemical.com.mx

IMI Concrete Admixtures and Fiber

MEGAFLOW

Reductor de Agua de Alto Alcance

DESCRIPCION

MEGAFLOW es un compuesto líquido color café, formulado con poderosos reductores de agua que funcionan de forma electro-química con las partículas del cemento. Al tener contacto con el cemento, **MEGAFLOW** hace que las partículas de cemento se carguen negativamente, causando que se repelan entre sí, produciendo un movimiento de plasticidad al tratar de polarizarse con una cantidad mínima de agua presente en la mezcla. Este fenómeno causa que se reduzca el agua de amasado substancialmente. Como resultado se produce un aumento de la resistencia a temprana y última edad. Se puede obtener resistencias muy altas a temprana edad. Esta alta resistencia puede reducir o eliminar en algunos casos el uso de curado a vapor o por calor en operaciones de prefabricado o reforzado. El uso de losas de piso y secciones de carreteras el próximo día, usando **MEGAFLOW** es posible. Aditivos suplementarios como retardadores, acelerantes de fraguado, reductores de agua o impermeabilizantes se pueden usar con **MEGAFLOW** cuando sea necesario.

USO

- ? Para producir concreto con resistencias muy altas a edades de 18 a 24 horas.
- ? Para producir concreto fluido
- ? Para la fabricación de concreto prefabricado o reforzado sin el uso de vapor.
- ? Para acelerar la rehabilitación de reparaciones en losas de concreto o pavimentos.

INFORMACION TECNICA

MEGAFLOW cumple con la norma ASTM C-494 Tipo F y no contiene cloruro.

VENTAJAS

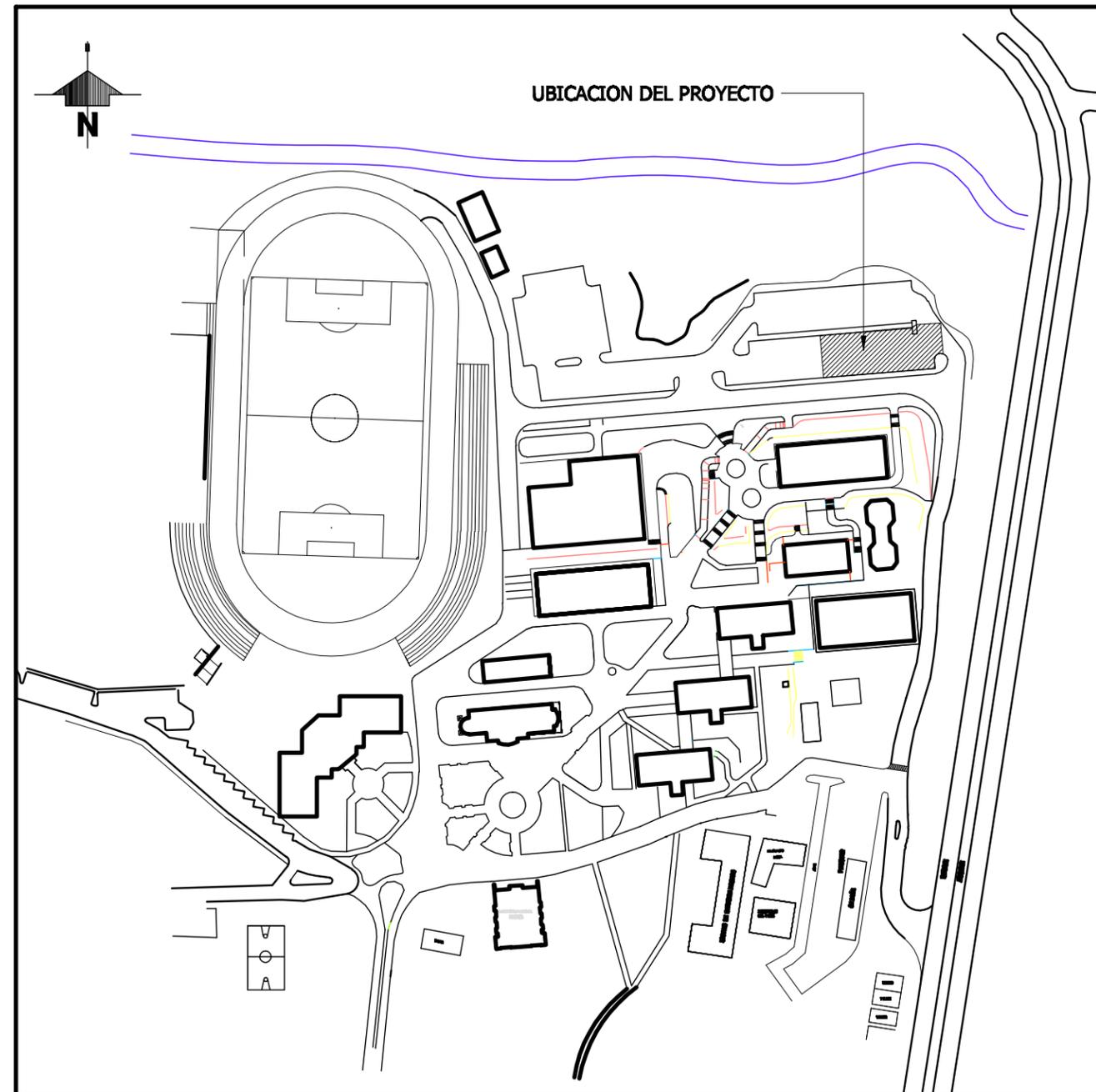
- ? Aumento a temprana edad de la resistencia a la compresión, flexión y adherencia que se obtiene por la reducción de 15% a 30% de agua que produce.
- ? Reduce el contenido de cemento substancialmente mientras mantiene el nivel de resistencia y trabajabilidad deseado.

INTERNATIONAL MATERIALS INDUSTRIES, L.L.C.

2131 Peters Road* Harvey, Louisiana 70058 * PHONE: (504) 227-9944 * Fax: (504) 227-9040

Final 23 Av Sur # 480 San Salvador, Telefono (503) 221-2299 Cel (503) 700-4321

GARANTIA: La información que contiene esta ficha técnica está basada en pruebas e información de fuentes confiables; sin embargo, no se ofrece garantía ni responsabilidad implícita o explícita en 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 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.



FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Proptario:
Universidad de El Salvador



Proyecto:
Tramo de Prueba Experimental de un Pavimento Rígido de Concreto Permeable Estacionamiento Vehicular en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador

Contenido:
Plano de Ublcacion
Presenta:
Br. Marlon Eblezer Vigil Sánchez

Area:
684 m² = 979 vrs²

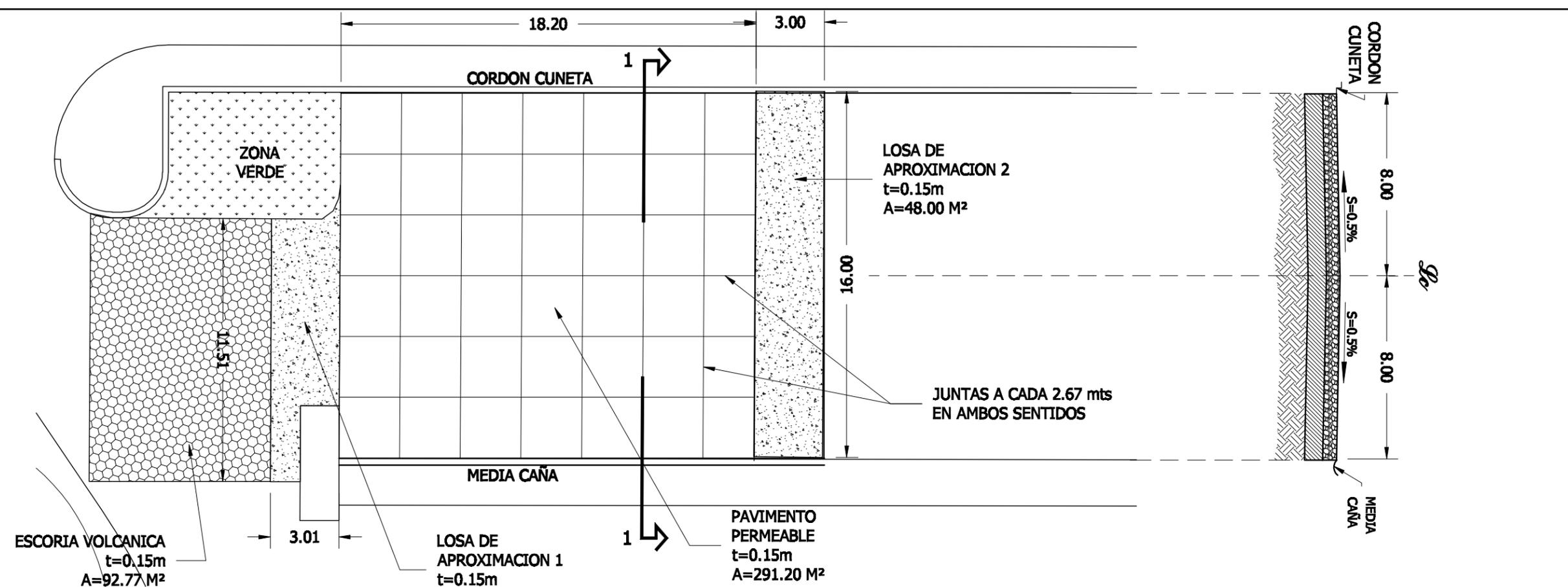
Asesores:
Ing. Carlos Antonio Quintanilla Rodríguez - ISCYC
Ing. Dilber Antonio Sánchez Vides - UES
Ing. Mauricio Ernesto Valencia - UES

Fecha de presentacion:
09 de Diciembre de 2011

Escala:
Sin Escala

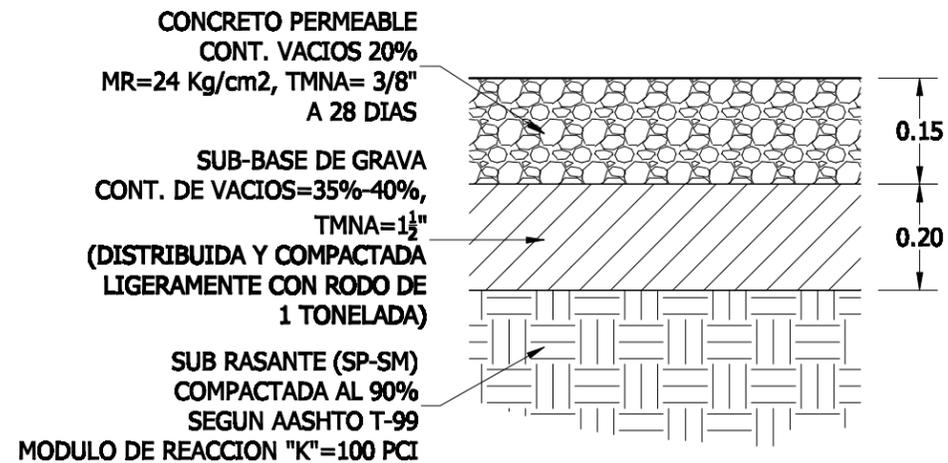
Hoja:

1/3

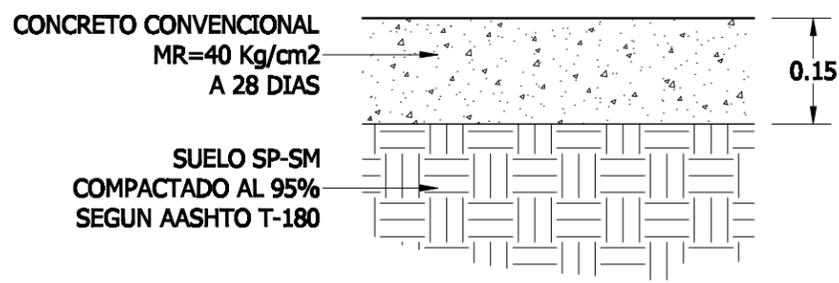


PL 01 PLANTA DE CONJUNTO ESC:1:200

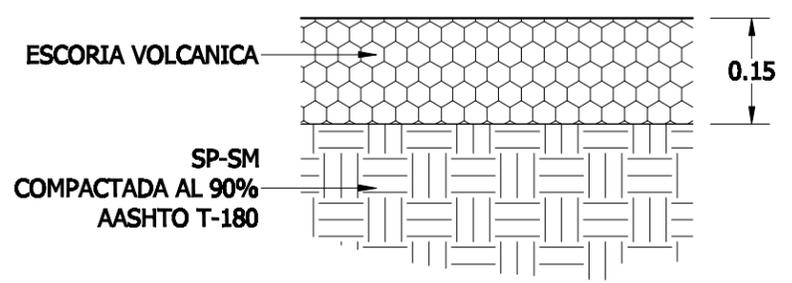
SX 1-1 SECCION TRANSVERSAL 1-1 ESC:1:200



DT 01 ESTRUCTURA DE CONCRETO PERMEABLE DETALLES ESC:1:10



DT 02 ESTRUCTURA DE CONCRETO CONVENCIONAL DETALLES ESC:1:10



DT 03 ESTRUCTURA DE ZONA DE APROXIMACION DETALLES ESC:1:10

Proptetario:
Universidad de El Salvador

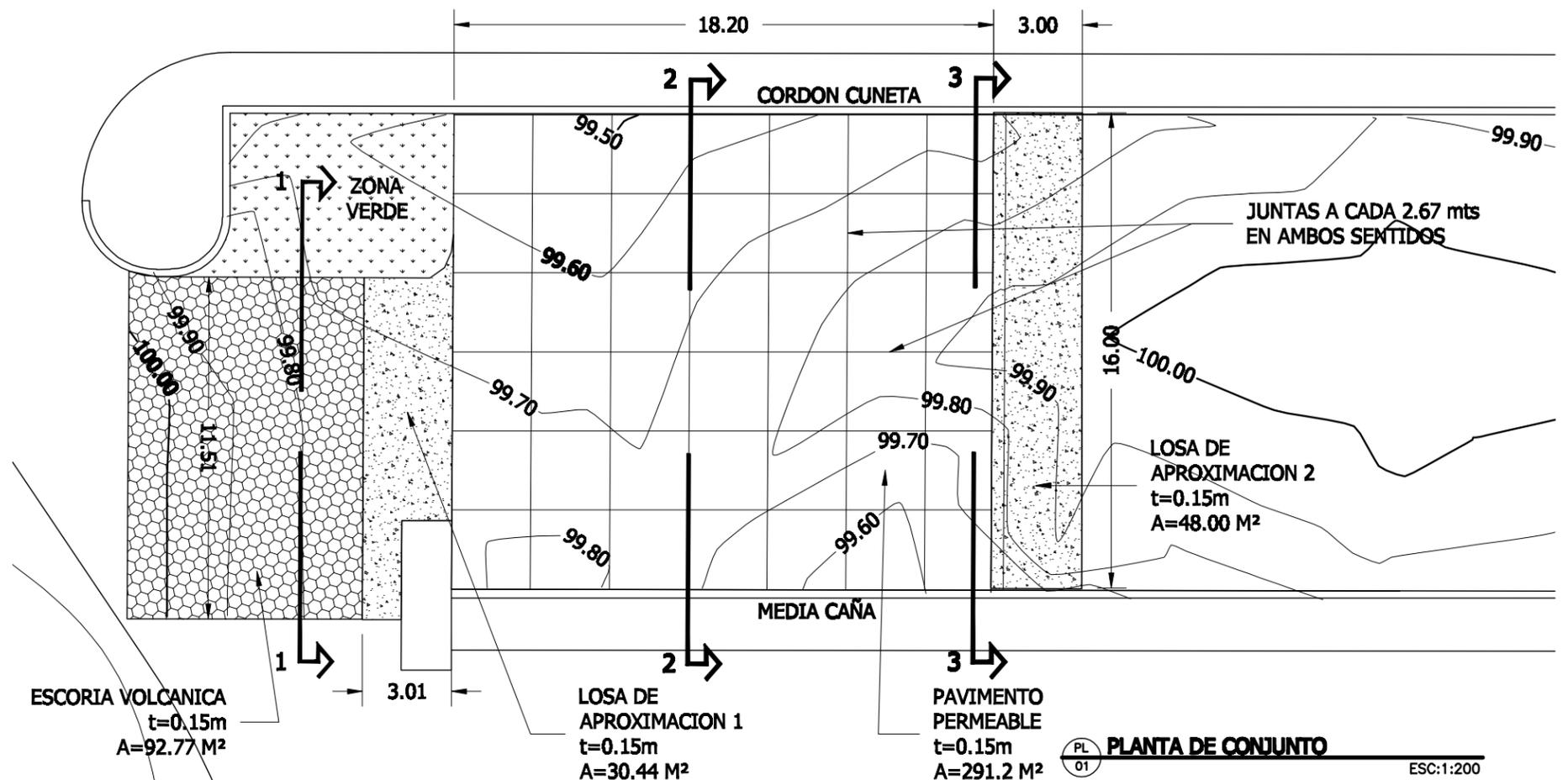


Proyecto:
Tramo de Prueba Experimental de un Pavimento Rígido de Concreto Permeable Estacionamiento Vehicular en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador

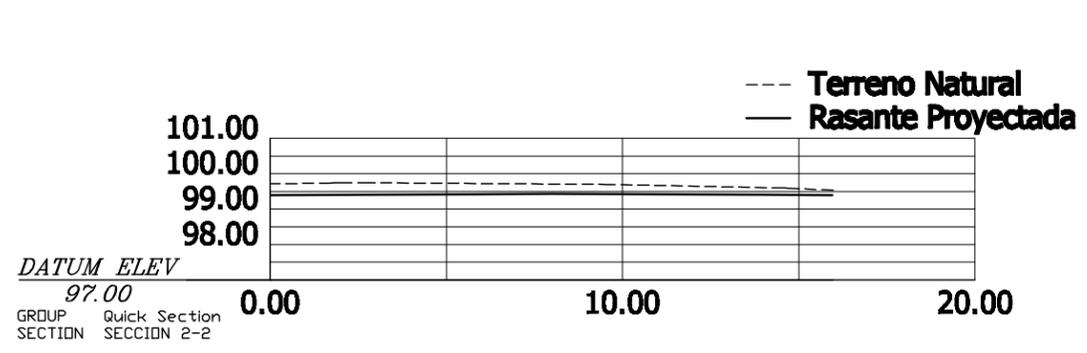
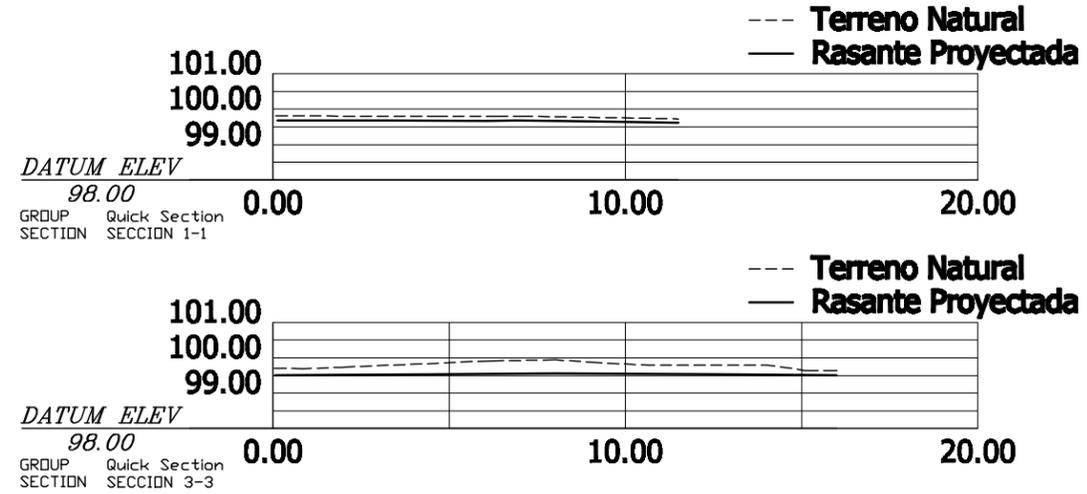
Contenido:
Estructura del pavimento
Presenta:
Br. Marlon Ebiezer Vigil Sánchez
Area:
684 m² = 979 vrs²

Asesores:
Ing. Carlos Antonio Quintanilla Rodríguez - ISCYC
Ing. Dilber Antonio Sánchez Vides - UES
Ing. Mauricio Ernesto Valencia - UES
Fecha de presentacion:
09 de Diciembre de 2011
Escala:
Indicadas

Hoja:
2/3



Site	Stratum	Surf1	Surf2	Site Volume Table		Net	Method
				Corte	Repleno		
				M3	M3	M3	
Estacionamiento Concreto Permeable							
losa de aproximacion 1	levantamiento	LA1		4.40	0.00	4.40 (C)	Composite
losa concreto permeable	levantamiento	ecp		98.78	0.00	147.34 (C)	Composite
losa de aproximacion 2	levantamiento	la2		8.32	0.00	5.10 (C)	Composite
zona de aproximacion	levantamiento	za		12.29	0.00	12.29 (C)	Composite
TOTAL				169.13	0.00		



Propietario: Universidad de El Salvador		Proyecto: Tramo de Prueba Experimental de un Pavimento Rígido de Concreto Permeable Estacionamiento Vehicular en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador	Contenido: Cortes y terracería	Asesores: Ing. Carlos Antonio Quintanilla Rodríguez - ISCYC Ing. Dilber Antonio Sánchez Vides - UES Ing. Mauricio Ernesto Valencia - UES	Hoja: 3/3
			Presenta: Br. Marlon Eblezer Vigil Sánchez			Fecha de presentacion: 09 de Diciembre de 2011	Escala: Indicadas
			Area: 684 m² = 979 vrs²		