

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



Universidad de El Salvador
Hacia la libertad por la cultura

TEMA:

**“COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO
AGREGADO GRUESO DE LAS CANTERAS, EL CARMEN, ARAMUACA Y
LA PEDRERA, DE LA ZONA ORIENTAL DE EL SALVADOR”**

PRESENTAN:

BARAHONA AGUILUZ, RENE ALEXIS

MARTINEZ GUERRERO, MARLON VLADIMIR

ZELAYA ZELAYA, STEVEN EDUARDO

PARA OPTAR POR EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

DOCENTE DIRECTOR:

ING. JOSÉ LUIS CASTRO CORDERO

FEBRERO 2013

SAN MIGUEL, EL SALVADOR, CENTRO AMERICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

Ing. Mario Roberto Nieto Lovo

VICERRECTOR ACADEMICO:

Maestra. Ana María Glower de Alvarado

SECRETARÍA GENERAL:

Ana Leticia Zavaleta de Amaya

FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL

DECANO:

Lic. Cristóbal Hernán Ríos

SECRETARIO:

Lic. Jorge Alberto Ortíz Hernández

**JEFE DE DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA:**

Ing. Luis Clayton Martínez

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

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OPCIÓN AL
GRADO DE:**

INGENIERO CIVIL

TITULO:

**“COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PERMEABLE
UTILIZANDO AGREGADO GRUESO DE LAS CANTERAS, EL
CARMEN, ARAMUACA Y LA PEDRERA, DE LA ZONA
ORIENTAL DE EL SALVADOR”**

PRESENTADO POR:

**BARAHONA AGUILUZ, RENE ALEXIS
MARTINEZ GUERRERO, MARLON VLADIMIR
ZELAYA ZELAYA, STEVEN EDUARDO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

DOCENTE DIRECTOR:

ING. JOSÉ LUIS CASTRO CORDERO

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO 2013.

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

Ing. José Luis Castro Cordero
DOCENTE DIRECTOR

Ing. Milagro de María Romero de García
COORDINADORA DE PROCESOS DE GRADUACIÓN

AGRADECIMIENTOS

Con todo Nuestro Corazón Agradecemos a Dios Todopoderoso por permitirnos culminar nuestros estudios Universitarios, ya que su sabiduría, misericordia y protección estuvieron siempre con nosotros a lo largo de esta travesía.

A nuestros padres, hermanos, familiares y amigos que han depositado en nosotros su confianza, estando presentes en ellos esa disposición a brindarnos su apoyo y permitir que exista en sus corazones esa *fe* que les hace creer que somos capaces de lograr nuestras metas.

A nuestro Docente Director, Ing. José Luis Castro Cordero por su dedicación, paciencia, por sus exigencias que nos demuestran cómo ser mejores tanto profesional como estudiantilmente, por ese ahínco y espíritu de enseñanza que posee que permite que el alumno se esmere y se esfuerce para obtener buenos resultados. A la Ing. Milagro de María Romero por su bondad y carisma en el momento de enseñarnos, brindándonos siempre el respeto, consideración y grado de importancia que nos merecemos como estudiantes y personas.

Al Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto ISCYC por el patrocinio, apoyo y conocimientos que nos brindaron, gracias Ing. Alejandro González (Director Ejecutivo ISCYC), Ing. Carlos Quintanilla por prestarse a impartir en nosotros su conocimiento, al Ing. Marlon Vigil que con paciencia y dedicación nos enseñó, Ing. Carlos Ernesto Montoya Cuadra (Jefe Planta HOLCIM San Miguel) y Téc. Nery Salinas Gamero (Técnico de Laboratorio planta HOLCIM San Miguel), gracias a ellos por el tiempo que nos brindaron y la oportunidad de utilizar el laboratorio para realizar las pruebas.

Y como futuros Ingenieros Civiles, estamos dispuesto a brindar nuestros servicios a beneficio de la sociedad, poniendo en práctica nuestros conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrera.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi Padre Baltazar Alejandro Barahona Q.E.P.D, que a pesar de que a mi temprana edad partió con Dios, pero su amor y cariño siempre han estado conmigo y sé que desde el seno de Dios él ha cuidado de mí.

A mi madre Francisca Aguiluz Martínez por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada por su amor.

A mi hermana Yessica Roció Chicas Aguiluz, que ha estado junto a mí siempre, por el amor y la comprensión que ha mostrado hacia mí, por el respeto y colaboración, espero poder compartir también todos sus logros.

A mi Padrastro José Manuel chicas por el apoyo incondicional que me ha brindado y por cuidar de mi madre siempre, mil gracias.

A mi Prima Ana Yancy Márquez Aguiluz, por su gran Apoyo emocional, económico, que fue quien me inspiro a seguir adelante y a no desfallecer. Por su incondicional apoyo en las buenas y en las malas, porque gracias a ella he logrado este importante logro.

A mis primos/as en especial a Edwin Eli Garmendez Umaña, Gladys Márquez Aguiluz, Alba Gloria Aguiluz Márquez, Walter Aguiluz, que se encuentran en el exterior, que a pesar de la distancia siempre estuvieron conmigo y por haberme brindado un apoyo incondicional en los momentos que más lo necesite.

A toda mi familia en particular a tía Pilar Aguiluz Martínez por sus consejos y oraciones hacia mí, a mi tío Manuel Aguiluz Martínez, Juan Aguiluz Martínez,

que me apoyaron en la primera etapa de mi carrera y porque siempre confiaron en mí que lo iba a lograr, con sus experiencias me guiaron por el camino correcto.

A Ana Lenis Ramírez Fuentes por ser una persona especial en mi vida, porque ha sido pieza fundamental en el rompecabezas de este triunfo, por su ayuda desinteresada, por ser mi confidente, mi amiga y mi novia, a toda su familia mil gracias.

A mis amigos, especialmente a Cristhian Alexander Torres y a su esposa Ana Ester Montano Córdova por haberme apoyado en los momentos que más lo necesitaba incondicionalmente, mil gracias.

A mis amigos y compañeros que nos apoyamos mutuamente en el desarrollo de nuestra formación académica. En especial a mis compañeros de tesis Steven Zelaya por el entusiasmo, esfuerzo y dedicación que manifestó en el trabajo de graduación; a Marlon Guerrero por ser un buen compañero en todo lo largo de la carrera.

A los docentes directores, Por habernos apoyado incondicionalmente, orientándonos y brindándonos su tiempo y conocimientos.

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

RENE ALEXIS BARAHONA AGUILUZ.

DEDICATORIA

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

A mi papá y a mi mamá José Alfredo Martínez Ramos, Ana Refugio Guerrero de Martínez respectivamente mencionado, por haberme alentado y apoyado en todos los momentos de mi vida, ya que han sido mi guía, mis maestros y mis amigos desde mi niñez, sin su presencia jamás hubiera logrado ser un profesional.

A mis Hermanos Isaac y Alba porque ellos han estado desde siempre en mi vida siendo parte fundamental para culminar este logro.

A mis Amigos y Compañeros de tesis Rene y Steven, Por ser desde que los conocí los compañeros, los amigos y se podría llamar casi hermanos, a ustedes los dedico este logro, porque juntos nos hemos apoyada en diferente parte de nuestra carrera y nuestra vida.

A mi hijo Diego Vladimir Martínez Quinteros, que has sido una gran bendición en mi vida te dedico este logro hijo a estos dos meses de nacido que tenes porque sé que un día leerás este documento (tesis) y sé que te servirá de motivación y orgullo. Te quiero mucho hijo y ánimo.

Al Ing. Jaime Perla Palacios, por haber sido un maestro para la vida como Profesional.

A todos muchas gracias por el apoyo que me ha brindado.

MARLON VLADIMIR MARTÍNEZ GUERRERO.

DEDICATORIA

Citando el Salmo 136:1 digo “Dad Gracias y alabanzas a DIOS porque él es bueno y para siempre su misericordia”, Mi Amado Dios este Triunfo te le dedico a ti Padre Eterno que a lo largo de mi vida usted es quien ha estado conmigo en cada instante y le doy Gracias Infinitamente porque usted es quien me proveyó de las fuerzas y por su misericordia es que he llegado donde estoy, y con todo mi corazón digo ¡Gracias Dios!

A mis Padres Olga Zelaya y Oswaldo Zelaya que con sus palabras y afecto me alientan día a día a seguir adelante y no desmayar. Gracias por todas esas veces que se sacrificaron por mí y llenos de esmero y esfuerzo me han brindado lo indispensable, Gracias queridos Padres ustedes son el motor de mi vida. A mis hermanos Katherinne Zelaya y Edwin Zelaya, por brindarme instantes de alegría y permitir que exista entre nosotros ese espíritu de hermandad, y ese amor fraternal que siempre nos ha caracterizado. Mi gran Familia Zelaya, todos mis tíos, mis primos, que si los menciono uno a uno la lista sería interminable, pero sé que todo el tiempo sus palabras han sido un soporte para mí y sin duda son una bendición. A mi Tía Emilia Zelaya por sacrificarse a sí misma para garantizar mi cuidado y bienestar en mi época de infancia. Y a mis queridos abuelos (Q.D.D.G) cuyas palabras y recuerdos llevo en mente y en mi corazón. A la Familia Luna Laínez por abrirme las puertas de su hogar, brindarme el apoyo, confianza y aquellas palabras de consejo ánimo y aliento que nunca faltaron. Y en Especial a la Sra. Nurian Luna por ser ese faro que me ilumina con momentos felices y me dota de muchos instantes de alegría.

A mis compañeros de Tesis Marlon Guerrero y Rene Barahona, como olvidar todas las noches de desvelo, semanas reunidos, horas de clase el tiempo que

hemos convivido lo que ha conllevado desarrollar esa camaradería, ese compañerismo, esa amistad que con el tiempo esperamos que no se pierda y sin duda a lo largo de la carrera nos hemos transformado mutuamente en nuestra propia escuela aprendiendo el uno del otro. ¡Gracias Bichos por Permitirme trabajar con ustedes!

A mi compañera y Amiga; Milagro Zambrano que estuvo conmigo desde el primer ciclo de la Universidad y ha estado lo largo de todo este tiempo, celebrando mis triunfos, alentándome ante mis momentos de flaqueza, demostrándome ese apoyo incondicional en cada instante. Eh conocido muchas personas, pero entre los pocos que tiene el título de amigos estas tú, ¡Gracias por ser mi amiga!

A mi tutor a lo largo de la Carrera Ing. Mauricio Zelaya que me ha instruido sobre la carga académica de cada materia y siempre estuvo dispuesto a brindarme la información y ayuda que necesité.

A mis hermanos de la Iglesia De Dios Pentecostal M.I, a la familia Pastoral Alfredo y Dinora Hernández por sus múltiples oraciones, alentarme en los momentos de angustia, darme sus consejos y apoyo espiritual.

Y en fin no hay palabras que manifiesten la gratitud en mi corazón, el cual es un símbolo de nobleza y dignidad que prevalecerá como baluarte en mi vida.

STEVEN EDUARDO ZELAYA ZELAYA.

INDICE

<i>INDICE</i>	<i>xi</i>
<i>1.1 INTRODUCCION</i>	<i>2</i>
<i>1.2 ANTECEDENTES</i>	<i>4</i>
<i>1.3 JUSTIFICACION</i>	<i>7</i>
<i>1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</i>	<i>8</i>
<i>1.5 OBJETIVOS</i>	<i>10</i>
<i>1.5.1 OBJETIVO GENERAL</i>	<i>10</i>
<i>1.5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS</i>	<i>10</i>
<i>1.6 ALCANCES</i>	<i>11</i>
<i>1.7 LIMITACIONES</i>	<i>12</i>
<i>1.8 METODOLOGIA</i>	<i>13</i>
<i>1.8.1 TIPO DE INVESTIGACION</i>	<i>13</i>
<i>1.8.2 UNIDAD DE ANALISIS</i>	<i>13</i>
<i>1.8.3 MUESTRA</i>	<i>14</i>
<i>1.8.3.1 PRUEBA DE COMPRESIÓN DE CILINDROS:</i>	<i>14</i>
<i>1.8.3.2 PRUEBA DE RESISTENCIA A FLEXIÓN</i>	<i>15</i>
<i>1.8.3.3 PRUEBA DE INFILTRACIÓN CILINDROS:</i>	<i>15</i>
<i>1.8.4 DESCRIPCCION DE VARIABLES</i>	<i>15</i>
<i>1.8.5 TECNICAS DE RECOLEPCION DE DATOS</i>	<i>16</i>
<i>1.8.5.1 PRUEBA DE INFILTRACIÓN</i>	<i>16</i>
<i>1.8.5.2 PRUEBA DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN</i>	<i>17</i>
<i>1.8.5.3 PRUEBA DE RESISTENCIA A FLEXIÓN</i>	<i>17</i>
<i>1.8.6 PROCEDIMIENTO DE DATOS</i>	<i>17</i>
<i>1.8.7 ANALISIS DE RESULTADOS</i>	<i>18</i>
<i>2.1 MARCO TEORICO</i>	<i>19</i>
<i>2.1.1 MARCO CONCEPTUAL</i>	<i>20</i>
<i>2.1.1.1 CONCRETO PERMEABLE</i>	<i>20</i>
<i>2.1.2 GENERALIDADES DEL CONCRETO</i>	<i>24</i>
<i>2.1.2.1 INTRODUCCIÓN GENERAL AL CONCRETO</i>	<i>24</i>
<i>2.1.2.2 DEFINICIÓN DEL CONCRETO</i>	<i>24</i>
<i>2.1.2.3 CONCRETO RECIÉN MEZCLADO</i>	<i>29</i>

2.1.2.4 PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO	30
2.1.2.4.1 TRABAJABILIDAD	31
2.1.2.4.2 SANGRADO Y ASENTAMIENTO.....	32
2.1.2.4.3 CONSOLIDACIÓN	33
2.1.2.4.4 HIDRATACIÓN, TIEMPO DE FRAGUADO Y ENDURECIMIENTO.....	35
2.1.2.4.5 COHESIVIDAD.....	36
2.1.2.4.6 LA EXUDACION.....	37
2.1.2.4.7 PESO UNITARIO.....	37
2.1.2.4.8 UNIFORMIDAD	37
2.1.2.5 PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO	37
2.1.2.5.1 CURADO.....	38
2.1.2.5.2 VELOCIDAD DE SECADO DEL CONCRETO.....	39
2.1.2.5.3 RESISTENCIA.....	40
2.1.2.5.4 PERMEABILIDAD Y ESTANQUIDAD.....	43
2.1.2.5.5 RESISTENCIA A LA ABRASIÓN	45
2.1.2.5.6 DURABILIDAD AL INTEMPERISMO	46
2.1.2.5.7 RESISTENCIA AL CONGELAMIENTO Y DESHIELO.....	46
2.1.2.5.8 REACTIVIDAD ÁLCALI-AGREGADO	46
2.1.2.5.9 CARBONATACIÓN.....	48
2.1.2.5.10 RESISTENCIA QUÍMICA	49
2.1.2.5.11 SULFATOS Y CRISTALIZACIÓN DE SALES	50
2.1.2.5.12 EXPOSICIÓN DEL CONCRETO A AGUA SALINAS	52
2.1.3 ELEMENTOS DEL CONCRETO.....	53
2.1.3.1 ELEMENTOS DEL CONCRETO.....	53
2.1.3.2 CEMENTO	54
2.1.3.2.1 TIPOS BÁSICOS DE CEMENTOS:.....	55
2.1.3.2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS CEMENTOS.....	55
2.1.3.2.3 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS CEMENTOS.....	57
2.1.3.3 AGREGADOS	59
2.1.3.4 AGUA.....	63
2.1.3.5 ADITIVOS.....	65
2.4 TIPOS DE CONCRETO.....	67
2.1.4.1.1 CONCRETO LIGERO ESTRUCTURAL.....	68
2.1.4.1.2 CONCRETOS LIGEROS AISLANTES Y DE RESISTENCIA MODERADA.....	69

2.1.4.1.4 CONCRETO DE DENSIDAD ELEVADA.....	72
2.1.4.1.5 CONCRETO MASIVO.....	73
2.1.4.1.6 CONCRETO CON AGREGADO PRECOLOCADO.....	78
2.1.4.1.7 CONCRETO SIN REVENIMIENTO	79
2.1.4.1.8 CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS	80
2.1.4.1.9 CONCRETO LANZADO	84
2.1.4.1.10 CONCRETO DE CONTRACCIÓN COMPENSADA	86
2.1.4.1.11 CONCRETO BLANCO Y CONCRETO COLOREADO	87
2.1.4.1.12 CONCRETO DE CEMENTO PORTLAND POLIMERIZADO	89
2.1.4.1.13 FERROCEMENTO.....	89
2.1.5 CONCRETO PERMEABLE	91
2.1.5.1 GENERALIDADES	91
2.1.5.2 DEFINICION DE CONCRETO PERMEABLE	91
2.1.5.3 MARCO HISTORIO DEL CONCRETO PERMEABLE.....	92
2.1.5.4 IMPORTANCIA DEL USO DE CONCRETO PERMEABLE.....	93
2.1.5.5 PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE	97
2.1.5.5.1 REVENIMIENTO 0-2 MM:.....	98
2.1.5.5.2 PESO UNITARIO.....	98
2.1.5.5.3 TIEMPO DE FRAGUADO.....	99
2.1.5.5.4 POROSIDAD.....	99
2.1.5.5.5 PERMEABILIDAD.....	100
2.1.5.5.6 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	100
2.1.5.5.7 CONTENIDO DE AIRE / UNIDAD DE PESO	103
2.1.5.5.8 TASA PERCOLACIÓN.....	104
2.1.5.5.9 DURABILIDAD.....	106
2.1.5.5.10 ABSORCIÓN ACÚSTICA	108
2.1.5.6 VENTAJA Y DESVENTAJAS.....	109
2.1.5.6.1 LAS VENTAJAS DEL CONCRETO PERMEABLE SON:	109
2.1.5.6.2 DESVENTAJAS	113
2.1.5.7 MATERIALES.	116
2.1.5.7.1 LOS ÁRIDOS.....	117
2.1.5.7.2 MATERIALES CEMENTANTE	117
2.1.5.7.3 AGUA	117
2.1.5.7.4 LOS ADITIVOS	118

2.1.5.8	APLICACIONES DEL CONCRETO PERMEABLE	118
2.1.5.8.1	BERMAS DE PAVIMENTO RÍGIDO CON TRÁFICO MUY PESADO.....	119
2.1.5.8.2	BASES DE PAVIMENTOS.....	120
2.1.5.8.3	CAPA DE RODADURA	122
2.1.5.8.4	COMO SISTEMA DE DRENAJE.....	124
2.1.5.8.5	USOS Y OTRAS APLICACIONES TÍPICOS INCLUYEN:	124
2.1.5.8.6	DESEMPEÑO, COLOCACION Y DISEÑO.....	125
2.1.5.9	DISEÑO DE MEZCLA.....	125
2.1.5.9.1	CRITERIOS DE DOSIFICACIÓN	126
2.1.5.10	PAVIMENTOS DE CONCRETO PERMEABLE.....	126
2.1.5.11	PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE PAVIMENTOS DE CONCRETO PERMEABLE	128
2.1.5.11.1	PREPARACIÓN DE LA SUBRASANTE Y DISEÑO.....	129
2.1.5.11.2	COLOCACIÓN.....	129
2.1.5.11.3	CONSOLIDACION	133
2.1.5.11.5	CURADO Y PROTECCIÓN.....	137
2.1.5.12	MATENIMIENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO PERMEBLE.....	139
2.1.5.12.1	ACTIVIDADES TÍPICAS DE MANTENIMIENTO EL CONCRETO PERMEABLE.	139
2.1.5.12.2	REPARACIÓN DE PAVIMENTOS DE CONCRETO PERMEABLE	141
2.1.5.13	CONTROL DE CALIDAD DE INSPECCIÓN Y ENSAYO	141
2.1.5.13.1	PRE-INSPECCIÓN	141
2.1.5.13.2	INSPECCIÓN Y PRUEBAS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN	142
2.1.5.13.3	POSTCONSTRUCTION INSPECCIÓN Y PRUEBAS.....	143
2.2	MARCO NORMATIVO	145
2.2.1	MARCO NORMATIVO NACIONAL.....	145
2.2.2	MARCO NORMATIVO INTERNACIONAL.....	146
2.2.2.1	NORMAS “AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM)” 147	
2.2.2.2	NORMAS AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI).....	150
2.3	MARCO LEGAL.....	152
2.3.1	INTRODUCCION AL MARCO LEGAL.....	152
2.3.2	LEYES APLICABLES AL CONCRETO PERMEABLE EN EL SALVADOR	154
2.7.2.1	ARTÍCULOS “LEY DE MEDIO AMBIENTE”	154
3.0	EJECUCION DE PRUEBAS.....	161

3.1 EJECUCION DE PRUEBAS A LOS AGREGADOS.....	161
3.1.1 ENSAYO GRANULOMETRICO DE AGREGADO GRUESO ASTM C-136.....	161
3.1.1.1 MATERIALES Y EQUIPO.....	162
3.1.1.2 PROCEDIMIENTO.....	165
3.1.2 MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA DENSIDAD DE MASA (“PESO UNITARIO”) Y VACIOS EN AGREGADO ASTM C-29.....	171
3.1.2.1 MATERIAL Y EQUIPO.....	171
ASTM C-29 “MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA DENSIDAD DE MASA (“PESO UNITARIO”) Y VACIOS EN AGREGADO”	174
3.1.3 METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA, (GRAVEDAD ESPECIFICA) Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO ASTM C-127.....	175
3.1.3.2 RESUMEN DE PROCEDIMIENTO	175
3.1.3.3 DOCUMENTACION DE LA PRUEBA.....	176
ASTM C-127 “METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA, (GRAVEDAD ESPECIFICA) Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO”	178
3.2 DISEÑO DE MEZCLA PARA CONCRETO PERMEABLE.....	179
3.3 RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS (ASTM C-39) Y RESISTENCIA A FLEXION DE CONCRETO (ASTM C -293).....	187
3.3.1 DOCUMENTACION DE PRUEBA.....	191
3.3.1.1 ELABORACION DE ESPECIMENES.....	191
3.3.1.2 CURADO DE ESPECIMENES.....	194
3.3.1.3 ENSAYO DE COMPRESION DE CILINDROS	195
3.1.1.3.1PROCEDIMIENTO	195
3.3.1.4 ENSAYO DE VIGUETAS DE CONCRETO	197
3.3.1.5 PRUEBA DE INFILTRACION PARA CILINDROS DE CONCRETO.....	198
3.3.1.5.1 DOCUMENTACION DE LA PRUEBA.....	198
3.4 HOJAS DE RESULTADO DE PRUEBAS DE CONCRETO.....	199
3.4.1 RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS.....	199
ASTM C-39 “MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RESISTENCIA A COMPRESION DE ESPECIMENES DE CONCRETO”	200
ASTM C-78 “ESFUERZO A FLEXION EN CONCRETO”	209
ACI 522 R “ENSAYO DE PERMEABILIDAD PERMEAMETRO DE CARGA VARIABLE”	220
4.0 ANALISIS DE RESULTADO.....	233
4.1 INTRODUCCION	233

4.2 INTERPRETACION DE RESULTADOS.....	233
4.2.1 PROPIEDADES MECANICAS	233
4.2.1.2 RESISTENCIA A LA FLEXION	234
4.2.2 PROPIEDAD HIDRAHULICA	235
4.2.2.1 TAZA DE PRECOLACION SOBRE EL ESPECIMEN DE CONCRETO.....	235
4.3 RELACION DE RESISTENCIA A COMPRESION CON TAZA DE PRECOLACION ..	236
4.4 RELACION DE RESISTENCIA A FLEXION CON TAZA DE PRECOLACION.....	239
4.5 ANALISIS DE RESULTADOS METODO PROBABILISTICO SEGÚN METODO ACI 214.....	241
4.6 IDENTIFICACION DEL CONCRETO MÁS EFICIENTE METODO CUALITATIVO..	241
4.6.1 INTRODUCCION	241
4.6.2 CRITERIO DE EVALUACION	242
4.6.2.1 DATOS GENERALES DEL AGREGADO.....	242
4.6.2.2 CAPACIDAD FILTRANTE DEL CONCRETO.....	243
4.6.2.3 RESISTENCIA A COMPRESION	243
4.6.2.4 MODULO DE RUPTURA.....	244
4.6.2.5 GASTO DE CEMENTO POR METRO CUBICO.....	244
7.4 VERIFICACION PROBABILISTICA DE DATOS POR METODO ACI 214.....	245
4.7.1 PROCEDIMIENTO.....	246
5.1 INTRODUCCION	271
5.2 RECONOCIMIENTO DEL LUGAR.....	271
5.3 SELECCION DE DIMENCIONES DE LOSA DEMOSTRATIVA.....	272
5.3.1 REALIZACION DE PRUEBA “DESCRIPCION VISUAL-MANUAL DE LOS SUELOS” (A.S.T.M.D – 2488).	272
5.3.1.1 INTRODUCCION.....	272
5.3.1.2 MATERIAL Y EQUIPO PARA LA CLASIFICACION.....	273
5.3.1.3 DE INSPECCIÓN VISUAL.....	273
5.3.1.4 ENSAYO DE SACUDIMIENTO:.....	274
5.3.1.5 ENSAYO DE ROTURA: Se usa para determinar la resistencia en seco de un suelo y es una medida de la cohesión (adherencia entre las partículas).	275
5.3.1.5 ENSAYO DE PLASTICIDAD: Se realiza para suelos arcillosos, para determinar la capacidad de ser moldeado bajo un contenido de agua adecuado.....	276
5.3.1.6 ENSAYO DE BRILLO: Se aplica a suelos cohesivos, con el objeto de conocer el grado de plasticidad de un suelo.....	277
5.3.2 CRITERIOS DE DIMENSIONAMIENTO DE LA LOSA DEMOSTRATIVA.....	279
5.3.2.1 SELECCIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO	279

5.3.2.2 PREDIMECIONAMIENTO.....	281
5.3.2.3 CALCULO DE MATERIALES	282
5.4 MATERIALES Y EQUIPO	283
5.5 CONCEPTO BASICOS	285
5.6 DESCRIPCIÓN DE PROCESO CONSTRUCTIVO DEL TRAMO DE PRUEBA.....	285
5.6.1 PREPARACION DE HERRAMIENTAS Y MATERIALES, LIMPIEZA Y DESMONTE DEL LUGAR.	285
5.6.2 TRAZO POR UNIDAD DE AREA.....	286
5.6.3 EXCAVACION	286
5.6.4 RELLENO CON MATERIAL GRANULAR.....	287
5.6.5 ENCOFRADO Y DEPOSITOS.....	288
5.6.6 ELABORACION Y COLADO DEL CONCRETO	289
5.6.7 CONSOLIDACION Y ENRASADO.....	290
5.6.7 ACABADO SUPERFICIAL.....	291
5.6.8 CURADO DE CONCRETO	292
5.7 ASTM C 1701 -09.....	293
6.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	300
6.1 CONCLUSIONES	300
6.2 RECOMENDACIONES.....	302
BIBLIOGRAFIA	304

INDICE DE IMÁGENES

<i>Ilustración 1 Fig. 2.1. Componentes del concreto: cemento, agua, agregado fino, agregado grueso, son combinados para formar el concreto.</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 2 Fig. 2.2. Variación de las proporciones usadas en concreto, en volumen absoluto. Las barras 1 y 3 representan mezclas ricas con agregados de pequeño tamaño. Las barras 2 y 4 representan mezclas pobres con agregados gruesos grandes.</i>	<i>26</i>
<i>Ilustración 3 Fig. 2.3 Sección transversal del concreto endurecido, confeccionado con grava redondeada de silicio La pasta de cemento y agua cubre completamente cada partícula de agregado y llena todos los espacios entre las partículas.</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 4 Fig. 2.4. Diez cilindros de pasta de cemento con relaciones agua-cemento de 0.25 a 0.70. La faja indica que cada cilindro contiene la misma cantidad de cemento. El aumento del agua, diluye el efecto de la pasta de cemento, aumentando el volumen, reduciendo la masa volumétrica y disminuyendo la resistencia. entre las partículas.</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 5 Fig. 2.5. El concreto de buena trabajabilidad debería fluir lentamente hacia el lugar, sin segregación.</i>	<i>30</i>
<i>con diferentes cementos. Ilustración 6.</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 7 Fig. 2.7. Agua de sangrado (exudación) en la superficie del concreto recién colado en la losa.</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 8 Fig. 2.8. Una buena consolidación (Fig. 2.8a) es necesaria para lograrse un concreto denso y durable. Una pobre (Fig. 2.8b) puede resultar en corrosión temprana de la armadura (refuerzo) y baja resistencia a compresión.</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 9 Fig. 2.9. Efecto de los vacíos, resultantes de la carencia de consolidación, sobre el módulo de elasticidad, resistencia a compresión y resistencia a flexión del concreto</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración Fig. 2 10 Concreto con bajo Revenimiento.</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 11 Fig. 2.11 Tiempo de inicio y fin de fraguado para una mezcla de concreto en diferentes temperaturas.</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 12 Fig. 2.12 La Resistencia del Concreto que sigue aumentando con la edad.</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 13 Fig. 2. 14. Desarrollo de la resistencia del concreto a lo largo del tiempo de exposición al aire libre.</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 14 Fig. 2. 13. Efecto de la temperatura de colocación y de curado sobre el desarrollo de la resistencia.</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 15.</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 16 Fig. 2.16. Variación de resistencias típicas para relaciones agua-cemento de concreto de cemento portland basadas en más de 100 diferentes mezclas de concreto moldeadas entre 1985 y 1999.</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 17 Fig. 2.17. Ensayo a compresión de cilindro de concreto de 150 x 300-mm (6 x 12-pulg.). La carga en el ensayo es registrada en la carátula.</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 18 Fig. 2.18. Relación entre permeabilidad al agua, relación agua-cemento y curado inicial de la probeta de concreto.</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 19 Fig. 2.19. Efecto de la resistencia a compresión y del tipo de agregado sobre la resistencia a abrasión del concreto (ASTM C 1138). El concreto de alta resistencia confeccionado con agregado duro es bastante resistente a abrasión</i>	<i>45</i>
<i>Ilustración 20 Fig. 2.20 Aparato de prueba para medir la resistencia a.</i>	<i>45</i>

Ilustración 21 Fig. 1.21. La figuración, el cerramiento de las juntas y la dislocación lateral fueron causados por la severa reactividad álcali-agregado en este muro de parapeto.	47
Ilustración 22 Fig. 1.22. La carbonatación destruye la habilidad del concreto de proteger el acero embebido contra la corrosión... ..	49
Ilustración 23 Fig. 2.23 . El ataque de sulfatos es frecuentemente más severo	51
Ilustración 24 Fig. 2.24 Vigas de concreto	
Ilustración 25 Fig. 2.25. Los concretos de puentes expuestos al agua del mar	
Ilustración 26 Fig. 2.26 Cemento	54
Ilustración 27 Fig. 2.27 Agregado Fino	60
Ilustración 28 Fig. 2.28 Agregado Grueso.....	61
Ilustración 29 Fig. 2.29 Agua para el mezclado y curado del concreto	63
Ilustración 30 Fig. 2.30 Arcilla Expansiva	68
Ilustración 31 Fig. 2.31 (Izquierda) Edificio residencial construido con bloques de concreto celular auto-clavado. (Derecha) Bloque de concreto celular auto-clavado flotando en el agua.	71
Ilustración 32 Fig. 2.32 El colado de una cimentación grande como la que se muestra requiere precauciones de concreto masivo.....	73
Ilustración 33 Fig. 2.33 (Derecha) Un pozo perforado (cajón), con 3 m (10 pies) de diámetro y 12.2 m (40 pies) de profundidad en el cual se colocó concreto de alta resistencia y “bajo calor” y (Izquierda) temperaturas de este concreto medidas en el centro y en el borde, en tres niveles diferentes	74
Ilustración 34 Fig. 2.34 El efecto de la temperatura de colado sobre el aumento de la temperatura en el concreto masivo con 223 kg/m ³ (376 lb/yd ³) de cemento. Las temperaturas más elevadas de colado aceleran el aumento de temperatura del concreto	75
Ilustración 35 Fig. 2.35 Los rodillos vibratorios se usan para compactar el concreto compactado con rodillos.....	81
Ilustración 36 Fig. 2.36 Concreto Lanzado.....	84
Ilustración 37 Fig. 2.37. Edificio de oficinas construido.....	87
Ilustración 38 Fig. 2.38 Concreto coloreado usado en una plataforma de tránsito rápido.....	88
Ilustración 39 FIG. 2.39 TEXTURA DEL CONCRETO PERMEABLE.....	91
Ilustración 40 Fig. 2.40. Población urbana y rural del mundo, 1959-2030.(Fuente: Naciones Unidas, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. División Población (2006).....	95
Ilustración 41 Fig. 2.41 Comparación de Agua Lluvia en 24 horas generada por tormentas históricas....	97
Ilustración 42 Grafica 2.42 Relación entre el contenido de aire y de presión fuerza para el concreto permeable (Meininger 1988) (1 psi = 0.006895 MPa).	102
Ilustración 43 Grafica 2.43 -Relación entre el peso de la unidad y compresión fuerza para el concreto permeable (Mulligan 2005) (1 psi = 0.006895 MPa, 1= 16,02 kg/m ³ kg/m ³).Relación entre el contenido de aire y de presión fuerza para el concreto ermeable (Meininger 1988) (1 psi = 0.006895 MPa).	102
Ilustración 44 Grafica 2.44 -Relación entre el contenido de aire y la compactación energía para el concreto permeable (Meininger 1988).	102
Ilustración 45 Grafica 2.45 Relación entre el contenido de aire y de fuerza de flexion para el concreto permeable.....	103
Ilustración 46 Grafica 2.46 -Relación entre la resistencia a la flexión y la resistencia a la compresión de concreto permeable (Meininger 1988) (1 psi = 0,006895 MPa).....	103
Ilustración 47 Grafica 2.47 - Relación entre el contenido de aire y la percolación tasa de concreto permeable (Meininger 1988) (1 psi = 0.006895 MPa).	104
Ilustración 48 Figura 2.48 Aparato para medir la permeabilidad del concreto permeable en una simple caída de cabeza permeámetro).	106
Ilustración 49 Fig. 2.49 Bermas en Carreteras.....	120
Ilustración 50 Fig. 2.50 Base para pavimento de concreto permeable.....	121

Ilustración 51 Fig. 2.51 Zonas de Pasos Peatonales	124
Ilustración 52-Ejemplo de tira vertical en su lugar.	131
Ilustración 53 Fig. 2.53 Uso de regla vibratoria de enrasado el concreto permeable	132
Ilustración 54 Fig. 2.54 Resultado de la franja vertical de usar después de la eliminación.	134
Ilustración 55 Fig. 2.55 Uso de Rodillo Liso para dar acabado final al concreto	134
Ilustración 56 Fig. 2.56 Rodillo Secundario usado para la cruz de laminación del concreto permeables para mejorar la calidad de conducción de la acera	134
Ilustración 57 Fig. 2.57 Borde de concreto permeable para mejorar la apariencia de las esquinas.	135
Ilustración 58 Fig. 2.58 Vista detallada de la herramienta de juntas para concreto permeable.	136
Ilustración 59 Fig. 2.59 Rodillo Principal Herramienta para Juntas.	136
Ilustración 60 Fig. 2.60 Demostracion de curado con lamina plásticas después de compactación.	137
Ilustración 61 Fig. 2.61 Ejemplo de uso de barras de refuerzo para mantener bajos el material de curación	138
Ilustración 62 Fig. 2.62 Concreto permeable teñido	138
Ilustración 63 Fig. 3.2 “Peso de la Muestra”	166
Ilustración 64 Fig 3.1 “Cuarteo de la Muestra”	166
Ilustración 65 Fig. 3.4 Activación de Rop Tab	166
Ilustración 66 Fig. 3.3 Selección y colocación de las mallas.....	166
Ilustración 67 Fig. 3.5 Extracción de la muestra	167
Ilustración 68 Fig. 3.6 “Separación de las muestras”	167
Ilustración 69 Fig. 3.7 “ Peso de cada muestra”	167
Ilustración 70 Fig. 3.8 “Lavado de la Muestra”	176
Ilustración 71 “Fig. 3.9.....	176
Ilustración 72 Fig. 3.10 24 horas después de su saturación la muestra fue secada superficialmente quedando saturados sus poros.	176
Ilustración 73 Fig. 3.11 Peso de la Muestra Saturado	177
Ilustración 74 Fig. 3.12 a y b Determinar Peso sumergido	177
Ilustración 75 Fig.3.13 a y b Secado al Horno de la Muestra.....	177
Ilustración 76 Para un contenido de Vacío de 20%.....	182
Ilustración 77 Volumen de Percolación Vs Vacíos	186
Ilustración 78 Fuerza de Compresión Teórica.....	187
Ilustración 79 Fig. 3.14 Cilindros a Usarse	191
Ilustración 80 Fig. 3.15ª y 3.15b Elaboración de Concreto	191
Ilustración 81 Fig.3.15 a y b “Compactación de Concreto”	192
Ilustración 82 Fig. 3.16 Moldes para vigas de concreto	192
Ilustración 83 Fig. 3.17 Enrasado de Cilindro de concreto.....	193
Ilustración 84 Fig. 3.18 a y b Contenido de Vacíos de Concreto	193
Ilustración 85 Fig. 3.20 Conjunto de Muestras Cilíndricas de Concreto Permeable.....	194
Ilustración 86 Fig. 3.19 Muestras de Especímenes Cilíndricos de la Cantera El Carmen a 15% de Vacíos	194
Ilustración 87 Fig. 3.21 Curado de Cilindros de Concreto	194
Ilustración 88 Fig. 3.22 Formas de falla de los cilindros de concreto.....	196
Ilustración 89 Fig. 3.23 a, Fig. b Fig. c “ Prueba de Compresión de Cilindros”.....	196
Ilustración 90 Fig. 3.24ª y Fig. 3.24b “Ruptura de Viguetas”	197
Ilustración 91 Fig. 3.25 Permeámetro	198
Ilustración 92 Cilindros de Concreto Sometidos a la Prueba de Infiltración.....	198
Ilustración 93 Cilindros elaborados con tubo de PVC para prueba de infiltración.	198
Ilustración 94 “Lugar de Losa de Prueba”	272

<i>Ilustración 95 Sacudimiento de la muestra húmeda</i>	274
<i>Ilustración 96 Desmenuzamiento de la muestra</i>	275
<i>Ilustración 97 Suelo en forma de cilindro</i>	276
<i>Ilustración 98 "Corte Perfil"</i>	282
<i>Ilustración 99 Trazo por Unidad de Área</i>	286
<i>Ilustración 100 a y b Relleno con material del lugar</i>	287
<i>Ilustración 101 a, b y c Compactación de Material Granular</i>	288
<i>Ilustración 102 Encofrado y Puntuales en Losa</i>	289
<i>Ilustración 103 Recipientes y Materiales</i>	289
<i>Ilustración 104 Colado del Concreto</i>	290
<i>Ilustración 105 Enrasado de Concreto</i>	291
<i>Ilustración 106 Acabado Superficial</i>	292
<i>Ilustración 107 Curado de Concreto</i>	292

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 VARIABLES INVOLUCRADAS (Tabla 1.1)</i>	15
<i>Tabla 2 Normas para los cementos hidráulicos. FUENTE: Ministerio de Obras publicas. Unidad de Investigación y Desarrollo Vial. Especificaciones FP'-96</i>	59
<i>Tabla 3 Tamaño Nominal de los Agregados</i>	62
<i>Tabla 4 Normas Para el Agua del Concreto</i>	65
<i>Tabla 5 TIPOS DE CONCRETO</i>	67
<i>Tabla 6 Propiedades típicas del agregado y el cemento de alta densidad</i>	73
<i>Tabla 7 Capacidad de remoción de contaminantes de pavimento Permeable</i>	110
<i>Tabla 8 Actividades de Mantenimiento para un Pavimento de Concreto Permeable</i>	140
<i>Tabla 9 Tabla 9 Resultados de ensayos hecho en La zona central de El Salvador</i>	145
<i>Tabla 10 Normas internacionales de concreto</i>	146
<i>Tabla 11 Normas ASTM aplicadas a la investigación</i>	148
<i>Tabla 12 norma ACI aplicadas a nuestra investigación</i>	151
<i>Tabla 13 Material y Equipo Ensayo de Granulometría</i>	164
<i>Tabla 14 Tamaño de la Muestra según Peso Nominal</i>	165
<i>Tabla 15 Materiales y Equipo "Peso Unitario ASTM C-29"</i>	171
<i>Tabla 16 Selección de la muestra según tamaño nominal</i>	173
<i>Tabla 17</i>	181
<i>Tabla 18 Material y Equipo para Prueba Astm C-39 Y Astm c293</i>	188
<i>Tabla 19 Edades de los Ensayos</i>	195
<i>Tablas 20 a, b y c "Propiedades Mecánicas (Resistencia a la Compresión)"</i>	233
<i>Tabla 21a, b y c "Propiedades Mecánicas (Resistencia a la Flexion)"</i>	234
<i>Tabla 22 a, b y c "Propiedades Hidráulicas (Taza de Percolacion)"</i>	235
<i>Tabla 23 Datos de Resistencia a la Compresión vs Taza de percolación El Carmen</i>	236
<i>Tabla 24 Datos de Resistencia a la Compresión vs Taza de percolación Aramuaca</i>	237
<i>Tabla 25 Datos de Resistencia a la Compresión vs Taza de percolación Cantera La Pedrera</i>	238
<i>Tabla 26 Datos de Resistencia a la Flexion vs Taza de percolación Cantera El Carmen</i>	239

Tabla 27 Datos de Resistencia a la Flexión vs Taza de percolación Cantera Aramuaca 239
Tabla 28 Datos de Resistencia a la Flexión vs Taza de percolación Cantera La Pedrera 240

INDICE DE GRAFICAS

Grafica 1 Relación entre Resistencia Compresión Vs Taza de Percolación Cantera el Carmen 237
Grafica 2 Relación entre Resistencia Compresión vs taza de percolación Cantera Aramuaca 237
Grafica 3 Relación entre Compresión vs taza de percolación Cantera La Pedrera 238
Grafica 4 Relación entre Compresión vs taza de percolación Cantera El Carmen 239
Grafica 5 Relación entre Compresión vs taza de percolación Cantera Aramuaca..... 240
Grafica 6 Relación entre Compresión vs taza de percolación Cantera La Pedrera 240

CAPITULO 1.0



GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCION

El Concreto Permeable, corresponde a una de las alternativas factibles ante los daños que ocasiona el ser humano a los mantos acuíferos y a los suelos. Por lo tanto el concreto permeable se puede establecer como de las medidas innovadoras ante tales problemas, en el ámbito de la ingeniería civil.

El concreto permeable es un concreto de desempeño, fabricado en base a cantidades controladas de cemento, agregado grueso, agua y aditivos para crear una masa de partículas de agregado cubierta con una capa delgada de pasta. Una mezcla de concreto permeable contiene poca o ninguna arena, lo que crea un contenido de vacío substancial, logrando una configuración en su estructura que permite ciertas ventajas de funcionalidad como son la resistencia y permeabilidad. Siendo una de las primordiales características su capacidad para absorber agua, ya que su contenido de aire o de vacíos varia, según el comité American Concrete Institute (ACI) 522 R, en la cual se menciona que existe un intervalo en el contenido de vacíos que es del 18%-35%; el mismo comité nos brinda otras características que definen el concreto permeable, como su capacidad de infiltración que varia entre 81 a 731 L/min/m² y su resistencia de 2.8 a 28 MPA, al igual que menciona el rango del agregado grueso que se puede usar menor a un tercio del espesor de la capa de pavimento.

Las investigaciones acerca de esta clase de concreto son relativamente nuevas, ya que recientemente han iniciado sus

estudios tanto a nivel mundial como a nivel salvadoreño. Actualmente en El Salvador, solo cuenta con dos estudios acerca del concreto permeable concentrándose dichos estudio en la zona central. En la zona oriental carece de investigaciones acerca del temas lo que limita la aplicación del concreto permeable por lo tanto se pretende indagar las características tanto mecánicas como hidráulicas que poseería el concreto permeable con los agregados de las canteras industriales de la zona oriental.

En el tema propuesto de investigación se verificará el comportamiento del concreto permeable al usar diferentes clases de agregado grueso; provenientes de las canteras Aramuaca, La Pedrera, El Carmen, e identificar como varían las propiedades del concreto con respecto al agregado y de esa manera seleccionar el concreto permeable más eficiente según su el agregado a usarse.

1.2 ANTECEDENTES

El uso del concreto empezó con los Romanos en el siglo IX A.C, en el cual se usaron como materiales primarios cal, ceniza volcánica, polvo de ladrillo y piedra; desde esa fecha el concreto ha venido evolucionando y mejorando sus características y propiedades según lo que la sociedad y el medio demandan; desde concreto con baja resistencia que son variados hasta concretos de alta resistencia a muy temprana edad.

Los Inicios del concreto permeable se revocan al año de 1852, el concreto permeable fue usado por primera vez en la construcción de dos casas en el Reino Unido. Este concreto consistía en sólo grava gruesa y cemento. En el año de 1923 se construyó un grupo de 50 casas de dos pisos; las cuales fueron construidas con Clinker y agregado de Edimburgo, Escocia, dichos materiales de construcción tenían propiedades permeables. A finales de 1930, se continuó empleando el concreto permeable en Escocia, en viviendas Especiales adoptando el uso de concreto permeable para la construcción de las mismas.

Del mismo modo, en Europa, entre 1945 y 1956, muchas casas fueron construidas con concreto permeable. Esto fue principalmente debido a la cantidad limitadas de agregados duros y la ausencia de buenos ladrillos. Antes de la Segunda Guerra Mundial, la producción de concreto permeable se limita a casas de dos pisos. En 1946, el concreto permeable fue utilizado para una gama mucho más amplia de aplicaciones. La primera notificación del uso del concreto permeable en Australia fue en 1946

Con los años, el concreto permeable se ha aplicado sustancialmente en la producción de nuevas casas en el Reino Unido, Alemania, Holanda, Francia,

Bélgica, Escocia, España, Hungría, Venezuela, al Norte de África, el Medio Oriente, Australia y Rusia.

Alemania utilizó esta clase de concreto, ya que después de la segunda guerra mundial era difícil la eliminación de escombros, la excesiva cantidad de escombros permitió el uso de los mismo, teniendo como resultado una especie de concreto permeable, ello llevo a la determinación de la propiedad principal tal concreto que es la capacidad de filtrar agua.

Una de las razones del uso limitado del concreto permeable en América es que, después de la Segunda Guerra Mundial, América del Norte no se manifestó a gran escala los escasos de materiales como Europa, por lo tanto en Europa se vio descubierto esta clase de concreto, pero no se llevó a cabo una investigación de ello.

En 1960 se reportó el primer uso de concreto permeable en Canadá utilizado en la construcción de algunas casas en Toronto. También se utilizó en un edificio federal en Ottawa para su base estructural.

Seguidamente se retomó la investigación de Los pisos y pavimentos permeables en la ciudad de México en el año 1994 donde han sido utilizados con éxito.

En los Estados Unidos se usó el concreto permeable desde 1999, sometido a diferentes condiciones climáticas, llegando a ser los pioneros en la creación de Normas que estandaricen la aplicación y el uso del concreto permeable concreto.

En el año 2002 el comité ACI “American Concrete Institute”, manifestó los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en la ciudad Florida en la cual se aplicó concreto permeable en Bermas y Estacionamiento, reduciendo significativamente el volumen de escorrentía en las calles y estacionamiento

que generan las precipitaciones, dando a conocer su resultado en la Norma ACI 522R-02. Posteriormente se realizaron más investigaciones sobre el concreto permeable, los cuales se publicaron en la editorial del año 2006 de la Norma ACI 522R-06. De la misma forma en el año 2009 la asociación “American Society for Testing and Materials” (ASTM) creó una forma para medir la tasa de infiltración de un pavimento de concreto permeable plasmando sus resultados en la Norma ASTM 1701.

Actualmente se encuentran bajo análisis en otros 24 países.

En El Salvador empezaron a destacarse las investigaciones de concreto permeable, en el año 2006 Instituto Salvadoreño del Cemento y Concreto (ISCYC) siendo los primeros en indagar este tema. Seguidamente en el año de 2009 se continuó el estudio del concreto permeable como tema de investigación de grado en la Universidad Politécnica realizado por estudiantes de Ing. Civil cuyo tema de investigación fue el siguiente “Diseño De Mezcla De Concreto Poroso Para Pavimentos Hidráulicos En El Salvador”.

Después en el Año 2010 un estudiante de la Universidad de El Salvador con el apoyo del ISCYC continuó con la investigación del tema, denominándose tal investigación “Procesos constructivos, evaluación y Post Construcción de un Pavimento de Concreto Permeable”.

1.3 JUSTIFICACION

Actualmente en El Salvador, no se ha implementado de manera efectiva el uso del concreto permeable, solo se ha desarrollado temas de investigación dirigidas por el Instituto Salvadoreño del Cemento y Concreto (ISCYC), iniciando en el año 2006 con investigaciones previas, en el año 2009 se realizó una propuesta de diseño de mezcla para concreto permeable, a partir del año 2010 se ha proseguido con las exploraciones acerca de este tipo de concreto, en la Universidad de El Salvador, siendo tema de investigación de grado.

A partir de lo anterior, se percibe que en nuestro país, existe poco conocimiento acerca del concreto permeable, y de éste se han hecho indagaciones exclusivamente en la zona central del territorio salvadoreño; sin embargo, es importante ampliar las investigaciones de este tema a otros sectores del país (occidental, paracentral y oriental), debido a las condiciones a las cuales cada sector esta sometido (ambiental, climática y variación de las cualidades del agregado). Por lo tanto motiva a investigar las propiedades del concreto permeable y su aplicación en la zona oriental de El Salvador; siendo una fuente de información para futuras investigaciones acerca de este tipo de concreto y su aplicación en cualquier otra área cuyas condiciones sean similares a las encontradas en el territorio delimitado.

Al llevar a cabo investigaciones del concreto permeable en la zona Oriental del país, se estará conociendo el comportamiento de los agregados de las canteras industrialmente explotadas de la zona oriental al emplearse como material pétreo en el concreto permeable. Por ende, los resultados obtenidos de esta investigación darán a conocer el agregado que permita un concreto más eficiente (mejores caracterices mecánicas e hidráulicas).

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se ha considerado el estudio del concreto permeable con los agregados de la zona oriental, debido a que no se han realizado investigaciones sobre dicho tema en nuestro entorno tomando como muestra para la realización de nuestra investigación los agregados de las canteras de Aramuaca, La Pedrera, El Carmen.

En nuestro medio existen que una serie de fenómenos relacionados con la intensidad de lluvia, entre ellos se manifiestan los siguientes;

- ✓ La Escorrentía que se genera en obras viales; dicho problema se genera debido a que el agua no sigue su ciclo natural, generando que las obras viales fallen. Desde hace mucho se han instalados sistemas de drenaje (canaletas, badenes, cunetas, etc.) para contrarrestar dicho problema, pero este sistema esta susceptible a fallas y no presenta una solución definitiva para manejar esta escorrentía, ya que el agua al ser evacuada por la obras de drenaje, generan problemas en los puntos de descarga natural (quebradas y ríos) generando crecidas repentinas del nivel del agua; provocando que las zonas de descargar no sean capaces de drenar el agua lo que con llevan a inundaciones repentinas en zonas aledañas y zonas bajas.
- ✓ Si las obras de drenaje no evacuan el agua de las superficies de las aceras, pasos peatonales y estacionamientos puede ocasionar problemas de estancamiento de aguas en las estructuras ya mencionadas; dicho suceso deteriora tales obras viales, lo que implica costos de mantenimiento en las estructuras y al mismo tiempo dichos estancamiento en las superficies peatonales también

pueden ser fuentes de vectores de enfermedades, como el dengue u otras enfermedades.

- ✓ Otro Problema que se puede percibir es el siguiente; Al Ejecutar la construcción de nuevas vías de acceso nuevas (carreteras, calle o caminos) se está reduciendo las superficie que tiene el suelo para infiltrar el agua lluvia (suelos impermeables) lo que ocasiona una disminución del nivel freático de los mantos acuíferos.

En vista del conjunto de problemáticas antes mencionada, y percibir que no existen pruebas ni estudio del concreto permeable con los agregados más comunes de la zona oriental, es indispensable el estudio del mismo en nuestro medio. Al investigar se obtendrán una serie características del concreto permeable con los agregados de la zona oriental (La Pedrera, Aramuaca y El Carmen), a diferentes resistencias. Y si en un futuro se desea emplear concreto permeable en la zona oriental, existirá una investigación que indique ciertos parámetros de cómo será el comportamiento de tal concreto con un agregado ya sea de la cantera La Pedrera, Aramuaca y El Carmen y una resistencia específica del concreto; para la zona oriental del país.

Por lo tanto se ha considerado estudiar el concreto permeable como medida de atenuación a estos fenómenos; usando los agregados de la zona oriental aplicándolos en la misma al sector ya dicho.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

- ✓ Realizar un Estudio del Comportamiento del Concreto Permeable en función del tipo de agregado grueso utilizado.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Determinar las Propiedades Mecánicas (Compresión y Flexión) Hidráulicas (capacidad de filtración) del Concreto Permeable usando el agregado grueso de las canteras Aramuaca, La Pedrera y El Carmen.
- ✓ Identificar el Concreto Permeable con la mejores Características tanto Mecánicas e Hidráulicas.
- ✓ Verificar el Comportamiento, in situ, del Concreto Permeable a través de la utilización de una losa de prueba tipo acera.

1.6 ALCANCES

- ✓ El estudio incluyó solamente el agregado grueso de las canteras Aramuaca, El Carmen y La Pedrera de la zona oriental.
- ✓ Se evaluó el concreto permeable, para losas peatonales (tipo acera).
- ✓ Se conoció las características a Flexión, Compresión e Hidráulicas por cada Diseño de Mezcla del concreto permeable usando agregado grueso de las canteras Pedrera, El Carmen y Aramuaca.
- ✓ Se ejecutaron las pruebas que definen las propiedades de los agregados, de las tres canteras Principales de la zona Oriental (la Pedrera, El Carmen y Aramuaca).

1.7 LIMITACIONES

- ✓ En la Investigación tan solo se considero el agregado grueso de Las Canteras El Carmen, La Pedrera y Aramuaca de San Miguel.
- ✓ Solo se trabajo con un porcentaje de vacíos del (15% -25%)
- ✓ Debido a que solo es una comparación entre agregados de las tres canteras industrialmente explotadas en la zona oriental, no se realizo diseño de mezcla para ser validado.
- ✓ Se evaluó el concreto permeable para resistencias a compresión bajas, considerando el rango siguiente (10Mpa a 25Mpa) y resistencia a flexión según los siguientes parámetros (1.0Mpa a 3.8Mpa)
- ✓ No se incluyó datos meteorológicos ni diseños Hidrológicos e Hidráulicos en nuestra investigación.
- ✓ Solo se realizó una comparación del concreto permeable, utilizando las diferentes clases de agregados de las canteras principales de la zona oriental.
- ✓ Debido a que solo es una comparación se delimito el número de cilindros a evaluar.
- ✓ La Prueba que se realizó en in situ del concreto permeable a la losa tipo acera, será de carácter demostrativo.

1.8 METODOLOGIA

1.8.1 TIPO DE INVESTIGACION

La investigación fue de tipo Experimental; en la que se emplearon variables dependientes e independientes.

Para la presente investigación se definió como variable *independiente* **Agregado Grueso** y como variable *dependiente* **El Comportamiento del Concreto Permeable**.

El objetivo de la investigación fue conocer el comportamiento del concreto permeable con cada uno de los agregados extraídos de las canteras siguientes:

- ✓ Aramuaca
- ✓ La Pedrera
- ✓ El Carmen

En este caso se verifico el comportamiento del concreto permeable ante tres agregados, como ejemplo de ello se puede formular la siguiente pregunta: *¿Que pasa con el concreto permeable si yo uso agregado de la cantera El Carmen con una resistencia de diseño considerada?*

1.8.2 UNIDAD DE ANALISIS

La unidad de análisis para esta investigación fueron las diferentes pruebas que se le harán a los agregados y al concreto. Las pruebas que se realizaran serán las siguientes:

- Se usara como método de diseño de mezcla el utilizado en la ACI 211.3 (para concreto de bajo revenimiento).
- Prueba de granulometría para grueso (ASTM C-136)

- Prueba de la resistencia a la compresión de cilindros testigos de concreto (ASTM C-39)
- Prueba de la resistencia a la tensión por flexión en viguetas de concreto (ASTM C-293).
- Prueba de Permeabilidad de especímenes de concreto (ACI 522R)
- Se usara agregado de tamaño numero N°8
- Se usara cemento tipo HE

1.8.3 MUESTRA

De las canteras seleccionamos una muestra representativa para evaluar sus características de los agregados (pruebas de laboratorio) y con lo cual haremos nuestro diseño de mezcla para el concreto permeable y posteriormente haremos nuestros especímenes de concreto permeable, los cuales fueron nuestra población a evaluar.

1.8.3.1 PRUEBA DE COMPRESIÓN DE CILINDROS:

Se realizaron tres especímenes por cada alternativa del concreto permeable, considerando que una alternativa consta de una resistencia y un agregado diferente, evaluado a una edad específica (7, 14, 28 días), es decir que en el día 7 se someterán a la prueba de compresión 27 cilindros, a los 14 días se reventaran otros 27 cilindros y por ultimo a los 28 días se efectuara la prueba de compresión a los cilindros restantes que son 27.

Por lo tanto la prueba de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto permeable constara de un universo muestral de 81 cilindros en total, que se someterán a la prueba antes mencionada.

(Cantidad de pruebas según recomendación del ISCYC).

1.8.3.2 PRUEBA DE RESISTENCIA A FLEXIÓN

Se tomara como muestra dos viguetas que se realizaran para cada alternativa de diseño de mezcla de concreto permeable. Las cuales se probaran a los 28 días, siendo un total de 18 viguetas a probarse. Según ASTM C-78

1.8.3.3 PRUEBA DE INFILTRACIÓN CILINDROS:

Para la prueba de infiltración se tomo como muestra tres cilindros por cada alternativa de diseño, evaluándose a los 7 días, siendo un total de 27 cilindros que se somataran al método de prueba de la Norma ACI 522R.

1.8.4 DESCRIPCION DE VARIABLES

Las variables que gobiernan la investigación son los agregados considerándosele como la variable independiente, seguidamente se derivaran:

Tabla 1 VARIABLES INVOLUCRADAS (Tabla 1.1)

VARIABLE	CONCEPTO	NORMA
AGREGADOS (INDEPENDIENTE)	Clasificaciones agregado utilizado en el concreto permeable son típicamente ya sea de un solo tamaño de agregado grueso o la clasificación de entre 3 / 8 pulgadas (19 y 9,5 mm). Agregados redondeados y aplastados, normal y ligero, se han utilizado para hacer concreto permeable	ASTM D-448 y ASTM C 33
RESISTENCIA (DEPENDIENTE)	Evaluaremos tanto resistencia a compresión y flexión. Según los objetivos de la investigación.	ASTM C-39 ASTM C – 78

CAPACIDAD HIDRAULICA (DEPENDIENTE)	La tasa de drenaje de concreto permeable pavimento varía con el tamaño total y la densidad de la mezcla, sino que generalmente se clasifican en el rango de 2 a 18 gal./min/ft ² (desde 81 hasta 730 l/min/m ²).	ACI 522. R ASTM 1701
CONTENIDO DE VACÍOS(Dependiente)	El Contenido de Vacíos a Emplearse será del 15% al 25%	ASTM C29

1.8.5 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La recolección de datos es considerada como la medición ya que es una precondición para obtener el conocimiento científico.

En toda investigación es necesaria llevar a cabo la recolección de datos a lo cual la de esta manera se da un paso fundamental para tener éxitos en nuestros resultados el llevar adecuadamente la recolección de datos

1.8.5.1 PRUEBA DE INFILTRACIÓN

Para los especímenes que se someterán a la prueba de infiltración a la edad 7 días, se aplicara la Norma ACI 522 R, en donde se prueba el mismo cilindros 3 ocasiones y se saca el promedio de cada del resultado de cada Pruebas y seguidamente se obtiene el promedio de los tres cilindros.

Se considerara realizar una losa de concreto permeable (tipo acera) para aplicar la norma ASTM 1701 (de carácter demostrativo) y con ello medir la taza de infiltración que posee el concreto permeable en un pavimento instalado, y al realizar la losa se estará empleando los procesos

constructivos que se utilizan para la instalación de pavimentos de concreto permeable.

1.8.5.2 PRUEBA DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Las Pruebas de compresión de cilindros se realizar a los 7, 14 y 28 días basándonos en la Norma ASTM C-39, donde por cada día se realizara tres lotes de prueba (uno por cada cantera), considerando un el lote de la siguiente manera:

Porcentaje de vacíos “a” - 7 días- (3 especímenes)

Lote 1 = Cantera 1 Porcentaje de vacíos “b” – 7 días - (3 especímenes)

Porcentaje de vacíos “c” – 7 días - (3 especímenes)

Es decir que por cada día se evaluaran 9 alternativas diferentes de diseño mezcla de concreto permeable, siendo de 27 cilindros los que se someterán a la prueba de compresión en cada edad de que se ejecutaran las pruebas.

1.8.5.3 PRUEBA DE RESISTENCIA A FLEXIÓN

Se realizara dos especímenes tipo vigueta por cada alternativa a evaluar, y de esa forma ejecutar la prueba de flexión y determinar su módulo de ruptura a los 28 días. Se ejecutara esta prueba según la Norma ASTM C-293, en donde se explica el procedimiento de la norma.

1.8.6 PROCEDIMIENTO DE DATOS

Una Vez obtenidos los datos tanto de Resistencia a la Compresión, Flexión y Permeabilidad, se manifestaran en una series de graficas de Permeabilidad

vs Resistencia a Compresión y Permeabilidad vs Resistencia a Flexión, basados según las Norma ACI 522 R.

1.8.7 ANALISIS DE RESULTADOS

Una vez que se hayan procesado los resultados en grafica se identificara como es el comportamiento del concreto permeable con los agregados de tamaño N° 8 para las tres canteras y se compararan como varia la resistencias al cambiar el agregado grueso .Seguidamente se determinara el concreto más eficiente tanto ah resistencia a la compresión, flexión y permeabilidad, es decir el concreto que posea las mejores características.

CAPITULO 2.0



MARCO REFERENCIAL

2.1.1 MARCO CONCEPTUAL.

Como Marco Conceptual se entiende una serie de suposiciones valores y definiciones que el equipo adopta para un trabajo conjunto

2.1.1.1 CONCRETO PERMEABLE

Se encuentra dentro del espectro de los materiales ecológicos, ya que permite la filtración del agua al subsuelo logrando así la restauración de los mantos acuíferos. El material es sumamente durable, no degradable e increíblemente resistente manteniendo sus características de permeabilidad. A continuación se Presentan Términos Relacionados con el Concreto Permeable:

- a) **COMPORTAMIENTO:** Es la manera de comportarse (conducirse, portarse). Se trata de la forma de proceder de un agente, material ante cualquier variable que lo afecte.
- b) **CONCRETO:** El concreto es un material durable y resistente pero, dado que se trabaja en su forma líquida, prácticamente puede adquirir cualquier forma. Esta combinación de características es la razón principal por la que es un material de construcción tan popular para exteriores.
- c) **COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO:** Es la manera en la cual es concreto reacciona ante los materiales que lo componen.
- d) **PERMEABILIDAD:** Se refiere a la cantidad de migración de agua a través del concreto cuando esta se encuentra a presión, o a la capacidad del concreto de resistir la penetración de agua u otras sustancias.
- e) **CONTENIDO DE VACIOS:** Masa volumétrica (masa unitaria) y vacíos: La masa unitaria es el peso o masa de agregado que se necesita para llenar un recipiente con un volumen determinado. El volumen referido aquí es el ocupado por los agregados y el volumen de vacíos que ocupan todo el recipiente. La masa volumétrica que ocupa los agregados comúnmente usados varía entre los 1200 a 1750 kg/m³. La

cantidad de vacíos afecta la demanda de pasta que necesita la mezcla – la demanda de agua de mezcla u cemento aumenta con la cantidad de vacíos –

La cantidad de vacíos varía cerca de 30% a 45% para el agregado grueso y cerca del 40% al 50% para el agregado fino. La angularidad de un agregado aumenta la cantidad de vacíos mientras que un agregado bien...

f) AUTOCOMPACTABLE: El concreto auto compactable se define como “aquel que tiene la propiedad de consolidarse bajo su propio peso sin necesidad de vibrado, aun en elementos estrechos y densamente armados”.

Este concreto pertenece a la familia de los concretos de alto desempeño y tiene la propiedad de fluir sin segregación, auto compactándose por sí solo, asegurando así la continuidad del concreto endurecido.

g) POROSIDAD: Es la capacidad de un material de absorber líquidos o gases. También es el tamaño y número de los poros de un filtro o de una membrana semipermeable.

h) COMPONENTES DEL CONCRETO: Son aquellos materiales que en conjunto constituyen el concreto, los cuales básicamente son agregados (arena y grava) y pasta (cemento Pórtland y agua); los aditivos y adiciones son incluidos en la mezcla como componentes especiales.

i) AGREGADO GRUESO: (1) Agregados predominantemente retenidos en la malla No.4 (4.75mm); o (2) aquella porción del agregado retenida en la malla No.4. Nota: Las definiciones son alternativas a ser aplicadas bajo diferentes circunstancias. La definición (1) es aplicada al agregado en general en su estado natural o después de ser procesado. La definición (2) es aplicada a una porción de un agregado. Los requerimientos de las propiedades y la graduación deberán ser establecidos en las especificaciones.

- j) CONCRETO ENDURECIDO:** El concreto se encuentra en este estado cuando propiamente comienza la formación del tejido filamentosos producto de la hidratación, o gel de cemento, que endurece la pasta y que a su vez la capacita para aglutinar las partículas de los agregados, dándole resistencia mecánica a la masa del concreto.
- k) CONCRETO FRESCO:** Mezcla de concreto recién elaborada, la cual es una masa plástica que puede ser moldeada con relativa facilidad, y que a temperatura normal de prueba permanece en ese estado durante pocas horas. Inicia desde que el concreto está recién mezclado, hasta el principio de la rigidez del mismo.
- l) CURADO:** Procedimiento para mantener en el concreto, los contenidos de humedad y temperatura en condiciones satisfactorias, durante un período definido inmediatamente después de la colocación y acabado, con el propósito que se desarrollen las propiedades deseadas.
- m) MEZCLADO:** Es la incorporación de los componentes del concreto hasta el grado en que las reacciones entre sí se completen; esta puede llevarse a cabo mediante medios manuales o mecánicos.
- n) ACI:** Es una sociedad técnica y educativa dedicada a mejorar el diseño, construcción, mantenimiento y reparación de estructuras de hormigón.
- o) ASTM:** Siglas que corresponden a la entidad AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (Sociedad americana para pruebas y materiales).
- p) RELACIÓN AGUA-CEMENTO (A/C):** La razón de la cantidad de agua, excluyendo sólo aquella absorbida por los agregados, a la cantidad de cemento en la mezcla de concreto o de mortero; establecida de preferencia como un decimal por peso.
- q) TRABAJABILIDAD:** Es la propiedad que determina el esfuerzo necesario para manipular, una cantidad de mezcla fresca de concreto con la mínima pérdida de homogeneidad.

- r) **VACÍO DE AIRE:** Es un espacio, en la pasta del cemento, mortero o concreto, lleno de aire; un vacío de aire atrapado mide más o menos 1 mm de ancho, y es de forma irregular; estos tienen un diámetro entre 10 y 1000 ppm y asemeja una esfera.

2.1.2 GENERALIDADES DEL CONCRETO

2.1.2.1 INTRODUCCIÓN GENERAL AL CONCRETO

El concreto es un material durable y resistente pero, dado que se trabaja en su forma líquida, prácticamente puede adquirir cualquier forma. Esta combinación de características es la razón principal por la que es un material de construcción tan popular para exteriores.

Ya sea que adquiera la forma de un camino de entrada amplio hacia una casa moderna, un paso vehicular semicircular frente a una residencia, o una modesta entrada delantera, el concreto proporciona solidez y permanencia a los lugares donde vivimos.

2.1.2.2 DEFINICIÓN DEL CONCRETO

El concreto es básicamente una mezcla de dos componentes: Agregado y pasta. La pasta, compuesta de Cemento Portland y agua, une a los agregados (arena y grava o piedra triturada) para formar una masa semejante a una roca pues la pasta endurece debido a la reacción química entre el Cemento y el agua.

Los agregados generalmente se dividen en dos grupos: finos y gruesos. Los agregados finos consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula que pueden llegar hasta 10mm; los agregados gruesos son aquellos cuyas partículas se retienen en la malla No. 16 y pueden variar hasta 152 mm. El tamaño máximo de agregado que se emplea comúnmente es el de 19 mm o el de 25 mm.

Como los agregados constituyen aproximadamente el 60 al 75 % del volumen total del concreto, su selección es importante. Los agregados deben consistir en partículas con resistencia adecuada así como resistencias a condiciones de exposición a la intemperie y no deben contener materiales que pudieran causar

deterioro del concreto. Para tener un uso eficiente de la pasta de cemento y agua, es deseable contar con una granulometría continua de tamaños de partículas.

La calidad del concreto depende en gran medida de la calidad de la pasta. En un concreto elaborado adecuadamente, cada partícula de agregado esta completamente cubierta con pasta y también todos los espacios entre partículas de agregado.



Fig. 2.1. Componentes del concreto: cemento, agua, agregado fino, agregado grueso, son combinados para formar el concreto.

La pasta se compone de materiales cementantes, agua y aire atrapado o aire incluido (intencionalmente incorporado).

La pasta constituye aproximadamente del 25% hasta 40% del volumen total del concreto. La Figura 1-2 muestra que el volumen absoluto del cemento está normalmente entre 7% y 15% y el volumen del agua está entre 14% y 21%. El contenido de aire atrapado varía del 4% hasta 8% del volumen.

Como los agregados constituyen aproximadamente del 60% al 75% del volumen total del concreto, su selección es muy importante. Los agregados deben

componerse de partículas con resistencia mecánica adecuada y con resistencia a las condiciones de exposición y no deben contener materiales que puedan causar deterioro del concreto. La granulometría continua de tamaños de partículas es deseable para el uso eficiente de la pasta. A lo largo de este texto, se asumirá que se usan agregados apropiados, a menos que se señale de otra manera.

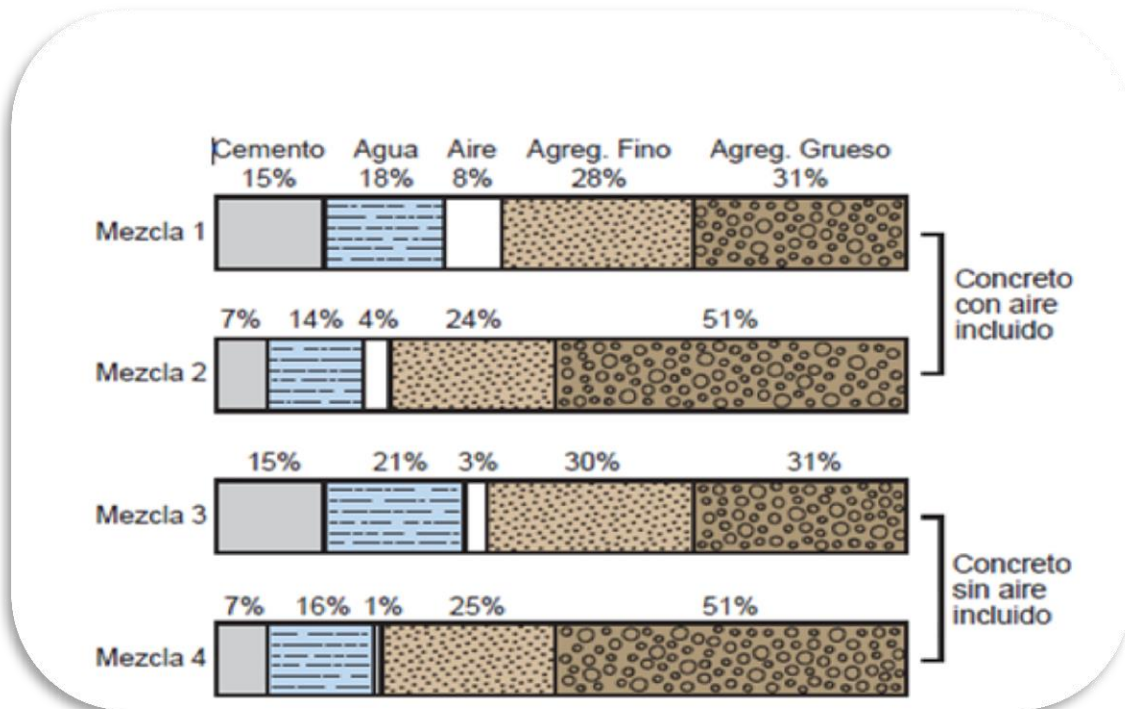


Fig. 2.2. Variación de las proporciones usadas en concreto, en volumen absoluto. Las barras 1 y 3 representan mezclas ricas con agregados de pequeño tamaño. Las barras 2 y 4 representan mezclas pobres con agregados gruesos grandes.

La calidad del concreto depende de la calidad de la pasta y del agregado y de la unión entre los dos. En un concreto adecuadamente confeccionado, cada y toda partícula de agregado es completamente cubierta por la pasta y todos los espacios entre las partículas de agregados se llenan totalmente con pasta, como se enseña en la Figura 2.3

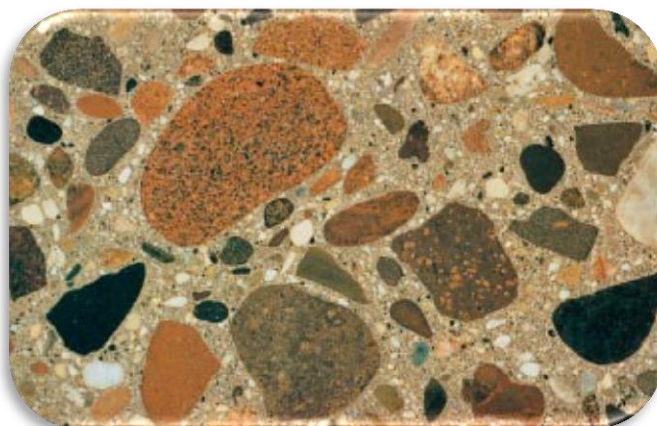


Ilustración 3 Fig. 2.3 Sección transversal del concreto endurecido, confeccionado con grava redondeada de silicio La pasta de cemento y agua cubre completamente cada partícula de agregado y llena todos los espacios entre las partículas

Para cualquier grupo de materiales y condiciones de curado, la calidad del concreto endurecido es fuertemente influenciada por la cantidad de agua usada con relación a la cantidad de cemento (**Fig. 2.4**). Cuando grandes cantidades de agua son innecesariamente empleadas, ellas diluyen la pasta de cemento (la cola o pegamento del concreto). Las ventajas de la disminución de la cantidad de agua son:

- Aumento de la resistencia a la compresión (resistencia en compresión) y de la resistencia a flexión.
- Disminución de la permeabilidad, entonces disminución de la absorción y aumento de la estanquidad (hermeticidad).
- Aumento de la resistencia a la intemperie
- Mejor unión entre concreto y armadura
- Reducción de la contracción (retracción, encogimiento) y de la fisuración (agrietamiento, fisuramiento)
- Menores cambios de volumen causado por el humedecimiento y el secado

Cuanta menos agua se usa, mejor es la calidad del concreto, si es que la mezcla se puede consolidar adecuadamente. Menores cantidades de agua de mezcla (mezclado) resultan en mezclas más rígidas (secas); pero, con vibración, aún las mezclas más rígidas pueden ser fácilmente colocadas. Por lo tanto, la consolidación por vibración permite una mejoría de la calidad del concreto.

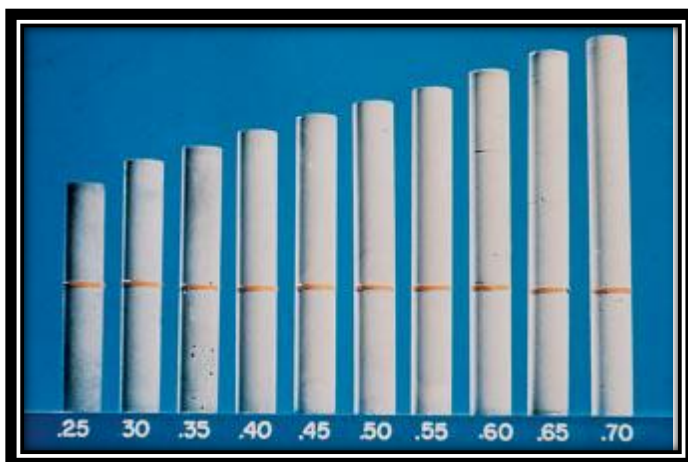


Fig. 2.4. Diez cilindros de pasta de cemento con relaciones agua-cemento de 0.25 a 0.70. La faja indica que cada cilindro contiene la misma cantidad de cemento. El aumento del agua, diluye el efecto de la pasta de cemento, aumentando el volumen, reduciendo la masa volumétrica y disminuyendo la resistencia entre las partículas.

Como del concreto endurecido se pueden cambiar con la adición al concreto de aditivos químicos, normalmente en la forma líquida, durante la dosificación. Los aditivos químicos comúnmente se emplean para

- (1) el ajuste del tiempo de fraguado o de endurecimiento,
- (2) la reducción de la demanda de agua,
- (3) el aumento de la trabajabilidad (manejabilidad, docilidad),
- (4) la inclusión intencional de aire
- (5) el ajuste de otras propiedades del concreto fresco o endurecido.

Después de terminar el proporcionamiento, dosificación, colocación (hormigonado, puesta, colado), consolidación, acabamiento (terminación, acabado) y curado adecuados, el concreto se endurece, se transforma en un

material no-combustible, durable, resistente a la abrasión e impermeable lo cual requiere poca o ninguna conservación (mantenimiento). Además, el concreto es un excelente material de construcción porque se lo puede moldear en una gran variedad de formas, colores y texturas para ser utilizado en un número ilimitado de aplicaciones.

2.1.2.3 CONCRETO RECIÉN MEZCLADO

El concreto recién mezclado (amasado) debe ser plástico o semifluido y generalmente capaz de ser moldeado a mano. Una mezcla de concreto muy húmeda se puede moldear en el sentido de que puede colarse (colocarse) en el molde o cimbras (encofrado), pero no está dentro de la definición de “plástico” – ya que este es aquél que es flexible y capaz de ser moldeado de la misma manera que un terrón de arcilla para moldear.

En una mezcla plástica de concreto todos los granos de arena y las partículas de grava o piedra son envueltos y sostenidos en suspensión. Los ingredientes no son propensos a la segregación durante el transporte; y cuando el concreto se endurece, se transforma en una mezcla homogénea de todos los componentes. Durante la colocación, el concreto de consistencia plástica no se desmorona, mas fluye lentamente sin segregarse.

En la práctica de la construcción, las piezas o elementos muy delgados de concreto y fuertemente armados (reforzados) requieren mezclas trabajables para facilitar su colocación, pero no con consistencia muy fluida. Es necesaria una mezcla plástica para la resistencia y el mantenimiento de la homogeneidad durante el manejo y la colocación.

2.1.2.3.1 MEZCLA

La **Figura 2.5** muestra separadamente los componentes básicos del concreto. Son necesarios esfuerzo y cuidado para que se asegure que la combinación de estos elementos sea homogénea. La secuencia de carga de los ingredientes en la mezcladora (hormigonera) puede desempeñar un papel importante en la uniformidad del producto acabado. La secuencia, sin embargo, puede variar y aún producir un concreto de buena calidad. Las diferentes secuencias requieren ajustes en el momento de la adición del agua, el número total de revoluciones del tambor de la mezcladora y la



Fig. 2.5. El concreto de buena trabajabilidad debería fluir lentamente hacia el lugar, sin segregación.

velocidad de la revolución (rotación). El volumen del concreto mezclado en Relación con el tamaño del tambor de la mezcladora, el tiempo transcurrido entre el proporcionamiento y el mezclado, y el diseño, configuración y condiciones del tambor y de las paletas de la mezcladora son otros factores importantes en el mezclado. Las mezcladoras aprobadas, correctamente operadas y conservadas garantizan un intercambio de materiales de extremo a extremo a través de la acción del rolado, plegado y mezclado (amasado) del volumen del concreto sobre si mismo mientras que el concreto se mezcla

2.1.2.4 PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO

Es cuando el concreto esta recién preparado cuyo estado es plástico y moldeable en el cual no se produce el fraguado ni el endurecimiento y se adopta a la forma del encofrado, las propiedades del concreto fresco son las siguientes.

2.1.2.4.1 TRABAJABILIDAD

La facilidad de colocación, consolidación y acabado del concreto fresco y el grado que resiste a la segregación se llama trabajabilidad. El concreto debe ser trabajable pero los ingredientes no deben separarse durante el transporte y el manejo (**Fig. 2.5**).

El grado de la trabajabilidad que se requiere para una buena colocación del concreto se controla por los métodos de colocación, tipo de consolidación y tipo de concreto. Los diferentes tipos de colocación requieren diferentes niveles de trabajabilidad. Los factores que influyen en la trabajabilidad del concreto son:

- 1- El método y la duración del transporte
- 2- Cantidad y características de los materiales cementantes
- 3- Consistencia del concreto (asentamiento en cono de Abrams o revenimiento)
- 4- Tamaño, forma y textura superficial de los agregados finos y gruesos;
- 5- Aire incluido (aire incorporado)
- 6- Cantidad de agua
- 7- Temperatura del concreto y del aire y
- 8- Aditivos.

La distribución uniforme de las partículas de agregado y la presencia de aire incorporado ayudan considerablemente en el control de la segregación y en la mejoría de la trabajabilidad.

La Figura 2.6 enseña el efecto de la temperatura de colocación sobre la consistencia o revenimiento (asentamiento en cono de abrams) y sobre la trabajabilidad potencial de las mezclas. Las propiedades relacionadas con la trabajabilidad incluyen consistencia, segregación, movilidad, bombeabilidad, sangrado (exudación) y facilidad de acabado. La consistencia es considerada una buena indicación de trabajabilidad. El revenimiento (asentamiento en cono de abrams) se usa como medida de la consistencia y de la humedad del concreto. Un

concreto de bajo revenimiento tiene una consistencia rígida o seca. Si la consistencia es muy seca y rígida, la colocación y compactación del concreto serán difíciles y las partículas más grandes de agregados pueden separarse de la mezcla.

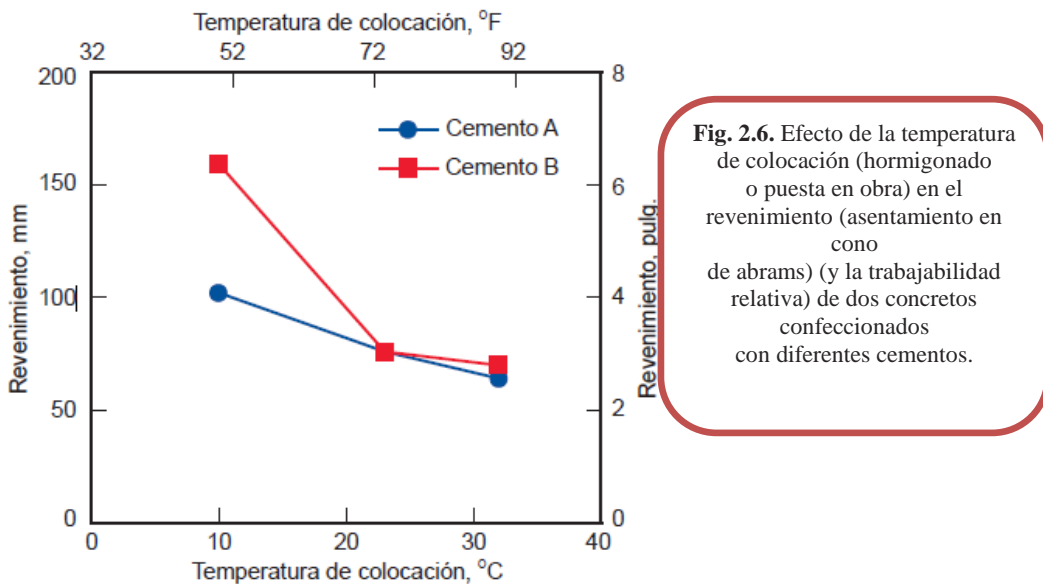


Fig. 2.6. Efecto de la temperatura de colocación (hormigonado o puesta en obra) en el revenimiento (asentamiento en cono de abrams) (y la trabajabilidad relativa) de dos concretos confeccionados con diferentes cementos.

Sin embargo, no debe suponerse que una mezcla más húmeda y fluida es más trabajable. Si la mezcla es muy húmeda, pueden ocurrir segregación y formación de huecos. La consistencia debe ser lo más seca posible para que aún se permita la colocación empleándose los equipos de consolidación disponibles.

2.1.2.4.2 SANGRADO Y ASENTAMIENTO

Sangrado (exudación) es el desarrollo de una lámina de agua en el tope o en la superficie del concreto recién colocado.

Es causada por la sedimentación (asentamiento) de las partículas sólidas (cemento y agregados) y simultáneamente la subida del agua hacia la superficie (Fig. 2.7). El sangrado es normal y no debería disminuir la calidad del concreto adecuadamente colocado, acabado y curado. Un poco de sangrado es útil en el control de la fisuración por contracción (retracción) plástica. Por otro lado, si es

excesiva aumenta la relación agua-cemento cerca de la superficie; puede ocurrir una capa superficial débil y con poca durabilidad, particularmente si se hace el acabado cuando el agua de sangrado aún está presente. Los vacíos y bolsas de agua pueden ocurrir, resultantes del acabado prematuro de la superficie.

Después que toda el agua de sangrado (exudación) se evapore, la superficie endurecida va a quedar un poco más baja que la superficie recién colocada. Esta disminución de la altura desde el momento de la colocación (puesta, colado) hasta el inicio del fraguado se llama contracción (retracción) por sedimentación.

La tasa de sangrado (exudación) y la capacidad de sangrado (sedimentación total por unidad de peso del concreto original) aumentan con la cantidad inicial de agua, altura del elemento de concreto y presión. El uso de agregados de granulometría adecuada, ciertos aditivos químicos, aire incluido, materiales cementantes suplementarios y cementos más finos reducen el sangrado.

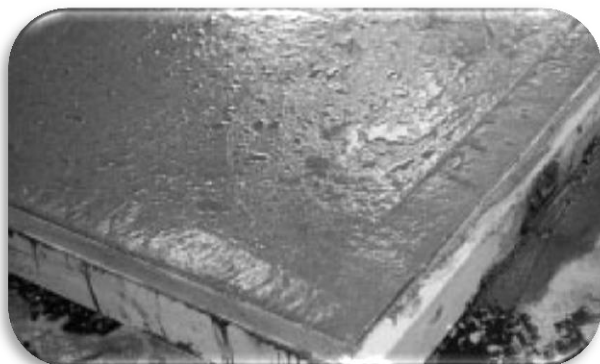


Ilustración 7 Fig. 2.7. Agua de sangrado (exudación) en la superficie del concreto recién colado en la losa.

2.1.2.4.3 CONSOLIDACIÓN

La vibración mueve las partículas del concreto recién mezclado, reduce el rozamiento (fricción) entre ellas y les da la movilidad de un fluido denso. La acción vibratoria permite el uso de mezclas más rígidas con mayores proporciones de agregado grueso y menores proporciones de agregados finos. Si el agregado es bien graduado, cuanto mayor es su tamaño máximo, menor es

el volumen para llenarse por la pasta y menor es el área superficial para ser cubierta por la pasta, así menos agua y cemento son necesarios.

El concreto con la granulometría óptima del agregado es más fácil de consolidarse y colocarse (**Fig. 2.8a**). La consolidación del agregado grueso, bien como de mezclas más rígidas mejoran la calidad y la economía. Por otro lado, la mala consolidación puede resultar en un concreto poroso y débil (**Fig. 1.9**) con poca durabilidad (**Fig. 2.8b**).



Fig. 2.8a



Fig. 2.8b

Ilustración 8 Fig. 2.8. Una buena consolidación (Fig. 2.8a) es necesaria para lograrse un concreto denso y durable. Una pobre (Fig. 2.8b) puede resultar en corrosión temprana de la armadura (refuerzo) y baja resistencia a compresión.

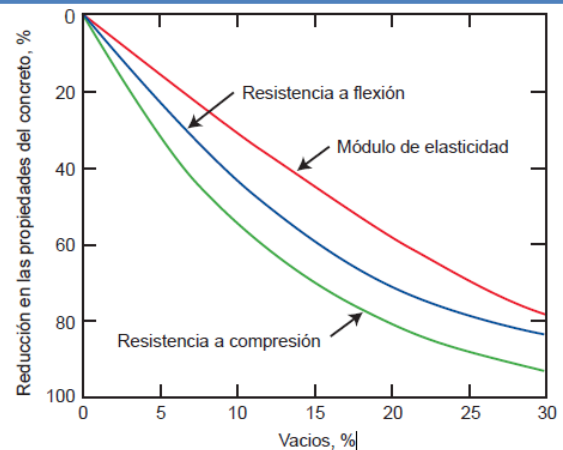


Ilustración 9 Fig. 2.9. Efecto de los vacíos, resultantes de la carencia de consolidación, sobre el módulo de elasticidad, resistencia a compresión y resistencia a flexión del concreto



Ilustración Fig. 2 10 Concreto con bajo Revenimiento

La vibración mecánica tiene muchas ventajas. Los vibradores permiten una colocación económicamente viable de mezclas que no se pueden consolidar manualmente bajo muchas condiciones. Por ejemplo, la (Figura 2.10) presenta un concreto con consistencia rígida (bajo revenimiento). Este concreto se vibró mecánicamente en las cimbras, conteniendo armadura (refuerzo) poco espaciada. Para una consolidación con varilla (vara) manual, sería necesaria una consistencia bastante más húmeda.

2.1.2.4.4 HIDRATACIÓN, TIEMPO DE FRAGUADO Y ENDURECIMIENTO.

La calidad de unión (adhesión, adherencia) de la pasta de cemento portland se debe a las reacciones químicas entre el cemento y el agua, conocidas como hidratación. El cemento portland no es un compuesto químico sencillo, es una mezcla de muchos compuestos. Cuatro de ellos totalizan 90% o más del peso del cemento portland: silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico y ferroaluminato tetra cálcico (aluminio ferrito tetracálcico).

El conocimiento de la cantidad de calor liberado por la hidratación del cemento puede ser útil para el planeamiento de la construcción. En invierno, el calor de hidratación va a ayudar a proteger el concreto contra los daños causados por las temperaturas muy bajas. Sin embargo, el calor puede ser perjudicial, como por ejemplo en estructuras masivas, tales como las presas, pues puede producir temperaturas diferenciales indeseables.

El conocimiento de la velocidad de reacción entre el cemento y el agua es importante porque determina el tiempo de fraguado y endurecimiento. La reacción inicial debe ser suficientemente lenta para que haya tiempo para transportar y colocar el concreto. Una vez que el concreto ha sido colocado y acabado, es deseable un endurecimiento rápido. El yeso, que se añade en el molino de cemento cuando al molerse el clinker, actúa como un regulador del fraguado inicial del cemento portland. La finura del cemento, aditivos, cantidad de agua adicionada y temperatura de los materiales en el momento de la mezcla son otros factores que influyen la tasa (velocidad) de hidratación. La Fig. 2.11 muestra las propiedades de fraguado de mezclas de concreto en diferentes temperaturas.

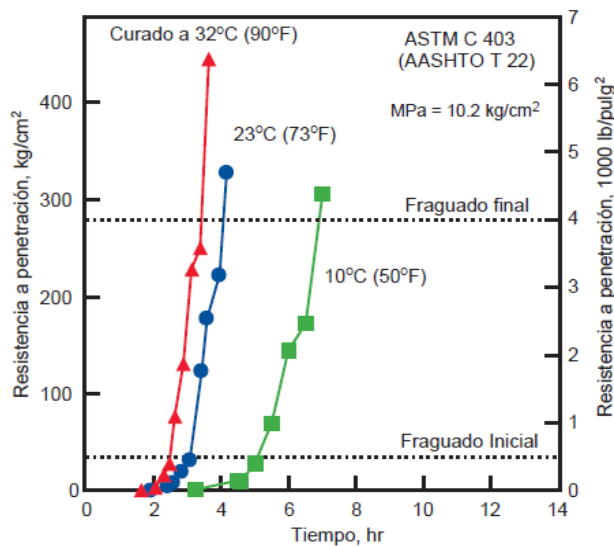


Ilustración 11 Fig. 2.11 Tiempo de inicio y fin de fraguado para una mezcla de concreto en diferentes temperaturas

2.1.2.4.5 COHESIVIDAD

Esta se define como una propiedad que es posible de controlar, la posibilidad de segregación durante el tiempo de manejo de la mezcla es el mismo tiempo que se aprovecha para generar aspersiones. El manejo durante el proceso de

compactación se le considera que el concreto pasa a un grado de aproximación donde se define si será muy plástico o muy viscoso. Una de las importancias de esta propiedad es la mezcla a la hora de transportarlo, ya que en esencia la mezcla permanezca fresca y unida.

2.1.2.4.6 LA EXUDACION

Esta se define como la elevación de una parte de agua de la mezcla hacia la superficie, generalmente debido a la sedimentación de sólido. El proceso inicia momentos después que el concreto halla sido colado y consolidado en los encofrados, continua hasta que inicia el fraguado de la mezcla.

2.1.2.4.7 PESO UNITARIO

Este es el varillado del concreto en un molde expresado en kg/m³, cuando las mezclas de concreto experimentan incremento de aire, disminuye el peso unitario, la mayor compactación aumenta el peso unitario pero la mayor modificación se da según el tipo de agregado a emplear. La importancia del peso unitario es comprobar el rendimiento de la mezcla, determinar el contenido de materiales que componen el concreto por metro cúbico, el contenido de aire y su grado de compactación.

2.1.2.4.8 UNIFORMIDAD

Esta se estudia evaluando el coeficiente de variación de la dispersión existente entre las características análogas de distintos amasados. La uniformidad depende del tiempo en que se le da al concreto para su mezclado y la buena adherencia entre la pasta y el agregado.

2.1.2.5 PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO

Después de que el concreto ha fraguado empieza a ganar resistencia y se endurece. Las propiedades del concreto endurecido son:

2.1.2.5.1 CURADO

El aumento de la resistencia con la edad continúa desde que

- (1) El cemento no hidratado aún esté presente
- (2) El concreto permanezca húmedo o la humedad relativa del aire esté arriba de aproximadamente 80% (Powers 1948)
- (3) La temperatura del concreto permanezca favorable
- (4) Haya suficiente espacio para la formación de los productos de hidratación.

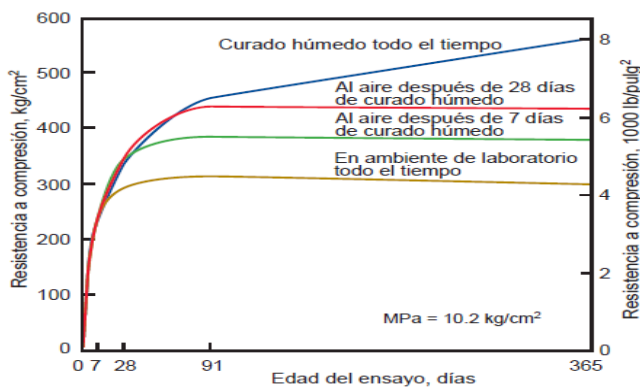


Ilustración 12 Fig. 2.12 La Resistencia del Concreto que sigue aumentando con la edad

Cuando la humedad relativa dentro del concreto baja hasta cerca de 80% o la temperatura del concreto baja para menos del cero, la hidratación y la ganancia de resistencia se interrumpen. **La Figura 2.12** enseña la relación entre incremento de resistencia y curado húmedo, mientras que la **Figura 2.13** muestra la relación entre el aumento de resistencia y la temperatura del curado.

Si se vuelve a saturar el concreto después del periodo de secado (deseccación), la hidratación empieza nuevamente y la resistencia vuelve a aumentar. Sin embargo, es mucho mejor que el curado húmedo sea aplicado continuamente desde el momento de la colocación hasta que el concreto haya alcanzado la calidad deseada; una vez que el concreto se haya secado completamente, es muy

difícil volver a saturarlo. La **Figura 2.14** ilustra el aumento de resistencia de un concreto expuesto al aire libre por un periodo largo de tiempo. La exposición al aire libre normalmente proporciona humedad a través del contacto con el suelo y la lluvia. Los concretos en ambientes internos normalmente secan completamente después del curado y no continúan desarrollando resistencia (**Fig. 2.12**).

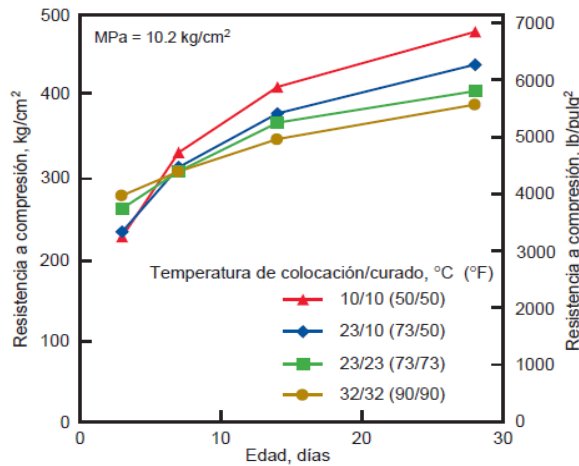


Ilustración 13 Fig. 2.13. Efecto de la temperatura de colocación y de curado sobre el desarrollo de la resistencia.

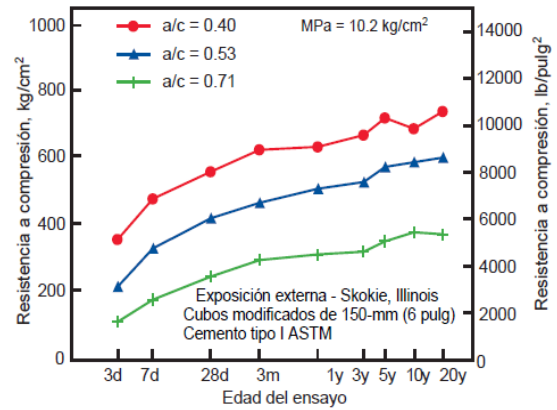


Fig. 2.14. Desarrollo de la resistencia del concreto a lo largo del tiempo de exposición al aire libre.

2.1.2.5.2 VELOCIDAD DE SECADO DEL CONCRETO

El conocimiento de la velocidad de desecación (tasa de secado) es útil para el entendimiento de las propiedades o condiciones físicas del concreto. Por ejemplo, como se mencionó, el concreto necesita tener suficiente humedad durante el periodo de curado para que el concreto se hidrate hasta que se puedan lograr las propiedades deseables. Los concretos recién colocados normalmente tienen abundancia de agua, pero a medida que el secado progresa de la superficie hacia el interior del concreto, el aumento de resistencia continúa solo hasta cada profundidad, desde que la humedad relativa en aquella profundidad permanezca arriba de los 80%.

Un buen ejemplo de esto es la superficie de los pisos en concreto que no tuvo suficiente curado húmedo. Como se ha secado rápidamente, el concreto en la superficie es débil y el tráfico sobre él crea polvo. Así también, al secarse, el concreto se retrae por la pérdida de agua de la misma manera que ocurre con la madera y la arcilla (pero no tanto). La contracción (retracción) por secado es la principal causa de fisuración y el ancho de las fisuras (grietas, rajaduras) es función del grado de desecación, espaciamiento y frecuencia de las fisuras y edad de la aparición de las fisuras.

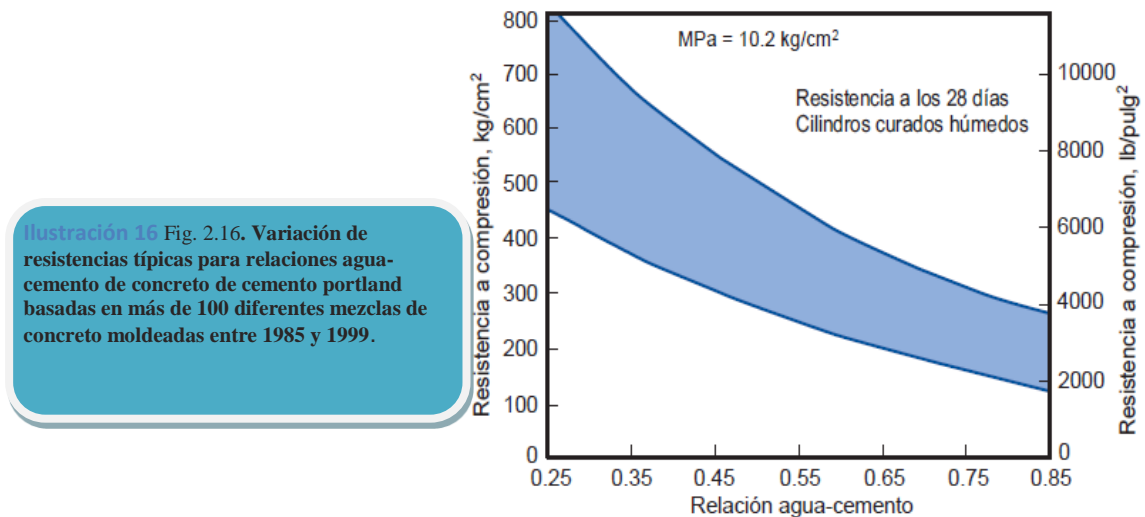
2.1.2.5.3 RESISTENCIA

La resistencia a compresión se puede definir como la medida máxima de la resistencia a carga axial de especímenes de concreto. Normalmente, se expresa en kilogramos por centímetros cuadrados (kg/cm^2), mega pascales (MPa) o en libras por pulgadas cuadradas (lb/pulg^2 o psi) a una edad de 28 días. Un mega pascal equivale a la fuerza de un newton por milímetro cuadrado (N/mm^2) o 10.2 kilogramos-fuerza por centímetro cuadrado. Se pueden usar otras edades para las pruebas, pero es importante saber la relación entre la resistencia a los 28 días y la resistencia en otras edades. La resistencia a los 7 días normalmente se estima como 75% de la resistencia a los 28 días y las resistencias a los 56 y 90 días son aproximadamente 10% y 15% mayores que la resistencia a los 28 días, como se puede observar en la **Figura 2.15**. La resistencia a compresión especificada se designa con el símbolo f'_c y la resistencia a compresión real del concreto f_c debe excederla.

La resistencia a compresión que el concreto logra, es función de la relación agua-cemento (o relación agua-materiales cementantes), de cuanto la hidratación ha progresado, del curado, de las condiciones ambientales y de la edad del concreto. La correspondencia entre resistencia y la relación agua-cemento ha sido estudiada desde el final del siglo XIX y principio del siglo XX (Ferret 1897 y Abrams 1918).

La **Figura 2.16** presenta las resistencias a compresión para una gran variedad de mezclas de concreto y relaciones agua-cemento a los 28 días de edad. Observe que las resistencias aumentan con la disminución de la relación agua-cemento. Estos factores también afectan la resistencia a flexión y la tracción y la adherencia entre concreto y acero.

La correspondencia entre relación agua-cemento y resistencia a compresión en la **Figura 2.16** son valores típicos para concretos sin aire incluido. Cuando valores más precisos son necesarios, se deben desarrollar gráficos para materiales y proporciones de mezcla específicos para que sean usados en la obra.



La resistencia a compresión: es una propiedad principalmente física y frecuentemente usada en los cálculos para diseño de puentes, edificios y otras estructuras. Los concretos para uso general tienen una resistencia a compresión entre 200 y 400 kg/cm² o 20 y 40 MPa (3000 y 6000 lb/pulg²). Concretos con resistencias a compresión de 700 y 1400 kg/cm² o 70 a 140 MPa (10,000 a 20,000 lb/pulg²) han sido empleados en puentes especiales y edificios altos.



Fig. 2.17. Ensayo a compresión de cilindro de concreto de 150 x 300-mm (6 x 12-pulg.). La carga en el ensayo es registrada en la carátula

La resistencia a flexión o el módulo de ruptura (rotura) se usa en el diseño de pavimentos u otras losas (pisos, placas) sobre el terreno. La resistencia a compresión, la cual es más fácil de se medir que la resistencia a flexión, se puede usar como un índice de resistencia a flexión, una vez que la relación empírica entre ambas ha sido establecida para los materiales y los tamaños de los elementos involucrados.

La resistencia a flexión de concretos de peso normales normalmente de 0.7 a 0.8 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en mega pascales o de 1.99 a 2.65 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en kilogramos por centímetros cuadrados (7.5 a 10 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en libras por pulgadas cuadradas). Wood (1992) presenta la relación entre resistencia a flexión y resistencia a compresión para concretos expuestos a curado húmedo, curado al aire y exposición al aire libre.

La resistencia a la tensión (resistencia a tracción, resistencia en tracción) directa del concreto es aproximadamente de 8% a 12% de la resistencia a compresión y

se estima normalmente como siendo de 0.4 a 0.7 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en mega pascales o de 1.3 a 2.2 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en kilogramos por centímetro cúbico (5 a 7.5 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en libras por pulgada cuadrada). La resistencia a esfuerzos por cortante (cizallamiento, corte o cizalladora) es del 8% al 14% de la resistencia a compresión (Hanson 1968). La resistencia a tensión por cizallamiento en función del tiempo es presentada por Lange (1994).

La resistencia a torsión en el concreto está relacionada con el módulo de ruptura y las dimensiones de los miembros de concreto. Hsu (1968) presenta correlaciones para la resistencia a torsión.

2.1.2.5.4 PERMEABILIDAD Y ESTANQUIDAD

El concreto usado en estructuras de retención de agua o expuestas a condiciones del tiempo u otras condiciones severas de exposición deben ser casi impermeables o estancas.

La estanquidad (hermeticidad) es normalmente conocida como la habilidad del concreto en retener el agua sin escurrimiento o escape visible.

La permeabilidad es la cantidad de agua que migra a través del concreto, mientras que el agua está bajo presión o la habilidad del concreto en resistir a la penetración del agua u otra sustancia (líquidos, gases o iones). Generalmente, la misma propiedad que hace el concreto menos permeable también lo hace más estanco.

La permeabilidad total del concreto al agua es función de: (1) la permeabilidad de la pasta; (2) la permeabilidad y la granulometría del agregado; (3) la calidad de la pasta y de la zona de transición del agregado y (4) la proporción relativa de pasta y agregado. La disminución concreto, la restauración, la penetración de sulfatos y de iones cloruro y otros ataques químicos.

La permeabilidad de la pasta es particularmente importante pues la pasta cubre todos los componentes en el concreto. La permeabilidad es afectada por la relación agua-cemento, el grado de hidratación del cemento y el periodo del curado húmedo. Un concreto de baja permeabilidad requiere una relación agua-cemento baja y un periodo de curado adecuado. El aire incluido ayuda la estanquidad, pero tiene poco efecto sobre la permeabilidad.

La permeabilidad aumenta con el secado de la permeabilidad aumenta la resistencia al congelamiento y deshielo del concreto, la restauración, la penetración de sulfatos y de iones cloruro y otros ataques químicos.

La permeabilidad de la pasta es particularmente importante pues la pasta cubre todos los componentes en el concreto. La permeabilidad es afectada por la relación agua-cemento, el grado de hidratación del cemento y el periodo del curado húmedo. Un concreto de baja permeabilidad requiere una relación agua-cemento baja y un periodo de curado adecuado. El aire incluido ayuda la estanquidad, pero tiene poco efecto sobre la permeabilidad.

En la **Figura 2.18** se enseña la dependencia entre permeabilidad, relación agua-cemento y curado inicial de cilindros de concreto con 100 x 200 (4 x 8 pulgadas), ensayados después de 90 días de secado al aire y sujetos a 200 kg/cm² o 20 MPa (3000 lb/pulg²) de presión.

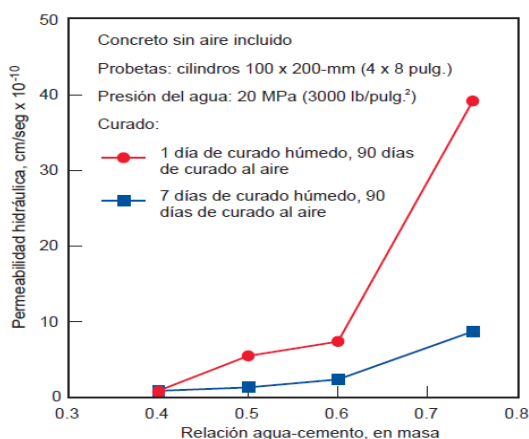


Ilustración 18 Fig. 2.18. Relación entre permeabilidad al agua, relación agua-cemento y curado inicial de la probeta de concreto

A pesar de que los valores de permeabilidad serían diferentes para otros líquidos y gases, la dependencia entre relación agua-cemento, periodo de curado y permeabilidad sería similar.

2.1.2.5.5 RESISTENCIA A LA ABRASIÓN

Los pisos, pavimentos y estructuras hidráulicas son expuestos a abrasión o al desgaste, por lo que en estas aplicaciones el concreto necesita tener alta resistencia a abrasión. Los resultados de los ensayos (pruebas) indican que la resistencia a abrasión está fuertemente relacionada con la resistencia a compresión del concreto. Un concreto con mayor resistencia a compresión tiene más resistencia a abrasión que el concreto con menor resistencia a compresión. Como la resistencia a compresión depende de la relación agua-cemento y curado, una relación agua cemento baja y el curado adecuado se hacen necesarios para la resistencia a abrasión. El tipo de agregado y el acabado de la superficie o el tratamiento usado también tienen gran influencia sobre la resistencia a abrasión. Un agregado duro es más resistente a abrasión que un agregado más blando y una superficie acabada con llana de metal resiste mejor al desgaste que una superficie que no ha sido alisada.

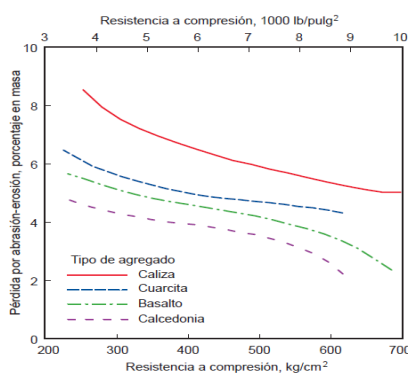


Ilustración 19 Fig. 2.19. Efecto de la resistencia a compresión y del tipo de agregado sobre la resistencia a abrasión del concreto (ASTM C 1138). El concreto de alta resistencia confeccionado con agregado duro es bastante resistente a abrasión



Ilustración 20 Fig. 2.20 Aparato de prueba para medir la resistencia a abrasión del concreto. La máquina se puede ajustar para el uso de ambos discos o ruedas de afilar. En una máquina diferente, las pelotas de acero bajo presión se ruedan encima de la superficie de la probeta. Los ensayos se describen en la ASTM C 779.

2.1.2.5.6 DURABILIDAD AL INTEMPERISMO

La durabilidad del concreto se puede definir como la habilidad del concreto en resistir a la acción del ambiente, al ataque químico y a la abrasión, manteniendo sus propiedades de ingeniería. Los diferentes tipos de concreto necesitan de diferentes durabilidades, dependiendo de la exposición del ambiente y de las propiedades deseables. Los componentes del concreto, la proporción de éstos, la interacción entre los mismos y los métodos de colocación y curado determinan la durabilidad final y la vida útil del concreto.

2.1.2.5.7 RESISTENCIA AL CONGELAMIENTO Y DESHIELO

Se espera que el concreto empleado en estructuras y pavimentos tenga una vida larga y poco mantenimiento. El concreto debe tener una buena durabilidad para resistir a condiciones de exposición anticipadas. El factor de intemperismo potencialmente más destructivo es la congelación y deshielo (hielo-deshielo) mientras el concreto está húmedo, principalmente en la presencia de anticongelantes (des congelantes). El deterioro es causado por la congelación del agua y su posterior expansión en la pasta, agregado o ambos.

2.1.2.5.8 REACTIVIDAD ÁLCALI-AGREGADO

La reactividad álcali-agregado es un tipo de deterioro que ocurre cuando los constituyentes minerales activos de algunos agregados reaccionan con los hidróxidos de los álcalis en el concreto. La reactividad es potencialmente peligrosa sólo cuando produce expansión considerable. La reactividad álcali-agregado ocurre de dos formas – reacción álcali-sílice (RAS) y reacción álcali-carbonato (RAC). La reacción álcali-sílice es más preocupante que la reacción álcali-carbonato pues es más común la ocurrencia de agregados conteniendo minerales de sílice.

Las manifestaciones de la presencia de reactividad álcali-agregado son red de agrietamiento, juntas cerradas o lascadas o dislocación de diferentes partes de la estructura (**Fig.1.21**). Como el deterioro por reactividad álcali-agregado es un proceso lento, el riesgo de rotura catastrófica es bajo. La reacción álcali-agregado puede causar problemas de utilización (servicio, funcionalidad) y empeorar otros mecanismos de deterioro, como aquellos de la exposición a congelamiento, anticongelantes o sulfatos.



Ilustración 21 Fig. 1.21. La figuración, el cerramiento de las juntas y la dislocación lateral fueron causados por la severa reactividad álcali-agregado en este muro de parapeto.

Las prácticas corrientes para el control de la reacción álcali-sílice incluyen el uso de materiales cementantes suplementarios o cementos adicionados. Estos materiales han sido verificados y comprobadamente pueden controlar la reacción álcali-sílice. Los materiales cementantes suplementarios incluyen cenizas volantes, escoria granulada de alto horno, sílice activa (humo de sílice, micro sílice) y puzolanas naturales.

2.1.2.5.9 CARBONATACIÓN

La carbonatación del concreto es un proceso por el cual el dióxido (bióxido) de carbono del aire penetra en el concreto y reacciona con los hidróxidos, tales como los hidróxidos de calcio para formar carbonatos. En la reacción con el hidróxido de calcio hay formación de carbonato de calcio. La carbonatación y el secado rápido del concreto fresco pueden afectar la durabilidad de la superficie, pero esto se puede evitar con el curado adecuado. La carbonatación del concreto endurecido no hace daño a la matriz del concreto. Sin embargo, la carbonatación reduce considerablemente la alcalinidad (pH) del

concreto. La alta alcalinidad es necesaria para la protección de la armadura (refuerzo) contra la corrosión y, por consiguiente, el concreto debe ser resistente a la carbonatación para prevenirse la corrosión del acero de refuerzo.

Se aumenta considerablemente el grado de la carbonatación en el concreto que tiene alta relación agua-cemento, bajo contenido de cemento, corto periodo de curado, baja resistencia y pasta altamente permeable (porosa). La profundidad de la carbonatación en el concreto de buena calidad y bien curado tiene generalmente poca importancia desde que la armadura (refuerzo) en el concreto tenga suficiente recubrimiento (**Fig. 1.22**). Las superficies acabadas tienden a tener menos carbonatación. La carbonatación de las superficies acabadas normalmente se observa a una profundidad de 1 hasta 10 mm (0.04 hasta 0.4 pulg.) y de las superficies no acabadas de 2 hasta 20 mm (0.1 hasta 0.9 pulg.), después de muchos años de exposición, dependiendo de las propiedades del concreto, sus componentes, edad y condiciones de exposición.



Ilustración 22 Fig. 1.22. La carbonatación destruye la habilidad del concreto de proteger el acero embebido contra la corrosión. Todo concreto carbonata hasta una pequeña profundidad, pero la armadura debe tener un recubrimiento adecuado para prevenir que la carbonatación alcance el acero. Esta barra de armadura en un muro tenía menos de 10 mm (0.4 pulg.) de recubrimiento de concreto; El código de construcción del ACI requiere un recubrimiento mínimo de 38 mm (1 1/2 pulg.). Después de años de exposición al aire, el concreto carbonató hasta la profundidad de la barra, permitiendo que el acero se oxidara y que la superficie del concreto se desprendiera.

El ACI 2012 R. Guía del concreto durable (Guide to Durable Concrete), tiene más informaciones sobre la carbonatación atmosférica y en agua y el ACI 318 código de construcción presenta los requisitos del recubrimiento de la armadura (refuerzo) para diferentes exposiciones.

2.1.2.5.10 RESISTENCIA QUÍMICA

El concreto de cemento portland es resistente a la mayoría de los medio ambientes; sin embargo, el concreto a veces es expuesto a sustancias que pueden atacar y causar deterioro. El concreto en la industria química y en las instalaciones de almacenamiento es especialmente propenso al ataque químico. El efecto del sulfato y de los cloruros se discute en este capítulo. En el ataque ácido del concreto hay disolución de la pasta de cemento y de los agregados calcáreos. Además del uso de concreto con baja permeabilidad, los tratamientos de superficie pueden ayudar a evitar que las sustancias agresivas entren en contacto con el concreto. Kirchhoff 2001 analiza los efectos de centenas de productos químicos en el concreto y trae una lista de tratamientos que pueden ayudar en el control del ataque químico.

2.1.2.5.11 SULFATOS Y CRISTALIZACIÓN DE SALES

Muchos sulfatos presentes en el suelo y en el agua pueden atacar y destruir un concreto que no fue adecuadamente diseñado. Los sulfatos (por ejemplo sulfato de calcio, sulfato de sodio y sulfato de magnesio) pueden atacar al concreto pues reaccionan con los compuestos hidratados en la pasta de cemento hidratada. Estas reacciones pueden crear presiones suficientes para romper la pasta de cemento, resultando en desintegración del concreto (pérdida de cohesión de la pasta y de resistencia). El sulfato de calcio ataca el aluminato de calcio hidratado y forma etringita. El sulfato de sodio reacciona con el hidróxido de calcio y aluminato de calcio hidratado, formando etringita e yeso. El sulfato de magnesio ataca, de manera similar, al sulfato de sodio y forma etringita, yeso y también brucita (hidróxido de magnesio). La brucita se forma primeramente en la superficie del concreto, consume el hidróxido de calcio, baja el pH en la solución de los poros y entonces descompone el silicato de calcio hidratado (Santhanam y otros 2001).

El mayor daño ocurre con el secado de las soluciones saturadas de estas sales, normalmente en ambientes con ciclos de cambios de humedad relativa y de temperatura que alteran las fases mineralógicas. En concretos permeables, expuestos a condiciones de secado, las soluciones de sales pueden ascender hacia la superficie por la acción de los capilares y, posteriormente, – como resultado de la evaporación en la superficie – la fase de solución se vuelve supe saturada y la cristalización de la sal ocurre, algunas veces generando presiones suficientes para causar Si la tasa de migración de la solución de sal a través de los poros es menor que la tasa de evaporación, se forma una zona de secado debajo de la superficie, ocurriendo cristalización en los poros y causando expansión y descascaromiento (Mehta 2000). Ambas, las partículas de agregado y la pasta de cemento pueden ser atacadas por sales. El ataque de sulfatos y la cristalización de sales son más severos donde el concreto está expuesto a ciclos de mojado y secado, que donde

el concreto está constantemente mojado. Esto normalmente puede ser visto en postes de concreto donde el concreto se ha deteriorado sólo pocos centímetros encima y abajo del nivel del suelo.

La porción del concreto en la parte más profunda del suelo (donde está continuamente mojado) está en buenas condiciones (**Fig. 2.23 y 2.24**).



Ilustración 23 Fig. 2.23. El ataque de sulfatos es frecuentemente más severo en la región sometida a mojado y secado, la cual es, normalmente, cerca del nivel del suelo. Aquí los postes han sido atacados por sulfatos cerca del nivel del suelo.



Ilustración 24 Fig. 2.24 Vigas de concreto después de muchos años de exposición a un suelo con alta concentración de sulfatos en Sacramento, California, terreno de ensayo. Las vigas en mejores condiciones tienen bajas relaciones agua-materiales cementantes y muchas de ellas tienen cemento resistente a sulfatos. La foto menor, a la derecha en la parte superior, enseña dos vigas inclinadas sobre sus laterales para mostrar niveles decrecientes de deterioro con la profundidad y el nivel de

Sin embargo, si la exposición al sulfato es muy severa, las secciones continuamente mojadas pueden incluso, con el tiempo, ser atacadas por los sulfatos si el concreto no ha sido adecuadamente diseñado. Para que se obtenga la mejor protección contra el ataque externo por los sulfatos: (1) diseñe el concreto con baja relación agua materiales cementantes (aproximadamente 0.4) y (2) use cementos especialmente formulados para ambientes con sulfatos, tales como ASTM C 150 (AASHTO M 85) cementos tipo II y tipo V, C 595 (AASHTO M 240) cementos con moderada resistencia a los sulfatos o C 1157 tipos MS o HS.

2.1.2.5.12 EXPOSICIÓN DEL CONCRETO A AGUA SALINAS

El concreto se ha usado en ambientes marinos por décadas con buen desempeño. Sin embargo, son necesarios cuidados especiales en el diseño de las mezclas y en la selección de los materiales para estos ambientes severos. Una estructura expuesta al agua del mar o la salpicadura del agua del mar es más vulnerable en la zona de marea o salpicadura, donde hay ciclos repetidos de mojado y secado y/o congelamiento y deshielo. Los sulfatos y los cloruros presentes en el agua del mar requieren el uso de concretos de baja permeabilidad para minimizar la corrosión de la armadura (refuerzo) y el ataque de sulfatos (**Fig. 2.25**).

Un cemento resistente a exposición moderada a sulfatos es útil. Los cementos con contenido de aluminato tricálcico (C3A) del 4% al 10% ofrecen protección satisfactoria contra el ataque de sulfatos del agua del mar, bien como protección contra la corrosión de la armadura por cloruros. Se debe garantizar un cubrimiento adecuado sobre refuerzo (consulte ACI 318). La relación agua material cementante no debe exceder 0.40. En climas más fríos, el concreto debe contener un mínimo del 6% de aire incluido. El concreto de alta resistencia se puede utilizar donde las grandes formaciones de hielo desgastan la estructura. Consulte Stara (1995 y 2001), Farny (1996) y Kirchhoff (2001).



Ilustración 25 Fig. 2.25. Los concretos de puentes expuestos al agua del mar se deben diseñar y proporcionar especialmente para la durabilidad.

2.1.3 ELEMENTOS DEL CONCRETO

2.1.3.1 ELEMENTOS DEL CONCRETO

El concreto de uso común, o convencional, se produce mediante la mezcla de tres componentes esenciales, cemento, agua y agregados, a los cuales eventualmente se incorpora un cuarto componente que genéricamente se designa como aditivo.

La mezcla íntima de los componentes del concreto convencional produce una masa plástica que puede ser moldeada y compactada con relativa facilidad; pero gradualmente pierde esta característica hasta que al cabo de algunas horas se torna rígida y comienza a adquirir el aspecto, comportamiento y propiedades de un cuerpo sólido, para convertirse finalmente en el material mecánicamente resistente que es el concreto endurecido.

2.1.3.2 CEMENTO

Son todos aquellos conglomerados que amasados con el agua, fraguan y endurecen, tanto expuestos al aire como sumergido en agua, presentando un proceso de reacción química que se conoce como hidratación.

El cemento Portland, se fabrica a partir de materiales minerales calcáreos tales como la caliza y materiales arcillosos con alto contenido de alúmina y sílice.



Ilustración 26 Fig. 2.26 Cemento

Con frecuencia es necesario adicionar productos como el óxido de hierro para mejorar la composición química de las materias primas principales.

La mezcla de materias primas ha de hacerse de tal forma que cada uno de los componentes químicos básicos, se encuentren en proporciones previamente fijadas. El clínker que se obtiene calcinando la mezcla cruda, deberá poseer una cantidad correcta de los minerales fundamentales, es decir; de silicato tricálcico (C3S), silicato di cálcico (C2S), aluminato tricálcico (C3A) y aluminoferrito tetracálcico (C4AF).

En términos prácticos, se concede que los silicatos de calcio son los componentes más deseables, porque al hidratarse son los responsables de la resistencia mecánica y otras propiedades del concreto. El aluminato tricálcico es el compuesto que se hidrata con mayor rapidez, por lo que propicia mayor velocidad en el fraguado y en el desarrollo del calor de hidratación en el concreto. El aluminoferrito tetracálcico es un compuesto relativamente inactivo, pues contribuye poco a la resistencia del concreto.

Otro aspecto importante relativo a la composición química del clínker, se refiere a los álcalis, óxidos de sodio y potasio, cuyo contenido suele limitarse para evitar

reacciones dañinas con ciertos agregados en el concreto (esto ha dado motivo para el establecimiento de un requisito químico opcional, aplicable a todos los tipos de cemento Portland, que consiste en ajustar el contenido de álcalis totales, expresado como Na_2O , a un máximo de 0.60 % cuando se requiere emplear el cemento junto con agregados reactivos).

Al obtener el clínker, éste se enfría y se tritura hasta lograr un polvo fino, el cual es mezclado con yeso para tener como producto final el cemento Portland. En algunos casos, además del yeso, se suman otros materiales con características especiales como por ejemplo puzolanas, que son materiales eminentemente sílice aluminosos, que carecen de toda actividad hidráulica y propiedades cementantes por sí solos, conteniendo constituyentes que a temperaturas ordinarias y en presencia de agua, se combinan con el hidróxido de calcio para formar compuestos permanentemente insolubles en agua y estables, los que se comportan como conglomerantes hidráulicos.

2.1.3.2.1 TIPOS BÁSICOS DE CEMENTOS:

1. de origen arcilloso: obtenidos a partir de arcilla y piedra caliza en proporción 1 a 4 aproximadamente.
2. de origen puzolánico: la puzolana del cemento puede ser de origen orgánico o volcánico.

2.1.3.2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS CEMENTOS

Tipo, nombre y aplicación.

Tipo I: Normal. Para uso general, donde no son requeridos otros tipos de cemento.

Tipo IA: Normal. Uso general, con inplusor de aire.

Estos tipos de cemento son de uso general, y se emplea cuando no se requiere de propiedades y características especiales que lo protejan del ataque de factores agresivos como sulfatos, cloruros y temperaturas originadas por calor de hidratación. Entre los usos donde se emplea este tipo de cemento están: pisos, pavimentos, edificios, estructuras, elementos prefabricados.

Tipo II: Moderado. Para uso general y además en construcciones donde existe un moderado ataque de sulfatos o se requiera un moderado calor de hidratación.

Tipo IIA: Moderado. Igual que el tipo II, pero con impulsor de aire.

El cemento Pórtland tipo II se utiliza cuando es necesario la protección contra el ataque moderado de sulfatos, como por ejemplo en las tuberías de drenaje, siempre y cuando las concentraciones de sulfatos sean ligeramente superiores a lo normal, pero sin llegar a ser severas (En caso de presentarse concentraciones mayores se recomienda el uso de cemento Tipo V, el cual es altamente resistente al ataque de los sulfatos). Genera normalmente menos calor que el cemento tipo I, y este requisito de moderado calor de hidratación puede especificarse a opción del comprador. En casos donde se especifican límites máximos para el calor de hidratación, puede emplearse en obras de gran volumen y particularmente en climas cálidos, en aplicaciones como muros de contención, pilas, presas, etc. La Norma ASTM C 150 establece como requisito opcional un máximo de 70 cal/g a siete días para este tipo de cemento.

Tipo III: Altas resistencias. Para uso donde se requieren altas resistencias a edades tempranas.

Tipo IIIA: Altas resistencias. Mismo uso que el tipo III, con aire incluido.

Este tipo de cemento desarrolla altas resistencias a edades tempranas, a 3 y 7 días. Esta propiedad se obtiene al molerse el cemento más finamente durante el proceso de molienda. Su utilización se debe a necesidades específicas de la

construcción, cuando es necesario retirar cimbras lo más pronto posible o cuando por requerimientos particulares, una obra tiene que ponerse en servicio muy rápidamente, como en el caso de carreteras y autopistas.

Tipo IV: Bajo calor de hidratación. Para uso donde se requiere un bajo calor de hidratación.

El cemento Pórtland tipo IV se utiliza cuando por necesidades de la obra, se requiere que el calor generado por la hidratación sea mantenido a un mínimo. El desarrollo de resistencias de este tipo de cemento es muy lento en comparación con los otros tipos de cemento. Los usos y aplicaciones del cemento tipo IV están dirigidos a obras con estructuras de tipo masivo, como por ejemplo grandes presas. La hidratación inicia en el momento en que el cemento entra en contacto con el agua; el endurecimiento de la mezcla da principio generalmente a las tres horas, y el desarrollo de la resistencia se logra a lo largo de los primeros 30 días, aunque éste continúa aumentando muy lentamente por un período mayor de tiempo. En la fabricación del cemento se utilizan normalmente calizas de diferentes tipos, arcillas, aditivos -como el mineral de hierro cuando es necesario- y en ocasiones materiales silicosos y aluminosos.

Tipo V: Resistente a la acción de los sulfatos. Para uso general y además en construcciones donde existe un alto ataque de sulfatos.

2.1.3.2.3 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS CEMENTOS.

A pesar de que el cemento representa solamente entre 6% y 15% en peso de la mezcla, sus propiedades influyen grandemente en el comportamiento del mismo en cuanto a trabajabilidad y resistencia.

Algunas de las propiedades físicas importantes de este material cementante son las presentadas a continuación:

Finura: Dicha propiedad influye en el calor de hidratación, en la ganancia de resistencia y en la trabajabilidad de la mezcla de concreto. Los materiales cementantes más finos reaccionan de forma más rápida al contacto con el agua, con un correspondiente incremento en la ganancia de resistencias tempranas. También influye en la trabajabilidad, ya que a mayor finura del cemento se incrementa el área superficial. La finura del cemento estará definida por el tamaño de la partícula del material; esta propiedad se expresa como: Retenido en tamiz No.325 (45 μm);

Blaine: Superficie específica cm^2/g .

Hidratación: Es la reacción que se produce entre el agua y los componentes del cemento. Los factores determinantes en este proceso son el clinker, yeso, finura, temperatura y cantidad de agua.

Tiempo de Fraguado: Se refiere al cambio que sufre la pasta de cemento del estado fluido al estado rígido. Dicho valor es un índice del rango en el cual la reacción de hidratación está ocurriendo y se desarrolla la resistencia. Los productos formados por la hidratación constituyen un gel formando inicialmente una pasta más o menos fluida o plástica. El fraguado se produce en dos fases:

Fraguado inicial: Se da cuando la masa empieza a perder plasticidad, aun cuando incluso se nota cierta consolidación.

Fraguado final: Cuando por si solo y sin que se someta la pasta a presiones o cargas, esta conserva su forma.

Resistencia Mecánica: La resistencia del mortero o el concreto endurecido, esta con relación a las características del cemento usado. Dicha propiedad se determina a través de la resistencia a la compresión en cubos de mortero preparados, usando una arena de graduación estandarizada.

Clasificación de los cementos en función del desarrollo de su resistencia:

Alta resistencia inicial: en 72 horas alcanzan valores superiores a 4000 psi.

Endurecimiento rápido: son los que teniendo una resistencia considerable a 28 días, a la edad de 3 días han desarrollado al menos un 60% de su resistencia.

Endurecimiento lento: hasta los 7 días su crecimiento es lento, luego incrementa rápidamente pero de manera especial de los 28 a 90 días.

El cemento hidráulico debe cumplir lo indicado en la especificación que le corresponde, según la tabla siguiente:

TIPO	ESPECIFICACIÓN
Cemento Pórtland	AASHTO M 85
Cemento Hidráulico Mezclado	AASHTO M 240
Cemento para Mampostería	ASTM C 91

Tabla 2 Normas para los cementos hidráulicos. FUENTE: Ministerio de Obras públicas. Unidad de Investigación y Desarrollo Vial. Especificaciones FP'-96

2.1.3.3 AGREGADOS

Los agregados finos y gruesos ocupan comúnmente de 60% a 75% del volumen del concreto (70% a 85% en peso), e influyen notablemente en las propiedades del concreto recién mezclado o endurecido, en las proporciones de la mezcla, y en la economía. Los agregados finos comúnmente consisten en arena natural o piedra triturada siendo la mayoría de sus partículas menores que 5mm.

2.1.3.3.1 AGREGADO FINO

El análisis granulométrico de la arena se complementa calculando su módulo de finura, que es igual a la centésima parte de la suma de los porcentajes retenidos acumulados en cada una de las mallas de la



Ilustración 27 Fig. 2.27 Agregado Fino

serie estándar.

Comúnmente se considera que la arena presenta un módulo de finura adecuado para la fabricación de concreto convencional, si no es menor de 2.30 ni mayor de 3.10.

Las arenas cuyo módulo de finura es inferior a 2.30, normalmente se consideran demasiado finas e inconvenientes para esta aplicación, porque suelen requerir mayores consumos de pasta de cemento, lo cual repercute adversamente en los cambios volumétricos y en el costo del concreto. En el extremo opuesto, las arenas con módulo de finura mayor de 3.10 resultan demasiado gruesas y también se les juzga inadecuadas porque tienden a producir mezclas de concreto ásperas, segregables y propensas al sangrado.

Sin embargo, hay obras en que estas restricciones granulométricas no pueden ser respetadas ciegamente, debido a la falta de disponibilidad de arenas bien graduadas a distancias económicamente convenientes. En tales casos, si la calidad intrínseca de sus partículas es aceptable, existe la posibilidad de utilizar arenas con deficiente composición granulométrica corrigiendo sus efectos adversos en el concreto mediante un apropiado diseño de la mezcla y el uso de aditivos minerales, impulsores de aire o reductores de agua.

En previsión de esta contingencia, no resulta prudente especificar con criterio rígido la aceptación de la arena con base en esta característica, si no de preferencia dejar abierta la posibilidad de que puedan emplearse arenas con

ciertas deficiencias granulométricas, siempre y cuando no exista la alternativa de una arena mejor graduada, y se demuestre mediante pruebas que la arena en cuestión permite obtener concreto de las características y propiedades requeridas a costo razonable.

2.1.3.3.2 AGREGADO GRUESO

Al igual que en el caso de la arena es deseable que el agregado grueso en conjunto posea continuidad de tamaños en su composición granulométrica, también los efectos que la granulometría de la grava produce sobre la manejabilidad de las mezclas de concreto no son tan notables como los que produce la arena.



Ilustración 28 Fig. 2.28 Agregado Grueso

Lo cual concede ciertas libertades para integrar la curva granulométrica de la grava total, incluso fuera de los límites granulométricos establecidos, cuando existen deficiencias de tamaños, difíciles de subsanar.

En tales circunstancias, el juicio para establecer dicha curva suele apoyarse en pruebas que demuestren la obtención de mezclas de concreto manejables y cohesivas con grava de la granulometría propuesta, y que una vez endurecido, el concreto obtenga las propiedades requeridas a un costo conveniente.

TAMAÑOS NOMINALES DE LOS AGREGADOS

DETERMINACION DE FRACCIONES	INTERVALO NOMINAL (mm)	MALLAS CORRESPONDIENTES (ASTM C33)
AGREGADO FINO O ARENA	0.075-4.75	No. 200 - No. 4
AGREGADO GRUESO O GRAVA	4.75 - VARIABLE(*)	No. 4 - (*)

Tabla 3 Tamaño Nominal de los Agregados

Los agregados gruesos consisten en una grava o una combinación de grava o agregado triturado cuyas partículas sean predominantemente mayores que 5mm y generalmente entre 9.5 mm y 38mm. Algunos depósitos naturales de agregado, a veces llamados gravas de mina, río, lago o lecho marino. El agregado triturado se produce triturando roca de cantera, piedra bola, guijarros, o grava de gran tamaño. La escoria de alto horno enfriada al aire y triturada también se utiliza como agregado grueso o fino.

Un material es una sustancia sólida natural que tiene estructura interna ordenada y una composición química que varía dentro de los límites muy estrechos. Las rocas (que dependiendo de su origen se pueden clasificar como ígneas, sedimentarias o metamórficas), se componen generalmente de varios materiales. Por ejemplo, el granito contiene cuarzo, feldespato, mica y otros cuantos minerales; la mayor parte de las calizas consisten en calcita, dolomita y pequeñas cantidades de cuarzo, feldespato y arcilla. El intemperismo y la erosión de las rocas producen partículas de piedra, grava, arena, limo, y arcilla. El concreto reciclado, o concreto de desperdicio triturado, es una fuente factible de agregados y una realidad económica donde escaseen agregados de calidad. Los agregados de calidad deben cumplir ciertas reglas para darles un uso ingenieril óptimo: deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y otros materiales

finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia la pasta del cemento. Las partículas de agregado que sean desmenuzables o susceptibles de resquebrajarse son indeseables. Los agregados que contengan cantidades apreciables de esquistos o de otras rocas esquistosas, de materiales suaves y porosos, y ciertos tipos de horsteno deberán evitarse en especial, puesto que tiene baja resistencia al intemperismo y pueden ser causa de defectos en la superficie tales como erupciones.

2.1.3.4 AGUA

El agua (Véase Figura 2.29), en relación con su empleo en el concreto, tiene dos diferentes aplicaciones, como ingrediente en la elaboración de las mezclas y como medio de curado de las estructuras recién construidas. En el primer caso, es de uso interno como agua de mezclado, y en el segundo, se emplea exteriormente cuando el concreto se cura con agua.

Aunque en estas aplicaciones, las características del agua tienen efectos de diferente importancia sobre el concreto, es usual que se recomiende emplear agua de una sola calidad en ambos casos, para evitar que se subestime el curado utilizando agua con características inadecuadas.



Ilustración 29 Fig. 2.29 Agua para el mezclado y curado del concreto

Como corresponde en el concreto convencional, el agua suele representar entre el 10% y 25% del volumen de concreto recién mezclado, dependiendo del tamaño máximo del agregado que se utilice y del revenimiento que se requiera. Esto le concede una influencia importante a la calidad del agua de mezclado en el comportamiento y las propiedades del concreto, pues cualquier sustancia dañina

que contenga, aún en proporciones reducidas, puede tener efectos adversos significativos en el concreto, como: afectar el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto, causar eflorescencia, corrosión del refuerzo, inestabilidad volumétrica, manchas en la superficie y una menor durabilidad.

Los requisitos de calidad del agua de mezclado para concreto, no tienen ninguna relación obligada con el aspecto bacteriológico (como es el caso de las aguas potables), sino que básicamente, se refieren a sus características físico-químicas (sólidos en suspensión, color, olor, sabor, materia orgánica, sales inorgánicas, dióxido de carbono (CO₂) disuelto) y a sus efectos sobre el comportamiento y las propiedades del concreto.

Las características físico-químicas del agua, deben limitarse en cuanto al contenido de sustancias cuya presencia es relativamente frecuente y nociva para el concreto y/o refuerzo, tales como: sólidos en suspensión, sales inorgánicas, materia orgánica, etc. Sin embargo, no existe un consenso general en cuanto a la cantidad que debe imponerse como limitación; no así, con la presencia de sustancias dañinas, tales como: grasas, aceites, azúcares y ácidos, las cuales, son un síntoma de contaminación que requiere eliminarse para el agua de mezclado.

La norma ASTM C1602 “Especificación estándar para agua de amasado usada en la producción de concreto de cemento hidráulico”, indica los requisitos que debe cumplir el agua a ser utilizada para la elaboración de concreto de cemento hidráulico. El agua de calidad dudosa, deberá enviarse a un laboratorio para que se efectúen ensayos o pruebas; o, si no se dispone de tiempo, comparar la resistencia y durabilidad de especímenes de concreto hechos con dicha agua, con las de especímenes de control hechos con agua que se sabe que es satisfactoria

(Véase Tabla 2.4). Requerimientos del desarrollo del concreto para el agua de mezclado.

Ensayo de Laboratorio	Limites	Métodos de Prueba
Esfuerzo de compresión. Mín. % Control a los 7 días ^{AB}	90	ASTM C31 ASTM C39
Tiempo de fraguado, desviación de concreto de control (h:min) ^A	Desde 1:00 antes a 1:30 después	ASTM C403

^A Las comparaciones están basadas en proporciones fijas para un diseño de mezcla de concreto representativo de un suministro de agua cuestionable y un concreto de control usando un 100% de agua potable o agua destilada.

^B Los resultados del esfuerzo de compresión están basados en al menos dos especímenes de prueba estándar hechos a partir de una muestra compuesta

Tabla 4 Normas Para el Agua del Concreto

2.1.3.5 ADITIVOS

Son aquellos ingredientes que se agregan antes del mezclado o durante el mismo, en los cuales se puede ejercer control sobre su dosificación y que se utilizan con el propósito fundamental de modificar convenientemente el comportamiento del concreto en estado fresco, así como de inducir o mejorar determinadas propiedades deseables en el concreto endurecido. Según su función se clasifican de la siguiente manera:

- a) **Aditivos impulsores de aire:** Se utilizan para retener intencionalmente burbujas microscópicas de aire en el concreto, lo cual mejora la durabilidad de concretos que estarán expuestos a ciclos de congelación y deshielo.
- b) **Aditivos reductores de agua:** Se emplean para disminuir la cantidad de agua de mezclado requerida para un revenimiento especificado, disminuir la relación agua/cemento con lo que se obtiene un aumento en la resistencia, sin embargo se incrementa la velocidad de pérdida de revenimiento lo que redundará en un tiempo de colocación menor.
- c) **Aditivos retardantes:** Disminuyen la velocidad de fraguado del concreto, estos también actúan como reductores de agua, se les denomina frecuentemente

retardantes reductores de agua. Se emplean para compensar el efecto acelerante que el clima cálido puede producir al fraguado del concreto o para retrasar el fraguado inicial en colados difícil.

d) **Aditivos acelerantes:** Se usan para acelerar el desarrollo de la resistencia del concreto a edades tempranas, se utilizan cuando es necesario desencofrar antes del tiempo que las especificaciones contractuales fijan y/o para poner en servicio la obra prontamente.

e) **Aditivos superplastificantes:** Son aditivos reductores de agua de alto rango, que se agregan a los concretos de bajo revenimiento y baja relación agua/cemento para producir concretos fluidos de alto revenimiento. La creciente utilización del concreto fluido permitió la elaboración de aditivos para este concreto y dio origen a la especificación ASTM C 1017. La condición esencial que se busca al emplear un aditivo superplastificante consiste en aumentar transitoriamente la fluidez de las mezclas de concreto, sin afectar las propiedades potenciales del concreto endurecido, sin embargo debe tenerse presente los posibles efectos secundarios que se originan a partir de aditivos reductores de agua a fin de prevenirlos con los ensayos correspondientes.

El concreto fluidificado con aditivos prácticamente no requiere ser compactado en las formas o cimbras y frecuentemente se logra acomodar por simple gravedad. De esta característica derivan sus principales aplicaciones, que son aquellas donde existan dificultades de acceso para la colocación y/o compactación del concreto, donde las formas son muy estrechas o donde hay excesivo acero de refuerzo.

El concreto fluidificado con aditivos de esta clase tiende a perder revenimiento con mayor rapidez que el concreto del mismo revenimiento sin aditivo, sin embargo es posible reponerle su revenimiento original con una nueva dosificación del aditivo.

2.4 TIPOS DE CONCRETO

2.1.4.1 TIPOS DE CONCRETO

Concretos especiales son aquéllos que tienen propiedades no ordinarias o aquéllos producidos por técnicas poco comunes. El concreto es, por definición, un material o compuesto, consistiendo básicamente en un medio aglomerante (aglutinante) y partículas de agregado y puede tomar varias formas. La **Tabla 2.32** lista varios concretos especiales producidos con cemento portland y algunos elaborados con otros tipos de aglutinante. En muchos casos, la terminología de la lista describe el uso, propiedad o condición del concreto. Los tipos más comunes son:

Tabla 5 TIPOS DE CONCRETO

Algunos tipos de concreto producidos con cemento portland		
Concreto aislante	Concreto con revenimiento cero	Concreto modificado por látex
Concreto arquitectónico	Concreto con vermiculita	Concreto modificado por polímero
Concreto auto-compactante	Concreto de alta resistencia	Concreto para blindaje
Concreto blanco	Concreto de alta resistencia inicial	Concreto para clavar
Concreto celular de autoclave	Concreto de alto desempeño	Concreto para relleno
Concreto ciclópeo	Concreto de baja densidad	Concreto para tubo embudo (tremie)
Concreto colado por centrifuga	Concreto de contracción compensada	Concreto poroso
Concreto coloidal	Concreto de gran peso	Concreto pre-empacado
Concreto coloreado	Concreto de polvo reactivo	Concreto premoldeado
Concreto compactado con rodillo	Concreto empacado a seco	Concreto reciclado
Concreto con agregado de aserrín	Concreto estampado	Concreto reforzado con fibras
Concreto con agregado expuesto	Concreto fluido	Concreto superplastificado
Concreto con agregado pre-colocado	Concreto geopolímero	Concreto tratado al vacío
Concreto con ceniza volante	Concreto lanzado	Ferrocemento
Concreto con granulometría discontinua	Concreto ligero de resistencia moderada	Relleno de densidad controlada
Concreto con humo de sílice	Concreto ligero estructural	Relleno fluido
Concreto con puzolana	Concreto masivo	Suelo-cemento
Concreto sin revenimiento	Concreto modificado por epóxi	Terrazo
Algunos tipos de concreto que no usan cemento portland		
Concreto acrílico	Concreto de fosfato de magnesio	Concreto de silicato de sodio
Concreto asfáltico	Concreto de látex	Concreto de yeso
Concreto de aluminato de calcio	Concreto de metacrilato de metilo (MMA)	Concreto epóxico
Concreto de azufre	Concreto de poliéster	Concreto furano
Concreto de fosfato de aluminio	Concreto de silicato de potasio	Concreto polimérico

Tabla 5 La mayoría de las definiciones de estos concretos aparece en Terminología del Cemento y Concreto (Cement and Concrete Terminology), ACI 116

2.1.4.1.1 CONCRETO LIGERO ESTRUCTURAL

Los agregados ligeros (livianos) estructurales se clasifican normalmente de acuerdo con su proceso de producción, pues el proceso interfiere en sus propiedades. Los agregados ligeros estructurales procesados deben atender a los requisitos de la ASTM C 330, IRAM 1567, NMX-C-244, UNIT-NM 35 o NTC 4045, los cuales incluyen:

- Arcillas (Fig. 2.33), pizarras y esquistos expandidos en hornos rotatorios
- Esquistos y pizarras expandidas en parrillas de sinterización
- Ceniza volante peletizada o extruída
- Escorias expandidas

Los agregados ligeros estructurales también se producen a través del procesamiento de otros tipos de materiales, tales como escorias y piedra pómez natural.

Los agregados ligeros estructurales tienen una masa unitaria significativamente menor que los agregados de peso normal, variando de 560 a 1120 kg /m³ (35 a 70 lb/pie³), comparativamente con 1200 a 1760 kg /m³ (75 a 110 lb/pie³) de los agregados de peso normal. Estos agregados pueden absorber de 5% a 20% de agua por peso de material seco. Para controlar la uniformidad de las mezclas de concreto ligero estructural, se mojan los agregados (pero no se los satura) antes de la dosificación.



Ilustración 30 Fig. 2.30 Arcilla Expansiva

2.1.4.1.2 CONCRETOS LIGEROS AISLANTES Y DE RESISTENCIA MODERADA

El concreto aislante es un concreto ligero con masa volumétrica seca en el horno de no más que 800 kg/m³ (50 lb/pie³). Se lo produce con materiales cementantes, agua, aire, con o sin agregados y aditivos químicos. La masa volumétrica seca en el horno varía de 240 a 800 kg/m³ (15 a 50 lb/pie³) y la resistencia a compresión a los 28 días es de 7 a 70 kg/cm² o de 0.7 a 7 MPa (100 a 1000 lb/pulg²). El concreto aislante colado en obra se usa principalmente para el aislamiento térmico y acústico, cubiertas, relleno para sub bases de losas sobre el terreno, capas de nivelación de pisos o cubiertas, muros a prueba de fuego y revestimientos de conductos térmicos subterráneos. El concreto ligero de moderada resistencia tiene una masa volumétrica seca en el horno de 800 a 1900 kg/m³ (50 a 120 lb/pie³) y una resistencia a compresión de aproximadamente 70 a 180 kg/cm² o de 7 a 17 MPa (1000 a 2500 lb/pulg²). Se lo produce con materiales cementantes, agua, aire, con o sin agregados y aditivos químicos. El concreto con masa volumétrica más baja se usa como relleno para aislamiento térmico y acústico de pisos, muros y cubiertas y se lo conoce como concreto de relleno. El concreto con masa volumétrica más elevada se emplea en muros colados en obra, pisos y cubiertas y paneles prefabricados para muros y pisos. Consulte los documentos del ACI para más informaciones.

Para fines de exposición, los concretos ligeros aislantes y de moderada resistencia se pueden agrupar de la siguiente manera:

Grupo I se produce con agregados expandidos, tales como perlitas, vermiculitas o con poli estireno expandido. Las masas volumétricas secas en el horno del concreto que usa estos agregados generalmente varían entre 240 a 800 kg/m³ (15 a 50 lb/pie³). Este grupo se usa principalmente en concreto aislante. Algunos concretos de moderada resistencia se pueden producir con estos agregados.

Grupo II se produce con agregados fabricados con materiales expandidos, calcinados o sinterizados, tales como escoria de alto horno, arcilla, diatomita, ceniza volante, esquisto o pizarra, o por el procesamiento de materiales naturales, tales como la piedra pómez, escoria o tufa. Las masas volumétricas, cuando se usan estos agregados, pueden variar entre 720 y 1440 kg/m³ (45 a 90 lb/pie³). Los agregados en este grupo se usan en concretos ligeros de moderada resistencia y algunos de estos materiales (escoria expandida, arcilla, ceniza volante, esquisto y pizarra) también se usan tanto en el concreto de moderada resistencia, como en el concreto ligero estructural.

Grupo III representa los concretos que se producen con la incorporación, en la pasta de cemento o en el mortero de cemento y arena, de una estructura celular uniforme de vacíos de aire obtenida con espuma preformada (ASTM C 869), espuma formada en el sitio o agentes especiales de espuma. Las masas volumétricas, que varían entre 240 y 1900 kg/m³ (15 y 120 lb/pie³), se obtienen con la sustitución de algunas o todas las partículas de agregado por vacíos de aire, los cuales pueden llegar a ocupar 80% del volumen. Se pueden producir concretos celulares para que atiendan a los requisitos de los concretos aislantes y de los concretos de moderada resistencia. Los agregados usados en los grupos I e II deben atender a los requisitos de la ASTM C 332 y la NMX-C- 244. Estos agregados tienen masas volumétricas secas que varían de 96 a 1120 kg/m³ (6 a 70 lb/pie³) hasta 16 kg/m³ (1 lb/pie³) para el poli estireno expandido.

2.1.4.1.3 CONCRETO CELULAR DE AUTOCLAVE (AUTOCLAVADO)

El concreto celular de autoclave (auto clavado) (también llamado concreto aireado auto clavado) es un tipo especial de material de construcción ligero (liviano). Se lo produce de un mortero que consiste en material silíceo pulverizado (arena, escoria o ceniza volante), cemento y/o cal y agua y se adiciona a este mortero un aditivo formador de gas como, por ejemplo, el polvo

de aluminio. La reacción química del aluminio con el agua alcalina produce hidrógeno, el cual expande el mortero a medida que se forman macro poros de diámetro de 0.5 a 1.5 mm (0.02 a 0.06 pulg.). Entonces, se cura el material con vapor bajo presión (autoclave) por un periodo de 6 a 12 horas, usando una temperatura de 190°C (374°F) y una presión de 12 kg/cm² o 1.2 MPa (174 lb/pulg²). Esto forma una matriz de mortero endurecido, que consiste esencialmente en silicatos

de calcio hidratados. Este material de construcción mineral poroso tiene masa volumétrica (masa unitaria, densidad) entre 300 y 1000 kg/m³ (19 y 63 lb/pie³) y resistencia a compresión entre 25 y 110 kg/cm² o 2.5 y 10 MPa (300 y 1500 lb/pulg²). Debido al alto contenido de macro poros – hasta 80% del volumen – el concreto celular de autoclave (auto clavado) tiene una conductividad térmica de sólo 0.15 a 0.20 W / (m • K) (1 a 1.4 Btu • pulg./ [h • pie² • °F]). El concreto celular de autoclave (auto clavado) se produce en la forma de bloques o paneles para construcción de edificios residenciales o comerciales (Fig. 2.31). Información adicional se puede encontrar en el ACI 523.2R, Guía para el Concreto Celular Prefabricado (Guide for Precast Cellular Concrete).



Ilustración 31 Fig. 2.31(Izquierda) Edificio residencial construido con bloques de concreto celular auto-clavado. (Derecha) Bloque de concreto celular auto-

2.1.4.1.4 CONCRETO DE DENSIDAD ELEVADA

El concreto de densidad elevada (concreto de gran peso) tiene una densidad (masa volumétrica) de hasta cerca de 6400 kg/m³ (400 lb/pie³). El concreto de gran peso se usa principalmente para blindaje de radiación, pero también se lo usa para contrapesos y otras aplicaciones donde la alta densidad sea importante. Como un material de blindaje, el concreto de gran peso protege contra los efectos perjudiciales de los rayos X, rayos Gama y radiación de neutrones. La selección del concreto para el blindaje de radiación se basa en los requisitos de espacio y en el tipo e intensidad de radiación. Donde los requisitos de espacios no sean importantes, el concreto de peso normal va a producir generalmente el blindaje más económico. Donde el espacio sea limitado, el concreto de gran peso va a permitir reducciones en el espesor del blindaje sin afectar su eficiencia. El tipo y la intensidad de la radiación normalmente determinan los requisitos para masa volumétrica y contenido de agua del concreto para blindaje.

La eficiencia del concreto de blindaje contra los rayos gama es aproximadamente proporcional a la masa volumétrica del concreto, porque cuanto mayor es la masa volumétrica del concreto, más eficiente será el blindaje. Por otro lado, un blindaje eficiente contra radiación de neutrones requiere tanto elementos pesados como también ligeros. El hidrógeno en el agua provee un elemento ligero eficiente en el concreto de blindaje. Algunos agregados contienen agua cristalizada, llamada agua fija, como parte de su estructura. Por esta razón, agregados de gran peso con alto contenido de agua fija frecuentemente se usan para atenuar la radiación de rayos gama y de neutrones. El vidrio de boro (frita de boro) también se añade para atenuar la radiación de neutrones.

Tabla 18-3. Propiedades Físicas de Agregados y Concretos Típicos de Alta Densidad

Tipo de agregado	Agua fija*, porcentaje por peso	Masa específica relativa del agregado	Masa volumétrica del agregado, kg/m ³ (lb/pie ³)	Masa volumétrica del concreto, kg/m ³ (lb/pie ³)
Geotita	10–11	3.4–3.7	2080–2240 (130–140)	2880–3200 (180–200)
Limonita**	8–9	3.4–4.0	2080–2400 (130–150)	2880–3360 (180–210)
Barita	0	4.0–4.6	2320–2560 (145–160)	3360–3680 (210–230)
Limenita	†	4.3–4.8	2560–2700 (160–170)	3520–3850 (220–240)
Hematita	†	4.9–5.3	2880–3200 (180–200)	3850–4170 (240–260)
Magnetita	†	4.2–5.2	2400–3040 (150–190)	3360–4170 (210–260)
Ferrofósforo	0	5.8–6.8	3200–4160 (200–260)	4080–5290 (255–330)
Perdigones y punzonados de acero	0	6.2–7.8	3860–4650 (230–290)	4650–6090 (290–380)

Tabla 6 Propiedades típicas del agregado y el cemento de alta densidad

2.1.4.1.5 CONCRETO MASIVO

El ACI comité 116 define el concreto masivo como “Cualquier gran volumen de concreto colado en la obra, con dimensiones suficientemente grandes que requieran medidas para enfrentar la generación de calor y para controlar los cambios de volumen, a fin de minimizar el agrietamiento”. El concreto masivo incluye no solamente el concreto con bajos contenidos de cemento, usado en presas y otras estructuras masivas, sino también concretos con contenidos moderado y elevado de cemento en miembros estructurales de puentes y edificios

(Fig. 2.32).

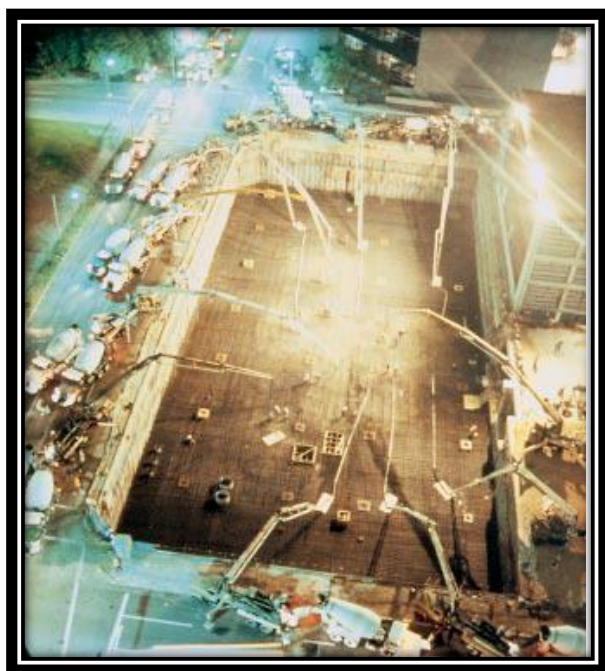


Ilustración 32 Fig. 2.32 El colado de una cimentación grande como la que se muestra requiere precauciones de concreto masivo.

El colado de concreto masivo requiere consideraciones especiales para reducir el calor de hidratación y el aumento de temperatura resultante, a fin de evitarse daños del concreto por las altas temperaturas y por las diferencias de temperatura que pueden resultar en fisuración térmica (Gajda y Vaneem, 2002).

En el concreto masivo, el aumento de temperatura (**Fig. 2.33**) es resultante del calor de hidratación de los materiales cementantes.

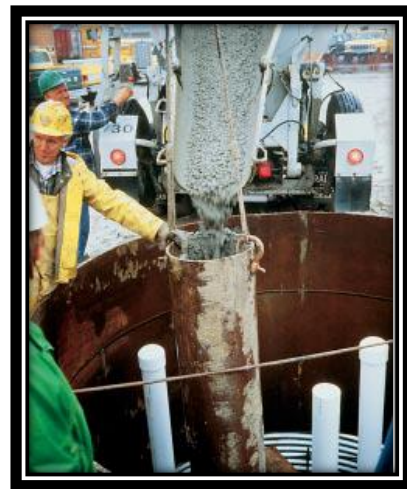
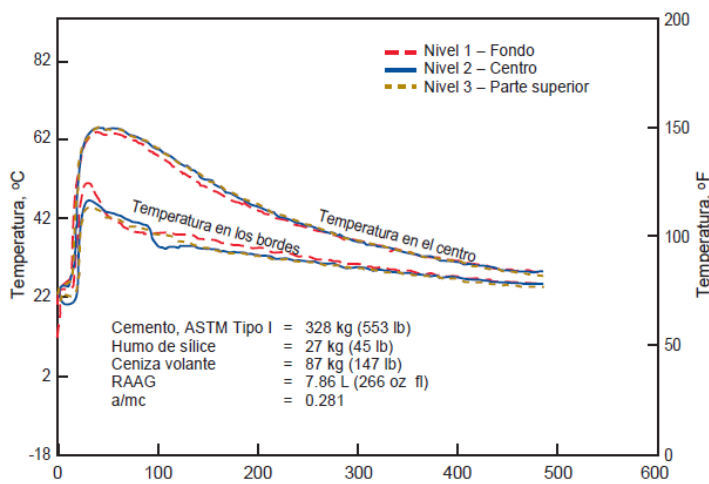


Ilustración 33 Fig. 2.33 (Derecha) Un pozo perforado (cajón), con 3 m (10 pies) de diámetro y 12.2 m (40 pies) de profundidad en el cual se colocó concreto de alta resistencia y “bajo calor” y (Izquierda) temperaturas de este concreto medidas en el centro y en el borde, en tres niveles diferentes

A medida que la temperatura del concreto en el interior aumenta y el concreto se expande, la superficie puede estar enfriándose y contrayéndose. Esto origina esfuerzos de tensión (tensión de tracción) que pueden resultar en fisuras en la superficie, si el gradiente de temperatura entre la superficie y el centro es muy grande. El ancho y la profundidad de las fisuras dependen del gradiente de temperatura, propiedades físicas del concreto y del acero de refuerzo. No existe un tamaño de elemento específico de una estructura que al ser superado pueda clasificarse como concreto masivo. Muchos elementos estructurales de grandes dimensiones pueden no ser suficientemente masivos para que se deba considerar

el calor generado. Esto es crítico principalmente cuando las dimensiones mínimas de la sección transversal se acercan o superan 1 metro (3 pies) o cuando el contenido de cemento supera 355 kg/m³ (600 lb por yarda cúbica). El aumento de temperatura en el concreto masivo se relaciona con su temperatura inicial (**Fig. 2.34**), la temperatura ambiente, el tamaño del elemento de concreto (relación volumen-área superficial y dimensión mínima) y el tipo y la cantidad de los materiales cementantes.

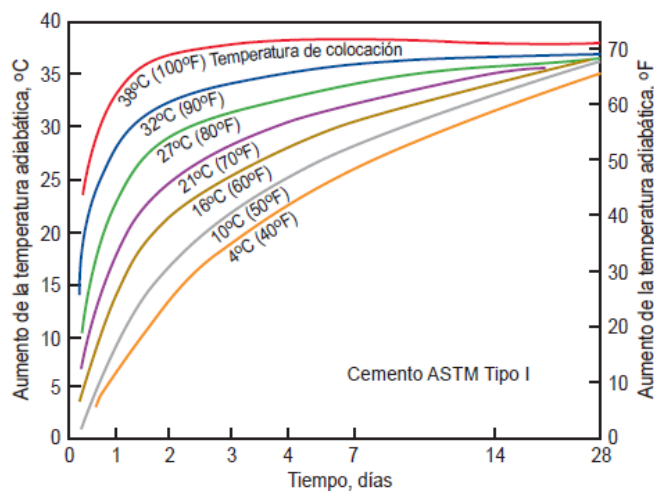


Ilustración 34 Fig. 2.34 El efecto de la temperatura de colado sobre el aumento de la temperatura en el concreto masivo con 223 kg/m³ (376 lb/yd³) de cemento. Las temperaturas más elevadas de colado aceleran el aumento de temperatura del concreto

Elementos pequeños de concreto (menos de 0.3 m [1 pie] de espesor), con cantidades moderadas de material cementante, son de poco interés, pues el calor generado se disipa rápidamente. A fin de evitarse el agrietamiento (fisuración), no se debe permitir que la temperatura interna del concreto en presas y en otras estructuras reforzadas de concreto, que posean relativamente baja resistencia a compresión, exceda en más que 11°C a 14°C (20°F a 25°F) el promedio anual de temperatura ambiente (ACI 308). El aumento de la temperatura interna del concreto se puede controlar de varias maneras: (1) bajo contenido de cemento – 120 a 270 kg/m³ (200 a 450 lb/yd³), (2) agregados grandes – 75 a 150mm (3 a 6 pulg.), (3) alto contenido de agregado grueso hasta 80% del contenido total de agregados, (4) cemento de bajo calor de hidratación, (5) puzolanas –el calor de

hidratación de la puzolana puede ser del 25% al 75% del cemento, (6) reducción de la temperatura inicial del concreto para aproximadamente 10°C (50°F) a través del enfriamiento de los ingredientes del concreto, (7) enfriamiento del concreto, a través de la inserción de tubería de enfriamiento, (8) cimbras (encofrados) de acero para la disipación rápida del calor, (9) curado con agua y (10) colados (fundidos) pequeños – 1.5 m (5 pies) o menos durante el colado. En estructuras masivas de relación volumen-área superficial elevada, se puede estimar el aumento de la temperatura adiabática a través de las ecuaciones de una publicación de la PCA (PCA 1987). Los miembros de concreto estructural reforzado masivo con contenidos de cemento elevados (300 a 600 kg por metro cúbico o 500 a 1000 lb por yarda cúbica) no pueden usar muchas de las técnicas de colocación, ni las medidas de control descritas anteriormente para mantener las temperaturas bajas, a fin de controlar la fisuración. En estos concretos (normalmente utilizados en puentes, cimentación o plantas de energía), una buena técnica es (1) colar toda la sección de concreto en una vaciada continua, (2) reducir el tamaño del miembro con el colado (fundido) del concreto en vertidos múltiples y pequeños o (3) controlar los gradientes de deformación térmica interna, previniendo que se desarrollen diferenciales de temperatura elevados entre la superficie del concreto y el centro. Este último se logra diseñando adecuadamente el concreto, manteniendo la superficie del concreto caliente o reduciendo la temperatura interna del concreto a través del pre enfriamiento del concreto o del pos enfriamiento con tubería interna de enfriamiento. Investigaciones y la experiencia han mostrado que limitándose el diferencial máximo de temperatura entre el interior y la superficie exterior del concreto a menos de 20°C (36°F), se puede minimizar o evitar el agrietamiento de la superficie (FitzGibbon 1977 y Dintel y Ghosh 1978). Algunas fuentes indican que el diferencial de temperatura máximo (DTM) para concretos que contengan granito o caliza (agregados de bajo coeficiente térmico) debe ser 25°C y 31°C (45°F y 56°F), respectivamente (Bamforth 1981). El DTM real para un

colado y un diseño de mezcla particulares de concreto masivo se puede determinar con el uso de las ecuaciones del ACI 207 (1995). En general, se debe asumir un DTM de 20°C (36°F), a menos que una demostración o cálculos basados en las propiedades físicas del concreto real y la geometría del miembro de concreto muestren que se puede permitir valores de DTM más elevados. Al limitarse el diferencial de temperatura a 20°C (36°F) o menos, el concreto se enfriará lentamente, hasta que alcance la temperatura ambiente, con el desarrollo de poco o ningún agrietamiento de la superficie. Sin embargo, esto es válido sólo si el miembro no está restringido por el acero del refuerzo continuo que cruce la superficie de contacto de secciones adyacentes u opuestas del concreto endurecido. El concreto restringido tiende a fisurarse debido a eventuales contracciones térmicas después de su enfriamiento. El concreto sin restricción no debe agrietarse si se emplean procedimientos adecuados y si se controla el diferencial de temperatura. Si hay alguna preocupación sobre diferenciales de temperatura elevados en el miembro de concreto, se debe considerar el elemento como concreto masivo y se deben tomar las precauciones apropiadas. La figura 18-10 ilustra la relación entre aumento de temperatura, enfriamiento y diferencial de temperatura en una sección de concreto masivo. Como se puede observar, si se remueven las cimbras (encofrados) (las cuales proveen aislamiento adecuado en este caso) demasiado pronto, va a ocurrir agrietamiento, una vez que la diferencia de temperatura entre el interior y la superficie del concreto exceda el diferencial crítico de temperatura de 20°C (36°F). Si se permiten diferenciales de temperaturas más elevados, las cimbras se pueden remover más temprano. En colados (fundidos) grandes de concreto, puede ser necesario el aislamiento de la superficie por un periodo prolongado o hasta varias semanas. El aumento máximo de temperatura se puede estimar a través de una aproximación, es decir, si el concreto contiene de 300 a 600 kg/m³ (500 a 1000 lb/yd³) de cemento tipo I/II ASTM y la menor dimensión del elemento es 1.8m (6 pies). Esta aproximación (bajo condiciones normales, no adiabáticas) sería 12°C para cada

100 kg de cemento por metro cúbico (12.8°F para cada 100 lb por yarda cúbica). Por ejemplo, la máxima temperatura de un elemento de concreto con 535 kg/m³ (900 kg/yd³) de cemento tipo I/II ASTM y colado a una temperatura de 16°C (60°F) sería cerca de: $16^{\circ}\text{C} + (12^{\circ}\text{C} \times 535/100)$ o 80°C ($60^{\circ}\text{F} + [12.8^{\circ}\text{F} \times 900/100]$ o 175°F) Las temperaturas y los diferenciales de temperatura en el concreto masivo también se pueden calcular por el método del ACI 207 (1996). La baja tasa de intercambio de temperatura entre el concreto y su alrededor se debe a la capacidad térmica del concreto. El calor escapa del concreto a una velocidad que es inversamente proporcional al cuadrado de su menor dimensión. Un muro de espesor de 150 mm (6 pulg.) enfriándose por los dos lados llevaría 1 1/2 horas para disipar 95% de calor desarrollado. Un muro con espesor de 1.5 m (5 pies) llevaría una semana entera para disipar la misma cantidad de calor (ACI 207). Se pueden utilizar termopares baratos para controlar la temperatura del concreto.

2.1.4.1.6 CONCRETO CON AGREGADO PRECOLOCADO

El concreto con agregado pre colocado se produce con la colocación del agregado grueso en la cimbra encofrado y posteriormente la inyección de un mortero de cemento y arena, normalmente con aditivos, para rellenar los vacíos. Las propiedades del concreto resultante son similares a aquéllas de un concreto comparable, colocado con métodos convencionales. Sin embargo, se puede esperar que, tanto la contracción térmica como por secado, sean considerablemente menores debido al contacto punta- punta de las partículas de agregados. Los agregados gruesos deben atender a los requisitos de la ASTM C 33 (AASHTO M 80), NCh163, IRAM 1512, IRAM 1531, IRAM 1627, NMX-C-111, NTC 174, NTP 400.037, UNIT 82 o UNIT 84. Además de esto, la mayoría de las especificaciones limitan tanto el tamaño máximo como mínimo del agregado, como por ejemplo, el máximo de 75 mm (3 pulg.) y el mínimo de 12.5

mm (1/2 pulg.). Generalmente, los agregados están graduados para producir un contenido de vacíos del 35% al 40%.

Normalmente, el agregado fino usado en el mortero está graduado para un módulo de finura entre 1.2 y 2.0, con prácticamente todo el material pasando el tamiz de 1.25 mm (No. 16). Aunque el método del agregado pre colocado se ha utilizado principalmente en trabajos de restauración y en la construcción de blindaje de reactores, pilares (pilas, estribos, columnas) de puentes y estructuras bajo el agua, también se lo ha utilizado en edificios para producir efectos arquitectónicos poco corrientes. Como las cimbras se llenan completamente con el agregado grueso antes de la colocación del mortero, se obtiene una cara densa y acabada con agregado uniformemente expuesto al tratar la superficie con un chorro de arena, laborarla o retrasarla y cepillarla con cerdas de alambre en edades tempranas. Los ensayos para el concreto con agregado pre colocado se presentan de la ASTM C 937 a C 943. El concreto con agregado pre colocado se discute con más detalles en el ACI 304-00, Guía para Medir, Transportar y Colocar Concreto (Guide for Measuring, Transporting and Placing Concrete).

2.1.4.1.7 CONCRETO SIN REVENIMIENTO

El concreto con revenimiento (asentamiento) cero se define como un concreto con una consistencia correspondiente a un revenimiento de 6 mm (1/4 pulg.) o menos. Tal concreto, a pesar de ser muy seco, debe ser suficientemente trabajable para que se lo coloque y consolide con los equipos que serán usados en la obra. Los métodos a los cuales se refiere aquí no se aplican necesariamente a las mezclas de concreto para unidades de mampostería de concreto o para la compactación por medio de técnicas de rotación. Muchas de las leyes básicas que regulan las propiedades del concreto con revenimiento (asentamiento) elevado también se aplican a los concretos con revenimiento. Por ejemplo, las propiedades del concreto endurecido dependen principalmente de la relación agua cemento, siempre que se consolide el concreto adecuadamente. La medición

de la consistencia del concreto de revenimiento cero difiere de aquélla del concreto de revenimiento más elevado, porque no se puede utilizar el cono de revenimiento (cono de Abrams) de manera práctica con consistencias más secas. El ACI 211.3, Prácticas Estándares para la Selección de las Proporciones de los Concretos sin Revenimiento (Standard Practices for Selecting Proportions for No-Slump Concretes), describe tres métodos de medición de consistencia del concreto sin revenimiento: (1) el aparato Vebe, (2) el ensayo del factor de compactación y (3) la mesa de caída de Thaulow. En la ausencia de los equipos descritos arriba, se puede juzgar adecuadamente la trabajabilidad del concreto a través de una mezcla de prueba que se coloca y compacta con los equipos y métodos usados en la obra. Se recomienda el uso de aire intencionalmente incluido (incorporado) en concreto de revenimiento cero, cuando se requiera durabilidad. La cantidad de aditivo impulsor de aire, normalmente recomendada para los concretos de revenimiento más elevado, no producirá contenidos de aire en los concretos sin revenimiento tan altos como en los concretos de revenimiento mayor. Sin embargo, las cantidades menores de aire incluido, normalmente, proveen una durabilidad adecuada para los concretos sin revenimiento, porque a pesar de que el volumen de aire sea bajo, hay pequeños vacíos de aire en cantidad suficiente. Esta diferencia en relación a los métodos usuales de diseño y control del aire incluido es necesaria para los concretos sin revenimiento. Consulte el ACI 211.3 para una discusión sobre los requisitos de agua y el cálculo de las mezclas de prueba.

2.1.4.1.8 CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS

El concreto compactado con rodillos (CCR) es un concreto pobre, de revenimiento cero y casi seco, que se compacta en la obra a través de rodillos vibratorios o equipos de compactación de placa (**Fig. 2.35**). El CCR es una mezcla de agregados, cemento y agua y también se pueden emplear materiales cementantes suplementarios, tales como ceniza volante. Los contenidos de

cemento varían de 60 a 360 kg/m³ (100 a 600 lb/yd³). El mezclado se realiza con mezcladoras convencionales, mezcladoras continuas o, en algunos casos, camiones mezcladores de tambor basculante. Las aplicaciones para el CCR se dividen en dos categorías – estructuras de control de agua (presas) y pavimentos. Aunque el mismo término se usa para describir ambos los tipos de uso de concreto, el diseño y los procesos de construcción son diferentes.



Ilustración 35 Fig. 2.35 Los rodillos vibratorios se usan para compactar el concreto compactado con rodillos.

Estructuras de Control de Agua

El CCR se puede usar en toda la estructura de la presa o como una capa de protección sobre la sección superior y sobre la cara de bajamar. El tamaño máximo nominal del agregado puede llegar hasta 150 mm (6 pulg.). La mezcla de revenimiento cero se produce en una central dosificadora de gran capacidad cerca de la obra y se la entrega por camión o por esteras (bandas, cintas) transportadoras. El contenido de cemento, normalmente es menor que el usado en una mezcla convencional, pero similar al del concreto masivo. Se han obtenido resistencias a compresión que varían de 70 a 320 kg/cm² o 7 a 30 MPa (1000 a 4500 lb/pulg²) en los concretos compactados con rodillos en proyectos de presas. La mezcla de CCR se transporta por medio de camiones y esteras transportadoras y se la extiende con la máquina niveladora (cuchillo motor) o bulldozer, seguido de la compactación con compactadores vibratorios. No se usan cimbras

(encofrados). En algunos proyectos la cara de contracorriente se reviste con un concreto convencional con aire incluido y resistencia más elevada o con paneles de concreto prefabricado, a fin de mejorar la durabilidad.

Las presas de CCR tienen la ventaja de permitir declives mayores en ambas caras que una presa con relleno de tierra. Además de usar menos material, se puede completar y colocar la presa en servicio más rápido, normalmente con ahorros significativos en el costo total si son comparadas con las estructuras con relleno de tierra.

Otras aplicaciones de control de agua con CCR se utilizan como vertedores de emergencia o capas de protección para terraplenes de presas, revestimiento de baja permeabilidad para depósitos de decantación, protección de orillas y estructuras de control de nivel para canales y lechos de ríos.

Pavimentos

El uso del CCR en pavimentos varía desde pavimentos con espesor de un metro (una yarda) para la industria de minería hasta calles de ciudades, superficies pavimentadas de instalaciones de manejo de abono, aserraderos, pistas de rodamiento de camiones y pisos de almacenes. Los procedimientos para la construcción de un pavimento de CCR requiere un control más rígido que en la construcción de presas (Arnold y Zamensky 2000). El contenido de cemento es similar al concreto convencional y varía de 300 a 360 kg/m³ (500 a 600 lb/yd³) y la resistencia a compresión es cerca de 280 a 420 kg/cm² o 30 a 40 MPa (4000 a 6000 lb/pulg²). El tamaño máximo nominal del agregado se limita a 19 mm (3/4 pulg.) para proveer una superficie suave y densa. Para texturas superficiales aún mejores, se recomienda un tamaño máximo del agregado de 16 mm (5/8 pulg.) La mezcla de revenimiento (asentamiento) cero se produce normalmente en una mezcladora de flujo continuo con una tasa de producción de 400 toneladas por hora. Es posible mezclar el CCR en una central dosificadora, pero la planta se

debe dedicar exclusivamente a la producción del CCR, pues el material tiende a adherirse dentro del tambor. Las especificaciones normalmente requieren que se transporte y se compacte la mezcla en un periodo de 60 minutos del inicio del mezclado, a pesar de que las condiciones ambientales pueden aumentar o disminuir este periodo. El CCR se coloca normalmente en capas con espesor de 125 a 250 mm (5 a 10 pulg.), usando una máquina de pavimentación del tipo empleado para asfalto. Los equipos de pavimentación de alta densidad son preferibles para capas más gruesas que 150 mm (6 pulg.), pues la necesidad de compactación adicional con rodillos se reduce. Donde el diseño requiera un espesor mayor que 250 mm (10 pulg.), el CCR se debe colocar en capas múltiples. En este tipo de construcción, es importante que haya un retraso mínimo en la colocación de capas subsecuentes, a fin de asegurar una buena adherencia entre las capas. Después de su colocación, el CCR se puede compactar con una combinación de rodillos vibratorios de llantas de acero y de llantas de caucho.

El curado es de vital importancia en la construcción de pavimentos con CCR. La relación agua-cemento muy baja en la etapa inicial de mezclado significa que el CCR se secará muy rápidamente después de su colocación. Se recomienda el curado continuo con agua, a pesar que el rociado de emulsiones asfálticas, láminas de plástico y compuestos de curado de concreto han sido usados en algunos casos. Los proyectos de pavimentos tienen resistencia a compresión de diseño de cerca de 360 kg/cm² o 35 MPa (5000 lb/pulg²) con resistencias en el campo que varían de 360 a 715 kg/cm² o 35 a 70 MPa (5000 a 10,000 lb/pulg²) (Hansen 1987). El concreto de alta resistencia compactado con rodillo usado en áreas sujetas a impactos elevados y altas cargas abrasivas fue desarrollado a mitad de los años 90. Las mezclas se basan en la obtención de un empaquetamiento óptimo de las partículas de agregados de varios tamaños y la adición de humo de sílice a la mezcla (Marchand y otros 1997 y Reid y otros 1998). El ACI trata del concreto compactado con rodillos en dos guías – ACI

207.5 Concreto masivo compactado con rodillos que trata de estructuras de control de agua (Roller Compacted Mass Concrete) y ACI 325.10 Pavimentos de concreto compactado con rodillos que cubre los nuevos desarrollos de pavimentos de CCR (Roller Compacted Concrete Pavements). Holderbaum y Schweiger (2000) proveen una guía para el desarrollo de especificaciones y comentarios de CCR.

2.1.4.1.9 CONCRETO LANZADO

El concreto lanzado, también conocido como gunitado y concreto proyectado, es un mortero o un concreto con agregado pequeño que se lanza neumáticamente contra la superficie a una alta velocidad (**Fig. 2.36**).



Ilustración 36 Fig. 2.36 Concreto Lanzado

El concreto lanzado fue desarrollado en 1911 y su concepto no ha cambiado hasta los días de hoy. La mezcla relativamente seca se consolida a través de la fuerza de impacto y se la puede colocar tanto en superficies verticales como horizontales, sin despegarse. Hay dos procesos de aplicación del concreto lanzado: vía seca y vía húmeda. En el primer proceso, un pre mezcla de cemento y agregado húmedo se propulsa a través de una manguera hasta una boquilla, por medio de aire comprimido. El agua se adiciona a la mezcla de cemento y

agregado en la boquilla y se proyectan los ingredientes íntimamente mezclados sobre la superficie. En el proceso de vía húmeda, todos los ingredientes son premezclados. La mezcla húmeda se bombea a través de la manguera hasta la boquilla, donde se aplica aire comprimido, el cual aumenta la velocidad y propulsa la mezcla contra la superficie. Cuando la mezcla de concreto lanzado se choca con la superficie, parte del agregado grueso se rebota de la superficie hasta que haya suficiente cantidad de pasta para proveer un lecho donde el agregado pueda pegarse. Para disminuir el rociado (mortero que se fija en las superficies próximas) y el rebote (agregados que rebotan de la superficie), la boquilla se debe sostener en un ángulo de 90° con la superficie. La distancia apropiada entre la boquilla y la superficie es normalmente entre 0.5 y 1.5 m (1.5 y 5 pies), dependiendo de la velocidad de proyección. El concreto lanzado se usa en construcciones nuevas y reparaciones. Es especialmente adecuado para superficies curvadas o estructuras finas de concreto y reparaciones superficiales, pero también se lo puede utilizar en elementos gruesos. Las propiedades del concreto lanzado endurecido dependen del operador. El concreto lanzado tiene una densidad y resistencia a compresión similares al concreto normal y al concreto de alta resistencia. Se pueden usar agregados de hasta 19 mm (3/4 pulg.), sin embargo, la mayoría de las mezclas contienen agregados de hasta 9.5 mm (3/8 pulg.) y en las mezclas húmedas, se utilizan normalmente del 25% al 30% de grava (Austin y Robbins 1995). También se pueden emplear materiales cementantes suplementarios, tales como ceniza volante y humo de sílice en el concreto lanzado. Estos materiales mejoran la trabajabilidad, la resistencia química y la durabilidad. El uso de aditivos aceleradores permite la acumulación de las capas de concreto lanzado en una sola pasada. También reducen el tiempo de fraguado inicial. Sin embargo, el uso de aceleradores de fraguado rápido frecuentemente aumenta la contracción por secado y reduce la resistencia en edades avanzadas (Gebler y otros 1992). Las fibras de acero se usan en el concreto lanzado para mejorar la resistencia a flexión, la ductilidad y la

tenacidad. Se las puede usar como reemplazo de la malla de alambre en aplicaciones tales como estabilización de taludes en rocas y revestimiento de túneles (ACI 506.1R). Se pueden añadir hasta 2% de fibras de acero en volumen de la mezcla total. Las fibras de polipropileno, se pueden emplear para disminuir el agrietamiento por contracción plástica y se las adiciona al concreto lanzado en una tasa de 0.9 a 2.7 kg/m³ (1.5 a 4.5 lb/yd³), pero dosis de hasta 9 kg/m³ (15 lb/yd³) se han utilizado (The Aberdeen Group 1996). Las directrices para el uso del concreto lanzado se describen en el ACI 506R, ASCE (1995) y Balck y otros (2000).

2.1.4.1.10 CONCRETO DE CONTRACCIÓN COMPENSADA

El concreto de contracción compensada (concreto de retracción compensada, concreto compensador de contracción) es un concreto que contiene un cemento expansivo o un aditivo expansivo, los cuales producen expansión durante el endurecimiento que compensa la contracción que ocurre durante el secado (contracción por secado). El concreto de contracción compensada se usa en losas de concreto, pavimentos, estructuras y reparaciones, a fin de minimizar el agrietamiento provocado por la contracción por secado. La expansión del concreto con contracción compensada se debe determinar a través de la ASTM C 878. El acero del refuerzo (armadura) en la estructura restringe el concreto y entra en tensión (tracción) a medida que el concreto de contracción compensada se expande. La tensión en el acero se alivia con la contracción causada por la pérdida de humedad durante el secado del concreto endurecido. Si la tensión en el concreto no excede su resistencia a tensión (tracción), no habrá agrietamiento. El concreto de contracción compensada se puede proporcionar, dosificar, colocar y curar de manera similar al concreto si se toman algunas precauciones, como por ejemplo, se debe garantizar la expansión esperada a través de curado adicional. Para más información, consulte el Capítulo 2 del ACI 223-98, Práctica

Estándar para el Uso de Concreto de Contracción Compensada (Standard Practice for the Use of Shrinkage-Compensating Concrete).

2.1.4.1.11 CONCRETO BLANCO Y CONCRETO COLOREADO

a-) Concreto Blanco

El cemento portland blanco se usa para producir concreto blanco, un material arquitectónico ampliamente utilizado (**Fig. 2.37**). También se lo usa en morteros, revoques, estucos, terrazos y pinturas con cemento blanco. El cemento portland blanco se produce con materias primas con bajo contenido de hierro y debe satisfacer la ASTM C 150 (AASHTO M 85), COVENIN 28, IRAM 1600, Nch 148, NGO 41001 o NMXC- 414- ONNCCE-1999, NTC 1362, NTP 334.050 aunque algunas de estas especificaciones no mencionen específicamente el cemento portland blanco. El concreto blanco se produce con agregados y agua que no contengan materiales que decoloren el concreto. Agregados blancos o de color claro se pueden utilizar. No se debe usar aceite en las cimbras (encofrados) que puedan manchar el concreto y se deben evitar las manchas de óxidos de las herramientas y equipos. Se deben evitar los materiales de curado que puedan causar manchas.



Ilustración 37 Fig. 2.37. Edificio de oficinas construido

b-) Concreto Coloreado

El concreto coloreado se puede producir con el uso de agregados coloreados o con la adición de pigmentos (ASTM C 979, NMX-C-313, NTC 3760) o ambos. Cuando se usan agregados coloreados, se los debe exponer en la superficie. Esto se puede lograr de varias

maneras, como por ejemplo, el colocado del concreto contra cimbras (encofrados) que se trataron con retardadores. La pasta no hidratada en la superficie se cepilla o se lava. Otros métodos incluyen la remoción del mortero de la superficie a través de un chorro de arena o de agua, martillado, esmerilado o lavado con ácido. Si se va a lavar la superficie con ácido, es necesario un retraso de aproximadamente dos semanas después del colado. Los agregados coloreados pueden ser rocas naturales, tales como cuarzo, mármol y granito o pueden ser materiales cerámicos. Los pigmentos para colorear el concreto deben ser óxidos minerales puros, más finos que el cemento. También deben ser insolubles en agua, libres de sales y ácidos solubles, color firme bajo el sol, resistentes a álcalis y ácidos débiles y totalmente libres de sulfato de calcio. Los óxidos minerales ocurren en la naturaleza y también se producen sintéticamente. Los pigmentos sintéticos normalmente producen un color más uniforme.



Ilustración 38 Fig. 2.38 Concreto coloreado usado en una plataforma de tránsito rápido.

La cantidad de pigmento adicionada al concreto no debe exceder 10% de la masa del cemento. La cantidad necesaria depende del tipo de pigmento y del color deseado. Por ejemplo, una dosis de pigmento de 1.5% de la masa de cemento puede producir un agradable color pastel, pero puede ser necesario 7% para producir un color fuerte. El uso del cemento blanco con pigmento producirá colores más claros y brillantes y es preferible al cemento gris, a excepción de cuando se desee los colores negro y gris oscuro (**Fig. 2.38**). No se debe usar cloruro de calcio para

que se mantenga el color uniforme y se deben dosificar todos los materiales de manera cuidadosa y por masa. Para evitar la formación de rayas, se deben mezclar totalmente el cemento seco y el pigmento antes de adicionarlos en la mezcladora. El tiempo de mezclado debe ser mayor que el concreto convencional, para garantizar la uniformidad. En concreto con aire incluido, la adición de pigmento puede requerir un ajuste de la cantidad de aditivo implusor de aire, a fin de que se mantenga el contenido deseado de aire.

2.1.4.1.12 CONCRETO DE CEMENTO PORTLAND POLIMERIZADO

Concreto de cemento portland polimerizado (CCPP), también llamado concreto modificado con polímero, es básicamente un concreto normal de cemento portland al cual, durante el mezclado, se le adiciona un polímero o monómero para mejorar la durabilidad y la adhesión. Los látex termoplásticos y elastoméricos son los polímeros más comúnmente usados en CCPP, pero epóxidos y otros polímeros también se pueden utilizar. En general, el látex mejora la ductilidad, la durabilidad, las propiedades adhesivas, la resistencia al ingreso de los iones cloruro, la resistencia a cortante, a tensión y a flexión del concreto y del mortero. Los concretos modificados con látex (CML) también son excelentes para las resistencias a congelación deshielo, a abrasión y al impacto. Algunos CML también pueden resistir a ciertos ácidos, álcalis y solventes orgánicos. El concreto de cemento portland polimerizado se usa principalmente en remiendos y capas superpuestas, especialmente de tableros de puentes. Consulte el ACI 548.3R para más información sobre los concretos de cemento portland polimerizados y el ACI 548.4 para capas superpuestas de CML.

2.1.4.1.13 FERROCEMENTO

Ferro cemento es un tipo especial de concreto reforzado compuesto de capas estrechamente espaciadas de alambre o malla continua metálica o no metálica relativamente fina e insertada en el mortero. Se produce con la aplicación manual

de mortero, con concreto lanzado, laminación (forzando la malla para dentro del mortero fresco) o la combinación de estos métodos.

La mezcla de mortero generalmente tiene una relación arena-cemento de 1.5 a 2.5 y una relación agua cemento de 0.35 a 0.50. El refuerzo constituye cerca de 5% a 6% del volumen del ferrocemento. Las fibras y los aditivos también se pueden usar para modificar las propiedades del mortero. Los polímeros y los revestimientos o recubrimientos a base de cemento se aplican frecuentemente a la superficie acabada para reducir la porosidad.

El ferrocemento es considerado un producto que fácilmente se produce en varias formas y tamaños, sin embargo, requiere mucha mano de obra. El ferrocemento se usa para construir cascarones finos de cobertura, piscinas (albercas), revestimiento de túneles, silos, tanques, casas prefabricadas, barcas, barcos, esculturas y paneles o secciones finas, normalmente con espesor menor que 25 mm (1 pulg.) (ACI 549R y ACI549.1R).

2.1.5 CONCRETO PERMEABLE

2.1.5.1 GENERALIDADES

El concreto permeable es un tipo especial de concreto con una alta porosidad, usado para aplicaciones en superficies de concreto que permita el paso a través de él de agua proveniente de precipitación y otras fuentes, reduciendo la escorrentía superficial de un sitio y recargando los niveles de agua subterránea. La alta porosidad se obtiene mediante un alto contenido de vacíos interconectados. Normalmente el concreto permeable tiene pocos o no tiene agregados finos y tiene la suficiente cantidad de pasta de cemento para cubrir las partículas de agregado grueso preservando la interconectividad de los vacíos. El concreto permeable es usado tradicionalmente en áreas de estacionamiento, áreas con poco tráfico, pasos peatonales e invernaderos. Es una importante aplicación para la construcción sostenible.

2.1.5.2 DEFINICION DE CONCRETO PERMEABLE

El término (Según ACI 522R) de "concreto permeable" generalmente describe un cero slump, abierto gradual, material compuesto de cemento portland, agregado grueso, agregado fino poca o ninguna, aditivos y agua. La combinación de estos ingredientes se producirá una material endurecido con poros conectados

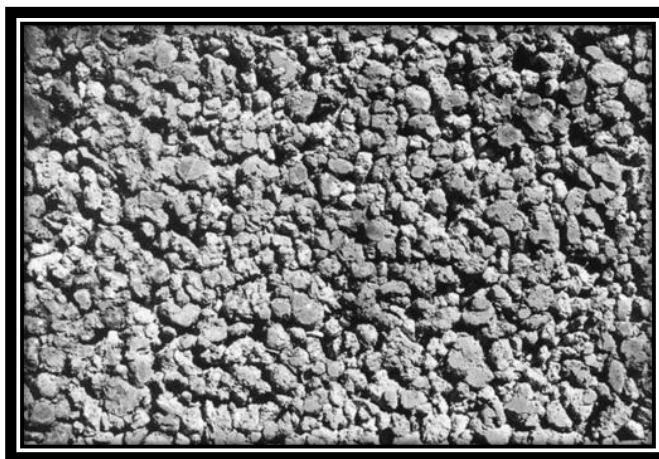


Ilustración 39 FIG. 2.39 TEXTURA DEL CONCRETO PERMEABLE

(Fig. 2.39), que van en tamaño desde 0,08 hasta 0,32 cm (2 a 8 mm), que permiten que el agua pasar a través fácilmente. El contenido de vacío puede variar desde 18 a 35%, con las típicas resistencias a la compresión de 400 a 4000

psi (2,8 a 28 MPa). La tasa de drenaje de concreto permeable pavimento variará con el tamaño total y la densidad de la mezcla, pero generalmente caerán en el intervalo de 2 a 18 gal. / min/ft² (81 a 730 l/min/m²).

Esta Clase de concreto es de alto desempeño fabricado en base a cantidades controladas de cemento, agregado grueso, agua y aditivos para crear una masa de partículas de agregado cubierta con una capa delgada de pasta. Para resistencia, y para evitar que la pasta fluya y llene los vacíos, se requiere una proporción baja de agua/material cementoso (w/c.) La proporción de w/c es importante para la producción exitosa. Con frecuencia se usa una proporción w/c típica de aproximadamente 0.3. Tanto el bajo contenido de mortero así como la alta porosidad también reducen la resistencia en comparación con las mezclas de concreto convencional, pero ya se ha logrado la suficiente resistencia para muchas aplicaciones.

Al concreto permeable también se le conoce como concreto poroso, concreto sin agregados finos, concreto discontinuo y concreto de porosidad incrementada.

2.1.5.3 MARCO HISTORIO DEL CONCRETO PERMEABLE

En 1852, el concreto permeable fue usado en la construcción de dos casas en el Reino Unido y un Dique. Este concreto solo consistía en concreto sólo grava gruesa y cemento. En los posteriores años el concreto permeable callo en el olvido por más de 70 años, hasta 1923 cuando un grupo de 50 casas de dos pisos fueron construidos con el Clinker agregado en Edimburgo, Escocia. En el periodo de 1930 a 1942 los escoses los especialistas en vivienda “Special Housing Association Limited” adoptado el uso de concreto permeable para la construcción residencial en la construcción de 900 casas.

En las fechas de 1939 a 1945 mientras fue el inicio y clímax de la segunda Guerra Mundial, debido a la escases de materiales de construcción y con grandes necesidades de vivienda, lo que alentó a la desarrollo de métodos nuevos o no utilizados previamente de construcción de edificios, entre ellos el uso de escorias

demolidas de los edificaciones que fueron destruidas en la Segunda Guerra Mundial.

Después de 1946, sin embargo, el concreto permeable se utilizó para una gama mucho más amplia de aplicaciones. Se especificó como un material para elementos de soporte de carga en edificios de hasta 10 pisos de altura (Francia 1965).

El concreto permeable se utiliza ampliamente para aplicaciones industriales, edificios públicos, y nacionales en las áreas al norte del Ártico Círculo porque el uso de materiales de construcción tradicionales resultó impracticable. Aunque el concreto permeable se ha utilizado en Europa y Australia durante los últimos 60 años, su uso como material de construcción en América del Norte ha sido extremadamente limitado. Una razón para este uso limitado es que, después de la Segunda Guerra Mundial, América del Norte no experimentó la escasez de materiales en el mismo grado como en Europa. En América el primer uso de concreto permeable se dio en Canadá, el primer uso reportado de concreto permeable se dio en el año 1960 en utilizado en la construcción de algunas casas, en Toronto. También se utilizó en una estructura base en un edificio federal en Ottawa.

2.1.5.4 IMPORTANCIA DEL USO DE CONCRETO PERMEABLE

Nuestro planeta Tierra corre peligro debido a cambios climáticos severos. El incremento de la población junto con la urbanización ha creado problemas sin precedentes en nuestras ciudades. A menos que tomemos medidas urgentes, estos problemas tendrán consecuencias serán catastróficas. Esto se agrava por la pavimentación despreocupada de caminos, plataformas y áreas que rodean las edificaciones con concreto impermeable, lo que da como resultado fugas e inundaciones de la precipitación de agua de lluvia, causando problemas de escorrentía y dañando. Aunque algunos gobiernos han implementado estrictas medidas de recolección de agua de lluvia, estas medidas tienen algunos

inconvenientes. Los pavimentos de concreto permeable ofrecen una solución atractiva a la fuga de agua y a los problemas asociados de contaminación de agua.

En la Actualidad se percibe, un aumento significativo en la población lo que ocasiona el aumento tanto en viviendas y ello lleva a la construcción de más viviendas para abastecer las necesidades habitacionales, desapareciendo de ese modo las superficies naturales que permiten la permeabilidad del suelo. Otra problemática que se deriva del crecimiento poblacional es la necesidad de abastecimiento de agua lo que conllevara a maximizar la explotación del recurso hídrico, por lo tanto se debe optimizar al máximo los recurso de agua que se pueden obtener, una de las soluciones que se le puede dar al problema de es el agua que se deriva de la precipitación, la cual puede volver a los mantos acuíferos mediante superficies permeables, aumentando así el nivel freático

A continuación se presentan Datos Estadísticos acerca del Aumento de la Población en Relación a la Escases del agua.

a-) Aumento Población

De acuerdo al reporte de las Naciones Unidas, Perspectivas de Urbanización Mundial (2007), el siglo 20 es testigo de ‘la rápida urbanización de la población mundial.’ La proporción global de la población mundial se elevó enormemente de 13% (220 millones) en 1900, a 29% (732 millones) en 1950, y 49% (3.2 billones) en 2005. El mismo reporte proyecta que se espera que aproximadamente 60% (4.9 millones) de la población mundial vivirá en ciudades hacia el año 2030 (Ver Grafica 1.1.) En 1950, había solo dos mega ciudades de 10 millones o más habitantes. El número de mega ciudades se incremento a 5 en 1975 y a 20 en 2005 y se espera que se incremente a 22 mega ciudades en 2015. Solo en India el porcentaje de población urbana se incrementó de 18.0 en 1961 a 27.8 en 2001. Se proyecta que Asia y África tendrán más personas viviendo en

ciudades que cualquier otro continente en el mundo, y Asia tendrá el 54 por ciento de la población hacia 2030.

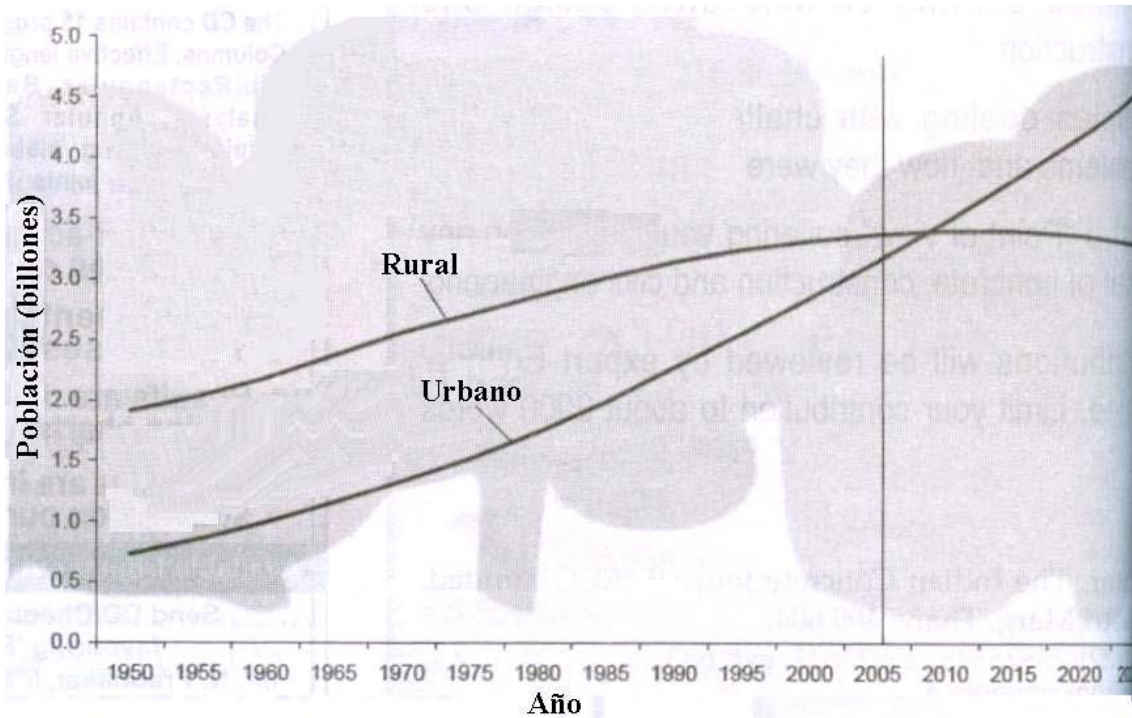


Ilustración 40 Fig. 2.40. Población urbana y rural del mundo, 1959-2030. (Fuente: Naciones Unidas, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. División Población (2006))

El crecimiento de la población junto con la urbanización tiene un impacto significativo en el medio ambiente y en otros problemas, que incluyen (Subramanian, 2007): (1) aumento en la temperatura ambiental (2) disminución de la calidad del aire, (3) aumento de fuga de agua, (5) patrones alterados del clima, (6) pérdida de la belleza estética/carácter de la comunidad, (7) reducción de los terrenos de siembra y la consecuente escasez de alimentos, y (8) deforestación (la deforestación está ocurriendo a un paso muy rápido, con 0.8 hectáreas de bosque tropical desapareciendo cada segundo. La deforestación está ligada a consecuencias ambientales negativas tales como pérdida de biodiversidad, calentamiento global, erosión del suelo y desertificación.) En este

documento nos centraremos en uno de los problemas, es decir, escasez de agua y reducción de fugas.

b-) Insuficiencia y escasez de agua

Aproximadamente 97.5% del agua sobre la Tierra es agua salada, lo que solo deja el 2.5% como agua fresca, de la cual dos tercios está congelada en los glaciares y las capas de hielo polar que también se están derritiendo rápidamente debido al cambio climático. (Los científicos del Centro de Información sobre Hielo y Nieve en Boulder, Colorado han predicho que el Polo Norte podría quedarse sin hielo por un breve tiempo hacia Setiembre 2008.) El resto del agua fresca sin congelar se halla como agua subterránea, con solo una pequeña fracción presente sobre la tierra o en el aire. El agua fresca es un recurso renovable, aun así el suministro de agua fresca limpia del mundo está disminuyendo constantemente. La población no sólo está creciendo sino que está usando más agua mientras que el suministro total del mundo permanece siendo el mismo. Desde 1900, la población del mundo se ha duplicado pero la cantidad de agua fresca utilizada se ha incrementado seis veces. La agricultura es de lejos el mayor consumidor de agua, principalmente debido a la expansión de la irrigación. El área irrigada ha expandido casi cinco veces su tamaño en este siglo.

c-) Bajo Alta Precipitaciones Otro Problema que se puede tomar en cuenta es que cuando se presentan lluvias de alta intensidad (**Fig. 2.41**) las obras de drenaje vial no son suficientes para evacuar la cantidad de agua, esto provoca estanquidad en las obras viales lo que con lleva a su deterioro temprano.

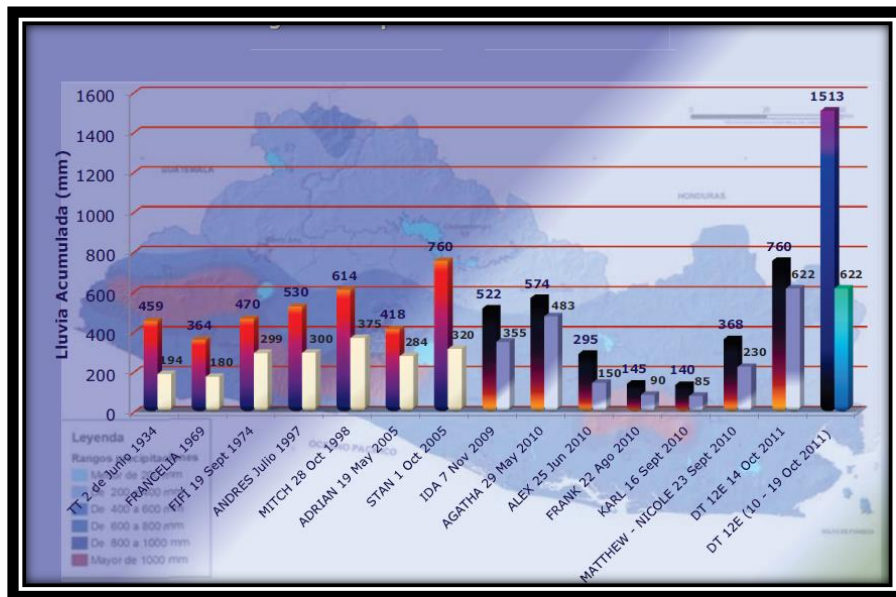


Ilustración 41 Fig. 2.41 Comparación de Agua Lluvia en 24 horas generada por tormentas históricas

2.1.5.5 PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE

Las diversas propiedades de resistencia del hormigón permeable depende del contenido de cemento, la relación agua-cemento material (W / cm), el nivel de compactación y la calidad y graduación del agregado. Aunque concreto permeable ha sido utiliza para la pavimentación de más de 20 años en los EE.UU., sólo unas pocas investigaciones se han llevado a cabo para determinar su rendimiento. Estas investigaciones han sido basadas principalmente en pruebas de laboratorio con pocos datos de instalaciones reales de campo obtenido. En la actualidad existen pocos procedimientos para la instalación y colocación del concreto permeable.

El concreto poroso tiene generalmente tienen los siguientes propiedades.

2.1.5.5.1 REVENIMIENTO 0-2 MM:

Es un Concreto que se caracteriza por poseer bajo revenimiento debido a la baja relación agua cemento que este posee, y por el hecho de no hacer uso de fino, no se caracteriza por ser un concreto muy fluido.

2.1.5.5.2 PESO UNITARIO

El concreto convencional, empleado normalmente en pavimentos, edificios y en otras estructuras convencionales tiene que tener un peso unitario dentro del rango de 2,240 y 2,400 kg por metro cúbico (kg/m³). El peso unitario (densidad) del concreto varia, dependiendo de la cantidad y de la densidad relativa del agregado, de la cantidad del aire atrapado o intencionalmente incluido, y de los contenidos de agua y de cemento, mismos que a su vez se ven influenciados por el tamaño máximo del agregado. Para el diseño de estructuras de concreto, comúnmente se supone que la combinación del concreto convencional y de las barras de refuerzo pesa 2400 kg/m³. Además del concreto convencional, existe una amplia variedad de otros concretos para hacer frente a diversas necesidades, variando desde concretos aisladores ligeros con pesos unitarios de 240 kg/m³, a concretos pesados con pesos unitarios de 6400 kg/m³, que se emplean para contrapesos o para blindajes contra radiaciones.

En el caso del concreto permeable en vista de poseer un porcentaje significativo de vacíos la cual oscila entre el 18% y 35% según Norma ACI 522 y otros documento anexos, posee una densidad menor a los concreto convencionales siendo un aproximado de 1600kg/m³ y 200kg/m³, la cual es ideal para aplicar en pavimentos de baja intensidad.

2.1.5.5.3 TIEMPO DE FRAGUADO

Cuando el cemento y el agua entran en contacto, se inicia una reacción química exotérmica que determina el paulatino endurecimiento de la mezcla. Dentro del proceso general de endurecimiento se presenta un estado en que la mezcla pierde apreciablemente su plasticidad y se vuelve difícil de manejar; tal estado corresponde al fraguado inicial de la mezcla. A medida que se produce el endurecimiento normal de la mezcla, se presenta un nuevo estado en el cual la consistencia ha alcanzado un valor muy apreciable; este estado se denomina fraguado final.

El tiempo aproximado de fraguado del concreto permeable es aproximadamente una hora, ello según investigaciones realizadas.

2.1.5.5.4 POROSIDAD

La porosidad de la pasta de cemento es la suma del volumen de los huecos capilares y de los huecos de la pasta, y representa el espacio no llenado por los componentes sólidos de la pasta de cemento hidratado.

La porosidad del concreto (P) o total de huecos en el material compuesto, se ha modelado como una función de: (a/c) la relación agua/cemento, el grado de hidratación del cemento (h), el volumen de aire atrapado (A), las cantidades de agregados fino (arena, Af) y grueso (grava, Ag), y del cemento (c); y las gravedades específicas de los agregados (ρ_f y ρ_g).

Según el manual de pavimentos permeables del cemento portland FCPA, “Portland Cement Pervious Pavement Manual” el rango es de porosidad es del 15 al 25 % y según ACI 522 R es del 18 al 35 %.

2.1.5.5.5 PERMEABILIDAD

La permeabilidad es una propiedad que permite la filtración de un fluido, a través de sus espacios interconectados.

Un material será permeable cuando contenga espacios vacíos interconectados (porosidad). La circulación de agua a través de una masa (suelo, pasta de cemento, agregado, concreto, etc.), obedece también aproximadamente a leyes idénticas, de modo que la diferencia entre una arena limpia y un granito sano es, en este concepto, solo una diferencia de magnitud.

En el Caso del Concreto Permeable, la facultad que este posee de filtrar agua a través del es la característica por la cual lleva su nombre “Concreto Permeable”

Permitiendo de ese modo el paso del agua, a través de los poros interconectado que este posee y de esa manera eliminar la escorrentía y problemas de saturación de agua en la rasante del pavimento, y así tener la capacidad de alimentar los mantos acuíferos. Según la Norma del Comité ACI 522 R la capacidad filtrante va del rango de 80lt/min/m² – 730 lt/min/m² dependiendo de la cantidad de vacíos que este posea.

2.1.5.5.6 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

La resistencia a la compresión del concreto permeable es fuertemente afectada por la proporción de matriz y el esfuerzo de compactación durante la colocación.

Grafica 2.42 muestra la relación que hay entre la resistencia del concreto permeable a la a la compresión y el contenido de aire. La cifra se basa en una serie de laboratorio ensayos para los cuales dos tamaños de agregado grueso y se utilizaron esfuerzo de compactación y la gradación de agregado fueron variadas.

Grafica 2.43 muestra una relación entre la resistencia del hormigón permeable a la compresión y el peso de la unidad. La cifra se basa en otra serie de pruebas

de laboratorio, donde un tamaño de agregado grueso se utilizó y esfuerzo de compactación y la relación agregado-cemento se varió.

Grafica 2.44 muestra también la resistencias a la compresión del concreto permeable es relativamente altos son posibles Aunque la relación w / c de una mezcla de concreto permeable es importante para el desarrollo de resistencia a la compresión y estructura vacío, la relación entre el w / cm y resistencia a la compresión del concreto convencional no es significativa. Un alto W / cm puede resultar en la pasta que fluye desde el agregado y llenando la estructura vacío. Una baja w / cm puede resultar en reduce la adherencia entre las partículas de agregado y problemas en su colocación.

Grafica 2.45 muestra la relación entre el w / cm y el contenido de aire vacío de un concreto permeable mezcla (con el cemento y el contenido total se mantiene constante) a dos diferentes niveles de compactación. La experiencia ha demostrado que p / cm de 0,26 a 0,45 proporciona revestimiento agregado y buena adherencia proporcionando estabilidad.

El contenido total de material de cemento de un concreto permeable es importante para el desarrollo de resistencia a la compresión y la estructura vacío. Una pasta de alta contenido se traducirá en una estructura de vacío lleno y, por consiguiente, porosidad reducida. Un contenido de cemento insuficiente puede resultar en el recubrimiento de pasta reducida del agregado y reducida resistencia a la compresión. El material de cemento óptimo contenido es fuertemente dependiente de tamaño de los agregados y gradación contenido en función de las muestras analizadas en el haz de la misma serie de las pruebas de laboratorio descrito para la **Grafica 2.42**. Aunque estos resultados se basan en un número limitado de muestras, comparando el datos de la **Grafica 2.42** y **Grafica 2.44** indica que una relación entre la compresión y las resistencias a la flexión de permeable hormigón existente. Esta relación, como la resistencia a la compresión, depende de varias variables. **Grafica 2.46** (Meininger 1988)

muestra la relación entre la compresión y flexión puntos fuertes de concreto permeable para una serie de pruebas de laboratorio.

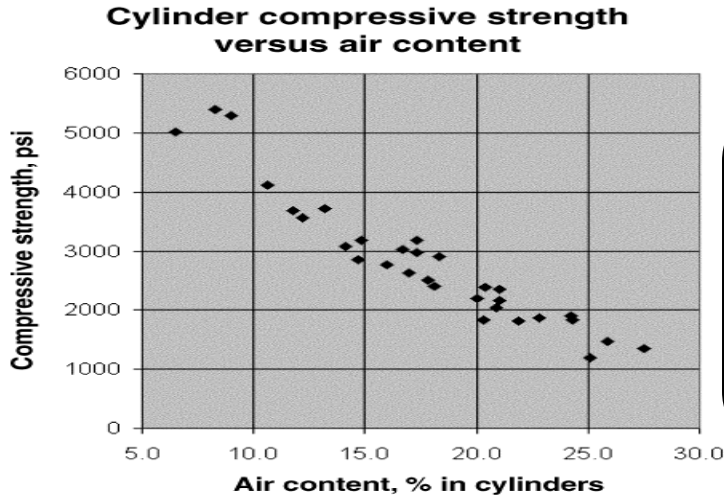


Ilustración 42 Grafica 2.42 Relación entre el contenido de aire y de presión fuerza para el concreto permeable (Meininger 1988) (1 psi = 0.006895 MPa).

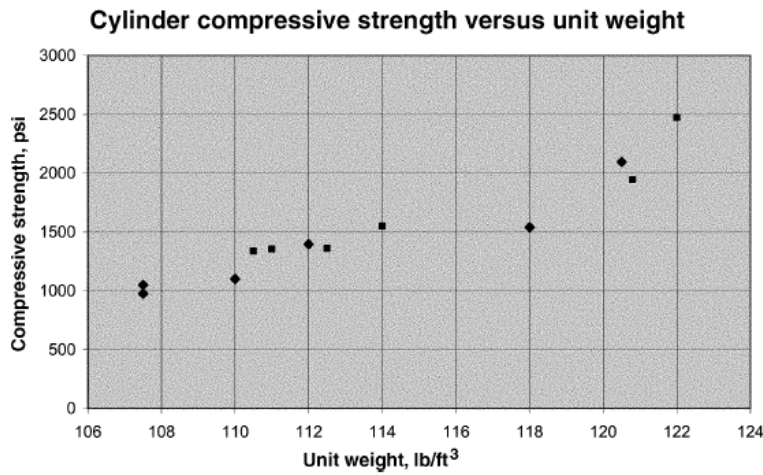


Ilustración 43 Grafica 2.43 -Relación entre el peso de la unidad y compresión fuerza para el concreto permeable (Mulligan 2005) (1 psi = 0.006895 MPa, 1= 16,02 kg/m3 kg/m3).Relación entre el contenido de aire y de presión fuerza para el concreto permeable (Meininger 1988) (1 psi = 0.006895 MPa).

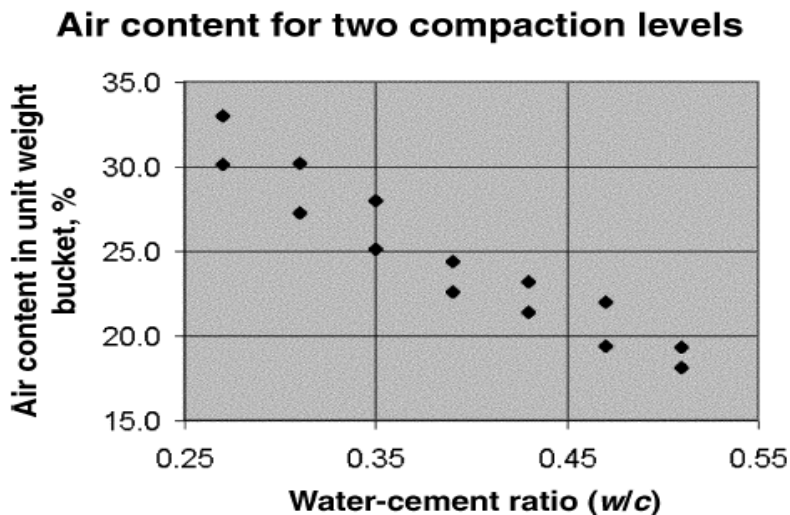


Ilustración 44 Grafica 2.44 -Relación entre el contenido de aire y la compactación energía para el concreto permeable (Meininger 1988).

Flexural versus compressive strength

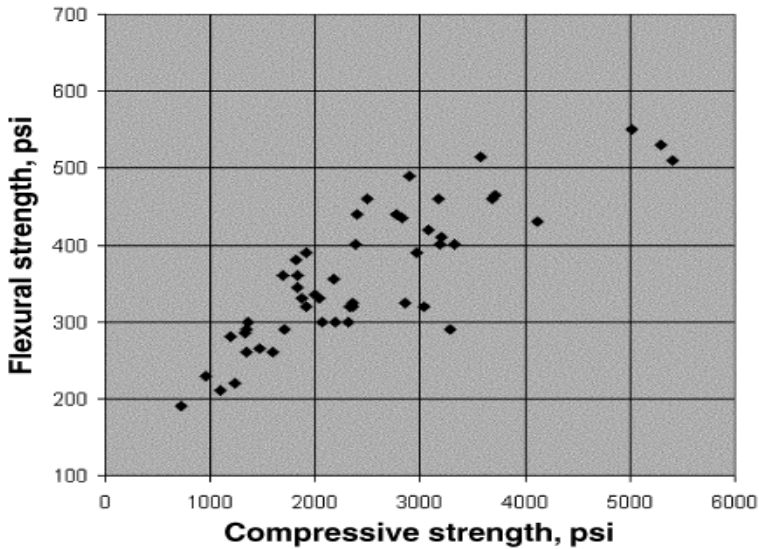


Ilustración 45 Grafica 2.45
Relación entre el contenido de aire y de fuerza de flexion para el concreto permeable

Beam flexural strength versus air content

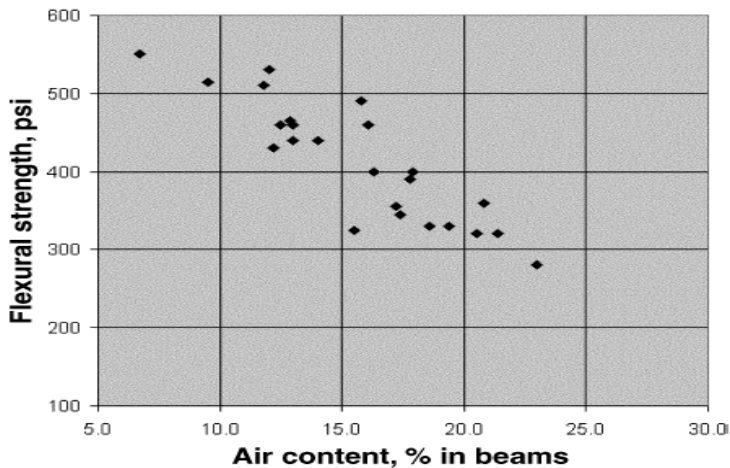


Ilustración 46 Grafica 2.46 -
Relación entre la resistencia a la flexión y la resistencia a la compresión de concreto permeable (Meininger 1988) (1 psi = 0,006895 MPa).

2.1.5.5.7 CONTENIDO DE AIRE / UNIDAD DE PESO

El contenido de aire o vacío se calcula por el método gravimétrico método (ASTM C 138) como el porcentaje de aire, y está directamente relacionada con el unidad de peso de una mezcla dada del concreto permeable. El contenido de aire depende de varios factores entre ellos; Graduación del Agregado, el contenido material de cementante, w / cm , y esfuerzo de compactación.

El esfuerzo de compactación tiene una influencia sobre el contenido de aire (y unidad de peso relacionado) de una mezcla dada del concreto permeable. En un ensayo de laboratorio serie (Meininger 1988), una sola mezcla de concreto permeable, compactado con ocho diferentes niveles del esfuerzo, dio como resultado la variación de 105 a 120 lb/pe³ (1680 a 1920 kg/m³). **Grafica 2.42** muestra que esta variación de los pesos unitarios (y el contenido relacionado con burbujas de aire) puede tener un efecto medible en la resistencia a la compresión de la concreto permeable.

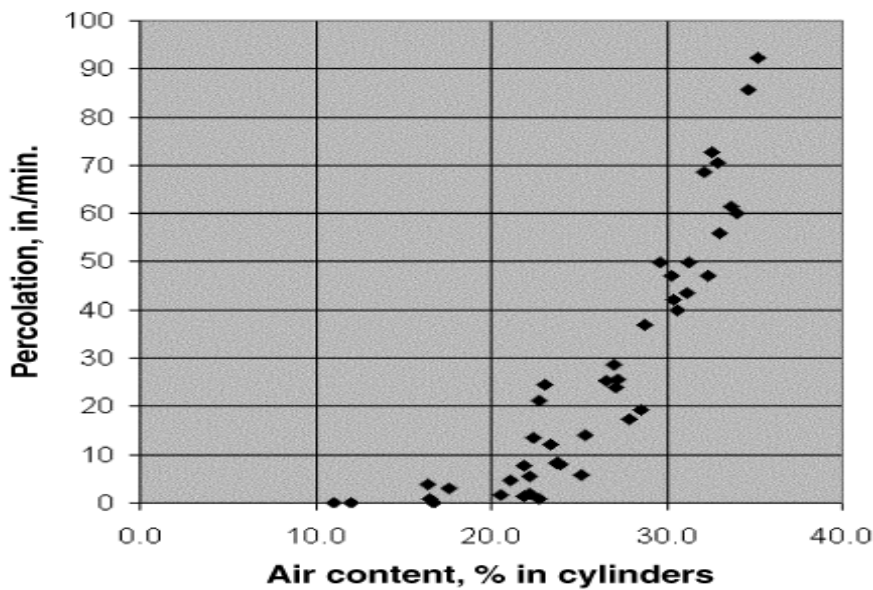


Ilustración 47 Grafica 2.47 - Relación entre el contenido de aire y la percolación tasa de concreto permeable (Meininger 1988) (1 psi = 0.006895 MPa).

2.1.5.5.8 TASA PERCOLACIÓN

Una de las características más importantes de concreto permeable es su capacidad para filtrar agua a través de la matriz. La tasa percolación de hormigón permeable está directamente relacionada con el aire anular el contenido. Las pruebas han demostrado (Meininger 1988) que una contenido mínimo vacío de aire de aproximadamente 15% se requiere para lograr la percolación significativa. **Grafica 2.47** (Meininger 1988) muestra la relación

entre el contenido de aire y la tasa de percolación de una mezcla de hormigón permeable. Debido a que la tasa de percolación aumenta a medida que el contenido de huecos de aire aumenta, y, en consecuencia, resistencia a la compresión disminuye, el reto de proporciones mezcla de concreto permeable es lograr un equilibrio entre una tasa de percolación aceptable y una resistencia a la compresión aceptable.

La permeabilidad del concreto permeable puede ser medida por un simple cabeza cayendo permeámetro como se muestra en la **Fig.2.48** (Neithalath et al., 2003). Utilizando este enfoque, la muestra es encerrado en una membrana de látex para evitar que el agua que fluye a lo largo de los lados de la muestra. Se añade agua al cilindro graduado para llenar la celda de muestras y el tubo de drenaje. La muestra está condicionada al permitir que el agua drene hacia fuera a través de la tubería hasta el nivel en el cilindro graduado es el mismo que la parte superior del tubo de drenaje. Esto minimiza cualquier bolsillo de aire en la muestra y asegura que la muestra por lo tanto la fórmula para determinar la permeabilidad está dada de la siguiente manera.

$$k = A / T$$

donde A. = 0,35 pulgadas (0,084 m)

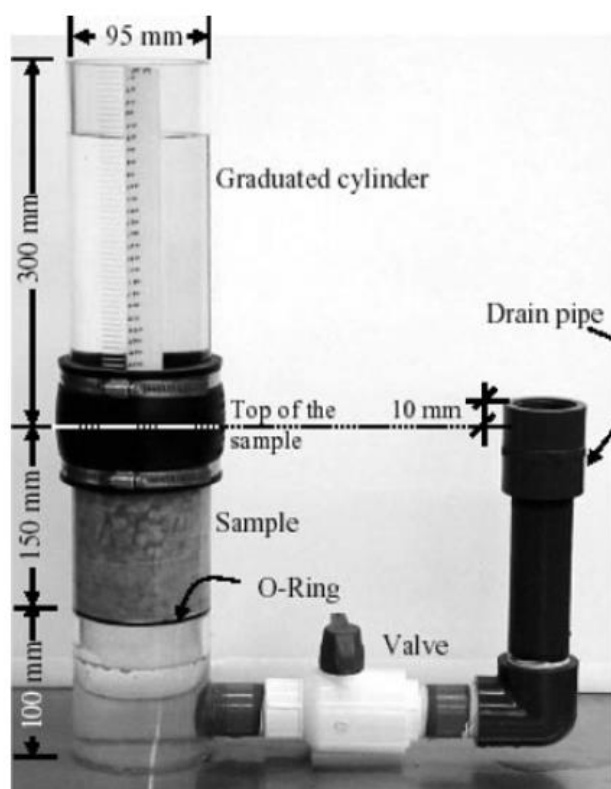


Ilustración 48 Figura 2.48 Aparato para medir la permeabilidad del concreto permeable en una simple caída de cabeza permeámetro).

2.1.5.5.9 DURABILIDAD

Durabilidad del concreto permeable se refiere a la vida de servicio bajo las condiciones ambientales. Los efectos físicos que pueden influir negativamente en la durabilidad del concreto incluyen la exposición a temperaturas extremas y los productos químicos tales como sulfatos y ácidos. No se han realizado investigaciones sobre la resistencia de concreto permeable a un ataque agresivo de sulfato de rodamiento o agua ácida.

Se han llevado a cabo pruebas limitadas de congelación-descongelación y condiciones indica poca durabilidad si la estructura entera vacía se llena con agua (NRMCA 2004). Una condición más lenta congelación (un ciclo por día, en comparación con cinco o seis según ASTM C 666, Procedimiento A) puede permitir que drene el agua de la el concreto permeable, mejora la durabilidad. Hay pocos datos sobre el terreno existe en la durabilidad a largo plazo del

concreto permeable en los climas del norte. Se debe tener precaución cuando se utiliza concreto permeable en una situación en la saturación completa antes de la congelación duro puede ocurrir.

Las pruebas indican que entre aire en la pasta de cemento puede mejorar la congelación-descongelación y durabilidad. En el laboratorio bajo condiciones de ensayo ASTM C 666, no con aire incorporado concreto permeable falla (módulo dinámico relativa será del menos de 60%) en aproximadamente 100 ciclos de congelación y descongelación en la cámara (ASTM C 666 requiere un estándar 300 ciclos de la prueba). El módulo de relación se mantiene más de 60%, sin embargo, para las muestras que tienen la porción pasta protegido por el aire atrapado. Asimismo, los especímenes de concreto permeable sometido a retardar la congelación y descongelación (un ciclo por día) sufrieron menos daños que los sometidos a la norma ASTM C 666 procedimiento de prueba (Neithalath et al. 2005) (de cinco a 12 ciclos por día). Determinación de la dosificación apropiada de incorporado de aire mezcla, el factor de cemento, y la unidad de peso de la producción mezcla se puede lograr mediante el procesamiento por lotes de laboratorio de prueba.

Las fibras sintéticas pueden ser empleados para aumentar la tenacidad, define como la absorción de energía del concreto después de la fisuración. La tenacidad puede ser cuantificado en uno de varios métodos de ensayo, tales como la norma ASTM C 1399. Pruebas de productos de fibras sintéticas en el haz especímenes de concreto permeable, de acuerdo con la norma ASTM C 1399 demostró que las fibras de 1,5 a 2,0 pulgadas (38 a 51 mm) en longitud fueron los más eficaces para impartir resistencia al de concreto (hormigón Sistemas de SI de 2002).

2.1.5.5.10 ABSORCIÓN ACÚSTICA

Debido a la presencia de un gran volumen de poros interconectados de tamaños considerables 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 neumático-pavimento en las aceras de concreto. El Pavimento Permeable altera la generación de ruido, reduciendo al mínimo el bombeo de aire entre el neumático y la superficie de carretera. Además, los poros pueden absorber el sonido a través de la fricción interna entre las moléculas de aire y las paredes de los poros. Para evaluar las características de absorción de sonido de concreto permeable se somete un tubo de impedancia. Las probetas cilíndricas con un diámetro de 3,75 pulgadas (95 mm) pueden ser alojadas en el tubo de impedancia. La muestra es colocada dentro de un manguito cilíndrico delgado de teflón, en la que se ajusta perfectamente. El conjunto de la muestra se coloca contra un rígido respaldo en un extremo del tubo de impedancia, que está equipado con una fuente de sonido. Una onda acústica plana es generada por la fuente de sonido y se propaga a lo largo del eje del tubo. Micrófonos colocados a lo largo de la longitud del tubo se utilizan para detectar la presión de la onda de sonido transmitida a la muestra y la porción de la onda que se refleja (ASTM E 1050). El coeficiente de absorción α es una medida de un material de la capacidad para absorber el sonido. Un material con una absorción coeficiente de 1,0 indica un material puramente absorbente, mientras que un material con un coeficiente de absorción de 0 indica que el material es puramente reflexivo. El concreto convencional típicamente tiene un coeficiente de absorción de 0,03 a 0,05 (Neithalath 2004). El concreto permeable tiene típicamente una absorción rango de 0,1 (para mezclas de bajo rendimiento) a casi 1 (para las mezclas con un volumen de poro óptimo). El coeficiente de absorción depende de la frecuencia de las ondas sonoras que inciden, y por lo tanto, es importante seleccionar un adecuado espesor de concreto permeable a fin de

minimizar sonidos de la frecuencia deseada (800 a 1200 Hz es la más objetable para el oído humano).

2.1.5.6 VENTAJA Y DESVENTAJAS

Toda clase de concreto tiene sus ventajas y desventajas, a continuación se hablara sobre ellas.

2.1.5.6.1 LAS VENTAJAS DEL CONCRETO PERMEABLE SON:

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

b-) Reduce los contaminantes en los suelos

Tratamiento eficacia depende principalmente del tipo de suelo, tipo de contaminante, y uso de la tierra. Para los muchos tipos de tratamiento de aguas pluviales Los sistemas, las eficiencias de remoción variar de 10 a 98% de reducción de la carga contaminante. Un pavimento permeable podría ser considerado ya sea como una retención o un sistema de infiltración, ya que su comportamiento sería similar en el control de la escorrentía y la eficiencia del tratamiento. Eliminación de contaminantes se produciría a través de filtración, absorción, y adsorción por los suelos subyacentes. Adicionalmente, los microorganismos pueden degradar los contaminantes orgánicos que están contenidos en el agua de lluvia.

El tratamiento eficiente ante los contaminantes de los pavimentos de hormigón permeables se ha informado como se ve en la Tabla 2.7

Tabla 2.7- Capacidad de remoción de contaminantes de pavimento Permeable

Tabla 7 Capacidad de remoción de contaminantes de pavimento Permeable

Tipo De Contamínate	La eliminación de contaminantes,*%
Contaminación Acústica TTS Temporary threshold shift (Desplazamiento temporal del umbral de audición)	95
Contaminación Aire TP Reduce el esfuerzo de las llantas por lo tanto reduce la cantidad de gasolina que se gasta y por ende se reduce la producción de hidrocarburos	65
TN por polvo retenido en el des hielo	82
Metales	98/99
Bacterias	N/A

Fuentes de contaminación de los estacionamientos urbanos incluyen atmosférica precipitación, vegetación, los fertilizantes, los plaguicidas, la basura, los derrames y contaminantes de los vehículos, tales como metales pesados, grasas, y aceites. Conceptualmente, un pavimento permeable debe proporcionar una eliminación para todos estos contaminantes. La EPA informa que cualquier tales sistema de infiltración puede ser considerado 100% de efectividad en la eliminación de contaminantes en la fracción de agua que se infiltra, como los contaminantes que se encuentran en este volumen no son dados de alta directamente a las aguas superficiales, sino que se descarga al subyacente del suelo. Con respecto a la escorrentía que es infiltrado, se tarda sólo unos pocos centímetros del suelo para atrapar y se acumulan aceites, metales y nutrientes. Mientras el infiltrante escorrentía contiene sólo el común, en su mayoría biodegradables, componentes de residencial y comercial desarrollo, entonces es dentro de la capacidad de tratamiento más suelo.

c-) Contenido de Huecos: Los huecos presentes en estos concretos dan como resultados.

c.1) Una mayor elasticidad.

c.2) Comportamiento superior frente a los cambios de temperatura,

c.3) disminuyendo los movimientos de contracción y expansión.

c.4) Pavimentos más frescos.

c.5) Pavimentos más ligeros.

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

e-) Por la repartición heterogénea de cargas es que casi nunca hace falta mejorar el terreno natural.

f-) Mas Amigable con el Medio Ambiente

- Buen manejo de aguas lluvias

- Sirve como filtro para retener materiales pesado o contaminantes dañinos a los mantos freáticos.

- Mejora la tracción en los vehículos

- Todas las superficies son 100 % permeables
- Se eliminan los charcos.
- Permite la conservación de los microclimas debido a que la filtración del agua contenida en su interior se realiza lentamente permitiendo que parte del agua se evapore y se mantenga un ambiente húmedo.
- Reduce en forma notable la temperatura de las superficies con lo cual resulta ideal en la eliminación de las “islas de calor”.
- Reduce en forma notable el ruido provocado por la circulación vehicular.
- Permite la reducción o incluso eliminación los drenajes pluviales.
- Evita el acuaplaneo de las llantas de los autos.
- Es compatible con otros materiales usados para pavimentos con el fin de que se logren superficies permeables.
- No requiere de mano de obra especializada ni de maquinaria sofisticada para su instalación.
- La superficie es plana ya que no necesita “bombeo”.

g-) Beneficios Adicionales

- Adquiere sus características de resistencia entre 24 y 72 horas.
- Se puede hacer en varios colores y con distintos tipos de piedra.
- Sus bases y sistemas constructivos son más baratos que los de los pisos y pavimentos tradicionales, por lo que el costo final no es más caro.
- Se puede mezclar en obra o en plantas de premezclado.
- Puede tener varias presentaciones: en base cemento que permite el uso de colorantes; o por medio de resinas con las cuales se conserva la apariencia del agregado.

2.1.5.6.2 DESVENTAJAS

a-) Grietas debido a la pérdidas de sub-rasante causadas por hundimiento

b-) Necesidades de Investigación

Se necesita más investigación para extender su uso en otros aplicaciones y para verificar su desempeño en diferentes ambientes. Aunque se usan ampliamente en climas más cálidos, existe la preocupación de rendimiento a baja temperatura, y congelación-descongelación y problemas de durabilidad.

c-) La exposición al congelamiento y descongelamiento tiende a dañar el concreto

Se necesita más investigación para evaluar la eficacia de la conocida tecnologías en la protección de concreto permeable en climas fríos. A partir de 2002, son pocos los pavimentos de concreto permeable que se han instalados en las zonas más frías que las de Carolina del Norte o el. Tecnologías para proteger el concreto permeable de los efectos de la congelación y las sales de deshielo, probablemente existen, pero tienen que ser probadas y estandarizado. Cuando el agua se congela, se expande en aproximadamente un 9% de su volumen original. Crecimiento de cristales de hielo el desplazamiento de agua. En bajos contenidos de agua, sin presión hidráulica se desarrolla. Si los micro poros en el cemento aglutinante están saturados o casi saturado al congelar empieza la presión hidráulica se acumula como avanza el punto de congelación (Kosmatka et al., 2002). La primera observación directa de la conocida de concreto permeable comportamiento a la congelación era un experimento de laboratorio por el Investigación del Ejército de EE.UU. en frío de las regiones y de Ingeniería Laboratorio (Korhonen y Bayer 1989).

Las muestras del concreto permeable, sin la inclusión de aire, el refuerzo, u otro tratamiento para la protección de los daños por heladas fueron repetidamente

congeladas y descongeladas. A intervalos durante la prueba secuencia, las muestras se retiraron del ciclo de congelación y puesto bajo la fuerza de compresión para probar su pérdida de resistencia a la rotura. Aquellos que se habían congelado en seco o húmedos (humedecidos, luego se vacía) mostraron pérdida de las condiciones de poca de la fuerza de más de 160 ciclos de congelación-descongelación y. Un examen de laboratorio realizado en la Universidad de Tsinghua, Beijing (Yang y Jiang 2003), confirmó que después de 25 ciclos de congelación y descongelación en el aire, la compresión no confinada de cinco muestras disminuyó en un 15 a un 23%. Muestras similares que habían sido congelados en recipientes llenos de agua se evaluaron sin embargo se percibió un progresivo deteriorado en cada uno de ellas muestras. En el ciclo 45 de deshielo todavía manifestaba una resistencia a flexión de 2000 psi (14 MPa) o más, y cuando se rompió bajo fuerza mayor. En el ciclo 45, que habían perdido 11 a 21% de los su fuerza, y lo que ocasiono un rompimiento en varios pedazos pequeños. En el ciclo de 80 se mostró numerosos de grietas perdido 37 a 38% de su fuerza y, en romper la presión, que se derrumbó casi en polvo. En comparación, el hormigón denso durante 80 ciclos perdió sólo el 7% de su fuerza y se rompió sólo en unas pocas piezas. No está claro si las condiciones actuales del deshielo se relacionan a la prueba de inmersión o en seco de congelación-descongelación y durabilidad. Asegurando un drenaje rápido de una losa permeable en un buen sistema drenaje base reservorio, sin embargo, puede ser un importante medida preventiva contra los efectos de la congelación. En las regiones frías, incorporación de aireadores se añade rutinariamente al concreto para protegerla de daños por los deshielos (AASHTO 1993). La experiencia sobre todo de la construcción de edificios sugiere que la inclusión de aire mejora la resistencia del concreto permeable a los daños causados por congelación-descongelación y ciclos como el que hace de hormigón denso (Florida hormigón y productos de Asociación 1983; Kosmatka et al. 2002, Monahan, 1981). Líquido de polímero y aditivos de látex puede

ayudar mediante el sellado del aglutinante de cemento de micro poros y la prevención de la entrada de agua. Puzolanas, fibras de polímero y polímeros líquidos puede mejorar la fuerza de un hormigón, y con ello su resistencia a congelación-descongelación y los productos químicos y las condiciones de deshielo (Pindado et al., 1999).

d-) La resistencia a la compresión es muy baja comparada con el concreto convencional

Se necesita más investigación para mejorar la fuerza y la durabilidad del concreto permeable. La capacidad del concreto permeable para soportar pesadas cargas de vehículos (carretera típica tráfico) y poseen la fuerza de la corriente de cemento portland hormigón aumentaría su uso en una amplia gama de aplicaciones. El trabajo experimental de laboratorio determinó que un compuesto que consiste en una capa superficial y la capa de base de concreto permeable con diferentes gradaciones de agregado, y por lo tanto una uniforme cantidad de poros tiende a alcanzado una resistencia a compresión de 7200 psi (50 MPa) y una resistencia a la flexión de 870 psi (6 MPa) (Según investigaciones Yang y Jiang 2003). Se necesita investigación adicional para confirmar que los 28 días las ganancias de fuerza en los 4300 a 7200 psi (30 a 50 MPa), rango puede lograrse de forma fiable en aplicaciones de producción.

e-) El alto costo de mantenimiento

Los dos métodos comúnmente aceptados de mantenimiento son lavado a presión y aspiración de potencia. Lavado a presión obliga a los contaminantes hacia abajo a través de la superficie del pavimento. Esto es efectivo, pero se debe tener cuidado de no utilizar demasiado mucha presión, ya que podría dañar el concreto permeable. Una pequeña sección del pavimento debe ser lavado a presión utilizando diferentes presiones de agua para determinar la adecuada presión para

el pavimento dado. Poder pasar la aspiradora elimina contaminantes por extraerlos de los huecos del pavimento.

El esquema más eficaz, sin embargo, es combinar los dos técnicas y vacío de poder después de un lavado a presión. Las investigaciones realizadas por el hormigón de la Florida y de los productos Asociación (1990) cuantifica el grado de contaminante infiltración en pavimentos de concreto permeable de estacionamiento. Cinco estacionamientos fueron examinados como parte del estudio, y el nivel infiltración de contaminante se encontró que era bastante bajo.

La infiltración se encontró que estar en el intervalo de 0,16 a 3,4% de el volumen vacío total después de un máximo de 8 años de servicio. Además, barriendo la superficie inmediatamente restaurado más del 50% de la permeabilidad de un pavimento obstruido.

2.1.5.7 MATERIALES.

El concreto permeable, se compone principalmente de lo normal de cemento portland, de tamaño uniforme de árido grueso, y agua. Esta combinación forma una aglomeración de agregados gruesos rodeado por una capa delgada endurecida de pasta de cemento en sus puntos de contacto. Esta configuración produce grandes espacios vacíos entre el agregado grueso, que permite que el agua permeado a una velocidad mucho mayor que el concreto convencencia. El concreto permeable es considerado como un especial tipo de hormigón poroso. El hormigón poroso se pueden clasificar en dos tipos: uno en el que la porosidad está presente en el componente agregado de la mezcla (árido liviano hormigones), y una porosidad en el que se introduce en el no agregado componente de la mezcla (concreto permeable) (Neithalath 2004). Hormigón de áridos ligeros puede ser construido mediante el uso extremadamente porosa natural o sintético agregados. El concreto permeable tiene agregado poco fino o ninguno en la mezcla. Otra diferencia entre estos dos tipos de hormigón poroso se basa principalmente en la estructura del vacío. Hormigones ligeros con

agregados ligero contienen un alto porcentaje de huecos relativamente no conectados. El concreto permeable embargo contiene alto porcentaje de Vacíos interconectados, Que permite el paso de Agua Rápido un Través del Cuerpo de Hormigón.

2.1.5.7.1 LOS ÁRIDOS

Gradaciones agregado utilizado en el concreto permeable son típicamente ya sea agregado grueso de un solo tamaño o clasificación entre $\frac{3}{4}$ y $\frac{3}{8}$ pulgadas (19 y 9,5 mm). Agregados redondeados y aplastados, tanto normal y ligero, se han utilizado para hacer concreto permeable. El árido empleado debe cumplir con los requisitos de ASTM D 448 y C 33. Los agregados finos no debe típicamente se usados en mezclas de hormigón permeables porque tienden a comprometer la conexión del sistema de poros.

2.5.7.2 MATERIALES CEMENTANTE

El cemento Portland conforme a ASTM C 150, C 595, o C 1157 se utiliza como aglutinante principal. Las cenizas volantes, cemento de escoria, y humo de sílice debe cumplir con los requisitos de la norma ASTM C 618, C 989, 1240 y C, respectivamente.

2.5.7.3 AGUA

La calidad del agua para el concreto permeable se rige por el mismos requisitos que el hormigón convencional. El concreto permeable debe ser proporcionado con una relativamente baja relación (w / c) (0,30 a 0,40) porque una cantidad en exceso de agua conducirá al drenaje de la pasta y posterior la obstrucción del sistema de poros. La adición de agua, por lo tanto, tiene que ser supervisados de cerca en el campo.

2.5.7.4 LOS ADITIVOS

Los aditivos deben cumplir con los requisitos de la norma ASTM C 494. Aditivos reductores de agua (de alto rango) se utilizan en función de la relación w / c . Aditivos retardantes se utilizan para estabilizar y controlar la hidratación del cemento. Retardar aditivos se prefiere frecuentemente cuando se trata de rigidez mezclas, como el concreto permeable, sobre todo en caliente aplicaciones meteorológicas. Aditivos retardantes pueden actuar como lubricantes para ayudar a la descarga de concreto de un mezclador y puede mejorar el manejo y el lugar en las características de rendimiento.

Aceleradores se puede utilizar cuando se colocan los hormigones permeables en tiempo frío. Impulsores de aire no han sido comúnmente utilizado en hormigones permeables, pero puede ser utilizado en entornos sensibles a la congelación y descongelación.

2.1.5.8 APLICACIONES DEL CONCRETO PERMEABLE.

El concreto permeable, por sus características es un producto que tiene diversas aplicaciones, brindando no solo una alternativa en su uso.

Ayuda a la estética del entorno por tanto puede utilizarse en plazas, fuentes, parques, ciclo pistas. Cuida el medio ambiente y preserva el desarrollo de microorganismos marinos, por tanto puede utilizarse en arrecifes artificiales, o como acabado superficial de los muelles, además de su uso como conductor de agua.

También brinda gran durabilidad a las obras, gracias a su alta resistencia a la flexión y compresión por tanto puede utilizarse en andadores, banquetas, vialidades principales e intermedias, áreas de carga, estacionamientos, no importando si la carga es muy alta.

Al aplicar estos tipos de concretos hay que añadirles los condicionantes de tipo económico que influyen en gran medida en la aplicación práctica de los

mismos. Análogamente a la situación que se presenta con otros materiales es necesario encontrar un equilibrio entre los costos de la primera inversión y los de mantenimiento. En esta línea cabe señalar que los concretos porosos resultan, en general, baratos en relación a los costos iniciales; ello es debido, por un lado, al bajo contenido de cemento e incluso a la sustitución parcial de este por cenizas, y por otro lado a que no precisa de equipos especiales de puesta en obra.

La vida útil media de los elementos relacionados con estos concretos, es en condiciones normales, menor que la correspondiente a la de un concreto convencional; si bien la comparación no es inmediata dado que cubre campos de aplicaciones diferentes. Esta menor vida útil viene determinada por una menor capacidad, una granulometría más abierta y un menor contenido de cemento. No obstante la experiencia con concreto poroso es aun escasa para fijar con gran precisión la citada vida útil, la cual, como es lógico, varía en función del tipo de aplicación.

A continuación se presentan diversas aplicaciones con estos concretos, haciendo hincapié en aquellas que hacen referencia a carreteras o pavimentos.

2.1.5.8.1 BERMAS DE PAVIMENTO RÍGIDO CON TRÁFICO MUY PESADO

Esta técnica muy experimentada en Francia, en la que existen incluso normativas de la administración sobre el tema por el Ministerio de Transporte Francés, aprovecha las propiedades que presenta el concreto poroso para evacuar con rapidez el agua que puede acumularse en la zona situada entre el pavimento de concreto, la sub-base de grava cemento y la berma. Como es sabido, el agua en dichas zonas tiene una gran influencia en el deterioro de las losas (efecto "Pumping" y de descalce de las losas), sobre todo cuando estas se disponen sin pasadores.

En España esta solución ha sido utilizada en la variante de Bermas de Construcción (1984) donde se obtuvieron resistencias a la compresión a los 28 días, del orden de 140 Kg. /cm² y en el tramo de la Autopista del Mediterráneo entre Jeresa y Ondara (1985) donde se obtuvo densidades entre 1.95 y 2.04 t/m³ y permeabilidades de 1.24 cm. /seg. Además se alcanzaron resistencias a la compresión a los 56 días del orden de 53 Kg./cm². Los ensayos previos de las aplicaciones citadas fueron llevados a cabo en el Instituto Eduardo Torroja.



Ilustración 49 Fig. 2.49
Bermas en Carreteras

2.1.5.8.2 BASES DE PAVIMENTOS

Estos pavimentos están constituidos por una base de concreto poroso y una capa de rodadura de mezcla bituminosa porosa. Con ello se dota el pavimento de cierta capacidad de almacenamiento de agua, principalmente fluvial con lo que se laminan los caudales punta que se presentan en las secciones de desagüe. Por tal razón, son de gran interés y tienen una aplicación importante en pavimentos urbanos con coeficientes de escorrentía elevados.

En la práctica normalmente se suele impermeabilizar la cara inferior de la base de concreto poroso, si bien en algunas ocasiones se ha utilizado sin impermeabilizar, permitiéndole infiltración al terreno, obteniendo buenos resultados. Un ejemplo del primer tipo es un tramo experimental realizado en el Chemin Departamental 44 cerca de la ciudad de Marsella en 1983, dicho tramo, de 120m de longitud y 7m de ancho, tiene una pendiente de 3.5%. En el mismo se dispuso una sección estructural que se presenta a continuación.

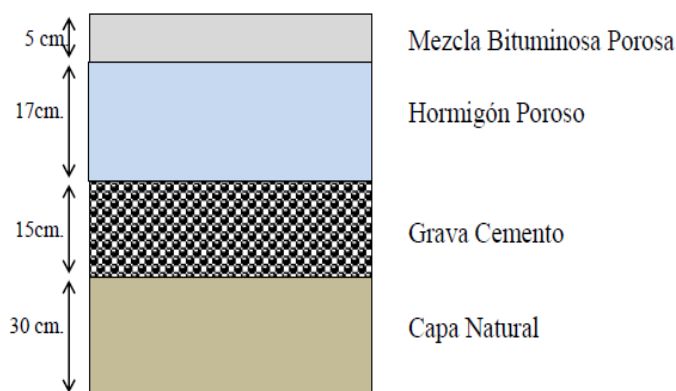


Ilustración 50 Fig. 2.50 Base para pavimento de concreto permeable

Con estas condiciones las resistencias a compresión y tracción indirecta que se obtuvieron a los 28 días fueron de 22.5 Kg./cm² y 27 Kg./cm² respectivamente alcanzando la porosidad de la mezcla el valor de 17%. Cabe señalar que este tipo de pavimentos incluso sin capa de rodadura bituminosa, se ha utilizado en grandes zonas de parqueaderos. Un ejemplo lo constituye el conjunto de losa de concreto poroso del parqueadero del laboratorio regional de carreteras de Burdeos.

Esta solución tiene la ventaja de que resuelve la problemática de las pendientes de drenaje en profundidad, manteniendo una superficie casi horizontal. Sin embargo, presenta el inconveniente de la posible

disgregación superficial del agregado por efectos mecánicos. Para mitigar este problema se han adoptado diversas soluciones. Una primera, para tráfico pequeño, es hacer un acabado superficial mas rico en cemento, espolvoreando con el mismo el concreto fresco de la superficie. Para tráfico relativamente intenso, o bien en condiciones climáticas severas se puede hacer una capa final de rodadura de concreto poroso con resina.

2.1.5.8.3 CAPA DE RODADURA

Las exigencias que se le imponen a los concretos porosos utilizados en capa de rodadura son superiores a las requeridas cuando se utilizan en bases o bermas. El material no sólo debe garantizar unas características drenantes y de resistencia mecánica, sino también debe satisfacer algunas otras condiciones, como son una estabilidad suficiente frente a los esfuerzos horizontales generados por los vehículos, y en algunos casos, frente a las solicitaciones del tipo climático. Por otra parte, el material debe posibilitar la obtención de una regularidad superficial y unas características antideslizantes correctas. En ocasiones, puede imponérsele una reducción de los niveles sonoros del tráfico frente a los generados con otras alternativas. En el cumplimiento de alguno de estos requisitos intervienen de forma preponderante las características del material en sí, influidas a su vez no solo por su composición, sino también, en general, por la puesta en obra, y especialmente por la compactación alcanzada. Para otros parámetros, como la absorción acústica, factores como el espesor de la capa construida pueden tener también una importancia similar o incluso superior.

Las condiciones mencionadas dependen así mismo del tipo de carretera en la que vaya a colocarse la capa de rodadura de concreto poroso, por lo tanto es evidente que no son las mismas características de resistencia mecánica,

regularidad superficial las que se les exige a una autopista o a una zona peatonal. Las exigencias en cuanto a absorción del ruido son también diferentes en una calle urbana que en una carretera a campo abierto atravesando una zona sin edificar. Por todo ello, en los concretos porosos empleados como capa de rodadura pueden destacarse algunas diferencias fundamentales en cuanto a la composición, con respecto a los utilizados en bases y bermas, dentro de las cuales se encuentran las siguientes:

- El empleo de mayores contenidos de cemento, (oscilando entre 200-300 Kg/m³).
- La incorporación de aditivos.
- La utilización de tamaños máximos de agregados triturados, no superan los 12 mm.

Las dos primeras están relacionadas con la superior resistencia a exigir, tanto mecánica como el arrancamiento; mientras que la tercera obedece tanto a exigencias de regularidad superficial como a la construcción de espesores más reducidos y la exigencia de mayor homogeneidad del material, sobre todo en lo que se refiere a las posibles segregaciones en el transporte y/o la puesta en obra del material. El empleo de aditivos puede venir motivado así mismo por consideraciones de tipo constructivo. (Aguado; 1991).

2.1.5.8.4 COMO SISTEMA DE DRENAJE

Otra posibilidad de aplicación del concreto poroso son los drenajes del trasdós de un muro o paramento, donde tiene un tubo de drenaje dispuesto en el trasdós de un muro con el objeto de recoger y conducir las aguas que pueden circular por el relleno granular existente en el trasdós.



Ilustración 51 Fig. 2.51 Zonas de Pasos Peatonales

Razones de tipo económico, técnicas y de inercia de los proyectistas han sido un

obstáculo para la sustitución del relleno granular por un muro de concreto poroso.

Otra aplicación, aun no muy experimentada pero adecuada para zonas singulares, es el empleo de muros de concreto poroso 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. (Rosell, 1989).

2.1.5.8.5 USOS Y OTRAS APLICACIONES TÍPICOS INCLUYEN:

- Áreas de estacionamiento
- Calles, cunetas de carreteras
- Patios, canchas de tennis
- Cubiertas laterales en piscinas
- Rutas de carros de golf

- Pisos para invernaderos
- Áreas de Zoológicos y establos

2.1.5.8.6 DESEMPEÑO, COLOCACION Y DISEÑO

El concreto permeable, debe colocarse sobre una sub-base, permeable y bien compactada. Como el agua pasa a través del sistema, el concreto permeable, la sub-base y el suelo, actúan como un filtro natural, removiendo materiales indeseables como aceites, grasas y otros contaminantes dañinos.

Los Pavimentos de Concreto Permeable, pueden colocarse, con el empleo de cimbrado fijo o pavimentadoras de cimbra deslizante. Con cimbra fija, usualmente se colocan unas guías en la parte alta de cada cimbra, de tal manera que el "reglado" se efectúa ligeramente arriba de la altura final del pavimento. Si el "reglado" se efectúa con equipos vibradores ó del tipo manual, esas guías laterales, se remueven y el pavimento se compacta manualmente con un rodillo. Las aplicaciones

con pavimentadoras de cimbra deslizante, sólo requieren de una pasada.

Después del trabajo de juntas, el curado del concreto permeable, es esencial. El pavimento de concreto permeable deberá ser cubierto con lienzos plásticos, dentro de los 20 minutos, desde que el concreto es descargado del camión y permitiendo su curado, por 7 días.

2.1.5.9 DISEÑO DE MEZCLA

Para el concreto permeable la relación del agregado grueso y la relación agua cemento (w/cm) son las principales variables que afectan a la características mecánicas. Una amplia gama de cemento se ha encontrado aceptables, dependiendo de la aplicación específica. Los aditivos químicos, además de afectar la relación w/cm , se utilizan para influir en los tiempos

de trabajabilidad y ajuste, mejorar diversas características mecánicas de concreto permeable, y mejorar la durabilidad a largo plazo.

2.1.5.9.1 CRITERIOS DE DOSIFICACIÓN

En el caso del concreto permeable el agua y el contenido de cemento óptimo producen un estado de mezcla que tendrá una apariencia metálica húmeda con brillo. Para una proporción de mezcla dada y tamaño de los agregados y el tipo, existe un estrecho rango óptimo de w / cm . La pasta de cemento de esta mezcla óptima creará suficiente unión entre las partículas de agregado sin causar asentamiento de la pasta o a través de la red de poros el cierre de la estructura de vacío deseado.

Predecir el óptimo w / cm depende principalmente de la graduación y las características físicas de los agregados gruesos y los materiales contenido de cemento de la mezcla. Para el concreto permeables, la w / cm para obtener la trabajabilidad necesaria normalmente cae dentro de 0,26 a 0,45.

La trabajabilidad del concreto permeable se supone que es satisfactorio si el agua de mezcla es suficiente y se utiliza para impartir una apariencia metálica a la mezcla. Apretar y soltar un puñado de la mezcla debe resultar en una mezcla que no se desmorona ni se hace libre de huecos, y la pasta del cemento no debe fluir fuera de las partículas de agregado. La consistencia correcta se obtiene normalmente a través de un juicio de inspección, que asegura que cada mezcla contiene cemento suficiente para recubrir las partículas gruesas con una película brillante, dándole un brillo metálico, una humectación total, unirse entre si y poseer una alta viscosidad.

2.1.5.10 PAVIMENTOS DE CONCRETO PERMEABLE

En la determinación de un espesor de pavimento de concreto permeable, dos análisis diferentes deben llevarse a cabo, *uno estructural y uno hidráulico*. Por el diseño estructural el diseño de pavimentos de concreto

permeable, se refieren a ACI 330R para los estacionamientos, así como a ACI 325.12R para calles y carreteras. Si la resistencia del concreto permeable producido no está dentro de los parámetros de diseño de cualquiera de estos dos métodos, otros procedimientos de diseño que incluyan la experiencia local, puede ser necesario. El pavimento es el resultando del espesor y la sub-base, entonces debería ser analizada para la capacidad de embalse y permeabilidad. En muchos casos, el porcentaje de vacíos de la estructura del pavimento se debe de idealizar como que se está como un depósito de para las aguas pluviales, por lo que el espesor debe permitir también que anticipados volúmenes de retención. El espesor tiene dos requisitos para su análisis, estructural *o de almacenamiento*, se debe especificar. El alcance práctico de diseño de espesores de concreto permeable es *5 a 10 pulgadas (125 a 250 mm)* para pavimentos lisos. Bonded superposiciones, sin embargo, han sido tan delgada como *2 pulgadas (50 mm)*.

Determinación espesor estructural puede hacerse por cualquier método de la AASHTO o métodos de diseño de la PCA (Packard y Tayabji 1985; PCA 1990) para pavimentos de hormigón lisos si la resistencia del concreto permeable cae dentro de los límites de cada procedimiento de diseño (Ghafoori 1995). El apoyo perimetral puede o no estar presente, dependiendo de la utilización de bordillos en el diseño de drenaje. El módulo de balasto utilizado en el diseño debe representar los niveles más bajos de la compactación en pavimentos de concreto permeable. Las pruebas de campo de los suelos del sitio se proporcionar módulo de precisión de los valores de balasto.

Cargas de tráfico puede ser necesaria para que se delimitan lo descritos en ACI 330R como B ($ADTT = 25$) para las mezclas de concreto que no se tienen experiencia exitosa con altos niveles de tráfico excepto la mezclas de

concreto permeable realizada en Florida con piedra caliza. La estructura de vacío de una mezcla de concreto permeable, no sólo permite la transmisión vertical del agua, sino que también se permite el flujo horizontal. Esta capacidad única se debe considerar en el establecimiento de los perfiles de drenaje. La tasa vertical de flujos es dependiente de la permeabilidad de la capa de asiento y también sobre el espesor y la proporción de huecos del pavimento. Para la más gran medida de lo posible, los perfiles de la zona de estacionamiento deben ser clasificados sin pendiente. Esto permitirá un mayor tiempo para la sub rasante para absorber y transmitir agua a los estratos inferior y reducir la tasa de flujo horizontal. Cuando las condiciones no permiten que los grados planos, el diseñador puede considerar la posibilidad de barreras impermeables transversales a la dirección de la línea horizontal flujo. Estas barreras pueden ser instaladas por el aumento de la consolidación de la tira de pavimento a lo largo del borde de transversal juntas de construcción. La creciente consolidación cierra la estructura de vacío en este lugar. Instalación de franjas transversales de hormigón impermeable normal, reduce el flujo lateral en el abajo la dirección escolar. Bordillos alrededor del perímetro del área pavimentada también ayudan a reducir las tasas de flujo lateral, así como el cumplimiento de los requisitos de retención de aguas pluviales.

2.1.5.11 PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE PAVIMENTOS DE CONCRETO PERMEABLE

La construcción de pavimentos de concreto permeable debe llevarse a cabo cumpliendo con los planos y especificaciones del proyecto. La construcción comienza con la planificación. Se recomienda Una pre construcción y construcción de secciones de prueba para tratar temas tales como:

- Determinación de la secuencia de la construcción.
- Disponer lo necesario para una tasa de ejecución real del concreto.

- Disponer lo necesario para un adecuado acceso al sitio del proyecto para los camiones de concreto.
- Selección del equipo óptimo para el tamaño del proyecto; barro, saturado, o congelados, cuando comienza la colocación. Los suelos de sub rasante deben ser humedecidos antes de la colocación del concreto.

2.1.5.11.1 PREPARACIÓN DE LA SUBRASANTE Y DISEÑO

Una buena preparación de sub-base, uniformidad y espesor correcto es esencial para la construcción de un pavimento de calidad. La parte superior de la sub-base debe estar compuesto por gránulos o grava un aproximado de 6 pulgadas (150 mm), con no más de una cantidad moderada (10%) de limo o arcilla. En la sub-base no debe haber contacto con el barro, saturado, o congelado, cuando se comienza la colocación. El suelo de la sub rasante debe ser humedecido antes de la colocación del concreto. Si no se proporciona una sub base húmeda, se traducirá en una reducción en la resistencia del pavimento y puede conducir a un fracaso prematuro del pavimento. Para garantizar la uniformidad de compactación, los surcos de las ruedas deben ser rastrilladas y compactada antes de la colocación del concreto. Si las propiedades del suelo de la sub rasante exigen una cama recarga de agregado debe incorporarse un diseño de drenaje del sitio, este debe ser colocado en el preparado de la sub-base, compactada y recortada a la altura adecuada.

2.1.5.11.2 COLOCACIÓN

Un diseño de proyecto bien planificado puede acelerar las operaciones de construcción, permitiendo el uso eficiente del equipo de colocación, y así facilitar el acceso de los camiones de reparto de hormigón. El contratista y el diseñador deben ponerse de acuerdo sobre métodos comunes de diseño y construcción antes de que comience la ejecución. Un dibujo que muestra la ubicación de todas las juntas y la secuencia de colocación debe estar disponible

antes que comience la construcción. Cada vez que el material fresco se deja reposar a la intemperie es tiempo que se pierde evitando un buen curado en el concreto. El secado de la pasta de cemento puede llevar a un fracaso y por ende desmoronamiento del pavimento. Todas las operaciones de colocación y el equipo deben ser diseñadas y seleccionadas con esto en mente, y programada para la colocación rápida y curado inmediata del pavimento.

1. FORMALETAS Las Formaletas pueden ser de madera, plástico o acero y debe ser la profundidad del pavimento. Las Formaletas deben tener la resistencia y estabilidad suficientes para soportar el equipo. El subsuelo bajo las formaletas debe ser compactado de conformidad con las recomendaciones del diseñador y de corte al grado de apoyar la regla y el equipo de rodillo ha de ser utilizado. Suficiente pasadores de las formaletas o estacas se debe utilizar para resistir el movimiento lateral. Todas las formaletas deben ser limpiadas y engrasadas según sea necesario.

2. DEPOSITO DEL CONCRETO: El depósito de hormigón debe de ser colocado cerca de su posición final eso será mucho más práctico. Esto se hace comúnmente por la descarga directa desde la tolva del camión mezclador directamente sobre la sub-base. Debido a que las mezclas de concreto permeable suelen ser duras (cero asentamientos), el bombeo no es recomendado. Después de depositar hormigón, se debe cortar con un rastrillo o una herramienta similar de la mano.

El concreto permeable a lo largo de las formaletas debe ser compactado por un martillo apisonador para asegurar que los bordes mantengan la integridad estructural después de que las formaletas se eliminan y el hormigón se pone en servicio. Durante la compactación del concreto, el borde exterior del apisonador debe mantenerse en el encofrado y asegurar que el concreto no se compacte por debajo de la elevación de la formaleta.

En general, se debe tener.

- Retirar o pala de concreto fresco en su posición final.
- Llenar los vacíos en el hormigón.
- Evitar los contaminación del concreto permeable y
- No caminar mientras este fresco el concreto.

3. **TIRAS** Las tiras deben ser colocados en la parte superior de la las formaletas de enrasado inicial (Fig. 2.52). Estas tiras pueden variar desde 3/8 a 3/4 pulgadas de espesor (9 a 19 mm); el espesor necesario dependerá del espesor requerido del pavimento



Ilustración 52-Ejemplo de tira vertical en su lugar.

4. **ENRASADO:** El equipo de enrasado y los métodos pueden variar dependiendo del tamaño de la colocación. Para trabajos pequeños, como caminos de acceso, o para espacios reducidos, una regla de mano o regla vibratoria es aceptable. Para trabajos más grandes, el uso de reglas vibratorias es recomendable (Fig. 2.53). es importante lograr un buen acabado en el concreto tan pronto como sea posible; por lo tanto, el trabajo manual, no se recomienda debido a su falta de velocidad.



Figura 2.53 Uso de regla vibratoria de enrasado el concreto permeable

5. **HERRAMIENTAS** con respecto al concreto tradicional las herramientas tales como bordeadoras (una herramienta que se parece a una azadon y tiene una larga hoja de filo recto) puede ser utilizado para facilitar la colocación adecuada del concreto permeable.
6. **USO DE PAVIMENTO ANTIGUO, COMO FORMALETA:** Se debe de prestar una especial atención y ser cuidadoso al colocar una sección de concreto permeable al lado de un colocación anterior del mismo día para evitar daños a la sección anterior. Considerando que el presente procedimiento no suele ser recomendado, puede ser necesario en algunas aplicaciones.
 1. Retire con cuidado la sábana de curado antes colocación del concreto nuevo pero los bodes finales de lona plástica y se debe de tener cuidado de mantener el concreto permeable cubierto.
 2. Coloque hojas de madera contrachapada o tableros de fibra orientada (OSB) (3/8 pulg [10 mm] o más grueso según sea necesario) en la parte superior del curado hoja, a lo largo del borde de la colocación anterior permeable.
 3. Retire las formaletas, dejando al descubierto el borde de la colocación anterior.
 4. Coloque el concreto permeable hasta el borde.

5. Golpea el concreto recién colocado con la regla a caballo por la madera contrachapada u OSB;
6. Continuar con la consolidación, como de costumbre.
7. Cubrir el concreto permeable tan pronto como sea posible.

2.1. 5.11.3 CONSOLIDACION

Inmediatamente después de enrasado, las tiras verticales y quitar las formaletas (Fig. 2.53) y es el hormigón compactado a la elevación de la formaleta con un rodillo ponderado (Fig. 2.54). Un apisonador de mano se puede utilizar a lo largo de los bordes para facilitar la compactación a lo largo de las formaletas. El rodillo se utiliza para compactar el hormigón y de esa forma crear una unión fuerte en la pasta de cemento y las partículas del agregado y así proporcionar una aceptable suavidad superficial. El rodillo debe ser de ancho suficiente para montar en las formaletas y debe proporcionar un mínimo de 10 psi (0,07 MPa) de fuerza vertical. El rodillo promedio del tamaño ancho necesario para abarcar un 12 pies (3,7 m) carril de un peso aproximado de 600 a 700 libras (270 a 320 kg) pesa aproximadamente 7,8 200 a 300 libras (90 a 140 kg). Algunas situaciones requieren un esfuerzo adicional para asegurar una calidad pavimento. En las zonas donde la calidad de marcha es de especial preocupación, el pavimento debe ser transversal laminado para suavizar cualquier desviación vertical en la elevación de la superficie (Fig. 2.55). adyacente a las aceras y en los bordes del pavimento expuestas, el concreto debería ser alisado para proporcionar una esquina lisa (fig. 2.56). Después de enrasado, la compactación, y bordes, ningún otro acabado las operaciones se deben realizar.

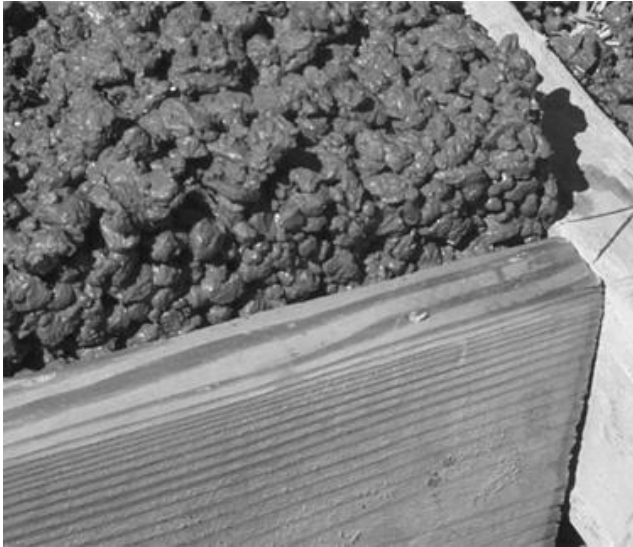


Ilustración 54 Fig. 2.54 Resultado de la franja vertical de usar después de la eliminación.

Ilustración 55 Fig. 2.55 Uso de Rodillo Liso para dar acabado final al concreto



Ilustración 56 Fig. 2.56 Rodillo Secundario usado para la cruz de laminación del concreto permeables para mejorar la calidad de conducción de la acera





Ilustración 57 Fig. 2.57 Borde de concreto permeable para mejorar la apariencia de las esquinas.

2.1.5.11.4 JUNTAS

Las juntas de contracción debe ser instalado como se indica por los planos. Se debe tener una profundidad de $1/3$ a $1/4$ del espesor de la acera. Las juntas se pueden instalar en el hormigón fresco con herramientas de corte de sierra o después que el concreto se endurezca. Las articulaciones con herramientas producen los mejores resultados en el concreto convencional herramientas pero no puede ser utilizado para concreto permeable. Se puede hacer el empalme junta con una ensambladora especialmente diseñada con una hoja que es al menos $1/4$ (preferiblemente $1/3$) el espesor de la losa y con suficiente peso para forzar la cuchilla para cortar limpiamente la articulación puede ser utilizado (Fig. 2.62). En las colocaciones con ancho de los carriles de ancho, una longitudinal conjunta se puede cortar con el rodillo de compactación (Fig. 2.63).

Si se cortada con sierra, el procedimiento debe iniciarse tan pronto como el pavimento se ha endurecido suficientemente para evitar daños en el superficie. Una vez que se inicie el corte con la sierra se debe de recoger el polvo generado para no tapar el sistema de vacíos, después del aserrado, las zonas expuestas deben dejarse en remojo con agua, que limpiará los poros

del polvo generadas por el corte y asegurar que el agua está presente suficiente para el curado adecuado. Es importante recuperar inmediatamente la zona expuesta con un material plástico curado tan pronto como el corte de sierra se ha hecho.

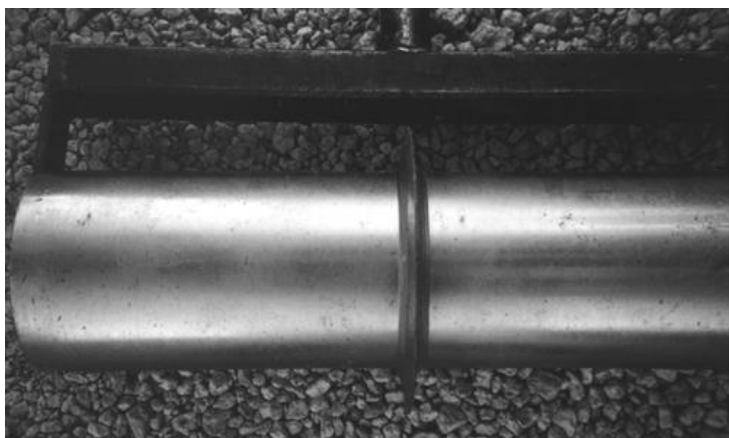


Ilustración 58 Fig. 2.58 Vista detallada de la herramienta de juntas para concreto permeable.



Ilustración 59 Fig. 2.59 Rodillo Principal Herramienta para Juntas.

2.1. 5.11.5 CURADO Y PROTECCIÓN

La estructura de poros abiertos del concreto permeable hace curado particularmente importante porque el secado puede más fácilmente ocurrir. El material debe ser un cubierto por claro, 6 milésimas de pulgada (0,15 mm) y una lámina de polietileno de dimensión suficiente para ser capaz de cubrir toda la anchura de un carril a lo largo de un razonable distancia (fig. 2.64). Materiales tejidos, tales como arpillera y geotextil, no se debe utilizar, ya que no se mantenga el humedad en el hormigón.



Ilustración 60 Fig. 2.60 Demostracion de curado con lamina plásticas después de compactación.

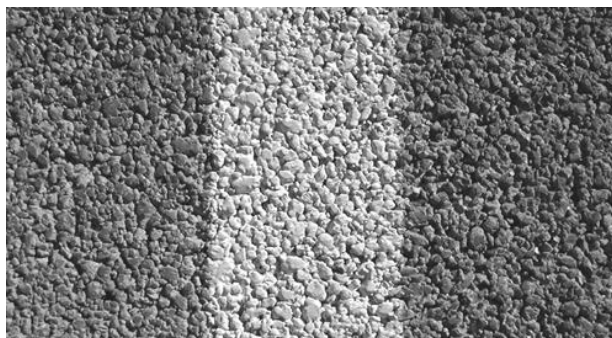
La cubierta de polietileno se debe cubrir todo lo superficialmente expuesto superficies se y también debe sujetarse lateralmente con (Fig. 2.64) barra de refuerzo, madera o bloques de hormigón y así asegurar la cubierta de polietileno para impedir que se levante con el viento. Si se utilizan moldes de madera, las tiras verticales pueden ser utilizan para sujetar los toldos en el lugar. Las hojas de plástico debe ser unida a la parte superior de la forma en un lado del carril por volver a colocar las tiras verticales de la parte superior de las formas con el botón de la tapa- clavos, con la lámina de plástico intercalada entre la forma y el elevador de la tira. La hoja debe ser tirado tan

fuerte como posible eliminar las arrugas y minimizar la posibilidad de decoloración o bandas del hormigón. Todos los bordes de la pavimento debe ser cubierta adecuadamente. No hacerlo puede en consecuencia deshilache del borde expuesto. Para el curado adecuado, el pavimento por lo general debe seguir siendo cubiertos por 7 días consecutivos para mezclas de y 10 días de mezclas de hormigón que incorporan complementaria materiales de cemento. Se tiñe se debe aplicarse sólo después de que el periodo de curado haya pasado. No debe de haber tráfico en el pavimento durante el curado. El contratista general deben tomar medidas para evitar daños en el pavimento debido a la abusos por parte de las operaciones de construcción. Específicamente, el general contratista debe prohibir retirada del material curado y prevenir el tráfico de viajar en el pavimento de concreto permeable. Además, el contratista general no debe permitir el almacenamiento de materiales de construcción y jardinería en el superficie del pavimento ya que estos materiales pueden tapar los poros o de lo contrario dañar el pavimentos permeables.



Ilustración 61 Fig. 2.61 Ejemplo de uso de barras de refuerzo para mantener bajos el material de curación

Ilustración 62 Fig. 2.62 Concreto permeable teñido



a) PROTECCIÓN CONTRA INTEMPERIE FRÍA

Medidas para proteger el concreto permeable en clima frío ante la congelación, es mantener humedad el tiempo necesario para conseguir las propiedades físicas deseadas. Mantas de curado trabajar lo suficiente como para servir a ambos fines

b) PROTECCIÓN CONTRA LA INTEMPERIE CALIENTE

En clima caliente, el transporte, la colocación y compactación debe hacerse lo más rápidamente posible. Un retardante de evaporación se puede aplicar a la superficie del hormigón después del enrasado proceso para retardar la pérdida de humedad en la superficie.

Después de la consolidación y antes de colocar el polietileno, la superficie puede ser ligeramente empañada con agua o usar un aditivo de si la superficie parece estar perdiendo su aspecto brillante.

2.1.5.12 MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO PERMEABLE

Como es necesario en todo pavimento de concreto hidráulico es necesario brindarle mantenimiento. Ya que ello garantizara una mejor vida útil del pavimento permitiendo que el pavimento tenga mas periodo de durabilidad.

2.1.5.12.1 ACTIVIDADES TÍPICAS DE MANTENIMIENTO EL CONCRETO PERMEABLE.

Los dos métodos comúnmente aceptados de mantenimiento son ***lavados a presión y aspiración de potencia***. Lavado a presión obliga a los contaminantes hacia abajo a través de la superficie del pavimento. Esto es efectivo, pero se debe tener cuidado de no utilizar demasiado o mucha presión, ya que podría dañar el concreto permeable. Una pequeña sección del pavimento debe ser lavado a presión utilizando diferentes presiones de agua para determinar la adecuada presión para el pavimento dado. Poder

pasar la aspiradora elimina contaminantes para poder extraerlos de los huecos del pavimento.

El esquema es más eficaz, al combinar las dos técnicas. Una propuesta de calendario de mantenimiento se puede encontrar en la Tabla 8. Las investigaciones realizadas para el concreto permeable en Florida y de los productos Asociación (1990) cuantifica el grado de contaminante que puede tener un pavimento de concreto permeable en un estacionamiento. Los cuales cinco estacionamientos fueron examinados como parte del estudio, y el nivel de infiltración de contaminante se encontró que era bastante bajo.

En Florida se realizó una prueba en la infiltración se encontró que había perdido el concreto un intervalo de 0,16 a 3,4% de el volumen vacío total después de un máximo de 8 años de servicio. Además, barriendo la superficie inmediatamente restaurado más del 50% de la permeabilidad del pavimento obstruido.

Tabla 8 Actividades de Mantenimiento para un Pavimento de Concreto Permeable

ACTIVIDAD	TIEMPO
<ul style="list-style-type: none"> • Asegúrese de que la zona esté limpia de desechos • Asegúrese de que el área está limpia de sedimentos 	Mensual
<ul style="list-style-type: none"> • Limpiar la zona de toda clase de orgánicos • Pase la aspiradora de barrido para mantener la superficie libre de sedimentos 	Según sea Necesario
<ul style="list-style-type: none"> • Inspeccione la superficie si hay deterioro o desprendimiento 	Anualmente

2.1.5.12.2 REPARACIÓN DE PAVIMENTOS DE CONCRETO PERMEABLE

Existen Trituradoras que realizan un corte en el concreto hasta llegar a la parte del agregado grueso, lo que ha sido cortado es lo que se restituirá.

2.1.5.13 CONTROL DE CALIDAD DE INSPECCIÓN Y ENSAYO

Como con cualquier material de ingeniería, es importante para verificar la calidad, en este caso sería pavimento de concreto permeable. Las pruebas de la condición de sub-base se llevan a cabo para garantizar la adecuada densidad, valor de soporte, y la permeabilidad. Las pruebas de la mezcla deben llevarse a cabo tanto para el estado fresco y endurecido del concreto permeable para asegurar la calidad de la unidad de peso, el grosor y el espacio vacío. Muchos de las normas ASTM y métodos de prueba AASHTO son aplicables a una instalación pavimento permeables, sin embargo, debido a las características físicas del material, no todas las pruebas son apropiadas para concreto permeable.

2.1.5.13.1 PRE-INSPECCIÓN

La determinación de la permeabilidad de la capa de asiento y el análisis del suelo son particularmente importantes en el diseño y construcción del proyecto. Las pruebas básicas de las propiedades del sub rasante debe incluir un análisis de tamaño de partícula (ASTM D 422), clasificación de suelos (ASTM D 2487), y Proctor Estándar (ASTM D 698). Los resultados de estas pruebas se ofrecen al de diseño con los datos necesarios.

La prueba estándar utilizada para el diseño de fosas sépticas es una prueba adecuada para determinar la permeabilidad de la sub rasante de pavimentos de concreto permeables. Una sección de prueba de la sub rasante debe ser compactado a la densidad específica como parte de la análisis de suelo antes de la finalización del diseño del proyecto. A doble anillo infiltró metro

(ASTM D 3385) o de otro tipo adecuado prueba debe realizarse para probar adecuadamente la permeabilidad.

Para proyectos pequeños, estas pruebas pueden no ser necesarios, especialmente si el diseñador tiene experiencia previa con los suelos locales similares. Los procedimientos normales de las pruebas de la densidad (compactación) en conformidad con un procedimiento de ensayo estándar ASTM debe ser lleva a cabo sin su modificación antes de la colocación del concreto como parte de un plan de control de calidad normal.

2.1.5.13.2 INSPECCIÓN Y PRUEBAS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN

Debido a las características físicas de la mezcla de concreto, métodos de prueba estándar para la unidad de peso (densidad), proporción de vacíos, el revenimiento, la percolación, y otras propiedades de pueden ser apropiadas para un pavimento de concreto permeable. Hasta el momento en que los nuevos métodos de pruebas se han desarrollado completamente, el proyecto de especificaciones deben basarse en las proporciones de mezclas específicas para el concreto permeable. Especificaciones típicamente requieren contenido mínimo de cemento, los volúmenes de áridos y gradación, aditivos, y agua.

Los criterios de aceptación deben tener dos aspectos distintos. La primera criterio se basa en la mezcla de cemento portland como se entrega y se basa en la unidad de peso. Para la colocación de cada día, o cuando la inspección visual indica un cambio en el aspecto de la mezcla fresca, por lo menos una prueba debe realizarse a verificar la densidad del material. La prueba de la mezcla debe llevarse a cabo de conformidad con la norma ASTM C 172 y C 29. La aceptación debe estar en un valor de ± 5 lb/pie³ (80 kg/m³) de la unidad de peso de diseño. El segundo criterio se esboza en el la sección siguiente.

2.1.5.13.3 POSTCONSTRUCTION INSPECCIÓN Y PRUEBAS

El segundo criterio de aceptación se debe basar en el pavimento ya terminado. El nivel de compactación de la mezcla puede tener un impacto en la vida útil y la permeabilidad del producto acabado. La extracción de tres muestras del pavimento dará como resultado muestras de aceptación de contenido de vacío, espesor y la unidad de peso. Las muestras de núcleos se debe obtener en de acuerdo con la norma ASTM C 42 y probados a los 28 días de edad. Métodos de ensayo normalizados todavía no existen para determinar la unidad peso. Los japoneses han desarrollado una prueba por medio Concrete Institute in Japan cuyo nombre es (Tamai et al. 2004) y ligado a norma ASTM D 1188 la cual por si misma puede ser útil, pero la precisión y el sesgo de estas pruebas no ha sido determinado para el concreto permeable. La Aceptación del Pavimento debe estar basado en el peso medio por unidad de núcleos para estar dentro $\pm 5 \text{ lb/ pie}^3$ (80 kg/m^3) de la unidad de peso del diseño. Además, la inspección visual de los núcleos permite la verificación del espacio de vacío necesario para facilitar el drenaje. Si una inspección visual que muestra un cierre total o rigurosamente restringidos estructura de los poros puede indicar un pavimento que no funcionará correctamente, y las secciones demostrado ser esencialmente impermeable debe ser eliminado y reemplazado. De acuerdo, a lo que es esencialmente impermeable y el método de medición debe ser alcanzado antes de la colocación inicial.

Se están desarrollando pruebas para determinar la permeabilidad en los pavimentos de concreto permeable. Además, los métodos de prueba se están desarrollando para que los pavimentos de asfalto también se puede trabajar como concreto permeable. En ningún momento la aceptación del concreto permeable se basa en la resistencia a compresión. Debido a la relación entre compactación y resistencia a la compresión, existe una amplia gama de los

puntos fuertes que pueden ser generados a partir de una sola entrega de la concreto permeable. Además, no hay todavía métodos de ensayo estándar para probar la resistencia a la compresión de los núcleos concreto permeable. La experiencia local con los materiales a través completado proyectos, paneles de prueba, o de ambos debe dar una indicación si una proporción de mezcla específica tendrá suficiente fuerza para soportar las tensiones de las cargas de diseño de tráfico.

2.2 MARCO NORMATIVO

2.2.1 MARCO NORMATIVO NACIONAL

Actualmente en El Salvador no cuenta con Normas específicas que regulen el uso de concretos permeables. Pero se han adoptado normas del concreto convencional para aplicarlas en el concreto permeable; como ejemplo de ello tenemos las Normas que se aplican para conocer las características de los agregados; las cuales se basan en las Normas ASTM que son aplicadas en El Salvador.

De igual forma por el hecho de ser concreto también se mide su trabajabilidad y su resistencia por lo tanto se aplica la norma ASTM C-94, ASTM C39 respectivamente, que también han sido adoptadas en El Salvador.

Actualmente se han hecho investigaciones en la zona central de El Salvador acerca del concreto permeable, aplicando las normas de otros países; considerándolas como ciertos parámetros y bases para los resultado aquí obtenidos.

En el siguiente cuadro se presenta los resultados obtenidos en las investigaciones hechas en El Salvador

Propiedad	Rango
Revenimiento, mm	0 – 20
Peso Unitario, kg/m ³	1600 – 2000
Tiempo de Fraguado, hora	1
Porosidad, % (en volumen)	15 – 25
Permeabilidad, cm/seg (lt/min/m ²)	0.20 – 0.54 (120 – 320)
Resistencia a Compresión, Mpa	3.5 – 28
Resistencia a Flexión, Mpa	1.0 – 3.8
Contracción	200 x 10 ⁻⁶

Tabla 9 Resultados de ensayos hecho en La zona central de El Salvador

Pero en nuestro país cuenta con Normas y Leyes creadas por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), en las cuales se manifiesta la necesidad de crear métodos que garanticen la sustentabilidad de los recursos hídricos (Art. 70 # c “Ley de Medio Ambiente”) creando medidas preventivas y de protección para el uso de los suelos y lograr el máximo aprovechamiento de los mismos (Art. 73 #b “Ley del Medio Ambiente”). Estas y más leyes mencionadas en el marco legal permiten y/o avalan la investigación de concreto permeable.

2.2.2 MARCO NORMATIVO INTERNACIONAL

En otros países ya ah sido implementado con éxito, el concreto permeable, obteniendo los resultados manifestados en las Normas (ASTM /ACI), empleándolas como base para el fundamento de sus propis Normas.

En tales países se ah obtenido condiciones iguales al concreto permeable manifestado en las Normas. En otros sectores se ah sometido el concreto permeable bajo otros variables que modifican sus características convencionales como el empleo de aditivos, como fibra y polipropileno.

Y Cada uno de los países donde se aplicado el concreto permeable ah adoptado Normas y Leyes para su empleo las cuales se manifiestan a continuación:

Tabla 10 Normas internacionales de concreto

PAIS	TIPO DE REGULACION	INSTITUTO	AÑO	DESCRIPCION
ESTADOS UNIDOS	NORMA	ASTM	2009 Y 2011	Taza de infiltración, medida insitu
	NORMA	ACI	2002, 2006,2010	Taza de infiltración de especímenes de concreto

2.2.2.1 NORMAS “AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM)”

Dicha asociación fue creada en el año de 1898 debido al convenio realizado por setenta miembros de la aquella entonces denominada International Association for Testing Materials (IATM) y la necesidad de regular el control de calidad en los aceros de los ferrocarriles en Pensilvania.

El desarrollo de las normas fue en los años 1923 al 1930 llevó a un gran desarrollo de la ASTM ya que debido a los estragos que causó la segunda guerra mundial se vio la necesidad de investigar los materiales de construcción de las obras civiles, consiguiendo conciliar las dificultades bélicas con las exigencias de calidad de la producción en masa.

En cuanto al Concreto Permeable la ASTM en el año de 2009, creó Normas para medir la tasa de infiltración en un pavimento de concreto permeable; empleando un anillo de infiltración el cual es sellado temporalmente a la superficie de un pavimento permeable. Después de pre humectación la ubicación de prueba y determinada masa de agua se introduce en el anillo y se registra el tiempo en que el agua tarda en infiltrarse en el pavimento.

Tabla 11 **Normas ASTM aplicadas a la investigación**

NORMA	NOMBRE	CONTENIDO
ASTM C-31	Practica Estándar para hacer y curar especímenes de prueba de Concreto en El Campo	Esta practica cubre procedimientos para hacer y curar especímenes de cilindros y vigas de muestras representativas de Concreto Fresco.
ASTM C-33	Especificación Estándar para Agregados de Concreto	Define los requerimiento para gradación y calidad de los agregado fino y gruesos (diferente de los agregados ligeros y pesado) para uso en concreto.
ASTM C-39	Método de Prueba Estándar para Resistencia a Compresión de especímenes de Concreto	Este método de prueba cubre la determinación de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto, tales como cilindros moldeados y núcleos perforados
ASTM C – 293	Método de Prueba Estándar para Resistencia a Flexión de Concreto usando vigas simplemente apoyadas con carga puntual	Este método de prueba cubre la determinación de la resistencia a flexión de especímenes de concreto, por el uso de una viga simplemente apoyada con carga puntual al centro.
ASTM C-75	Muestreo de agregados	
ASTM C-128	Método de prueba estándar para densidad, densidad relativa (gravedad específica), y absorción de agregado	Este método de prueba cubre la determinación de la densidad promedio de una cantidad de partículas del agregado fino, la densidad relativa y absorción de agregado grueso.
ASTM C-136	Método de Prueba estándar para análisis de tamices de agregado fino y grueso.	Este método de prueba cubre la determinación de la distribución de los tamaños de partículas de los agregados
ASTM C-143	Método de Prueba Estándar para revenimiento de concreto de cemento hidráulico	Este método de prueba cubre l determinación de revenimiento de concreto de

		cemento hidráulico ambos en laboratorio y en campo
ASTM C-150	Especificación Estándar para cemento Portland	Esta especificación cubre ocho tipos de cemento portland.
ASTM C-172-99	Práctica estándar para muestreo de concreto fresco	Esta práctica cubre procedimientos para obtener muestras representativas de concreto fresco, como es entregado al sitio de proyecto para determinar la conformidad.
ASTM C-187-98	Método de prueba estándar para consistencia normal de cemento hidráulico	Este método de prueba cubre la determinación de la consistencia normal del cemento hidráulico
ASTM C-188	Método de Prueba Estándar para densidad de cemento hidráulico.	Este método de prueba cubre la determinación de la densidad del cemento hidráulico, esta particular utilidad esta en conexión con el diseño y control de mezcla del concreto.
ASTM C-192	Practica estándar para hacer y curar especímenes de concreto en el laboratorio	Esta practica cubre los procedimientos para hacer y curar especímenes de prueba de concreto en el laboratorio bajo un control de materiales y condiciones de prueba usando concreto que puede ser consolidado por varillado o vibración
ASTM C-511	Especificación para cabinas de humedad, cuartos húmedos y tanques para almacenamiento de agua usados en el ensayo de cementos hidráulicos	
ASTM C-617-09	Practica estándar de limites de probetas de cilíndricas de concreto	Esta practica cubre aparatos, materiales y procedimientos para el cabeceo de cilindros de concreto recién moldeados y núcleos endurecidos de hormigón
ASTM C-702	Reducción de las muestras de campo de agregado para ensayos de laboratorio	Esta prácticas cubre tres métodos de grandes muestras los métodos para la reducción de muestra que sean representativas de un Universo.
ASTM C-1064	Método de ensayo para la	Este método de ensayo cubre

	temperatura de concreto mezclado fresco de cemento portland	la determinación de la temperatura, del concreto hidráulico recién mezclado.
ASTM C 1701	Taza de infiltración de concreto permeable en el Sitio	Este método de ensayo cubre la determinación en campo de la tasa de infiltración de concreto permeable.

2.2.2.2 NORMAS AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI)

El AMERICAN CONCRETE INSTITUTE ACI es una asociación técnica y educacional cuyo objetivo es promocionar el diseño, la construcción, la fabricación de materiales, los programas de certificación y el mantenimiento de las estructuras de concreto.

Actualmente cuenta con aproximadamente dieciocho mil miembros Ingenieros Civiles, Ingenieros Estructurales, Arquitectos, Constructores y miembros representantes de los fabricantes de materiales, de sus distribuidores y de los laboratorios a nivel mundial. Con esta diversidad de miembros, el Instituto pretende dar a conocer los conocimientos, las innovaciones y las ideas para promover una tecnología superior del concreto.

Con publicaciones de alta calidad en investigación, análisis, convenciones y seminarios, así como con sus programas de certificación, el ACI refuerza y amplía los conocimientos de los profesionales dedicados a esta tecnología en todo el mundo.

Tabla 12 norma ACI aplicadas a nuestra investigación

NORMA		CONTENIDO
ACI 211.3	GUIA PARA LA SELECCIÓN DE CONCRETO CON POCO REVENIMIENTO	APENDICE 6 “ Criterios de Dosificación para Concreto Permeable”
ACI 522 R	PREVIOUS CONCRETE	CAPITULO 1 “Introducción” CAPITULO 2 “Aplicaciones” CAPITULO 3 “Materiales” CAPITULO 4 “Propiedades” CAPITULO 5 “Criterios para la Mezcla” CAPITULO 6 “ Diseño de Pavimento” CAPITULO 7 “ Instalación de Pavimento” CAPITULO 8 “ Control de Calidad y Mantenimiento” CAPITULO 9 “ Pruebas” CAPITULOS 10 “ Limitantes” CAPITULO 11 “Referencias”

2.3 MARCO LEGAL

2.3.1 INTRODUCCION AL MARCO LEGAL

En todo país existen leyes que regulen el control de los recursos naturales y el buen uso del medio ambiente; ya que por medio de tales leyes se puede atenuar a cierta medida el deterioro, la explotación, la contaminación y otros daños que son provocados al medio ambiente por el hombre.

Entre los Elementos Naturales que Guarda la Ley del Medio Ambiente de El Salvador esta:

- **La Biosfera:** Puede describirse a la biósfera como el conjunto total de todos los ecosistemas que tienen lugar en el planeta Tierra y que lo conforman. La biósfera incluye no sólo a la totalidad de los seres vivos, si no también al medio físico en el cual habitan y a los fenómenos que en él se dan. Definido por muchos especialistas como el espacio donde toma lugar la vida, la biósfera es lo que hace único al planeta Tierra en el sistema solar ya que es hasta el día de hoy el único lugar donde se conoce la existencia de vida. Además, la noción de biósfera también incluye todas las relaciones que pueden darse entre los diferentes seres vivos y entre ellos y el medio ambiente.
- **La Litosfera:** (del griego listo, "piedra" y fera, "esfera") La litosfera es la capa externa de la Tierra y está formada por materiales sólidos, engloba la corteza continental, de entre 20 y 70 Km. de espesor, y la corteza oceánica o parte superficial del manto consolidado, de unos 10 Km. de espesor. Se presenta dividida en placas tectónicas que se

desplazan lentamente sobre la astenosfera, capa de material fluido que se encuentra sobre el manto superior.

- **La Hidrosfera:** La hidrosfera engloba la totalidad de las aguas del planeta, incluidos los océanos, mares, lagos, ríos y las aguas subterráneas. Este elemento juega un papel fundamental al posibilitar la existencia de vida sobre la Tierra, pero su cada vez mayor nivel de alteración puede convertir el agua de un medio necesario para la vida en un mecanismo de destrucción de la vida animal y vegetal.
- **La Atmosfera:** La Tierra está rodeada por una envoltura gaseosa llamada atmósfera, que es imprescindible para la existencia de vida, pero su contaminación por la actividad humana puede provocar cambios que repercutan en ella de forma definitiva.

Entre las Clases de Contaminación se pueden hallar las siguientes, donde dos de ellas se ven reducidas en cierta proporción al emplear *El Concreto Permeable* (agua y suelos).

Contaminación del agua: es la incorporación al agua de materias de extraños, como micro organismos, productos químicos, residuos industriales y aguas residuales. Estas materias deterioran la calidad del agua y la hacen inadecuada para los usos pretendidos.

Contaminación del suelo: es la incorporación al suelo de materias extrañas, como basura, desechos tóxicos, productos químicos, y desechos industriales. La contaminación del suelo produce un desequilibrio físico, químico y biológico que afecta negativamente las plantas, animales y humanos.

Contaminación del aire: es la adición dañina a la atmósfera de gases tóxicos, CO, u otros que afectan el normal desarrollo de plantas, animales los cuales afectan negativamente al bienestar de la biosfera.

2.3.2 LEYES APLICABLES AL CONCRETO PERMEABLE EN EL SALVADOR

Para demostrar lo importante de una investigación es necesario avalarla no solo por justificación y normas; sino presentar todas aquellas leyes que fundamentan la investigación. Por lo tanto a continuación se presentaran un conjunto de leyes de carácter ambiental, que contribuirían al uso del concreto permeable; en vista de ser un concreto de carácter ecológico y que ayuda al medio ambiente nos enfatizaremos en como el concreto permeable contribuye al suelo y a los mantos acuíferos.

2.7.2.1 ARTÍCULOS “LEY DE MEDIO AMBIENTE”

Art. 64.- Para la formulación y actualización de las normas técnicas de calidad ambiental, deberá tomarse en cuenta:

- a. Que la contaminación no exceda los límites que pongan en riesgo la salud humana o el funcionamiento de los ecosistemas;
- b. Que la contaminación no rebase la capacidad de carga de los medios receptores.
- c. Que la contaminación de los medios receptores no exceda los límites permisibles para cualquier uso, y para la conservación de la sostenibilidad de los ecosistemas. De las fuentes fijas o estacionarias de contaminación atmosférica.

Art. 69.- El uso del agua de las cuencas hidrográficas y mantos acuíferos, debe basarse en la calidad y la disponibilidad del recurso, así como en

enfoques de su uso sostenible, tomando en consideración los siguientes criterios:

- a. Los usos de las aguas lluvias, superficiales, subterráneas y costeras de la cuenca, deben planificarse sobre la base de evaluaciones de la cantidad y calidad del agua;
- b. El agua utilizada para el consumo humano, con fines energéticos, domésticos, industriales, turísticos, pecuarios, agrícolas, pesqueros y de acuicultura, no debe exceder los límites necesarios para el mantenimiento de los sistemas de la cuenca;
- c. El agua utilizada para el mantenimiento de los ecosistemas de humedales, no debe exceder los límites necesarios para el funcionamiento de éstos.
- d. La calidad y cantidad del agua para los diferentes usos, incluido el mantenimiento de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas, deberá estar sujeta a las prácticas correctas de uso y de disposición del recurso hídrico;
- e. Con el propósito de mantener el nivel freático de cualquier acuífero, la tasa de bombeo permitido deberá ser calculada con base en la tasa de recarga natural del agua subterránea; y
- f. Se deberá promover la formulación y la implementación de políticas e incentivos que propicien la utilización sostenible del agua y del suelo que la contiene.

Participación de usuarios del recurso hídrico

Art. 70.- Con la finalidad de garantizar la disponibilidad, cantidad y calidad del agua que el consumo humano y otros usos, deberá existir una activa participación de los usuarios, para lo que será necesario:

- a. Incentivar el uso y el aprovechamiento del agua, de acuerdo a la legislación vigente, como una manera de consolidar la capacidad de las comunidades de utilizar los recursos hídricos de manera sostenible;
- b. Asignar prioridad en la utilización eficiente del agua, considerando la valoración económica del recurso dentro de un uso determinado; y
- c. Incentivar el uso de tecnologías limpias en los procesos productivos, con el objeto de optimizar el aprovechamiento del recurso hídrico.

Art. 73.- Con el objeto de prevenir y controlar la contaminación del suelo, es necesario implementar las siguientes acciones:

- a. Velar por la conservación de los suelos, con el fin de prevenir y controlar la erosión, la sedimentación, la salinización y las contaminaciones químicas y biológicas;
- b. Promover la adopción de medidas preventivas sobre el uso de la tierra, en lo concerniente a la protección del suelo, de la humedad y de los métodos de cultivo, de manejo de la vegetación y de la fauna;
- c. Coordinar y utilizar los estudios, investigación y análisis de suelos, para lograr su manejo sostenible; y
- d. Controlar y regular el uso de sustancias y materiales que puedan ocasionar contaminación de los suelos.

Art. 80.- Para la conservación de los bosques, se consideran los Corredores Biológicos Nacionales como zonas prioritarias para la consolidación del Sistema de Areas Naturales Protegidas y de protección de áreas críticas, así

como para impulsar los programas de incentivos ambientales y económicos, proyectos de tecnología forestal y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.

El Ministerio, en coordinación con otras instancias, propondrá el establecimiento de áreas forestales, que por su valor para la conservación de los suelos, la biodiversidad y el agua, deban ser adquiridas por el Estado o incluidas en programas con financiamiento para su conservación.

Art. 87.- Se establecen las categorías de manejo para cumplir con los siguientes fines:

- a. Constituir un instrumento básico para el desarrollo de las áreas que serán utilizadas por las instituciones involucradas en el manejo de las mismas;
- b. Ofrecer guías sobre alternativas de acción que permitan alcanzar los objetivos del Sistema, descritos en el Art. 79 de la Ley;
- c. Proporcionar directrices para el manejo de las Areas Naturales Protegidas;
- d. Proporcionar al público y a los usuarios de los diferentes recursos de las Areas Naturales Protegidas, una guía necesaria para comprender mejor el tipo de manejo que se aplicará en una región específica, así como la clase de servicios que se puede esperar y las normas que deben considerarse; y
- e. Uniformizar las metodologías que definan claramente los objetivos de cada categoría de manejo, con el fin de facilitar la cooperación entre los diferentes organismos involucrados.

Art. 96.- El aprovechamiento de las aguas es un derecho que podrá ser otorgado cuando su uso esté en armonía con los ecosistemas, el interés

social, la utilidad y el desarrollo del país y esté sujeto a las condiciones y limitaciones previstas en la normativa correspondiente.

Art. 101.- La gestión del agua debe basarse en:

- a) Cambios de sistemas y procesos, tanto en la administración del uso de aguas municipales, como en las industrias;
- b) El diseño, la construcción y la operación de sistemas colectores de aguas negras y desperdicios, así como la instalación de plantas de tratamiento de aguas urbanas e industriales;
- c) Medidas para la protección y aprovechamiento de los recursos hídricos superficiales y subterráneos.
- d) Medidas efectivas de control para eliminar o reducir la descarga de cualquier tipo de contaminantes; y
- e) Construcción de infraestructura para mantener condiciones ambientales aceptables.

Art. 108.- El Ministerio promoverá la prevención y el control de la erosión de los suelos, teniendo como base la conservación de los recursos naturales, a partir del ordenamiento de las cuencas hidrográficas. Para ello deberá:

- a. Evitar quemas en los terrenos agrícolas, especialmente en tierras de laderas;
- b. Fomentar prácticas de conservación de suelos;
- c. Controlar dragados en las riberas y cauces de los ríos y lagos;
- d. Fomentar la forestación, especialmente en áreas críticas de las cuencas hidrográficas; y

e. Controlar las descargas en las urbanizaciones y lotificaciones que provoquen depósitos de suelo en ríos, lagos, lagunas y quebradas, o en cualquier otro depósito natural.

DE LAS CONDUCTAS PREVENTIVAS

Obligaciones de los habitantes

Art. 113.- Conforme a lo dispuesto en los Arts. 42 y 43 de la Ley, todos los habitantes de El Salvador están obligados a evitar las conductas que deterioren la calidad de vida de la población y de los ecosistemas.

Programas de autorregulación

Art. 114.- El Ministerio promoverá la introducción gradual y sistemática de programas de autorregulación por parte de los agentes ambientales, conforme a lo dispuesto por el Art. 43 de la Ley.

Cumplimiento voluntario

Art. 115.- El Ministerio enfatizará, a través de programas especiales y del uso de los instrumentos de la Política del Medio Ambiente, el cumplimiento voluntario de las obligaciones y responsabilidades ambientales por parte de los habitantes.

CAPITULO 3.0



EJECUCION DE PRUEBAS

3.0 EJECUCION DE PRUEBAS




3.1 EJECUCION DE PRUEBAS A LOS AGREGADOS




Empleando las diferentes Normas ASTM se conocerán las propiedades que posee el agregado grueso a considerar en nuestra investigación que para en nuestro caso hemos considerado tres clases de agregado; para conocer sus características se realizaron dos veces cada prueba por agregado y de esa forma tener un rango de elección.

3.1.1 ENSAYO GRANULOMETRICO DE AGREGADO GRUESO ASTM C-136

Por medio de la granulometría de los agregados, se determina la distribución de los tamaños de partículas de los agregados, tanto finos como gruesos, a través de un tamizado. Para en nuestro caso se analizara Grava N°8 y con tamaño nominal de 3/8” debido a que esta granulometría es la que mas se adecua y permite un mejor acabado y unión entre el agregado y la pasta. La prueba de granulometría está regida por la Norma ASTM C-136, así como: ASTM C-33 “Especificaciones de agregados para concreto”, ASTM C-75 “Muestreo de agregados”.

3.1.1.1 MATERIALES Y EQUIPO

Material y Equipo	Descripción
<p data-bbox="225 633 368 667">La Pedrera</p> <p data-bbox="603 633 740 667">Aramuaca</p>   <p data-bbox="491 1469 633 1503">El Carmen</p>	<p data-bbox="924 864 1366 1061">Grava: Se realizara el ensayo Granulométrico para las Canteras: Aramuacas, El Carmen y la Pedrera</p>
	<p data-bbox="924 1532 1350 1794">Balanza. Tiene 0.1 gr de precisión para ser más precisos con la toma de pesos, así también como su juego de pesas.</p>

	<p>Se usaran las mallas según astm c-33 que comprende de las mallas N°3/8 a la N°16</p>
	<p>Brocha. La brocha se utiliza para limpiar las mallas y el depósito utilizado en la balanza, así se toma el peso de la más mínima partícula del agregado, siendo más precisos.</p>
	<p>Cucharón de aluminio. Para el manejo de la grava.</p>

	<p>Palas. Se ocupan al cuartear la grava.</p>
	<p>Rop-Tap. Vibrador mecánico que facilita el tamizado.</p>

Tabla 13 Material y Equipo Ensayo de Granulometría

3.1.1.2 PROCEDIMIENTO

La Realización de la Prueba se hizo según la Norma ASTM C-136 “Método de Prueba Estándar para Análisis de Tamices de Agregados Fino y Grueso” a la cual se le considero como una guía para la ejecución de la prueba.

- La cantidad de la Muestra se a ser sometida a la prueba se hizo según el tamaño máximo nominal que poseía el material pétreo dependiendo de la siguiente tabla de la Norma ASTM C-136:

Tamaño máximo nominal mm (in)	Tamaño de muestra mínimo kg(lb)
9.5(3/8)	1(2)
12.5(1/2)	2(4)
19(3/4)	5(11)
25(1)	10(22)
37.5(1 ½)	15(33)
50(2)	20(44)
63(2 ½)	35(77)
75(3)	60(130)
90(3 ½)	100(220)
100(4)	150(330)
125(5)	300(660)

Tabla 14 Tamaño de la Muestra según Peso Nominal

- En nuestro caso el tamaño nominal era de 3/8” por lo tanto nuestra muestra tendría que ser 1kg.
- El numero de mallas a ser usados se determino por medio de la Norma ASTM C-33, en donde se especifica el numero de mallas que se usara según el tamaño de agregado y en nuestro caso por ser agregado numero N°8, en el cual se clasifica que para esa clase de agregado se usaran las mallas de 1/2”, 3/8”, N4, N8, N16.

➤ **Documentación de la Prueba.**

- Previamente la muestra fue secada para reducir la humedad de la muestra y de esa forma evitar grumos en ella.



Ilustración 64 Fig 3.1 "Cuarteo de la Muestra"



Ilustración 63 Fig. 3.2 "Peso de la Muestra"

- Se selecciono la muestra, se revolvió y se cuarteo para obtener una muestra uniforme y seguidamente se peso la muestra a someterse al ensayo granulométrico.



Ilustración 66 Fig. 3.3 Selección y colocación de las mallas

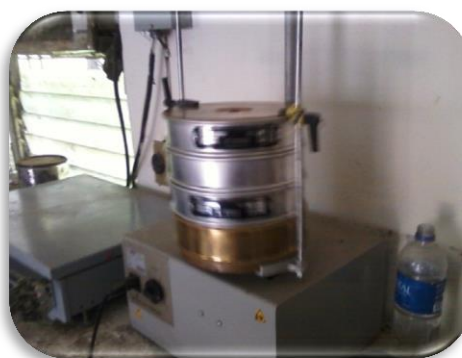


Ilustración 65 Fig. 3.4 Activación de Rop Tab

- Se coloco las mallas por orden descendiente y al mismo tiempo la muestra en ellas y en el Rop Tab.

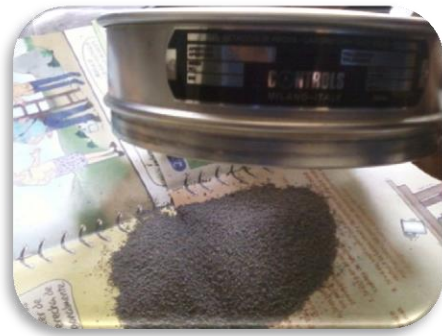


Ilustración 67 Fig. 3.5 Extracción de la muestra

- Se extrajo lo que retuvo cada malla.

- Pesos Retenidos en cada malla (1/2", 3/8", N4, N8, N16)

Ilustración 68 Fig. 3.6 "Separación de las muestras"



- Se determino el peso retenido por cada malla en cada cantera

Ilustración 69 Fig. 3.7 " Peso de cada muestra"

- Una vez que se tenia el peso retenido en cada una de las mallas, se sumo el peso de cada una de ellas y unas obtenida la suma total se determino la perdida la cual debe de ser menor al 0.5% según la ASTM C-136.

COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PERMEABLE USANDO AGREGADO GRUESO DE LA ZONA
 ORIENTAL DE EL SALVADOR

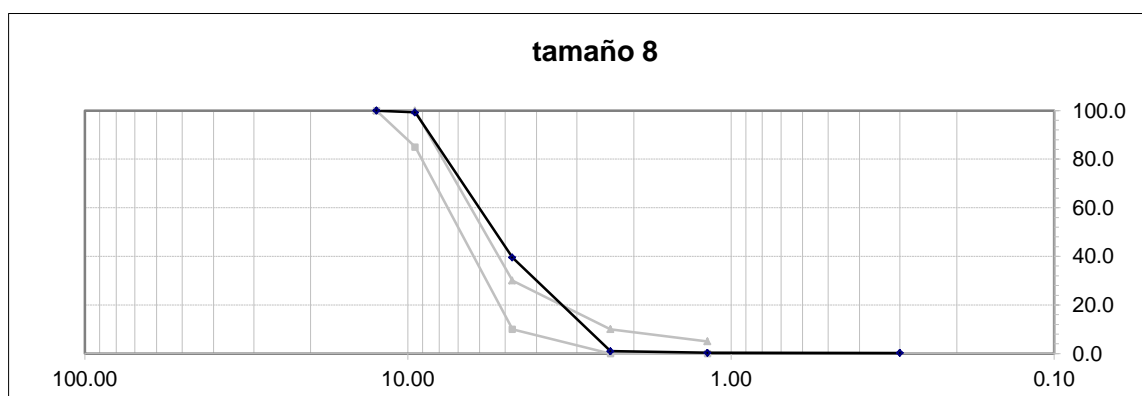


ANALISIS GRANULOMETRICO ASTM C-136

Fecha	14-may-12	Tipo	
Cantera	E Carmen	color	Gris
Análisis #	CH 3/8"	Proyecto	-
Procedencia	Cantera	Responsable	Tesis concreto permeable

ASTM C-136

N° Mallas	mm	Peso Retenido g.	% RETENIDO		% que pasa	8 Limites	
			Parcial	Acumulado			
3/4	19	0	0,00	0,00	100,00		
1/2	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00	100,0	100,0
3/8	9,50	17,30	0,74	0,74	99,26	85,0	100,0
4	4,75	1391,00	59,77	60,51	39,49	10,0	30,0
8	2,36	896,50	38,52	99,04	0,96	0,0	10,0
16	1,18	15,50	0,67	99,70	0,30	0,0	5,0
30	0,30	1,40	0,06	99,76	0,24		
fondo		5,55	0,24	100,00	0,00		
SUMAS		2327,3	100,00				



COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PERMEABLE USANDO AGREGADO GRUESO DE LA ZONA ORIENTAL DE EL SALVADOR

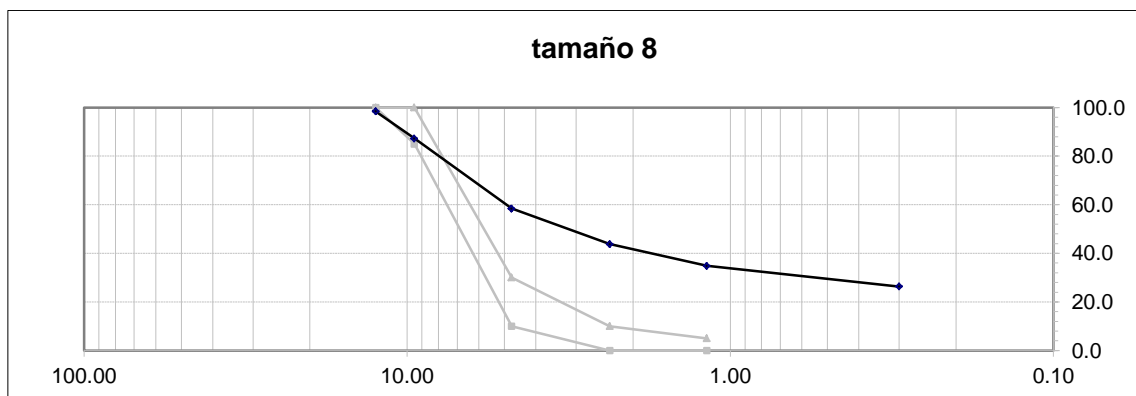


ANALISIS GRANULOMETRICO ASTM C-136

Fecha	14-may-12	Tipo	
Cantera	Aramuaca	color	Gris
Análisis #	CH 3/8"	Proyecto	-
Procedencia	Cantera	Responsable	Tesis concreto permeable

ASTM C-136

N° Mallas	mm	Peso Retenido g.	% RETENIDO		% que pasa	8 Limites	
			Parcial	Acumulado			
3/4	19	0	0,00	0,00	100,00		
1/2	12,50	48,88	1,59	1,59	98,41	100,0	100,0
3/8	9,50	342,25	11,13	12,72	87,28	85,0	100,0
4	4,75	888,25	28,88	41,59	58,41	10,0	30,0
8	2,36	449,10	14,60	56,20	43,80	0,0	10,0
16	1,18	276,70	9,00	65,19	34,81	0,0	5,0
30	0,30	259,45	8,44	73,63	26,37		
fondo		811,20	26,37	100,00	0,00		
SUMAS		3075,8	100,00				



COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PERMEABLE USANDO AGREGADO GRUESO DE LA ZONA ORIENTAL DE EL SALVADOR

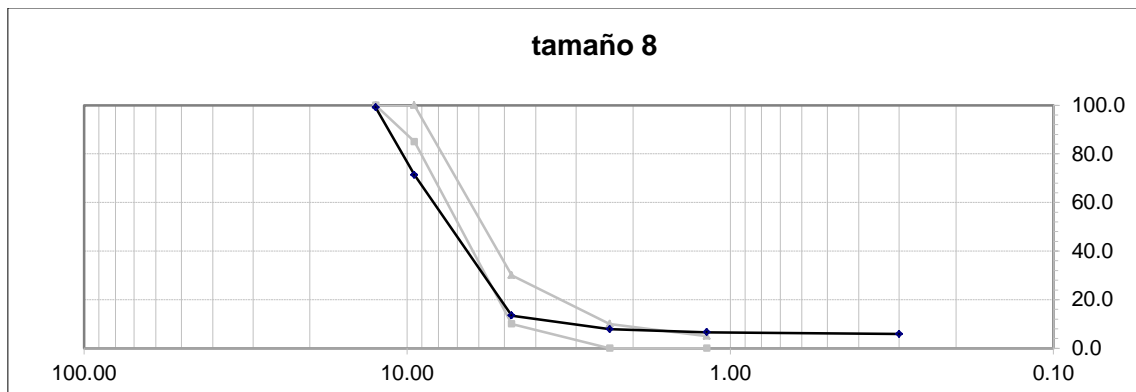


ANALISIS GRANULOMETRICO ASTM C-136

Fecha	14-may-12	Tipo	
Cantera	La pedrera	color	Gris
Análisis #	CH 3/8"	Proyecto	-
Procedencia	Cantera	Responsable	Tesis concreto permeable

ASTM C-136

N° Mallas	mm	Peso Retenido g.	% RETENIDO		% que pasa	8 Limites	
			Parcial	Acumulado			
3/4	19	0	0,00	0,00	100,00		
1/2	12,50	21,10	0,93	0,93	99,07	100,0	100,0
3/8	9,50	629,15	27,71	28,64	71,36	85,0	100,0
4	4,75	1315,10	57,93	86,57	13,43	10,0	30,0
8	2,36	127,02	5,60	92,17	7,83	0,0	10,0
16	1,18	28,35	1,25	93,41	6,59	0,0	5,0
30	0,30	17,00	0,75	94,16	5,84		
fondo		132,51	5,84	100,00	0,00		
SUMAS		2270,2	100,00				





3.1.2 MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA DENSIDAD DE MASA (“PESO UNITARIO”) Y VACIOS EN AGREGADO ASTM C-29

Este método de prueba cubre la determinación de la densidad de masa (“peso unitario”) de agregado en una condición compactada o suelta, y calculando vacíos entre partículas en fino, grueso o mezclas de agregados basados en la misma determinación. Este método de prueba es aplicable a agregados que no excedan 5in [125mm] en tamaño máximo nominal.

3.1.2.1 MATERIAL Y EQUIPO

Tabla 15 Materiales y Equipo “Peso Unitario ASTM C-29”

Material y Equipo	Descripción
La Pedrera	Aramuaca
	
<p>Grava: Se realizara el ensayo Granulométrico para las Canteras: Aramuacas, El Carmen y la Pedrera</p>	
	
<p>El Carmen</p>	



Balanza. Tiene 0.1 gr de precisión para ser más precisos con la toma de pesos, así también como su juego de pesas.



Brocha. La brocha se utiliza para limpiar las mallas y el depósito utilizado en la balanza, así se toma el peso de la más mínima partícula del agregado, siendo más precisos.



Cucharón de aluminio. Para el manejo de la grava.



Varilla Apisonadora



Medidor

3.1.2.2 PROCEDIMIENTO

La Prueba se ejecuto bajo los estándares y procedimiento de la Norma ASTM C-29 de la misma forma se determino el tamaño de la muestra según la tabla N°1 de la Norma ASTM C-29, en el cual se selecciona el medidor y según el tamaño nominal.

Tamaño Máximo Nominal de Agregado		Capacidad de medición	
in	mm	ft ³	L(m ³)
½	12.5	1/10	2.8(0.0028)
1 1	25.0	1/3	9.3(0.0093) 14
½	37.5	½	(0.014) 28
3	75	1	(0.028) 70
4	100	2 ½	(0.070) 100
5	125	3 1/2	(0.100)

El tamaño indicado de medición tendrá que ser usado para probar agregados de un tamaño máximo nominal igual o menor que el listado. El volumen actual de la medición tendrá que ser al menos 95 % del volumen nominal listado.

Tabla 16 Selección de la muestra según tamaño nominal



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

***ASTM C-29 “MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA DENSIDAD DE MASA
 (“PESO UNITARIO”) Y VACIOS EN AGREGADO”***

Proyecto: “Comportamiento del Concreto Permeable utilizando Agregado Grueso de las Canteras El Carmen, Aramuaca y la Pedrera de la zona Oriental de El Salvador”

Datos:

Altura de molde = 0.1646m
Diámetro de molde = 0.1521 m
Peso de molde = 2.84 kg
Volumen de molde = 0.00280 m³

DATOS Y RESULTADOS:

 Determinación del Peso Volumétrico Suelto

ENSAYO	EL CARMEN	ARAMUACA	LA PEDRERA
Peso del Molde	2.84	2.84	2.84
Peso el Molde mas Material	6,99	7,39	6,79
Peso del Material	4,15	4,55	3,95
Volumen del Molde	0,0028	0,0028	0,0028
Peso Volumétrico Suelto (kg/m ³)	1482,14	1625	1410,71

3.1.3 METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA, (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO ASTM C-127

Este metodo de prueba cumple con la determinacion de una densidad promedio de una cantidad de patículas del agregado grueso (sin incluir volúmenes de vacíos en las partículas) la densidad relativa y el porcentaje de absorción del agregado grueso.

Este metodo de prueba es usado para la determinacion de la densidad de la porción sólida de un gran número de partículas de la muestra y provee un valor promedio de la muestra.

3.1.3.2 RESUMEN DE PROCEDIMIENTO

Una Muestra de agregado es inmersa durante 24 horas +/- 4 horas hasta llenar los poros Después es removida el agua superficial Subsecuentemente el volumen de la muestra es determinado por el metodo de desplazamiento de agua- Finalmente la muestra es secada al horno y la masa determinada Usando los valores de masa así obtenidos y formulas en este metodo de prueba es posible calcular la densidad, la densidad relativa y absorción.

La masa mínima para la muestra será tomada según los tamaños de las partículas dadas en la siguiente tabla.

Tamaño máximo nominal, mm (in)	Masa mínima de prueba, kg (lb)
12.5 (1/2) o menos	2 (4.4)
19.0 (3/4)	3 (6.6)
25.0 (1)	4 (8.8)
37.5 (1 ½)	5 (11)
50 (2)	8 (18)
63 (2 ½)	12 (26)
75 (3)	18 (40)
90 (3 ½)	25 (55)
100 (4)	40 (88)
125 (5)	75 (165)

3.1.3.3 DOCUMENTACION DE LA PRUEBA.



Ilustración 70 Fig. 3.8 “Lavado de la Muestra”

La Muestra fue lavada y de ese modo se logro quitar los residuos de materia orgánica, de polvo, arena y otros.

Ilustración 71 “Fig. 3.9

La Muestra de las tres canteras fue saturada de agua por 24 horas



Ilustración 72 Fig. 3.10 24 horas después de su saturación la muestra fue secada superficialmente quedando saturados sus poros.



Se prosiguió a pesar la muestra en estado saturado

Ilustración 73 Fig. 3.11 Peso de la Muestra Saturado



Ilustración 74 Fig. 3.12 a y b Determinar Peso sumergido

A continuación la muestra es sumergida para determinar su masa aparente.



Ilustración 75 Fig3.13 a y b Secado al Horno de la Muestra

Seguidamente la Muestra fue colocada al Horno y secada y 24 horas después se tomo el peso de la muestra.



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

***ASTM C-127 “METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA DENSIDAD,
DENSIDAD RELATIVA, (GRAVEDAD ESPECIFICA) Y ABSORCION DE
AGREGADO GRUESO”.***

Proyecto: “Comportamiento del Concreto Permeable utilizando Agregado Grueso de las Canteras El Carmen, Aramuaca y la Pedrera de la zona Oriental de El Salvador”

Datos: Los pesos expresados en gramos y la densidad en kg/cm³

Cantera	W _{sss}	W _{aparente}	W _{seco}	Densidad	Absorción
El Carmen	2232.8	1625	2200	3500	2.5
Aramuaca	2335.7	1700	2273.3	3561.7	2.73
La Pedrera	2368.8	1600	2000	2900	5.05

3.2 DISEÑO DE MEZCLA PARA CONCRETO PERMEABLE

Para Realizar el diseño de Mezcla de Concreto Permeable nos basaremos en ACI 211.3 año 2010 “GUIA PARA SELECCIONAR PROPORCIONES DE CONCRETO SIN REVENIMIENTO”

Para conocer las proporciones se debe de saber algunas características de los materiales que se emplearan en la elaboración del concreto permeable.

Entre ellas están: Densidad del cemento, la densidad seco varillado del agregado grueso, la gravedad especifica del agregado grueso, el porcentaje de absorción del agregado y la densidad del agua.

Del mismo modo se debe de tener claro el porcentaje de vacíos al cual se quiere llegar con la condición que debe ser mayor al 15% y la relación agua cemento usando aditivo (reductor de agua alto rango tipo F) puede variar entre 0.27 - 0.3 y al no usar aditivo su relación agua cemento se ubica en los intervalos de 0.35-0.45. Se debe de tomar en cuenta que el tamaño del agregado a usarse tiene que ser #8, #7, #67, ya que tales rangos de agregado permiten que el concreto tenga un mejor acabado y permite una mejor cohesión entre las partículas generando el porcentaje de vacíos requerido.

A continuación explicaremos mediante un tutorial el procedimiento para la realización del diseño de mezcla tomando como base uno de nuestros diseños.

Característica

➤ PASO 1 “CARACTERIZACION DE LOS AGREGADOS”

Es necesario conocer las Propiedades que posee el agregado grueso a usar entre ellas se encuentra:

- Granulometría del Agregado Grueso según “ASTM C-136”
- Gravedad Especifica Método de prueba estándar para densidad, densidad relativa (gravedad específica), y absorción de agregado “ASTM C-128”

- Método de Prueba estándar para densidad de masa (peso unitario) y vacíos en agregado “ASTM C-29”

ELABORACION DEL DISEÑO DE MEZCLA

- PASO 2 “RECOPIACION DE VALORES OBTENIDOS EN PRUEBAS DE LABORATORIO Y DATOS NECESARIO PARA LA ELABORACION PARA NUESTRO DISEÑO DE MEZCLA”

DATOS DE ENTRADA DE: “Cantera: El Carmen” “Modulo de Vacíos= 20%”

Proporción de la Mezcla

<i>Contenido de Vacíos</i>	20%	
<i>Relación agua cemento (w/cm)</i>	0.36	(0,27-0,3 con Aditivo) y (0,31-0,36 sin Aditivo)
<i>Densidad Seca del Varillado</i>	1482.14	kg/m ³
<i>Gravedad Especifica</i>	3500	kg/m ³
<i>Absorción</i>	2.500%	
<i>Tamaño del Agregado 3/8</i>	Nº 3/8	
<i>Densidad del Cemento</i>	2960	kg/m ³
<i>Densidad del Agua</i>	996.5	kg/m ³

Una vez conociendo las características que llevara nuestro diseño de mezcla (datos de entrada) se prosigue de la siguiente manera:

- PASO 3 “DETERMINAR PESO DE AGREGADO”

Para determinar el peso del agregado grueso se usa la tabla de valores efectivos encontrada en el ACI 211.3, en el cual se especifica el porcentaje de agregado según el peso varillado.

Tabla 17		
Valore Efectivos b/bo		
Porcentaje de Fino	b/bo	
	ASTM C-33 N°8	ASTM C-33 N°8
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

En vista que se usara un tamaño nominal de N° 8 y no se usara fino el valor de b/bo según tablas será igual: 0.99

- Determinación del Peso del Agregado (según valore efectivos)

Ecuación 1 Determinación del Peso del Agregado

$W_a =$ Peso Unitario del Agregado x factor b/bo

$W_a = 1482,14 \text{ kg/m}^3 \times 0,99 \times 1 \text{ m}^3$

$W_a = 1467,3 \text{ kg}$

- PASO 4 “AJUSTAR EL PESO DE AGREGADO SEGÚN SU PESO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO”

Ecuación 2 Ajuste del Peso de Agregado

$W_{sss} = W_a \times$ Porcentaje de Absorción

$W_{sss} = 1467,3 \text{ kg} \times 1,025$

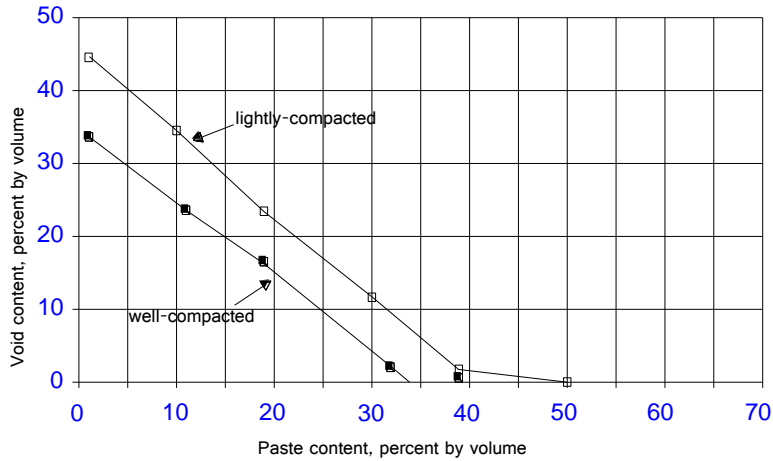
$W_{sss} = 1504,00 \text{ kg}$

- PASO 5 “DETERMINACION DE VOLUMEN DE PASTA”

Se hará según tabla de la Norma ACI 211,3, donde se interpolara el contenido de vacios teórico con respecto al volumen de la pasta.

Ilustración 76 Para un contenido de Vacío de

20%



Se tiene un volumen de Pasta del

15%

Encontrando el Contenido de Cemento

Formula: $V_p = \text{Volumen de Cemento} + \text{Volumen de Agua}$

Ecuación 3 Volumen de Cemento

Donde

Se tiene un Volumen de Pasta

15%

$$V_p = 15\%$$

$$\text{Volumen de Cemento} = c/2960$$

Se sabe que la relación agua cemento es igual a w/c se tiene

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

donde w/cm 0,36

$$\text{Volumen de Agua} = (w/cm)C/100$$

Encontrando Contenido de Cemento

Por lo tanto el Contenido de Cemento será igual

V_p = Volumen de Cemento + Volumen de Agua

Ecuación 4 Volumen de Pasta

$$\begin{aligned}
 15\% &= c/3150 + (w/cm)C/1000 \\
 15\% &= 0,00034 C + C 0,00036 \\
 15\% &= 0,00070 C \\
 C &= 214,53 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

➤ PASO 6 “DETERMINACION DEL VOLUMEN DE AGUA”

Una vez conociendo el volumen de cemento, se encuentra el volumen de agua usando la relación agua cemento.

Según Relación Agua Cemento Ecuación 5 Relación Agua Cemento

$$w = c * w/cm$$

$$w = 214.56 \times 0.36$$

$$w = 77.00 \text{ lts}$$

➤ PASO 7 “ENCONTRANDO VOLUMEN DE SOLIDO”

Se determina el volumen de solido dividiendo las cantidades encontradas con su respectiva densidad y se suman los volúmenes encontrados.

Encontrando Volumen de Sólido de la Pasta para 1m³

Ecuación 6 Volumen

$$\text{Volumen de Agregado} = 1504.00 \text{ kg} / 3500 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volumen de Agregado} = 0.43 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de Cemento} = 214.56 \text{ kg} / 2960 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volumen de Cemento} = 0.07 \text{ m}^3$$

Volumen de Agua= 77.00 lts / 996.5 kg/m³

Volumen de Cemento= 0.08 m³

Volumen de Solido $V_a + V_c + V_a$

Volumen de Solido =	0.58 m ³
---------------------	---------------------

➤ PASO 8 “DETERMINANDO EL VOLUMEN DE VACIOS”

Para lo cual se prosigue de la siguiente manera; En vista de que se determinan los volúmenes para un metro cubico de concreto, tan solo se resta el volumen de solido obtenido al metro cubico de diseño y se encuentra el volumen de vacios.

Volumen Total = 1 m³

Volumen de Solido 0.58 m³

$V_{\text{vacios}} = (V_{\text{tot}} - V_s) / V_{\text{tot}} * 100$

$V_{\text{vacios}} = 42.05 \%$

Ecuación 7 Volumen de Vacío

NOTA: En vista de que no cumple con el volumen de vacíos requerido; se aplicara lo mencionado en la norma que nos indica que podemos usar más de 30kg de cemento sin afectar la relación a/cm

➤ PASO 9 “AJUSTE DE PESO POR MEDIO DE DETERMINACION DEL NUEVO CONTENIDO DE CEMENTO”

Para cumplir con el modulo de vacios requerido se ajustó el peso del agua y del cemento de a siguiente forma:

Cemento:

Si aumentamos 267.3 kg de cemento

$$w_c = 214.56 \text{ kg} + 267.3 \text{ kg}$$

$$w = 481.86 \text{ kg}$$

➤ PASO 10 “DETERMINACION DEL NUEVO CONTENIDO DE AGUA”

Según Relación Agua Cemento

$$w = c \cdot w/c_m$$

$$w = 481.86 \times 0.36$$

$$w = 173.00 \text{ lts}$$

Ecuación 8 Relación entre el agua y el cemento

➤ PASO 11 “ENCONTRANDO NUEVO VOLUMEN DE SOLIDO”

Por lo tanto se tienen los Nuevos Volúmenes de solido así

$$\begin{aligned} \text{Volumen de Agregado} &= 1504.00 \text{ kg} / 3500 \text{ kg/m}^3 \\ &= 0.43 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volumen de Cemento} &= 481.86 \text{ kg} / 2960 \text{ kg/m}^3 \\ &= 0.16 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volumen de Agua} &= 173.00 \text{ lts} / 996.5 \text{ kg/m}^3 \\ &= 0.17 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Volumen de Solido} = V_a + V_c + V_w$$

$$\text{Volumen de Solido} = 0.77 \text{ m}^3$$

Ecuación 9 “Determinación de Volumen de Solido”

➤ PASO 12 “ENCONTRANDO NUEVO VOLUMEN DE VACIOS”

Volumen Total = 1 m³

Volumen de Solido = 0.77 m³

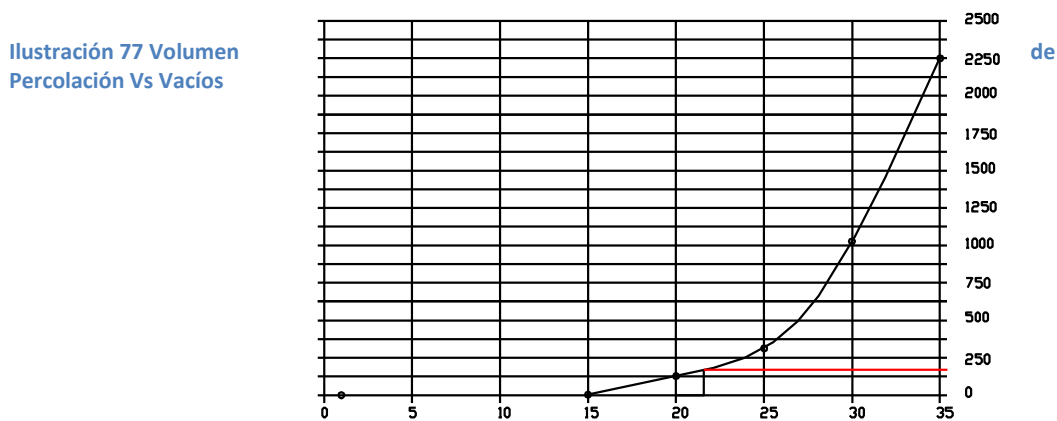
Vvacios = $(V_{tot}-V_s)/ V_{tot} *100$

Vvacios = 23.00 %

Ecuación 10”Determinar porcentaje de vacios”

PASO 13 “ENCONTRANDO TASA DE INFILTRACION TEORICA”

Se determina la tasa de infiltración interpolando en la siguiente grafica el porcentaje de vacíos antes calculado (23%)



Se tiene que para un porcentaje de vacíos de 23% tiene una tasa de percolación aproximada de 178 mm/min

PASO 14 “ENCONTRANDO LA FUERZA DE COMPRESION TEORICA”

Por medio de la grafica presentada se interpola el modulo de vacíos tirando una perpendicular en el punto donde corta la grafica de “Mezcla bien Compactada” y el punto donde toca el eje de las “y” es la fuerza a compresión teórica que tendría.

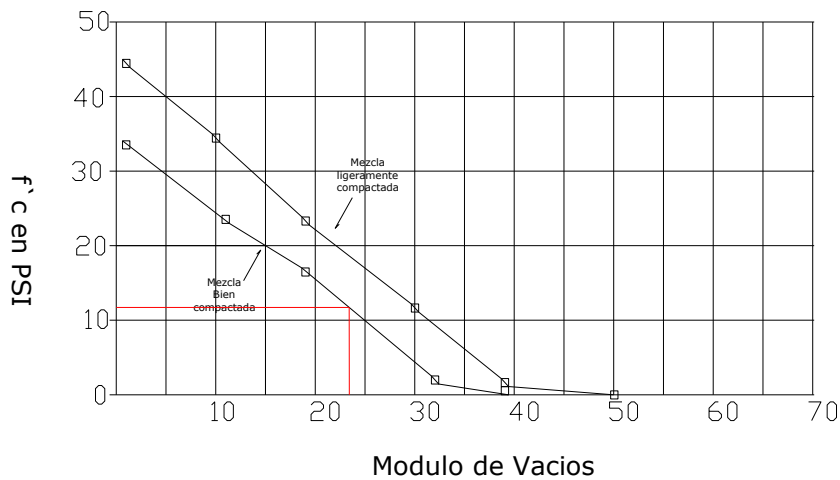


Ilustración 78 Fuerza de Compresión Teórica

Para este diseño de mezcla si se tiene un modulo de vacíos de 23%

se tiene una resistencia en 11,000 PSI.

PASO 15 “PRESENTACIONES DE VOLUMENES DE MEZCLA PARA UN METRO CUBICO”

Cantidad de Cemento=	481,86	kg
Cantidad de Agregado=	1504,00	kg
Cantidad de Agua=	173,00	lts
Contenido de Vacios =	23,00	%
Taza de Precolacion=	178	mm/min
Peso Unitario=	2158,86	kg

3.3 RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS (ASTM C-39) Y RESISTENCIA A FLEXION DE CONCRETO (ASTM C -293)

Para la Ejecución de la prueba compresión de cilindros y de flexión de concreto se aplicó un conjunto de Normas ASTM para la elaboración de concreto:



ASTM C-33 “Especificación Estándar para Agregados de Concreto”

ASTM C-192 “Practica estándar para hacer y curar especímenes de concreto en el laboratorio”

ASTM C-511 “

A continuación se detalla y describe material y equipo, así como el procedimiento para la elaboración del concreto.

Tabla 18 Material y Equipo para Prueba Astm C-39 Y Astm c293

Material y Equipo	Descripción
	<p>Cemento: El Cemento que se usara será el tipo HE debido a que este cemento alcanza buenas resistencias a edades tempranas</p>
	<p>Agua El agua debe ser potable y libre de contaminantes para un buen concreto.</p>

La Pedrera

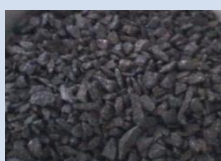


Aramuaca



Grava: Se realizara el ensayo Granulométrico para las Canteras: Aramuacas, El Carmen y la Pedrera

El Carmen



Balanza. Con capacidad de 30kg.



Moldes cilíndricos. Dichos moldes para colar especímenes de concreto conforman los requerimientos De la especificación C-470.



Cucharón de aluminio. Para el manejo de la grava.



Moldes de vigas. Las superficies interiores de los moldes tendrán que ser suaves. Los lados, fondo, y finales tendrán que ser a ángulos rectos a cada otro y tendrán que ser rectos y verdadero y libre de curvas.



Varillas apisonadoras y Cono de Abraham

acero con extremos redondeados, con dimensiones de 3/8 in (16mm) en diámetro y aproximadamente 24 in (600mm) de largo. El aparato de revenimiento, conocido como Cono de Abrams. Realizando la medición del revenimiento se detecta la trabajabilidad del concreto



Brocha y aceite. Se utiliza para la aplicación de aceite en las paredes internas de los moldes y evitar que el concreto se adhiera a éstas.



Concretara de Una Bolsa : para la elaboración de concreto

3.3.1 DOCUMENTACION DE PRUEBA

3.3.1.1 ELABORACION DE ESPECIMENES

Se inicio Preparando los moldes cilíndricos de 4x8” los cuales fueron limpiados y engrasados antes de moldear el concreto



Ilustración 79 Fig. 3.14 Cilindros a Usarse

Una vez los cilindros estén listos para el moldeado de concreto se prosigue a la elaboración del concreto, proporcionando el peso de sus componentes según el diseño de mezcla correspondiente que para nuestro caso variaba (15%,20%,25 %). En primer lugar se colocaron los componentes áridos para homogenizar la mezcla y después se agregó la cantidad requerida de agua la cual dependía según el diseño y en unos casos tendía a variar su volumen según las bacheadas de prueba



Ilustración 80 Fig. 3.15^a y 3.15^b Elaboración de Concreto

Se proseguí a medir el revenimiento por cada diseño de mezcla para el cual se aplicó la Norma ASTM C-143 “Método de prueba estándar para revenimiento de concreto de cemento hidráulico”. Se humedeció el Cono de Abraham antes de agregar el concreto la única variabilidad al aplicar esta prueba fue que se compactó el concreto en lugar de varillarlo.

Se prosiguió a la elaboración de Espécimen cilíndricos concreto permeable, apisonando con el martillo portor de 2.5kg para asegurar su compactación. Se llenaron los cilindros de concreto en tres capas del mismo espeso un aproximado de 6 a 7cm por capa se golpeo 5 veces con el martillo. Una vez lleno el cilindro se satura con un poco de exceso ara poder hacer el apisonado y enrazado final.

Del mismo modo como se elaboraron los especímenes cilíndrico, se elaboraron la viguetas de concreto permeable por cada diseño de mezcla; preparando tales viguetas es decir limpiándolas y engrasándolas antes de la colocación del concreto, compactándolas con el martillo de 2.5kg con 50 golpes a lo largo y dividiendo el vertido de concreto en tres capas.



Ilustración 81 Fig.3.15 a y b “Compactación de Concreto”



Ilustración 82 Fig. 3.16 Moldes para vigas de concreto

Simultáneamente a la elaboración de especímenes se desarrollo la prueba que data la Norma ASTM C1688 “*Método de prueba estándar para la densidad y el contenido de vacío del concreto permeable Recién Mezclado*” con la única variante que en el laboratorio de la facultad no contaba con el molde cilíndrico que menciona la Norma el cual debe de ser de una capacidad de 7 litros por ello se opto usar un molde con la mitad de su capacidad para medir su peso unitario en estado fresco.

Después el molde con concreto es pesado para conocer posteriormente su densidad.



Ilustración 83 Fig. 3.17 Enrasado de Cilindro de concreto



Ilustración 84 Fig. 3.18 a y b Contenido de Vacíos de Concreto



Ilustración 86 Fig. 3.19 Muestras de Especímenes Cilíndricos de la Cantera El Carmen a 15% de Vacíos



Ilustración 85 Fig. 3.20 Conjunto de Muestras Cilíndricas de Concreto Permeable

3.3.1.2 CURADO DE ESPECIMENES



Ilustración 87 Fig. 3.21 Curado de Cilindros de Concreto

Una vez pasadas las 24+- 4 horas según la Norma ASTM C-192 el cual describe que es tiempo necesario para que el concreto haya fraguado se, se prosigue a dense moldar los cilindros y las viguetas de concreto permeable con el cuidado de no deteriorar el concreto con los golpes y evitar el daño a moldes metálicos.

Una vez que los especímenes estén dense moldado son sometidos al curado el cual lo describe la Norma ASTM C-31 Y ASTM C-192, tales especímenes fueron sumergido en una pileta de en su totalidad siendo esta agua limpia y sin residuos, para evitar el mal curado y por ende una disminución e la resistencia de los especímenes.

3.3.1.3 ENSAYO DE COMPRESION DE CILINDROS

Para la Ejecución de esta prueba se aplicó la Norma ASTM C-39 Nos dice que la prueba Consiste en aplicar una carga de compresión axial a los cilindros de realizados.

Los especímenes a ser sometidos a prueba tuvieron de haberse realizado con los procesos constructivos adecuados y el debido curado antes de la edad a ser probados, tales requerimientos se mencionan en la norma ASTM C-31.

Las Edades a que fueron ensayados han sido las siguientes, manifestadas con su respectiva tolerancia según el tiempo de ensayo:

Tabla 19 Edades de los Ensayos

EDAD DE PRUEBA	TOLERANCIA
7	6horas (3.6%)
14	10horas (3.3%)
28	20horas (3%)

3.1.1.3.1PROCEDIMIENTO

El Proceso que se llevo a cabo para ejercer la prueba fue lo siguiente. Para iniciar se con el pie de rey se tomo la medida tanto del diámetro como la altura del cilindros en dos extremos opuestos y luego se prosiguió a sacar el promedio tanto del diámetro con de la altura del cilindro. Una vez que se ah obtenido el promedio de altura y diámetro se prosigue a pesar la muestra cilíndrica.



Una vez que los cilindros que los cilindros han sido pesados y medidos los cilindros, coloca el espécimen sobre la placa inferior, se alinea cuidadosamente el eje del mismo con respecto al centro de la placa de asiento inferior. Al tener perfectamente colocado el espécimen, se le aplica la carga hasta que falle, se registra la carga soportada durante la prueba y anotar el tipo de falla, siguiendo como patrón, las siguientes figuras que muestra las formas de:

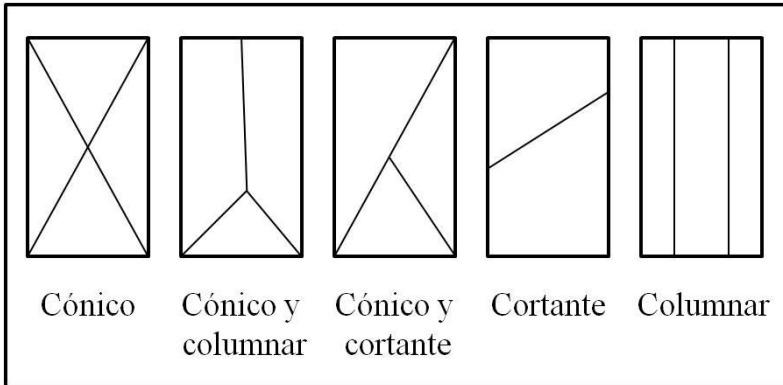


Ilustración 88 Fig. 3.22 Formas de falla de los cilindros de concreto

Ilustración 89 Fig. 3.23 a, Fig. b Fig. c " Prueba de Compresión de Cilindros"



3.3.1.4 ENSAYO DE VIGUETAS DE CONCRETO

Para el ensayo de viguetas, se sacan del lugar de curado, pesando y midieron la dimensiones de la vigueta, seguidamente se marco la vigueta de tal manera que se ensaye a dos tercios ubicado a ambos lados longitud de la misma. Después se coloca la Vigueta, se centra y aplicar la carga a la viga hasta que falle.



Ilustración 90 Fig. 3.24^a y Fig. 3.24^b "Ruptura de Viguetas"

3.3.1.5 PRUEBA DE INFILTRACION PARA CILINDROS DE CONCRETO

En vista de que este es un tema que aun esta sometido a investigación, no existe una Norma especifica y precisa que mida la capacidad filtrante del concreto. Sin embargo en anteriores investigaciones hechas por el ACI, definieron un método, para medir la tasa de percolación que posee el concreto permeable específicamente en ACI 522R

En el cual son sometidos los cilindros de concreto permeable en un aparato denominado permeámetro el cual mide en que tiempo el cilindro de concreto filtra un cierto volumen de agua la columna de agua puede variar de 22-30cm.

El tiempo es dividido en su área constante y se determina el coeficiente de infiltración.

3.3.1.5.1 DOCUMENTACION DE LA PRUEBA



Ilustración 91 Fig. 3.25 Permeámetro

Permeámetro Rudimentario Elaborado por tesistas.



Ilustración 92 Cilindros de Concreto Sometidos a la Prueba de Infiltración



Ilustración 93 Cilindros elaborados con tubo de PVC para prueba de infiltración.

3.4 HOJAS DE RESULTADO DE PRUEBAS DE CONCRETO.

A continuación se muestra los resultados que se obtuvieron en la realización de pruebas a el concreto permeable empleando los diferentes diseños de mezcla diferenciados por cantera y por modulo de vacíos.

3.4.1 RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS.

Para la ejecución de esta prueba y definir el numero de cilindros se baso en ACI 518 Capitulo 5 en el cual menciona que existe un factor de corrección para muestra menores a 15 ensayos, en nuestro caso se ensayaron 9 cilindros por cada diseño de mezcla es decir que cae en el rango permisible de la norma, y debido a que no se esta estableciendo un diseño de mezcla el numero de cilindros se ve reducido ya que lo único que se pretende es realizar una comparación entre las características mecánicas e hidráulicas del Concreto Permeable usando la Canteras de la Zona Oriental.

Se prosiguió del siguiente modo: Se eligieron las canteras mas demandadas de la zona Oriental del País (La Pedrera, Aramuaca, El Carmen) para cada cantera se propusieron 3 módulos de vacíos diferentes (15%, 20%, 25%). Una vez establecido la cantera y el modulo de vacíos se identificaron 9 diseños de mezcla diferentes para concreto permeable de los cuales se obtuvieron los siguientes resultados a Resistencia a Compresión.



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

ASTM C-39 “MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RESISTENCIA A COMPRESION DE ESPECIMENES DE CONCRETO”

Proyecto: “Comportamiento del Concreto Permeable utilizando Agregado Grueso de las Canteras El Carmen, Aramuaca y la Pedrera de la zona Oriental de El Salvador”

● **TABULACION DE RESULTADOS 15 % DE VACIOS**

Cantera: El Carmen

Modulo de Vacíos: 15%

Ensayo	Edad	Peso(Kg)	Dm(cm)	H (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)
1	7	2,94	10,1	20,4	80,11	7000	87,38
2	7	3,12	10,1	20,4	80,11	7500	93,62
3	7	3,15	10,1	20,4	80,11	8000	99,86
PROMEDIO							93,62
4	14	2,88	10,1	20,4	80,11	10000	124,83
5	14	3,05	10,1	20,4	80,11	11000	137,31
6	14	3	10,1	20,4	80,11	10000	124,83
PROMEDIO							128,99
7	28	3,12	10,1	20,4	80,11	13000	147,55
8	28	3,15	10,1	20,4	80,11	12000	149,79
9	28	3,08	10,1	20,4	80,11	10200	142,13
PROMEDIO							146,46

Ensayo	Edad	Peso(Kg)	Dm(cm)	H (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)
1	7	3,02	10,1	20,4	80,11	7000	87,38
2	7	3	10,1	20,4	80,11	6800	84,88
3	7	3,02	10,1	20,4	80,11	7000	87,38
PROMEDIO							86,55
4	14	2,85	10,1	20,4	80,11	8600	124,83
5	14	2,87	10,1	20,4	80,11	8300	137,31
6	14	2,88	10,1	20,4	80,11	8600	124,83
PROMEDIO							106.1
7	28	3,12	10,1	20,4	80,11	9600	119,84
8	28	3,1	10,1	20,4	80,11	8900	111,1
9	28	3,1	10,1	20,4	80,11	10100	126,08
PROMEDIO							119,01

Cantera: Aramuaca

Modulo de Vacíos: 15%

Cantera: La Pedrera

Modulo de Vacíos: 15%

Ensayo	Edad	Peso(Kg)	Dm(cm)	H (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)
1	7	2,66	10,1	20,4	80,11	4000	49,93
2	7	2,7	10,1	20,4	80,11	5000	62,41
3	7	2,6	10,1	20,4	80,11	5800	72,4
PROMEDIO							61,58
4	14	2,85	10,1	20,4	80,11	5000	62,41
5	14	2,87	10,1	20,4	80,11	6300	78,64
6	14	2,88	10,1	20,4	80,11	6200	77,39
PROMEDIO							72.81
7	28	2,76	10,1	20,4	80,11	6000	74,9
8	28	2,8	10,1	20,4	80,11	6400	79,89
9	28	2,9	10,1	20,4	80,11	6800	84,88
PROMEDIO							79,89

RECOPIACIÓN DE RESULTADOS A ESPECIMNES PROBADOS A COMPRESION MODULO DE VACIOS 15%

EL CARMEN

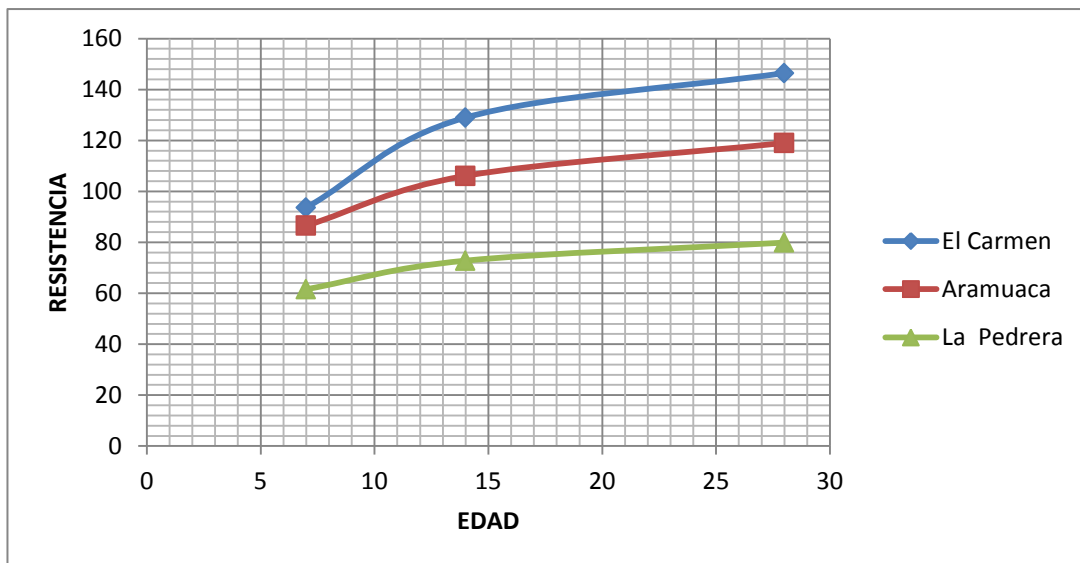
Edad	Resistencia f'c (kg/cm ²)
7	93,62
14	128,99
28	146,46

ARAMUACA

Edad	Resistencia f'c (kg/cm ²)
7	86,55
14	106,1
28	119,01

LA PEDRERA

Edad	Resistencia f'c (kg/cm ²)
7	61,58
14	72,81
28	79,89



● **TABULACION DE RESULTADOS 20 % DE VACIOS**

Cantera: El Carmen

Modulo de Vacíos: 20%

Ensayo	Edad	Peso(Kg)	Dm(cm)	H (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)
1	7	2,92	10,1	20,4	80,11	6800	84,88
2	7	2,98	10,1	20,4	80,11	7000	87,38
3	7	2,95	10,1	20,4	80,11	6900	86,13
PROMEDIO							86,13
4	14	3	10,1	20,4	80,11	9000	112,35
5	14	3	10,1	20,4	80,11	8400	104,86
6	14	3,05	10,1	20,4	80,11	8800	109,85
PROMEDIO							109,02
7	28	2,98	10,1	20,4	80,11	8000	99,86
8	28	2,92	10,1	20,4	80,11	8200	102,36
9	28	2,94	10,1	20,4	80,11	8100	101,11
PROMEDIO							101,11

Cantera: Aramuaca

Modulo de Vacíos: 20%

Ensayo	Edad	Peso(Kg)	Dm(cm)	H (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)
1	7	3,02	10,1	20,4	80,11	5000	62,41
2	7	3	10,1	20,4	80,11	6000	74,9
3	7	3,02	10,1	20,4	80,11	6000	74,9
PROMEDIO							70,74
4	14	3,16	10,1	20,4	80,11	6500	81,14
5	14	3,08	10,1	20,4	80,11	6500	81,14
6	14	3,1	10,1	20,4	80,11	7000	87,38
PROMEDIO							83,22
7	28	3,02	10,1	20,4	80,11	7500	93,62
8	28	3	10,1	20,4	80,11	8000	99,86
9	28	3,02	10,1	20,4	80,11	7500	93,62
PROMEDIO							95,7

Cantera: La Pedrera

Modulo de Vacíos: 20%

Ensayo	Edad	Peso(Kg)	Dm(cm)	H (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)
1	7	2,64	10,1	20,4	80,11	4000	49,93
2	7	2,58	10,1	20,4	80,11	4500	56,17
3	7	2,6	10,1	20,4	80,11	4000	49,93
PROMEDIO							52,01
4	14	2,56	10,1	20,4	80,11	5200	64,91
5	14	2,58	10,1	20,4	80,11	5000	62,41
6	14	2,54	10,1	20,4	80,11	5500	68,66
PROMEDIO							65,33
7	28	2,64	10,1	20,4	80,11	5800	72,4
8	28	2,58	10,1	20,4	80,11	5900	73,65
9	28	2,6	10,1	20,4	80,11	5800	72,4
PROMEDIO							72,82

RECOPIACIÓN DE RESULTADOS A ESPECIMNES PROBADOS A COMPRESION MODULO DE VACIOS 20%.

EL CARMEN

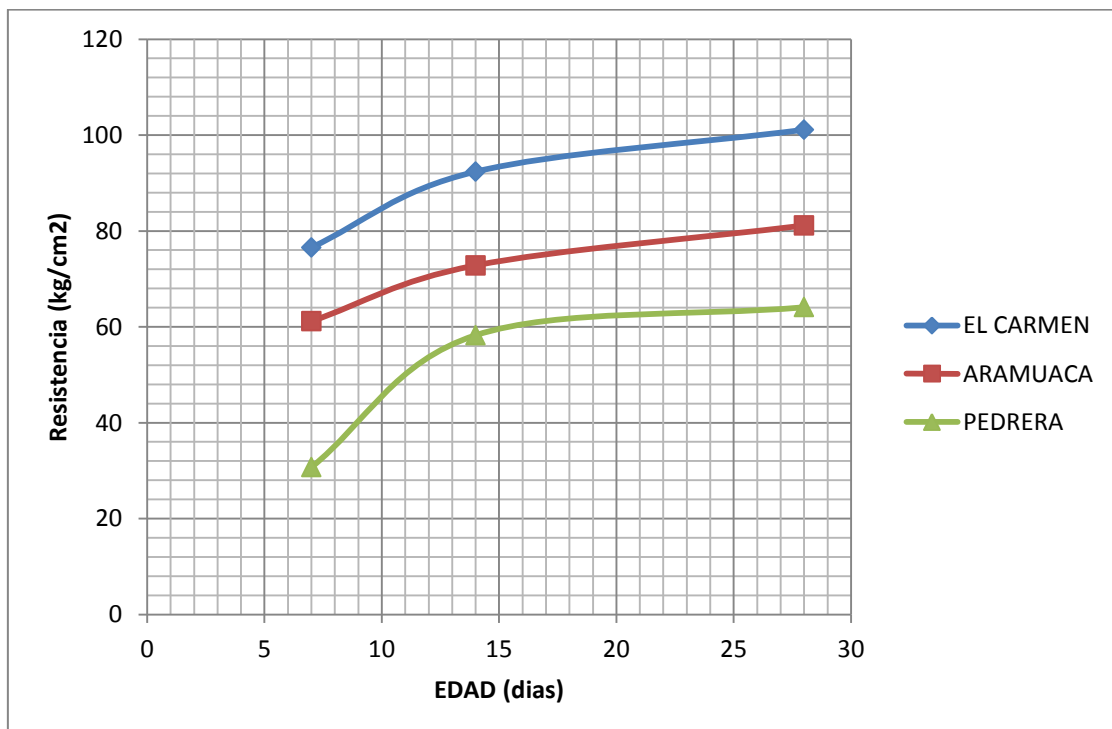
Edad	Resistencia f'c
7	86,13
14	109,02
28	120,25

ARAMUACA

Edad	Resistencia f'c
7	70,74
14	83,22
28	95,70

LA PEDRERA

Edad	Resistencia f'c
7	52,01
14	65,33
28	72,82



● **TABULACION DE RESULTADOS 25 % DE VACIOS**

Cantera: El Carmen

Modulo de Vacíos: 25%

Ensayo	Edad	Peso(Kg)	Dm(cm)	H (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)
1	7	2,98	10,1	20,4	80,11	6600	82,39
2	7	2,92	10,1	20,4	80,11	6000	74,9
3	7	2,94	10,1	20,4	80,11	5800	72,4
PROMEDIO							76,56
4	14	2,88	10,1	20,4	80,11	5900	73,65
5	14	3	10,1	20,4	80,11	5800	72,4
6	14	2,92	10,1	20,4	80,11	5800	72,4
PROMEDIO							92,37
7	28	2,98	10,1	20,4	80,11	8000	99,86
8	28	2,92	10,1	20,4	80,11	8200	102,36
9	28	2,94	10,1	20,4	80,11	8100	101,11
PROMEDIO							101,11

Cantera: Aramuaca

Modulo de Vacíos: 25%

Ensayo	Edad	Peso(Kg)	Dm(cm)	H (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)
1	7	2,84	10,1	20,4	80,11	5000	62,41
2	7	2,88	10,1	20,4	80,11	4800	59,92
3	7	2,89	10,1	20,4	80,11	4900	61,17
PROMEDIO							70,74
4	14	2,88	10,1	20,4	80,11	5900	73,65
5	14	3	10,1	20,4	80,11	5800	72,4
6	14	2,92	10,1	20,4	80,11	5800	72,4
PROMEDIO							83,22
7	28	2,84	10,1	20,4	80,11	6600	82,39
8	28	2,88	10,1	20,4	80,11	6500	81,14
9	28	2,89	10,1	20,4	80,11	6400	79,89
PROMEDIO							95,7

Cantera: La Pedrera

Modulo de Vacíos: 25%

Ensayo	Edad	Peso(Kg)	Dm(cm)	H (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)
1	7	2,36	10,1	20,4	80,11	2000	24,97
2	7	2,42	10,1	20,4	80,11	2500	31,21
3	7	2,4	10,1	20,4	80,11	2880	35,95
PROMEDIO							52,01
4	14	2,45	10,1	20,4	80,11	4000	49,93
5	14	2,6	10,1	20,4	80,11	5000	62,41
6	14	2,58	10,1	20,4	80,11	5000	62,41
PROMEDIO							65,33
7	28	2,36	10,1	20,4	80,11	4000	49,93
8	28	2,42	10,1	20,4	80,11	5000	62,41
9	28	2,4	10,1	20,4	80,11	6400	79,89
PROMEDIO							72,82

EL CARMEN

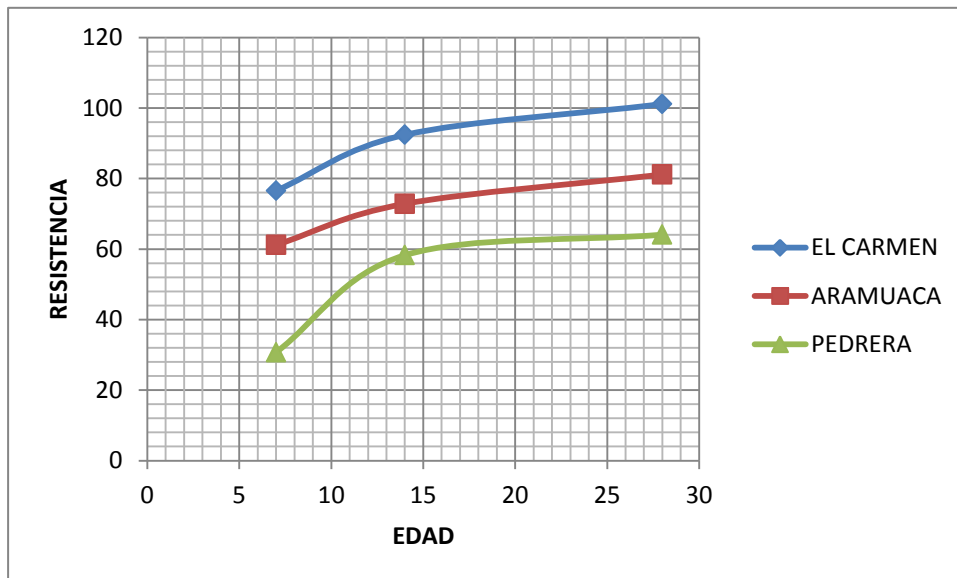
Edad	Resistencia f'c
7	76,56
14	92,37
28	101,11

ARAMUACA

Edad	Resistencia f'c
7	61,17
14	72,82
28	81,14

LA PEDRERA

Edad	Resistencia f'c
7	30,71
14	58,25
28	64,08





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

ASTM C-78 “ESFUERZO A FLEXION EN CONCRETO”

Proyecto: “Comportamiento del Concreto Permeable utilizando Agregado Grueso de las Canteras El Carmen, Aramuaca y la Pedrera de la zona Oriental de El Salvador”

MODULO DE VACIOS 15%								
Ensayo	Edad (d)	Peso (kg)	Cantera	Claro (L)	Ancho (b)	Profundidad	Carga(p) (kg)	MR (kg/cm2)
				(cm)	(cm)	(cm)		
1	28	24,5	El Carmen	45,72	15	15	2000	27,09
2	28	24,42	El Carmen	45,72	15	15	1950	26,42
PROMEDIO								26,76
1	28	21,32	Aramuaca	45,72	15	15	1950	26,42
2	28	21,5	Aramuaca	45,72	15	15	1960	26,55
PROMEDIO								26,49
1	28	19,8	La Pedrera	45,72	15	15	1700	23,03
2	28	19,62	La Pedrera	45,72	15	15	1720	23,3
PROMEDIO								23,17

MODULO DE VACIOS 20%								
Ensayo	Edad (d)	Peso (kg)	Cantera	Claro (L)	Ancho (b)	Profundidad	Carga(p) (kg)	MR (kg/cm2)
				(cm)	(cm)	(cm)		
1	28	20	El Carmen	45,72	15	15	1900	25,74
2	28	20,3	El Carmen	45,72	15	15	1960	26,55
PROMEDIO								26,15
1	28	19,6	Aramuaca	45,72	15	15	1860	25,2
2	28	19,7	Aramuaca	45,72	15	15	1840	24,93
PROMEDIO								25,07
1	28	17,5	La Pedrera	45,72	15	15	1600	21,67
2	28	17,8	La Pedrera	45,72	15	15	1650	22,35
PROMEDIO								22.01

MODULO DE VACIOS 25%								
Ensayo	Edad (d)	Peso (kg)	Cantera	Claro (L)	Ancho (b)	Profundidad	Carga(p) (kg)	MR (kg/cm2)
				(cm)	(cm)	(cm)		
1	28	20	El Carmen	45,72	15	15	1800	24,38
2	28	20,3	El Carmen	45,72	15	15	1850	25,06
PROMEDIO								24,72
1	28	19,6	Aramuaca	45,72	15	15	1700	23,03
2	28	19,7	Aramuaca	45,72	15	15	1710	23,16
PROMEDIO								23,1
1	28	17,7	La Pedrera	45,72	15	15	1500	20,32
2	28	17,6	La Pedrera	45,72	15	15	1550	21
PROMEDIO								20,66

ENSAYOS DE DENSIDAD DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO EL CAMEN
(15%, 20% Y 25% RESPECTIVAMENTE)

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



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 - COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO
AGREGADO GRUESO DE LAS CANTERAS, EL CARMEN, ARAMUACA Y LA
PEDRERA, DE LA ZONA ORIENTAL DE EL SALVADOR

FECHA: 29 de Julio de 2012

TMNA: 3/8"

% VACÍOS DE DISEÑO: 15,00

PESO UNITARIO DE DISEÑO: 2315,08

OBSERVACIONES: Ensayo realizado de bachada para moldeo de especímenes

PESO UNITARIO DEL CONCRETO PERMEABLE (D)	
MASA RECIPIENTE VACÍO (kg) M_m	2,845
VOLUMEN RECIPIENTE (m ³) V_m	0,0027
MASA RECIPIENTE + CONCRETO (kg) M_c	9,05
MASA DEL CONCRETO (kg)	6,205
PESO UNITARIO (kg/m³)	2298,1

CONTENIDO DE VACÍOS (U)	
PESO UNITARIO TEÓRICO (T)	2722,43
PESO UNITARIO OBTENIDO (D)	2298,15
% VACÍOS	15,58

PESO UNITARIO TEÓRICO: 2722,43 kg/m³

VARIACIÓN

PESO UNITARIO 16,93 kg/m³
% VACÍOS -0,58 %

PESO UNITARIO TEÓRICO (T)			
MATERIAL	DENSIDAD	MASA (kg)	VOL. (m ³)
		M_s	V_s
GRAVA	3,5	13,63	0,00
ARENA			
CEMENTO	2,9	5,4	0,00
AGUA	1	1,95	0,00
ADITIVO	1,2	0	0,00
OTROS			
TOTALES		20,98	0,01
PESO UNITARIO TEÓRICO		2722,43	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: $U = \frac{T - D}{T} \times 100\%$

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



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 - COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO AGREGADO GRUESO DE LAS CANTERAS, EL CARMEN, ARAMUACA Y LA PEDRERA, DE LA ZONA ORIENTAL DE EL SALVADOR

FECHA: 23 de Julio de 2012

TMNA: 3/8"

% VACÍOS DE DISEÑO: 20,00

PESO UNITARIO DE DISEÑO: 2158,86

OBSERVACIONES: Ensayo realizado de bachada para moldeo de especímenes

PESO UNITARIO DEL CONCRETO PERMEABLE (D)		
MASA RECIPIENTE VACÍO (kg)	M_m	2,845
VOLUMEN RECIPIENTE (m^3)	V_m	0,0027
MASA RECIPIENTE + CONCRETO (kg)	M_c	8,46
MASA DEL CONCRETO (kg)		5,615
PESO UNITARIO (kg/m^3)		2079,6

PESO UNITARIO TEÓRICO: 2702,27 kg/m^3

PESO UNITARIO TEÓRICO (T)			
MATERIAL	DENSIDAD	MASA (kg)	
		M_s	VOL. (m^3)
GRAVA	3,5	13,63	0,00
ARENA			
CEMENTO	2,9	4,37	0,00
AGUA	1	2	0,00
ADITIVO	1,2	0	0,00
OTROS			
TOTALES		20	0,01
PESO UNITARIO TEÓRICO		2702,27	kg/m^3

CONTENIDO DE VACÍOS (U)	
PESO UNITARIO TEÓRICO (T)	2702,27
PESO UNITARIO OBTENIDO (D)	2079,63
% VACÍOS	23,04

VARIACIÓN

PESO UNITAR 79,23 kg/m^3

% VACÍOS -3,04 %

FÓRMULAS

PESO UNITARIO TEÓRICO: $T = \frac{M_s}{V_s}$

PESO UNITARIO: $D = \frac{M_c - M_m}{V_m}$

CONTENIDO DE VACÍOS: $U = \frac{T - D}{T} \times 100\%$

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



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 - COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PERMEABLE
UTILIZANDO AGREGADO GRUESO DE LAS CANTERAS, EL CARMEN,
ARAMUACA Y LA PEDRERA, DE LA ZONA ORIENTAL DE EL SALVADOR

FECHA: 23 de Julio de 2012

TMNA: 3/8"

% VACÍOS DE DISEÑO: 25,00

PESO UNITARIO DE DISEÑO: 2120,04

OBSERVACIONES: Ensayo realizado de bachada para moldeo de especímenes

PESO UNITARIO DEL CONCRETO PERMEABLE (D)		
MASA RECIPIENTE VACÍO (kg)	M_m	2,845
VOLUMEN RECIPIENTE (m^3)	V_m	0,0027
MASA RECIPIENTE + CONCRETO (kg)	M_c	8,46
MASA DEL CONCRETO (kg)		5,615
PESO UNITARIO (kg/m^3)		2079,6

PESO UNITARIO TEÓRICO: 2829,96 kg/m^3

PESO UNITARIO TEÓRICO (T)			
MATERIAL	DENSIDAD	MASA (kg)	VOL. (m^3)
		M_s	V_s
GRAVA	3,5	13,63	0,00
ARENA			
CEMENTO	2,9	4,1	0,00
AGUA	1	1,48	0,00
ADITIVO	1,2	0	0,00
OTROS			
TOTALES		19,21	0,01
PESO UNITARIO TEÓRICO		2829,96	kg/m^3

CONTENIDO DE VACÍOS (U)	
PESO UNITARIO TEÓRICO (T)	2829,96
PESO UNITARIO OBTENIDO (D)	2079,63
% VACÍOS	26,51

VARIACIÓN

PESO UNITAR 40,41 kg/m^3
% VACÍOS -1,51 %

FÓRMULAS

PESO UNITARIO TEÓRICO: $T = \frac{M_s}{V_s}$

PESO UNITARIO: $D = \frac{M_c - M_m}{V_m}$

CONTENIDO DE VACÍOS: $U = \frac{T - D}{T} \times 100\%$

ENSAYOS DE DENSIDAD DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO LA PEDRERA (15%, 20% Y 25% RESPECTIVAMENTE)

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



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 - COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO AGREGADO GRUESO DE LAS CANTERAS, EL CARMEN, ARAMUACA Y LA PEDRERA, DE LA ZONA ORIENTAL DE EL SALVADOR

FECHA: 27 de Julio de 2012

TMNA: 3/8"

% VACÍOS DE DISEÑO: 15,00

PESO UNITARIO DE DISEÑO: 2142,14

OBSERVACIONES: Ensayo realizado de bachada para moldeo de especímenes

PESO UNITARIO DEL CONCRETO PERMEABLE (D)		
MASA RECIPIENTE VACÍO (kg) M_m		2,845
VOLUMEN RECIPIENTE (m ³) V_m		0,0027
MASA RECIPIENTE + CONCRETO M_c		8,46
MASA DEL CONCRETO (kg)		5,615
PESO UNITARIO (kg/m³)		2079,6

CONTENIDO DE VACÍOS (U)	
PESO UNITARIO TEÓRICO	2502,89
PESO UNITARIO OBTENIDO	2079,63
% VACÍOS	16,91

PESO UNITARIO TEÓRICO: 2502,892 kg/m³

VARIACIÓN
PESO UNITARIO 62,51 kg/m³
% VACÍOS -1,91 %

PESO UNITARIO TEÓRICO (T)			
MATERIAL	DENSIDAD	MASA (kg)	VOL. (m ³)
		M_s	V_s
GRAVA	2,9	13,29	0,00
ARENA		0	
CEMENTO	2,9	4,49	0,00
AGUA	1	1,62	0,00
ADITIVO	1,2	0	0,00
OTROS			
TOTALES		19,4	0,01

PESO UNITARIO TEÓRICO 2502,892 kg/m³

FÓRMULAS

$$\text{PESO UNITARIO TEÓRICO: } T = \frac{M_s}{V_s}$$

$$\text{PESO UNITARIO: } D = \frac{M_c - M_m}{V_m}$$

$$\text{CONTENIDO DE VACÍOS: } U = \frac{T - D}{T} \times 100\%$$

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



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 - COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO AGREGADO GRUESO DE LAS CANTERAS, EL CARMEN, ARAMUACA Y LA PEDRERA, DE LA ZONA ORIENTAL DE EL SALVADOR

FECHA: 26 de Julio de 2012

TMNA: 3/8"

% VACÍOS DE DISEÑO: 20,00

PESO UNITARIO DE DISEÑO: 2044,63

OBSERVACIONES: Ensayo realizado de bachada para moldeo de especímenes

PESO UNITARIO DEL CONCRETO PERMEABLE (D)		
MASA RECIPIENTE VACÍO (kg)	M_m	2,845
VOLUMEN RECIPIENTE (m ³)	V_m	0,0027
MASA RECIPIENTE + CONCRETO (kg)	M_c	8,2
MASA DEL CONCRETO (kg)		5,355
PESO UNITARIO (kg/m³)		1983,3

CONTENIDO DE VACÍOS (U)	
PESO UNITARIO TEÓRICO (T)	2538,24
PESO UNITARIO OBTENIDO (D)	1983,33
% VACÍOS	21,86

PESO UNITARIO TEÓRICO: 2538,24 kg/m³

VARIACIÓN
 PESO UNITAR 61,30 kg/m³
 % VACÍOS -1,86 %

PESO UNITARIO TEÓRICO (T)			
MATERIAL	DENSIDAD	MASA (kg)	VOL. (m ³)
		M_s	V_s
GRAVA	2,9	13,29	0,00
ARENA		0	
CEMENTO	2,9	3,85	0,00
AGUA	1	1,39	0,00
ADITIVO	1,2	0	0,00
OTROS			
TOTALES		18,53	0,01
PESO UNITARIO TEÓRICO		2538,24	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 $U = \frac{T - D}{T} \times 100\%$

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



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 - COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO AGREGADO GRUESO DE LAS CANTERAS, EL CARMEN, ARAMUACA Y LA PEDRERA, DE LA ZONA ORIENTAL DE EL SALVADOR

FECHA: 26 de Julio de 2012

TMNA: 3/8"

% VACÍOS DE DISEÑO: 25,00

PESO UNITARIO DE DISEÑO: 1947,30

OBSERVACIONES: Ensayo realizado de bachada para moldeo de especímenes

PESO UNITARIO DEL CONCRETO PERMEABLE (D)		
MASA RECIPIENTE VACÍO (kg)	M_m	2,845
VOLUMEN RECIPIENTE (m^3)	V_m	0,0027
MASA RECIPIENTE + CONCRETO (kg)	M_c	8,05
MASA DEL CONCRETO (kg)		5,205
PESO UNITARIO (kg/m^3)		1927,8

CONTENIDO DE VACÍOS (U)	
PESO UNITARIO TEÓRICO (T)	2580,38
PESO UNITARIO OBTENIDO (D)	1927,78
% VACÍOS	25,29

PESO UNITARIO TEÓRICO: 2580,38 kg/m^3

VARIACIÓN

PESO UNITAR 19,52 kg/m^3
 % VACÍOS -0,29 %

PESO UNITARIO TEÓRICO (T)			
MATERIAL	DENSIDAD	MASA (kg)	
		M_s	VOL. (m^3) V_s
GRAVA	2,9	13,29	0,00
ARENA		0	
CEMENTO	2,9	3,2	0,00
AGUA	1	1,15	0,00
ADITIVO	1,2	0	0,00
OTROS			
TOTALES		17,64	0,01
PESO UNITARIO TEÓRICO		2580,38	kg/m^3

FÓRMULAS

PESO UNITARIO TEÓRICO: $T = \frac{M_s}{V_s}$

PESO UNITARIO: $D = \frac{M_c - M_m}{V_m}$

CONTENIDO DE VACÍOS: $U = \frac{T - D}{T} \times 100\%$

ENSAYOS DE DENSIDAD DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO
ARAMUACA (15%, 20% Y 25% RESPECTIVAMENTE)

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



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 - COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PERMEABLE
UTILIZANDO AGREGADO GRUESO DE LAS CANTERAS, EL CARMEN,
ARAMUACA Y LA PEDRERA, DE LA ZONA ORIENTAL DE EL SALVADOR

FECHA: 25 de Julio de 2012

TMNA: 3/8"

% VACÍOS DE DISEÑO: 15,00

PESO UNITARIO DE DISEÑO: 2395,78

OBSERVACIONES: Ensayo realizado de bachada para moldeo de especímenes

PESO UNITARIO DEL CONCRETO PERMEABLE (D)		
MASA RECIPIENTE VACÍO (kg)	M_m	2,845
VOLUMEN RECIPIENTE (m ³)	V_m	0,0027
MASA RECIPIENTE + CONCRETO (kg)	M_c	9,1
MASA DEL CONCRETO (kg)		6,255
PESO UNITARIO (kg/m ³)		2316,7

CONTENIDO DE VACÍOS (U)	
PESO UNITARIO TEÓRICO (T)	2750,61
PESO UNITARIO OBTENIDO (D)	2316,67
% VACÍOS	15,78

PESO UNITARIO TEÓRICO: 2750,61 kg/m³

VARIACIÓN

PESO UNITAR 79,11 kg/m³

% VACÍOS -0,78 %

PESO UNITARIO TEÓRICO (T)			
MATERIAL	DENSIDAD	MASA (kg)	VOL. (m ³)
		M_s	V_s
GRAVA	3,56	13,61	0,00
ARENA			
CEMENTO	2,9	4,5	0,00
AGUA	1	1,9	0,00
ADITIVO	1,2	0	0,00
OTROS			
TOTALES		20,01	0,01
PESO UNITARIO TEÓRICO		2750,61	kg/m ³

FÓRMULAS

PESO UNITARIO TEÓRICO: $T = \frac{M_s}{V_s}$

PESO UNITARIO: $D = \frac{M_c - M_m}{V_m}$

CONTENIDO DE VACÍOS: $U = \frac{T - D}{T} \times 100\%$

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



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 - COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO AGREGADO GRUESO DE LAS CANTERAS, EL CARMEN, ARAMUACA Y LA PEDRERA, DE LA ZONA ORIENTAL DE EL SALVADOR

FECHA: 24 de Julio de 2012

TMNA: 3/8"

% VACÍOS DE DISEÑO: 20,00

PESO UNITARIO DE DISEÑO: 2243,26

OBSERVACIONES: Ensayo realizado de bachada para moldeo de especímenes

PESO UNITARIO DEL CONCRETO PERMEABLE (D)		
MASA RECIPIENTE VACÍO (kg)	M_m	2,845
VOLUMEN RECIPIENTE (m^3)	V_m	0,0027
MASA RECIPIENTE + CONCRETO (kg)	M_c	8,7
MASA DEL CONCRETO (kg)		5,855
PESO UNITARIO (kg/m^3)		2168,5

PESO UNITARIO TEÓRICO: 2812,45 kg/m^3

PESO UNITARIO TEÓRICO (T)			
MATERIAL	DENSIDAD	MASA (kg)	VOL. (m^3)
		M_s	V_s
GRAVA	3,56	14,97	0,00
ARENA			
CEMENTO	2,9	3,94	0,00
AGUA	1	1,8	0,00
ADITIVO	1,2	0	0,00
OTROS			
TOTALES		20,71	0,01
PESO UNITARIO TEÓRICO		2812,45	kg/m^3

CONTENIDO DE VACÍOS (U)	
PESO UNITARIO TEÓRICO (T)	2812,45
PESO UNITARIO OBTENIDO (D)	2168,52
% VACÍOS	22,90

VARIACIÓN

PESO UNITAR 74,74 kg/m^3

% VACÍOS -2,90 %

FÓRMULAS

PESO UNITARIO TEÓRICO: $T = \frac{M_s}{V_s}$

PESO UNITARIO: $D = \frac{M_c - M_m}{V_m}$

CONTENIDO DE VACÍOS: $U = \frac{T - D}{T} \times 100\%$

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



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 - COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO AGREGADO GRUESO DE LAS CANTERAS, EL CARMEN, ARAMUACA Y LA PEDRERA, DE LA ZONA ORIENTAL DE EL SALVADOR

FECHA: 24 de Julio de 2012

TMNA: 3/8"

% VACÍOS DE DISEÑO: 25,00

PESO UNITARIO DE DISEÑO: 2200,74

OBSERVACIONES: Ensayo realizado de bachada para moldeo de especímenes

PESO UNITARIO DEL CONCRETO PERMEABLE (D)		
MASA RECIPIENTE VACÍO (kg)	M_m	2,845
VOLUMEN RECIPIENTE (m^3)	V_m	0,0027
MASA RECIPIENTE + CONCRETO (kg)	M_c	8,675
MASA DEL CONCRETO (kg)		5,83
PESO UNITARIO (kg/m^3)		2159,3

PESO UNITARIO TEÓRICO: 2942,27 kg/m^3

PESO UNITARIO TEÓRICO (T)			
MATERIAL	DENSIDAD	MASA (kg)	VOL. (m^3)
		M_s	V_s
GRAVA	3,56	14,97	0,00
ARENA			
CEMENTO	2,9	3,65	0,00
AGUA	1	1,31	0,00
ADITIVO	1,2	0	0,00
OTROS			
TOTALES		19,93	0,01
PESO UNITARIO TEÓRICO		2942,27	kg/m^3

CONTENIDO DE VACÍOS (U)	
PESO UNITARIO TEÓRICO	2942,27
PESO UNITARIO OBTENIDO	2159,26
% VACÍOS	26,61

VARIACIÓN

PESO UNITAR 41,48 kg/m^3
 % VACÍOS -1,61 %

FÓRMULAS

$$\text{PESO UNITARIO TEÓRICO: } T = \frac{M_s}{V_s}$$

$$\text{PESO UNITARIO: } D = \frac{M_c - M_m}{V_m}$$

$$\text{CONTENIDO DE VACÍOS: } U = \frac{T - D}{T} \times 100\%$$



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

ACI 522 R “ENSAYO DE PERMEABILIDAD PERMEAMETRO DE CARGA VARIABLE”

Proyecto: “Comportamiento del Concreto Permeable utilizando Agregado Grueso de las Canteras El Carmen, Aramuaca y la Pedrera de la zona Oriental de El Salvador”

Cantera: El Carmen

15% de Vacios

Análisis de permeabilidad para un módulo de vacios del 15 % para la cantera del Carmen

Paso 1: determinar el tiempo que tarda el agua en filtrar 30 cm de agua

Las dimensiones del cilindro de concreto permeable en análisis son las siguientes: 10 cm de ancho y 20 cm de alto.

Paso 2: determinamos el tiempo de cada espécimen en tres veces, analizamos 3 especímenes por cada cantera.

Paso 3: encontramos un promedio de tiempos de la siguiente manera.

Datos obtenidos de ensayo.

ESPECIMEN N°	ENSAYO N°	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Carga (cm)	Tiempo (s)
1	1	20,00	10,00	25.00	22,37
	2	20,00	10,00	25.00	22,74
	3	20,00	10,00	25.00	22,23
2	1	20,00	10,00	25.00	23,04
	2	20,00	10,00	25.00	22,89
	3	20,00	10,00	25.00	22,97
3	1	20,00	10,00	25.00	23,23
	2	20,00	10,00	25.00	22,79
	3	20,00	10,00	25.00	23,03

Paso 4: determinamos el promedio de tiempos tomados por cada espécimen.

Promedio de espécimen 1= PE1 = Ensayo 1 + Ensayo 2 + Ensayo 3

Numero de ensayos

$$PE1 = 22.37 \text{ s} + 22.74 \text{ s} + 22.23 \text{ s} / 3$$

$$PE1 = 22.30 \text{ s}$$

$$PE2 = 22.04 \text{ s} + 22.89 \text{ s} + 22.97 \text{ s} / 3$$

$$PE2 = 23.01 \text{ s}$$

$$PE3 = 23.23 \text{ s} + 22.79 \text{ s} + 23.03 \text{ s} / 3$$

$$PE3 = 23.13 \text{ s}$$

Paso 5:

Calculamos la permeabilidad de la siguiente forma:

Fórmula :

$$K=A/t \quad \text{Ecuación 11 Calculo de la permeabilidad}$$

Dónde :

K = Permeabilidad [mm/s]

A = 250 mm (constante)

T = Tiempo (s)

Para el espécimen # 1 tenemos los siguientes datos

T = tiempo promedio

$$T = 22.30 \text{ s}$$

A = 250 mm (constante)

$$K = 250 \text{ mm} / 22.30 \text{ s}$$

$$K 1= 11.21 \text{ mm} / \text{s}$$

Para el espécimen # 2 tenemos los siguientes datos

T = tiempo promedio

$$T = 23.01 \text{ s}$$

$A = 250 \text{ mm}$ (constante)

$K = 250 \text{ mm} / 23.01 \text{ s}$

$K_2 = 10.86 \text{ mm} / \text{s}$

Para el espécimen # 3 tenemos los siguientes datos

$T =$ tiempo promedio

$T = 23.13 \text{ s}$

$K = 10.96 \text{ mm/s}$ tasa de permeabilidad para concreto permeable con módulo de vacíos del 15 % de la cantera del Carmen.

De igual manera se hizo para cada modulo de vacíos para cada cantera para los distintos módulos de vacíos.



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

ACI 522 R “ENSAYO DE PERMEABILIDAD PERMEAMETRO DE CARGA VARIABLE”

Proyecto: “Comportamiento del Concreto Permeable utilizando Agregado Grueso de las Canteras El Carmen, Aramuaca y la Pedrera de la zona Oriental de El Salvador”

Cantera: El Carmen

15% de Vacios

ESPECIMEN N°	ENSAYO N°	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Carga (cm)	Tiempo (s)	Promedio Tiempo (s)	Permeabilidad mm/s
1	1	20,00	10,00	25.00	22,37	22,30	11,21
	2	20,00	10,00	25.00	22,74		
	3	20,00	10,00	25.00	22,23		
2	1	20,00	10,00	25.00	23,04	23,01	10,87
	2	20,00	10,00	25.00	22,89		
	3	20,00	10,00	25.00	22,97		
3	1	20,00	10,00	25.00	23,23	23,13	10,81
	2	20,00	10,00	25.00	22,79		
	3	20,00	10,00	25.00	23,03		

PROMEDIO 10,96 mm/s

Fórmula:

$$K=A/t$$

Dónde:

K = Permeabilidad [mm/s]

A = 250 mm (constante)

T = Tiempo (s)



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

ACI 522 R “ENSAYO DE PERMEABILIDAD PERMEAMETRO DE CARGA VARIABLE”

Proyecto: “Comportamiento del Concreto Permeable utilizando Agregado Grueso de las Canteras El Carmen, Aramuaca y la Pedrera de la zona Oriental de El Salvador”

Cantera: La Pedrera

15% de Vacios

ESPECIMEN N°	ENSAYO N°	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Carga (cm)	Tiempo (s)	Promedio Tiempo (s)	Permeabilidad mm/s
1	1	20,00	10,00	25.00	9,64	9,66	25,87
	2	20,00	10,00	25.00	9,70		
	3	20,00	10,00	25.00	9,65		
2	1	20,00	10,00	25.00	9,56	9,60	26,04
	2	20,00	10,00	25.00	9,61		
	3	20,00	10,00	25.00	9,63		
3	1	20,00	10,00	25.00	9,64	9,65	25,92
	2	20,00	10,00	25.00	9,57		
	3	20,00	10,00	25.00	9,65		

PROMEDIO 25,94 mm/s

Fórmula:

$$K=A/t$$

Dónde:

- K** = Permeabilidad [mm/s]
- A** = 250 mm (constante)
- T** = Tiempo (s)



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

**ACI 522 R “ENSAYO DE PERMEABILIDAD PERMEAMETRO DE CARGA
VARIABLE”**

Proyecto: “Comportamiento del Concreto Permeable utilizando Agregado Grueso de las Canteras El Carmen, Aramuaca y la Pedrera de la zona Oriental de El Salvador”

ESPECIMEN N°	ENSAYO N°	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Carga (cm)	Tiempo (s)	Promedio Tiempo (s)	Permeabilidad mm/s
1	1	20,00	10,00	25.00	25,18	25,20	9,92
	2	20,00	10,00	25.00	25,28		
	3	20,00	10,00	25.00	25,14		
2	1	20,00	10,00	25.00	25,80	25,47	9,81
	2	20,00	10,00	25.00	25,62		
	3	20,00	10,00	25.00	25,00		
3	1	20,00	10,00	25.00	25,36	25,40	9,84
	2	20,00	10,00	25.00	25,82		
	3	20,00	10,00	25.00	25,02		

Cantera: Aramuaca

15% de Vacios

PROMEDIO 9,86 mm/s



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

ACI 522 R “ENSAYO DE PERMEABILIDAD PERMEAMETRO DE CARGA VARIABLE”

Proyecto: “Comportamiento del Concreto Permeable utilizando Agregado Grueso de las Canteras El Carmen, Aramuaca y la Pedrera de la zona Oriental de El Salvador”

Cantera: Pedrera

20 % de Vacios

ESPECIMEN N°	ENSAYO N°	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Carga (cm)	Tiempo (s)	Promedio Tiempo (s)	Permeabilidad mm/s
1	1	20,00	10,00	25.00	8,42	8,34	29,99
	2	20,00	10,00	25.00	8,92		
	3	20,00	10,00	25.00	8,25		
2	1	20,00	10,00	25.00	9,06	9,11	27,44
	2	20,00	10,00	25.00	8,91		
	3	20,00	10,00	25.00	9,16		
3	1	20,00	10,00	25.00	8,58	8,65	28,92
	2	20,00	10,00	25.00	9,21		
	3	20,00	10,00	25.00	8,71		

PROMEDIO	28,78	mm/s
-----------------	--------------	-------------

Fórmula:

$$K=A/t$$

Dónde:

K = Permeabilidad [mm/s]

A = 250 mm (constante)

T = Tiempo (s)



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

ACI 522 R “ENSAYO DE PERMEABILIDAD PERMEAMETRO DE CARGA VARIABLE”

Proyecto: “Comportamiento del Concreto Permeable utilizando Agregado Grueso de las Canteras El Carmen, Aramuaca y la Pedrera de la zona Oriental de El Salvador”

ESPECIMEN N°	ENSAYO N°	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Carga (cm)	Tiempo (s)	Promedio Tiempo (s)	Permeabilidad mm/s
1	1	20,00	10,00	25.00	15,25	15,19	16,46
	2	20,00	10,00	25.00	15,76		
	3	20,00	10,00	25.00	15,12		
2	1	20,00	10,00	25.00	16,10	16,39	15,26
	2	20,00	10,00	25.00	16,32		
	3	20,00	10,00	25.00	16,67		
3	1	20,00	10,00	25.00	15,87	15,49	16,14
	2	20,00	10,00	25.00	15,23		
	3	20,00	10,00	25.00	15,10		

Cantera: El Carmen

20 % de Vacios

Fórmula:

$$K=A/t$$

PROMEDIO 15,96 mm/s

Dónde:

K = Permeabilidad [mm/s]

A = 250 mm (constante)

T = Tiempo (s)



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

ACI 522 R “ENSAYO DE PERMEABILIDAD PERMEAMETRO DE CARGA VARIABLE”

Proyecto: “Comportamiento del Concreto Permeable utilizando Agregado Grueso de las Canteras El Carmen, Aramuaca y la Pedrera de la zona Oriental de El Salvador”

Cantera: Aramuaca

20 % de Vacios

ESPECIMEN N°	ENSAYO N°	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Carga (cm)	Tiempo (s)	Promedio Tiempo (s)	Permeabilidad mm/s
1	1	20,00	10,00	25.00	18,25	18,40	13,59
	2	20,00	10,00	25.00	18,16		
	3	20,00	10,00	25.00	18,54		
2	1	20,00	10,00	25.00	19,38	19,62	12,74
	2	20,00	10,00	25.00	20,05		
	3	20,00	10,00	25.00	19,86		
3	1	20,00	10,00	25.00	19,65	19,56	12,78
	2	20,00	10,00	25.00	19,76		
	3	20,00	10,00	25.00	19,46		

PROMEDIO 13,04 mm/s

Fórmula:

$$K=A/t$$

Dónde:

K = Permeabilidad [mm/s]

A = 250 mm (constante)

T = Tiempo (s)



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

ACI 522 R “ENSAYO DE PERMEABILIDAD PERMEAMETRO DE CARGA VARIABLE”

Proyecto: “Comportamiento del Concreto Permeable utilizando Agregado Grueso de las Canteras El Carmen, Aramuaca y la Pedrera de la zona Oriental de El Salvador”

Cantera: Pedrera

25 % de Vacios

ESPECIMEN N°	ENSAYO N°	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Carga (cm)	Tiempo (s)	Promedio Tiempo (s)	Permeabilidad mm/s
1	1	20,00	10,00	25.00	8,75	8,70	28,75
	2	20,00	10,00	25.00	8,70		
	3	20,00	10,00	25.00	8,64		
2	1	20,00	10,00	25.00	7,95	8,13	30,77
	2	20,00	10,00	25.00	8,06		
	3	20,00	10,00	25.00	8,30		
3	1	20,00	10,00	25.00	8,00	7,98	31,33
	2	20,00	10,00	25.00	8,05		
	3	20,00	10,00	25.00	7,96		

PROMEDIO 30,28 mm/s

Fórmula:

$$K=A/t$$

Dónde:

K = Permeabilidad [mm/s]

A = 250 mm (constante)

T = Tiempo (s)



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

ACI 522 R “ENSAYO DE PERMEABILIDAD PERMEAMETRO DE CARGA VARIABLE”

Proyecto: “Comportamiento del Concreto Permeable utilizando Agregado Grueso de las Canteras El Carmen, Aramuaca y la Pedrera de la zona Oriental de El Salvador”

Cantera: Carmen

25 % de Vacios

ESPECIMEN N°	ENSAYO N°	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Carga (cm)	Tiempo (s)	Promedio Tiempo (s)	Permeabilidad mm/s
1	1	20,00	10,00	25.00	12,71	12,84	19,48
	2	20,00	10,00	25.00	12,83		
	3	20,00	10,00	25.00	12,96		
2	1	20,00	10,00	25.00	13,12	13,01	19,22
	2	20,00	10,00	25.00	12,53		
	3	20,00	10,00	25.00	12,89		
3	1	20,00	10,00	25.00	13,18	13,42	18,64
	2	20,00	10,00	25.00	13,34		
	3	20,00	10,00	25.00	13,65		

PROMEDIO 19,11 mm/s

Fórmula:

$$K=A/t$$

Dónde:

K = Permeabilidad [mm/s]

A = 250 mm (constante)

T = Tiempo (s)



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

ACI 522 R “ENSAYO DE PERMEABILIDAD PERMEAMETRO DE CARGA VARIABLE”

Proyecto: “Comportamiento del Concreto Permeable utilizando Agregado Grueso de las Canteras El Carmen, Aramuaca y la Pedrera de la zona Oriental de El Salvador”

ESPECIMEN N°	ENSAYO N°	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Carga (cm)	Tiempo (s)	Promedio Tiempo (s)	Permeabilidad mm/s
1	1	20,00	10,00	25.00	17,70	17,80	14,05
	2	20,00	10,00	25.00	17,45		
	3	20,00	10,00	25.00	17,89		
2	1	20,00	10,00	25.00	16,95	16,99	14,72
	2	20,00	10,00	25.00	17,09		
	3	20,00	10,00	25.00	17,02		
3	1	20,00	10,00	25.00	16,91	16,87	14,82
	2	20,00	10,00	25.00	16,77		
	3	20,00	10,00	25.00	16,82		

Cantera: Aramuaca

25 % de Vacios

PROMEDIO	14,53	mm/s
-----------------	--------------	-------------

Fórmula:

$$K=A/t$$

Dónde:

- K** = Permeabilidad [mm/s]
- A** = 250 mm (constante)
- T** = Tiempo (s)

CAPITULO 4.0



ANALICIS DE RESULTADOS

4.0 ANALISIS DE RESULTADO

4.1 INTRODUCCION

En este Capitulo se consolida la información recopilada en cada una de las pruebas realizadas del concreto permeable para las canteras conocidas, en otras palabras daremos una interpretación de los resultados de las propiedades.

- Mecánicas (Resistencia a Compresión y Flexión).
- Hidráulicas (Capacidad filtrante)

Manifestaremos la permeabilidad y la resistencia conforme al volumen de vacíos de cada cantera.

Por lo tanto Representaremos por medio de graficas las características mecánicas e hidráulicas de cada cantera es decir que daremos a conocer, *la resistencia a compresión versus permeabilidad y resistencia a flexión vs permeabilidad* y se proseguirá a identificar el concreto mas eficiente.

4.2 INTERPRETACION DE RESULTADOS

4.2.1 PROPIEDADES MECANICAS

4.2.1.1 RESISTENCIA A COMPRESION

Tablas 20 a, b y c “Propiedades Mecánicas (Resistencia a la Compresión)”

● EL CARMEN

Modulo de vacíos	Resistencia f' c (kg/cm ²)
15%	146.46
20%	120.25
25%	101.11

● ARAMUACA

Modulo de vacíos	Resistencia f c (kg/cm2)
15%	119.01
20%	95.70
25%	81.14

● LA PEDRERA

Modulo de vacíos	Resistencia f c (kg/cm2)
15%	79,89
20%	72.82
25%	64.08

De las tres canteras se ha podido observar que la mayor resistencia se ha obtenido en el porcentaje de vacíos del 15%, siendo la cantera el Carmen la cual obtiene mayor resistencia a compresión. Es de hacer notar que estos resultados es el promedio de tres especímenes por cantera por porcentaje de vacíos para una edad de 28 días.

4.2.1.2 RESISTENCIA A LA FLEXION

Tabla 21a, b y c "Propiedades Mecánicas (Resistencia a la Flexion)"

● EL CARMEN

Modulo de vacíos	Modulo de ruptura (kg/cm2)
15%	26.76
20%	26.15
25%	24.72

● ARAMUACA

Modulo de vacíos	Modulo de ruptura (kg/cm2)
15%	26.49

20%	25.07
25%	23.1

● LA PEDRERA

Modulo de vacíos	Modulo de ruptura (kg/cm2)
15%	23.17
20%	22.01
25%	20.66

De las tres canteras se ha podido observar que el mayor modulo de ruptura se ha obtenido en el porcentaje de vacíos del 15%, siendo la cantera el Carmen la cual obtiene un mayor modulo de ruptura. Es de hacer notar que estos resultados es el del espécimen que se reventó a los 28 días de edad.

4.2.2 PROPIEDAD HIDRAHULICA

4.2.2.1 TAZA DE PERCOLACION SOBRE EL ESPECIMEN DE CONCRETO

Tabla 22 a, b y c "Propiedades Hidráulicas (Taza de Percolacion)"

● EL CARMEN

Modulo de vacíos	Percolación (mm/seg)
15%	10.96
20%	15.96
25%	19.11

● ARAMUACA

Modulo de vacíos	Percolación (mm/seg)
15%	9.86
20%	13.04
25%	14.53

● LA PEDRERA

Modulo de vacíos	Percolación (mm/seg)
15%	25.94
20%	28.78
25%	30.28

De las tres canteras se ha podido observar que la mayor tasa de percolación se ha obtenido en el porcentaje de vacíos del 25%, siendo la cantera el de La Pedrera la que obtiene mayor tasa de percolación. Es de hacer notar que estos resultados es el promedio de tres especímenes por cantera por porcentaje de vacíos para una edad de 7 días.

4.3 RELACION DE RESISTENCIA A COMPRESION CON TAZA DE PRECOLACION

Se Graficara según cantera y porcentaje de vacíos “La Resistencia a Compresión vs Taza de Percolación” . Identificando como varia la resistencia y permeabilidad según modulo de vacíos de cada cantera.

Tabla 23 Datos de Resistencia a la Compresión vs Taza de percolación El Carmen

EL CARMEN		
% DE VACIOS	RESISTENCIA OBTENIDA KG/CM2	TAZA DE PRECOLACION OBTENIDA (MM/S)
15	146,46	10,96
20	120,25	15,96
25	101,11	19,11

Grafica 1 Relación entre Resistencia Compresión Vs Taza de Percolación Cantera el Carmen

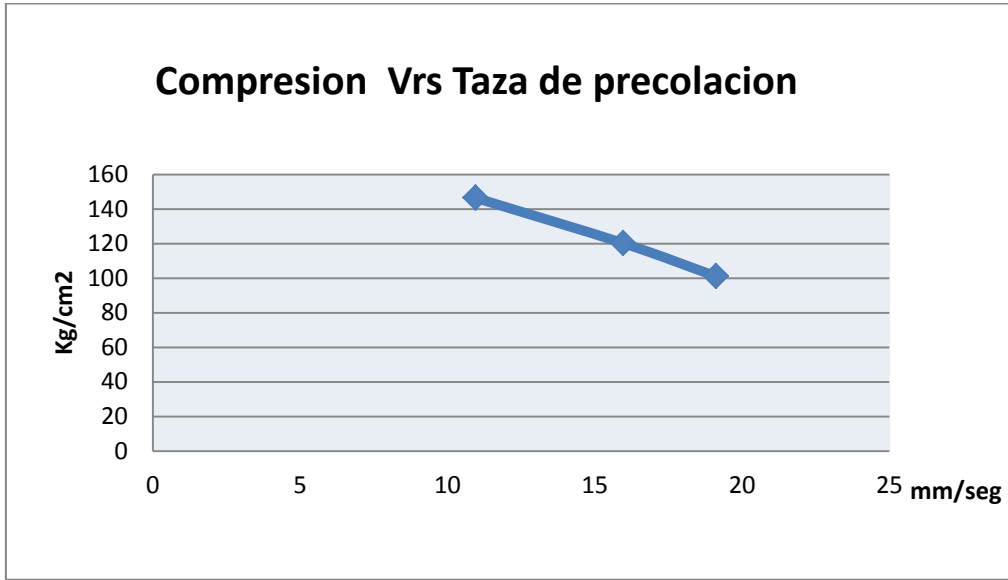


Tabla 24 Datos de Resistencia a la Compresión vs Taza de percolación Aramuaca

ARAMUACA		
% DE VACIOS	RESISTENCIA OBTENIDA (KG/CM2)	TAZA DE PERCOLACION OBTENIDA (MM/S)
15	119,01	9,86
20	95,7	13,04
25	81,11	14,53

Grafica 2 Relación entre Resistencia Compresión vs taza de percolación Cantera Aramuaca

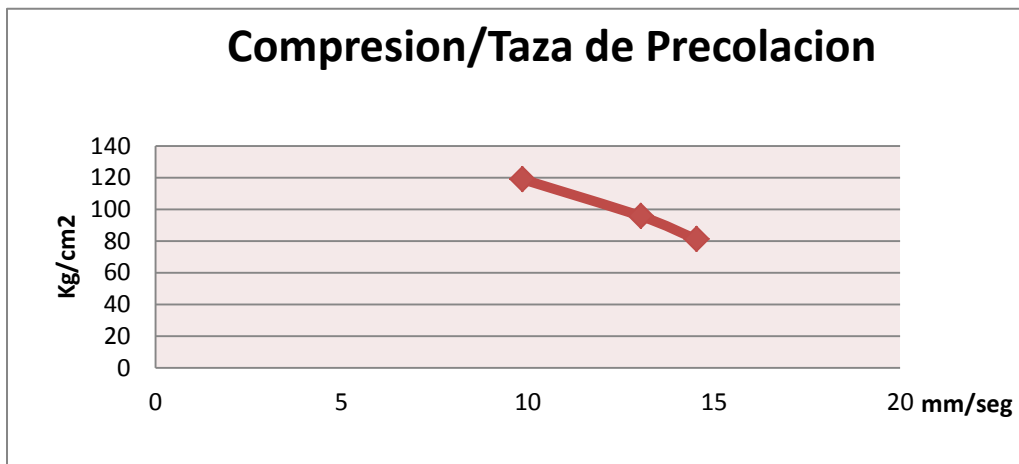
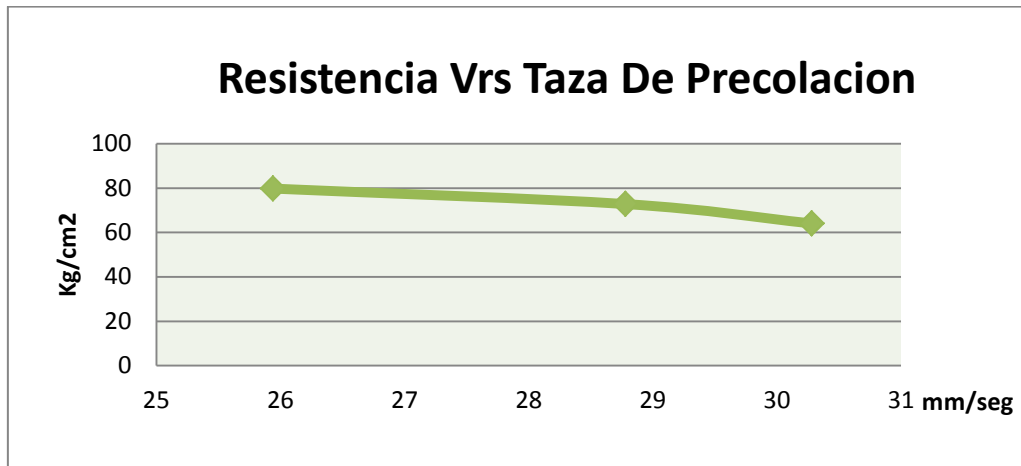


Tabla 25 Datos de Resistencia a la Compresión vs Taza de percolación Cantera La Pedrera

LA PEDRERA		
% DE VACIOS	RESISTENCIA OBTENIDA (KG/CM2)	TAZA DE PRECOLACION OBTENIDA (MM/S)
15	79,79	25,94
20	72,82	28,78
25	64,08	30,28

Grafica 3 Relación entre Compresión vs taza de percolación Cantera La Pedrera



4.4 RELACION DE RESISTENCIA A FLEXION CON TAZA DE PRECOLACION

Tabla 26 Datos de Resistencia a la Flexión vs Taza de percolación Cantera El Carmen

EL CARMEN		
% DE VACIOS	MR OBTENIDA (KG/CM2)	TAZA DE PRECOLACION OBTENIDA (MM/S)
15	26,76	10,96
20	26,15	15,96
25	24,72	19,11

Grafica 4 Relación entre Compresión vs taza de percolación Cantera El Carmen

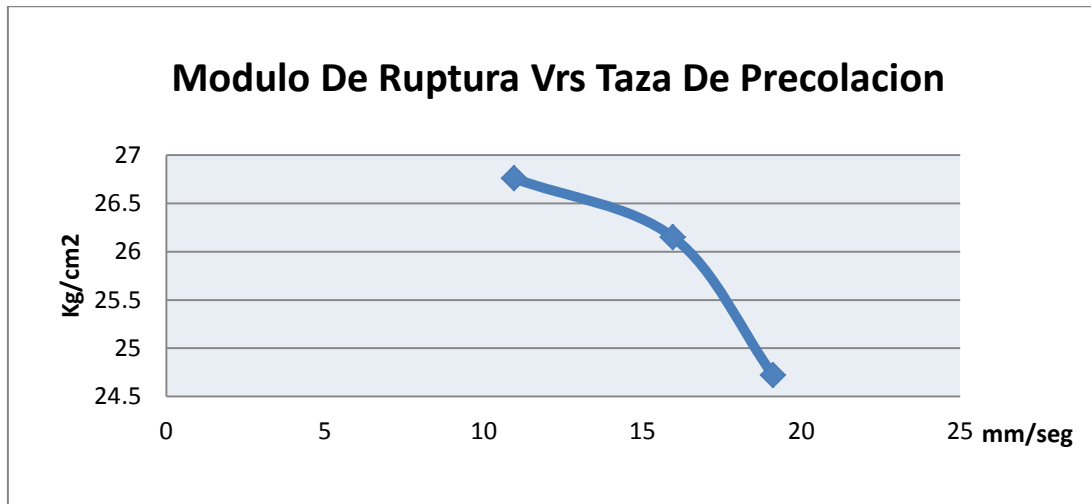


Tabla 27 Datos de Resistencia a la Flexión vs Taza de percolación Cantera Aramuaca

ARAMUACA		
% DE VACIOS	MR OBTENIDA (KG/CM2)	TAZA DE PRECOLACION OBTENIDA (MM/S)
15	26,49	9,86
20	25,07	13,04
25	23,1	14,53

Grafica 5 Relación entre Compresión vs taza de percolación Cantera Aramuaca

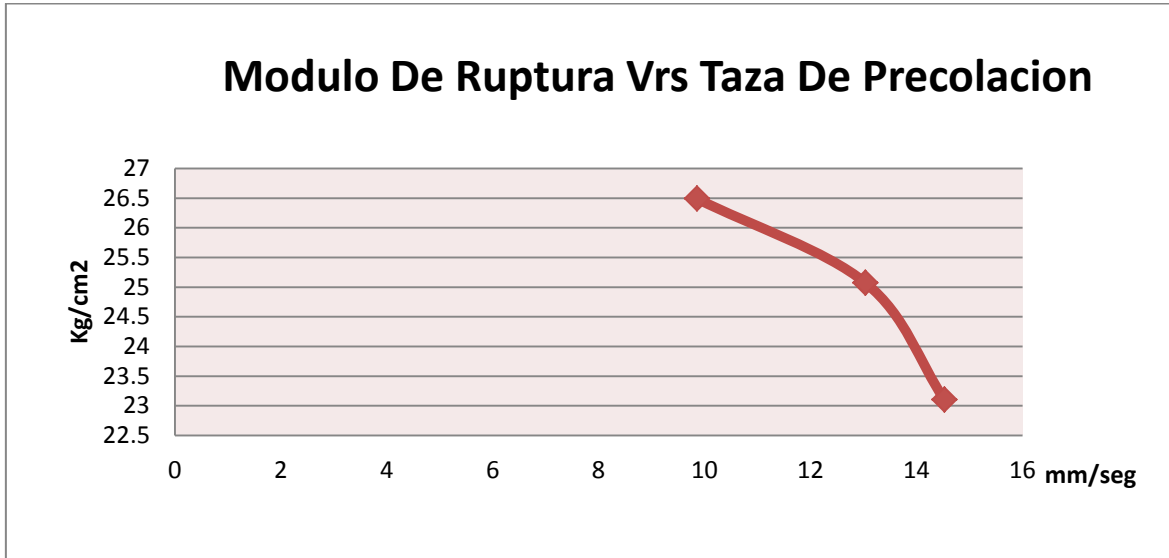
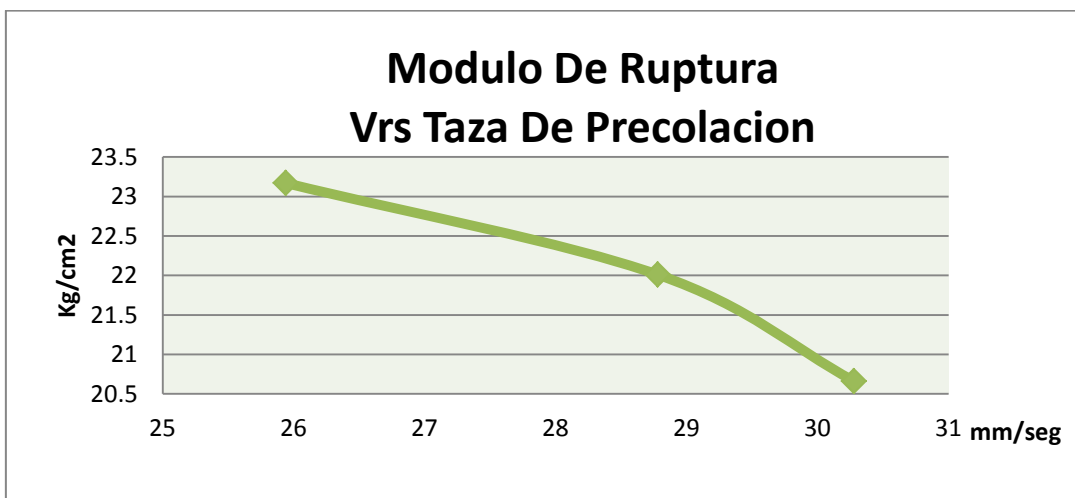


Tabla 28 Datos de Resistencia a la Flexión vs Taza de percolación Cantera La Pedrera

LA PEDRERA		
% DE VACIOS	MR OBTENIDA (KG/CM2)	TAZA DE PRECOLACION OBTENIDA (MM/S)
15	23,17	25,94
20	22,01	28,78
25	20,66	30,28

Grafica 6 Relación entre Compresión vs taza de percolación Cantera La Pedrera



4.5 ANALISIS DE RESULTADOS METODO PROBABILISTICO SEGÚN METODO ACI 214

Un número suficiente de ensayos se necesita para indicar con precisión la variación en el hormigón producido y para permitir los adecuados procedimientos estadísticos para interpretar los resultados de las pruebas.

Los procedimientos estadísticos proporcionan una base sólida para determinar a partir de estos resultados la calidad potencial y la fuerza del hormigón y para expresar los resultados en la forma más útil.

4.6 IDENTIFICACION DEL CONCRETO MÁS EFICIENTE METODO CUALITATIVO

4.6.1 INTRODUCCION

Para hacer la evaluación de nuestro concreto nos apoyaremos de una tabla de puntajes en la cual se representara por ítem relacionados a las características del agregado y el concreto hecho por tal agregado. La puntuación será en base a la importancia de la propiedad según nuestros objetivos donde la suma de los ítem en su totalidad serán 100 puntos y por lo cual se evaluaron los siguientes ítem

- Datos Generales del Agregado
- Capacidad Filtrante del Concreto Permeable
- Resistencia a Flexión del Concreto Permeable
- Resistencia a Compresión del Concreto Permeable
- Cantidad de Cemento por Metro Cubico

Se compararan las puntuaciones obtenidas en cada cantera donde se identificara según el que tenga el mayor puntaje como el concreto más eficiente.

4.6.2 CRITERIO DE EVALUACION

4.6.2.1 DATOS GENERALES DEL AGREGADO

Todo este ítem tiene un valor de 30 puntos desglosado de la siguiente forma.

- A) ESTADO NATURAL DEL AGREGADO: En este ítem se evaluará el estado natural de agregado grueso para determinar si cumple la característica de ser agregado número 8, observando cuanto agregado fino y grueso es extraído para cumplir con la característica de ser agregado número 8.

A este literal se dará un total de puntos de 16 divididos así:

- a.1) Nivel de agregado fino (es aquel que pasa la maya número 16) extraído de la muestra tendrá una puntuación máxima de *8 puntos* a la condición ideal; es decir el que tenga menor contenido de fino en su granulometría obtendrá este puntaje, seguidamente la muestra que tenga valores intermedio tendrá *4 puntos*, y a la que se le extraiga mayor contenido de fino tendrá una calificación de *1 punto* el cual se identificara de la siguiente manera

$$\text{Nivel de Agregado Fino extraído de la Muestra} = \frac{\text{Peso que pasa N}^{\circ}16}{\text{Peso de Total de la Muestra}}$$

Ecuación 12 Nivel de agregado fino Extraído de la Muestra

- a.2) Nivel de agregado grueso (es aquel que retiene en la maya de 1/2 “) extraído de la muestra tendrá una puntuación máxima de *8 puntos* a la condición ideal; es decir el que tenga menor contenido de agregado grueso menor a 3/8” en su granulometría obtendrá este puntaje, seguidamente la muestra que tenga valores intermedio tendrá *4 puntos*, y a la que se le extraiga mayor contenido de grueso tendrá una calificación de *1 punto* el cual se identificara de la siguiente manera

$$\text{Nivel de Agregado Grueso extraído de la Muestra} = \frac{\text{Peso Retenido } \frac{1}{2}''}{\text{Peso de Total de la Muestra}}$$

Ecuación 13 Nivel de agregado grueso Extraído de la Muestra

B) DETERMINACION VISUAL DE LOS CANTAMINANTES DEL AGREGADO:

A este ítem se le dará 4 puntos, al que tenga menor cantidad de contaminante de materia orgánica, suelos al nivel intermedio 2 puntos y mas contaminado 1 punto.

C) NIVEL DE ABSORCION DE AGREGADO: Este se evaluara según las pruebas de laboratorio realizadas, donde se le dará 5 puntos al que tenga mayor absorción al que tenga mayor absorción. A nivel intermedio 2 puntos y al menor 1 punto.

D) CANTIDAD DE AGREGADO SEGÚN PESO VARILLADO: Este valor es esencial para el diseño de mezcla por lo tanto lo hemos tomado en cuenta en nuestro criterio de calificación, dándole 5 puntos al que tenga mayor peso volumétrico A nivel intermedio 2 puntos y al menor 1 punto.

4.6.2.2 CAPACIDAD FILTRANTE DEL CONCRETO

Este ítem tiene un ponderación o puntaje de 25 puntos, donde obtendrá este puntaje aquella cantera que tenga mayor capacidad filtrante, la formula de calcularlo ser igual a lo siguiente:

$$\text{Puntaje} = 20 \frac{\text{Filtración en Evaluación}}{\text{Filtración Mayor}}$$

Ecuación 14 Puntuación de Filtración de Concreto

Nota: Tal puntaje será trabajado en números enteros.

4.6.2.3 RESISTENCIA A COMPRESION

Este ítem tiene una ponderación de puntaje de 25 puntos, donde obtendrá este puntaje aquella cantera que tenga fuerza a compresión, la formula de calcularlo ser igual a lo siguiente:

$$\text{Puntaje} = 20 \frac{\text{F'c en Evaluación}}{\text{F'c Mayor}}$$

Ecuación 15 Puntaje de Resistencia a la Compresión

Nota: Tal puntaje será trabajado en números enteros

4.6.2.4 MODULO DE RUPTURA

Este ítem tiene un ponderación de puntaje de 10 puntos, donde obtendrá este puntaje aquella cantera que tenga mayor MR, la formula de calcularlo ser igual a lo siguiente:

$$\text{Puntaje} = 20 \frac{\text{MR en Evaluación}}{\text{MR Mayor}}$$

Ecuación 16 Puntaje Resistencia a Flexión

4.6.2.5 GASTO DE CEMENTO POR METRO CUBICO

Este ítem tiene un ponderación de puntaje de 10 puntos, donde obtendrá este puntaje aquella cantera que gaste menos cemento, al nivel intermedio 5 puntos y mas contaminado 3 punto la formula de calcularlo ser igual a lo siguiente:

$$\text{Cant. De Cemento} = \frac{\text{Gasto en Evaluación}}{\text{Gasto Menor}}$$

Ecuación 17 Gasto de Cemento por diseño

lote de hormigón. Una prueba de fuerza no puede ser sobre la base de un solo cilindro, un mínimo de dos cilindros es requerido para cada prueba. Pruebas concretas de la fuerza son típicamente tratadas como si **caen en un patrón de distribución similar a la curva normal de distribución de frecuencia** reporta que una distribución desigual puede resultar para hormigón de alta resistencia, donde el factor limitante es la resistencia del agregado. Si los datos no son simétricos alrededor de la media, los datos pueden estar sesgados. Si la distribución se alcanzó demasiado o demasiado planas. Los datos que presentan importantes asimetría o curtosis no se distribuyen normalmente y cualquier análisis suponiendo una distribución normal puede ser engañoso más que informativo. Los datos disponibles indican que una distribución normal es apropiada bajo la mayoría de los casos cuando la resistencia del hormigón no excede 70 MPa (10.000 psi).

Cuando hay un buen control, los valores de las pruebas de resistencia se tienden a agruparse cerca del valor medio, es decir, el histograma de resultados de la prueba es alto y estrecho. Como la variación en resultados aumenta la fuerza, la propagación de los datos aumenta y la curva de distribución normal se vuelve más bajo y ancho. La distribución normal se puede definir completamente matemáticamente por dos parámetros estadísticos, la media y la desviación estándar.

4.7.1 PROCEDIMIENTO

PASO 1: Se establece la hipótesis nula y alternativa

PASO 2: Tomar una muestra aleatoria y calcular

- a) Media muestral y desviación estándar
- b) Definir intervalos de valores de modo que la frecuencia de valores esperada en cada intervalo sea por lo menos 5
- c) En cada intervalo definir la frecuencia observada en cada uno de los datos.

PASO 3: Calcular el número esperado de ocurrencias si en cada uno de los intervalos de los valores definidos. Multiplicar el tamaño de la muestra por la probabilidad de que una variable normal pertenezca al intervalo.

Paso 4: Regla de aceptación y rechazo por el método de los valores críticos

$X_2 >= X^2_{\alpha}$ Rechazo

$X_2 <= X^2_{\alpha}$ Aceptación

4.7.2 EJECUCION DEL METODO PROBABILISTICO EN CADA CANTERA Y PORCENTAJE DE VACIOS.

Cantera el Carmen 15%

1- Establecer Hipótesis

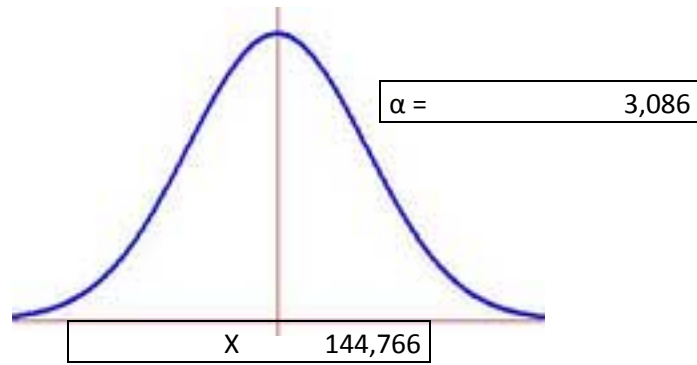
Ho: La Población tiene una distribución normal

Ha: La Población no tiene una distribución normal

2- Media Aritmética y Desviación estándar

ENSAYO	RESISTENCIA (KG/CM2)	RESISTENCIA (KG/CM2) ORDENADA	$X_1 - X$	$(X_1 - X)^2$
1	144,5	140,1	-4,666	21,772
2	147,16	141,18	-3,586	12,859
3	147,2	141,9	-2,866	8,214
4	147,1	142,13	-2,636	6,948
5	148,6	143,15	-1,616	2,611
6	142,13	143,18	-1,586	2,515
7	146,45	144,5	-0,266	0,071
8	140,1	145,24	0,474	0,225
9	141,18	146,1	1,334	1,78
10	141,9	146,45	1,684	2,836
11	143,18	147,1	2,334	5,448
12	143,15	147,16	2,394	5,731
13	145,24	147,2	2,434	5,924
14	147,5	147,5	2,734	7,475
15	146,1	148,6	3,834	14,7
TOTAL				99,109

Media Aritmética	144,766		
Desviación Estándar		S=	2,661
Desviación Estándar con fc. Corrección (1,16)			3,086



Por lo tanto se recurre a la tabla de distribución normal de poisson y se encuentran valores de Z respectivos para establecer la división de intervalos.

PORCENTAJE	Z	INTERVALOS X-Z(S)
30	-0,52	143,16
40	-0,25	143,99
50	0	144,77
60	0,25	145,54
70	0,52	146,37

CALCULO ESTADISTICO POR MEDIO DE CHI CUADRADA					
Intervalos de puntuación de examen	Frecuencia Observada	Frecuencia esperada	Diferencia	Cuadrado de la diferencia	Cuadro de la diferencia dividido entre la frecuencia
menos 143,16	4	2,5	1,5	2,25	0,9
143,16-143,99	2	2,5	-0,5	0,25	0,1
143,99-144,76	1	2,5	-1,5	2,25	0,9
144,76-145,54	1	2,5	-1,5	2,25	0,9
145,54-146,37	2	2,5	-0,5	0,25	0,1
mas 146,37	5	2,5	2,5	6,25	2,5
	15			x2=	5,4

Calculo de los valores de significancia como se tiene 6 categorías y 2 parámetros se tienen el siguiente (que será igual para todos porque se tiene el mismo número de categorías y parámetros para todos los casos):

K= Categoría	6	V.S=	k-p-1
P=parámetro	2	V.S=	3

Se considera que se usara el 5% de significancia se tiene es decir 95% de confianza y 5% de error

Se determinara en los las tablas de distribución de Chi Cuadrado el valor $X_{2\alpha}$ con tres valores de significancia y 5% de error

$X_{\alpha 2} =$	6,25
------------------	------

Por lo tanto la hipótesis se acepta $X_2 \leq X_{\alpha}^2$

$5.4 \leq 6.25$ "SE ACEPTA"

Cantera el Aramuaca 15%

1- Establecer Hipótesis

Ho: La Población tiene una distribución normal

Ha: La Población no tiene una distribución normal

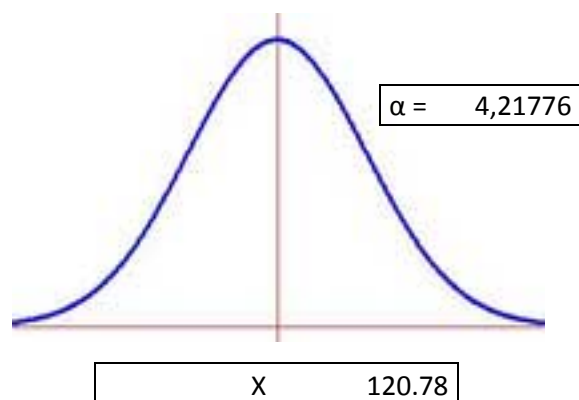
2- Media Aritmética y Desviación estándar

ENSAYO	RESISTENCIA (KG/CM2)	RESISTENCIA (KG/CM2) ORDENADA	$X_i - X$	$(X_i - X)^2$
1	119,84	111,1	-9,543	91,069
2	119	118,5	-2,143	4,592
3	121,14	118,5	-2,143	4,592
4	120,4	119	-1,643	2,699
5	125,1	119,52	-1,123	1,261
6	119,52	119,62	-1,023	1,047

7	124,5	119,84	-0,803	0,645
8	118,5	120	-0,643	0,413
9	122,15	120,4	-0,243	0,059
10	126,7	121,14	0,497	0,247
11	111,1	122,15	1,507	2,271
12	124,4	124,4	3,757	14,115
13	118,5	124,5	3,857	14,876
14	119,62	125,1	4,457	19,865
15	120	125,87	5,227	27,322
TOTAL				185,073

Media Aritmética	120,643		
Desviación Estándar		S=	3,636
Desviación Estándar con fc. Corrección (1,16)			4,21776

PORCENTAJE	Z	INTERVALOS X-Z(S)
30	-0,52	118,45
40	-0,25	119,59
50	0	120,64
60	0,25	121,7
70	0,52	122,84



CALCULO ESTADISTICO POR MEDIO DE CHI CUADRADA					
Intervalos de puntuación de examen	Frecuencia Observada	Frecuencia esperada	Diferencia	Cuadrado de la diferencia	Cuadro de la diferencia dividido entre la frecuencia
menos 118,45	1	2,5	-1,5	2,25	0,9
118,45-119,59	4	2,5	1,5	2,25	0,9
119,59-120,64	3	2,5	0,5	0,25	0,1
120,64-121,7	1	2,5	-1,5	2,25	0,9
121,7-122,84	1	2,5	-1,5	2,25	0,9
mas 122,84	4	2,5	1,5	2,25	0,9
				X ² =	4,6

Calculo de los valores de significancia como se tiene 6 categorías y 2 parámetros se tienen el siguiente (que será igual para todos porque se tiene el mismo número de categorías y parámetros para todos los casos):

K= Categoría 6 V.S= k-p-1
P=parámetro 2 V.S= 3

Se considera que se usara el 5% de significancia se tiene es decir 95% de confianza y 5% de error

Se determinara en los las tablas de distribución de Chi Cuadrado el valor X_{2α} con tres valores de significancia y 5% de error

X _{2α} =	6,25
-------------------	------

Por lo tanto la hipótesis se acepta $X_2 \leq X_{\alpha}^2$

4.6 \leq 6.25 “SE ACEPTA”

Cantera La Pedrera 15%

1- Establecer Hipótesis

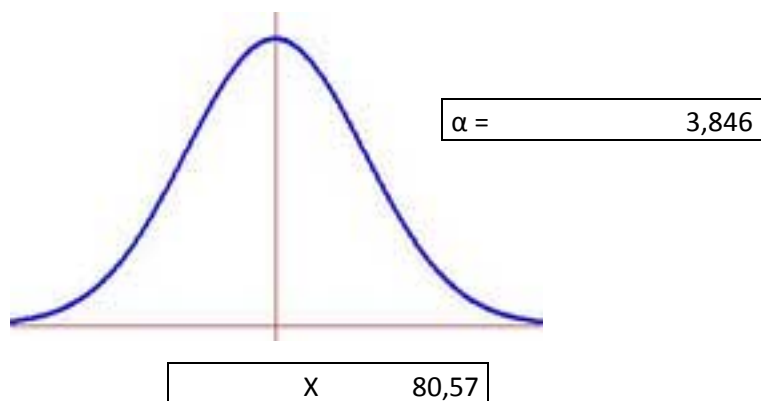
Ho: La Población tiene una distribución normal

Ha: La Población no tiene una distribución normal

2- Media Aritmética y Desviación estándar

ENSAYO	RESISTENCIA (KG/CM2)	RESISTENCIA (KG/CM2) ORDENADA	$X_i - X$	$(X_i - X)^2$
1	74,89	74,89	-5,68	32,262
2	84,1	75,28	-5,29	27,984
3	75,28	77,22	-3,35	11,223
4	80,21	78,95	-1,62	2,624
5	79,89	79	-1,57	2,465
6	81,65	79,89	-0,68	0,462
7	77,22	79,89	-0,68	0,462
8	79	80,19	-0,38	0,144
9	84,88	80,21	-0,36	0,13
10	78,95	81,65	1,08	1,166
11	85	82,15	1,58	2,496
12	80,19	84,1	3,53	12,461
13	79,89	84,88	4,31	18,576
14	82,15	85	4,43	19,625
15	85,25	85,25	4,68	21,902
TOTAL				153,982

Media Aritmética	80,57
Desviación Estándar	S= 3,316
Desviación Estándar con fc. Corrección (1,16)	3,846



Se definen los intervalos

PORCENTAJE	Z	INTERVALOS X-Z(S)
30	-0,52	78,57
40	-0,25	79,61
50	0	80,57
60	0,25	81,53
70	0,52	82,57

CALCULO ESTADISTICO POR MEDIO DE CHI CUADRADA					
Intervalos de puntuación de examen	Frecuencia Observada	Frecuencia esperada	Diferencia	Cuadrado de la diferencia	Cuadro de la diferencia dividido entre la frecuencia
menos 78,57	3	2,5	0,5	0,25	0,1
78,57-79,61	2	2,5	-0,5	0,25	0,1
79,61-80,57	4	2,5	1,5	2,25	0,9
80,57-81,53	0	2,5	-2,5	6,25	2,5
81,53-82,57	2	2,5	-0,5	0,25	0,1
mas 82,57	4	2,5	1,5	2,25	0,9
	15			X ² =	4,6

Calculo de los valores de significancia como se tiene 6 categorías y 2 parámetros se tienen el siguiente (que será igual para todos porque se tiene el mismo número de categorías y parámetros para todos los casos):

K= Categoría	6	V.S=	k-p-1
P=parámetro	2	V.S=	3

Se considera que se usara el 5% de significancia se tiene es decir 95% de confianza y 5% de error

Se determinara en los las tablas de distribución de Chi Cuadrado el valor $X_{2\alpha}$ con tres valores de significancia y 5% de error

$X_{\alpha 2} =$	6,25
------------------	------

Por lo tanto la hipótesis se acepta $X_2 \leq X_{\alpha}^2$

4.6 <= 6.25 “SE ACEPTA

Cantera El Carmen 20%

1- Establecer Hipótesis

Ho: La Población tiene una distribución normal

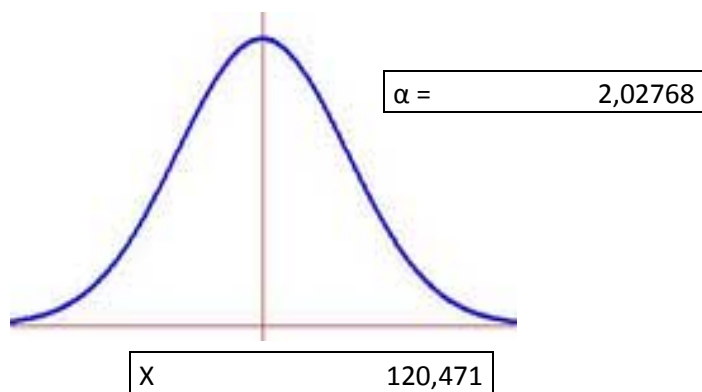
Ha: La Población no tiene una distribución normal

2- Media Aritmética y Desviación estándar

ENSAYO	RESISTENCIA (KG/CM2)	RESISTENCIA (KG/CM2) ORDENADA	$X_1 - X$	$(X_1 - X)^2$
1	117,8	117,8	-2,671	7,134
2	121	118,13	-2,341	5,48
3	119,84	119	-1,471	2,164
4	123,14	119	-1,471	2,164
5	118,13	119,48	-0,991	0,982

6	119	119,84	-0,631	0,398
7	120,25	120	-0,471	0,222
8	123	120	-0,471	0,222
9	119,48	120,25	-0,221	0,049
10	122,45	121	0,529	0,28
11	121,08	121,08	0,609	0,371
12	120	122,45	1,979	3,916
13	119	122,89	2,419	5,852
14	122,89	123	2,529	6,396
15	120	123,14	2,669	7,124
TOTAL				42,754

Media Aritmética	120,471		
Desviación Estándar		S=	1,748
Desviación Estándar con fc. Corrección (1,16)			2,02768



Se definen los intervalos

PORCENTAJE	Z	INTERVALOS X-Z(S)
30	-0,52	78,57
40	-0,25	79,61
50	0	80,57
60	0,25	81,53
70	0,52	82,57

CALCULO ESTADISTICO POR MEDIO DE CHI CUADRADA					
Intervalos de puntuación de examen	Frecuencia Observada	Frecuencia esperada	Diferencia	Cuadrado de la diferencia	Cuadro de la diferencia dividido entre la frecuencia
menos 119,42	2	2,5	-0,5	0,25	0,1
119,42-119,96	4	2,5	1,5	2,25	0,9
119,96-120,47	3	2,5	0,5	0,25	0,1
120,47-120,98	0	2,5	-2,5	6,25	2,5
120,98-121,53	2	2,5	-0,5	0,25	0,1
mas 121,53	4	2,5	1,5	2,25	0,9
	15			X ² =	4,6

Calculo de los valores de significancia como se tiene 6 categorías y 2 parámetros se tienen el siguiente (que será igual para todos porque se tiene el mismo número de categorías y parámetros para todos los casos):

$$\begin{array}{ll}
 K = \text{Categoría} & 6 \\
 P = \text{parámetro} & 2 \\
 \text{V.S} = & k - p - 1 \\
 \text{V.S} = & 3
 \end{array}$$

Se considera que se usara el 5% de significancia se tiene es decir 95% de confianza y 5% de error

Se determinara en los las tablas de distribución de Chi Cuadrado el valor $X_{2\alpha}$ con tres valores de significancia y 5% de error

$X_{\alpha 2} =$	6,25
------------------	------

Por lo tanto la hipótesis se acepta $X_2 \leq X_{\alpha}^2$

4.6 \leq 6.25 “SE ACEPTA

Cantera Aramuaca 20%

1- Establecer Hipótesis

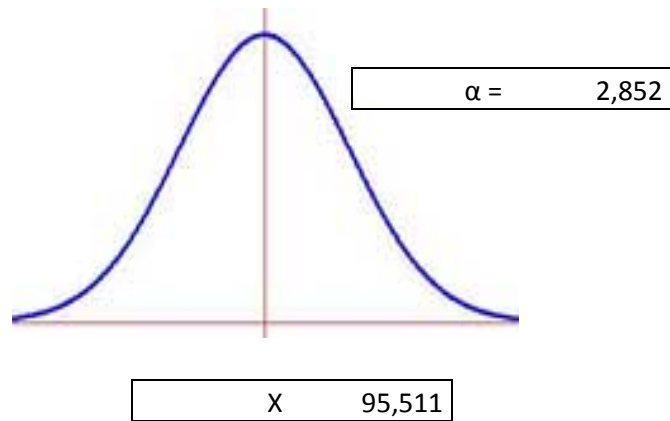
Ho: La Población tiene una distribución normal

Ha: La Población no tiene una distribución normal

2- Media Aritmética y Desviación estándar

ENSAYO	RESISTENCIA (KG/CM2)	RESISTENCIA (KG/CM2) ORDENADA	$X_i - X$	$(X_i - X)^2$
1	93,62	91,14	-4,371	19,106
2	92,87	92,87	-2,641	6,975
3	91,14	93	-2,511	6,305
4	98,15	93	-2,511	6,305
5	93	93,62	-1,891	3,576
6	99,18	94,85	-0,661	0,437
7	95,15	95,15	-0,361	0,13
8	96,25	95,45	-0,061	0,004
9	97,85	96,2	0,689	0,475
10	96,2	96,25	0,739	0,546
11	96,8	96,8	1,289	1,662
12	95,45	97,85	2,339	5,471
13	99,15	98,15	2,639	6,964
14	93	99,15	3,639	13,242
15	94,85	99,18	3,669	13,462
TOTAL				84,66

Media Aritmética	95,511		
Desviación Estándar		S=	2,459
Desviación Estándar con fc. Corrección (1,16)			2,852



Se definen los intervalos

PORCENTAJE	Z	INTERVALOS X-Z(S)
30	-0,52	78,57
40	-0,25	79,61
50	0	80,57
60	0,25	81,53
70	0,52	82,57

CALCULO ESTADISTICO POR MEDIO DE CHI CUADRADA					
Intervalos de puntuación de examen	Frecuencia Observada	Frecuencia esperada	Diferencia	Cuadrado de la diferencia	Cuadro de la diferencia dividido entre la frecuencia
menos 94,03	5	2,5	2,5	6,25	2,5
94,03-94,8	0	2,5	-2,5	6,25	2,5
94,8-95,51	3	2,5	0,5	0,25	0,1
95,51-96,22	1	2,5	-1,5	2,25	0,9
96,22-96,99	2	2,5	-0,5	0,25	0,1
mas 96,99	4	2,5	1,5	2,25	0,9
	15			X ² =	7

Calculo de los valores de significancia como se tiene 6 categorías y 2 parámetros se tienen el siguiente (que será igual para todos porque se tiene el mismo número de categorías y parámetros para todos los casos):

K= Categoría	6	V.S=	k-p-1
P=parámetro	2	V.S=	3

Se considera que se usara el 5% de significancia se tiene es decir 95% de confianza y 5% de error

Se determinara en los las tablas de distribución de Chi Cuadrado el valor $X_{2\alpha}$ con tres valores de significancia y 5% de error

$X_{\alpha 2} =$	6,25
------------------	------

Por lo tanto la hipótesis se acepta $X_2 \leq X_{\alpha}^2$

$7 \geq 6.25$ “SE RECHAZA”

Cantera La Pedrera 20%

1- Establecer Hipótesis

Ho: La Población tiene una distribución normal

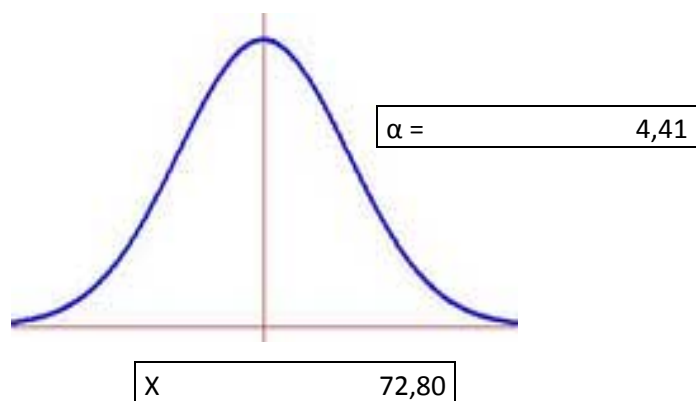
Ha: La Población no tiene una distribución normal

2- Media Aritmética y Desviación estándar

ENSAYO	RESISTENCIA (KG/CM2)	RESISTENCIA (KG/CM2) ORDENADA	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	69,47	65,14	-7,668	58,798
2	65,14	69,18	-3,628	13,162
3	72,4	69,47	-3,338	11,142
4	73,28	69,85	-2,958	8,75
5	72,05	69,85	-2,958	8,75
6	69,85	72,05	-0,758	0,575
7	77,22	72,4	-0,408	0,166

8	79	72,8	-0,008	0
9	73,65	73,28	0,472	0,223
10	75,9	73,65	0,842	0,709
11	69,85	73,83	1,022	1,044
12	73,83	75,9	3,092	9,56
13	69,18	77,22	4,412	19,466
14	78,5	78,5	5,692	32,399
15	72,8	79	6,192	38,341
TOTAL				203,085

Media Aritmética	72,808
Desviación Estándar	S= 3,809
Desviación Estándar con fc. Corrección (1,16)	4,41844



Se definen los intervalos

PORCENTAJE	Z	INTERVALOS X-Z(S)
30	-0,52	78,57
40	-0,25	79,61
50	0	80,57
60	0,25	81,53
70	0,52	82,57

CALCULO ESTADISTICO POR MEDIO DE CHI CUADRADA					
Intervalos de puntuación de examen	Frecuencia Observada	Frecuencia esperada	Diferencia	Cuadrado de la diferencia	Cuadro de la diferencia dividido entre la frecuencia
menos70,51	5	2,5	2,5	6,25	2,5
70,51-71,7	0	2,5	-2,5	6,25	2,5
71,7-72,81	3	2,5	0,5	0,25	0,1
72,81-73,91	3	2,5	0,5	0,25	0,1
73,91-75,11	1	2,5	-1,5	2,25	0,9
mas75,11	3	2,5	0,5	0,25	0,1
	15			X ² =	6,2

Calculo de los valores de significancia como se tiene 6 categorías y 2 parámetros se tienen el siguiente (que será igual para todos porque se tiene el mismo número de categorías y parámetros para todos los casos):

$$\begin{array}{ll}
 K = \text{Categoría} & 6 \\
 P = \text{parámetro} & 2 \\
 \text{V.S} = & k-p-1 \\
 \text{V.S} = & 3
 \end{array}$$

Se considera que se usara el 5% de significancia se tiene es decir 95% de confianza y 5% de error

Se determinara en los las tablas de distribución de Chi Cuadrado el valor $X_{2\alpha}$ con tres valores de significancia y 5% de error

$X_{\alpha 2} =$	6,25
------------------	------

Por lo tanto la hipótesis se acepta $X_2 \leq X_{\alpha}^2$

6.2 ≥ 6.25 “SE ACEPTA”

Cantera El Carmen 25%

1- Establecer Hipótesis

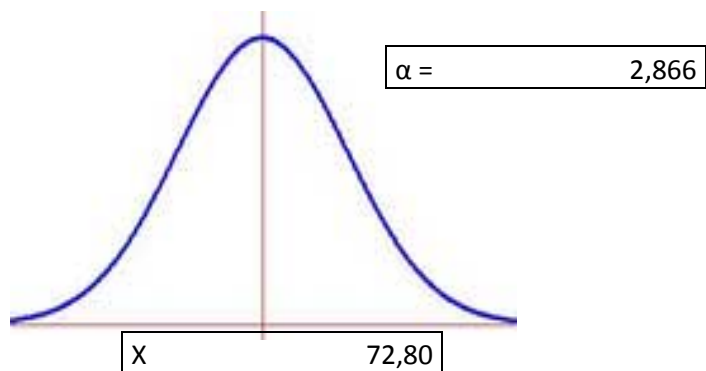
Ho: La Población tiene una distribución normal

Ha: La Población no tiene una distribución normal

2- Media Aritmética y Desviación estándar

ENSAYO	RESISTENCIA (KG/CM2)	RESISTENCIA (KG/CM2) ORDENADA	$X_i - X$	$(X_i - X)^2$
1	103,58	97,1	-4,023	16,185
2	99	98,54	-2,583	6,672
3	101	98,56	-2,563	6,569
4	99,86	99	-2,123	4,507
5	97,1	99,5	-1,623	2,634
6	105,15	99,86	-1,263	1,595
7	98,54	99,98	-1,143	1,306
8	99,98	101	-0,123	0,015
9	102,36	101,25	0,127	0,016
10	101,25	102,3	1,177	1,385
11	102,3	102,36	1,237	1,53
12	99,5	103,58	2,457	6,037
13	104,68	103,98	2,857	8,162
14	98,56	104,68	3,557	12,652
15	103,98	105,15	4,027	16,217
TOTAL				85,482

Media Aritmética		101,123
Desviación Estándar	S=	2,471
Desviación Estándar con fc. Corrección (1,16)		2,866



Se definen los intervalos

PORCENTAJE	Z	INTERVALOS X-Z(S)
30	-0,52	78,57
40	-0,25	79,61
50	0	80,57
60	0,25	81,53
70	0,52	82,57

CALCULO ESTADISTICO POR MEDIO DE CHI CUADRADA					
Intervalos de puntuación de examen	Frecuencia Observada	Frecuencia esperada	Diferencia	Cuadrado de la diferencia	Cuadro de la diferencia dividido entre la frecuencia
menos 99,63	5	2,5	2,5	6,25	2,5
99,63-100,41	3	2,5	0,5	0,25	0,1
100,41-101,12	1	2,5	-1,5	2,25	0,9
101,12-101,84	0	2,5	-2,5	6,25	2,5
101,84-102,61	2	2,5	-0,5	0,25	0,1
mas 102,61	4	2,5	1,5	2,25	0,9
	15			X ² =	7

Calculo de los valores de significancia como se tiene 6 categorías y 2 parámetros se tienen el siguiente (que será igual para todos porque se tiene el mismo número de categorías y parámetros para todos los casos):

K= Categoría 6

P=parámetro 2

$$V.S = k - p - 1$$

$$V.S = 3$$

Se considera que se usara el 5% de significancia se tiene es decir 95% de confianza y 5% de error

Se determinara en los las tablas de distribución de Chi Cuadrado el valor $X_{2\alpha}$ con tres valores de significancia y 5% de error

$X_{\alpha 2} =$	6,25
------------------	------

Por lo tanto la hipótesis se acepta $X_2 \leq X_{\alpha}^2$

7 >= 6.25 “SE RECHAZA”

Cantera Aramuaca 25%

1- Establecer Hipótesis

Ho: La Población tiene una distribución normal

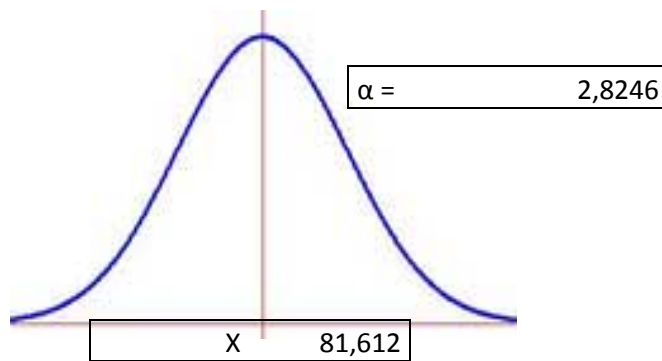
Ha: La Población no tiene una distribución normal

2- Media Aritmética y Desviación estándar

ENSAYO	RESISTENCIA (KG/CM2)	RESISTENCIA (KG/CM2) ORDENADA	$X_i - X$	$(X_i - X)^2$
1	82,39	77	-4,612	21,271
2	82	78,52	-3,092	9,56
3	78,52	78,56	-3,052	9,315
4	77	79,69	-1,922	3,694
5	83,56	80,25	-1,362	1,855
6	81,14	81,14	-0,472	0,223
7	82,65	81,19	-0,422	0,178
8	79,69	82	0,388	0,151
9	78,56	82,39	0,778	0,605
10	81,19	82,65	1,038	1,077
11	80,25	83,54	1,928	3,717
12	85,54	83,56	1,948	3,795
13	84,15	84	2,388	5,703

14	83,54	84,15	2,538	6,441
15	84	85,54	3,928	15,429
TOTAL				83,014

Media Aritmética	81,612		
Desviación Estándar	S=	2,435	
Desviación Estándar con fc. Corrección (1,16)	2,8246		



Se definen los intervalos

PORCENTAJE	Z	INTERVALOS X-Z(S)
30	-0,52	78,57
40	-0,25	79,61
50	0	80,57
60	0,25	81,53
70	0,52	82,57

CALCULO ESTADISTICO POR MEDIO DE CHI CUADRADA					
Intervalos de puntuación de examen	Frecuencia Observada	Frecuencia esperada	Diferencia	Cuadrado de la diferencia	Cuadro de la diferencia dividido entre la frecuencia
menos80,14	4	2,5	1,5	2,25	0,9
80,14-80,91	1	2,5	-1,5	2,25	0,9
80,91-81,61	2	2,5	-0,5	0,25	0,1
81,61-82,32	1	2,5	-1,5	2,25	0,9
82,32-83,08	2	2,5	-0,5	0,25	0,1
mas83,08	5	2,5	2,5	6,25	2,5
	15			X ² =	5,4

Calculo de los valores de significancia como se tiene 6 categorías y 2 parámetros se tienen el siguiente (que será igual para todos porque se tiene el mismo número de categorías y parámetros para todos los casos):

$$\begin{array}{ll}
 K = \text{Categoría} & 6 \\
 P = \text{parámetro} & 2
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{ll}
 \text{V.S} = & k-p-1 \\
 \text{V.S} = & 3
 \end{array}$$

Se considera que se usara el 5% de significancia se tiene es decir 95% de confianza y 5% de error

Se determinara en los las tablas de distribución de Chi Cuadrado el valor $X_{2\alpha}$ con tres valores de significancia y 5% de error

$X_{2\alpha} =$	6,25
-----------------	------

Por lo tanto la hipótesis se acepta $X_2 \leq X_{\alpha}^2$

5.4 \leq 6.25 “SE ACEPTA”

Cantera la Pedrera 15%

1- Establecer Hipótesis

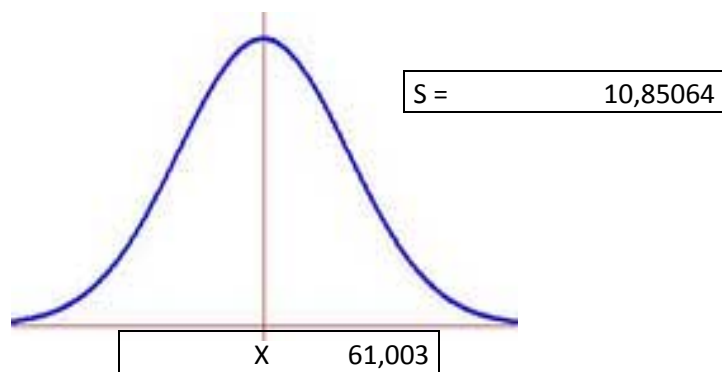
Ho: La Población tiene una distribución normal

Ha: La Población no tiene una distribución normal

2- Media Aritmética y Desviación estándar

ENSAYO	RESISTENCIA (KG/CM2)	RESISTENCIA (KG/CM2) ORDENADA	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	58,45	48,15	-12,853	165,2
2	49,93	49,93	-11,073	122,611
3	50,85	50,85	-10,153	103,083
4	60,56	52,12	-8,883	78,908
5	72,05	55,56	-5,443	29,626
6	48,15	58,1	-2,903	8,427
7	55,56	58,45	-2,553	6,518
8	62,45	59,82	-1,183	1,399
9	59,82	60,56	-0,443	0,196
10	64,08	62,45	1,447	2,094
11	78,56	64,08	3,077	9,468
12	75,11	69,25	8,247	68,013
13	52,12	72,05	11,047	122,036
14	69,25	75,11	14,107	199,007
15	58,1	78,56	17,557	308,248
TOTAL				1224,834

Media Aritmética	61,003		
Desviación Estándar	S=	9,354	
Desviación Estándar con fc. Corrección (1,16)	10,85064		



Se definen los intervalos

PORCENTAJE	Z	INTERVALOS X-Z(S)
30	-0,52	78,57
40	-0,25	79,61
50	0	80,57
60	0,25	81,53
70	0,52	82,57

CALCULO ESTADISTICO POR MEDIO DE CHI CUADRADA					
Intervalos de puntuación de examen	Frecuencia Observada	Frecuencia esperada	Diferencia	Cuadrado de la diferencia	Cuadro de la diferencia dividido entre la frecuencia
menos55,36	4	2,5	1,5	2,25	0,9
55,36-58,29	2	2,5	-0,5	0,25	0,1
58,29-61	3	2,5	0,5	0,25	0,1
61-63,72	1	2,5	-1,5	2,25	0,9
63,72-66,65	2	2,5	-0,5	0,25	0,1
mas66,65	3	2,5	0,5	0,25	0,1
	15			X ² =	2,2

Calculo de los valores de significancia como se tiene 6 categorías y 2 parámetros se tienen el siguiente (que será igual para todos porque se tiene el mismo número de categorías y parámetros para todos los casos):

K= Categoría 6

P=parámetro 2

$$\begin{aligned} V.S &= k-p-1 \\ V.S &= 3 \end{aligned}$$

Se considera que se usara el 5% de significancia se tiene es decir 95% de confianza y 5% de error

Se determinara en los las tablas de distribución de Chi Cuadrado el valor $X_{2\alpha}$ con tres valores de significancia y 5% de error

$X_{\alpha 2} =$	6,25
------------------	------

Por lo tanto la hipótesis se acepta $X_2 \leq X_{\alpha}^2$

2.2 \leq 6.25 “SE ACEPTA”

CAPITULO 5.0



APLICACIÓN DE CONCRETO PERMEABLE EN LOSA

5.1 INTRODUCCION

Una vez que se ha determinado la mejor opción para hacer concreto permeable con los agregados de la zona oriental se prosiguió a realizar la losa de concreto permeable con el diseño de mezcla elegido.

En el presente capítulo se detallara como se realizó la losa demostrativa de concreto permeable para lo cual se reconoció el suelo por medio de la prueba visual manual lo que según inspecciones se determinó el alto índice de plasticidad del suelo, no se hicieron pruebas de filtración y caracterización en el suelo debido a que la losa tan solo era de carácter demostrativo.

Las Dimensiones que se realizó fueron de dos metros cuadrado. En el proceso de realización de la losa de concreto permeable se llevaron a cabo una serie de actividades para los cuales se tomo en cuenta en cada uno de ellas el control de calidad de la ejecución, el empleo de materiales adecuados y el buen desarrollo de los procesos constructivos.

5.2 RECONOCIMIENTO DEL LUGAR

La losa de concreto permeable de carácter demostrativo se realizo al costado Norte del departamento de Ingeniería y Arquitectura

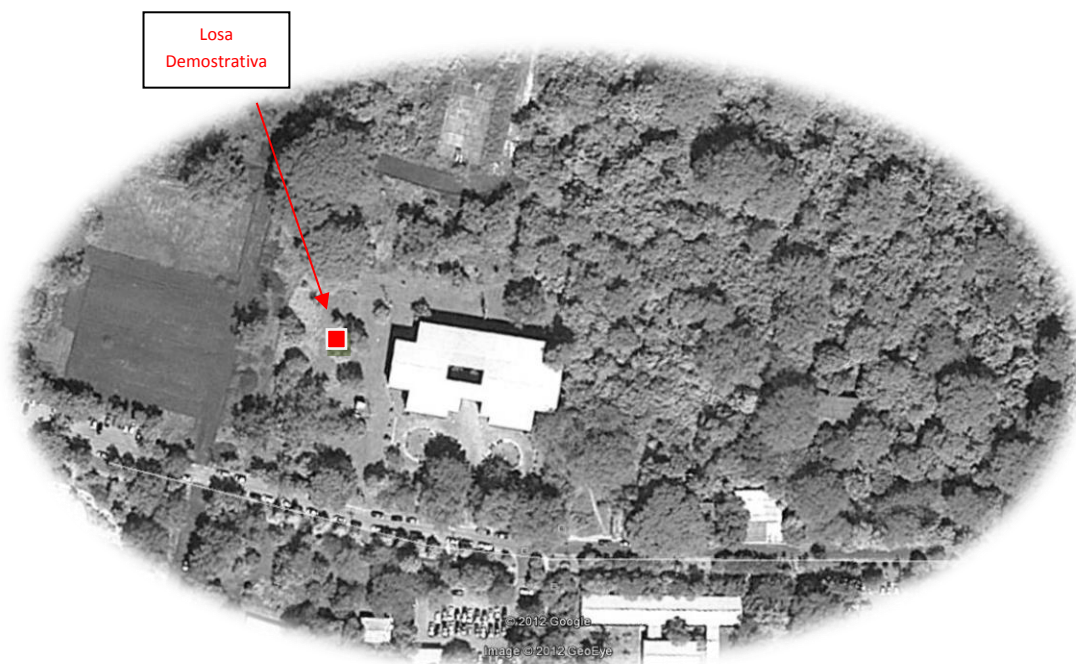


Ilustración 94 "Lugar de Losa de Prueba"


5.3 SELECCION DE DIMENCIONES DE LOSA DEMOSTRATIVA.

5.3.1 REALIZACION DE PRUEBA "DESCRIPCION VISUAL-MANUAL DE LOS SUELOS" (A.S.T.M.D - 2488).

5.3.1.1 INTRODUCCION

Los sistemas son tan antiguos como la misma mecánica de suelos, en un principio estos se basaban más que todo, en una descripción visual (olor, color, textura, etc.). La importancia que tiene identificar un suelo con fines ingenieriles estriba en conocer de manera cualitativa, las propiedades mecánicas e hidráulicas de éste la cual nos brinda un clasificación considerable si se conoce como hacerlo. Se usado este método de clasificación debido a que solo es con fines demostrativos, de caracterización, y las dimensiones de la losa es pequeña y solo es con fines de mostrar como es el acabado de una losa de concreto permeable.

5.3.1.2 MATERIAL Y EQUIPO PARA LA CLASIFICACION

Material y Equipo	Descripción
	<p>Muestra de Suelo Alterada: de la excavación realizada se eligió una muestra del tipo de suelo</p>
	<p>Probetas Graduadas: Se usan para la prueba de segregación de suelo por sedimentación</p>
	<p>Placa de Vidrio de 20*20cm:</p>
	<p>Navjas</p>

5.3.1.3 DE INSPECCIÓN VISUAL

El color aparente de una muestra en estado seco y húmedo, el ensayo permite determinar la presencia de orgánicos u otros elementos presentes en el suelo. El color de los suelos es una característica que varía con el contenido de humedad. Por simple inspección visual del color de una muestra en estudio, se determina lo siguiente

Nombre del ensayo	Parámetro	Símbolo	Identificación
COLOR	Café oscuro a negro.	ON	Suelo con alto contenido de orgánicos.
	Rojizo a rojo oscuro	RO	Contenido de óxido de hierro, combinaciones químicas de hierro.
	Amarillo a café amarillento	AC	Contenido de hierro o hierro hidratado

	Blanco	B	Contenido de sílice, limo compuesto de aluminio.
--	--------	---	--

 Ítem elegido

5.3.1.4 ENSAYO DE SACUDIMIENTO:

Este ensayo es útil para la identificación de suelo de grano fino

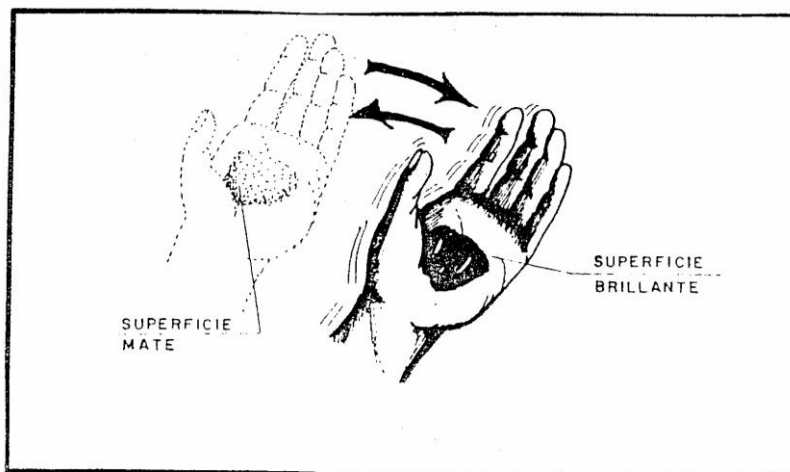



Ilustración 95
Sacudimiento de la muestra húmeda

Sacudimiento de muestra húmeda.

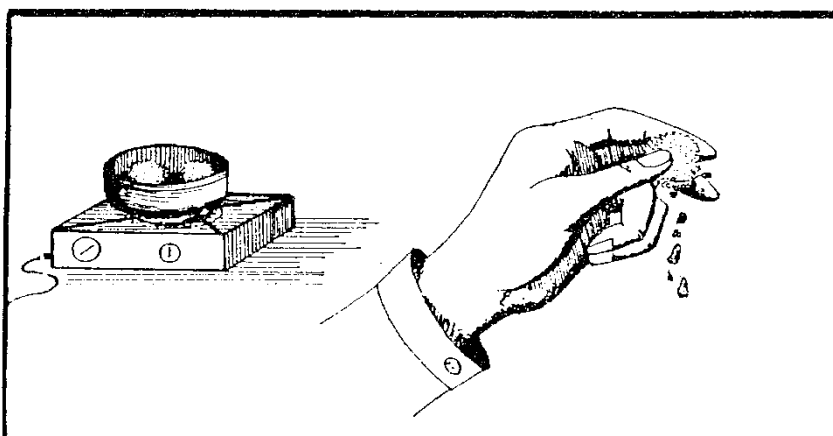
Habrán que distinguir los tres tipos de reacción que puede presentar un suelo así:

- ✓ Rápida: indica falta de plasticidad, por ejemplo limos orgánicos, polvo, roca, arena fina.
- ✓ Lenta: Limos arcillas ligeramente plásticas
- ✓ Sin reacción: indica arcillas plásticas o material orgánico.

Nombre del ensayo	Parámetro	Símbolo	Identificación
SACUDIMIENTO	Reacción rápida	RR	Limo inorgánico, polvo de roca, arena muy fina.
	Reacción lenta	RL	Limo, arcilla limosa.
	No reacciona	NR	Turba (materia orgánica)

 Ítem elegido

5.3.1.5 ENSAYO DE ROTURA: Se usa para determinar la resistencia en seco de un suelo y es una medida de la cohesión (adherencia entre las partículas).



Desmenuzamiento de muestra seca.

Ilustración 96 Desmenuzamiento de la muestra

Se deberá distinguir algún tipo de resistencia como la siguiente:

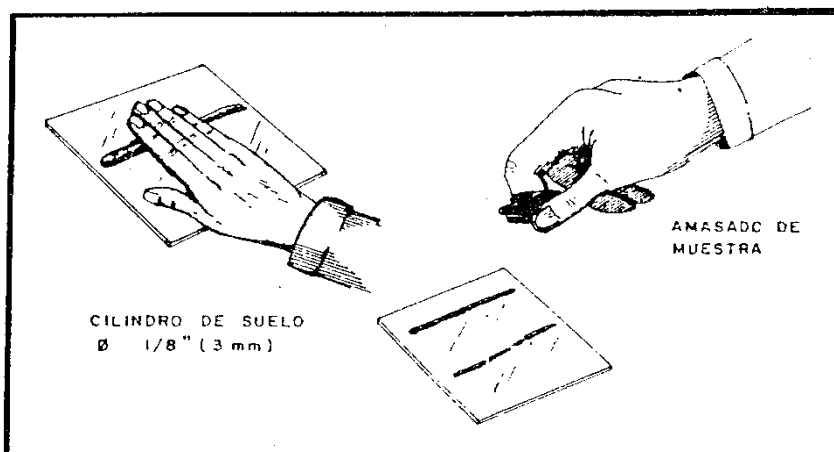
- ✓ Ligera: indica la presencia de limo inorgánico, polvo de roca o arena limosa.
- ✓ Media: denota una arcilla inorgánica de plasticidad media a baja.
- ✓ Alta: indica una arcilla inorgánica altamente plástica, se puede romper la muestra pero no pulverizarse.

Nombre del ensayo	Parámetro	Símbolo	Identificación
ROTURA	Ligera	L	Limo inorgánico, polvo de roca, arena limosa.
	Media	M	Arcilla inorgánica, (plasticidad entre baja y media)
	Alta	A	Arcilla inorgánica, (Altamente plástica).

Ítem elegido



5.3.1.5 ENSAYO DE PLASTICIDAD: Se realiza para suelos arcillosos, para determinar la capacidad de ser moldeado bajo un contenido de agua adecuado.



Suelo en forma de cilindro.

Ilustración 97 Suelo en forma de cilindro

Nombre del ensayo	Parámetro	Símbolo	Identificación
PLASTICIDAD	Cilindro, tenaz	CT	Arcilla de gran plasticidad
	Cilindro de moderada plasticidad	CM	Suelo de plasticidad media
	Cilindro débil	CD	Suelo de baja plasticidad

Ítem elegido



5.3.1.6 ENSAYO DE BRILLO: Se aplica a suelos cohesivos, con el objeto de conocer el grado de plasticidad de un suelo.

- Si es brillante, indica una arcilla muy plástica.
- Si es mate, indica que es un limo o una arcilla de baja plasticidad.

Nombre del ensayo	Parámetro	Símbolo	Identificación
BRILLO	Superficie brillante	SB	Arcilla muy plástica
	Superficie mate	SM	Limo, arcilla de baja plasticidad.

Ítem elegido



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



DESCRIPCIÓN VISUAL-MANUAL DE LOS SUELOS" A.S.T.M.D – 2488

Proyecto: Comportamiento del Concreto Permeable con los Agregados de la zona Oriental
Ubicación Universidad de El Salvador Hoja No. 1
 Fecha: 29/09/12

Nombre del ensayo	Parámetro	Símbolo	Identificación
COLOR	Blanco	B	Contenido de sílice,
PLASTICIDAD	Cilindro, tenaz	CT	Arcilla de gran
SACUDIMIENTO	Reacción lenta	RL	Limo, arcilla limosa.
ROTURA	Alta	A	Arcilla inorgánica,
BRILLO	Superficie brillante	SB	Arcilla muy plástica
SEDIMENTACIÓN			
SONIDO			

Laboratorista: _____

Observaciones; Se Determino mediante la Prueba visual manual que la arcilla es altamente plástica y tal prueba solo se realizo para termino de reconocimiento del suelo.

5.3.2 CRITERIOS DE DIMENSIONAMIENTO DE LA LOSA DEMOSTRATIVA.

5.3.2.1 SELECCIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO

En primer lugar, los estudios han confirmado que los hombros de un peatón adulto no ocupan más de 0.5 metros de ancho y que su grueso o espesor es menor de 0.3 metros, datos que han permitido seleccionar para la proyección horizontal de un peatón promedio una elipse de 0.6 metros de largo por 0.45 metros de ancho. Estas dimensiones son mínimas y corresponden a situaciones en donde las personas deben estar muy próximas unas con otras. Toda vez que se otorgue mayor importancia a la comodidad del peatón, esta norma debe ser incrementada a discreción.

El otro elemento para consideración en el diseño, es la velocidad de desplazamiento del peatón, que se ubica en un rango muy amplio pero que según el MUTCD está comprendida entre 0.8 y 1.8 metros por segundo, siendo aceptado un promedio general de 1.2 metros por segundo. Para el diseño de instalaciones peatonales para las personas de la tercera edad, se puede utilizar una norma de velocidad reducida a 0.9 metros por segundo

Niveles de Servicio en las Aceras

Para cuantificar la movilidad relativa de los peatones en las aceras, con la debida consideración de sus posibles conflictos con otros peatones, su área de maniobra y su comodidad, se han establecido niveles de servicio similares a los utilizados en el cálculo de las carreteras, con áreas en metros cuadrados por peatón, que se van estrechando en la medida que se sacrifica el nivel de servicio escogido.

Bajo esa concepción se plantean los siguientes parámetros para diseño:

➤ ***Nivel de Servicio A:*** Debe proporcionarse un promedio de 12 metros cuadrados por peatón o más, para permitir que cada persona escoja la

velocidad de desplazamiento que desee, sin tener conflictos con otros peatones.

- **Nivel de Servicio B:** Se establece un rango entre 4 y 12 metros cuadrados por peatón, empezando a sentirse la presencia de otros peatones en la acera.
- **Nivel de Servicio C:** Equivale a una tasa de ocupación entre 2 y 4 metros cuadrados por peatón, que ya exige la adopción de ajustes en la velocidad y la dirección del desplazamiento, para evitar conflictos con otros usuarios.
- **Nivel de Servicio D:** Con una disponibilidad entre 1.5 y 2 metros cuadrados por peatón, ya se encuentra restringida la capacidad de cada individuo para seleccionar su velocidad y adelantar a otros peatones.
- **Nivel de Servicio E:** El espacio se limita a una oferta comprendida entre 0.5 y 1.5 metros cuadrados/peatón. Se reduce la velocidad de desplazamiento de todos los peatones por la aglomeración, obligando a algunos a cambiar de sentido o buscar alternativas para satisfacer sus necesidades de mayor espacio.
- **Nivel de Servicio F:** La ocupación es menor de 0.5 metros cuadrados por peatón. En estas situaciones, algunos peatones se ven obligados a detenerse en la marcha o a refugiarse en áreas de espera, siendo capaces de avanzar solamente entretejiendo el recorrido. En este nivel de servicio, que corresponde a la capacidad, es inevitable el contacto con otros peatones en la vía. “Referencia Manual Centro Americano de Diseño de Carreteras” SIECA

Según los niveles de servicio establecidos por el Manual Centro Americano de Diseño de Carreteras se elegirá **nivel de servicio C** debido a que la zona de prueba no es muy transitable, y tan solo es de carácter demostrativo.

5.3.2.2 PREDIMECIONAMIENTO

Como se estableció el nivel de servicio “C” y debe de cumplir como máximo con 4m² se determina que sus dimensiones será:

Largo: 2m

Ancho: 2m

De esa forma y con tales dimensiones cumplirá con los requerimientos para ser una acera de nivel “C”

Para conocer el espesor de la capa de sub-base recurrimos al ACI 522 R en el apéndice 7 en el cual nos dice que debe de colocarse 6in 12in (150- 30mm) de material granular con un 10% de limo o arcilla para generar cohesión. La sub-base no debe ser molestada, barro, saturado, o congelados, cuando comienza la colocación. La los suelos de sub rasante debe ser humedecido antes de la colocación del concreto. Si no se proporciona una sub base húmeda se traducirá en una reducción en la resistencia del pavimento y puede conducir a un fracaso prematuro del pavimento. Para garantizar la uniformidad de compactación, los surcos de las ruedas deben ser rastrilladas y compactada antes de la colocación de las concretas operaciones. Si las propiedades del suelo sub rasante exigir que una cama recarga agregado debe incorporarse al drenaje diseño del sitio, debe ser colocado en el preparado sub-base, compactada y recortada a la altura adecuada

En cuanto al espesor del pavimento nos basamos en el apéndice 2 en el cual nos habla acerca de las vías de acceso de pavimentos de concreto permeable y nos dice que el rango práctico de diseño para espesores concreto permeable es de 6 a 10 pulgadas (150 a 250 mm) para pavimentos lisos.

5.3.2.3 CALCULO DE MATERIALES

Concreto Permeable

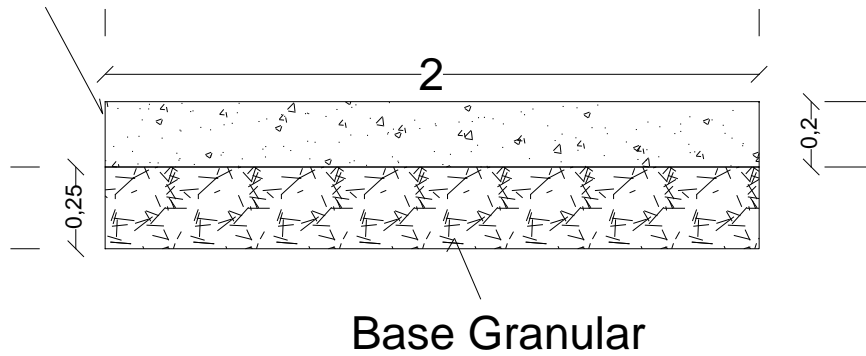


Ilustración 98 "Corte Perfil"

➤ Base Granular

$V = \text{largo} \times \text{ancho} \times \text{espesor}$

$$V = 2 \times 2 \times 0.25$$

$$V = 1 \text{ m}^3$$

➤ Base Granular

$V = \text{largo} \times \text{ancho} \times \text{espesor}$






$$V = 2 \times 2 \times 0.2$$

$$V = 0.8 \text{ m}^3$$

Y Según el diseño de mezcla para un 15% de vacíos y de la cantera el Carmen se usara la siguiente cantidad de materiales.

Cantidad de Cemento=	476,87 kg
Cantidad de Agregado=	1203,20 kg
Cantidad de Agua=	172,00 lts

5.4 MATERIALES Y EQUIPO

Material y Equipo	Descripción
	Cemento: El Cemento que se usara será el tipo HE el cual ah sido el mismo cemento que se ah usado en la experimentación de compresión de cilindro.
	Agua El agua debe ser potable y libre de contaminantes para un buen concreto
El Carmen 	Grava: Se uso Grava numero 8 tipo chispa para la realización de la losa la cual se le clasifico como el mejor agregado
	Balanza. Con capacidad de 30kg. Para realizar las proporciones del diseño de mezcla.
	Tablas. Para poder realizar el encofrado en la losa peatonal



Pala de aluminio. Para el manejo de la grava.

Pisón de Compactación:

Rudimentario Utensilio el cual sirvió para compactar la grava y el concreto



Cubetas de Plástico: Para cargar los materiales.



Concretara de Una Bolsa : para la elaboración de concreto

5.5 CONCEPTO BASICOS

- **LOSA:** cubierta plana, que cubre y cierra una casa en su parte superior y que queda bastante resistente como para andar sobre ella.

Las losas son elementos estructurales cuyas dimensiones en planta son relativamente grandes comparadas con su espesor. Una losa no es más que una placa apoyada en un conjunto de vigas, muros o líneas resistentes subdividida en tableros.

- **CONCRETO PERMEABLE:** Se encuentra dentro del espectro de los materiales ecológicos, ya que permite la filtración del agua al subsuelo logrando así la restauración de los mantos acuíferos. El material es sumamente durable, no degradable e increíblemente resistente manteniendo sus características de permeabilidad.

5.6 DESCRIPCIÓN DE PROCESO CONSTRUCTIVO DEL TRAMO DE PRUEBA

5.6.1 PREPARACION DE HERRAMIENTAS Y MATERIALES, LIMPIEZA Y DESMONTE DEL LUGAR.

Se les considero como labores iniciales a las actividades de preparación de herramientas, limpieza y desmonte. Se enlisto y se preparo el conjunto de herramientas para la preparación del concreto y de la misma forma se llevo a cabo la limpieza y el desmonte en toda el área del terreno. se utilizaran herramientas convencionales para las actividades antes mencionadas, así como palas, piochas, azadón, y demás, ya que nuestro tramo a analizar es pequeño y no se requiere de equipo pesado.

5.6.2 TRAZO POR UNIDAD DE AREA

Se realizo el trazo de acuerdo a las medidas de nuestra losa la cual fue de 2m² con las medidas y niveles ya considerados necesarios para plantear ejes y niveles establecidos por los tesistas.

El Trazo se realizara una vez se tenga listo el sitio es decir este limpio y desmontado para lo cual se uno cáñamo para definir el perímetro de trazo y estacas que delimitan las esquinas de la losa.



Ilustración 99 Trazo por Unidad de Área

5.6.3 EXCAVACION

Este Trabajo Consiste en excavar toda el área en el cual se hará la losa Las labores de terracería se hará con herramientas piochas, palas, barras, azadón, el suelo extraído se cargará a una carretilla manual y se transportará dicho material a un lugar especificado.

Se excavo un espesor de 20cm en un área de dos metros cuadrados.

Al Realizar la excavación no se daño la vegetación aledaña.

Ilustración 100 a y b Relleno con material del lugar



5.6.4 RELLENO CON MATERIAL GRANULAR

Tal como lo dice la Norma ACI 522 R la sub base fue conformada por una capa granular con un espesor de 20 cm cuyo tamaño nominal de la grava fue de 1 pulgada. La sub base granular fue esparcida por todo lo largo de losa, y una vez estando esparcida fue ligeramente compactada con pisón manual para lograr un buen acomodamiento en las partículas; (Nota: En vista de que sus dimensiones eran pequeñas y no se poseía el equipo vibratorio para acomodar las partículas de grava se optó por hacer apisonamiento y agregar material arenoso).

Seguidamente de la sub-base granular fue humedecida para que el concreto no perdiese humedad en el momento de ser colado en el sitio.

Al mismo tiempo la sub base desempeña el papel de reservorio de agua mientras el suelo ejerce la filtración.



Ilustración 101 a, b y c Compactación de Material Granular

5.6.5 ENCOFRADO Y DEPOSITOS

Se delimito el área de trazo y el are de excavación con tablas; para el encofrado se usaron las mismas formaletas para definir el encofrado del concreto, tal cual como se observan en las imágenes.



Ilustración 102 Encofrado y Puntales en Losa

También se usaron recipientes plásticos los cuales sirvieron para delimitar las proporciones del concreto y carretillas cargar el agregado que se usó como sub base



Ilustración 103 Recipientes y Materiales

5.6.6 ELABORACION Y COLADO DEL CONCRETO

El Concreto se elaboró en la concreteira de una bolsa, tal concreteira fue colocada muy cerca del lugar de colado para evitar el traslado del concreto.

El concreto se elaboró con las proporciones siguientes, optando por el concreto que obtuvo mayor resistencia tanto a compresión como a flexión.

Proporciones para una losa de 2m² con un espesor de 20cm

<i>Cantidad de Cemento=</i>	262,28	kg
<i>Cantidad de Agregado=</i>	661,76	kg
<i>Cantidad de Agua=</i>	94,60	lts
<i>Porcentaje de Vacíos=</i>	15 %	

Siendo las características del concreto

Resistencia a Compresión: 146,46 kg/cm²

Resistencia a Flexión: 26.49 kg/cm²

Tasa de Percolación: 10.96mm/s



Ilustración 104 Colado del Concreto

5.6.7 CONSOLIDACION Y ENRASADO

Una vez que el concreto ha sido permitido en el sitio este así como lo dice la norma se esparce y se compacta para lograr un buen acomodamiento en las partículas.

El rodillo se utiliza para compactar el hormigón y de esa forma crear una unión fuerte en la pasta de cemento y las partículas del agregado y así proporcionar una aceptable suavidad superficial. El rodillo debe ser de ancho suficiente para montar en las formaletas y debe proporcionar un mínimo de 10 psi (0,07 MPa) de fuerza vertical. El rodillo promedio del tamaño ancho necesario para abarcar un 12 pies (3,7 m) carril de un peso aproximado de 600 a 700 libras (270 a 320 kg) pesa aproximadamente 7,8 200 a 300 libras (90 a 140 kg). Algunas situaciones requieren un esfuerzo adicional para asegurar una calidad pavimento.



Ilustración 105 Enrasado de Concreto

5.6.7 ACABADO SUPERFICIAL

Cuando esta toda la superficie colada y se haya esparcido el concreto por toda la superficie con una pala de albañilería se logra el acabado superficial del concreto el cual debe de quedar con pequeños poros los cuales permitirán la filtración del agua a través del concreto y de la capa granular.



Ilustración 106 Acabado Superficial

5.6.8 CURADO DE CONCRETO

Según la Norma el curado de concreto permeable debe de hacer colocando adisol en la superficie y seguidamente colocar una capa de polipropileno para evitar la perdida de humedad , en nuestro caso por ser una losa de prueba y por ausencia d recursos de mojo la superficie y se le colocaron bolsas húmedas de concreto.



Ilustración 107 Curado de Concreto

5.7 ASTM C 1701 -09

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA TASA DE INFILTRACIÓN EN EL LUGAR CONCRETE PERMEABLE

5.7.1 Alcance

- Este método experimental cubre la determinación del campo de la tasa de infiltración que tiene en lugar del concreto poroso.
- Los valores indicados en cualquier unidad del SI o las unidades lb-in, debe de ser considerado como estándar. Los valores en cada sistema pueden no ser exactamente equivalentes; por consiguiente, cada sistema será usado independientemente del otro. Combinándose los valores de los dos sistemas pueden resultar en la conformidad de la Norma (en poca congruencia con el estándar)
- Esta norma no propone hacerle frente a todos los problemas de seguridad en cualquier asociación que se use. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer su adecuada seguridad y salud en las prácticas y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias antes de su uso.

- El texto cita notas que proporcionan material explicativo. Estas notas no serán consideradas como requisitos de la norma.

5.7.2 Resumen de Ensayo

Un anillo de infiltración es sellado temporalmente a la superficie de un pavimento permeable. Después de pre humectación la ubicación de prueba, una determinada masa de agua se introduce en el anillo y el tiempo del agua

para infiltrarse en el pavimento se registra. la infiltración tasa se calcula de acuerdo con la parte 9.1

5.7.3 Significado y Uso

a) Las Pruebas Realizadas en la misma ubicación a través de un lapso de años puede ser utilizado para detectar una reducción de la tasa de infiltración del concreto permeable, con lo que la identificación de la necesidad de remediación.

b) La tasa de infiltración obtenidos por este método es válido sólo para el área localizada de la acera, donde la prueba se llevado a cabo. Para determinar la tasa de infiltración de toda la lugares permeables pavimento múltiples debe ser probado y el resultados promediados.

c) La tasa de infiltración del campo se establece normalmente por el ingeniero de diseño de registro y es una función del diseño precipitación evento.

d) Este método de prueba no mide la influencia en lugar de la tasa de infiltración debido al sellado de los huecos en la parte inferior de la losa de concreto permeable. La inspección visual del hormigón núcleos es el mejor método para determinar el sellado de los huecos cerca de la parte inferior de la losa de concreto permeable.

5.7.4 Instrumentos

a) **Anillo de Infiltración:** Un anillo cilíndrico, abierto en ambos extremos (mirar Fig. 1) El anillo se estanca, lo suficientemente rígida para mantener su

forma cuando se llena de agua, y tendrá un diámetro de 300 +/- 10 mm [12,+/- 0,5 pulgadas] con una altura mínima de 50 mm [2.0 pulgadas]. El Borde Inferior del anillo será así. La superficie interior del anillo se marquen o se anotó con dos líneas a una distancia de 10 y 15 mm [0,40 y 0,60 pulgadas] de la parte inferior del anillo. Mida y registre el diámetro interior del el anillo con una precisión de 1 mm [0,05 pulgadas)

NOTA 1: *El Material del anillo que se han encontrado adecuados incluye acero, aluminio, plástico rígido, y el PVC.*

b) Balanza: Una balanza o báscula precisión de 10 g [0.02 lb].

c) Contenedor: Un recipiente cilíndrico típicamente de plástico con un volumen de al menos 20 L [5 galones], y de la que el agua puede ser fácilmente vierte a una velocidad controlada en el la infiltración del anillo.

d) Cronometro: Con precisión de 0.1s

e) Masilla para Fontanería (Que no se endurezca): Especificación de la reunión C 920 o Especificación Federal A-A-3110.

f) Agua: Agua Potable

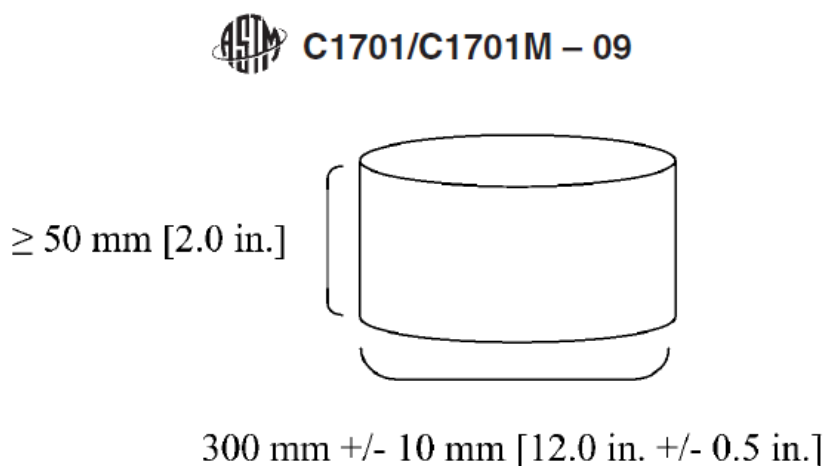


FIG. 1 Dimensions of Infiltration Ring

5.7.5 Ubicación de la Prueba

Realizar pruebas en varias ubicaciones en un lugar a lo solicitado por parte del comprador de servicios de pruebas. A menos que se especifique lo contrario, haga lo siguiente para determinar el número de pruebas para llevar a cabo:

- a) Tres puntos de prueba para superficies de hasta 2.500 m² [25,000] ft².
- b) Añadir una prueba de ubicación por cada 1,000 m² [10.000 ft²] o fracción.
- c) Proporcionar al menos 1 m [3 pies] de distancia libre entre la prueba lugares, a menos que al menos 24 horas han transcurrido entre las pruebas.
- d) No comprobar si hay agua en la parte superior del concreto permeable. No realice la prueba dentro de las 24 h de la precipitación pasada.

5.7.6 Procedimiento

- a) **Instalación del Anillo de Infiltración:** Limpie la superficie del pavimento por sólo escoba de la basura, escombros y otros no-sentado material. Aplique masilla de fontaneros alrededor del borde inferior de la anillo y colocar el anillo en la superficie de concreto permeable a prueba. Pulse la masilla en la superficie y alrededor de la parte inferior borde del anillo para crear un sello hermético. lugar adicional masilla, según sea necesario.

NOTA 2-En un ambiente cálido donde la temperatura de la superficie es de más de 38 ° C [100 ° F] fontaneros masilla no puede adherirse a la superficie de concreto con facilidad. Por lo tanto, es aconsejable realizar esta prueba en temperaturas más frías.

- c) **Pre Humectación:** Vierta el agua en el anillo a un ritmo suficiente para mantener la cabeza entre las dos líneas marcadas. Use un total de 3,60 +/-,05 kg [8,0 +/-,1 libras] de agua. Empezar a cronometrar en cuanto como el agua afecta a la superficie de concreto permeable. Detener el tiempo cuando el agua libre ya

no está presente en la superficie permeable. Anote la cantidad de tiempo transcurrido con una precisión de 0,1 s.

d) Prueba: La prueba se iniciará dentro de dos minutos después de la finalización de la pre-humectación. Si el tiempo transcurrido en la pre-humectación etapa es inferior a 30 s, a continuación, utilizar un total de 18,00 +/- 0.05 kg [40.0 +/- .1 libras] de agua. Si el tiempo transcurrido en la etapa pre humectación es mayor o igual a 30 s, a continuación, utilizar un total de 3,60 +/- ,05 kg [8,0 +/- ,1 libras] de agua. Registrar el peso de agua con una precisión de 10 g [0.02 lb] (M). Vierta el agua en el anillo a una velocidad suficiente para mantener la cabeza entre los dos líneas marcadas y hasta que la cantidad medida de agua ha sido utilizados. Empezar a cronometrar tan pronto como el agua afecta a la permeable superficie de concreto. Detener el cronómetro cuando el agua ya no es libre presentes en la superficie permeable. Registrar la duración de la prueba (t) con una precisión de 0,1 s.

NOTA 3-Si un pavimento con pendiente que se está midiendo, mantener la cabeza entre las dos líneas marcadas en el punto más bajo de la pendiente.

e) Si la prueba se repite en el mismo lugar, la repetición de la prueba no requiere pre-mojado si se realiza dentro de los 5 minutos después de la finalización de la primera prueba. Si más de una prueba se lleva a cabo en un lugar en un día determinado, la tasa de infiltración en ese lugar en ese día se calcula como el promedio de las dos pruebas. No repetir esta prueba más del doble en el mismo lugar en un día determinado.

5.7.6 Cálculo Calcular la tasa de infiltración (I) el uso de unidades consistentes en siguiente manera:

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

Dónde:

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

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

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

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

K = 4 583 666 000 en unidades del SI o 870 126 en [pulgadas-libras] unidades.

NOTA 4-El factor K tiene unidades de (mm³s) / (kg) [(in.³s) / (lbh)] y se necesaria para convertir los datos registrados (W, D y T) a la tasa de infiltración que mm / h [cm / h].

CAPITULO 6

**CONCLUSIONES
Y RECOMENDACIONES**

6.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1 CONCLUSIONES

El uso del concreto permeable actualmente en nuestro país como en otros lugares permanece en estudio y particularmente en El Salvador no se aplicado en ninguna obra civil y continua el proceso de prueba.

Pero es indispensable hacer hincapié en que el agua subterránea sea un recurso sustentables por lo tanto es necesaria la implementación de medidas como pavimentos de concreto permeable.

En cuento a nuestra investigación hemos concluido que:

- El uso del concreto permeable con el agregado grueso de tamaño nominal de 3/8” de las canteras el Carmen, Aramuaca y la Pedrera y según las pruebas de ASTM C-132 Y ASTM C-72 su resistencia es ideal para superficies de baja intensidad de carga.
- La permeabilidad y capacidad de absorción que posee el concreto de las tres canteras con el tamaño de partículas ya dichas, según la norma ACI 522 R es capas de filtrar mucha mas intensidad de lluvia de la que se a registrado actualmente.
- Se determino según la prueba ASTM C 1701 Prueba de permeabilidad del concreto permeable que no es adecuado la instalación de pavimentos de concreto permeable el lugares donde haya mucho contenido de arcilla y sea del tipo arcilla limosa debido a que requiere una gran restitución del suelo y la capa de base granular sea mayor lo que genera mas inversión económica.

- Según las pruebas ejecutadas determinamos que el concreto mas resisten resulta de la cantera el Carmen con un porcentaje al 15% de vacíos y que el concreto con mayor permeabilidad Resulta de la cantera La Pedrera con un porcentaje de vacíos del 25%.
- Según la Norma ACI 522R el rango resistencia a compresión del concreto permeable es de 28.55 kg/cm^2 a 285.51 kg/cm^2 , por lo tanto se concluye que nuestro concreto comprende en tal rango de resistencia.
- Se determino según el método probabilístico de la norma ACI 214 que siete de nueve diseños de mezcla son aceptados ya que su distribución corresponde a una distribución normal, siendo los diseños de mezcla que no cumplen Aramuaca al 20% y El Carmen al 25%.
- Se establece que existe un buen control de calidad en la ejecución del concreto permeable debido a que sus datos estaban muy próximos a la media aritmética.
- Se concluye según lo observado en la losa de prueba que el concreto in situ de un pavimento requiere un barrido constante para evitar que sus poros se tapen y eso evite la infiltración.
- El concreto es ideal para ser usado en superficies de bajo tráfico como caminos rurales y en aceras debido a su bajo modulo de ruptura.
- Según el análisis Cualitativo que se ejecuto por medio de puntajes el concreto más eficiente es el concreto de la cantera el Carmen con un porcentaje de vacíos del 15%.

6.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda que para un futuro si se desea usar grava de 3/8" de la cantera Aramuaca es necesaria pasarla por un proceso de limpieza y tamizado, debido a su alto contenido de material orgánico, tierra y contenido de partículas finas.
- Se recomienda para futuras investigaciones indagar con diferentes contenidos de vacíos y resistencias
- Se recomienda para darle continuidad al tema investigar el comportamiento del concreto permeable al usar aditivos como fluidificantes, fibra de polipropileno y verificar como varían sus características ante estos y otros factores que afectan positivamente al aumento de resistencia del concreto.
- Para futuras investigaciones indagar las propiedades del concreto permeable con otros tamaños de grava como de 1/4" y de 1/2".
- Se recomienda continuar el estudio del concreto permeable al implementar 15% o menos de agregado fino y verifica el comportamiento del concreto con la condición adicional.
- Realizar estudios de abrasión y pruebas de intemperismo al concreto permeable y como responde el concreto a los ataques de sulfatos.

ANEXO "A"



FUENTES DE CONSULTA

BIBLIOGRAFIA

TESIS

- Aparicio Villacorta Gilberto Gustavo, García José Abelino, Hernández García Manuel Alexander (2011). “DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE EXPANSIÓN Y CONTRACCION TERMICA DEL CONCRETO HIDRAULICO, PARA ESPACIAMIENTO ENTRE JUNTAS EN PAVIMENTOS DE CONCRETO EN EL SALVADOR” Tesis para optar por el grado de Ingeniería Civil, San Miguel, El Salvador.

- García Melgar, Wilbert Fernando Hernández Maldonado, Juan Salomón Menéndez Alvarenga, Marjory Cristabel (2011) “ESTUDIO TÉCNICO DE LA GOMA TRITURADA COMO AGREGADO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO Y MORTERO TIPO M Y S PARA OBRAS CIVILES” Tesis para optar por el grado de Ingeniería Civil, San Miguel, El Salvador.

- RESUMEN DE TESIS Azañedo Medina, Wiston H. - Chávez Juanito, Helard. - Muñoz Valdivia, Richard G. “DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO POROSO CON AGREGADOS DE LA CANTERA LA VICTORIA, CEMENTO PÓRTLAND TIPO I CON ADICIÓN DE TIRAS DE PLÁSTICO, YSU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS RÍGIDOS, EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA” Tesis para optar por el grado de Ingeniería Civil, Cajamarca, Chile.

- Catalina María Meneses Ospina César Hernán Bravo Erazo “RESISTENCIA MECÁNICA Y CONDICIONES DE OBRA DEL CONCRETO POROSO EN LOS PAVIMENTOS SEGÚN EL TIPO DE GRANULOMETRÍA” Universidad de Medellin, Medellin, Colombia.

REVISTAS Y DOCUMENTOS

- NRMCA (Nationals Ready Mixed of Concrete Asociations) Journals “El Concreto en la practica” “Cip 38 Concreto Permeable”
- The Indian Concrete Journal, “Concreto permeable – un material ecológico que contribuye al ahorro de los recursos hídricos frente a la escases de agua” vol82. Dic. 08 Chile.
- XV Jornada Chilena de Hormigón, “Desarrollo de Mezclas de Hormigon Poros para Pavimientos Urbanos”.
- Concreto Ecologico S.A de C.V “Sistema para infiltrar o recuperar el agua pluvial por medios de pisos y pavimentos porosos” México D.F.
- Concreto Permeable una Alternativa Sustentable “Ing. Carlos Antonio Quintanilla”, ISCYC, San Salvador.

REGLAMENTO APLICADO AL TEMA:

- ACI 522 R “CONCRETO PERMEABLE” (2006).
- ASTM 1701 “METODO ESTANDAR PARA MEDIR LA TAZA DE PERCOLACION EN UN PAVIMENTO DE CONCRETO PERMEABLE” (2009)
- ACI 214 “EVALUACION DEL RESULTADO DE LA RESISTENCIA DEL CONCRET” (2004)

AYUDA PROFECIONAL

- Ing. Marlon Ebiazar Vigil (Asesor ISCYC)
- Ing. Carlos Antonio Quintanilla (Asesor ISCYC)
- Ing. José Luis Castro Cordero (Asesor Metodológico UES)
- Prof. Paco Madrid (Docente de UES)
- Nery Salinas (Técnico Holcim San Miguel)