



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



## Facultad de Estudios Superiores Aragón

CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA  
PLUVIAL MEDIANTE EL USO DE CONCRETO PERMEABLE.

### TESIS

Que para obtener el título de:

**Ingeniera Civil**

**PRESENTA**

Janeth Juárez Cardozo

**ASESOR DE TESIS**

M. en C. Sergio Alfonso Martínez González

Ciudad Nezahualcóyotl, Edo.  
de México  
2018



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A mi madre:**

Por su constante motivación, apoyo, comprensión, cariño e impulso en mi vida.

### **A mi padre:**

Por la dedicación y perseverancia que a diario me enseña.

### **A Paz Juárez:**

Por ser una amiga fiel, mi compañera y hermana; quien estuvo conmigo en todo momento ayudándome a superar obstáculos.

**A mis hermanos:**

Por ser ustedes la mayor fuente de inspiración en mi vida, buscando lograr más triunfos.

**Al Ing. Julio Camacho:**

Gracias porque no sólo alegras mi vida, también me das mil razones para creer que nada es inalcanzable.

**A mis profesores:**

Gracias por haberme ayudado a mi realización escolar y personal.

**A mis amigos:**

Sin ellos no hubiera reído mucho ni aprendido de cada uno que apareció en épocas diferentes de mi vida.

**A mi asesor de tesis, M. en C. Sergio Alfonso Martínez González:**

Quien me regaló tiempo, enseñanzas y apoyo para la realización de este logro.

**Al Ing. José Magallanes:**

Por ser un apoyo durante mi curso en la carrera y ayudó en todo lo necesario para terminar la tesis.

**A la dirección general de asuntos del personal académico:**

Por el apoyo otorgado para la realización del proyecto PAPIME PE105816.

“La sustentabilidad aplicada a la ingeniería civil”.

## ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| I. GENERALIDADES .....   | I  |
| I.I RESUMEN .....  | I  |
| I.II PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....                                    | II |
| I.III OBJETIVOS .....  | IV |
| I.III.I GENERAL.....   | IV |
| I.III.II ESPECÍFICOS.....  | IV |
| IV. INTRODUCCIÓN .....   | V  |
| CAPÍTULO I .....   | 1  |
| 1.1 ANTECEDENTES .....   | 1  |
| 1.1.1 DATOS HISTÓRICOS DEL CONCRETO.....                                 | 1  |
| 1.1.2 FUNDAMENTOS DEL CONCRETO.....                                      | 2  |
| 1.1.3 CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA DEL CONCRETO. ....                | 3  |
| 1.1.4 USOS DEL CONCRETO. ....  | 4  |
| 1.2 CONCRETO PERMEABLE.....  | 4  |
| 1.2.1. ANTECEDENTES.....   | 4  |
| 1.2.2. DIFERENCIAS DEL CONCRETO PERMEABLE Y CONCRETO<br>TRADICIONAL..... | 6  |
| 1.3 MARCO TEÓRICO.....   | 7  |
| 1.3.1 DEFINICIÓN DEL CONCRETO PERMEABLE.....                             | 7  |
| 1.3.2 PERMEABILIDAD.....   | 9  |
| 1.3.3 POROSIDAD. ....  | 9  |
| 1.3.4 MÓDULO DE ELASTICIDAD.....   | 9  |

|   |    |
|---|----|
| 1.3.5 RESISTENCIA A COMPRESIÓN .....                        | 10 |
| 1.3.6 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN O MÓDULO DE ROTURA .....     | 10 |
| 1.3.7 ASENTAMIENTO DEL CONCRETO .....                       | 11 |
| 1.3.8. MASA UNITARIA.....                                   | 11 |
| 1.3.9 AGREGADO .....  | 11 |
| 1.3.10 AGREGADO GRUESO.....                                 | 12 |
| 1.3.11. AGREGADO FINO.....                                  | 13 |
| 1.3.12. CEMENTO.....  | 13 |
| 1.3.13. ADITIVO .....                                       | 13 |
| 1.3.14. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO) .....              | 15 |
| CAPÍTULO II .....   | 17 |
| 2.1 APLICACIONES DEL CONCRETO PERMEABLE. ....               | 17 |
| 2.1.1. USOS DEL CONCRETO PERMEABLE .....                    | 17 |
| 2.1.2. SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN PARA PAVIMENTO PERMEABLE ..  | 18 |
| 2.1.3. ECUACIÓN “FACTOR DE VACÍOS” .....                    | 19 |
| 2.2 CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO PERMEABLE. ....            | 20 |
| 2.2.1. PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO. ....                   | 20 |
| 2.2.2. PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO. ....               | 21 |
| 2.2.3. VENTAJAS Y DEVENTAJAS.....                           | 21 |
| 2.2.4. VENTAJAS TÉCNICAS. ....                              | 22 |
| 2.2.5. VENTAJAS ESTÉTICAS. ....                             | 24 |
| 2.2.6. DESVENTAJAS.....                                     | 25 |
| CAPÍTULO III .....  | 27 |
| 3.1 CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA CON CONCRETO PERMEABLE..... | 27 |
| 3.1.1 MATERIAL DE MUESTRAS DE CONCRETO PERMEABLE.....       | 27 |

|  |    |
|--|----|
| 3.1.2 ELABORACIÓN DE MUESTRAS DE CONCRETO PERMEABLE .....                        | 28 |
| 3.1.3 PRUEBAS DE PERMEABILIDAD.....  | 34 |
| CAPÍTULO IV .....  | 38 |
| 4.1. RESULTADOS Y PROPUESTA .....  | 38 |
| 4.1.1 PERMEABILIDAD.....   | 38 |
| 4.1.2 MEDICIÓN DE LA DQO (Demanda Química de Oxígeno).....                       | 38 |
| 4.1.3 PROPUESTA DE SISTEMA DE COSECHA DE AGUA DE LLUVIA EN<br>LA FES ARAGÓN..... | 41 |
| CONCLUSIONES.....  | 50 |
| REFERENCIAS.....   | 52 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. <i>Desarrollo de bajo impacto</i> .....   | 5  |
| Figura 2. <i>Esquema del pavimento permeable</i> .....  | 19 |
| Figura 3. <i>Tamizado de agregado grueso</i> .....  | 28 |
| Figura 4. <i>Peso de los materiales</i> .....   | 29 |
| Figura 5. <i>Elaboración de la mezcla para las muestras respectivas</i> .....   | 29 |
| Figura 6. <i>Colocación de la mezcla en cimbra</i> .....  | 30 |
| Figura 7. <i>Muestras después de haberse descimbrado</i> .....  | 31 |
| Figura 8. <i>Elaboración de recipientes de acrílico que servirán para hacer las muestras de permeabilidad</i> .....   | 34 |
| Figura 9. <i>Simulación de mantenimiento a muestras antes de cada prueba de permeabilidad</i> .....   | 34 |
| Figura 10. <i>Recipiente graduado de un litro</i> .....   | 35 |
| Figura 11. <i>Colocación de cada muestra en recipientes de acrílico</i> .....   | 35 |
| Figura 12. <i>Prueba de permeabilidad de las muestras</i> .....   | 36 |
| Figura 13. <i>Recipiente con agua de salida de la muestra “A” (SA), después de realizar la prueba de permeabilidad</i> .....  | 36 |
| Figura 14. <i>Recipiente con agua de salida de la muestra “B” (SB), después de realizar la prueba de permeabilidad</i> .....  | 37 |
| Figura 15. <i>Recipiente con agua de salida de la muestra “C” (SC), después de realizar la prueba de permeabilidad</i> .....  | 37 |
| Figura 16. <i>Excavación de zanja con dimensiones propuestas</i> .....  | 43 |
| Figura 17. <i>Relleno de zanja con tamaños variados de agregado grueso</i> .....  | 44 |
| Figura 18. <i>Fotografía del curado de concreto permeable</i> .....   | 45 |
| Figura 19. <i>Trazo de la junta a una tercera parte del espesor del concreto permeable</i> .....  | 45 |
| Figura 20. <i>Representación de la FES Aragón (UNAM) con propuesta de colocación de zanjas en edificios que sufren inundaciones en periodos de lluvia trazadas en color verde</i> ..... | 47 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 21. <i>Representación de la FES Aragón (UNAM) con propuesta de colocación de zanjas en A-10, A-3 y A-2 trazadas en color verde.</i> .....                                  | 48 |
| Figura 22. <i>Representación de la FES Aragón (UNAM) con propuesta de colocación de zanjas en A-5, A-8, A-6, Laboratorio L-4 y Laboratorio L-3 trazadas en color verde.</i> ..... | 49 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1 <i>Clasificación de agregados pétreos según su tamaño, así como recomendaciones para utilizarlos al realizar concreto.</i> ..... | 12 |
| Tabla 2. <i>Características propias de muestra “A”</i> .....   | 32 |
| Tabla 3. <i>Características propias de muestra “B”</i> .....   | 32 |
| Tabla 4. <i>Características propias de muestra “C”</i> .....   | 33 |
| Tabla 5. <i>Tiempo que tarda cada muestra en dejar pasar el agua por litro.</i> .....  | 38 |
| Tabla 6. <i>Resultados de la DQO de cada muestra. (Día 1).</i> .....   | 40 |
| Tabla 7. <i>Resultados de la DQO de cada muestra. (Día 2).</i> .....   | 40 |
| Tabla 8. <i>Resultados de la DQO de cada muestra. (Día 3).</i> .....   | 40 |

## I. GENERALIDADES

### I.1 RESUMEN

La utilización de materiales ecológicos se ha ido incrementando a partir de la búsqueda constante de nuevos métodos de construcción, con la finalidad de reducir el impacto ambiental. Entre los desarrollos constructivos sustentables se encuentran los pavimentos de concreto permeables.

La ventaja principal de este pavimento es el adecuado manejo del agua de lluvia, que se infiltra a través de este concreto, beneficiando la recarga de acuíferos y previniendo la inundación de las áreas donde se implementa.

En la presente tesis, se diseñó una representación de concreto permeable con la finalidad de una futura aplicación dentro de la Facultad de Estudios Superiores Aragón (UNAM), de manera que el agua de lluvia pueda ser cosechada y darle un mejor uso, reutilizándola principalmente para servicios de limpieza, descarga de inodoros, riego de áreas verdes, etc.

Se elaboraron “muestras” de concreto permeable, con la finalidad de comprobar que se cumple su funcionamiento principal: ser permeable. Llevándolas al laboratorio, para dar un resultado comprobable acerca de la calidad con la que el agua pasa por ellas.

Los resultados resaltan que la muestra con aditivo humo de sílice y fibra de vidrio, tiene una mayor permeabilidad, así como una buena calidad de agua e incluso capaz de servir como filtro de ésta.

## I.II PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Municipio de Netzahualcóyotl se encuentra a una altitud promedio de 2,240 metros sobre el nivel del mar. En términos generales se localiza en las superficies más bajas de la Zona Metropolitana del Valle de México, por lo que sufre permanentemente de inundaciones y encharcamientos en la temporada de lluvias. El Municipio se localiza en la cuenca del Río Moctezuma (subcuenca del Lago de Texcoco y Zumpango). Se encuentra afectado por una serie de grietas que se han formado y expandido como consecuencia de la desecación del lago en años recientes.

Por su ubicación, forma parte de la gran conurbación de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y comparte sus problemáticas principales en materia de suministro de agua, localización de desechos sólidos, saturación urbana, alta complejidad en vialidad y transporte, contaminación, violencia social e inseguridad, entre los más significativos. (Ayuntamiento de Netzahualcóyotl, 2000)

En la Facultad de Estudios Superiores (FES) Aragón, un uso eficiente del agua ha sido una preocupación siempre presente en la comunidad universitaria. En diversas ocasiones este tema ha provocado conferencias para la presentación de diversas propuestas, las cuales no han funcionado en su totalidad obligando a buscar nuevas alternativas para enfrentar esta problemática.

Frente a la preocupación de los ciudadanos por la escasez del agua y su desigual repartición, y al malestar por la escasa respuesta gubernamental y de la administración pública, la población ha sentido la necesidad de recolectar el agua de lluvia en sus casas o en espacios públicos en sus comunidades.

Ciertamente el recolectar el agua no es una tarea difícil, sólo hay que considerar una serie de precauciones para mantenerla limpia.

El problema se presenta después: ¿cómo almacenarla y distribuirla?, ¿cómo usarla? El primer impulso es usarla para riego, pero dado que las precipitaciones en nuestro país son estacionales, no tiene mucho sentido regar en el momento en que los cultivos y las áreas verdes reciben directamente el agua de lluvia. ¿Qué hacer entonces? ¿Almacenarla hasta que se haya acabado la época de lluvias? Eso sí que sería un verdadero problema: ¿qué volumen de almacenamiento requeriríamos? ¿Usarla casi inmediatamente? Pero, ¿qué usos se pueden dar directamente al agua de lluvia sin tratarla? ¿Podremos verterla directamente a nuestro depósito de agua de suministro? El primer paso para poder emprender cualquier iniciativa de captación es disponer de respuestas a estas dudas (Piccinelli, 2016).

La finalidad de esta tesis es colaborar con una propuesta, la cual ayude a la problemática que se tiene con la escasez de agua dentro de la Facultad, proponiendo la colocación de placas de concreto permeable en algunos espacios de ella, las cuales sean utilizadas para la cosecha de agua de lluvia y a su vez éstas se conecten a un depósito, el cual pueda servir para repartir el agua en las diferentes funciones y así ayudar a combatir esta problemática.

### I.III OBJETIVOS

#### I.III.I GENERAL

\*Ayudar a la Fes Aragón con una propuesta para cosechar el agua de lluvia, facilitando la utilización de ésta y para hacerla disponible dentro de la Facultad.

#### I.III.II ESPECÍFICOS

- Diseñar un concreto que tenga la resistencia y permeabilidad adecuada para su utilización.
- Probar si el concreto permeable sirve como medio filtrante del agua pluvial.
- Proponer los lugares en los cuales se puede implementar un sistema de captación de agua pluvial mediante concreto permeable.
- Evaluar la viabilidad del uso del concreto permeable en la FES Aragón.

#### IV. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la construcción de las ciudades modernas se caracteriza por tener grandes extensiones de superficies impermeables que alteran radicalmente el ciclo natural del agua (flujo libre del agua y el aire a los suelos), aumentan la temperatura, incrementan la acumulación y flujo de agua en superficie, desbordando la capacidad de los sistemas de drenaje y transportando residuos contaminantes y agua a temperaturas elevadas que ingresan a los ecosistemas y vulneran la calidad de los mismos.

En Inglaterra se empleó el concreto permeable en la construcción de viviendas de dos pisos conocidas como Wimpey Houses, que se caracterizaron por su eficiencia constructiva y buenas condiciones de aislamiento.

Durante los últimos 30 años las investigaciones del concreto permeable vienen en crecimiento, principalmente en países como Estados Unidos, Japón y Australia. Este material ha tomado fuerza en la industria de la construcción, siendo cada vez más común su aparición en especificaciones, potenciado por la conciencia de protección y preservación medio ambiental (Arango, 2014).

La aplicación más común del concreto permeable está en pavimentos de bajo tráfico de calles residenciales, paraderos, parques, áreas para peatones y bicicletas.

En Europa se valora no solo por su capacidad de permeabilidad, sino por sus propiedades de absorción acústica. En Japón se ha trabajado para construir superficies para el tránsito de vehículos y peatones, y también para estabilizar la vegetación en las márgenes de los ríos. En Australia, el concreto permeable es valorado como elemento esencial en el Diseño Urbano Sensible al Agua (WSUD) para mejorar la calidad y cantidad del agua en las zonas urbanas (Arango, 2014).

El concreto permeable está constituido por un alto grado de porosidad cuya principal característica es permitir el paso del agua a través de su estructura porosa, por lo que es considerado como un material de construcción sustentable, por su buen manejo de las aguas pluviales.

El concreto permeable puede de igual manera, reducir el impacto del desarrollo en los árboles. Un pavimento de concreto permeable permite la transferencia de agua y aire a los sistemas de raíces dejando que los árboles florezcan, incluso en las áreas altamente desarrolladas. El concreto permeable permite la infiltración del agua de lluvia.

En los últimos años, el concreto permeable se ha empleado como alternativa para construir pozos de retención o almacenamiento de aguas pluviales. En general, se ha tenido éxito en la construcción de estacionamiento con pavimentos de concreto permeable que permiten la filtración del agua al subsuelo, reduciendo el escurrimiento superficial, evitando la contaminación, el encharcamiento y la erosión de áreas aledañas.

Para implementar el concreto permeable y así resolver problemas ocasionados por la precipitación pluvial, el esfuerzo debe enfocarse en tres aspectos fundamentales: un correcto dimensionamiento de la estructura que sirva para satisfacer los requerimientos estructurales e hidráulicos y que incluya un adecuado diseño de mezcla; un correcto proceso constructivo y un adecuado plan de mantenimiento que evite la colmatación y que comience desde el momento de la construcción (Facultad de Ingeniería UNAM).

## CAPÍTULO I

### 1.1 ANTECEDENTES

#### 1.1.1 DATOS HISTÓRICOS DEL CONCRETO.

La historia del cemento es la historia misma del hombre en la búsqueda de un espacio para vivir con la mayor comodidad, seguridad y protección posible. Desde que el ser humano superó la época de las cavernas, ha aplicado sus mayores esfuerzos a delimitar su espacio vital, satisfaciendo primero sus necesidades de vivienda y después levantando construcciones con requerimientos específicos.

El pueblo egipcio ya utilizaba un mortero (mezcla de arena con materia cementosa) para unir bloques y losas de piedra al elegir sus asombrosas construcciones.

Los constructores griegos y romanos descubrieron que ciertos depósitos volcánicos, mezclados con caliza y arena producían un mortero de gran fuerza, capaz de resistir la acción del agua, dulce o salada. Un material volcánico muy apropiado para estas aplicaciones lo encontraron los romanos en un lugar llamado Pozzuoli con el que aun actualmente lo conocemos como Pozzuolana (ARQUBA, 2016).

Investigaciones y descubrimientos a lo largo de miles de años, conducen a principios del siglo antepasado, cuando en Inglaterra fue patentada una mezcla de caliza dura, molida y calcinada con arcilla, al agregársele agua, producía una pasta que de nuevo se calcinaba se molía y batía hasta producir un polvo fino que es el antecedente directo de nuestro tiempo. Los usos industriales de la cal han proporcionado importantes contratos para los químicos e ingenieros desde años atrás cuando la cal y los cementos naturales fueron introducidos.

No obstante, de los modernos caminos de concreto y edificios alrededor de nosotros, es difícil imaginar el tremendo crecimiento de la industria del cemento durante el siglo pasado. El hombre tuvo que ir descubriendo ciertas rocas naturales, las cuales a través de una calcinación simple dan un producto que, al agregar agua, se endurece. El avance real no tomaba parte todavía en los estudios fisicoquímicos y de Ingeniería Química de poner las bases para las plantas modernas y eficientes que trabajaran bajo condiciones controladas en una variedad de materiales crudos (ARQUBA, 2016).

### 1.1.2 FUNDAMENTOS 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 25mm.

La pasta está compuesta de Cemento Portland, agua y aire atrapado o aire incluido intencionalmente. Ordinariamente, la pasta constituye del 25 al 40 % del volumen total del concreto (ARQUBA, 2016).

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 está completamente cubierta con pasta y también todos los espacios entre partículas de agregado (ARQUBA, 2016).

### 1.1.3 CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA DEL CONCRETO.

Dentro de las características principales del concreto, se puede mencionar su resistencia a la compresión, que va de los 150 a los 500 kg/cm<sup>2</sup>. Su densidad, por otra parte, se encuentra en torno a unos 2,400 kg/m<sup>3</sup> aproximadamente. El concreto cuenta con una resistencia a la tracción, la cual ha sido despreciable, cuyo orden es de un décimo de la resistencia que posee a la compresión.

En lo que respecta a los tiempos, hay dos: el de fraguado y el de endurecimiento. En el primer caso, se tarda un promedio de dos horas en efectuarse. En el segundo caso, éste se sucede de forma progresiva y en función de muchos parámetros extras. Además, en un período de 24 o 48 horas la mitad de la resistencia a largo plazo se produce, y en una semana  $\frac{3}{4}$  partes, por lo que en cuatro semanas es más que factible que se desarrolle la resistencia en su totalidad.

Hay que señalar también que el concreto puede dilatarse y contraerse a la misma velocidad con la que se dilata y se contrae el acero, razón por la cual el uso de ambos en la construcción es muy frecuente, siempre y cuando se produzca de manera simultánea (Maquinaria Pro, 2009).

### 1.1.4 USOS DEL CONCRETO.

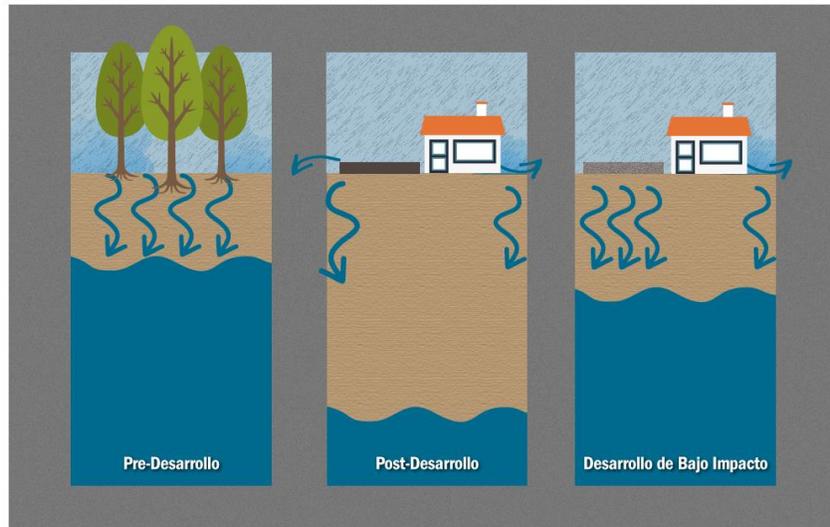
El concreto al igual que otros materiales, se diseña para utilizarse en elementos estructurales que soportaran esfuerzos de carga a la compresión y a la flexión, en el primero de los casos elementos como las cimentaciones, pavimentos, columnas, y en el segundo caso las vigas, o que soporte una combinación de estas cargas como las losas de piso. Es necesario indicar que el concreto por sí solo no puede soportar grandes cargas y esfuerzos, para soportar cargas de compresión en un pavimento este puede variar sus resistencias dependiendo del uso que se dé a éste, pero si va a soportar cargas que impliquen flexión éste deberá ser reforzado con un alma de acero, conformadas con varillas de acero corrugadas, que en conjunto con el concreto, conforman lo que se conoce como, concreto u hormigón armado (Revista ARQHYS, 2012).

## 1.2 CONCRETO PERMEABLE

### 1.2.1. ANTECEDENTES

La construcción de las ciudades modernas se caracteriza por materializarse en grandes extensiones de superficies impermeables que alteran radicalmente el ciclo natural del agua (flujo libre del agua y el aire a los suelos), aumentan la temperatura, incrementan la acumulación y flujo de agua en superficie, desbordando la capacidad de los sistemas de drenaje y transportando residuos contaminantes y agua a temperaturas elevadas que ingresan a los ecosistemas y vulneran la calidad de vida a todos los niveles (Arango, 2014).

Dicho esto, la utilización del concreto permeable es parte de una solución integral que permite abordar estos problemas de una manera sostenible, mediante un desarrollo urbano de bajo impacto (Arango, 2014).



**Figura 1. Desarrollo de bajo impacto.**

*La imagen muestra cómo el concreto permeable permite conservar lo más fielmente posible las condiciones hidrológicas que se tenían en la zona antes del desarrollo urbano.*

*Imagen obtenida con fines didácticos desde la página*

*<http://blog.360gradosenconcreto.com/concreto-permeable-desarrollo-urbano-de-bajo-impacto-2/>*

El primer registro de aplicación en construcción del concreto permeable (concreto sin finos o arena) data del año 1852 (ACI 522R-10, 2010) en la construcción de dos casas en el Reino Unido. En 1930, el uso del material para la construcción de casas fue adoptado por la Asociación de Vivienda Especial de Escocia (Arango, 2014).

Una vez finalizada la Segunda Guerra Mundial, con gran parte de Europa devastada, escasez de mano de obra calificada y material, y una necesidad imperante de viviendas, el concreto permeable se impone como una solución contribuyendo sustancialmente a la producción de viviendas nuevas en Reino Unido, Alemania, Holanda, Francia, Bélgica, Escocia y Hungría.

En Inglaterra se empleó el concreto permeable en la construcción de viviendas de dos pisos, conocidas como Wimpey Houses, que se caracterizaron por su eficiencia constructiva y buenas condiciones de aislamiento (Arango, 2014).

Durante los últimos 30 años las investigaciones del concreto permeable vienen en crecimiento, principalmente en países como Estados Unidos, Japón y Australia. Este material ha tomado fuerza en la industria de la construcción, siendo cada vez más común su aparición en especificaciones potenciado por la conciencia de protección y preservación medio ambiental (Arango, 2014).

En Estados Unidos su uso es respaldado por la Agencia de Protección Medioambiental (EPA) como una de las buenas prácticas para gestionar el agua lluvia, el Instituto Americano del Concreto (ACI) tiene un comité específico trabajando sobre este tema (Committe 522) y la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales (ASTM) se ha enfocado en el desarrollo de estándares para caracterización de sus propiedades, producción y uso.

En Europa se valora no solo por su capacidad drenante, sino por sus propiedades de absorción acústica. En Japón se ha trabajado no solo para construir superficies para el tránsito de vehículos y peatones, sino también para estabilizar la vegetación en las márgenes de los ríos. En Australia, el concreto permeable es valorado como elemento esencial en el Diseño Urbano Sensible al Agua (WSUD) para mejorar la calidad y cantidad del agua en las zonas urbanas (Arango, 2014).

### 1.2.2. DIFERENCIAS DEL CONCRETO PERMEABLE Y CONCRETO TRADICIONAL.

El concreto permeable a diferencia del concreto convencional es fabricado con base en agregado grueso, cemento, agua y aditivos, y en algunos casos la mezcla es realizada con poca cantidad de arena, este tipo de mezcla una vez fundida, drena con rapidez por la gran cantidad de poros y/o vacíos que se conectan formando vías de escape para líquidos como agua. El concreto permeable tiene algunas características diferentes que se deben tener en cuenta al momento de su fabricación, entre éstas se encuentra la relación agua cemento ( $w/c$ ) la cual debe ser baja ya que se debe evitar que la mezcla fluya y se llenen los vacíos; por otro

lado se encuentra el porcentaje de vacíos típico utilizando grava de 3/8 pulgadas (10 mm) que es del 15 al 25 por ciento, mientras que el porcentaje de vacíos típico utilizando rocas de 1/2 pulg (12 mm) es de 30 a 40 por ciento.

Al mezclarse sus materiales, el concreto obtiene una apariencia en la cual se observa una aglomeración de agregado grueso con una capa fina de cemento, el cual deja ver una gran cantidad de vacíos a diferencia de concreto convencional que tiene una apariencia totalmente compacta (Osorio, 2014).

### 1.3 MARCO TEÓRICO

#### 1.3.1 DEFINICIÓN DEL CONCRETO PERMEABLE

El concreto permeable es un tipo especial de concreto con una alta porosidad, usado para aplicaciones en superficies de concreto donde se desea permitir el paso del agua proveniente de precipitación y otras fuentes a través de él, reduciendo así, 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 (NRMCA, 1930).

Normalmente, el concreto permeable tiene pocos o no tiene agregados finos y tiene la suficiente cantidad de pasta 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 (NRMCA, 1930).

La principal virtud del concreto permeable es el adecuado manejo del agua de lluvia, cualidad reconocida positivamente por organismos internacionales como la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés).

Es un concreto especial, resultado de la combinación de agregado grueso, cemento y agua que favorece la creación de una estructura de tipo porosa que permite el paso de agua a través de él. Es de baja resistencia; con revenimiento cero; es seco y poroso y puede usarse como pavimento de aceptable calidad estructural, que permita filtrar el agua de lluvia, y evitar el escurrimiento superficial (Aire, 2010).

En los últimos años, el concreto permeable se ha usado como una alternativa a la típica solución de construir pozos para retención o almacenamiento de aguas pluviales. En general, ha tenido éxito en la construcción de áreas de estacionamiento con pavimentos de concreto permeable que permiten la filtración del agua al subsuelo, reduciendo el escurrimiento superficial, evitando la contaminación, el encharcamiento y la erosión de áreas aledañas (Aire, 2010).

En el lenguaje común, con frecuencia se confunden el concreto con el cemento, por lo que no está demás hacer énfasis en la diferencia: el cemento es un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente, molidas, que tiene la propiedad de endurecerse al contacto con el agua. Hasta este punto la molienda entre estas rocas es llamada clínker, la cual se convierte en cemento cuando se le agrega yeso, material que le da la propiedad a esta combinación para que pueda fraguar y endurecerse. Mezclado con agregados pétreos (grava y arena) y agua, crea un producto uniforme, maleable y plástico que fragua y se endurece, adquiriendo consistencia pétreo, denominado hormigón (en España, parte de Sudamérica y el Caribe hispano) o concreto (en México y parte de Sudamérica), cuyo uso está muy generalizado en la construcción e ingeniería civil (Grupo Constructivo, 2016).

### 1.3.2 PERMEABILIDAD.

La permeabilidad es la capacidad que tiene material para que lo atraviesen fluidos, aire o luz, sin perder la figura de su estructura interna. El hecho de que algún material sea permeable indica que su estructura es porosa o contiene un porcentaje de vacíos que están interconectados y que le permite la absorción de otros elementos.

### 1.3.3 POROSIDAD.

La porosidad es la propiedad física que le permite a un material traspasarlo con un fluido, aire o luz. La porosidad en un material se identifica como la relación que existe entre el porcentaje de vacíos y el volumen unitario del material al cual se le hace el estudio de porosidad, ésta es muy importante en el comportamiento de los agregados dentro del concreto. Una partícula porosa es mucho menos dura que una partícula compacta o maciza, lo cual afecta no sólo las propiedades mecánicas como la adherencia y la resistencia a la compresión y flexión sino también propiedades de durabilidad como la resistencia al congelamiento y deshielo, estabilidad química y resistencia a la abrasión.

### 1.3.4 MÓDULO DE ELASTICIDAD

El módulo de elasticidad de un material es la relación entre el esfuerzo a que está sometido el material y su deformación unitaria, y representa la rigidez del material ante una carga impuesta sobre el mismo (McCormac, 2002). Cuando el valor del módulo es mayor significa que el material es más rígido.

Si la relación entre la deformación y el esfuerzo se representa de forma linealmente constante y los esfuerzos aplicados no alcanzan el límite elástico, el material cumple con el comportamiento elástico de la ley de Hooke.

### 1.3.5 RESISTENCIA A COMPRESIÓN

La resistencia a la compresión se puede definir como la capacidad que tiene un elemento de resistir una carga o fuerza vertical de aplastamiento. No en todos los casos el material se rompe, existen algunos casos en los cuales éste es deformado.

La resistencia a la compresión es la característica mecánica principal del concreto, y se ha establecido una relación directa entre el módulo de elasticidad del concreto y su resistencia a la compresión, donde, a mayor resistencia del concreto, mayor es el módulo de elasticidad del mismo.

### 1.3.6 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN O MÓDULO DE ROTURA

El esfuerzo máximo de flexión se denomina módulo de rotura (MR). La resistencia a la flexión se puede definir como la resistencia a tracción del concreto, para el caso del concreto el valor de la resistencia a la flexión es menor que el valor de la resistencia a compresión.

Para la realización del cálculo del módulo de rotura se debe identificar qué tipo de falla se produjo y su respectiva ubicación. Sin embargo, obtener el dato real por medio de las diferentes ecuaciones es difícil, esto se debe como primera medida a que se supone un comportamiento elástico del concreto hasta que ocurre la falla.

El módulo de rotura del concreto es una medida útil para el diseño de pavimentos realizados en este material, puesto que las placas de pavimento trabajan principalmente a flexión; de ahí que en estos casos la calidad del concreto se especifique indicando su módulo de rotura (Moujir y Castañeda, 2014).

### 1.3.7 ASENTAMIENTO DEL CONCRETO

El asentamiento del concreto permite evaluar la capacidad del concreto para adaptarse a la estructura que lo va a contener, mientras obtiene la resistencia y el endurecimiento requerido (Moujir y Castañeda, 2014).

### 1.3.8. MASA UNITARIA

La masa unitaria también conocida como peso volumétrico, es la relación existente entre el peso seco del material y el volumen del recipiente. El peso volumétrico finalmente es la densidad del material como conjunto, la masa unitaria tiene la siguiente expresión:

$$\text{Masa unitaria} = \frac{Ps}{Vr}$$

Donde:

Ps: Peso seco.

Vr= Volumen del recipiente.

### 1.3.9 AGREGADO

Los agregados para concretos pueden ser definidos como aquellos materiales inertes que poseen una resistencia propia suficiente (resistencia del grano), que no perturba ni afecta el proceso de endurecimiento del cemento hidráulico y que garantiza una adherencia con la pasta de cemento endurecida.

Las exigencias químicas, que se deben hacer a los agregados, para evitar su reacción en la masa de concreto, es evitar sustancias agresivas y componentes geológicos o mineralógicos (Moujir y Castañeda, 2014).

Los agregados se pueden clasificar según su tamaño, a continuación se muestra su denominación y clasificación según su tamaño y si el agregado es recomendable para producir concreto

**Tabla 1** Clasificación de agregados pétreos según su tamaño, así como recomendaciones para utilizarlos al realizar concreto.

| Tamaño de las partículas en mm (Pulg)  | Denominación más corriente | Clasificación     | Clasificación como agregado para concreto |
|--|----------------------------|-------------------|---|
| Inferior a 0,002                       | Arcilla                    | Fracción muy fina | No recomendable                           |
| Entre 0,002 - 0,074 (No. 200)          | Limo                       |                   |   |
| Entre 0,074 - 4,76 (No. 200) - (No. 4) | Arena                      | Agregado fino     | Material apto para producir concreto      |
| Entre 4,76 - 19,1 (No. 4) - (3/4")     | Gravilla                   | Agregado Grueso   |   |
| Entre 19,1 - 50,8 (3/4") - (2")        | Grava                      |                   |   |
| Entre 50,8 - 152,4 (2") - (6")         | Piedra                     |                   |   |
| Superior a 152,4 (6")                  | Rajon, Piedra bola         |                   |   |

Fuente: Moujir & Castañeda, 2014

### 1.3.10 AGREGADO GRUESO

El agregado grueso se compone de partículas con un diámetro superior a 4.75mm. El agregado grueso que se utiliza en la investigación tiene una granulometría de  $1/2$  ", es decir los agregados tienen un tamaño que oscila por los 12 mm.

Para la buena ejecución de las pruebas y la obtención de resultados confiables el agregado debe estar libre de finos, de lo contrario debe lavarse hasta obtener un agregado sin finos (Moujir y Castañeda, 2014).

### 1.3.11. AGREGADO FINO

Las partículas que conforman el agregado fino tienen tamaños entre 0.075 y 4.75mm, lo que significa que son partículas que pasan por el tamiz 3/8" y quedan retenidos en el tamiz número 200, normalmente es un agregado que funciona como llenante de vacíos de manera que las mezclas adquieran una característica más compacta (Moujir y Castañeda, 2014).

### 1.3.12. CEMENTO

El cemento cumple la función de ligante entre los agregados. Esto se debe a las propiedades del cemento que le permite fraguar al reaccionar con el agua, obteniendo propiedades aglutinantes, lo que le permite agrupar los agregado para conformar el concreto.

El cemento que más se utiliza es el cemento portland hidráulico, que tiene propiedades de adhesión y cohesión las cuales permiten obtener buen funcionamiento como ligante (Moujir y Castañeda, 2014).

### 1.3.13. ADITIVO

Según el Comité ACI-212, un aditivo se puede definir como un material distinto del agua, agregado y cemento hidráulico, que se usa como ingrediente en concretos o morteros y se añade a la mezcla inmediatamente antes o durante su mezclado.

Hoy en día, los aditivos son considerados un ingrediente más del concreto y son empleados para modificar las propiedades de éste, de tal modo que se hagan más adecuados para las condiciones de trabajo o por economía (Norma ASTM C494/C494M – 08a)

Tipo A—Aditivos reductores de agua,

Tipo B—Aditivos retardadores,

Tipo C—Aditivos aceleradores,

Tipo D—Aditivos reductor de agua y retardador,

Tipo E—Aditivos reductor de agua y acelerador,

Tipo F—Aditivos reductores de agua, de alto rango,

Tipo G—Aditivos reductores de agua, de alto rango, y retardadores, y

Tipo S—Aditivos de comportamiento específico.

#### 1.3.13.1. HUMO DE SÍLICE

El humo de sílice es un producto inorgánico constituido de partículas de gran finura que se origina en la reducción del cuarzo con carbón, durante los procesos de obtención de silicio metal en hornos eléctricos de arco. El polvo se recoge en filtro de mangas.

En presencia de cemento Portland hidratado, el humo de sílice desarrolla su actividad puzolánica, al ser un material muy fino rico en sílice. La actividad puzolánica del humo de sílice es efectiva en los primeros días de edad, aproximadamente al segundo día, y su actividad es tanto mayor cuanto mayor es la edad hasta los 28 días aproximadamente. A los 90 días se ha paralizado prácticamente la actividad puzolánica.

La actividad puzolánica de un material se define como la capacidad de fijar hidróxido cálcico a la temperatura ordinaria en presencia de agua, originando productos sólidos, insolubles y dotados de resistencia mecánica (CEDEX, 2017).

### 1.3.13.2. FIBRA DE VIDRIO

La fibra de vidrio se obtiene gracias a la intervención de ciertos hilos de vidrio muy pequeños, que al entrelazarse van formando una malla, patrón o trama. Por otra parte, cabe mencionarse que estos hilos son obtenidos mediante el paso (que se lleva a cabo industrialmente) de un vidrio líquido a través de un elemento o pieza sumamente resistente, que además debe contar con diminutos orificios. La fibra tiene como rasgos distintivos su fragilidad, transparencia y también su alta dureza.

En el cemento pueden generar reducciones notables en la resistencia y tenacidad del material cuando son expuestas al medio ambiente, debe protegerse tanto la fibra como su matriz cementosa. Al proteger las fibras en forma superficial con un producto epoxídico, se consigue reducir la fragilidad de este compuesto.

### 1.3.14. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) se define como cualquier sustancia tanto orgánica como inorgánica susceptible de ser oxidada, mediante un oxidante fuerte. La cantidad de oxidante consumida se expresa en términos de su equivalencia en oxígeno. DQO se expresa en mg/L.

Debido a sus propiedades químicas únicas, el ion dicromato es el oxidante especificado en la mayoría de los casos.

Como se ha comentado, tanto los constituyentes orgánicos como inorgánicos de la muestra están sujetos a oxidación. Sin embargo, el componente orgánico

predomina y es de mayor interés. La DQO es un test definido, tanto el tiempo de digestión como la fuerza del reactivo y la concentración DQO de la muestra afecta al grado de oxidación de la misma.

El método DQO se usa a menudo para medir los contaminantes en las aguas naturales y residuales así como para evaluar la fuerza de desechos tales como aguas residuales municipales e industriales. El método DQO se usa también en aplicaciones en centrales eléctricas, industria química, industria papelera, lavanderías, estudios medioambientales y educación general. En las plantas potabilizadoras de agua, los valores DQO deberán ser inferiores a 10 mg/L O<sub>2</sub> al final del ciclo de tratamiento.

### CAPÍTULO II

#### 2.1 APLICACIONES DEL CONCRETO PERMEABLE.

##### 2.1.1. USOS DEL CONCRETO PERMEABLE

Durante el desarrollo y la evolución del concreto poroso se ha evidenciado que tiene grandes utilidades para su aplicación en diferentes estructuras como:

- Capa de rodadura de tramos de carreteras
- Capa de base o sub-base para pavimentos
- Parqueaderos
- Pavimentos de plazoletas y parques
- Andenes
- Filtros y/o sistemas de drenaje
- Edificaciones
- Muros de contención
- Protección de taludes y gaviones
- Bases en zanjas de ductos para tuberías

El concreto permeable es un tipo especial de concreto con alto grado de porosidad, cuya principal característica es permitir el paso del agua a través de su estructura porosa, por lo que es considerado como un material de construcción sustentable, por su buen manejo de las aguas de pluviales. Es un material que puede ser proporcionado por cualquier contratista de concreto; sin embargo, deberá tener experiencia y familiaridad con este tipo de concreto para asegurar su calidad.

Cuando se use como sistema de pavimentos, es de vital importancia darle mantenimiento adecuado cuando lo requiera, para así asegurar que cumpla con su función de permeabilidad (Osorio, 2014).

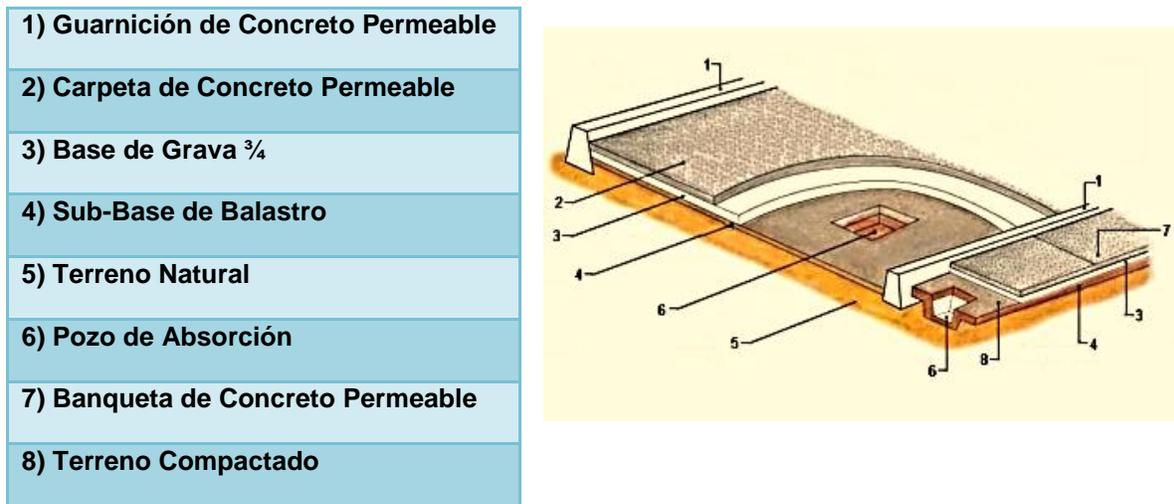
### 2.1.2. SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN PARA PAVIMENTO PERMEABLE

Los pavimentos permeables se construyen siguiendo un procedimiento diferente al de los pisos tradicionales, ya que se construyen con bases de agregados pétreos los cuales deberán estar confinados (EKECO, 2009).

Las bases deberán estar libres de materiales finos como la arena, ya que éstos serían disueltos y arrastrados por el agua, dando lugar, después de cierto tiempo, a la formación de baches.

Como ejemplo de un procedimiento constructivo típico que se propone para una calle de la ciudad, con una precipitación pluvial de México, es el siguiente (EKECO, 2009):

- 1) Abrir caja de 40 cm de profundidad.
- 2) Compactación del terreno natural por medios mecánicos.
- 3) Abrir pozos de absorción de 1.0 x 1.0 x 1.0 m. Uno por cada 100 m<sup>2</sup>.
- 4) Relleno con balastro (piedras de 4" a 8"). Este relleno se aplicará en pozos y en toda el área. Compactación del relleno por medios mecánicos. El espesor del relleno, ya compactado, será de 25 cm.
- 5) Relleno con grava de 3/4".
- 6) Compactación del relleno por medios mecánicos. El espesor de este relleno será de 5 cm.



**Figura 2. Esquema del pavimento permeable.**

*NRMCA. (2010). El concreto en la práctica. Enero 01, 2017, de NRMCA Sitio web:  
<https://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP38es.pdf>*

### 2.1.3. ECUACIÓN “FACTOR DE VACÍOS”

Se ha desarrollado una ecuación llamada “Factor de Vacíos” que permite conocer la resistencia a la compresión de los pisos de concreto permeable cuando son analizados mediante el uso de cilindros o corazones. Aplicada en forma convencional permite establecer un punto de comparación entre ambos tipos de concretos (EKECO, 2009).

1) El “Factor de Vacíos” se obtiene al dividir el peso del concreto convencional (aprox. 2,400 kg/m<sup>3</sup>) entre el del concreto permeable (aprox. 1,750 kg/m<sup>3</sup>).

2) El resultado se multiplica por la “f<sub>éc.</sub>” obtenida al fallar la muestra.

$$\text{Factor de vacío} = \frac{\text{Peso del concreto convencional}}{\text{Peso del concreto permeable}} * f'c \text{ (muestra del concreto permeable)}$$

**Fórmula de Factor de vacíos.** *NRMCA. (2010). El concreto en la práctica. Enero 01, 2017, de NRMCA Sitio web: <https://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP38es.pdf>*

Ejemplo:

- Peso del concreto convencional= 2,400 kg/m<sup>3</sup>
- Peso del concreto permeable= 1,750 kg/m<sup>3</sup>
- Resultado de la prueba de laboratorio f<sub>c</sub> =252 kg/cm<sup>2</sup>

$$\text{Factor de vacíos} = \frac{2,400 \text{ kg/m}^3}{1,750 \text{ kg/m}^3} * 252 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 345.60 \text{ kg/cm}^3$$

*\*Este factor es aplicable tanto a pruebas a compresión como a tensión.*

### 2.2 CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO PERMEABLE.

#### 2.2.1. PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO.

1) Revenimiento: En general, es cero; sin embargo se han usado valores en el rango de 20 a 50 mm. La prueba del revenimiento (que se puede realizar de acuerdo con la ASTM C143) no es una prueba que se considera para fines de control de calidad, como en el caso del concreto convencional, sólo se considera como un valor de referencia, debido principalmente a que la mezcla es demasiado rígida y la medición del revenimiento en la mayoría de casos no es aplicable.

2) Peso unitario: El peso unitario del concreto permeable es del orden del 70% del concreto convencional. Su determinación se hace de acuerdo con lo especificado en la ASTM C1688.

3) Tiempo de fraguado: El tiempo de fraguado se reduce en el concreto permeable, por lo que en algunos casos se deben usar aditivos químicos para permitir la adecuada colocación (Aire, 2010).

### 2.2.2. PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO.

1) Porosidad: La porosidad es una medida de los espacios vacíos entre los agregados. La condición para que un concreto sea permeable es que el contenido de vacíos sea mayor al 15%.

2) Permeabilidad: La permeabilidad al igual que la porosidad depende de las propiedades de los materiales, la proporción de la mezcla y de los métodos de colocación y compactación. Una excesiva compactación reducirá la permeabilidad al sellar los poros necesarios para la filtración del agua (Aire, 2010).

### 2.2.3. VENTAJAS Y DEVENTAJAS.

La utilización correcta del concreto permeable es una práctica de Gerencia reconocida por la Agencia Americana de Protección del Ambiente (EPA por sus siglas en inglés) para manejar el agua de lluvia. Debido a las regulaciones que limitan la escorrentía superficial del agua de lluvia, cada vez resulta más costoso para los propietarios desarrollar proyectos de bienes raíces, debido al tamaño y el gasto que implican los sistemas de drenaje. El concreto permeable reduce la escorrentía superficial en áreas pavimentadas, reduciendo así la necesidad de lagunas separadas de tención de agua de lluvia y permite el uso de un alcantarillado de menor capacidad. Esto permite a los propietarios desarrollar áreas de mayor tamaño a un costo menor.

El concreto permeable también filtra de manera natural el agua de lluvia y reduce las cargas de contaminación que puedan entrar en los arroyos, lagunas y ríos. El concreto permeable funciona como una laguna de retención de agua de lluvia y permite que el agua se infiltre en la tierra sobre un área mayor, facilitando la recarga de los suministros de agua subterránea localmente. Todos estos beneficios llevan a un uso más efectivo de la tierra (NRMCA, 1930).

El concreto permeable puede de igual manera reducir el impacto del desarrollo en los árboles. Un pavimento de concreto permeable permite la transferencia de agua y aire a los sistemas de raíces dejando que los árboles florezcan incluso en las áreas altamente desarrolladas. El concreto permeable permite la infiltración del agua de lluvia (NRMCA, 1930).

### 2.2.4. VENTAJAS TÉCNICAS.

La estructura de pavimento permeable permite que el agua al caer sobre la superficie se infiltre instantáneamente e ingrese al sistema de drenaje donde puede ser: infiltrada al terreno natural y alimentar las reservas subterráneas, almacenada para su utilización y/o dirigida a la línea de alcantarillado de aguas lluvias (Arango, 2014).

Los pavimentos de concreto permeable tienen muchas ventajas, dentro de las que se destacan:

1) 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 (EKECO, 2009).

2) El aditivo al reaccionar con el cemento potencializa su poder de pegado logrando un súper concreto. Se han hecho pruebas en las cuales, al agregar el aditivo a un concreto hidráulico normal, se ha logrado un incremento de más del 100 % en su resistencia a la compresión (EKECO, 2009).

3) Los huecos presentes en estos concretos dan como resultado:

- Una mayor elasticidad.

- Comportamiento superior frente a los cambios de temperatura, disminuyendo los movimientos de contracción y expansión.
- Pavimentos más frescos y ligeros (EKECO, 2009).

4) La transmisión heterogénea de las cargas provoca que la superficie sobre la cual éstas se reparten, sea varias veces mayor al producto de la repartición de cargas en un piso hecho con un concreto convencional o con asfalto. Aunado a esto, las bases diseñadas para los pisos permeables son más económicas, más eficientes y no generan baches (EKECO, 2009).

5) Simplifica los sistemas de drenaje y reduce costos (Arango, 2014).

6) Reduce la acumulación de flujos de agua, limpia el agua lluvia y baja la temperatura, protegiendo el equilibrio de los ecosistemas (Arango, 2014).

7) Alimenta las reservas de agua subterránea (Arango, 2014).

8) Permite el paso de agua y oxígeno a las raíces de los arboles (Arango, 2014).

9) Elimina el empozamiento del agua después de lluvias fuertes (Arango, 2014).

10) Reduce el riesgo de hidroplaneo y salpicaduras (Arango, 2014).

11) Medioambientales: La elevada permeabilidad del concreto permeable, es una solución al problema del escurrimiento superficial proveniente de las aguas pluviales, cuando se usa como sistemas de pavimentos de concreto permeable, evitando los encharcamientos (Aire, 2010).

12) Permite la filtración de los contaminantes de los automóviles, lo que impide la contaminación de áreas adyacentes, como sucede con las superficies impermeables. Además, cuando se usa en combinación con áreas verdes, la

estructura porosa permite el ingreso de agua y oxígeno, necesarios para el crecimiento de las plantas que dan sombra y calidad al aire (Aire, 2010).

13) La luz que refleja el concreto permeable hace que disminuya la temperatura ambiental, especialmente en las zonas urbanas; en la noche, los pavimentos de concreto permeable requieren de menor iluminación debido a la mayor reflexión que tienen a la luz (Aire, 2010).

14) Económicos: El concreto permeable puede usarse como una alternativa en áreas de estacionamiento y reducir la necesidad de construir pozos de retención para almacenar el agua pluvial. El mismo pavimento actuará como área de retención, lo que reducirá el costo de la construcción de pozos de retención, la instalación de bombas, los tubos de drenaje, y su mantenimiento o permitir sistemas de alcantarillado de menor tamaño (Aire, 2010).

15) El concreto permeable es durable y resistente al tiempo, pudiendo durar muchos años (20 a 30 años) con el mantenimiento adecuado (Aire, 2010).

### 2.2.5. VENTAJAS ESTÉTICAS.

Este sistema permite un sin fin de ventajas estéticas manteniendo sus propiedades de resistencia, flexión y durabilidad (Arango, 2014).

1) Colores: Gris, en forma natural y se impregna de cualquier color. También se trabaja en los colores naturales de los agregados.

2) Texturas: Colado en obra o prefabricado en piezas de adoquín (los adoquines pueden ser de 6 a 10 cm de espesor). También se le pueden agregar texturas con agregados como: Mármol, Sílica y casi cualquier agregado pétreo decorativo. También tienen posibilidad de estamparse.

### 2.2.6. DESVENTAJAS.

- 1) El uso de concreto permeable en pendientes pronunciadas hace que el agua escurra en la capa inferior, lo que hace que se generen sub-presiones que pueden dañar las estructuras subyacentes de la capa de rodadura, cuando la pendiente es mayor al 1%.
- 2) La aplicación del concreto permeable debe de hacerse con maquinaria que no sea muy pesada ya que esto podría causar una sobre compactación, lo que haría que la estructura de los vacíos se altere, lo cual se refleja en su permeabilidad o capacidad de infiltración, o que se produzca una colmatación en su estructura porosa, el cual es uno de los principales problemas potenciales de los concretos permeables, sobre todo en capa de rodadura (Osorio, 2014).
- 3) Para extender las aplicaciones del concreto permeable, se requiere una mayor investigación y verificar su desempeño en varios ambientes. Aunque es utilizado en climas templados, hay preocupación acerca del desempeño a bajas temperaturas, y problemas de durabilidad bajo congelación y deshielo.
- 4) El diseño está enfocado para la sustitución de áreas impermeables eficaces, no para el manejo de precipitaciones excesivas.
- 5) No debe ser colocado en superficies expuestas a aguas negras, debido a que puede llegar a contaminar las aguas subterráneas.
- 6) Su uso es limitado a calles con tránsito ligero, debido a que ofrece poca resistencia al desgaste.
- 7) Un costo mayor que otros pavimentos durante su etapa de instalación.

8) Pérdida de permeabilidad con el paso del tiempo, debido a que se van tapando los espacios vacíos con material fino, por lo que se requiere de un mantenimiento basado en agua a presión.

9) Nula colocación de acero de refuerzo pues presentara corrosión, ocasionado por la filtración de agua.

Para implementar el concreto permeable en problemas de aguas lluvias, el esfuerzo debe enfocarse en tres aspectos fundamentales: un correcto dimensionamiento de la estructura que sirva para satisfacer los requerimientos estructurales e hidráulicos y que incluya un adecuado diseño de mezcla; un correcto proceso constructivo y un buen plan de mantenimiento que evite la colmatación y que comience desde el momento de la construcción (Facultad de Ingeniería UNAM).

### CAPÍTULO III

#### 3.1 CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA CON CONCRETO PERMEABLE

##### 3.1.1 MATERIAL DE MUESTRAS DE CONCRETO PERMEABLE

Se elaboraron tres bloques de concreto permeable con diferentes características cada uno. Las dimensiones para cada bloque fueron de 55 x 35 x 15 cm.

Debido a que este concreto se ha estado investigando por diversas instituciones y en su mayoría se evalúa la resistencia a flexión y compresión; en esta tesis se decidió evaluar la calidad de salida del agua al instante de hacerla pasar por medio de alguno de estos bloques.

Para la elaboración de los bloques se utilizó:

- a) Cemento portland.
- b) Agregado grueso de:
  - 12.7mm (  $\frac{1}{2}$  de pulgada)
  - 9.5mm (  $\frac{3}{8}$  de pulgada)
  - 6.35mm (  $\frac{1}{4}$  de pulgada)
- c) Agregado fino.
- d) Aditivos: Humo de sílice y fibra de vidrio.
- e) Agua.

Dos de los bloques utilizados fueron proporcionados por el estudiante Aldo González Zamarripa alumno de la Facultad de Estudios Superiores Aragón (UNAM) quien pertenece al capítulo estudiantil ACI (American Concrete Institute) de la FES Aragón (UNAM) y debido a que la formulación se encuentra en un proceso de desarrollo y en función de los resultados se tiene la posibilidad de

patentarla, en este trabajo de tesis no se podrán indicar las proporciones de los materiales antes mencionados.

### 3.1.2 ELABORACIÓN DE MUESTRAS DE CONCRETO PERMEABLE

Para la elaboración de los bloques se tomaron diferentes tamaños de agregado grueso, con la finalidad de observar si esta variación resulta importante respecto a la permeabilidad en cada bloque.

1. Se comenzó obteniendo la distribución de tamaños, empleando tamices normalizados y numerados, separando el agregado grueso de 12.7, 9.5 y 6.35 mm, respectivamente.



**Figura 3. Tamizado de agregado grueso.**

*Fotografía de realización propia.*

2. Se pesó en la báscula la cantidad exacta que cada muestra necesita.



**Figura 4. Peso de los materiales.**

*Fotografía de realización propia.*

3. Se comenzó a mezclar en la revolvedora el agregado grueso y el cemento, añadiendo una cierta porción de agua.



**Figura 5. Elaboración de la mezcla para las muestras respectivas.**

*Fotografía de realización propia.*

4. Hecha la mezcla, se colocó en una cimbra de madera (triplay), con las dimensiones antes dichas (55 x 35 x 15 cm).



**Figura 6. Colocación de la mezcla en cimbra.**

*Fotografía de realización propia.*

5. Cada muestra de concreto tuvo 7 días de curado. Este concreto NO puede curarse con agua, hacerlo ocasiona que se sellen los poros y pierda su funcionalidad. El proceso de curado se realizó cubriendo la superficie con un plástico de color claro con un espesor mínimo de 0.15 mm. Posteriormente se descimbraron éstas para continuar con las pruebas de permeabilidad.



**Figura 7. Muestras después de haberse descimbrado.**

*Fotografía de realización propia.*

Se revisaron a simple vista las características de cada una de las muestras de concreto, observando como rasgo principal que el tamaño de los poros era variado.

Cada muestra tiene las siguientes características:

| Tabla 2. Características propias de muestra "A"                                   |  |
|---|--|
| MUESTRA "A"   | CARACTERÍSTICAS  |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>*Contiene el 100% de agregado grueso de 9.5mm (<math>\frac{3}{8}</math> de pulgada)</li> <li>*Contiene el 15% de cemento.</li> <li>*No contiene aditivos.</li> <li>*Durante el periodo de pruebas, fue la muestra que mostró un menor deterioro.</li> </ul> |

Fuente: Fotografía de realización propia.

| Tabla 3. Características propias de muestra "B"                                     |  |
|---|--|
| MUESTRA "B"   | CARACTERÍSTICAS  |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>*Contiene el 95% de agregado grueso de 12.7mm (<math>\frac{1}{2}</math> pulgada), 9.5mm (<math>\frac{3}{8}</math> de pulgada) y 6.35mm (<math>\frac{1}{4}</math> de pulgada) en diferentes proporciones.</li> <li>*Contiene el 5% de agregado fino.</li> <li>*Contiene el 20% de cemento.</li> <li>*No contiene aditivos.</li> <li>*Durante el periodo de pruebas, fue la muestra que mostró un deterioro intermedio entre la muestra "A" y "B".</li> </ul> |

Fuente: Fotografía de realización propia.

| Tabla 4. Características propias de muestra "C"                                   |   |
|---|---|
| MUESTRA "C" *   | CARACTERÍSTICAS   |
|  | <p>*Contiene el 100% de agregado grueso de 12.7mm (<math>1/2</math> pulgada), 9.5mm (<math>3/8</math> de pulgada) y 6.35mm (<math>1/4</math> de pulgada) en diferentes proporciones.</p> <p>*Contiene el 20% de cemento.</p> <p>*Contiene aditivos: humo de sílice y fibra de vidrio.</p> <p>*Durante el periodo de pruebas, fue la muestra que mostró un mayor deterioro respecto a las otras dos.</p> |

Fuente: Fotografía de realización propia.

*\* La dosificación del bloque "B" y "C" no serán reveladas con exactitud, debido a que la persona que la proporcionó está participando con estas dosis en un Concurso Nacional de elaboración para concreto permeable y un posible registro de patente.*

Se pudo notar también que el peso entre cada muestra variaba, lo cual debe ser considerable en escalas mayores. Existe una proporcionalidad entre la porosidad y el peso, entre más poros tenga el concreto y más grandes sean, se obtendrá un peso inferior debido que ese espacio está ocupado por aire.

### 3.1.3 PRUEBAS DE PERMEABILIDAD.

Para la realización de pruebas de permeabilidad se construyeron tres recipientes de acrílico con dimensiones de 50 x 30 x 60 cm.



**Figura 8. Elaboración de recipientes de acrílico que servirán para hacer las muestras de permeabilidad.**

*Fotografía de realización propia.*

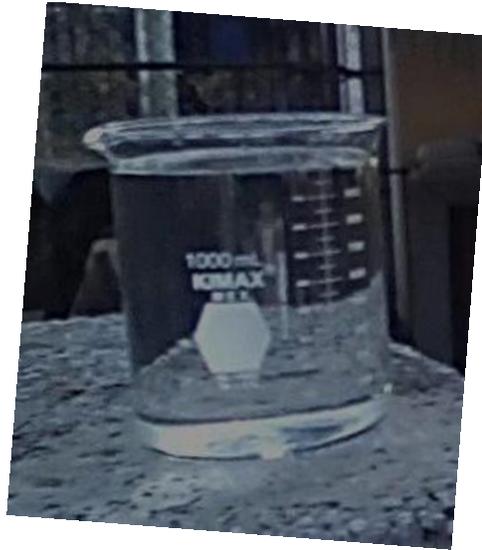
Cada que se hacía una prueba de permeabilidad, las muestras eran “lavadas”, representando el mantenimiento que se debe proporcionar de manera periódica a cada una, con agua de la llave para así quitar posibles residuos de madera de la cimentación u otras impurezas que pudieron haber caído durante la estancia en el lugar de depósito.



**Figura 9. Simulación de mantenimiento a muestras antes de cada prueba de permeabilidad.**

*Fotografía de realización propia.*

1. Se llenó un recipiente de 1 L con agua.



**Figura 10. Recipiente graduado de un litro.**

*Fotografía de realización propia.*

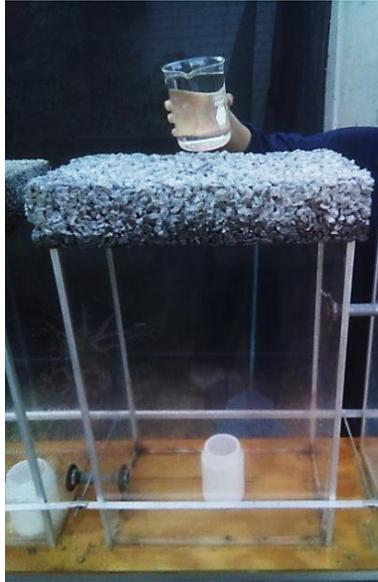
2. Se colocó una muestra por recipiente de acrílico (como se ve en la figura 11), asignándole nombres a cada una como “Muestra A”, “Muestra B” y “Muestra C” de izquierda a derecha respectivamente.



**Figura 11. Colocación de cada muestra en recipientes de acrílico.**

*Fotografía de realización propia.*

3. Se vació 1 L de agua a una velocidad constante sobre cada muestra, midiendo con un cronómetro el tiempo en que el litro pasó completamente por ésta.



**Figura 12. Prueba de permeabilidad de las muestras.**

*Fotografía de realización propia.*

4. Se tomaron muestras del agua de entrada (AE), es decir el agua que se haría pasar por cada muestra, así como del agua de salida (AS), aquella que resultaba después de hacerla pasar.



**Figura 13. Recipiente con agua de salida de la muestra "A" (SA), después de realizar la prueba de permeabilidad.**

*Fotografía de realización propia.*



**Figura 14. Recipiente con agua de salida de la muestra “B” (SB), después de realizar la prueba de permeabilidad.**

*Fotografía de realización propia.*



**Figura 15. Recipiente con agua de salida de la muestra “C” (SC), después de realizar la prueba de permeabilidad.**

*Fotografía de realización propia.*

Esta prueba se llevó a cabo tres veces cada 4 días, con la finalidad de ver si el tiempo de permeabilidad variaba, así como la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

## CAPÍTULO IV

### 4.1. RESULTADOS Y PROPUESTA

#### 4.1.1 PERMEABILIDAD

La relación que se consideró para las pruebas de permeabilidad de cada muestra fue el tiempo que tardaba en pasar un litro de agua.

Los resultados fueron los siguientes:

| <b>Tabla 5. Tiempo que tarda cada muestra en dejar pasar el agua por litro.</b> |            |            |            |                         |
|---|------------|------------|------------|-------------------------|
| MUESTRA   | TIEMPO (s) | TIEMPO (s) | TIEMPO (s) | Promedio del tiempo (s) |
|   | Día 1      | Día 2      | Día 3      |                         |
| A   | 6.0        | 5.8        | 5.70       | 5.75                    |
| B   | 5.5        | 5.5        | 4.68       | 5.23                    |
| C   | 5.0        | 4.8        | 4.25       | 4.68                    |

*Fuente: Tabla de realización propia.*

Cada día que se hacía la prueba de permeabilidad, se limpiaban de polvo mediante una acción de barrido a cada una de las pruebas, así como la adición de agua, simulando un “lavado” en ellas y que tuvieran la menor cantidad de residuos.

#### 4.1.2 MEDICIÓN DE LA DQO (Demanda Química de Oxígeno).

La DQO es una medida del oxígeno equivalente al contenido de materia orgánica e inorgánica de una muestra que es susceptible a oxidación por un oxidante químico fuerte (ácido sulfúrico). Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno por litro (mg/L).

Se aplicó un método basado en la oxidación de la materia orgánica con un exceso de dicromato de potasio en un medio fuertemente ácido.

Para que se llevara a cabo la degradación de materia orgánica e inorgánica, se utilizó un termorreactor marca HACH modelo DRB 200, para calentar la muestra con la mezcla de reactivos químicos y ácido sulfúrico a 150°C durante 2 horas.

Posteriormente, se utilizó un espectrofotómetro marca HACH modelo DR3900 para evaluar la demanda química de oxígeno (DQO) que utiliza el método colorímetro. Se destaca que este procedimiento tiene un intervalo de medición de 0 a 150 mg/L de DQO y está avalado por la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos, USEPA.

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla, considerando que:

- \* **AE:** Agua de entrada (Agua recolectada antes de hacerla pasar por la muestra).
- \* **SA:** Agua de salida de la muestra "A" (Agua recolectada después de hacerla pasar por la muestra).
- \* **SB:** Agua de salida de la muestra "B" (Agua recolectada después de hacerla pasar por la muestra).
- \* **SC:** Agua de salida de la muestra "C" (Agua recolectada después de hacerla pasar por la muestra).

**Tabla 6. Resultados de la DQO de cada muestra. (Día 1).**

| <b>DIA 1</b> |            |
|--------------|------------|
| MUESTRA      | DQO (mg/L) |
| AE           | 0          |
| SA           | 0          |
| SB           | 4          |
| SC           | 0          |

*Fuente: Tabla de realización propia.*

**Tabla 7. Resultados de la DQO de cada muestra. (Día 2).**

| <b>DIA 2</b> |            |
|--------------|------------|
| MUESTRA      | DQO (mg/L) |
| AE           | 28         |
| SA           | 10         |
| SB           | 1          |
| SC           | 4          |

*Fuente: Tabla de realización propia.*

**Tabla 8. Resultados de la DQO de cada muestra. (Día 3).**

| <b>DIA 3</b> |            |
|--------------|------------|
| MUESTRA      | DQO (mg/L) |
| AE           | 0          |
| SA           | 5          |
| SB           | 8          |
| SC           | 0          |

*Fuente: Tabla de realización propia.*

De acuerdo con los resultados arrojados por las pruebas efectuadas, se puede comentar que el concreto permeable puede funcionar como filtro de agua, al remover materia orgánica e inorgánica. Pero, también se aprecia que con el tiempo, el resultado se invierte, pues el agua de salida presenta valores más grandes que el agua de entrada, lo que significa que se está ensuciando. Para poder llegar a una afirmación concluyente, se requiere incrementar el número de pruebas de laboratorio y los contaminantes a evaluar.

### 4.1.3 PROPUESTA DE SISTEMA DE COSECHA DE AGUA DE LLUVIA EN LA FES ARAGÓN

A partir los resultados obtenidos y del comportamiento que se investigó sobre el concreto permeable, se propone su colocación de placas de concreto, con dimensiones de 80 cm de ancho por la longitud de cada edificio.

Es necesario tener en cuenta que la aplicación del concreto permeable es distinta al concreto convencional. Para asegurar que el concreto permeable tenga un rendimiento óptimo de trabajo, es importante estar seguro que se aplicó de manera adecuada.

El sistema propuesto puede servir para dos casos:

- 1) Ayudar al subsuelo, filtrando el agua pluvial y sus escurrimientos, recargando los mantos acuíferos.
- 2) Recolectar el agua de lluvia en pozos, y reutilizarla dentro de la Facultad.

Debido a la problemática que tiene la Facultad, es preferible utilizarla dentro de ella, puesto que la escasez de agua que existe obliga a buscar nuevas alternativas para combatir esta problemática.

El agua de lluvia recolectada se podría utilizar sin ningún tratamiento en tazas de baño y algunos procesos de limpieza (pisos, por ejemplo), aunque esto dependería de la calidad del agua de lluvia después de haberle hecho pruebas en

laboratorio de DQO; pero eso implica la construcción de una cisterna y conductos adicionales, es decir, diferentes de los existentes para el agua de suministro, pues por norma no se pueden combinar. Esto no siempre es factible, por problemas de espacio, peso y presupuesto.

Por otro lado, si se quiere destinar el agua captada para consumo humano, y por lo tanto, mezclarla con el agua potable que llega de la red municipal, debe filtrarse en grava y arena y después desinfectarse con cloro. Al final es recomendable pasar el agua por filtros de carbón activado para eliminar el sabor a cloro antes de su consumo, y de paso eliminar alguna sustancia orgánica residual.

El proceso de cloración debe ser llevado a cabo con cuidado y precisión para evitar dosis insuficientes o excesivas. Hay que tener cuidado también de no volver a almacenar el agua después del proceso de tratamiento con carbón activado, pues al eliminar el cloro residual, el crecimiento de bacterias puede desatarse nuevamente (Piccinelli, 2016).

Es recomendable hacer después de estos pasos de tratamiento, un análisis del agua en un laboratorio acreditado para asegurar que cumple con la normatividad vigente de agua potable.

Para la fabricación de estas placas, se sugiere hacer una zanja con las siguientes dimensiones: 80 cm de ancho por 50 cm de profundidad.

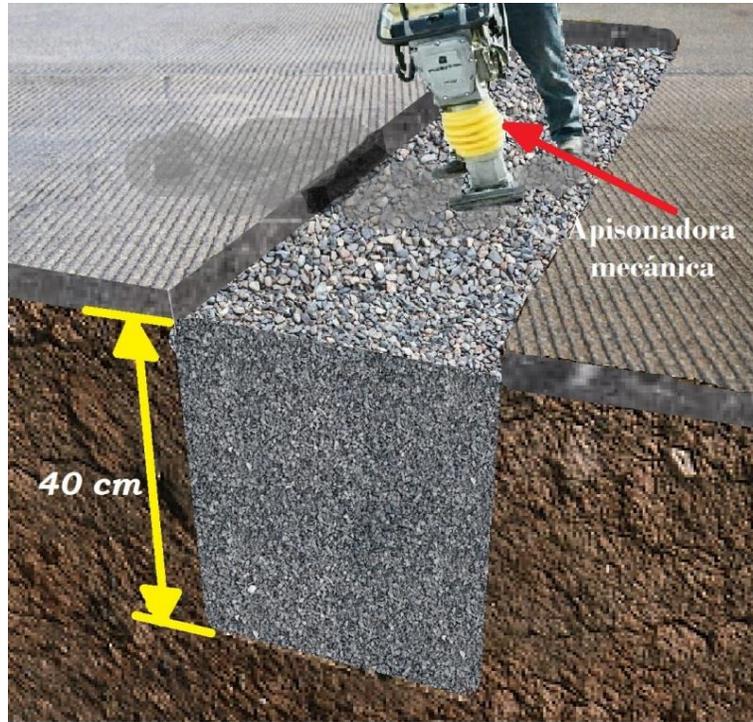
Dicha zanja debe limpiarse de cualquier agente orgánico que pueda estar presente en el sitio y así evitar futuros inconvenientes. Así mismo, debe compactarse el terreno para poderlo trabajar.



**Figura 16. Excavación de zanja con dimensiones propuestas.**  
*Figura de realización propia.*

Se puede colocar un revestimiento geosintético, para prevenir rupturas de flujo y que se pueda desviar el agua a las áreas de recolección (esto se aplicaría en caso de que se considerara factible utilizar el agua pluvial para el primer caso antes mencionado)

Posteriormente, se hace un relleno de agregado grueso limpio, discontinuo y de un tamaño máximo de 25 mm, la cual ayuda a retener el agua hasta que pueda filtrarse al subsuelo. Se debe considerar que el agregado grueso debe quedar compactado y para esto es posible auxiliarse de una apisonadora mecánica, que gracias a las vibraciones hace que el agregado pueda tener un mejor acomodo.



**Figura 19. Relleno de zanja con tamaños variados de agregado grueso.**

*Figura de realización propia.*

Después de tener esta base de agregado grueso y justo antes de comenzar la descarga de concreto, se debe humedecer toda la superficie sobre la que se colocará dicho concreto con abundante agua, para evitar que la superficie absorba el agua del concreto (el concreto debe permanecer húmedo hasta el momento de curado, para ello, es recomendable que la mezcla se haga en el lugar donde se colocará la placa de concreto).

El concreto puede ser colocado con ayuda de carretillas, botes o directamente desde el camión (no puede ser bombeado debido a que en su composición, se tienen materiales de granulometría mayor). En el proyecto se propone dar un espesor de 10 centímetros para la capa de concreto. Para nivelar el concreto permeable, lo más recomendable es utilizar reglas o reglas vibratorias para después pasar rodillos manuales o eléctricos.

El curado debe realizarse después de 20 minutos de haber sido aplicado el concreto, se cubre la superficie con un plástico delgado que lo aisle lo máximo posible de la intemperie durante 7 días.



**Figura 22. Fotografía del curado de concreto permeable.**

*La imagen muestra cómo se debe hacer un adecuado curado del concreto permeable.  
Imagen obtenida con fines didácticos desde la página <https://civilgeeks.com/2015/07/14/es-importante-el-curado-del-concreto-para-alcanzar-la-resistencia-necesaria/>*

Para los cortes de las juntas, se recomienda que se hagan a no más de 6 metros de separación y a profundidad de  $1/4$  o  $1/3$  del espesor del pavimento permeable.



**Figura 25. Trazo de la junta a una tercera parte del espesor del concreto permeable.**

*Figura de realización propia.*

Se propone colocar estas placas en sitios de la Facultad donde mayormente sufren inundación, como se muestra en los siguientes planos de distribución de Edificios de la FES Aragón.



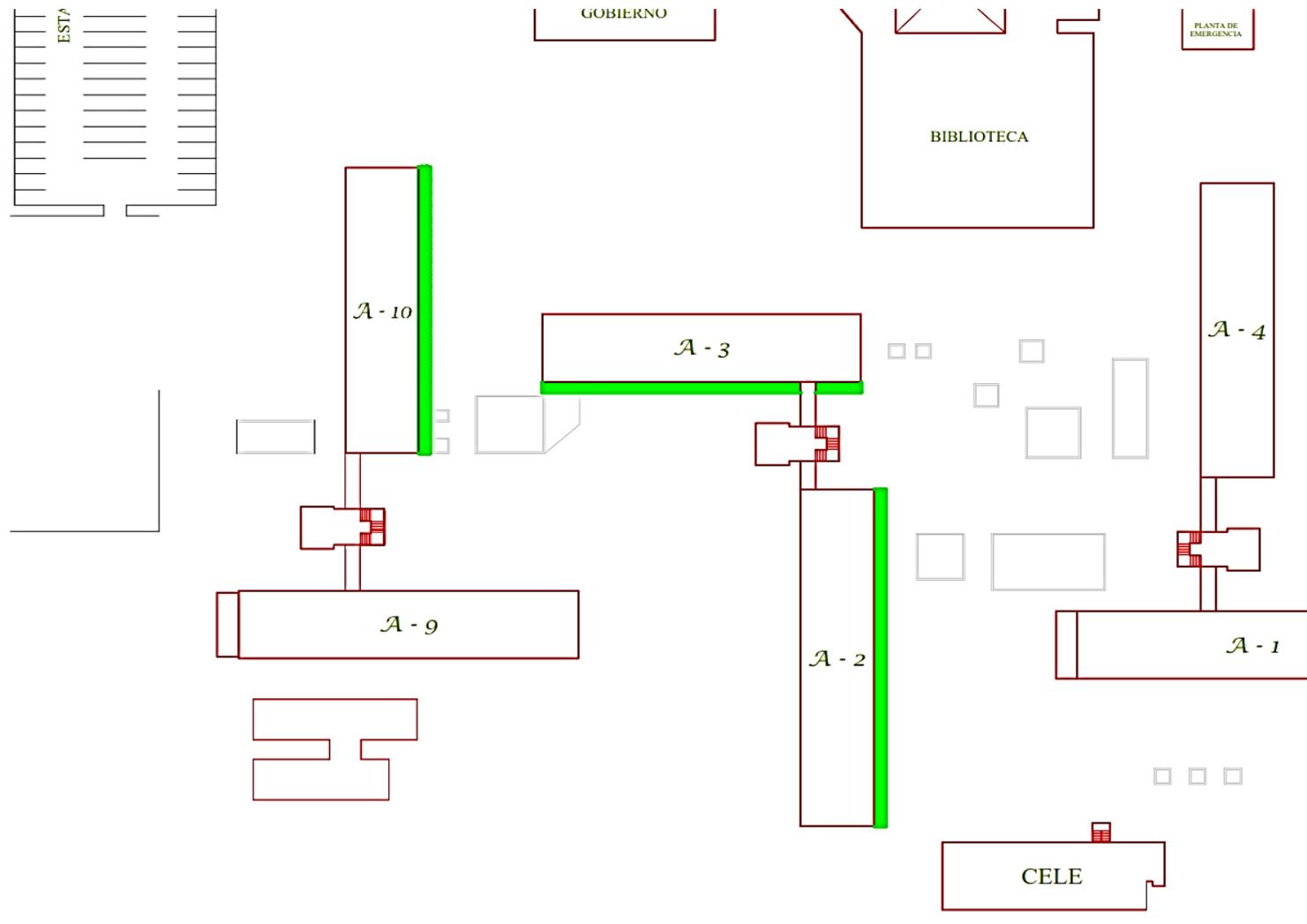


Figura 31. Representación de la FES Aragón (UNAM) con propuesta de colocación de zanjas en A-10, A-3 y A-2 trazadas en color verde.

Figura de realización propia

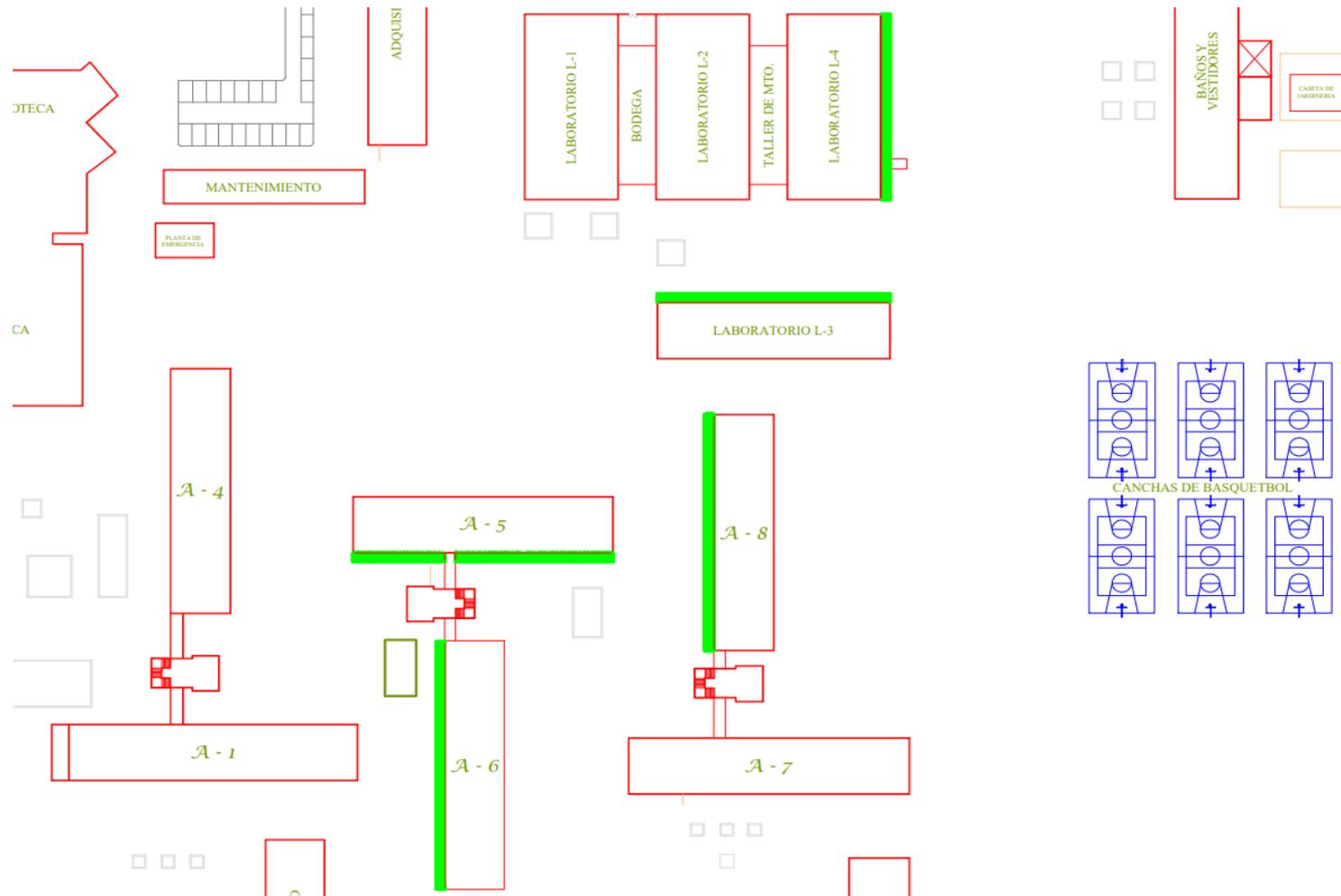


Figura 32. Representación de la FES Aragón (UNAM) con propuesta de colocación de zanjas en A-5, A-8, A-6, Laboratorio L-4 y Laboratorio L-3 trazadas en color verde.

Figura de realización propia

## CONCLUSIONES

La alternativa de implementar pavimentos de concreto permeable en la Facultad de Estudios Superiores Aragón (UNAM) es viable. Ya que éste funciona como superficie de infiltración de escurrimientos y al mismo tiempo cumple una función de pavimento para uso ligero, obteniendo un resultado favorable, al reducir los escurrimientos superficiales e inundar algunas zonas.

Se considera que los grandes beneficios del concreto permeable se basan en su total permeabilidad, teniendo ésta una fuerte relación con el porcentaje de vacíos, ya que entre mayor sea éste, la permeabilidad aumenta, pero el problema ahora es la resistencia y el peso volumétrico que disminuyen, obligando a hacer un diseño de mezcla considerando los factores antes mencionados.

Esta propiedad también depende directamente del grado de compactación que se le dé al pavimento, ya que si se proporciona una compactación excesiva durante su etapa de construcción, la permeabilidad se perderá.

La supervisión y control de calidad del concreto permeable debe estar sujeto a una estricta supervisión, por lo que es necesario revisarlo antes, durante y después de la colocación, tanto en el sitio donde se aplicará, como en los materiales que se ocuparán para su fabricación, respetando las características de sus componentes, ya que es de vital importancia asegurar un funcionamiento del sistema de concreto permeable para cumplir con esta función.

Además de cumplir con los cuidados adecuados desde los estudios preliminares y sobre todo un correcto mantenimiento preventivo, para asegurar una larga vida útil.

Cabe mencionar que la colocación del concreto permeable requiere de un mayor gasto económico, puesto que se requiere de personal que conozca sobre los adecuados procedimientos de instalación, aunque esto se compensa al comparar la cantidad de ventajas que llega a tener este concreto.

El tiempo de vida de este material es de 20 años aproximadamente y, como a cualquier piso, se le tiene que dar mantenimiento básico como barrer y lavar ocasionalmente. En casos extremos, se puede lavar una o dos veces por año con una lavadora de presión de agua, tipo Karcher.

Este concreto ayuda a reducir el grado de contaminación del agua de entrada, convirtiéndose en una solución ecológica de zonas urbanas, permitiendo con gran facilidad el tratamiento de agua pluvial antes de ser evacuada del sitio de recolección.

Finalmente, se hace énfasis en que esta propuesta de implementar concreto permeable en la Facultad puede considerarse como buena inversión. En este trabajo la resistencia no fue la propiedad principal a evaluar, sino la permeabilidad, el tiempo de paso y la calidad con la que pasaba el agua en las muestras realizadas, lo que significa que se deja abierto un tema para continuar con la investigación de su uso como un material confiable para la cosecha de agua de lluvia.

Sería una buena alternativa para aprovechar las temporadas largas de lluvia, evitando así los encharcamientos y ayudando a la problemática de escasez de agua con el aprovechamiento del agua pluvial recolectada.

## REFERENCIAS

- Aire, C. (2010). *Construcción y tecnología en concreto*. Recuperado el 26 de 01 de 2017, de <http://www.imcyc.com/revistacyt/jun11/arttecnologia.htm>
- Arango, S. (04 de 05 de 2014). *Concreto permeable: desarrollo urbano de bajo impacto*. Recuperado el 26 de 01 de 2017, de <http://blog.360gradosenconcreto.com/concreto-permeable-desarrollo-urbano-de-bajo-impacto-2/>
- ARQHYS, R. (2012). *ARQHYS*. Recuperado el 08 de 02 de 2017, de <http://www.arqhys.com/construccion/usosconcreto.html>
- ARQUBA. (2016). *ARQUBA*. Recuperado el 07 de 02 de 2017, de <http://www.arquba.com/monografias-de-arquitectura/antecedentes-historicos-del-concreto/>
- Carlos J. C. Cruz, A. S. (2014). *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo* . Recuperado el 01 de 03 de 2017, de [https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/6287/disenio\\_de\\_un\\_concreto\\_permeable\\_para\\_la\\_recuperacion\\_de\\_agua.pdf](https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/6287/disenio_de_un_concreto_permeable_para_la_recuperacion_de_agua.pdf)
- Caytairo, O. Z. (2014). *Civilgeeks*. Obtenido de <https://civilgeeks.com/2015/07/14/es-importante-el-curado-del-concreto-para-alcanzar-la-resistencia-necesaria/>
- Constructivo, G. (22 de 09 de 2016). *CONSTRUCTIVO; el portal de los profesionales de la construcción*. Recuperado el 01 de 02 de 2017, de <http://www.constructivo.com/cn/d/novedad.php?id=332>
- EKECO. (2009). *EKECO; Tecnología ecológica*. Recuperado el 01 de 02 de 2017, de <http://www.ekeco.org/CARPETA%20EKECO%20CONSTRUCCION.pdf>

MAQUINARIAPRO. (2009). *MAQUINARIAPRO*. Recuperado el 08 de 02 de 2017, de <http://www.maquinariapro.com/materiales/concreto.html>

Nezahualcoyotl, A. d. (30 de 09 de 2000). *IPOMEX*. Recuperado el 30 de 01 de 2016, de <http://www.ipomex.org.mx/ipo/archivos/downloadAttach/96778.web>

NORMSERVIS. (01 de 10 de 2014). *NORMSERVIS*. Recuperado el 01 de 03 de 2017, de <http://eshop.normservis.cz/norma/astm-c1688-c1688m-14a-1.10.2014.html>

NRMCA. (1993). *NRMCA*. Recuperado el 26 de 01 de 2017, de <https://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP38es.pdf>

U., Y. F. (14 de 10 de 2014). *DISEÑO Y APLICACIÓN DE CONCRETO POROSO PARA PAVIMENTOS*. Recuperado el 15 de 03 de 2017, de [http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/3082/Dise%C3%B1o\\_aplicacion\\_concreto.pdf?sequence=1](http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/3082/Dise%C3%B1o_aplicacion_concreto.pdf?sequence=1)