

CAPITULO IV
COLOCACION Y CONSTRUCCIÓN DEL
CONCRETO PERMEABLE

4.1 Generalidades

El concreto permeable es un material nuevo dentro de la industria de la construcción y uno de los principales usos que se le ha dado es el de pavimento, pues la forma de su estructura permite la infiltración del agua a través del pavimento, con el fin de permitir la infiltración del agua a través de la superficie y almacenamiento temporal de esta en la sub-base o subrasante, para su posterior infiltración en el terreno. Como pavimento el concreto permeable se aplica principalmente en áreas de estacionamiento y calles con tránsito ligero, con el objetivo de disminuir escurrimientos superficiales provenientes de lluvia. La siguiente gráfica ilustra las diferentes capas que componen al pavimento permeable.¹

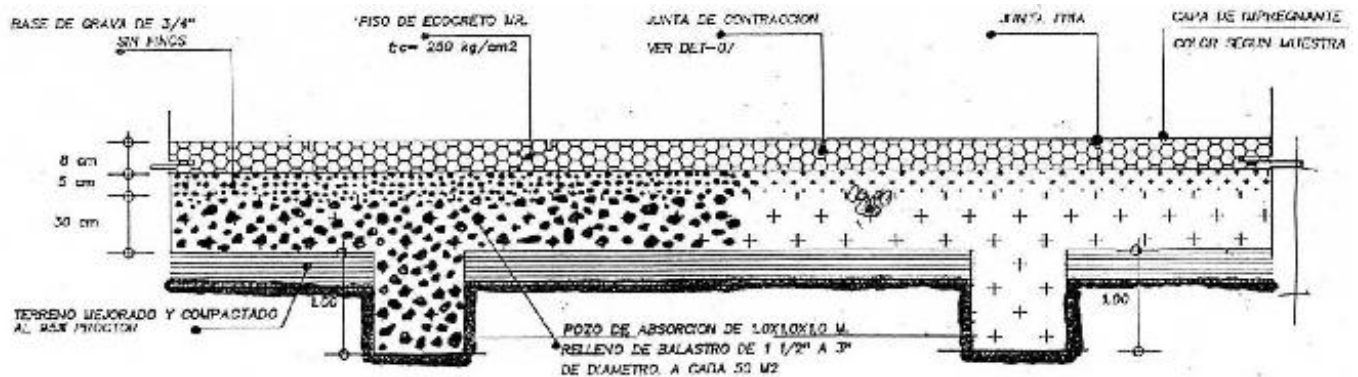


Figura 20. Estructura de un pavimento permeable

Al contar con un mínimo o nulo porcentaje de agregado fino se obtiene la capacidad de porosidad del concreto permeable, mientras que el agregado grueso cumple la función de proveer una superficie lisa en el pavimento. Por otra parte el contenido de cemento en los pavimentos de concreto permeable es mucho mayor que el contenido en los concretos convencionales, esto atribuido a las cargas vehiculares que transitan sobre él, este contenido adicional proporciona una mayor resistencia siendo capaz de unir las partículas de agregado grueso con respecto a los vacíos de la estructura del pavimento.

El procedimiento constructivo del concreto permeable varía un poco al del concreto convencional, principalmente por que se utiliza un método de compactación especial, pues se prevé el deterioro de la permeabilidad del suelo natural durante la construcción.

¹ Concretos permeables y ecológicos, *Op. Cit.*, p. 9.

Al utilizar pavimentos de concreto permeable se obtiene como ventaja una reducción de flujo superficial proveniente de lluvias torrenciales mediante la infiltración, al evitar que la zona pavimentada sea totalmente impermeable, dando como resultado una captación del agua 3 veces mayor a la superficie del concreto permeable y de este modo minimizar la colmatación del pavimento pudiendo ser ocasionado por los sedimentos arrastrados por el escurrimiento, que disminuye la porosidad y por consiguiente la infiltración.

La utilización del concreto permeable no es recomendable en zonas y áreas con suelos impermeables, regiones climáticas con ciclos permanentes hielo-deshielo, regiones áridas o con un alto contenido de erosión eólica, zonas de alto tráfico, o donde existan posibilidades de colmatación.

4.2 Colocación y construcción del concreto permeable

La construcción del concreto permeable debe realizarse de acuerdo con los planos y especificaciones del proyecto para proveer un pavimento que satisfaga las necesidades de los usuarios y/o los reglamentos locales. La construcción inicia con una cuidadosa planeación, donde se debe determinar la secuencia del desarrollo del proyecto, fechas de entrega de superficies pavimentadas, equipo óptimo para el tamaño del proyecto, pruebas y supervisión.



Figura 21. Colocación de concreto permeable en camellones de la ciudad de México

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, estas bases deberán estar libres de materiales finos como la arena, ya que

estos serían disueltos y arrastrados por el agua dando lugar, después de cierto tiempo, a la formación de “baches”. “A continuación se presenta el procedimiento constructivo general para la instalación del concreto permeable

1. Abrir cajas con la profundidad requerida, según el proyecto a realizar.
2. Compactación del terreno natural por medios mecánicos.
3. Abrir pozos de absorción según el proyecto a realizar.
4. Relleno con balastro, el cual será aplicado en los pozos y en toda el área.
5. Compactación del relleno por medios mecánicos.
6. Relleno con grava de $\frac{3}{4}$ ”²

Al término de la construcción de la base, se cuela el pavimento permeable, cuyo espesor final varía de acuerdo al proyecto, debido al proceso de vibro-compactación realizado durante su colocación.

Cabe aclarar que hay lugares en los cuales es posible colar los pavimentos permeables directamente sobre el terreno natural, es decir, sin necesidad de la construcción de bases, tal es el caso de los terrenos rocosos y los cercanos al mar. Los terrenos rocosos tienen un alto valor relativo de soporte y normalmente presentan grietas por las cuales se podrá filtrar el agua. Por ser superficies irregulares en estos casos se recomienda colocar un relleno de grava sólo para nivelar la superficie para el colado. En el caso de los terrenos junto al mar, la arena que los caracteriza no es soluble al agua y tiene un alto valor de soporte, por lo cual se pueden colar los pavimentos permeables directamente sobre ellos. En todos los casos será necesario confinar las áreas sobre las cuales se realizarán los colados, aclarando que las guarniciones servirán para este propósito.

Los pozos construidos dependerán de la permeabilidad del subsuelo, no es importante su forma, lo que realmente interesa es que funcionen mejor mientras más profundos, siempre tomando en cuenta que el propósito de los pozos es el de crear cargas hidrostáticas más altas.

² Concretos permeables y ecológicos, *Op.cit.* p. 8



Figura 22. Pozo de absorción



Figura 23. Pozo de absorción relleno con boleos

4.2.1 Equipo y herramienta

El equipo a utilizar dependerá del tamaño, volúmenes de obra y características específicas del proyecto. De alguna manera influye también la disponibilidad que tengan los contratistas locales. A continuación se mencionan los equipos a utilizar en cada etapa constructiva del concreto permeable.³

Remoción y despeje de caja en el área de trabajo

En obras urbanas es frecuente tener que remover fragmentos de cimentaciones antiguas, brocales de pozos de visita, camellones, guarniciones, entre otras instalaciones urbanas. En caso de que el tramo sea virgen, será necesario retirar fragmentos de roca, raíces de árboles de gran tamaño, si es que existen. En caso de presentarse demoliciones, será necesario contar con equipo que funcione con aire comprimido: compresores, perforadoras manuales, rompedoras de losas de concreto y pavimentos asfálticos. Como equipo de carga, remoción y de maniobra resulta conveniente el empleo del cargador frontal.

Escarificación

Para estas actividades se emplean motoniveladoras para suelos equipadas con barra escarificadora, normalmente de 11 dientes. Cuando se tenga que remover roca, se aconseja el empleo de arados, para no dañar las hojas de las motoniveladoras.

³ Salazar Rodríguez, Aurelio, *Op.cit.*, p. 21-22.

Extracción

Esta parte de la preparación de la superficie se puede realizar mediante cargadores frontales, buldócer o motoniveladoras. Cuando los volúmenes por tratar son pequeños, se pueden emplear tractores agrícolas complementados con cargador frontal.

Transporte

La movilización de suelo recortado, o bien los volúmenes hacia el sitio de trabajo, por ejemplo de rellenos de importación de bancos, se podrá realizar mediante camiones de volteo. En obras pequeñas es conveniente contar con un tractor para mover equipo menor, materiales, moldes y equipos dentro del área de trabajo.

Mezclado, homogeneización y distribución

Normalmente, se utilizan motoniveladoras para realizar el mezclado y la uniformización, incluido el extendido de materiales en las cajas ya preparadas. En ocasiones, y dependiendo de si se utilizan sustancias estabilizadoras, podrán emplearse equipos especiales, como los tractores con rastras agrícolas, para preparar el mezclado en el sitio.

Equipo de riego

Es frecuente el empleo de pipas o contenedores montados en camiones y provistos de dispositivos y bombas especiales para distribuir en forma controlada y homogénea el agua a todo lo ancho del camino.

Compactación

El equipo de compactación se escogerá en función de los tipos de suelos por compactar y de las exigencias del proyecto. Los requisitos básicos adicionales que los equipos de compactación deben cumplir son los siguientes:

- Los compactadores vibratorios deberán contar con mecanismos que le permitan controlar las velocidades.
- En caso de que se utilicen equipos con llantas neumáticas, estos podrán ser lastrados. Si son de remolque, los tractores deberán contar con llantas neumáticas.

- Los equipos vibratorios pesados (5 ton) pueden ser empleados en la gran mayoría de los casos. También los “patas de cabra” con forma trapezoidales o modificados podrán ser utilizados.
- De preferencia las frecuencias y amplitudes de los rodillos vibratorios deberán ser regulables. La frecuencia de este equipo va normalmente de 1,500 a 2,500 *ciclos/minuto*. En suelos granulares se recomiendan amplitudes bajas combinadas con frecuencias altas. En los suelos plásticos es exactamente al revés.
- En trabajos pequeños es recomendable contar con un rodillo vibratorio de doble tambor, con un peso estático de 1 *ton.* o mayor.
- En el caso específico del concreto permeable se requiere un equipo especial para la compactación.



Figura 24. Uso de auto-hormigoneras para la mezcla

La preparación de la mezcla puede hacerse en obra, mediante el uso de trompos o de máquinas revolventoras o también puede hacerse en una planta de premezclado. El uso de trompos y de auto-hormigoneras es recomendable cuando se requiera que la apariencia del pavimento sea excelente, ya que normalmente las empresas que ofrecen el servicio de premezclado no pueden

garantizar la perfección de la mezcla. La herramienta básica para la construcción de estos pisos y pavimentos consiste en palas, rastrillos, reglas para nivelar, además de pisones de mano y cucharas o llanas para detallar.

4.2.2 Preparación y disposición de la capa subrasante

Para iniciar la construcción de la capa subrasante deberá muestrearse el suelo encontrado en el lugar del proyecto, someterse a pruebas de permeabilidad y capacidad de carga. Si existe un porcentaje predominante de arena es posible que las condiciones de graduación no favorezcan a la permeabilidad.

La uniformidad y apoyo de la subrasante, es un criterio clave para la colocación del concreto permeable, al igual que en otros pavimentos los surcos generados por el paso de camiones y otras irregularidades deben ser reparados y compactados antes de la colocación. Es necesario tomar en cuenta el diseño hidrológico y estructural, debido a que la preparación de la capa subrasante es un componente crítico del comportamiento del pavimento de concreto permeable,

Ya que la uniformidad del soporte de la subrasante es esencial en la función del pavimento, esta debe estar garantizada tanto para condiciones secas como húmedas. Una adecuada construcción del pavimento de concreto permeable facilita estos requerimientos, específicamente cuando estén expuestos al agua de lluvia. Lo que podría provocar la ocurrencia de pérdidas en el soporte de la subrasante en suelos arenosos, sin embargo los problemas que se pueden presentar en el soporte de la subrasante es variable y pueden resultar por la presencia de limos y arcillas, los cuales son altamente compresibles, tiene poca cohesión o se expanden en condiciones húmedas. Estas condiciones pueden ser analizadas individualmente para obtener los valores de soporte y ser modificados, reemplazados o bien colocar un material permeable adicional de menos de 15 *cm* encima de un suelo inadecuado. El uso de pavimentos permeables es una opción donde se encuentren suelos arcillosos o capas impermeables.

La compactación de la subrasante dependerá del tipo de suelo, esta deberá compactarse entre el 90% y 95% de la densidad determinada por la norma AASHTO T 180, en caso de aumentar la densidad de la subrasante disminuirá la permeabilidad de la misma.

El pavimento de concreto permeable tiene una humedad mínima libre y si la subrasante está en condiciones secas, el tiempo de colocación se acelerará generando una reducción en el desempeño del pavimento. El tiempo de colocación es importante para cumplir con la humedad de la subrasante sin la presencia de la resistencia libre del agua como en los métodos del pavimento convencional.

Debido a que es de vital importancia la capa subrasante, es esencial tener una buena preparación al nivel correcto para la construcción de un pavimento de calidad. Es recomendable que los primeros 150 *mm* de la parte superior de subrasante estén compuestos de material granular con abundante contenido de grava y una cantidad moderada de finos, menos del 10%.

La subrasante no debe encontrarse irregular, lodosa, saturada o congelada al iniciar su colocación. Antes de la colocación del concreto permeable, la subrasante debe ser humedecida. Al proporcionar una subrasante con una alta humedad dará como resultado una reducción en la resistencia del pavimento y puede conducir a una falla prematura del pavimento.

Para asegurar una compactación uniforme, debe “rastrillarse” y recompactarse las deformaciones causadas por las rodadas de los vehículos antes de las operaciones de colocación del concreto. Las propiedades del suelo de la subrasante requieren que se construya una capa adicional de agregados según el diseño de drenaje, ésta debe ser colocada sobre una subrasante preparada, compactada y nivelada a la elevación apropiada.

4.2.3 Mezclado

Debido a las características especiales del concreto permeable, se requiere un control de calidad estricto al momento de dosificar la mezcla. Particularmente el contenido de agua del concreto permeable está limitado a un pequeño rango para proporcionar la fuerza y permeabilidad adecuada, además de evitar la desintegración del cementante y los agregados y la pérdida de la estructura porosa. Un contenido limitado de cemento ocasiona que el agua y agregados tengan un impacto más drástico que lo experimentado en concretos convencionales. El grado de humedad en el agregado debe ser supervisado cuidadosamente, debido a que el agua es absorbida por el agregado y un exceso de humedad suministrado al agregado puede ser perjudicial.

Es recomendable que los contratistas y productores trabajen con el mismo criterio, para asegurar una mezcla apropiada antes de colocarla en el sitio de trabajo. Es común realizar

ajustes menores en la cantidad de agua, estos pueden ser realizados en el sitio de trabajo para alcanzar la consistencia apropiada, sin embargo, esta acción se debe realizar con sumo cuidado, porque las adiciones en el sitio de trabajo de agua pueden ser difíciles de controlar. La cantidad correcta de agua proveerá un brillo en la mezcla.

Las pruebas de peso de unidad son recomendables para verificar las proporciones correctas de la mezcla. Los pesos de unidad deben variar entre 1600 y 2000 kg/cm^3 y se requieren típicamente estos valores para estar dentro del rango de 5% del peso de unidad de diseño.

La proporción del agregado y del cemento se establecen experimentando con los materiales disponibles en el sitio de trabajo, pues las variaciones en características de materiales limitaran la utilidad de los diseños preceptivos de la mezcla.

4.2.4 Transporte

Debido a que el concreto permeable tiene un bajo contenido de agua, se requiere de un cuidado especial durante su transportación.

Para ello, es recomendable inspeccionar las aspas de los camiones revolventes debido al gasto que sufren por el uso, además de que cada “olla” no debe tirar más de dos cargas antes de ser asignado a otro concreto. Las mezclas de concreto permeable tienden a

unirse fuertemente a las aspas por lo que es necesario que éstas se limpien adecuadamente y se inspeccionen, por otro lado la mezcla debe ser descargada completamente una hora después de que se haya agregado el agua a la mezcla. El uso de aditivos reductores de agua podrían extender el tiempo de colocación hasta una hora y media o más, provocando que el fraguado inicial de la mezcla sea más tardío cuando se manejen grandes tiempos en la colocación. Es de tomarse en cuenta las altas temperaturas ambientales y las condiciones de viento ya que afectaran la transportación y colocación de la mezcla.



Figura 25. Camión revolventora, especial para concreto permeable

4.2.5 Colocación

Existen una gran variedad de técnicas que pueden ser utilizadas para la construcción y colocación de pavimentos de concreto permeable, al igual que en el concreto convencional, la técnica de construcción depende principalmente del lugar donde será instalando el concreto poroso y los requerimientos específicos del proyecto. Es importante mencionar que las mezclas de concreto permeable no pueden ser bombeadas, por lo que es importante realizar una buena planeación para el acceso en el sitio de trabajo. Antes de la colocación, es necesario revisar la preparación de la subrasante y la forma; no deben existir irregularidades, desalineaciones o surcos, en caso de existir deben ser corregidos.

Una disposición bien planeada del proyecto puede facilitar las operaciones de construcción, permitir el uso eficiente de equipo de colocación, y proporcionar acceso para los camiones de entrega del concreto. El contratista y el diseñador deben de planear y estar de acuerdo sobre las disposiciones de las juntas y las técnicas de construcción antes de iniciar la construcción. Es recomendable tener un plano que muestre la localización de todas las juntas y la secuencia de colocación antes de empezar la construcción, además de establecer la localización de objetos fijos teniendo en mente el patrón de juntas y los métodos de construcción.

La colocación del concreto permeable debe ser completada tan rápidamente como sea posible. El tiempo en que se permita que el material fresco esté expuesto a los elementos es un tiempo en el que se está perdiendo el agua necesaria para el curado. El secado de la pasta de cemento puede llevar a una falla por desmoronamiento en los bordes de la superficie del pavimento. Las operaciones y equipos a utilizar deben estar planeados, diseñados y seleccionados teniendo en cuenta la colocación rápida y curado inmediato del pavimento.

Es necesario que la subrasante sea completada acorde a las especificaciones establecidas, antes de colocar la mezcla de concreto permeable, esto debido a que la subrasante debe tener el contenido de agua adecuado, ocasionando que esta capa absorba agua de la mezcla,

acelerando el fraguado y provocando una reducción en la resistencia del pavimento permeable.



Figura 26. Acomodo de la mezcla con rastrillos y palas

Previo a la colocación de la mezcla, es recomendable revisar tanto la cimbra como la nivelación que se encuentren colocadas e instaladas de manera correcta. Durante el proceso de descarga se debe realizar una inspección visual de la mezcla, para asegurar una relación *agua-cemento* óptima, la cual debe tener un aspecto *metálico-brillante*, en caso de que el material presente grumos la mezcla será rechazada. En caso de continuar estos grumos

durante la colocación del material, será necesaria una revisión de humedad y del estado de las aspas de las ollas. La operación de descarga debe ser continua, además de depositar tan cerca de su nivel final como sea práctico. Esto comúnmente se logra por la descarga directa de la canaleta del camión mezclador directamente en la subrasante y el traspaleo debe de ser evitado.

Durante la colocación del concreto, al tener zonas dentro del proyecto donde no puedan alcanzarse con los mezcladores, es recomendable la utilización de bandas transportadoras, debido a que el revenimiento de las mezclas de concreto es cero, por lo que el bombeo no se recomienda. Al ser depositado en su sitio el concreto permeable su acomodo se realiza por medio de rastrillos o herramientas similares.

Para una correcta colocación, se debe tener precaución y supervisión en las siguientes actividades:

- Arrastrar o palear el concreto fresco a su posición final;
- El llenado de los huecos en el concreto;
- La contaminación del concreto permeable con material dañino;
- Caminar sobre el concreto permeable fresco.

4.2.6 Cimbras y equipo de enrasado

Las cimbras utilizadas en la construcción del concreto permeable pueden ser de madera, plástico, acero, o mixtas cumpliendo como requisito el mismo espesor del pavimento, deben ser suficientemente fuertes y estables para soportar el equipo mecánico. Para construcciones en las que el tiempo es determinante y el número de usos de una misma cimbra es considerable, es recomendable optar por un sistema de cimbra industrializado fabricado con materiales como aluminio, fibra de vidrio, entre otros materiales; aunque el costo inicial de adquisición sea mayor que el de la cimbra de madera.

La cimbra debe ser fuerte y rígida para garantizar el soporte adecuado del elemento que se construye y satisfaga las tolerancias dimensionales permitidas, para soportar el equipo de rodillo y enrasadores usados, debiendo utilizar suficientes estacas para resistir el movimiento lateral.

Por otra parte la cimbra debe ser lo suficientemente hermética para evitar escurrimientos, durante el proceso de vibrado y fraguado del concreto, así como la subrasante por debajo de la cimbra para compactarse de acuerdo con las recomendaciones del diseñador y nivelarlas correctamente. A su vez la cimbra debe ser fácilmente desmontable para no dañar el acabado especificado del concreto y permitir su reutilización el mayor número de veces posible.



Figura 27. La cimbra deberá tener el espesor del pavimento, además de ser lo suficientemente resistentes y estables



Figura 28. Cimbra de madera sujeta a base de clavijas

El método de enrasado a utilizar varía dependiendo del tamaño colocado. Para trabajos pequeños, tales como caminos particulares, o aéreas estrechas es aceptable el uso de reglas rectas manuales o “bailarinas”. Si se trata de trabajos más grandes, es recomendable el uso de una enrasadora vibratoria de marco con sección tipo “A”. Es de vital importancia enrasar el concreto lo más rápido posible, por lo que el trabajo manual no es recomendable si el tamaño de la obra es muy grande debido a la insuficiencia de velocidad en el trabajo.



Figura 28. Enrasado del concreto permeable mediante el uso de una enrasadora vibratoria de marco con sección tipo “A”

4.2.7 Compactación

El tiempo y cantidad de compactación en el funcionamiento del concreto permeable tiene efectos verdaderamente considerables. Un alto grado de compactación ofrecerá una resistencia mayor en el concreto, esto debido a la densificación del concreto y la eliminación de espacios vacíos internos de la mezcla, sin embargo estos espacios vacíos son necesarios para obtener la permeabilidad y permitir la filtración del agua. Una alta compactación traerá como resultado un baja considerable en la permeabilidad del concreto y por consiguiente una falla en el sistema del concreto permeable, como medio filtrante

Para la compactación de concretos permeables se han aplicado un sin fin de técnicas, principalmente se utilizan pisones manuales, bordes para facilitar la compactación a lo largo de las cimbras o rodillos de acero, con el objeto de crear una adherencia mayor en la pasta de cemento entre las partículas del agregado y para proveer un acabado regular en la superficie del concreto. “El rodillo debe tener un ancho adecuado para desplazarse sobre la cimbra y debe proporcionar una presión mínima vertical de 0.07 MPa . El rodillo normal del

tamaño necesario para cubrir una franja de 3.7 m y pesa aproximadamente de 270 a 320 kg⁴. En áreas estrechas puede utilizarse un rodillo para jardinería más pequeño o rodillos contruidos a pedido especial, este tipo de rodillos pesa aproximadamente de 90 a 140 kg, además de no ser recomendables para colados más grandes debido, al largo tiempo de compactación necesario, conduciendo a fallas por desmoronamiento en las orillas.



Figura 29. Compactación del concreto permeable por medio de un rodillo de acero

El procedimiento de compactación debe durar entre 15 y 20 minutos después de la vibración de impactos, esto debido a la estructura de la mezcla, esto generando una evaporación rápida del agua, produciendo el inicio del fraguado. Si el concreto ha fraguado, el rodillo no compactara al nivel deseado, además de causar agrietamiento superficial en el cementante e incrementar la posibilidad de aparición de futuras fallas. Una vez terminada la compactación del concreto no es recomendable pulir la superficie, pues se obstruirán los poros de la superficie disminuyendo la permeabilidad. En caso de existir algún defecto en el trabajo realizado, debe corregirse en forma manual.

En algunos casos se requiere de esfuerzos adicionales para asegurar un pavimento de calidad. En áreas donde el proyecto requiera un requisito especial, el pavimento debe ser compactado en cruz para emparejar cualesquiera desviaciones verticales en la elevación de la superficie. Junto a las aceras y bordes de pavimentos expuesto, el concreto debe ser acabado con la herramienta adecuada para proporcionar una esquina lisa y suave.

⁴ Concreto permeable, *Op. cit.*, pág. 24.

4.2.8 Juntas de construcción y acabados

Las juntas de construcción se forman generalmente, por circunstancias imprevistas o por necesidad del procedimiento constructivo, las primeras surgen cuando el elemento estructural no se cuela de manera monolítica y las segundas cuando el mismo proceso no permite colar los elementos de manera monolítica.

Las juntas de construcción se forman cuando se coloca concreto fresco, sin endurecer, sobre concreto ya endurecido sin la posibilidad de integrarlos por medio de vibración, debiendo tomar las medidas adecuadas para obtener la adherencia deseada. Esto se logra mediante la preparación de la superficie del concreto endurecido para recibir al nuevo concreto, se deben retirar los materiales sueltos, mal adheridos, lechada o mortero superficial, con el objeto de tener una superficie rugosa y sana. La limpieza del concreto ya endurecido se puede realizar por medio de agua o aire a presión, para retirar partículas finas.

La ubicación de estas juntas debe planearse antes de la colocación y hay que apearse a estas ubicaciones tanto como sea posible. Generalmente, dichas juntas marcan la parte superior de un colado, el extremo de un monolito, o el final de un día de trabajo, siempre se debe procurar que estén apropiadamente localizadas, limpias y bien adheridas. Como gran desventaja de las juntas es que se tiene filtraciones y se degradan con el clima, se recomienda evitarlas tanto como sea posible.



Figura 30. Realización de una junta constructiva en el concreto permeable

Las juntas constructivas en el concreto permeable deben ser colocadas como una prevención al agrietamiento, éstas mismas difieren a las convencionales, debido a que el pavimento poroso tiene menos de un tercio de la retracción de un concreto convencional. Las juntas se deben colocar en un intervalo de 6 m, sin embargo pueden colocarse como máximo hasta 13.5 m, deben de tener una profundidad de $1/3$ a $1/4$ del espesor del pavimento, por lo que en este caso los equipos convencionales no son aplicables, obligando a utilizar un rodillo especial con una hoja filosa.

Las juntas longitudinales se colocan en el punto medio del ancho del carril, en caso de exceder los 4.50 m, estas juntas pueden ser construidas cuando el concreto se encuentra en estado fresco, con las herramientas adecuadas o con una sierra cortadora, después de que el concreto se haya endurecido (ver fig. 30), aunque al realizar el trabajo en estado fresco con las herramientas adecuadas produce un mejor resultado. Las herramientas para la construcción de juntas en concretos convencionales no sirven, orillando a utilizar rodillos especialmente diseñados con una hoja que sea $\frac{1}{4}$ del espesor de la losa y con el suficiente peso para forzar a que la hoja corte limpiamente la junta. En situaciones con carriles muy anchos, puede cortarse una junta longitudinal con el rodillo de compactación.

Si se utiliza la sierra para realizar el corte, el procedimiento debe iniciarse tan pronto como el pavimento se haya endurecido lo suficiente para evitar daño a la superficie, debe removerse el material de curado plástico del recubrimiento en el ancho suficiente para aserrar las áreas requeridas. En caso de utilizar sierras que no cuenten con sistemas de aspirado para recoger el polvo, las áreas expuestas deben ser lavadas con agua, para lograr una limpieza en los poros por los finos generados por el aserrado. Es importante recubrir inmediatamente el área expuesta con el material plástico de curado tan pronto como se hayan hecho los cortes con sierra.

Las juntas transversales de construcción sólo pueden ser instaladas, siempre y cuando se haya terminado el tramo de construcción, de otra manera el concreto será afectado y nunca empezara a endurecer. Para garantizar el vínculo de los agregados con la construcción de las juntas, se debe tener un adecuado agente de adherencia para colocar el concreto fresco al ya existente, el cual será cepillado o esparcido al límite de la superficie del pavimento existente. La experiencia muestra que las juntas longitudinales son más susceptibles a desconche. Una compactación adicional en esta zona es necesaria para evitar la aparición de estas fallas.

Típicamente, los pavimentos de concreto permeable no tienen el mismo acabado que los pavimentos de concreto convencional. Normalmente las operaciones de sellado y pulido no se realizan, pues tienden a taponar la superficie porosa, dejando invalida la principal

función del concreto permeable. Para la mayoría de los concretos permeables instalados el último paso de su construcción es la compactación, dejando como ventaja una superficie con mayor rugosidad, ayudando a mejorar la tracción.

4.2.9 Curado

El objetivo del curado es el de facilitar el desarrollo de la hidratación del cemento, así como el de reducir los efectos nocivos de las contracciones producidas por las condiciones ambientales, tales como, temperatura, viento y humedad, las cuales promueve fisuramientos aleatorios.

Durante este proceso es de vital importancia controlar las temperaturas en las mezclas, así como la de tomar medidas que contrarresten los efectos del viento excesivo y humedad del aire, existe un sin fin de métodos para curar los pavimentos recién colocados, entre los que destacan, el método húmedo que consiste en esparcir o rociar agua, arpilleras húmedas o arena húmeda, y el método de membrana que a diferencia del método húmedo en este se aplican compuestos para el curado, tales como polietileno saturado.

Sin importar cual sea el tipo que se utilice, el primer requisito para llevar a cabo el curado es que se aplique con oportunidad. Siempre se busca que se pueda iniciar en las etapas más tempranas posibles de la colocación del concreto, y toda vez que no se dañe la superficie. Los compuestos químicos colocados por aspersion cumplen mejor con este propósito y deberán apearse a los lineamientos de calidad contenidos en las normas ASTM y AASHTO vigentes además de cumplir con los siguientes requisitos:

- Poder aplicarse inmediatamente después del allanado y terminado del concreto, aún en presencia de agua superficial.
- Tener un color blanco que refleje en alto porcentaje la luz solar.
- Presentar una viscosidad alta y secado al tacto en un lapso no mayor a 30 *minutos*.

La estructura y rugosidad de la superficie del concreto permeable hace que haya una mayor exposición de la superficie de cemento a la evaporación, es por esto que el procedimiento de curado es uno de los elementos fundamentales para obtener un pavimento con las

condiciones deseadas. El agua es necesaria para las reacciones químicas del cemento y esto es fundamental para el concreto permeable obteniendo un curado más rápido. Sin embargo, es común aplicar retardadores de agua antes de la compactación, con el fin de minimizar cualquier posibilidad de pérdida de agua en la superficie.

Debido al nulo sangrado del concreto permeable, tiene una alta propensión a la fisuración por retracción plástica. De hecho, el curado del pavimento de concreto permeable inicia antes de la colocación del concreto, pues la capa subrasante debe ser humedecida para prevenir la absorción de agua de la mezcla. Después de la colocación, el método recomendable de curado es el de cubrir las losas recién instaladas con plástico durante los próximos 7 días para mezclas de concreto simple y 10 días para mezclas de concreto que incorporan materiales cementantes suplementarios.

El material de recubrimiento debe ser de preferencia una hoja de polietileno claro de 0.15 *mm* de espesor o más grueso, en la dimensión suficiente para que pueda cubrir el ancho completo del carril a lo largo de una distancia razonable. Los materiales tejidos, tales como el yute telas geotextiles, no deben ser usados, ya que no retendrán la humedad en el concreto. Los compuestos de curado a base de cera no producen resultados aceptables. El recubrimiento con el polietileno debe de traslaparse en todas las superficies expuestas de modo que pueda quedar fijo en el lugar, el uso de arena o tierra para sostener las hojas de plástico en su lugar, no se recomiendan debido a la obstrucción de huecos que pudieran generar resultando del derramamiento en el retiro. En su lugar, se pueden utilizar estacas, pedazos de madera, barras de refuerzo u otros métodos. Todas las orillas del pavimento deben ser cubiertas apropiadamente. Si no se hace esto, puede dar como resultado desmoronamiento en los bordes expuestos.

El señalamiento en el piso debe pintarse hasta después de que haya terminado el periodo de curado. No debe permitirse el tránsito sobre el pavimento durante su curado. El constructor deberá tomar las precauciones necesarias para evitar daño en el pavimento como consecuencia o abuso de las operaciones de construcción, además de prohibir la remoción de material curado y evitar toda forma de tránsito sobre el pavimento de concreto

permeable. Adicionalmente, el contratista no debe permitir el almacenamiento de materiales de construcción ni para jardinería sobre la superficie del pavimento, ya que estos materiales pueden obstruir los poros o dañar de alguna otra manera los pavimentos permeables.

El curado debe iniciar tan pronto como sea posible después de la instalación, compactación y relleno. El mejor resultado se obtiene cuando el proceso de curado se inicia 20 *min.* después de todos estos procedimientos. Las altas temperaturas ambientales y condiciones del viento tendrán efectos más pronunciados en relación con los concretos convencionales y deben de ser tomados en cuenta.



Figura 31.



Figura 32.

Curado de concreto permeable por medio de polietileno

4.2.10 Condiciones especiales de curado y protección

Aunque los requerimientos de curado para el concreto colado en climas extremadamente cálidos o fríos son los mismos que para temperaturas normales, las técnicas utilizadas para lograr los curados se vuelven más complejas. Las técnicas de curado y protección para ambos tipos de climas extremos se deben planear con mucha anticipación.

Deben tomarse las medidas apropiadas en clima frío para proteger al concreto permeable contra congelamiento, al mismo tiempo que se mantiene la humedad por el tiempo necesario para lograr las propiedades físicas deseadas. Las láminas de curado son los suficientemente eficaces para servir a ambos propósitos.

En clima cálido, la transportación, la colocación y la compactación deben hacerse tan rápidamente como sea posible. Puede aplicarse un retardador de evaporación a la superficie del concreto después del proceso de enrasado para retardar la pérdida de humedad en una superficie. Después de la compactación y antes de la colocación de polietileno, la superficie puede ser rociada por medio de vapor o con un retardador de evaporación cuando la superficie parezca estar perdiendo su apariencia brillante.

4.3 Reparación de pavimentos de concreto permeable

Durante la etapa de construcción o puesta en servicio del pavimento de concreto permeable pueden ocurrir ciertas fallas estructurales, principalmente por un mal proceso constructivo o por la necesidad de alguna instalación de servicio, por lo cual es necesario reparar estas fallas para dar un buen servicio a los usuarios. En caso de la ocurrencia de un desbastado, los puntos altos pueden ser rebajados con un desbastador pesado. Sin embargo, éste cortará y expondrá el agregado en áreas desbastadas, cambiando la apariencia del pavimento.

Las depresiones pequeñas deben ser resanados con una mezcla epóxica conteniendo agregado. Para igualar la apariencia de la superficie del pavimento, el agregado debe ser recubierto de cemento mojado y curado antes del resane. Las depresiones grandes deben ser resanadas con un concreto permeable de las mismas proporciones de la mezcla utilizada. Al resanar existe una alta probabilidad que el color de resane no sea igual que el material original de la superficie. Es necesario la utilización de agentes epóxicos para asegurar la adherencia apropiada entre la superficie nueva y la anterior. Para igualar el color se pueden utilizar pinturas acrílicas en el área del resane con un éxito variable.

En el caso de que una sección de concreto permeable sea cortada, debe de llevarse a cabo la reparación a toda profundidad. Esto incluiría remover una sección cuadrada con el ancho de una franja colocada de tal modo que el material nuevo sea lo suficientemente grande para mantener su integridad estructural bajo carga.

4.4 Mantenimiento

La mayoría de los concretos permeables funcionan con un mantenimiento mínimo. Este mantenimiento principalmente consiste en tomar medidas de prevención para evitar el taponamiento de los poros, haciendo necesario preparar el sitio antes de la construcción y diseñar de una manera adecuada el drenaje circundante para impedir el flujo de materiales en superficies de pavimento. Sólidos, rocas, hojas caídas de árboles y otras partículas finas que se pueden infiltrar en los poros del concreto dificultan el flujo del agua a través del concreto, ocasionando una disminución en la utilidad del pavimento permeable, materiales como arenas y sólidos finos no deben encontrarse en contacto alguno con el concreto, ni siquiera temporalmente.

Los métodos de mantenimiento comúnmente mas aceptados, para la limpieza del concreto permeable son el lavado a presión y el uso de una aspiradora. El lavado a presión empuja con fuerza los contaminantes a través de la superficie del pavimento. Este sistema es efectivo, pero debe tenerse suma precaución de no usar demasiada presión, ya que esto dañara la porosidad del concreto permeable. Debe de lavarse a presión una sección pequeña de pavimento usando varias presiones de agua para determinar la presión apropiada para el pavimento dado. El uso de una aspiradora potente remueve los contaminantes, extrayéndolos de los huecos del pavimento. El sistema más efectivo, sin embargo, es el de combinar las dos técnicas y aspirar después el lavado a presión. Este tipo de operaciones se lleva a cabo con diferentes modelos de máquinas, centrándose en máquinas autopropulsadas con equipos de lavado y succión trasero con agua, de alta potencia y ancho de 2.5 mts. el agua utilizada para la limpieza, esta es recuperada y filtrada para continuar el proceso. Valores experimentales muestran que en algunos casos la pérdida de permeabilidad que se puede producir en el primer año es recuperable en un 50 % y que manteniendo la frecuencia anual, las pérdidas del segundo año se pueden recuperar en un 70 %.

En relación a la periodicidad con que debe realizarse la limpieza, es recomendable hacerlo una vez al año y después del periodo de lluvias, para encontrar un ablandamiento máximo de la suciedad y así alcanzar los mejores resultados con el menor esfuerzo. En la siguiente

tabla se muestra un esquema sugerido para el mantenimiento de superficies de pavimentos permeables.

<i>Actividad</i>	<i>Programa</i>
Asegúrese de que no haya tierra sobre el pavimento. Asegúrese de que el área esté limpia de sedimentos.	Mensualmente
Siembre vegetación en el área de aguas arriba. Limpie con aspiradora para mantener la superficie libre de sedimentos.	Cuando sea necesario
Inspeccione la superficie para localizar los deterioros o astillamientos.	Anualmente

Tabla 1. Actividades típicas de mantenimiento para concreto permeable

Las investigaciones realizadas por el *Florida Concrete & Products Association* cuantificaron el grado de infiltración de los contaminantes en los pavimentos de estacionamientos hechos de concreto permeables. La investigación consistió en examinar 5 estacionamientos como parte del estudio; los resultados fueron niveles bajos de infiltración de contaminantes, se encontró que la infiltración estaba dentro de un rango de 0.16 a 3.4 % del volumen total de huecos después de haber pasado 11 años de servicio. Además, al lavar la superficie con escoba, se restauró más del 50% de la permeabilidad del pavimento atascado.

4.5 Supervisión y pruebas de control de calidad

El concepto de supervisión como se utiliza en el campo de la construcción de concreto, incluye no solo observaciones y mediciones de campo sino también pruebas de laboratorio, con obtención y análisis de resultado.

Al igual que en cualquier material de ingeniería, es importante verificar la calidad de un pavimento de concreto permeable, es por esto que se realizan pruebas de la condición de la subrasante para asegurar el grado de compactación en valor de soporte y la permeabilidad adecuada. Por otra parte las pruebas de la mezcla deben ser realizadas con el objeto de asegurar la calidad tanto en estado fresco, como en estado endurecido, la verificación de todos estos parámetros se lleva a cabo por medio de pruebas de la ASTM y AASHTO las cuales son aplicables a la construcción de concreto permeable; sin embargo debido a las características físicas del material, no todas las pruebas del concreto simple son apropiadas para el concreto permeable.

4.5.1 Supervisión y pruebas previas a la construcción

La supervisión es sumamente importante previo a la construcción del concreto, es necesario verificar las condiciones de preparación de la subrasante, para tener la seguridad de una compactación y humedad apropiada. Por otro lado no se debe permitir la existencia de charcos de agua, pues estos incrementan la relación *agua-cemento* del concreto en contacto con la tierra. Se requiere que las cimbras sean herméticas, que estén alineadas, que tengan un agente de descimbrado, y que exista limpieza, tanto para lograr superficies expuestas visualmente placenteras, así como para obtener un concreto sano. Las imperfecciones comunes y los resultados decepcionantes en las construcciones de concreto se deben con frecuencia a la falta de una preparación adecuada para el trabajo.

La determinación de la permeabilidad de la subrasante y análisis del suelo son particularmente en el diseño y construcción del proyecto. Las pruebas básicas de la subrasante deben incluir un análisis granulométrico, clasificación de suelo, y peso volumétrico obtenido en pruebas de Proctor estándar, ASTM D 422, ASTM D 2487, ASTM D 698, respectivamente, los resultados obtenidos de estas pruebas proveerán al diseñador los datos necesarios.

La prueba de infiltración utilizada para diseñar fosas sépticas no es apropiada para determinar la permeabilidad de la subrasante para los pavimentos permeables. Por lo que es necesario compactar una sección de prueba de la subrasante ya especificada generalmente

al grado de compactación como parte del análisis de suelo antes de completar el diseño del proyecto, como equipo especial para realizar la prueba debe ocuparse un infiltrómetro de anillos doble, según la norma ASTM D 3385, u otra prueba apropiada para probar adecuadamente la permeabilidad. En proyectos pequeños la utilidad de estas pruebas no es necesaria, especialmente si el diseñador tiene la experiencia con este tipo de suelos locales o similares.

Deben de llevarse a cabo procedimientos de prueba normales para control de acuerdo con el proceso estandarizado de pruebas ASTM sin modificaciones antes de colocar el concreto, como parte de un plan normal de control de calidad.

4.5.2 Supervisión y pruebas durante la construcción

Debido a las características de la mezcla de concreto, los métodos comunes no pueden ser los apropiados para el control del peso volumétrico, la relación de huecos, rendimiento, filtración, y otras propiedades de los pavimentos de concreto permeables. Mientras no se tengan nuevos métodos de prueba que estén completamente desarrollados, las especificaciones del proyecto deben estar basadas en proporciones de mezclas específicas para concreto permeable. Las especificaciones generalmente requieren contenidos mínimos de cementantes, volúmenes de agregado y granulometría, aditivos y agua.

Los criterios de aceptación deben tener dos aspectos distintos. El primero, se basa en la mezcla de cemento Portland, tal como es entregada y se soporta en el peso volumétrico. Para el colado de cada día, o cuando una inspección visual indique un cambio en la apariencia del concreto fresco, debe realizarse al menos una prueba para verificar el peso volumétrico del material. La prueba de la mezcla debe realizarse de acuerdo con el ASTM C172 y C29. La aceptación debe ser sobre un valor de $\pm 80 \text{ kg/m}^3$ del peso volumétrico de diseño. El segundo criterio se bosqueja en el siguiente apartado.

4.5.3 Supervisión y pruebas posteriores a la construcción

El segundo criterio de aceptación debe estar basado en el pavimento terminado. El grado de compactación de la mezcla fresca puede tener un impacto en la vida y la permeabilidad del

producto terminado. La obtención de tres muestras de núcleo del pavimento dará como resultado muestras de aceptación para el espesor, el contenido de huecos, y el peso volumétrico. Los corazones deben obtenerse de acuerdo con el ASTM C 42 y ser probados en una edad de 28 días. No existen todavía métodos de prueba estandarizados para determinar el peso volumétrico. Además, la supervisión visual de los corazones tomará en cuenta la verificación del volumen necesario de huecos abiertos para facilitar el drenaje.

Una supervisión visual que muestre una estructura de poros completamente cerrada o severamente restringida podrá indicar que el pavimento no funcione apropiadamente, y esas secciones que se hayan demostrado que son esencialmente impermeables deben ser removidas y reemplazadas. Se debe lograr un acuerdo sobre qué área es esencialmente impermeable y sobre el método de medición antes de iniciar la colocación.

En ningún momento la aceptación debe basarse en la resistencia a compresión del concreto permeable, ya sea como es entregado, o tal se muestrea por núcleos del pavimento. Debido a la relación entre la compactación y la resistencia a la compresión, existe un amplio rango de resistencias que pueden ser generadas desde una simple entrega de concreto permeable.

Adicionalmente, todavía no hay métodos de prueba estándar para probar la resistencia a compresión del concreto permeable. La experiencia local con materiales a través de proyectos terminados, secciones de prueba, o ambos, debe dar una indicación respecto a si una proporción de mezcla específica tendrá la resistencia suficiente para soportar los esfuerzos de las cargas del tránsito de diseño.

4.6 La Ciudad Universitaria

Tres fueron los presidentes que desempeñaron un papel decisivo en hacer realidad el proyecto de Ciudad Universitaria. Manuel Ávila Camacho, quien expropió los terrenos; Miguel Alemán, que financió la construcción y Adolfo Ruíz Cortines, apoyando a la universidad para que se transportara a los nuevos edificios y para que siguiera creciendo. Y también fueron tres rectores los que asumieron con entusiasmo sus responsabilidades en la

construcción y puesta en marcha de la Ciudad Universitaria, Salvador Zubirán, Luis Garrido y Nabor Carrillo.



Figura 32. Palacio de Minería obra de Manuel Tolsá construido entre 1779 y 1803, que por décadas albergó a la Escuela de Ingeniería

Incluso antes de lograr la autonomía, ya se proponía que la universidad se reagrupara en un campus. En este sentido el ejemplo más notable es la tesis profesional elaborada por Mauricio M. Campos y Marcial Gutiérrez Camarena, en 1928, en la cual proponían la construcción de la Ciudad Universitaria al sur de la Ciudad de México, en Huipulco, proyecto que nunca se llevo a cabo.

En 1930, el arquitecto Federico Mariscal, entonces director de la Escuela de Arquitectura, proyectó otra Ciudad Universitaria en terrenos de las Lomas de Sotelo con extensas habitaciones para profesores, idea que no se concretó, aunque el presidente de ese tiempo ordenó la compra de los terrenos en las Lomas de Chapultepec. Durante los años treinta la Universidad tuvo graves problemas presupuestales, obligando a gastar los fondos ya recaudados para la construcción en gastos nominales.

Es hasta 1943 que el rector Rodolfo Brito Foucher empezó a hacer gestiones para comprar unos terrenos en el Pedregal de San Ángel, los cuales no fructificaron sino hasta 1946, cuando Salvador Zubirán ocupaba la rectoría. El 25 septiembre de 1946, se publicó en el Diario Oficial de la Federación, la expropiación de los terrenos de 733 hectáreas, 2 de cultivo y 641 terrenos pedregosos, en los ejidos situados en Tlalpan y Copilco, en ese tiempo eran parte de la Delegación Magdalena Contreras.

El proyecto en conjunto contaba ya con las necesidades especificadas de las escuelas e institutos establecidos por sus directores. El proyecto se calculo para 25000 alumnos considerando un crecimiento previsible, por que en la universidad de ese entonces había una población de 15000 estudiantes, sin considerar alumnos de preparatoria, indicando los lugares donde iban a estar las edificaciones y reservaba espacios para estacionamientos, andadores y jardines. El Estadio Olímpico se proyecto en el lado Poniente de la Avenida Insurgentes y las instalaciones escolares en el lado Oriente, comenzando por la Rectoría. De las 733 hectáreas solo se pensaban utilizar 200 y dejar el resto como área de expansión y protección ecológica. Se rectifico a los arquitectos Pani y Del Moral en sus cargos de directores del proyecto de conjunto, y Novoa designo como gerente del proyecto al arquitecto Carlos Lazo y al ingeniero Luis Enrique Bracamontes como gerente de obras.



Figura 32. Construcción de la Ciudad Universitaria

El proyecto en conjunto asignaba los lugares para cada edificación. En general se formaron equipos de tres arquitectos reconocidos para que desarrollaran en coordinación con los directores de escuelas, cuando fuera el caso, el proyecto detallado de cada edificio para afirmar minuciosamente el programa de necesidades.

Dentro de lo que ahora es el Circuito Escolar se construyó primero la Torre de Ciencias, luego la parte Norte con los edificios de Humanidades y la Rectoría, después al Sur con los de Ingeniería, Química y Arquitectura y por último, en la parte Oriente, las construcciones de Medicina, Veterinaria, Odontología así como el Instituto de Biología. Al mismo tiempo que se construía el Estadio Olímpico.

Finalmente la Ciudad Universitaria quedó construida, la inauguración oficial fué el 20 de noviembre de 1952, aunque el inicio de las actividades en las escuelas fue hasta marzo de 1954, cuando empezaron a mudar Facultades y Escuelas. Lo que nadie previo, o no pudo preverse, fue el enorme y rapidísimo crecimiento de la comunidad. En pocos años se duplico la estimación original de 25,000 alumnos de licenciatura, lo que obligo a las

autoridades sucesivas a ampliar los locales de Ciudad Universitaria. Esto se hizo a veces con prisa y otras con buen gusto. Aunque es importante notar que ninguna de estas ampliaciones modificó la estética básica del cuadrángulo original

A poco más de cincuenta años de la creación del Campus, la Ciudad Universitaria sigue teniendo gran influencia en la vida política, intelectual y cultural con la que nació la Universidad de México.

4.6.1 Ubicación de espacios universitarios

Construida entre 1950 y 1954, la Ciudad Universitaria de México ejemplifica paradigmáticamente un momento álgido en la vida política y cultural de México. La Ciudad Universitaria es una evocación del hombre moderno, del sitio y de su historia, su creación, es en sí misma la del mexicano moderno como continuación del proceso revolucionario iniciado en 1910; la modernidad nacionalista se fundió entonces con los ideales del mundo moderno y el hombre universal, y fue capaz de representar los contrastes y las diferencias de México a través de una nueva identidad.



Figura 33. Vista del estadio olímpico

Los edificios del Campus muestran claramente la interpretación de los postulados de la arquitectura y la ingeniería moderna internacional, racionalista, técnica y objetiva, pero al mismo tiempo de la arquitectura tradicional, así como de la sólida y vanguardista ingeniería mexicana. La Ciudad Universitaria es una verdadera fusión, logro de la unión sin precedentes de los arquitectos mexicanos modernos; que interactuaron para dar origen a una de los conjuntos más emblemáticos del México moderno.

El plan maestro de la Ciudad Universitaria fue producto de ideas organizadas por la entonces Escuela Nacional de Arquitectura. La superficie original donde se desplantó la Ciudad Universitaria contaba con más de siete millones de metros cuadrados donde se

encontraba una serie de “plataformas rocosas” que a su vez dejaban espacios bien definidos.

El elemento principal de este esquema general es un Eje Oriente-Poniente que se supone de manera perpendicular al Eje de las vialidades más importantes de la ciudad, llamada Avenida de los Insurgente, así la Ciudad Universitaria, en su concepción original, se conforma con tres grandes zonas que se relacionan permanentemente con este trazo. Estas tres zonas son:

- Estadio Olímpico
- Zona Escolar
- Campos deportivos

El Estadio fue la primera obra iniciada del conjunto de la Ciudad Universitaria, debido a la aceptación unánime de todo el comité de construcción del conjunto sobre su volumetría y funcionalidad. Se diseñó para que se realizaran todo tipo de actividades deportivas, y se demostró por el desempeño durante las Olimpiadas de 1968. El talud exterior que forman las gradas del lado Oriente fue decorado con mural titulado: “La Universidad, la familia y el deporte en México”, con piedras de color natural en altorrelieve obra de Diego Rivera. El acceso desde exterior se hace por medio de rampas que, al ir ascendiendo, permiten la entrada a mitad de la gradería, para así ocupar la totalidad de las localidades.



Figuras 33. Vista de la Ciudad Universitaria en 1954

La zona escolar, originalmente esta zona tiene como elemento central y dominante la gran explanada principal conocida como “Las Islas” que agrupa a su alrededor los edificios de las principales facultades y escuelas y que a su vez se subdividía en cinco grandes grupos:

- Gobierno y servicios
- Humanidades
- Ciencias Biológicas
- Ciencias

- Artes y Museos

La zona deportiva está ubicada al Sur de la Zona Escolar manteniendo una postura congruente con el discurso de la modernidad donde la recreación y la práctica del deporte se plantearon como parte vital del desarrollo y bienestar del hombre. Concediendo toda la importancia que este punto merece y debido en gran parte a la afición por el deporte presentada por la juventud mexicana, la Ciudad Universitaria es una de las universidades en el continente que cuenta con mayor número de campos deportivos, tanto de entrenamiento como de exhibición, y aún la más vasta en lo que se refiere a variedad y calidad de sus instalaciones. Para ello fue necesario destinar desde el mismo Plan Maestro el espacio requerido para tal fin, una vasta zona constituida por plataformas a diversos desniveles que propician la colocación de las canchas deportivas.

Aquí son destacables los Frontones. Estas estructuras singulares nos muestran el sincretismo de elementos de la arquitectura tradicional mexicana y la arquitectura contemporánea. Con unos requerimientos de programa elementales como los de un frontón, se logra una obra de gran plasticidad que le otorgan al conjunto fuerza para definir su condición de arquitectura moderna mexicana. Cuatro frontones abiertos y uno cerrado se disponen formando una diagonal, la única en el conjunto y así limitan, contienen y articulan la zona de Campos deportivos, además de formar distintas perspectivas y puntos de vista y contrastes volumétricos. Cada frontón está resuelto como una plataforma con talud, elemento arquitectónico utilizado muy frecuentemente en la arquitectura mesoamericana; esta imagen nos remite necesariamente a las pirámides y a los lugares de Juego de Pelota Prehispánico.



Figura 34. Vista de la zona deportiva de la Ciudad Universitaria

Dentro del Plan Maestro, la preocupación por el paisaje y la ingeniería de las vialidades ocupó un lugar muy importante. Lo anterior queda demostrado con el diseño de las áreas exteriores del Campus Central, obra del arquitecto y Premio Pritzker Luis Barragán, quien manifestó una gran sensibilidad por el espacio que se destinaría a la circulación peatonal, al estudio al aire libre y a la contemplación, definiendo terrazas, plazas, patios y jardines de diferentes escalas definiendo su función a través del uso de los materiales y su forma. Cabe destacar que el Campus es considerado, y utilizado, como uno de los espacios públicos más importantes y generosos de la Ciudad de México.

4.6.2 Características hidrológicas y geológicas

La Ciudad Universitaria se ubica al Suroeste de la Ciudad de México, dentro de la zona conocida como el Pedregal de San Ángel, se trata de un ecosistema endémico formado por el derrame de lava del Volcán Xitle, el tipo de suelo que se encuentra son los basaltos mismos generados por las erupciones volcánicas del Xitle, formados por coladas lávicas que presentan discontinuidades como fracturas y cavernas, eventualmente rellenas con escoria.

En la Reserva Ecológica del Pedregal el clima que se presenta es semifrío húmedo con abundantes lluvias, pudiéndose observar dos temporadas de floración bien definidas: la seca y la de lluvias durante el verano, con una precipitación media anual total de entre los 1200 a 1500 *mm*. El lecho de roca basáltica protegido por la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, posee un alto valor biológico, ecológico y geomorfológico; recarga los mantos acuíferos, gracias a que este tipo de lecho permite la circulación de agua a través de las fisuras y grietas, mantiene la humedad y la calidad del aire, y contribuye a amortiguar los cambios de temperatura en el microclima.



Figura 35. Vista y alrededores actuales de la Ciudad Universitaria

4.7 Propuesta de aplicación del concreto permeable en espacios universitarios

Dadas las características arquitectónicas, hidrológicas y geológicas de la Ciudad Universitaria, así como las características específicas del concreto permeable, se propone el uso de este último, en las siguientes áreas:

- Plazas o explanadas
- Estacionamientos, banquetas y andadores peatonales
- Otras áreas

La aplicación en plazas se recomienda tomando las siguientes consideraciones, la fácil aplicación del concreto permeable así como el manejo y uso del equipo de construcción durante todas sus etapas de colocación, en un segundo plano, las ventajas de aplicación de este material reside en su capacidad de filtración permitiendo la recarga de los mantos freáticos de la Ciudad Universitaria, evitando encharcamientos, así como la eliminación total o parcial de infraestructura de drenaje pluvial.

Además de permitir la aeración y el libre paso del agua hacia las raíces de los arboles, cumpliendo una función de sustentabilidad de las áreas verdes existentes en la Ciudad Universitaria sin modificar sustantivamente el diseño arquitectónico planteado inicialmente.

Siendo el mantenimiento y preservación de los recursos naturales, un tema prioritario en la actualidad, se han llevado a cabo una serie de programas destinados a cumplir dicho objetivo: “La sustentabilidad ambiental se refiere a la administración eficiente y racional de

los recursos naturales, de manera tal que sea posible mejorar el bienestar de la población actual sin comprometer la calidad de vida de las generaciones futuras”.⁵

Las explanadas de la Ciudad Universitaria donde se puede aplicar el concreto permeable, es el área delimitada por Rectoría, la Facultad de Arquitectura y la Biblioteca Central, debido a la presencia de áreas verdes que forman parte de los espacios abiertos de la universidad, la explanada de la Facultad de Medicina es otra de las zona en la que se puede aplicar este material poroso, debido a que se cuenta con un gran espacio, que permite gran captación de agua pluvial, eliminando totalmente el drenaje existente en dicho espacio.



Figura 36.



Figura 37.



Figura 38.

Áreas propuestas para la aplicación de concreto permeable

En estacionamientos, banquetas y andadores peatonales dentro de Ciudad Universitaria el uso ayudará a manejar enormes cantidades de agua que corren en estos lugares durante una tormenta; provocando que el agua se filtre al suelo bajo el pavimento. Por otra parte la Agencia para la Protección del Medio Ambiente (EPA), ha adoptado dicha política recomendando el uso de pavimentos de concreto permeable como una solución apta para mitigar el problema de los escurrimientos de agua pluvial.

Otro elemento importante es que los concretos permeables no absorben la misma cantidad de calor que los concretos de asfalto comunes, por lo tanto, al ser aplicados en los estacionamientos de Ciudad Universitaria, darían como resultado que el aire existente sobre esa área sea más fresco. Siendo una solución integral al problema de los pavimentos calientes.

⁵ Véase *Plan Nacional de Desarrollo*. Eje 4. Sustentabilidad Ambiental 2007-2012.

Ecológicamente el concreto permeable es un elemento que no contamina el medio ambiente y esto es de suma importancia, pues como ya se ha mencionado la Ciudad Universitaria se encuentra dentro de una zona ecológica protegida.

La aplicación de concreto permeable dentro de la Ciudad Universitaria puede llevarse a cabo en la mayoría de sus estacionamientos, como en la mayoría de sus andadores peatonales y aceras ubicadas en los circuitos principales y secundarios.



Figuras 39. Estacionamientos donde se puede aplicar el concreto permeable

Dentro de la Ciudad Universitaria otra utilización es el drenado en las instalaciones de agua y electricidad para la construcción de placas permeables para drenaje, así como drenes por debajo de las estructuras hidráulicas, pues este tipo de elementos alivian las subpresiones y permiten que el agua freática sea drenada por debajo de los tubos de las alcantarillas.

La aplicación de este elemento novedoso servirá a las instalaciones de viveros e invernaderos de la Ciudad Universitaria, creando un sistema de almacenamiento térmico en el piso, además de que este mismo elemento tendrá la función de área de almacenamiento, así como también intercambiador de calor para el invernadero, calentado por el sol. La utilización del concreto permeable como pavimento dentro del invernadero beneficiará evitando encharcamientos de aguas, eliminación y el crecimiento de vegetación, para proporcionar una superficie resistente y durable para el movimiento del equipo de operación del situado en el invernadero.

En las instalaciones deportivas, canchas de tenis, basquetbol y frontones, todas las superficies existentes de concreto convencional se podrían sustituir por el material propuesto, debido a que las losas de concreto permiten una rápida filtración del agua para posteriormente ser drenadas a través de una base de grava a las orillas de la losa. Este mismo método se puede aplicar dentro de alberca, aplicándose el material a todo el perímetro, para la recuperación del agua de esta misma y reutilizarse como agua de riego u otras aplicaciones.

4.8 Desempeño

La principal problemática en esta propuesta es la reducción en la capacidad de filtración debido a la colmatación y deterioro estructural ocasionado por el desgaste, esto es importante tomarlo en cuenta para saber cómo será el comportamiento de los pavimentos de concreto permeable si se implantara este sistema en las instalaciones del Campus de Ciudad Universitaria, así como también para dar el mantenimiento y reparaciones adecuadas.

4.8.1 Colmatación

Hay que tomar en cuenta que la colmatación es un fenómeno que ocurre cuando elementos extraños restringen la capacidad de filtración del agua, esto es necesario considerarlo pues hay una gran número de elementos finos como son: materia vegetal producto de árboles y humedad, que entran a la estructura interna del material o simplemente se acumulan en la superficie bloqueando los poros del concreto.

Dadas las circunstancias ya mencionadas es necesario un diseño geométrico del pavimento de concreto permeable que no permita que el agua pluvial introduzca finos en el pavimento para minimizar el efecto de la colmatación. Los finos transportados por el viento generalmente son de un volumen limitado en muchas áreas, pero podrían generar preocupaciones en áreas áridas. La materia vegetal constantemente es depositada en la superficie de los pavimentos permeables, dejando como solución una limpieza constante.

Para prolongar la vida útil de la superficie en caso de instalación de concreto permeable en la Ciudad Universitaria será necesario un correcto diseño, una correcta construcción y un mantenimiento periódico para minimizar efectos de colmatación.

4.8.2 Deterioro estructural

El deterioro estructural de los pavimentos permeables posiblemente instalados en la Ciudad Universitaria podría presentarse en dos formas, agrietamiento o subsidencia debido a la pérdida del soporte de la subrasante o desintegración de la superficie, esto puede ser causado por cargas pesadas, es decir más allá de la capacidad de la estructura del pavimento, materiales débiles de la subrasante, o flujo horizontal del agua a través del pavimento de concreto permeable que erosiona el material de la subrasante. Las altas presiones de contacto o una débil superficie de concreto permeable pueden causar la desintegración de la superficie.

El mal desempeño de un concreto poroso por desintegración se debe a una relación agua-cemento o una compactación inadecuada.