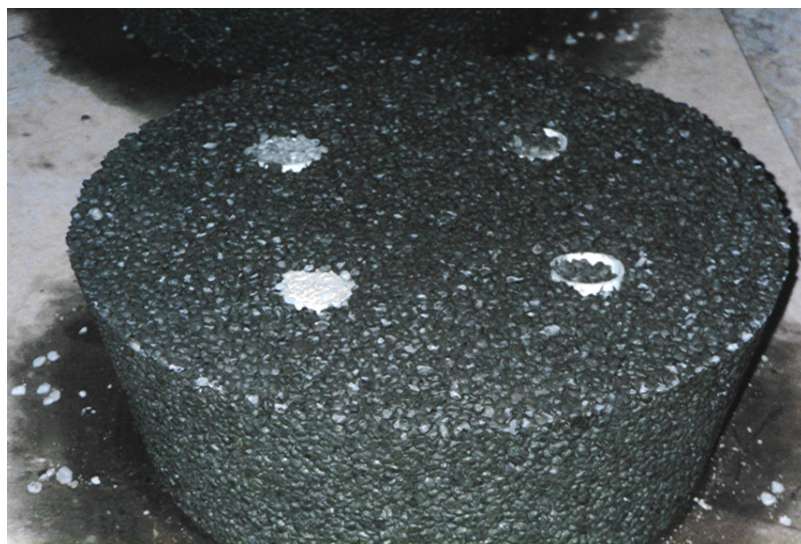


CAPITULO IV. “CONCRETO HIDRAULICO PERMEABLE”.

¿QUÉ ES EL CONCRETO HIDRÁULICO PERMEABLE?

El concreto hidráulico permeable esta constituido de manera similar a los demás concretos, con agregado grueso y cemento pórtland como aglutinante. Similar al pavimento permeable de asfalto, la porosidad de este concreto se debe a la omisión de agregado fino, la densidad del concreto permeable está entre 70 y 80 % de acuerdo con los concretos convencionales, aunque este porcentaje dependerá del suministro de agregado y del grado de compactación.

El concreto hidráulico permeable se descubrió hace más de 12 años, y sirve para la fabricación de pisos y pavimentos de concreto 100% permeables, que dejan pasar el agua de lluvia a través de ellos para que se infiltre al subsuelo y ayude a la recarga de los mantos acuíferos naturales de las ciudades, idea principal por la que se realizo este concreto. El concreto hidráulico permeable es el resultado de desarrollar un aditivo el cual aumenta la fuerza de cohesión del cemento, que es un elemento de la mezcla aglutinante de agregado pétreo (granzón³, grava), agua, cemento y aditivo, estos elementos forman lo que sería el concreto hidráulico permeable.



CARACTERISTICAS DEL CONCRETO HIDRAULICO PERMEABLE.

El concreto permeable, como su nombre lo dice tiene huecos en su estructura y está compuesta de una mezcla discontinua en la base, cemento hidráulico, aditivos, agua y otros materiales cementantes; la cual permite el paso del agua y del aire, este tipo de concreto tiene una variedad de nombres como son:

- ✚ Poroso
- ✚ Gap-graded
- ✚ No-finos
- ✚ Permeable
- ✚ Drain-crete
- ✚ Baja densidad
- ✚ Perk-krete
- ✚ Sin finos

La omisión de la mayoría de todos los agregados finos da la porosidad al pavimento permeable. Para proporcionar una superficie relativamente lisa se realizan la manipulación donde las características requieren de un agregado grueso de 9.525 mm (3/8") como máximo, sin embargo son las dimensiones más utilizadas. En el concreto permeable se utiliza este agregado para dar una porosidad del 15 al 25 % para que se pueda llevar la filtración.

En las aplicaciones del concreto hidráulico permeable para la carga vehicular, el contenido del cemento es generalmente más alto que la del pavimento de concreto normal. El material cementante adicional proporciona mayor resistencia siendo capaz de pegar las partículas de agregado grueso con respecto a los vacíos de la estructura del pavimento.

El contenido en agua en un punto bajo llevado a cabo para producir una mezcla con un revenimiento entre cero y 2.5 cm. El agregado triturado tendrá un

revenimiento bajo mientras que la grava tendrá un rango más alto para el revenimiento. La cantidad de agua en la mezcla debe ser suficiente para promover la hidratación y el aumento de la resistencia. Si se tiene menos de la cantidad de agua requerida en la mezcla, la hidratación no procederá adecuadamente y la mezcla tendrá una pérdida de partículas. Demasiada agua causara una mezcla fluida agucamento la cual drenara en las capas más bajas del pavimento, por lo que las deteriorará o bloqueara la filtración del escurrimiento después del endurecimiento.

Aunque el revenimiento se refiere a veces como concepto visual, la prueba de revenimiento no es conveniente para determinar la consistencia del concreto hidráulico permeable.

Cuando la proporción y el colado sean los correctos, el concreto hidráulico endurecido proporcionara una superficie lisa, conservando una textura abierta en la superficie.



En condiciones normales y según pruebas de laboratorio no tiene ningún problema después de 10 años de vida, hay que recordar que finalmente es un concreto y es tan durable como este. Ya se tienen pavimentos de 10 años de edad en excelente estado y siguen filtrando agua.

Se aplica casi igual que cualquier concreto, se mezcla en trompo o en revoladora se cuela la mezcla se reparte con rastrillos se nivela a regla, se vibro compacta con una placa vibradora y se cubre con plástico durante tres días. Se instala sobre cualquier superficie nivelada se excavan unos pozos de absorción de 1 m. de profundidad que se rellenan con grava, después se aplica un base de grava de 5 a 15 cm. de espesor y sobre esta se aplica la carpeta final de concreto hidráulico permeable.

La carpeta se cubre durante tres días con plástico para mejorar su fraguado y listo. En caso de encontrar terrenos muy firmes o impermeables se recomienda hacer pozos de absorción más profundos para acelerar el proceso de drenado del agua. El tiempo de Instalación se lleva, dependiendo del área a cubrir será el tiempo de ejecución, sin embargo sé a calculado que en una jornada de 6 horas con el terreno preparado, dos cuadrillas colocan hasta 500m² preparando la mezcla con trompos y colando a mano.

Si se surte la mezcla con revoladores de 4m³ y se usan las misma dos cuadrillas se avanza hasta 700m² por jornada en 6 cm, de espesor y si se aplica con una maquina finisher hasta 1200m² por jornada. Las pruebas de laboratorio demostraron que a las 24 horas se tiene una resistencia a la compresión de 150 kg/cm² y después de 4 días casi llega a su resistencia de diseño de 250 kg/cm² la resistencia se puede mejorar manipulando la dosificación del aditivo y el cemento hasta 350 kg/cm².



Sin embargo es importante resaltar que lo que debe resistir la compresión es el terreno y la base sobre el que se apoya el concreto hidráulico permeable ya que la carga se transmite hacia el subsuelo pero como el concreto hidráulico permeable es un material granular las cargas se descomponen y originan que la carga que llega al terreno sea de apenas unos gramos repartidos en una área tan grande como el tamaño de losa colada.

Espesores que se recomiendan, cada caso tiene sus características especiales pero por experiencia nos sugieren los siguientes:

✚ Estacionamientos	6cm.	f'c 250 ^{kg} / _{cm²}
✚ Calles de bajo tráfico vehicular	6cm.	f'c 250 ^{kg} / _{cm²}
✚ Calles de alto tráfico vehicular	8cm.	f'c 250 ^{kg} / _{cm²}
✚ Andadores peatonales	5cm.	f'c 200 ^{kg} / _{cm²}
✚ Andenes de carga	12cm.	f'c 300 ^{kg} / _{cm²}

La duración de un concreto hidráulico permeable es muy superior a la de un pavimento de asfalto o adocreto, su mantenimiento es casi nulo y su aspecto es muy agradable.

Esto hace que una inversión que de entrada se sabe superior en el tiempo sea inferior ya que el mantenimiento del asfalto es carísimo y constante y su duración es muy corta.

Por otro lado está el hecho del beneficio real que se logra para el medio ambiente al usar concreto hidráulico permeables por la importante cantidad de agua que se infiltra al subsuelo. Por otro lado se elimina casi el 60% de la inversión en drenajes pluviales debido al descenso en el volumen de agua que llega a este, lo que también es un ahorro.

Para el caso de los empresarios dedicados al desarrollo de conjuntos habitacionales al ser aceptado el concreto hidráulico permeable como área 100% permeable les hace posible disminuir las áreas verdes de donación por circulaciones permeables y así aumentar el área en donde se puede construir y vender, que finalmente es el objetivo de negocio de estos empresarios.



En el caso de que se obstruya el paso del agua por efecto de polvo acumulado se puede lavar con una lavadora de presión de agua (tipo Karcher) ya que el poro es lo suficientemente grande para poder hacerlo. En algunos casos hasta con agua una manguera a presión se destape y en la temporada de lluvias un buen chubasco lo lava y destape. En caso de que quedara tapado por completo debido a un derrame de concreto u otro material se puede levantar, volverlo a moler y volverlo a utilizar como agregado pétreo.

USOS Y APLICACIONES DEL CONCRETO HIDRAULICO PERMEABLE.

Tiene diversos colores dependiendo del uso de cemento gris o blanco y del pigmento que se le aplique y en distintas texturas dependiendo del tamaño del agregado pétreo que se use de 3 a 8 mm. de diámetro, Se puede hacer en forma de adoquín en varios espesores o simplemente aplicarse como un colado de concreto.

Hay dos variedades:

Superficie lavada: En donde la piedra o agregado se ve en su color natural con un acabado tipo barniz. Este material se recomienda para pisos decorativos o residenciales y en superficies en donde vaya a estar sometido a un tráfico muy pesado.

Base cemento: En donde se usan distintos tamaños de agregados pétreos de granulometría variable y cemento. Este material es mucho más resistente, fácil de usar y económico para ser usado en obras grandes como calles, banquetas, andadores, muros de contención, Guarniciones, etc. Además se puede usar cemento blanco, logrando un aspecto diferente en los pisos terminados.

Los pavimentos de concreto hidráulico permeable hechos son el resultado de la mezcla de granzón, cemento tipo 1, agua, que forman una pasta similar al concreto hidráulico, tan maleable y resistente como este, pero que al secar dejará una superficie plana continua, muy porosa, con una gran resistencia a la compresión y a la flexión, de muy agradable aspecto y del color elegido, que dejará pasar el agua de lluvia libremente y de inmediato al subsuelo, siendo esto último su objetivo principal, la recarga del subsuelo y de los acuíferos profundos de las ciudades a través de sus pavimentos.

Se trata de tecnología de punta netamente Mexicana, desarrollada en México por técnicos Mexicanos con materiales y mano de obra nacional, que hoy se exporta al extranjero con mucho éxito y que ha logrado el reconocimiento de las autoridades e institutos de investigación de muy alto nivel.

El concreto permeable es un material "verde", sano ecológicamente ya que no contamina el medio ambiente ni en su fabricación ni en su colocación. El concreto hidráulico permeable demolido es reciclable, fácil de hacer con los agregados pétreos de la zona en donde se va a utilizar y un medio de recuperación de los acuíferos de la ciudades que lo apliquen, logrando también desaparecer los charcos y baches de las calles, haciendo éstas más seguras, silenciosas y con menos problemas de tráfico.

Estos son algunos de los usos del concreto hidráulico permeable:

- ✚ Pavimentos de estacionamientos de transito ligero.
- ✚ Pasillos.
- ✚ Andadores.
- ✚ Banquetas.
- ✚ Calles de conjuntos habitacionales.
- ✚ Caminos de bajo transito.
- ✚ Andadores de parque.
- ✚ Zonas de ornato.
- ✚ Zonas de lavado de autos.
- ✚ Instalaciones deportivas.
- ✚ Zonas de albercas.
- ✚ En calles cerradas en áreas residenciales privadas.
- ✚ En pistas de estacionamiento de áreas recreativas de campamento.
- ✚ Caminos de servicio.

- ✚ Como alternativa de pavimento convencional en las áreas donde haya protección y preservación de arboles, la cual es una preocupación.

El concreto hidráulico permeable es clasificado como un nuevo material para la construcción. Aun que el uso de este concreto es relativamente reciente, el concreto hidráulico permeable fue utilizado en Europa e Inglaterra durante 15 años.

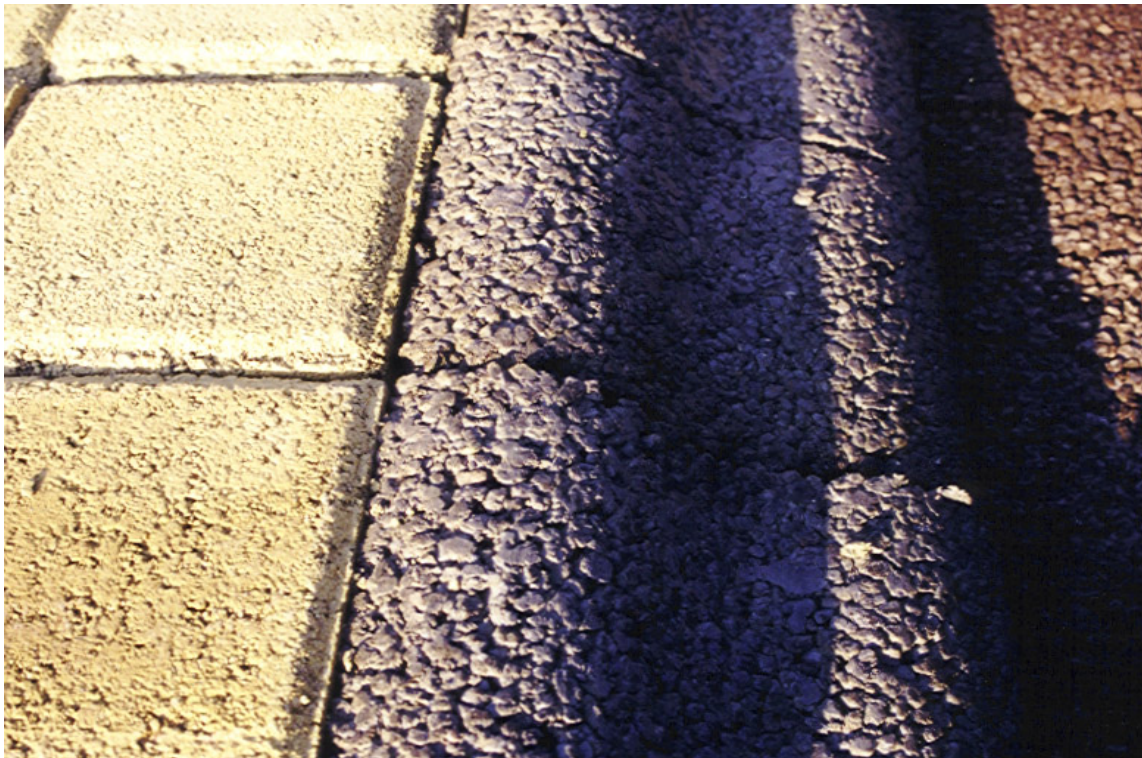
En 1852 en Reino Unido, se construyó una pared de concreto permeable con 30 – 35 (12 – 14 in). Después de la Segunda Guerra Mundial, el concreto hidráulico permeable se extendió en Alemania, Holanda, Francia, Bélgica, Rusia y el Reino Unido para la construcción de edificios, durante este tiempo, una firma británica construyó 250 mil viviendas.











Se trata de un material que aumenta mucho su resistencia al fraguar. El resultado de la mezcla es un producto muy manejable, semilíquido, con revenimiento cero, fácil de usar y colar, de muy alta resistencia a la compresión (más de 250 kg/cm^2 en promedio) y muy buena resistencia a la flexión (más de 40 kg/cm^2 en promedio), de aspecto muy poroso y agradable, logrando dejar una superficie plana, muy cómoda para transitar en ella.

Entre las ventajas principales de su uso se encuentran las siguientes:

- ✚ Todas las superficies son 100% permeables.
- ✚ Los charcos desaparecen de inmediato, ya que el material puede contener agua en su interior mientras ésta se infiltra en el subsuelo, lo cuál permite reducir o incluso eliminar los drenajes pluviales.
- ✚ Elimina el acuaplaneo de las llantas del auto.
- ✚ No es más caro que otros pavimentos y compite con el asfalto.
- ✚ Es compatible con otros materiales usados para pavimentos con el fin de que se logren superficies permeables al combinarlo con estos pisos.
- ✚ No requiere mano de obra especializada, ni maquinaria sofisticada para su instalación.
- ✚ La superficie es antiderrapante, pero plana y menos ruidosa que en otros pavimentos.
- ✚ Adquiere sus características de resistencia en 72 hrs.
- ✚ Se puede hacer en varios colores y con distintos tipos de piedra.
- ✚ Su base y sistema constructivo es más barato que los pavimentos tradicionales por lo que el costo final no es más caro que los otros pavimentos.
- ✚ Se puede fabricar directamente en obra mediante el uso de trompos o revolvedoras para concreto o se contrata mezcla en plantas premezclados de concreto.
- ✚ Se puede instalar a mano mediante el método tradicional de colado, aplicando después una vibro compactación con placa, o se puede aplicar

con una maquina finisher para pavimentos de asfalto, logrando colocar por día hasta 1500 m² por turno.

- ✚ Se pueden tener varias presentaciones; en base cemento (gris o blanco), o base resinas dependiendo del tamaño del agregado y en varios colores usando colorantes para cemento, lo que permite hacer señalamientos en los pavimentos.
- ✚ Su uso disminuye la inversión en drenajes hasta en un 40% para el manejo de aguas pluviales.
- ✚ Es un producto no contaminante que ayuda a mejorar la ecología de las ciudades.
- ✚ Es un producto limpio en su aplicación ya que no deja cascajo ni basura de obra.

Resistencia a la compresión:	108 a 300 kg/cm ² a los 28 días
Resistencia a la flexión:	30 a 60 kg/cm ²
Peso volumétrico:	1600 a 1800 kg/cm ²
Permeabilidad:	100%
Absorción:	20.5%
Cantidad de agua en 1 m ² saturado	Espesor de 6cm 13.75lts. Espesor de 8cm 18.00lts.

Diseño estructural del concreto hidráulico permeable.

El objetivo del diseño estructural es proporcionar un marco de referencia para el análisis de datos conocidos y ofrecer procedimientos para la determinación de espesores requeridos y establecer las consideraciones del diseño geométrico para un pavimento permeable de concreto.

Una mezcla permeable es un material único y sus características difieren de un concreto o asfalto convencionales. Aunque estas características difieren hay previsiones y estimaciones. Hasta la fecha hay investigaciones y datos de pruebas

que relatan las aplicaciones en la construcción y las limitantes en la investigación específicamente en pavimentos.

Aunque hay relativas limitantes en la investigación de reacción de la subrasante, propiedades básicas del material y análisis de procedimiento constructivos, las observaciones han sido conducidas a un número de proyectos en Florida, que han tenido un buen desempeño. Estos proyectos tienen un rango de buen servicio de 6 meses a 10 años.

En la determinación estructural de un concreto hidráulico permeable, se usan dos tipos de análisis diferentes. Los procedimientos para diseñar tanto pavimentos rígidos como flexibles, proporcionan los espesores requeridos aceptables para aplicaciones específicas con resultados previsibles. Los espesores de los pavimentos resultantes y el criterio de la subrasante deberán ser analizados por la capacidad de depósito y permeabilidad de la subrasante. Ya que los vacíos de la estructura del pavimento son usados, en muchos casos, como depósito de almacenamiento para el agua de lluvia, el espesor tiene que permitir también los volúmenes anticipados. El mayor espesor requerido de los dos análisis, tanto estructural como depósito de retención, deberá ser usado.

La mezcla permeable tiene propiedades físicas tales que permiten el análisis de la estructura del pavimento ya sea como rígido y flexible. En cualquiera de los dos procedimientos deberán ser considerados, índices para el desempeño del pavimento, tráfico, superficie de rodamiento, propiedades de los materiales, ambiente, drenaje, confiabilidad y costos del ciclo de la vida.

La planeación de un lugar llega a ser uno de los aspectos más significativos que afectan la factibilidad económica de cualquier desarrollo. Hoy los diseños profesionales más creativos e innovadores son capaces de encontrar retos, los cuales tienen una gran variedad de reglas y regulaciones gubernamentales para la mejora del lugar, mientras utilizan el máximo disponible de tierra para uso de propiedad.

Históricamente las regulaciones de agua de lluvia fueron diseñadas para reducir el coeficiente de los picos de lluvia que han contribuido a los ríos aguas abajo, la erosión de las orillas de los ríos y la sedimentación de los lagos, estuarios y otras aguas. En los mas recientes tiempos, estas regulaciones fueron establecidas por agencias locales, estatales y federales y fueron modificadas para incluir las provisiones proyectadas para mejorar la calidad de la descarga del agua en las aguas superficiales, así como, mantener el nivel de recarga de los acuíferos por la filtración y acción bacterial.

Los diseños relacionados con la administración del agua de lluvia, incorporados al pavimento permeable proporcionan, distintivas ventajas sobre otros sistemas de retención. Hasta de los nuevos diseños para el agua de lluvia y las consideraciones ambientales, recientemente la mayoría de las nuevas instalaciones incluyen áreas de retención secas o mojadas o una instalación para exfiltración. La aceptación por las autoridades locales y estatales del concreto hidráulico permeable proporciona una adecuada alternativa a propietarios ya a profesionales del diseño para encontrar retos en la administración del agua de lluvia.

Generalmente, el concreto hidráulico permeable es una opción viable para satisfacer las regulaciones de calidad del agua de lluvia en cualquier área, con suelos arenosos favorables. Similar a un depósito de retención, el concreto hidráulico permeable debe tener la capacidad de retención para almacenar la primera media pulgada de agua de lluvia no tratada y recuperar el dicho volumen en un periodo de 72 hrs.

Para satisfacer los criterios de almacenamiento de la calidad del agua, el volumen del almacenamiento requerido (V_r) puede calcularse de manera semejante como se hace en otros sistemas de retención. La expresión matemática es:

$$\begin{aligned}V_r &= \text{agua de lluvia [in]} A 43560 [\text{ft}^2] / A * 1 [\text{ft}] / 12 [\text{in}] \\V_r &= (1/2 \text{ in } A 43560 [\text{ft}^2] / \text{ac} * 1 \text{ ft} / 12 [\text{in}]) \\V_r &= 1815 A\end{aligned}$$

DONDE:

V r: Volumen requerido de almacenamiento en ft^3 .

A: Dimensiones del recurso del área de contribución (Ac).

En un inicio los suelos del sitio deberán ser examinados. La mayoría de los diseños profesionales deban considerar el arreglo topográfico del sitio planeado que incluye elevaciones antes del desarrollo y después de la construcción. Esta topografía es utilizada para establecer las elevaciones del perfil de suelos que reducirán al mínimo el flujo lateral de agua e incrementara el funcionamiento del concreto hidráulico permeable.

Los vacios de un concreto hidráulico permeable usando un agregado de ($\frac{3}{4}$ in) están en el rango de 15 a 22 %, siendo usual en el diseño de 18 % de vacios. Esto significa que para un concreto hidráulico permeable con espesor de 5 [in], que 0.9 [in] de agua pueden ser almacenados en el mismo concreto.

Aproximadamente 0.4 [in] de agua almacenada será adecuada sobre o encima del volumen requerido normalmente en la calidad del agua. Muchos eventos de lluvia serán adaptados por considerar solo la capacidad de almacenamiento del pavimento.

Aplicando el concepto y los principios de capacidad de almacenamiento de las capas (estratos), el volumen de almacenamiento puede determinarse como sigue:

$$\begin{aligned}V_p &= A * d_1 * P_1 / 100 \\V_s &= A * d_2 * P_2 / 100\end{aligned}$$

Donde:

Vp: Almacenamiento adecuado en el pavimento [ft³].

Vs: Almacenamiento adecuado en la subrasante [ft³].

A: Área del pavimento [ft²].

d1: espesor del pavimento [ft].

d2: espesor de la subrasante [ft].

P1: % de vacios en el pavimento.

P2: % de vacios en la subrasante.

Una vez concluidos los cálculos para la cantidad del volumen de agua de almacenamiento requerido (Vr) y tomando en cuenta el volumen del suelo de la subrasante (Vs) y el volumen de almacenamiento disponible del pavimento (Vp), la diferencia final estará dada por los siguientes resultados: si el resultado es positivo indicara que el concreto es correcto pero si es negativo se requerirá un almacenamiento adicional.

El cálculo es como sigue: $V_r - (V_s + V_p) > = < 0$.

Si es necesario un almacenamiento adicional, una solución económica es la proporcionada por una sub-base granular no cementada con un 30% de vacios o mayor. Esta capacidad de almacenamiento de la súbbase se agregara al volumen de almacenamiento del pavimento permeable.

El diseño debe también satisfacer la capacidad del volumen del agua de lluvia. Esto es, el almacenamiento de la calidad del agua debe recuperarse en 72 horas. La cantidad de almacenamiento del agua de lluvia debe ser recuperada en el tiempo establecido por las regulaciones locales. Esta simulación es evaluada de manera similar a como se hace con otras instalaciones de retención mediante una solución simultanea de la ecuación de Darcy y la ecuación de continuidad.

$$Q = KiA$$

Donde:

Q: gasto [ft³/s].

K: conductividad hidráulica o rango de filtración del suelo subrasante [in/hr].

i: gradiente hidráulico (usualmente 1 el cual se maneja conservadoramente).

A: área del pavimento (Ac).

Nota: 1 Ac [in/hr] = 1 [ft³/s]

El valor determinado para Vr se divide de manera subsecuente por el valor de Q para determinar el periodo de recuperación en segundos (Ts).

$$Td: Vr / Q$$

El siguiente ejemplo ilustra el método de diseño usado en el desarrollo del sistema de retención de agua de lluvia usando pavimento permeable.

Se cuenta con un área aproximada de 3 acres, donde el suelo predominante es arena sin ninguna capa impermeable y con topografía plana. Asumiendo el 15% de vacios, para la subrasante y para el concreto hidráulico permeable un 18% de vacios, la sub-base granular con 30% de vacios (si es necesaria una subbase). El espesor de diseño de concreto hidráulico permeable es de 6 [in] (siendo el mínimo recomendado de 5 in), la elevación estacional del agua de lluvia está localizada a 2.5 ft debajo de la elevación propuesta del concreto hidráulico permeable.

El diseño del sitio incluye una construcción y un estacionamiento impermeable y áreas permeables.

SITIO ITEMS	NET ACRES
TECHO	0.5
ACERA	0.125
TOTAL (IMPERMEABLE)	0.625
ESTACIONAMIENTO (CHP)	1.803
PERIMETRO DEL LUGAR	*
TOTAL (PERMEABLE)	2.303
TOTAL DEL PROYECTO	2.928

* NOTA: Para este ejemplo, la elevación del perímetro del lugar no permite la entrada o la salida del agua.

Procedimiento:

Lo que sigue es la simplificación aproximada del método de diseño utilizado en el desarrollo de sistemas de retención de agua de lluvia usando concreto hidráulico permeable.

1.- Determine el volumen de escurrimiento de agua de lluvia que se requiere para almacenar, con la ecuación:

$$\begin{aligned}V_r &= (0.5 \text{ in} * A * 43560 \text{ ft}^2 / \text{ac} * 1 \text{ ft} / 12 \text{ in}) \\ &= 1815 A \\ &= 1815 (2.43) \text{ (impermeable + estacionamiento)} \\ &= 4410 \text{ ft}^3\end{aligned}$$

2.- Estimar el almacenamiento adecuado del concreto hidráulico permeable:

$$\begin{aligned}V_p &= A_1 * d_1 * p_1 / 100 \\ A_1 &= 1.803 * 43560 = 78539 \text{ [ft}^2\text{]} \\ D_1 &= 6 \text{ in de pavimento permeable} = 0.5 \text{ ft} \\ P_1 &= \% \text{ vacios del concreto} = 18 \\ V_p &= 7450 \text{ [ft}^3\text{]}\end{aligned}$$

$$\text{Si } V_p - V_r > 0$$

El diseño no solo cumple los requerimientos en la calidad del agua, también cuenta con un volumen de almacenamiento adicional de 3040 ft³.

3.- Determinar el volumen de almacenamiento previsto para encontrar los requerimientos en la cantidad de agua requerida para 25 años con 24 horas de duración. La cantidad de agua de lluvia puede ser determinada de forma local o bien con los manuales del distrito para administrar el agua, las cuales se tienen graficas o cartas del lugar. El hietograma para este ejemplo es para 8 [in].

4.- Determinar las 24 horas, 25 años del volumen del evento requerido usando las 8 in de volumen de agua de lluvia estimado.

$$\begin{aligned}V_{25} &= \text{lluvia in } A 43560 \text{ ft}^2 / A * 1 \text{ ft} / 12 \text{ in} \\ &= 18150 \text{ ft}^3 \text{ (area impermeable)} \\ &= 52359 \text{ ft}^3 \text{ (área de estacionamiento)}\end{aligned}$$

$$\text{Total } V_{25} = 70509 \text{ ft}^3$$

5.- Calculo de la sección transversal para obtener la cantidad del agua de lluvia.

a) $Vq = 3040 \text{ ft}^3$

b) $(Vq - V25) = (3040 - 70509) = - 67469 \text{ ft}^3$
almacenamiento adicional requerido.

c) Se puede lograr un almacenamiento adicional empleando agregado grueso entre la sub-base y la superficie del almacenamiento de concreto hidráulico permeable.

$$Vca = 4 [\text{in sub-base}] * 1.803 \text{ ac} * 43560 \text{ ft}^2 / \text{ac} * 30/100 * \text{ft}/12 \text{ in}$$

$$Vca = 7854 \text{ ft}^3.$$

Por lo que: $Vs = 34373 \text{ ft}^2$

$$(2.428 * 43560 * 26/12 * 15/100)$$

d) Almacenamiento requerido del concreto hidráulico permeable y de la altura del bordo perimetral:

Altura del bordo = almacenamiento aprox. Del CHP / área de almacenamiento

$$= V25 - BVq - BVca - Va / \text{área de almacenamiento}$$

$$= [V25] - [Vq(\text{CHP})] - [Vca (\text{subbase } 4 \text{ in})] - [Vs(\text{subrasante } 26 \text{ in})] / [\text{área de almacenamiento} * 43560].$$

Nota: el perímetro del lugar se excluye.

El diseño debe evaluarse con otras combinaciones de espesores de sub-base de piedra caliza en combinación con la altura del borde aproximado el cual debe ser económico, para lograr el volumen de almacenamiento requerido de agua de lluvia.

En apariencia las condiciones del suelo tienen un factor de restricción en la planeación y el diseño de la administración del agua de lluvia en el lugar. Previamente se debe de estudiar el suelo para obtener los parámetros para un diseño económico y funcional.

Hay áreas de donde las condiciones el suelo presentan una baja permeabilidad o bien estratos impermeables que requerirán un diseño económico y funcional.

Hay áreas donde las condiciones del suelo muestran una baja permeabilidad o estratos de subbase permeable que requerirán consideraciones en el diseño. Combinando la capacidad de almacenamiento del espesor del concreto hidráulico permeable y sub-base permeable o capa sub-rasante del concreto hidráulico permeable con sistemas suplementarios de agua de lluvia prudentes. Hay una variedad de anchos de prueba con diseño de drenes suplementarios que pueden ser considerados en combinación con la capacidad de almacenamiento del concreto hidráulico permeable.

Se muestran a continuación los sistemas de drenes adicionales que pueden usarse en combinación con el concreto hidráulico permeable:

A.- Sub-base de concreto de cemento portland.

Utilizando una sub-base de cemento tratada con agregado de $\frac{3}{4}$ a 1.5 [in] de diámetro, es una solución viable para aumentar la capacidad de almacenamiento y el valor estructural de la composición del concreto hidráulico permeable. La sub-base no se deberá exponer a tráfico vehicular, la relación de cemento puede ser reducida para dar estabilidad a la mezcla.

Dependiendo de la graduación del agregado, la relación de cemento puede estar en el rango de 250 a 300 [lb/yd³]. Esta mezcla debe ser estudiada y probada para proporcionar el almacenamiento y la estabilidad necesaria. Una base permeable da un depósito estable e incrementa la capacidad de carga transmitida del depósito de la superficie. Los vacíos de esta sub-base permeable también eliminarán la acción de bombeo o bacheo asociado con el concreto hidráulico permeable. La capacidad de almacenamiento de una subbase permeable con piedra caliza ofrecerá frecuentemente una capacidad de almacenamiento adicional para sitios con condiciones de permeabilidad marginal al suelo.

B.- Rock Filled Trench.

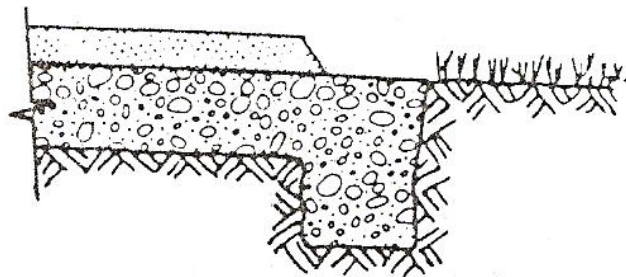
Este sistema se usa con agregado bien graduado en zanjas o cunetas con sub-base interconectadas abajo del pavimento. Los drenes están localizados a lo largo del borde o en la superficie plana lateral espaciada por debajo del área de estacionamiento permeable.

C.- V-Trench water removal to pond.

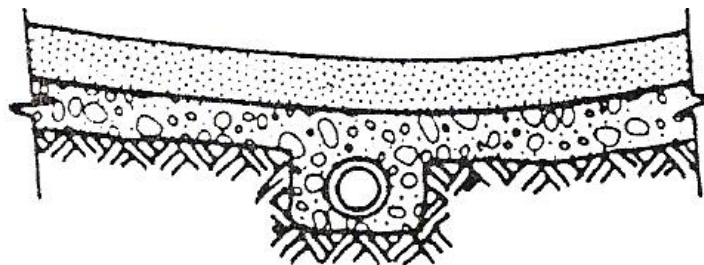
Este método usa zanjas en V poco profundas en punto la sección transversal del pavimento para coleccionar el agua superficial y transportarlas al área de detención.

D.- Sand Underdrain.

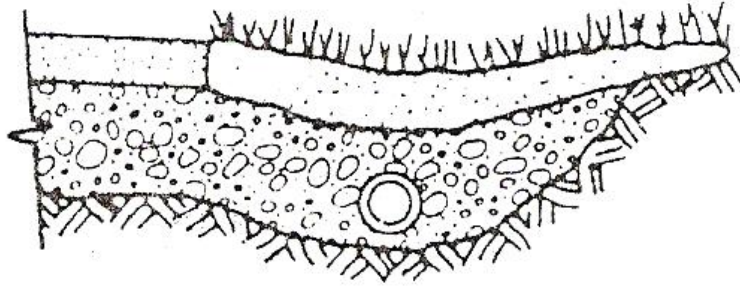
La arena funciona como un medio filtrante, con aproximadamente 61 cm (2 ft) de profundidad en la zanja, arriba de la tubería perforada. Este sistema no debe de requerir tratamiento adicional.



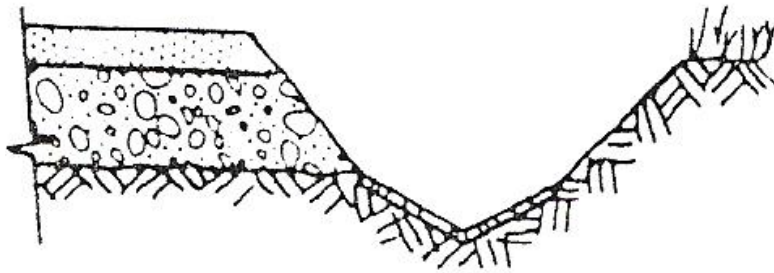
B-1 Rock Filled Trench



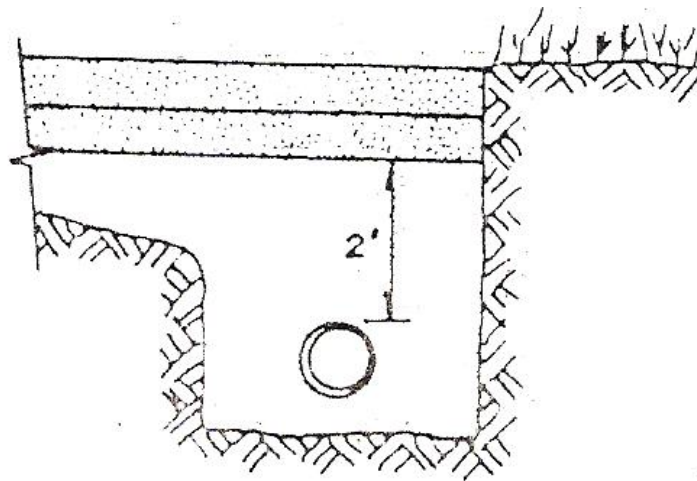
B-2 Rock Filled Trench



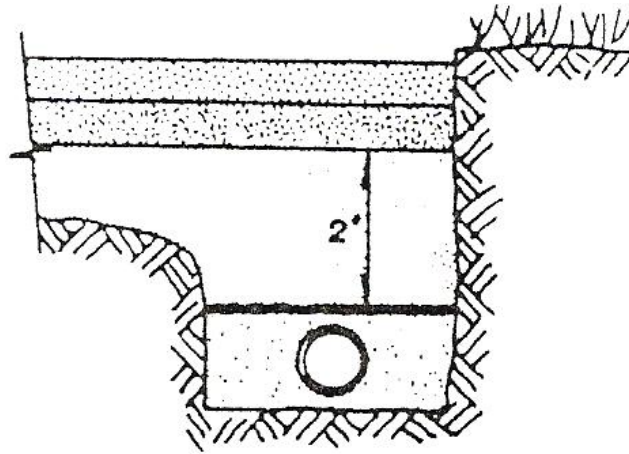
B-3 Rock Filled Trench



C. V-Trench Water
Removal to Pond

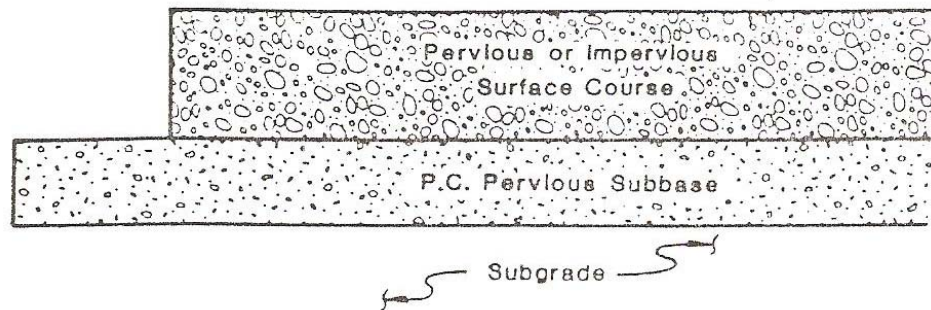


D-1 Sand Underdrain

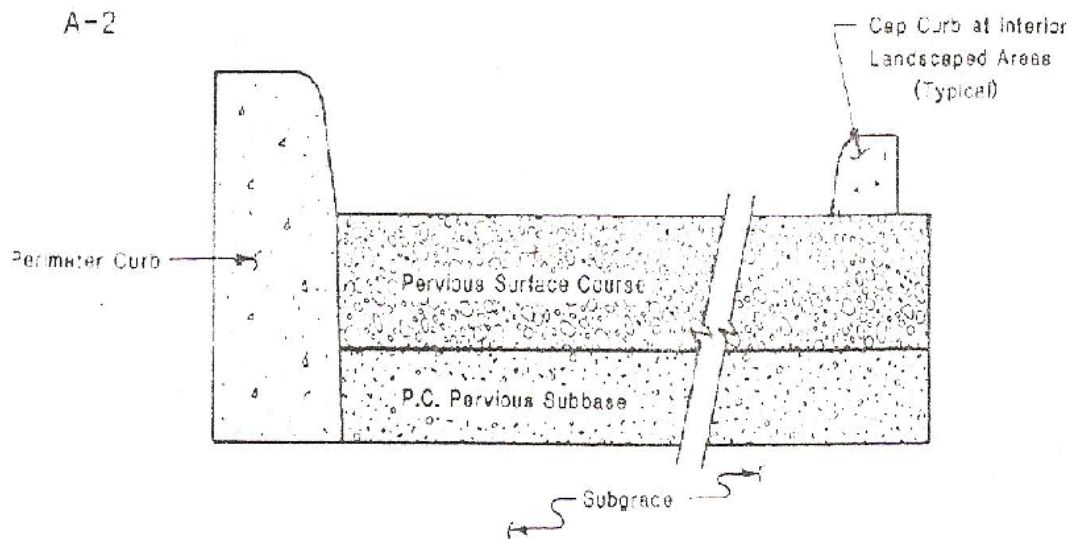


D-2 Sand Underdrain

A-1



A-2



A-3

