

HORMIGONES DRENANTES COMO RETARDADORES DE EXCEDENTES PLUVIALES

Diego D. Aguirre¹, Romina S. Argento¹, Ma. Fernanda Carrasco¹

¹ Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda (CECOVI) – UTN
Facultad Regional Santa Fe, Santa Fe, Argentina, mcarrasc@frsf.utn.edu.ar

RESUMEN

Las precipitaciones muy intensas colapsan los sistemas de desagües que se ven forzados a evacuar caudales superiores a los valores de diseño. La creciente impermeabilidad del suelo provoca cambios en el ciclo hidrológico, aumentando los volúmenes de escurrimiento y las descargas pico. En Santa Fe, una ordenanza obliga a incorporar reguladores de excedentes pluviales que reduzcan, como mínimo, un 50 % del caudal máximo a evacuar. Los reguladores tradicionales consisten en reservorios a nivel de suelo y/o soterrados. En este trabajo se evalúa el empleo de hormigones drenantes como reguladores a nivel de suelo. Se analiza el volumen de vacíos, resistencia a compresión y a flexión y la permeabilidad, como elementos de diseño. Los hormigones obtenidos presentan volúmenes de vacío cercanos al 20 % y resistencia compatible con su empleo como pavimentos de bajo tránsito.

Palabras claves: hormigón drenante, pavimento, precipitaciones, retardador pluvial.

INTRODUCCIÓN

Al contemplar el ciclo natural del agua se observa que es un proceso sencillo: parte del agua de precipitación es interceptada por la vegetación antes de que haga contacto con el suelo, el resto, satisface al terreno antes de producir escorrentía superficial y subsuperficial. Esta escorrentía tiene un tiempo de concentración que depende de la topografía y del tipo de superficie de la cuenca. Finalmente, el agua se concentra en ríos, lagos y humedales o se infiltra alimentando acuíferos naturales, todos ellos fuentes para el abastecimiento de agua a las ciudades. En todo el proceso también están presentes los fenómenos de evapotranspiración y de evaporación necesarios para cerrar el ciclo [1].

Por el contrario, el ciclo urbano del agua es totalmente distinto: el agua, antes de llegar al suelo, purifica el aire recogiendo partículas contaminantes que arrastrará posteriormente. En la ciudad no existe una cúpula vegetal de intercepción, sino cubiertas impermeables; además, el suelo tiene escasa permeabilidad por lo que el agua corre rápidamente por conductos y pavimentos, concentrándose en un corto periodo en los sistemas de alcantarillado subterráneos. Así, el agua pluvial lava el aire, los techos y los pavimentos, arrastrando una carga contaminante importante de sólidos en suspensión, materia orgánica, metales pesados e hidrocarburos [1].

En consecuencia, la urbanización provoca efectos y cambios importantes en el ciclo hidrológico, aumentando los volúmenes de escurrimiento y las descargas pico y reduciendo los tiempos de distribución del flujo. En general, las grandes ciudades del país se ven afectadas por un acelerado y desordenado crecimiento de la urbanización, aumentando los

efectos mencionados y dejando a las redes existentes de desagüe pluvial sin capacidad para conducir los caudales generados y provocando inundaciones cada vez más frecuentes. Algunas de estas inundaciones en cuencas altamente urbanizadas, alcanzan niveles alarmantes y pérdidas económicas millonarias [2].

Tratamiento de la problemática a escala global

Dentro de las nuevas estrategias dedicadas a la mejora del funcionamiento y desarrollo urbano sostenible de las ciudades se encuentran los denominados “Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Estos Surgen en Europa y Estados Unidos a principios de la década de los 80’s, como una forma alternativa al drenaje convencional de aguas de lluvia [3].

El principal objetivo de los SUDS es precisamente la mejora de las condiciones de calidad del agua a través de la remoción de la mayor parte de la carga de sólidos suspendidos y contaminantes solubles, principalmente de aquellos presentes en las aguas de primer lavado de superficies impermeables, aprovechando el tránsito de la escorrentía por medios granulares [4], tales como los hormigones drenantes. Por otra parte, los SUDS bregan por la disminución del volumen de escorrentía que genera la urbanización del territorio al tratarse de sistemas que disminuyen la proporción de las superficies impermeables y propenden por la captación o el almacenaje de la escorrentía prolongando el tiempo que le toma a la misma alcanzar los colectores o canales pluviales, disminuyendo de esta manera los picos de las crecientes [4].

Utilización de H° drenante como regulador de excedentes pluviales

A partir del año 2013, las nuevas construcciones públicas y privadas de la ciudad de Santa Fe debieron incorporar sistemas de regulación de excedentes pluviales a efectos de contribuir a la optimización del funcionamiento del sistema urbano de desagües. Dicha obligación se normaliza y regula mediante la ordenanza municipal N°11.959 “Sistema de regulación de excedentes pluviales”. Resumiendo el contenido de la ordenanza [5], se puede plantear que en las obras nuevas los dispositivos reguladores deben producir, como mínimo, una reducción del 50 % del caudal máximo a evacuar y cuando se realizan ampliaciones y/o mejoras en obras existentes, el Departamento Ejecutivo Municipal determina estos porcentajes en relación a la magnitud e importancia de estas obras. Estas exigencias generan inconvenientes debidos a los espacios necesarios para la disposición y ubicación de los dispositivos reguladores, que en general presentan dimensiones considerables, fundamentalmente para edificios en altura o edificaciones bajas de gran superficie cubierta.

Frente a esta problemática, la alternativa propuesta consiste en una capa de hormigón drenante, ejecutada sobre geo membranas impermeables, capaz de almacenar agua de lluvia en su interior y evacuarla gradualmente hacia los desagües tradicionales. Funciona absorbiendo el agua que recibe superficialmente desde la instalación pluvial, almacenándola en su interior y evacuándola hacia los sistemas de desagües pluviales tradicionales, en forma gradual y mediante cañerías de salida, cuyos diámetros se determinan en función del tiempo de retardo necesario para cumplir con las normativas establecidas. En el caso que el agua dirigida al regulador colmate su capacidad, esta emergerá por la superficie y desbordará hacia la instalación pluvial de salida directa al sistema urbano, tal como está previsto en la instalación de reservorios convencionales. Esta alternativa evitaría inutilizar el espacio destinado al reservorio, ya que al contener el agua en su sistema de poros, dejaría la superficie libre de agua, permitiendo la transitabilidad de personas y vehículos, cumpliendo a su vez la función de vereda, solado y/o estacionamiento.

En la práctica normalmente se utilizan para este fin reguladores disponibles en el mercado que se constituyen en sistemas cerrados, o bien, otros proyectados y construidos con base en el espacio disponible de las construcciones, así como también reservorios soterrados, que requieren sistemas de bombeo que complejizan las instalaciones y que requieren tareas de mantenimiento y suministro de energía. La alternativa propuesta permite utilizar materiales disponibles localmente y su diseño es totalmente adaptable a diferentes construcciones, espacios y geometrías, sumado a las ventajas de su bajo mantenimiento y, principalmente, su transitabilidad, lo cual hace que no se requiera de un espacio de uso exclusivo para su instalación y funcionamiento.

Dado que la capacidad de retención de agua de estos hormigones se ve condicionada por el volumen, la distribución y la conectividad de su sistema de poros, su caracterización es un resultado significativo del proyecto. Esta estructura de poros condiciona, al mismo tiempo, la resistencia mecánica y la transitabilidad del hormigón, por lo cual alcanzar este conocimiento permite adaptar los hormigones a diferentes demandas de uso. En lo que respecta a la implementación de este sistema, las tecnologías requeridas son simples tanto para la elaboración de los hormigones como para su colocación, sin demanda de equipamiento o calificación especial de los operarios y con posibilidad de conexión a los sistemas de desagües sin modificar las técnicas tradicionales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Para la elaboración de hormigones drenantes se emplearon agregados gruesos, cemento y agua. No se incorporaron aditivos químicos a las mezclas. Se empleó piedra partida granítica 3-9, con peso específico en condición SSS de $2,85 \text{ g/cm}^3$, absorción $0,48 \%$ (IRAM 1533), pasante en tamiz # 200 de $0,2 \%$ (IRAM 1540) y densidad a granel compactada de 1575 kg/m^3 (IRAM 1548). La curva granulométrica del agregado empleado se muestra en la Figura 1. El cemento empleado es pòrtland normal de clase resistente 50 (CPN 50 – IRAM 50000). La procedencia del cemento empleado es Córdoba (Argentina) y su densidad absoluta, determinada de acuerdo a la norma IRAM 1624, es $3,15 \text{ g/cm}^3$. Como agua de mezclado, se utilizó agua potable de red, que cumple con los requisitos establecidos en el reglamento CIRSOC 201 y en la Norma IRAM 1601.

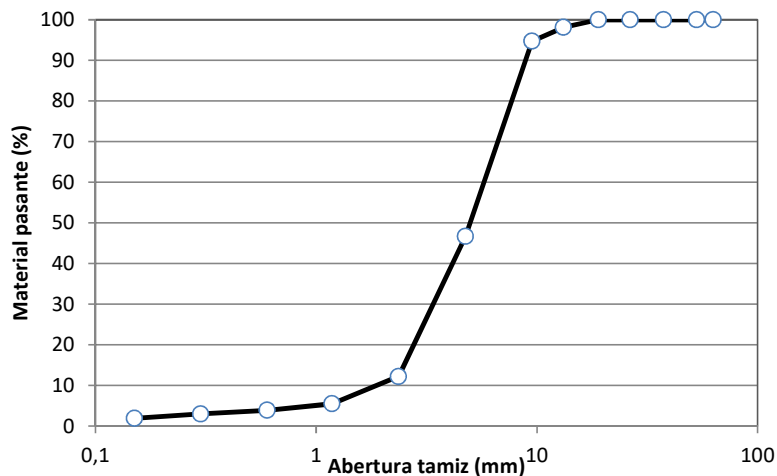


Figura 1: Granulometría del agregado grueso.

Tabla 1: Dosificación Final.

COMPONENTES	E	F	UNIDAD
Relación Agua/Cemento (A/C)	0,30	0,35	-
Cemento	390	362	kg
Agua	117	127	kg
Agregado Grueso (PG 3-9)	1567	1567	kg
Agregado Fino	0	0	kg
Volumen de Vacíos Teórico (V/V_T)	20	20	%
PUV Teórico	2134	2056	kg/m ³

Dosificación de las mezclas

Las mezclas se dosificaron aplicando tres métodos diferentes con el objetivo de lograr un contenido de vacíos de 20 %. Dichos métodos son: "ACI-522R-10 - Specification for Pervious Concrete Pavement" establecido por el American Concrete Institute (ACI) [6], el método modificado propuesto por Sebaibi et al [7], y el método propuesto por Castro et al [8] para el desarrollo de mezclas de hormigón poroso para pavimentos urbanos permeables. Las diferencias obtenidas entre los distintos métodos fueron mínimas. Las dosificaciones finales elegidas para trabajar se presentan en la Tabla 1.

Elaboración de las mezclas

Las mezclas se elaboraron en una mezcladora de volteo, en pastones de 30 dm³, con la misma secuencia de carga y homogenización para evitar variaciones en las características del hormigón en estado fresco o endurecido. De acuerdo a la experiencia adquirida en las pruebas iniciales, en primer lugar, se incorpora el cemento con el agregado y una vez homogeneizada esta mezcla seca se incorpora paulatinamente el agua, mezclando aproximadamente 10 minutos.

Ensayos

En estado fresco se determinó la consistencia de la mezcla a través del ensayo de tronco de cono de Abrams (IRAM 1536) y el peso de la unidad de volumen (IRAM 1562).

En estado endurecido se determinó la resistencia a compresión a edades de 7 y 28 días, siguiendo la metodología de la norma IRAM 1546, el módulo de rotura a 28 días (IRAM 1547). Para el ensayo a compresión se utilizaron probetas cilíndricas de 10x20 cm, que se compactaron en 3 capas con 10 golpes cada una mediante un pisón similar al utilizado en el ensayo Proctor Estándar (peso del pisón es de 4,54 kg y la altura de caída de 45,72 cm). Para el ensayo a compresión se emplearon placas de elastómero no adheridas (IRAM 1709). El contenido de vacíos se determinó de acuerdo al método de la balanza hidrostática.

La permeabilidad se determinó de acuerdo al método propuesto por Fernández Luco [9]. El ensayo se realiza sobre una probeta cilíndrica de altura igual al diámetro, preparada por corte con sierra sobre ambas caras planas. Esta probeta se coloca dentro de un tubo cilíndrico de altura suficiente, procurando evitar que el agua escurra entre la probeta y la pared del molde. Una vez colocada la probeta y verificada la estanqueidad perimetral, se comienza a llenar con agua el tubo plástico. Parte del agua empezará a percolar por la probeta, pero también se elevará el tirante sobre la cara superior. Cuando dicho tirante alcanza una altura de 127 mm se cierra la provisión de agua. Se mide el tiempo t en segundos que tarda el tirante en reducirse de 127 mm a 25,4 mm. Finalmente se calcula la permeabilidad con la fórmula 1.

$$K = \frac{101,6 \text{ mm}}{t \quad s} \quad (1)$$

La permeabilidad fue calculada en ambas direcciones, es decir, utilizando probetas cilíndricas moldeadas en moldes cilíndricos (permeabilidad en dirección de moldeo DM) y utilizando probetas cilíndricas caladas de bloques prismáticos (permeabilidad en dirección perpendicular al moldeo DP).

Todas las probetas se desmoldaron a las 24 h y se mantuvieron en curado húmedo en pileta de agua con cal hasta la edad de ensayo, dependiendo del ensayo a realizar.

Evaluación del desempeño como regulador

Se realizaron las estimaciones de escurrimientos laminados por el regulador constituido por hormigón drenante para una construcción propuesta, considerando la acción de una lluvia característica de la ciudad de Santa Fe, así como las indicaciones de la ordenanza municipal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El asentamiento medido con el tronco de cono de Abrams (IRAM 1536) para los pastones elaborados fue de 0 cm en ambas dosificaciones, correspondiendo a mezclas muy secas. El peso de la unidad de volumen (IRAM 1562) resultó de 1976 kg/m³ para la dosificación E y de 1900 kg/m³ para la dosificación F.

En la Tabla 2 se resumen los resultados obtenidos para las propiedades de las mezclas en estado endurecido. Se puede observar que fue posible obtener un contenido de vacíos cercano al establecido como objetivo en las dosificaciones de 20 %, en efecto, para la dosificación E se determinó un contenido de vacíos de 17,09 %, en tanto que para la dosificación F este valor alcanza 18,33 %. En la Figura 2 se aprecia la estructura de estos hormigones.

En lo que respecta a los contenidos de cemento empleados, estos resultan similares a los obtenidos por Castro et al. [8]. No obstante, para estos contenidos de cemento y razones a/c se obtuvieron resistencias a flexión menores a las estimadas por estos mismos autores. Los niveles de permeabilidad medidos de 1,47 y 1,49 cm/s resultan levemente superiores a los reportados por otros autores tales como Sonebi et al [10] y Fernandez Luco [9], para volúmenes de poros de aproximadamente 20 %.

Tabla 2: Propiedades de las mezclas en estado endurecido.

Pastón	Resistencia a compresión (MPa)		Módulo de rotura (MPa)	Densidad aparente seca (g/cm ³)	Absorción (%)	Vacíos (%)	Permeabilidad (cm/s)	
	7 d	28 d	28 d				a moldeo	⊥ a moldeo
	E	4,38	7,115	1,62	1,916	6,23	17,09	1,47
F	6,83	8,96	1,90	1,890	6,72	18,33	1,49	1,31

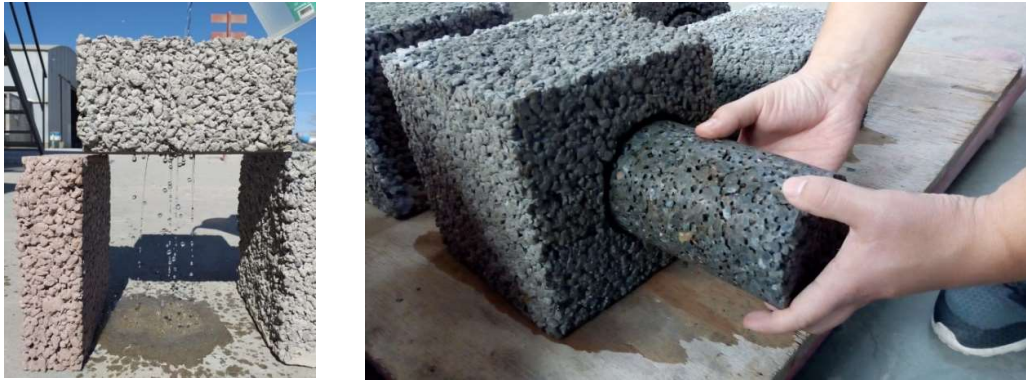


Figura 2: Vista de la estructura de los hormigones drenantes.

A fin de evaluar el comportamiento de estos hormigones como posibles reguladores de excedentes pluviales se seleccionó una construcción de planta baja y dos pisos altos, que consta de una superficie impermeable total de 266,09 m², tal como la que se muestra en la Figura 3 y para la que se propone la incorporación de dos sectores de regulación ubicados en las zonas de cocheras, de 11,5x2,55x0,25 m, respectivamente.

Asimismo, se adopta para el análisis una tormenta representada en el hietograma propuesto por Secchi y Mazzón [12] correspondiente a una precipitación con una recurrencia de 2 años para la ciudad de Santa Fe, y que se muestra en la Figura 4.

De acuerdo a la normativa vigente, en caso de emplear reguladores de excedentes pluviales convencionales, para la construcción analizada se requeriría la colocación de un tanque con una capacidad mínima de 2750 l. Los tanques disponibles comercialmente tienen diámetros del orden de 1,60 m, lo cual implica inutilizar aproximadamente 2 a 2,5 m² en la zona de cocheras.

En las condiciones establecidas por la precipitación y las características de la construcción analizada, se concluye que el volumen total de agua a administrar asciende a 12740 litros. A partir de estos datos se calcula el volumen de agua que se escurriría sin contar con ningún regulador de excedentes pluviales en la construcción y se comparan con los volúmenes que se eliminarían debido a la acción del regulador constituido por los hormigones drenantes (Fig. 5). Para realizar estos cálculos se toma en cuenta la intensidad de la precipitación, las superficies impermeables existentes, el volumen de vacíos del hormigón drenante y el agua que retiene este material por absorción.

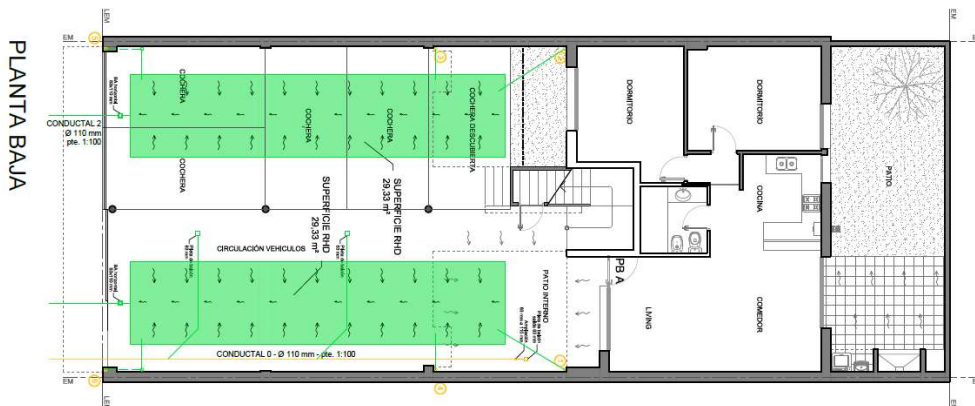


Figura 3: Planta baja con reguladores de hormigón drenante.

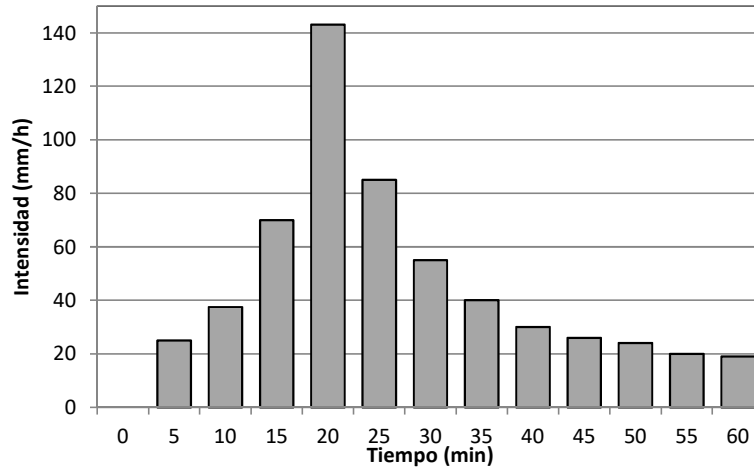


Figura 4: Hietograma de tormenta de diseño $T_r = 2$ años. Fuente: Secchi y Mazzón [12].

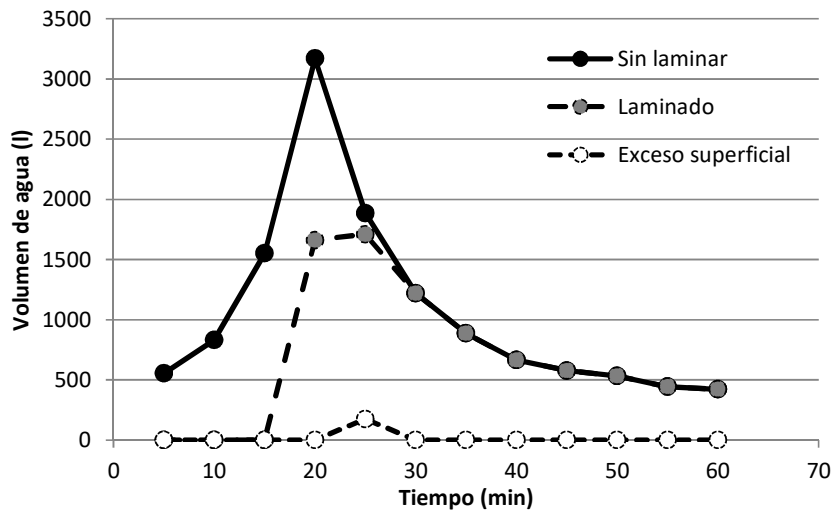


Figura 5: Comparación de escurrimiento regulado con hormigón drenante.

Puede observarse a partir de la figura 5 que la incorporación de los reguladores constituidos por hormigón drenante permite reducir los volúmenes que se evacuan hacia el sistema de drenaje urbano. En efecto, se aprecia que durante los primeros 15 minutos de precipitación se evita completamente el escurrimiento. A los 20 minutos, cuando se produce la mayor intensidad de la precipitación se verifica una reducción del 48 % del volumen evacuado, muy cercano a los valores exigidos por la ordenanza municipal.

En lo que respecta al movimiento del agua dentro del hormigón drenante que constituye el regulador, se estima que circularán por la sección del mismo aproximadamente 7,9 l/s. Este caudal resulta muy superior al caudal establecido para la salida del regulador por la ordenanza municipal, que se establece en 2,85 l/s para cada sector de acumulación. Estos valores permiten predecir que no se producirán escurrimientos superficiales no esperados por incapacidad de circulación del líquido en el seno del material estudiado. En este sentido, es importante advertir que sólo para los 25 minutos a partir del inicio de la precipitación se espera una liberación de 174 litros por escurrimiento superficial hasta el sistema de drenaje.

CONCLUSIONES

En virtud de los resultados obtenidos es posible concluir que:

- Es posible diseñar instalaciones para la regulación de excedentes pluviales adecuadas, a partir del reemplazo de los solados convencionales por hormigones drenantes. De este modo, es posible cumplir con las regulaciones municipales sin recurrir a soluciones que obligan a inutilizar áreas de los edificios que podrían tener un empleo más eficiente y mayor rentabilidad.
- Resulta necesario evaluar las operaciones de compactación in situ de los hormigones drenantes a fin de garantizar un adecuado comportamiento mecánico y sin afectar los adecuados contenidos de vacíos establecidos a partir de las necesidades de retención de agua.
- En etapas siguientes de la investigación, es necesario evaluar opciones tecnológicas que permitan incrementar la resistencia mecánica de los hormigones drenantes elaborados.

AGRADECIMIENTOS

La concreción de este trabajo fue posible gracias a la colaboración de la empresa Santa Fe Materiales S.A. y al financiamiento de la Universidad Tecnológica Nacional.

REFERENCIAS

- [1] Grupo de investigación de tecnología de la construcción, “Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. SUDS”. Escuela de caminos, canales y puertos de Santander. Universidad de Cantabria. <http://www.caminospaisvasco.com/Profesion/Publicaciones%20de%20nuestros%20colegiados/suds>, (2009).
- [2] Instituto Nacional del Agua -INA CRL, “Nuevas tecnologías para contribuir a la solución de inundaciones en grandes ciudades. Dispositivo Regulador para Bocas de Tormenta”. <https://www.ina.gob.ar/legacy/crl/index.php?crl=19>, (1994).
- [3] Castro Espinosa M L, “Pavimentos permeables como alternativa de drenaje urbano”. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil, Bogotá Colombia, (2011).
- [4] Subdirección de ecourbanismo y gestión ambiental empresarial SEGAE, “Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible”. Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaria Distrital de Ambiente, Bogotá Colombia, (2011).
- [5] Ordenanza N°11.959/13, Sistema de regulación de excedentes pluviales, Ciudad de Santa Fe, Santa Fe Argentina, (2013).
- [6] ACI Committee 522, “522R-10 Report on Pervious Concrete”, American Concrete Institute (2010).
- [7] Nguyen DH, Sebaibi N, Boutouil M, Leleyter L, Baraud F, “A modified method for the design of pervious concrete mix”, *Construction and Building Materials*, 73, (2014), 271–282
- [8] de Solminihac H, Videla C, Fernández B, Castro J, “Desarrollo de mezclas de hormigón poroso para pavimentos urbanos permeables”, *Materiales de Construcción*, Vol. 57, 287, (2007) 23-36
- [9] Fernandez Luco L, Vitola L, Salminci PN, “Estado del arte en el uso de hormigones porosos”, *Revista CARRETERAS*, Año XLIII, N°154, (1998), 50-60.
- [10] Sonebia M, Bassuonib M, Yahiac A, “Pervious Concrete: Mix Design, Properties and Applications”, *RILEM Technical Letters* 1, (2016), 109 – 115
- [11] Chandrappa AK, Biligiri KP, “Pervious concrete as a sustainable pavement material – Research findings and future prospects: A state-of-the-art review”, *Construction and Building Materials*, 111, (2016), 262–274.
- [12] Secchi A, Mazzón R, “Regulación de excedentes pluviales en cuencas urbanas”, XII Simposio Iberoamericano sobre planificación de sistemas de abastecimiento y drenaje (2013).