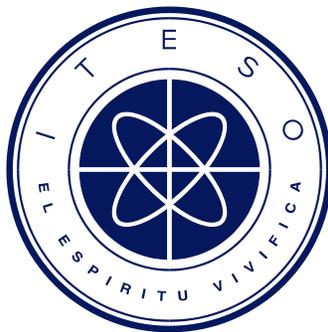


INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE

Reconocimiento de validez oficial de estudios de nivel superior según acuerdo secretarial 15018,
publicado en el Diario Oficial de la Federación el 29 de noviembre de 1976.

Departamento del Hábitat y Desarrollo Urbano

MAESTRÍA EN PROYECTOS Y EDIFICACIÓN SUSTENTABLES



Factibilidad de una Infraestructura Hidráulica Urbana Sustentable de Captación y Conducción de Agua Pluvial

Trabajo para obtener el grado de

MAESTRO EN PROYECTOS Y EDIFICACIÓN SUSTENTABLES

Presenta: Ing. Guillermo Acosta Michel

Asesor: Prof. Gil Humberto Ochoa

Tlaquepaque, Jalisco, 18 de noviembre del 2016.

Quiero dar un agradecimiento y dedicatoria especial a mi familia, a mis padres y hermanas, quienes siempre estuvieron apoyándome y ofreciéndome sus valiosos consejos, en especial a mis padres, quienes siempre me dieron fortaleza para salir adelante en los momentos difíciles y me guiaron en momentos en los que estaba a la deriva. Sin ellos no sería la persona que soy, y no habría podido lograr lo que he logrado.

También quiero dar un agradecimiento especial al Ing. Carlos Aguirre Pazcka, quien creyó en este proyecto desde el momento en el que se lo presenté y me ha ayudado a impulsarlo a lo largo de todo este tiempo, tanto con su tiempo como con sus recursos en el laboratorio de hidráulico. Al Prof. Gil Humberto Ochoa, cuyos consejos, recomendaciones y guía han sido determinantes para culminar este proyecto, y quien siempre me ha dedicado más tiempo del que podría pedir. Él ha sido alguien determinante para el progreso de este proyecto a lo largo de estos 2 años, y junto con el Ing. Carlos Aguirre hemos logrado terminarla en tiempo y forma.

Me gustaría dar otro agradecimiento especial a la empresa Verdecreto, quienes mostraron gran interés en el proyecto y me apoyaron facilitándome las vigas de concreto permeable necesarias para desarrollar las pruebas con el modelo en el laboratorio, al igual que me proporcionaron información importante para completar mi trabajo.

Por último, pero no menos importante, me gustaría agradecer al Dr. José Arturo Gleason por su tiempo para la entrevista y sus consejos, a todos mis profesores de IDI cuyos consejos han sido muy importantes para delimitar mi área de estudio y alcanzar las metas establecidas semestre a semestre, a mis compañeros de maestría cuyo apoyo y retroalimentación a lo largo de todo este tiempo ha sido muy importante para mí, y al Centro de Investigación CONACYT, cuyo apoyo fue vital para la culminación de mi proyecto y estudios de posgrado.

Índice

Abstract	4
1. Planteamiento del tema	5
1.1 Delimitación del objeto de desarrollo o innovación	5
1.2 Descripción de la situación-problema	6
1.3 Importancia del proyecto	7
2. Estado de la cuestión	9
2.1 Antecedentes empíricos del tema	9
2.2 Referencias conceptuales del tema	14
3. Diseño metodológico	20
3.1 Hipótesis	20
3.2 Preguntas generadoras	21
3.2.1 Pregunta principal	21
3.2.2 Preguntas secundarias	21
3.3 Objetivos	22
3.3.1 Objetivo general	22
3.3.2 Objetivos específicos	22
3.4 Elección metodológica	22
3.5 Selección de técnicas y diseño de instrumentos.....	23
3.6 Cronograma de trabajo	29
4. Análisis, desarrollo de la propuesta y resultados.....	30
4.1 Diseño de experimento	30
4.2 Síntesis interpretativa de los datos analizados	51
4.3 Hallazgos aprovechables	65
4.4 Diseño aplicativo de la solución	74
4.5 Factibilidad y validación	79
5. Conclusiones y/o recomendaciones	79
6. Referencias	82
7. Anexos	88

Factibilidad de una Infraestructura Hidráulica Urbana Sustentable de Captación y Conducción de Agua Pluvial

Palabras claves: Concreto permeable, Geocompuesto, Agua pluvial, Captación, Conducción, Infraestructura hidráulica urbana sustentable.

Abstract

Hoy en día, el abastecer de agua potable a las ciudades para cumplir sus necesidades cada vez mayores de consumo se ha convertido en un reto. Este problema cuenta con dos posibles soluciones, la primera es el encontrar fuentes alternativas de abastecimiento, y la segunda, con una menor atención, es la efectiva utilización de los recursos disponibles. A esto hay que sumarle que la urbanización es la principal causante en los cambios del ciclo hidrológico del agua pluvial, el agua ya no se infiltra al subsuelo, sino que es recolectada por el sistema de drenaje de la ciudad, usualmente combinado con el sanitario, lo que la convierte en agua negra.

Este trabajo consiste en el diseño de un sistema para la captación y conducción de agua pluvial por medio de un sistema conformado por concreto permeable con un geocompuesto para la eficiente captación y conducción, y posterior posible almacenamiento y/o tratamiento, para su aprovechamiento.

El experimento que se llevó a cabo, tiene la finalidad de comparar la conductividad hidráulica del sistema, conformado por concreto permeable junto con un geocompuesto. Se midieron presiones y velocidades a diferentes gastos y pendientes con la finalidad de obtener la conductividad del sistema y el gráfico de diseño por pendientes; dicha conductividad del sistema permite calcular de manera teórica el comportamiento del sistema sin la necesidad de experimentar con el mismo en el laboratorio para cada situación en particular, mientras que la gráfica de diseño será capaz de establecer los parámetros necesarios para alcanzar el diseño de vialidad deseado tomando como base el tirante superficial de flujo máximo permisible del proyecto para la gestión de aguas pluviales.

Modalidad: Proyecto profesionalizante de desarrollo o innovación

1. Planteamiento del tema

1.1 Delimitación del objeto de desarrollo o innovación

Este trabajo consiste en el diseño de un sistema alternativo para la captación y conducción de agua pluvial por medio de un sistema conformado por concreto permeable con un geocompuesto para la eficiente captación y conducción, y posterior posible almacenamiento de agua pluvial para su futuro tratamiento y aprovechamiento en usos domésticos, riego de áreas verdes y/o como agua potable.

El objeto de innovación de este proyecto es la generación de una infraestructura hidráulica urbana sustentable para la captación y conducción de las aguas pluviales. Este proyecto está relacionado con cinco áreas de conocimiento: la ingeniería civil, puesto que se requiere el conocimiento de factores mecánicos, hidráulicos, geológicos, entre otros de los materiales contemplados en esta investigación, así como del área de estudio; también se toma en cuenta la hidrología, más específicamente las aguas superficiales, debido a que el principal eje de este proyecto apunta hacia la correcta gestión de estas. La recuperación del agua por medio de tecnologías del medio ambiente es otra área de conocimiento involucrada, debido a que no solo se busca la correcta gestión de las aguas superficiales, sino también su recuperación y aprovechamiento, para lograr esto se recurre a los conocimientos del área de textiles sintéticos, ya que son estos los que proporcionan la información y materiales necesarios para la transportación del agua pluvial. Finalmente, el proyecto se vincula con el medio ambiente urbano, debido a que se busca un equilibrio más equitativo entre lo urbanizado y el medio ambiente.

El modelo de fraccionamiento en el que dicho sistema podría ser implementado, deberá de contar por lo menos con una vialidad amplia para la captación y conducción del agua pluvial que colinde en su elevación más baja posible con un área sin construcción habitacional -puede ser un parque, estacionamiento, glorieta amplia, otra avenida amplia, etc.- para el almacenamiento y, dependiendo de las características y alcances del proyecto propuesto en el sitio, tratamiento del agua pluvial. Asimismo, deberá de ser un área con precipitaciones pluviales considerables y con la necesidad o deseo de confrontar los escurrimientos superficiales presentes o futuros. Para fines de este estudio, y sin limitarse a ser la única zona en donde se pueda

proponer dicho sistema, se utilizará como ejemplo de estudio el fraccionamiento Ciudad Bugambilias ubicado en la ciudad de Zapopan, Jalisco, México.

El propósito último de esta investigación es la obtención de la conductividad del sistema, y la elaboración del gráfico de diseño por pendientes de un sistema de infraestructura hidráulica urbana sustentable capaz de captar y conducir el agua pluvial proveniente de las precipitaciones pluviales del área a través de su cuerpo. Dicha conductividad del sistema, permitirá calcular de manera teórica el comportamiento del sistema sin la necesidad de experimentar con el mismo en el laboratorio para cada situación en particular, mientras que la gráfica de diseño será capaz de establecer los parámetros necesarios para alcanzar el diseño de vialidad deseado tomando como base el tirante superficial de flujo máximo permisible del proyecto para la gestión de aguas pluviales.

1.2 Descripción de la situación-problema

El actual modelo de infraestructura hidráulica urbana en la mayor parte de las grandes ciudades de México, no considera al agua pluvial como un recurso natural a ser aprovechado y reutilizado, sino que es visto como un problema causante de las inundaciones que afectan a toda la ciudad, una visión compartida también por la ciudadanía. Esto se debe a que el plan de desarrollo de las ciudades no contempla en su etapa inicial este tipo de situaciones (Rivera Juárez, n.d.). Actualmente la urbanización es la principal causante en los cambios de corriente de las aguas superficiales, y de su ciclo hidrológico. El agua ya no se infiltra al subsuelo debido a las grandes áreas pavimentadas en las ciudades, en cambio, esta es recolectada por el sistema de drenaje de la ciudad, usualmente combinado con el sanitario, lo que la convierte en agua negra (Walsh, Fletcher, & Burns, 2012).

A esta visión tenemos que sumarle los problemas que representa el incorporar las aguas superficiales -portadoras de contaminantes- a los cuerpos de agua existentes debido a su pobre gestión (Palacio Castañeda, 2010), asimismo se estima que en México se desperdician alrededor de 150 L/día/familia debido a malos hábitos, lo que incrementa la demanda de agua hasta unos 300 L/día/familia (Rojas-Valencia, Gallardo-Bolaños, & Martínez-Coto, 2012).

Más aún, para el 2010 alrededor del 78% de la población total de México ya vivía en las ciudades, es decir 87 millones de personas. Este número se ha ido incrementando por lo que los sistemas para abastecer de agua a las ciudades también han aumentado, tanto en infraestructura como en costo monetario. Muchas veces el agua tiene que ser transportada desde lejos o extraída del subsuelo, lo que causa una sobreexplotación del acuífero y consumo de energía para su bombeo, para abastecer a toda la población. Si le sumamos a esto que casi la mitad del agua extraída se pierde mientras se distribuye debido a la ineficiencia de la infraestructura del sistema o a la carencia de su contabilización, México tiene un grave problema hídrico en sus manos. La solución no debe de limitarse al aumento en la extracción de agua e incremento en infraestructura, sino de crear regulaciones para el control y consumo del agua (PRONACOSE, 2014), al igual que la implementación de nuevas tecnologías para su captación y aprovechamiento.

Otro de los grandes problemas que se presentan al sobreexplotar los acuíferos y al no permitir la recarga de los mismos por medio de la infiltración, es la subsidencia. Este término hace referencia al hundimiento gradual de la corteza terrestre a causa de diferentes factores, entre ellos la extracción de agua del subsuelo. La necesidad de agua potable en muchas ciudades ha causado la sobreexplotación de los acuíferos por medio de la intensa extracción de agua de estos, lo que a su vez causa los hundimientos en ciertos tipos de suelo. La única solución a este problema es un equilibrio hídrico en la zona, entre el agua extraída de los acuíferos y el agua que se infiltra para su recarga (Tomás, Herrera, Delgado, & Peña, 2009).

Finalmente cabe destacar que uno de los problemas que enfrentan las ciudades modernas, es el incremento en sus temperaturas. Esto se debe en parte a las fuertes urbanizaciones que presentan, donde el concreto hidráulico juega un papel importante debido a que retiene el calor formando así las llamadas “Islas de calor” (Aire, 2011).

1.3 Importancia del proyecto

El crecimiento de las ciudades ha provocado que se urbanice en grandes zonas en estado natural, lo que origina una alteración en los caudales de los escurrimientos pluviales. Esto afecta el ciclo hidrológico, y a su vez incrementa tanto la velocidad como el volumen de los escurrimientos superficiales; este tipo de problemas ocurren ya que el plan de desarrollo de las ciudades no prevé

dichas cuestiones realizando estudios hidrológicos de las zonas. En condiciones naturales un gran porcentaje del agua de lluvia se infiltra al subsuelo y reabastece los acuíferos, pero con la urbanización esto cambia y ahora nos limitamos a mover el escurrimiento con tecnologías costosas y mal diseñadas aguas abajo, creando futuros problemas en otras zonas de las ciudades (Rivera Juárez, n.d.).

Hoy en día no apreciamos el recurso del agua como deberíamos, cada vez escasea más debido a la sobreexplotación de los acuíferos y esto causa repercusiones en muchas ciudades, donde tienen que transportar el agua desde distancias más largas para abastecer la demanda de la población, lo que representa un alto costo monetario (Torres-Rodríguez, 2013). El agua pluvial cae dentro de este sentido de subestimación, ya que no es aprovechada debidamente al ser incorporada al sistema sanitario, donde se contamina y se vuelve parte de las aguas negras. Esta agua de lluvia por lo general es limpia, y debe de ser aprovechada y dejar de ser menospreciada, en especial en las ciudades donde este recurso abunda y podría ser la solución a los problemas de agua que enfrenta la ciudad.

Al realizar esta investigación, se podrá explorar otra alternativa más eficiente respecto al aprovechamiento del agua pluvial en comparación con la utilización de colectores pluviales; se explorara una alternativa más ecológica, con la utilización de concretos permeables, con un menor impacto en el suelo al utilizar un geocompuesto, evitando así las abundantes excavaciones y la colocación de tuberías de concreto y polietileno, al igual que sería un sistema más sustentable, al ser capaz de captar, conducir y almacenar el agua pluvial de la zona para su futuro aprovechamiento y posible tratamiento. Con esto se pretende replantear los actuales modelos de infraestructura hidráulica urbana, al suplantar las actuales técnicas de gestión del agua superficial por otras más eficientes en materia de sustentabilidad y de urbanización. Así mismo, la utilización de dichas nuevas técnicas mitigaría la necesidad de transportar el agua desde grandes distancias o desde presas de almacenamiento, lo que a su vez repercute en reducir la construcción de estas últimas.

Los beneficios más importantes que se derivarían de esta investigación serían: la elaboración del gráfico de diseño, la obtención de la conductividad del sistema, definir el gasto máximo que el sistema puede conducir sin presentar un tirante mayor a los 7 cm por encima de

la superficie del concreto permeable, la velocidad de conducción del agua pluvial a lo largo del sistema, las principales características de cada uno de los componentes del sistema (Concreto permeable y geocompuesto), y los principales beneficios ambientales del sistema.

Este sistema puede ser utilizado en un fraccionamiento cuyas características han sido previamente descritas. Así mismo no se limita meramente a la aplicación en vialidades de estos fraccionamientos, sino que también, debido a la naturaleza del proyecto de prevención de inundaciones y aprovechamiento del recurso hídrico, es posible utilizar dicho sistema en cualquier vialidad de la ciudad con características similares que sufran de inundaciones o deseen aprovechar las precipitaciones pluviales del área.

2. Estado de la cuestión

2.1 Antecedentes empíricos del tema

El caso más cercano en la implementación de un sistema parecido al propuesto, en cuanto a ubicación, es el de Avenida Moctezuma, de López Mateos a Prados de los Laureles, localizado en Zapopan, Jalisco, donde se colocó aproximadamente un kilómetro de concreto permeable con una película plástica por debajo que permite dirigir el agua que se infiltra por el cuerpo del concreto hacia pozos de absorción, donde posteriormente el agua se infiltra al subsuelo y recarga los mantos acuíferos. Esta medida fue implementada para tratar de mitigar los problemas existentes en Plaza del Sol, la cual sufre de severas inundaciones en época de lluvias (EL INFORMADOR / CMCS, n.d.). Hasta el momento, de acuerdo a la dependencia de Zapopan, el proyecto ha sido todo un éxito ya que las escorrentías de Av. Moctezuma se infiltran después de recorrer un trayecto de 15 metros y llegar al concreto permeable, lo que evita agravar la situación de inundación que sufre Plaza del Sol (EL INFORMADOR / MLOM, n.d.)

A nivel internacional, existen también experiencias, en el Barrio de La Marina de la Zona Franca, localizado en Barcelona, España, se utilizó el SUDS (Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible), el cual consta de varias medidas preventivas ante precipitaciones e inundaciones, entre las cuales está el concreto permeable. Este fue utilizado, junto con otras medidas, para permitir la infiltración del agua de lluvia al subsuelo para la recarga de los acuíferos. Además,

reduce los escurrimientos superficiales y por lo tanto se reduce el agua a transportar y tratar por parte del gobierno. (Febles Domenech, n.d.)

En Linden, California, USA, se colocaron alrededor de 6,503 m² de concreto permeable en el estacionamiento de la universidad, lo que proporciono una infiltración de agua pluvial para la recarga de los mantos acuíferos de aproximadamente 2, 649,788 litros al año. Un ejemplo similar es el del estacionamiento del departamento de policía de Vacaville, California, donde se permite la infiltración de 1,324,894 litros anuales en un área permeable de 2,787 m² (Sabnis, 2011).

Florida, al igual que otros estados del sureste de los Estados Unidos, ha estado implementando el concreto permeable desde 1970 como una solución a los escurrimientos superficiales, inundaciones y erosión. Florida ha sido el líder en la utilización de concreto permeable según la Asociación de Concretos y Productos de Florida, con cientos de proyectos en todo el estado. Estas prácticas están empezando a ser utilizadas por los estados en la costa oeste, como por ejemplo Washington, cuyos objetivos son la restauración de sus mantos acuíferos y la reducción de contaminantes en las aguas costeras, las cuales son un riesgo para los ecosistemas acuáticos (“Where Pervious Concrete is Being Used - The Concrete Network,” n.d.).

El césped de juego del Estadio Finley es irrigado con agua reciclada de lluvia recolectada de su estacionamiento. El proyecto fue ideado para controlar los escurrimientos superficiales debido a la proximidad del estadio con el río, ubicado en el centro de Chattanooga, Tennessee. El estacionamiento cuenta con franjas de concreto permeable, lo que permite la captación del agua pluvial al igual que los líquidos contaminantes de los vehículos. Posteriormente el agua es conducida por medio de un drenaje hacia un tanque para su aprovechamiento. Esto permite utilizar el agua de lluvia en sitio, mitigando los escurrimientos, al igual que reduce el costo a largo plazo del mantenimiento del césped de juego (“The Parking Area That Drinks in Chattanooga, TN,” n.d.)

Normativa

Existen normas en México que regulan, reglamentan y controlan la calidad del agua para diferentes usos –tales como uso doméstico, uso potable, y riego de áreas verdes- por parte de la CONAGUA y SEMARNAT, entre otras. Estas normas son fundamentales a la hora de querer diseñar

una la planta potabilizadora ya que el incumplimiento de alguna de estas representaría un revés importante en futuros proyectos.

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana (NOM) 127 de la Secretaría de Salud, es necesario el establecer límites permisibles en cuanto a las características físicas, químicas, organolépticas, radiactivas y microbiológicas, para así cuidar el agua que se abastecerá a la población, previniendo enfermedades gastrointestinales y otras. Esta norma fija los límites permisibles de calidad y tratamiento potabilizador del agua para su uso y consumo humano, la cual es obligatoria en todos los sistemas de abastecimientos de agua, tanto públicos como privados en todo México. Las pruebas para determinar dicha calidad serán ejecutadas por los responsables del sistema de abastecimiento de agua y serán aprobados por el área pertinente de la Secretaría de Salud (Secretaría de Salud, 2000).

La NOM 015 de la CONAGUA establece las características y especificaciones necesarias para las obras de infiltración de agua pluvial, así como de la calidad del agua para su infiltración artificial hacia los acuíferos. Además, dentro de la norma se toman consideraciones sobre el terreno de infiltración, especificaciones sobre la construcción y mantenimiento de los pozos de infiltración, pruebas necesarias a realizar para comprobar la calidad, así como los órganos involucrados (CONAGUA, 2009).

Lugar del proyecto

El eje central de esta investigación es la realización del experimento en el laboratorio de hidráulica del ITESO, y como ejemplo práctico de la aplicación de los resultados para el cálculo del tirante superficial máximo se escogió el fraccionamiento Bugambilias, localizado en el Municipio de Zapopan en el Estado de Jalisco, México. Tiene una población de 3,207 personas y existe un total de 729 casas ("Ciudad Bugambilias," n.d.). De la imagen 1 a la 5 podemos observar información más detallada sobre el área, como su localización,



Imagen 1: Localización de la ZMG (Ficha del país, 2016).

vialidades principales, espacios verdes, escurrimientos y su cuenca.

Distrito 08, Santa Ana Tepetitlán

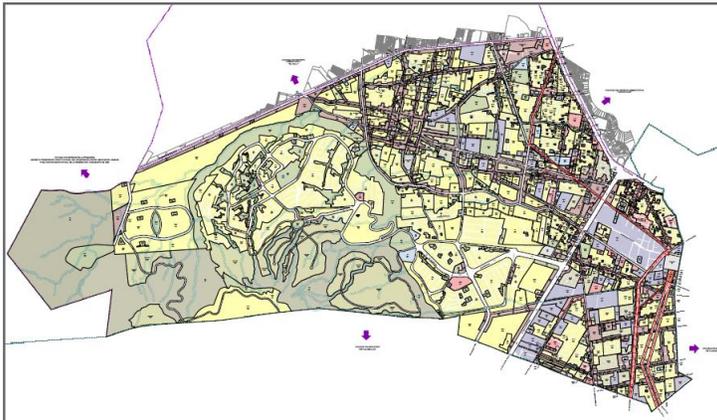


Imagen 2: Área de estudio localizada dentro del Distrito 08, Santa Ana Tepetitlán (Gobierno Municipal de Zapopan, 2012).



Imagen 3: Vialidades principales (Gobierno Municipal de Zapopan, 2012)



Imagen 4: Espacios verdes, macizos arbolados y escurrimientos de la zona (Gobierno Municipal de Zapopan, 2012).



Subcuencas de la ZMG

Estos son algunos de los arroyos y ríos que conforman las cuencas del área conurbada de Guadalajara

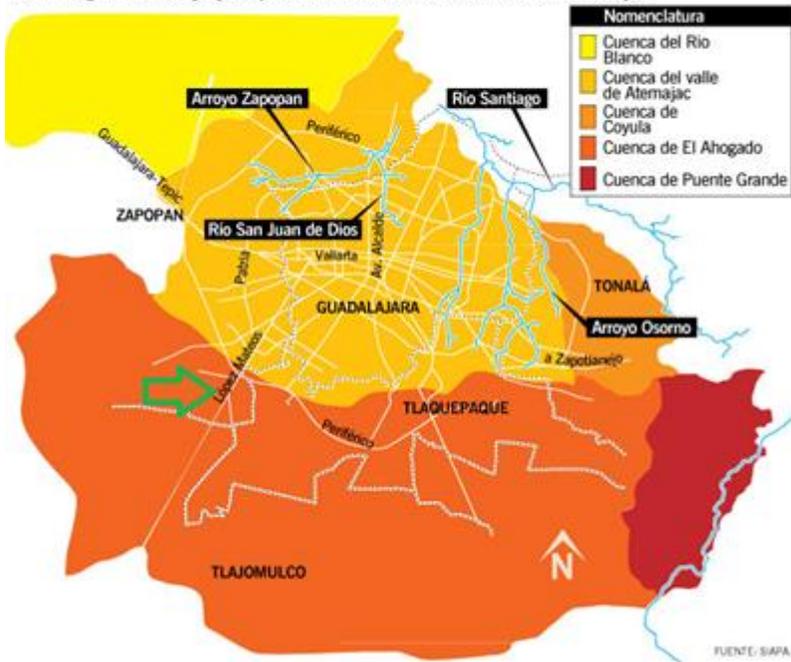


Imagen 5: Localización del área dentro de la cuenca de El Ahogado (EL INFORMADOR, n.d.).

2.2 Referencias conceptuales del tema

La sustentabilidad

La infraestructura hidráulica urbana sustentable planteada en esta investigación fortalece la idea de un desarrollo sustentable. Como lo dicta el Informe Brundtland, y Tetreault nos lo reafirma, “El desarrollo sustentable es un desarrollo que satisface las necesidades del presente sin disminuir la habilidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas”, y eso es justo lo que pretende el proyecto expuesto, satisfacer un porcentaje de las necesidades ciudadanas respecto al consumo de agua diaria por medio del aprovechamiento del agua pluvial con un sistema de infraestructura urbana sustentable de captación y conducción de agua pluvial, además de facilitar la implementación de futuras obras complementarias para la infiltración del agua al subsuelo; esto permitirá la recarga de los mantos acuíferos, lo que les dará una oportunidad a futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades (Tetreault, 2004).

Aprovechar el agua de lluvia es el primer paso para la sustentabilidad, para lograr ciudades más resilientes y habitables, donde se aproveche el recurso tan preciado como es el agua, donde las inundaciones ya no sean un problema latente, donde los acuíferos no sean sobreexplotados y se les permita recuperarse de manera segura, y no se contaminen los ríos y lagos con los escurrimientos superficiales, portadores de contaminantes. Es aquí donde tecnologías como las expuestas en este texto, aparecen en escena.

El agua en el mundo

Actualmente, el abastecer de agua potable a las ciudades para cumplir sus necesidades cada vez mayores de consumo se ha convertido en un reto. Este problema cuenta con dos soluciones, la primera, y donde se han centrado la mayoría de los esfuerzos, es el encontrar fuentes alternativas para abastecer las crecientes necesidades de la ciudadanía, y la segunda, con una menor atención, es la efectiva utilización de los recursos disponibles. Se estima que en México se desperdician alrededor de 150 L/día/familia debido a malos hábitos, lo que incrementa la demanda de agua hasta unos 300 L/día/familia (Rojas-Valencia et al., 2012).

Si a esto le sumamos el agua que se utiliza inadecuadamente, la contaminación de ríos, lagos, manantiales, acuíferos etc. por la combinación de aguas no tratadas derivadas de las

actividades industriales, sociales y agrícolas, el agua que se pierde durante su transporte (PRONACOSE, 2014), la creciente población en las ciudades y por ende la demanda de abastecimiento, el despilfarro, además de los problemas derivados del cambio climático, podemos ver cómo el agua está siendo sobreexplotada, contaminada, y desvalorada. Esto se debe en parte a que la gente tiene la falsa idea de que el agua es ilimitada debido a su ciclo hidrológico, que a pesar de que existe la misma cantidad de agua en el planeta, no existe en la misma calidad. El ritmo con el que se contaminan las aguas es mucho más rápido que el ciclo de recuperación de las mismas (Palacio Castañeda, 2010)

Como podemos observar en la imagen 6, tan solo el 3% del agua que existe en el planeta es potable, de la cual 70% en su mayoría está ubicada en los glaciares, 29% es agua subterránea, y 1% está ubicada en la superficie. Es decir, podemos utilizar tan solo un 30% del agua potable que existe. De acuerdo al Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas (WWAP), no se cuentan con estadísticas sobre la extracción y utilización de las aguas subterráneas, sin embargo, se estima que globalmente el agua subterránea abastece alrededor del 50% del agua potable, 40% del agua de la industria, y 20% del agua utilizada en la agricultura. La contaminación de los acuíferos, derivado del uso inadecuado del suelo, y de las aguas superficiales contaminadas que entran por las áreas de recarga, debido al vertimiento de aguas sin tratar a los cuerpos de agua, han causado que este porcentaje de agua potable utilizable se vaya reduciendo cada vez más (Paris, 2007)

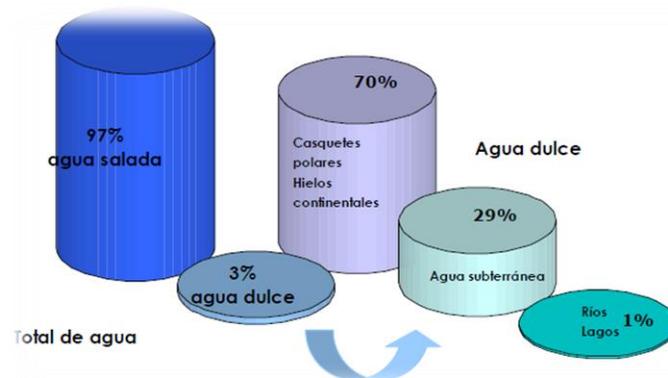


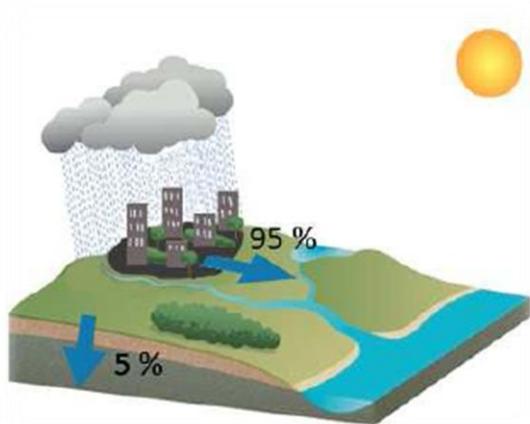
Imagen 6: Distribución de agua en el planeta (Paris, 2007).

Afortunadamente, y aunque es una solución parcial que no resuelve todos los problemas por sí sola, pero es un inicio, existe una alternativa a la sobreexplotación de los acuíferos y que a la vez permite la recuperación de estos: el agua pluvial. La precipitación media anual de la ciudad de Zapopan, Jalisco, es de 906.1 milímetros (Espíritu, 2015), la cual comúnmente es ignorada, a

pesar de que el agua de lluvia es la principal fuente de abastecimiento de ríos, lagos y acuíferos (Kinkade-Levario, 2007).

El principal propósito de la implementación de este sistema es el de aprovechar un porcentaje del agua de lluvia que cae en una determinada área, mientras permitimos que el restante sea infiltrado de manera limpia al subsuelo para así reabastecer los acuíferos de manera segura. Esto conlleva beneficios tanto sociales, como ambientales ya que “Al suplantar el agua potable por agua recolectada de lluvia se contribuye de una manera local, regional, y/o nacional a las iniciativas para mitigar el consumo de agua potable e incrementar la resistencia de los frágiles recursos de agua.”(Novak, Geisen, & DeBusk, 2014, p. 40)

El agua pluvial es una alternativa, o solución sustentable, ya que aprovechamos el recurso que es gratuito y de fácil tratamiento, sin la necesidad de sobreexplotar los acuíferos, ríos o lagos. Pero para lograr que el agua pluvial sea una alternativa sustentable se necesitan cambiar las prácticas actuales de urbanización. Actualmente la urbanización es la principal causante en los



cambios de corriente del agua, y de su ciclo hidrológico. El agua ya no se infiltra al subsuelo debido a las grandes áreas pavimentadas en las ciudades, como se puede observar en la imagen 7, en cambio, esta es recolectada por el sistema de drenaje de la ciudad, usualmente combinado con el sanitario, lo que la convierte en agua negra (Walsh et al., 2012).

Imagen 7: Reparto de escorrentía e infiltración en un entorno altamente urbanizado (García Haba, 2012).

Concreto permeable

El concreto permeable es un concreto altamente poroso debido a la poca cantidad de finos que posee, esto permite la infiltración del agua pluvial a través de su estructura de manera libre, a diferencia de los concretos comúnmente usados. Esto ayuda a mitigar los escurrimientos superficiales aprovechando el agua de lluvia y permitiendo la recarga de los mantos acuíferos, lo

que a su vez previene la incorporación de escorrentías contaminadas en los cuerpos de agua, tales como arroyos, lagos y ríos. Un beneficio adicional de la aplicación de este material es el que permite el flujo de aire y agua a las raíces de los arboles cercanos, lo que permite el desarrollo de áreas verdes incluso en áreas altamente urbanizadas. Este material es comúnmente utilizado en áreas de baja intensidad de carga, como lo son estacionamientos, banquetas, camellones, patios, canales, calles residenciales, entre otros (Sabnis, 2011).

El concreto permeable, debido a su porosidad, permite también la filtración de sedimentos, por lo que con el tiempo se puede colmatar y reducir su capacidad filtrante. La rapidez con la que el concreto permeable se obstruya depende de la procedencia de los sedimentos. A pesar de este problema, el área de concreto permeable aun funciona como superficie de infiltración capaz de sostener la mayoría de los eventos pluviales, asimismo la colmatación es mitigada por medio de la utilización de una pistola de agua de alta presión, así como de un barrido para remover los sedimentos de la superficie permeable (Kevern, 2011). En la siguiente imagen podemos observar la composición de un pavimento de concreto permeable común:

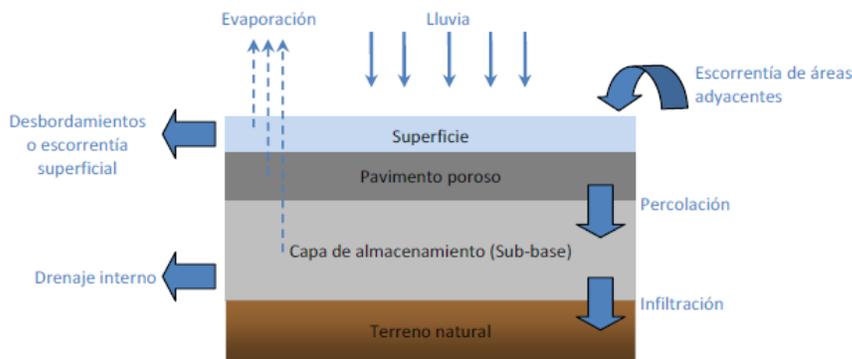


Imagen 8: Estructura de un pavimento permeable (García Haba, 2012).

Geocompuesto

Los geocompuestos han sido introducidos como una alternativa a los filtros granulares, debido a los problemas inherentes y limitaciones de usar materiales granulares. Entre estos problemas destacan los altos costos de suministro y preparación de material granular apropiado, los impactos ambientales, y la misma ejecución del sistema (Eskandari, Rahimi, & Khosravi, 2011).

De acuerdo a Eskandari et al. (2011), el geocompuesto consta de una estructura dividida en 3 niveles: El primer nivel consta de un textil permeable que permite el paso del agua, pero no

de sedimentos, el segundo nivel es el núcleo del geocompuesto y consta de un material flexible y en forma de ola el cual es el encargado de transportar el agua de lluvia hacia el lugar de almacenamiento. El tercer y último nivel es otro textil, pero esta vez de naturaleza impermeable, para así evitar que exista pérdida de agua y se pueda aprovechar en su mayoría. Dicha estructura puede ser apreciada de mejor manera en la imagen 9.

El núcleo del geocompuesto, o núcleo drenante, por lo general es un plástico en forma de costillas, el cual después de cargas continuas presenta una deformación visco-elástica, lo que significa que el espesor del núcleo sufre una reducción, lo que a su vez reduce su capacidad de conducción de agua. Este efecto puede alcanzar una reducción del 30% del espesor del núcleo, sin embargo, al experimentar con geotextiles unidos térmicamente al núcleo por ambos lados, se observó que la deformación era nula. Más aún, después de comparar las curvas de deformación de los núcleos bajo temperatura ambiente y cargas normales, se demostró que incluso después de 100 años el espesor del núcleo estaría fuera del rango de peligro (Tatzky-Gerth, Jakob, & Müller, 2008).

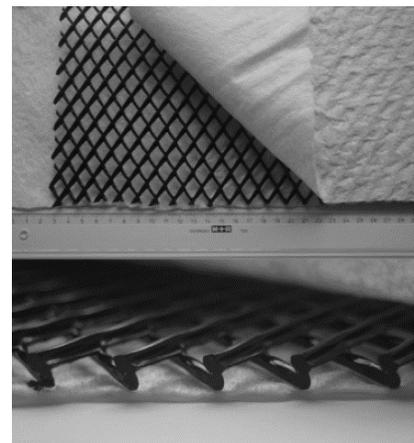


Imagen 9: Estructura de un geocompuesto. (Tatzky-Gerth et al., 2008)

Beneficios

Los beneficios que obtenemos de implementar dicho sistema giran alrededor de tres ámbitos: sociales, económicos y ambientales. Entre los beneficios sociales, podemos destacar la reducción del volumen y la velocidad de los escurrimientos superficiales, lo que causa inundaciones en ciertas áreas de la ciudad, causa de molestia por parte de la ciudadanía y que a la vez representan un peligro en la superficie de rodamiento para los vehículos que circulan (Espinosa & Leandro, 2011). Otro beneficio que cabe destacar es que reduce las “islas de calor”, creadas por estructuras urbanas que retienen el calor, gracias a que su estructura porosa permite el flujo del aire. Estas islas forman parte del problema por lo que la temperatura de las ciudades incrementa (Aire, 2011).

De beneficios económicos, podemos hablar de la reducción de los costos por parte del gobierno asociados al transporte y tratamiento del agua. Igualmente, el agua que se aprovecha por el sistema representa un ahorro monetario (García Haba, 2012). Actualmente se conducen alrededor de 280 – 300 millones de metros cúbicos al año para satisfacer la demanda de la población en la Zona Metropolitana de Guadalajara, lo que representa un costo de aproximadamente 300 millones de pesos, mientras que de lluvia caen anualmente entre 315 y 320 millones de litros, de los cuales más de la mitad de se van directo al drenaje, si se pudiera aprovechar por lo menos la mitad de lo que se va al drenaje con este sistema, es decir unos 70 – 75 millones de litros, se podría reducir el agua que se necesita extraer y transportar desde distancias lejanas para satisfacer la necesidad de la población en por lo menos un 20%, lo que a su vez representaría un ahorro económico considerable tanto en su extracción como en transporte (Gleason, 2015).

Finalmente en beneficios ambientales resalta la posibilidad de recargar los acuíferos (García Haba, 2012), y de aprovechar el agua pluvial para usos que normalmente son cubiertos con agua potable, tales como usos domésticos, potables o de riego de áreas verdes, lo que a su vez reduciría la demanda de agua obtenida por otros medios (Novak et al., 2014). Como comenta el Dr. Gleason, estos puntos son importantes para restaurar el balance hídrico de las cuencas, para permitir la infiltración del agua pluvial y garantizar la calidad de vida y supervivencia de la humanidad, en sus palabras "Sin estas medidas de restauración, lo que estamos apostándole es a la destrucción, y mientras más pongas concreto impermeable y más quites árboles, más inundaciones, y más la metas en vez de al suelo al río y se va al océano pacifico, pues vamos directo a, como dice Marco Smith, a la desertificación urbana por decirlo así, entonces panoramas secos, suelo secos, ambiente seco, las temperaturas, y entonces pues vamos emigrando hacia un nuevo sitio cosas de esas, ahorita no se ve pero con el tiempo sí" (Gleason, 2015).

Como últimos dos puntos a resaltar sobre los beneficios de dicho sistema, es el de la recolección del agua pluvial en sitio, lo que representa un ahorro en energía de extracción del agua subterránea, distribución y bombeo para su transporte y abastecimiento, además de que el tratamiento necesario para su consumo o uso humano, es relativamente barato (Rojas-Valencia et al., 2012).

Calidad del agua

Respecto a la calidad del agua, a medida que el ser humano utiliza el agua, la va contaminando con sedimentos, aceites, detergentes, metales pesados, fertilizantes, basura, etc. lo que provoca que la calidad del agua se vea comprometida y a su vez, con los escurrimientos superficiales, contamine otros cuerpos de agua tales como ríos, acuíferos y lagos. El concreto permeable, como previamente se había establecido, permite que el agua se infiltre al subsuelo, lo que evita la contaminación de otros cuerpos de agua por esorrentía y permite que el suelo filtre los contaminantes antes de que el agua se incorpore a otros cuerpos (Espinosa & Leandro, 2011).

El agua de lluvia, al igual que el agua que se extrae de los acuíferos, ríos o lagos, contiene una cantidad considerable de contaminantes, por lo que también tiene que ser tratada para que pueda ser aprovechada de manera segura en actividades domésticas o de uso potable, e incluso si es utilizada para el riego de áreas verdes (Novak et al., 2014). El beneficio de recolectar el agua de lluvia en sitio es que también puede ser tratada en el mismo lugar, de manera local, para beneficio de los residentes (Kinkade-Levario, 2007). Dicho tratamiento es relativamente más barato a que si fuera agua tratada, todo depende del nivel de contaminación del agua de lluvia y de la urbanización del área. Con estos datos se diseña la infraestructura necesaria para su tratamiento potable y/o no potable.

Respecto a la calidad del agua en la parte sur de la Zona metropolitana de Guadalajara, correspondiente al área donde se ubica el Fraccionamiento Ciudad Bugambilias, de acuerdo al Dr. Gleason se ha monitoreado la zona y se ha determinado que la calidad del agua pluvial es de muy buena calidad, en especial las cercanías al bosque de la primavera, con excepción de las primeras lluvias (Gleason, 2015).

3. Diseño metodológico

3.1 Hipótesis

La utilización de un geocompuesto por debajo del cuerpo del concreto permeable formará un sistema de infraestructura hidráulica urbana sustentable capaz de captar y conducir el agua pluvial de la zona en estudio, tomando como base la precipitación pluvial más intensa de la Zona

Metropolitana de Guadalajara, sin presentar un tirante mayor a los 7 centímetros por encima de la superficie del concreto permeable a lo largo de su conducción.

3.2 Preguntas generadoras

3.2.1 Pregunta principal

- ¿Cuál es la factibilidad hidráulica de un sistema de infraestructura hidráulica urbana sustentable para la captación y conducción de la precipitación pluvial más intensa de la Zona Metropolitana de Guadalajara, conformado por concreto permeable y un geocompuesto en donde no se presente un tirante mayor a los 7 centímetros por encima de la superficie del concreto permeable a lo largo de su conducción?

3.2.2 Preguntas secundarias

Propiedades hidráulicas

- ¿Cuál es el gasto hidráulico máximo que el sistema puede conducir, sin presentar un tirante mayor a los 7 cm por encima de la superficie del concreto permeable?
- ¿Cuál es la velocidad de conducción de agua pluvial del geocompuesto para drenaje junto con el concreto permeable con diferentes pendientes y gastos?
- ¿Cuáles son los tirantes y presiones que se presentan a lo largo del sistema con gastos y pendientes variables?
- ¿Cuáles son las normas necesarias para determinar la calidad del agua de lluvia para ser utilizada de manera potable, de uso doméstico, y/o para riego de áreas verdes?

Principales características y beneficios

- ¿Cuáles son las principales características y beneficios del concreto permeable y del geocompuesto?
- ¿Cuáles son los principales beneficios ambientales de dicho sistema?

3.3 Objetivos

3.3.1 Objetivo general

- Establecer la factibilidad hidráulica de un sistema de infraestructura hidráulica urbana sustentable para la captación y conducción de la precipitación pluvial más intensa de la Zona Metropolitana de Guadalajara, conformado por concreto permeable y un geocompuesto, en donde no se presente un tirante mayor a los 7 centímetros por encima de la superficie del concreto permeable a lo largo de su conducción.

3.3.2 Objetivos específicos

Propiedades hidráulicas

- Definir cuál es el gasto máximo que el sistema puede conducir sin presentar un tirante mayor a los 7 cm por encima de la superficie del concreto permeable.
- Calcular la velocidad de conducción de agua pluvial del geocompuesto para drenaje junto con el concreto permeable con diferentes pendientes y gastos.
- Registrar cuales son los tirantes y presiones que se presentan a lo largo del sistema con gastos y pendientes variables.
- Definir cuáles son las normas necesarias para determinar el nivel de tratamiento que el agua de lluvia de la zona necesitaría para ser potable, de uso doméstico, y/o para riego de áreas verdes.

Principales características y beneficios

- Establecer las principales características y beneficios del concreto permeable y del geocompuesto
- Enlistar los principales beneficios ambientales del sistema.

3.4 Elección metodológica

Para el desarrollo de este trabajo se requiere conocer las fichas técnicas –características físicas y mecánicas- tanto del concreto permeable como del geocompuesto, además de su desempeño hídrico y sus beneficios ambientales. Es de interés para el estudio, el conocer la topografía del área de estudio, así como identificar el área donde se planteará la localización de la estructura

para el almacenamiento del agua pluvial. También es trascendental conocer los patrones estadísticos del régimen pluvial en Zapopan, Jalisco, detallando volúmenes de precipitaciones mensuales promedio, identificando avenidas máximas históricas, periodos de retorno y calidad del agua.

La parte central de este estudio gira en torno a los resultados obtenidos del laboratorio, donde se evaluará la capacidad de conducción del concreto permeable junto con el geocompuesto como sistema para así obtener sus tirantes hidráulicos, alturas piezométricas, velocidades de conducción y conductividad del sistema. Finalmente es de interés conocer las normativas vigentes aplicables a este estudio respecto a la calidad del agua necesaria para su uso.

Este proyecto será desarrollado con la postura epistemológica cuantitativa dentro del paradigma realista-positivista (Modelo descriptivo), debido a que es de vital importancia la revisión literaria de estudios previos sobre los elementos que integraran el proyecto así como la elaboración de tablas, diagramas, proyecciones, estadísticas y demás datos cuantitativos para determinar las características intrínsecas de los diferentes elementos aquí estudiados; dichos datos serán recolectados de los estudios realizados en campo y en laboratorio, así como de estudios previos realizados por dependencias de gobierno y de investigación.

Se adopta una metodología cuantitativa, la cual se apoyó principalmente en el experimento realizado en el laboratorio de hidráulica, al igual que de datos de diferente índole, tales como topográficos, geográficos, estadísticos, precipitaciones pluviales mensuales, etc., obtenidos de las páginas gubernamentales y de investigación. Respecto a las visitas de campo y obtención de datos físicos del lugar, la accesibilidad al área de estudio tampoco representó un problema. Todos estos medios fueron accesibles, por lo que el proyecto tuvo viabilidad.

3.5 Selección de técnicas y diseño de instrumentos

Fundamentación del diseño de métodos de las técnicas

- Observación directa

Con esta técnica se reconoció y registró en sitio las características físicas del área urbana en estudio localizada en el fraccionamiento Ciudad Bugambilias, Zapopan, Jalisco; asimismo se

tomaron fotografías para la elaboración de un registro fotográfico del área donde se propone el sistema para la captación, conducción y posible futuro almacenamiento de agua pluvial.

Sus principales focos de atención y observables son los siguientes tres: 1) el espacio disponible para el almacenamiento, en el cual se debe de contemplar las medidas físicas de la glorieta, infraestructura existente, cantidad de árboles, desniveles del área, tránsito de gente y vehicular; 2) Área de la calle, medidas de la calle, desniveles, pendientes, infraestructura hidrosanitaria y vial, calles colindantes, servicios, y superficie de rodamiento; y 3) infraestructura hidrosanitaria actual, ubicación de bocas de tormenta, medidas, niveles de limpieza, tipo de basura, y alteraciones constructivas.

Esta actividad fue realizada el día 16 de noviembre del 2015 en el fraccionamiento Ciudad Bugambilias, en Zapopan, Jalisco. Para más información revisar el Anexo 1.

- **Entrevista semiestructurada**

Con esta entrevista semiestructurada se logró conversar con el Dr. Arturo Gleason, especialista en la gestión integral de recursos hídricos, y docente del ITESO y de la UDG, acerca de la calidad del agua en Guadalajara, los contaminantes más frecuentes, así como del consumo por parte de la sociedad. También se entrevistó al Ing. Carlos Aguirre Pazcka, docente del ITESO y consultor reconocido en infraestructura urbana.

Entre los temas tratados con el Dr. Gleason destacan: calidad del agua en la ZMG y en las cercanías al bosque de La Primavera, contaminantes en la atmósfera y en los pavimentos, primeras lluvias, consumo, desperdicio y ahorro de agua en las ciudades, limitaciones, sugerencias y defectos del proyecto planteado, posibles usos del agua recolectada, y beneficios ambientales, económicos y sociales de dicho proyecto.

Con el Ing. Carlos Aguirre, se platicó: proyectos, problemas y costos de los colectores pluviales, cantidad de agua recolectada y aprovechada por los mismos, su vida útil, funcionamiento, materiales y problemas de los pozos de absorción, postura del gobierno ante este estilo de proyectos, trámites, permisos y normativas aplicables.

Las entrevistas fueron llevadas a cabo los días 05 de noviembre del 2015 a las 12 pm en las oficinas del CUAAD con el Dr. José Arturo Gleason Espíndola, y el 27 de octubre del mismo año a las 9 am en el laboratorio de hidráulica del ITESO con el Ing. Carlos Vicente Aguirre Pazcka. Para más información revisar el Anexo 2.

- Experimento

El experimento realizado tiene la finalidad de obtener los datos necesarios para calcular la conductividad del sistema así como el gráfico de diseño por pendientes. Los materiales utilizados son el concreto permeable y el geocompuesto. Se medirá la altura piezométrica a lo largo de una viga de concreto permeable de prueba, así como también se calculará la velocidad de conducción del agua a diferentes pendientes y gastos. Con esto se pretende encontrar la conductividad del sistema, con el que se podrá calcular de manera empírica con datos de laboratorio el comportamiento del sistema sin la necesidad de experimentar para cada situación en particular, también se elaboró la gráfica de diseño, la cual será capaz de establecer los parámetros necesarios para alcanzar el diseño de viabilidad deseado tomando como base el tirante superficial de flujo máximo permisible del proyecto para la gestión de aguas pluviales.

El experimento fue realizado en el laboratorio de materiales y de hidráulica del ITESO, y debido a su nivel de complejidad, fue llevado a cabo a lo largo de la duración de la maestría. Para más información revisar el Anexo 3.

En el anexo 3 se podrá encontrar el diario de campo de todas las actividades realizadas respecto a las técnicas anteriores.

Cuadro de operacionalización

Factibilidad de una Infraestructura Hidráulica Urbana Sustentable de Captación y Conducción de Agua Pluvial			
Situación problema	Hipótesis	Preguntas	Objetivos
		PRINCIPAL	
<p>El actual modelo de infraestructura hidráulica urbana en México desperdicia la oportunidad de aprovechar las considerables precipitaciones pluviales que se presentan en ciertas regiones del país, como lo es la Zona Metropolitana de Guadalajara, además de que su ineficacia en muchos casos resulta en fuertes problemas de inundaciones, y más aún, fomenta la incorporación del agua pluvial al drenaje sanitario, lo que la convierte en aguas negras.</p>	<p>La utilización de un geocompuesto por debajo del cuerpo del concreto permeable formará un sistema de infraestructura hidráulica urbana sustentable capaz de captar y conducir el agua pluvial de la zona en estudio, tomando como base la precipitación pluvial más intensa de la Zona Metropolitana de Guadalajara, sin presentar un tirante mayor a los 7 centímetros por encima de la superficie del concreto permeable a lo largo de su conducción.</p>	<p>¿Cuál es la factibilidad hidráulica de un sistema de infraestructura hidráulica urbana sustentable para la captación y conducción de la precipitación pluvial más intensa de la Zona Metropolitana de Guadalajara, conformado por concreto permeable y un geocompuesto en donde no se presente un tirante mayor a los 7 centímetros por encima de la superficie del concreto permeable a lo largo de su conducción?</p>	<p>Establecer la factibilidad hidráulica de un sistema de infraestructura hidráulica urbana sustentable para la captación y conducción de la precipitación pluvial más intensa de la Zona Metropolitana de Guadalajara, conformado por concreto permeable y un geocompuesto, en donde no se presente un tirante mayor a los 7 centímetros por encima de la superficie del concreto permeable a lo largo de su conducción.</p>

SECUNDARIAS		Categorías
¿Cuál es el gasto hidráulico máximo que el sistema puede conducir, sin presentar un tirante mayor a los 7 cm por encima de la superficie del concreto permeable?	Definir cuál es el gasto máximo que el sistema puede conducir sin presentar un tirante mayor a los 7 cm por encima de la superficie del concreto permeable.	PROPIEDADES HIDRÁULICAS
¿Cuál es la velocidad de conducción de agua pluvial del geocompuesto para drenaje junto con el concreto permeable con diferentes pendientes y gastos?	Calcular la velocidad de conducción de agua pluvial del geocompuesto para drenaje junto con el concreto permeable con diferentes pendientes y gastos.	
¿Cuáles son los tirantes y presiones que se presentan a lo largo del sistema con gastos y pendientes variables?	Registrar cuales son los tirantes y presiones que se presentan a lo largo del sistema con gastos y pendientes variables.	
¿Cuáles son las normas necesarias para determinar la calidad del agua de lluvia para ser utilizada de manera potable, de uso doméstico, y/o para riego de áreas verdes?	Definir cuáles son las normas necesarias para determinar el nivel de tratamiento que el agua de lluvia de la zona necesitaría para ser potable, de uso doméstico, y/o para riego de áreas verdes.	
¿Cuáles son las principales características y beneficios del concreto permeable y del geocompuesto?	Establecer las principales características y beneficios del concreto permeable y del geocompuesto.	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS Y BENEFICIOS
¿Cuáles son los principales beneficios ambientales de dicho sistema?	Enlistar los principales beneficios económicos del sistema.	

Categorías	Observables	Resumen de observables	Técnicas
PROPIEDADES HIDRÁULICAS	Tirante hidráulico	Tirante hidráulico	Experimento
	Altura piezométrica	Altura piezométrica	Experimento
	Gasto hidráulico	Gasto hidráulico	Experimento
	Pendientes	Pendientes	Experimento
	Gasto hidráulico	Normativas	Revisión documental
	Tirante hidráulico	Área transversal mojada	Experimento
	Área transversal mojada		
	Tirante hidráulico		
	Altura piezométrica		
	Normativas		

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS Y BENEFICIOS	Características y beneficios del concreto permeable.	Características y beneficios del concreto permeable.	Revisión documental
	Características y beneficios del geocompuesto.	Características y beneficios del geocompuesto.	Revisión documental
	Principales beneficios ambientales del sistema.	Principales beneficios ambientales del sistema.	Revisión documental

3.6 Cronograma de trabajo

2015:

	Septiembre					Octubre				Noviembre				December	
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	
	31 - 06	07 - 13	14 - 20	21 - 27	28 - 04	05 - 11	12 - 18	19 - 25	26 - 01	02 - 08	09 - 15	16 - 22	23 - 29	30 - 06	
Observación directa	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS
Experimento	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS
Entrevista semiestructurada	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS
Revisión documental	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS

2016:

	Febrero				Marzo					Abril				Mayo			
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
	01 - 07	08 - 14	15 - 21	22 - 28	29 - 06	07 - 13	14 - 20	21 - 27	28 - 03	04 - 10	11 - 17	18 - 24	25 - 01	02 - 08	09 - 15	16 - 22	23 - 29
Experimento	LMMJVS																

	Junio					Agosto				Septiembre					Octubre				Noviembre		
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3
	30 - 05	06 - 12	13 - 19	20 - 26	27 - 03	01 - 07	08 - 14	15 - 21	22 - 28	29 - 04	05 - 11	12 - 18	19 - 25	26 - 02	03 - 09	10 - 16	17 - 23	24 - 30	31 - 06	07 - 13	14 - 20
Experimento	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS	LMMJVS									

4. Análisis, desarrollo de la propuesta y resultados

4.1 Diseño de experimento

Objetivo

El experimento realizado tiene la finalidad de obtener los datos necesarios para calcular la conductividad del sistema así como el gráfico de diseño por pendientes. Los materiales utilizados son el concreto permeable y el geocompuesto. Se medirá la altura piezométrica a lo largo de una viga de concreto permeable de prueba, así como también se calculará la velocidad de conducción del agua a diferentes pendientes y gastos. Con esto se pretende encontrar la conductividad del sistema, con el que se podrá calcular de manera empírica con datos de laboratorio el comportamiento del sistema sin la necesidad de experimentar para cada situación en particular, también se elaboró la gráfica de diseño, la cual será capaz de establecer los parámetros necesarios para alcanzar el diseño de vialidad deseado tomando como base el tirante superficial de flujo máximo permisible del proyecto para la gestión de aguas pluviales.

Requerimientos

- ❖ Un cajón como modelo experimental (medidas en plano)
- ❖ Fuente de abastecimiento de agua constante (tanque de agua)
- ❖ Medidor para regular y medir el gasto
- ❖ Piezómetro.
- ❖ Cronómetro
- ❖ Concreto permeable
- ❖ Geocompuesto Delta-Drain 2000

Variables

- Tirante hidráulico a lo largo de la conducción
- Altura piezométrica a lo largo de la conducción
- Área transversal en diferentes puntos
- Velocidad de conducción
- Gasto hidráulico del sistema

- Pendiente del canal
- Conductividad del sistema

Lugar del experimento

El experimento se realizó en el edificio H, en el laboratorio de hidráulica del ITESO.

Fecha de ejecución del experimento

El experimento se realizó en el laboratorio de materiales y de hidráulica del ITESO, y debido a su nivel de complejidad, será llevado a cabo a lo largo de la duración de la maestría.

Responsable del experimento

El encargado de llevar a cabo el experimento será el alumno Guillermo Acosta, con la ayuda, supervisión y el apoyo del M.I. Gil Humberto Ochoa, y el Ing. Carlos Aguirre y su equipo de trabajo del ITESO.

Planos del cajón experimental

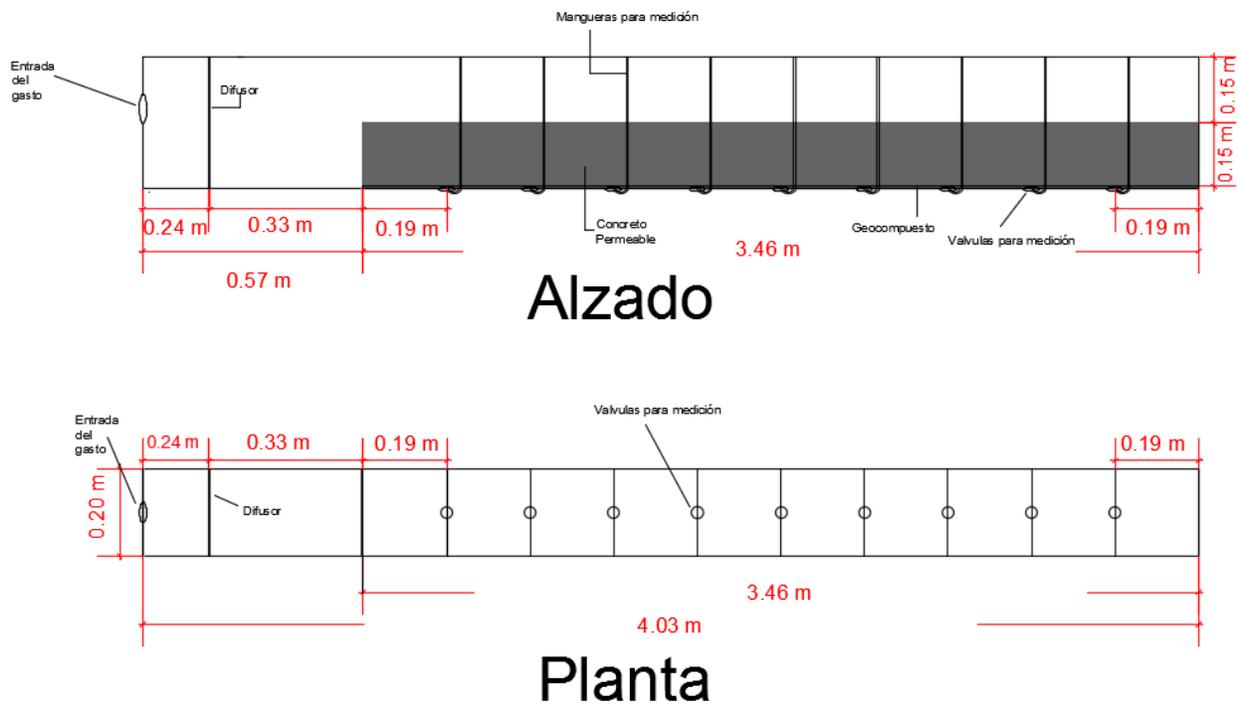


Figura 1: Planos del cajón experimental.

Fundamentos

En mecánica de fluidos, gasto o caudal es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo por un conducto cualquiera. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en una unidad de tiempo, esta definición solo es válida cuando la densidad de la masa que se transporta es constante, lo cual comúnmente ocurre con los líquidos.

La definición formal de gasto o caudal sería el flujo másico o masa que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.

Para calcular el gasto o caudal sabemos que:

$$Q = AV$$

Donde:

Q = Gasto o caudal en m³/s

A = Área de la sección en m²

V = Velocidad media del agua en m/s

La Ley de Darcy es utilizada para describir las características del movimiento del agua a través de un medio poroso, la cual está expresada de la siguiente manera:

$$Q = k \cdot i \cdot A_t$$

Donde:

k = Coeficiente de permeabilidad de Darcy en m/s (Conductividad del sistema)

i = Gradiente

A_T = Área de la sección transversal de la muestra, en m²

La conductividad hidráulica representa la mayor o menor facilidad con la que el agua puede transitar a través de un cuerpo.

Utilizando la fórmula de Manning para el cálculo de la velocidad, tenemos que:

$$V = \frac{1}{n} R_h^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

Donde:

V = Velocidad media del agua en m/s

n = Rugosidad (permeabilidad) del material

R_h = Radio hidráulico en m

S = Pendiente del canal

Donde el radio hidráulico es igual a:

$$R_h = \frac{A_h}{P_h}$$

Donde:

A_h = Área mojada en m²

P_h = Perímetro mojado en m

Así que sustituyendo la velocidad en la fórmula de Manning nos da que:

$$Q = \frac{1}{n} A \cdot R_h^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

Instalación del modelo

1. Se instaló un riel de acero a lo largo de una mesa donde se colocará el cajón experimental. Dicho riel está se soldó del lado donde ingresará el gasto al modelo por dos gatos hidráulicos, los cuales serán utilizados para controlar la pendiente del cajón experimental. Del otro lado se soldó a un marco, el cual esta empotrado a la mesa.



Imagen izquierda 10: Instalación del riel de acero y colocación del cajón experimental. (Elaboración propia).

2. Una vez soldado el riel, se coloca el cajón experimental de madera encima, al cual ya se le han instalado previamente las válvulas de medición por debajo según las especificaciones del plano.
3. Posteriormente se corta el geocompuesto a la medida y se coloca dentro del cajón experimental. Una vez colocado, se instalan las vigas de concreto permeable en su lugar.
4. Se procede a revisar que el medidor de gasto este calibrado, de no ser así se realizan varias pruebas para su calibración.
5. Se colocan los tubos para la medición de la altura piezométrica, de igual manera se instalan las mangueras que conectan dichos tubos con las válvulas de medición del cajón experimental.
6. Una vez instalado lo anterior, se procede a nivel tanto la mesa con el cajón experimental como el medidor de gasto con los tubos de altura piezométrica por medio de gatos metálicos.



Imagen 11: Colocación de válvulas de medición (Elaboración propia)

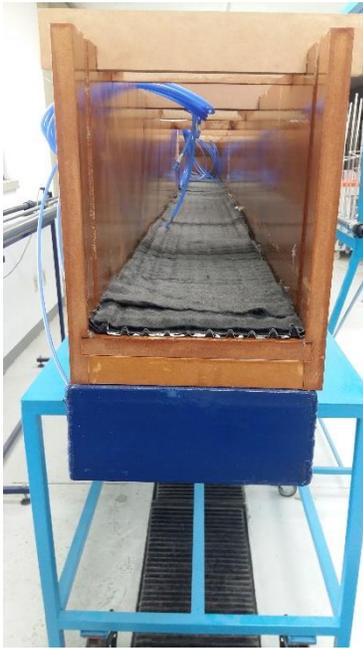


Imagen izquierda 12: Colocación de geocompuesto (Elaboración propia).



Imagen derecha 13: Corte transversal del sistema, geocompuesto por debajo del concreto permeable (Elaboración propia).

7. Una vez instalado todo el modelo, se revisan las conexiones de la bomba y se verifica que este abierto el canal para la reutilización del agua utilizada en las pruebas, cerciorándose también que esté cerrado el drenaje de dicho canal para evitar que se pierda agua durante las pruebas.



Imagen 14: Modelo experimental (Elaboración propia).



Imagen 15: Modelo experimental (Elaboración propia).

Procedimiento

1. Para la realización de esta prueba se ha seleccionado el geocompuesto Delta-Drain 2000. Las medidas del geocompuesto son de 0.20 m de ancho x 3.46 m de largo; se unirán 2 piezas debido a que una sola no alcanza el largo necesario. Dicho geocompuesto es colocado en la base del cajón.
2. Las de las vigas de concreto permeable son 0.15 m de peralte x 0.20 m de ancho x 1.90 m de largo aproximadamente. Una vez colocado el geocompuesto, se posicionarán dos vigas dentro del cajón experimental, por lo que una de ellas tendrá que ser cortada 34 cm para ajustarse a los 3.46 m del largo del cajón experimental.
3. Conectar la manguera principal de la bomba al medidor de gasto, y posteriormente conectar la manguera secundaria del medidor al cajón experimental.
4. Encender la bomba y controlar el gasto que se introduce al cajón experimental por medio de un medidor de gasto, una llave de paso de agua y una segunda llave auxiliar de paso de agua de cierre rápido.
5. Colocar el medidor de gasto cero y cronometrar 20 segundos, al término del tiempo cerrar la llave auxiliar de cierre rápido para detener el medidor y poder apuntar el valor. Dicho

valor es multiplicado por 1.0155 (factor de calibración del medidor de gasto) y dividido entre el tiempo para poder obtener el gasto en lts/s. Volver a abrir la llave de paso.

$$Q = \frac{\text{Medición} \times 1.0155}{20 \text{ s}}$$

- Se tiene que esperar un tiempo en lo que el comportamiento dentro del sistema de regulariza y las alturas piezométricas se estabilicen. Una vez estabilizadas, se procede a tomar la medición con una regla de cada una de las alturas piezométrica a lo largo de las válvulas. Los datos se registran en una tabla donde se especifica el gasto, la pendiente, y la válvula a la que la medición corresponde.

Q (lts/s)	So (%)	PERFIL (cm)																	
		20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360
		H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18
0.37	0.00%																		
	3.00%																		
	5.00%																		
	6.00%																		
	7.00%																		

Tabla 1: Tabla del perfil de acuerdo a su gasto y pendiente.

- Es importante también observar el tirante que se forma en la superficie del concreto permeable a lo largo de todo su cuerpo.
- Una vez obtenidos todos los datos de dicha pendiente, se procede a levantar por medio de gatos mecánicos el cajón experimental, llevándolo de los 27.5 cm (medidos de la mesa al paño inferior del cajón en pendiente 0%) a 36.3 cm, representando una pendiente del 3%.
- Una vez alcanzada la pendiente deseada, se repite el paso 6 y 7. Posteriormente se repite el paso 8, levantándolo a una nueva pendiente con base en la siguiente tabla:

SO	ALTURA	
0%	27.5	CM
3%	36.3	CM
5%	42.2	CM
6%	45.2	CM
7%	48.1	CM

Tabla 2: Alturas necesarias para alcanzar cada pendiente de estudio.

- Repetir desde el paso 6 para cada nueva pendiente hasta alcanzar la pendiente de 7%, donde una vez terminada su medición se procede a apagar la bomba y a bajar el cajón experimental nuevamente a su posición original, es decir a pendiente del 0%.

11. Teniendo el cajón experimental nuevamente en pendiente del 0%, se enciende nuevamente la bomba y se abre más la llave de paso de agua, permitiendo un mayor flujo dentro del sistema.
12. Repetir desde el paso 5 hasta terminar el número de corridas deseadas.
13. Para finalizar, con los datos reunidos en las pruebas anteriores, se calculará el área transversal mojada de cada punto, las velocidades de flujo a lo largo de su conducción, y finalmente la conductividad del sistema. Además, se desarrollará la tabla de diseño de tirantes superficiales máximos, y las tablas en donde se podrá apreciar las comparativas de presiones vs pendiente, y velocidad vs pendiente, así como también se observará el perfil que se forma en cada escenario.
14. Una vez obtenida la conductividad del sistema, y si su valor es constante, se modelará de manera teórica diferentes escenarios para el sistema en donde se podrá apreciar el comportamiento del mismo sin la necesidad de realizar el experimento en físico para todos los escenarios estudiados.

Criterios de validación

- Se llevará a cabo el experimento en días diferentes a lo largo del día para así verificar que no existan dispersiones significativas -posiblemente ocasionadas por el clima- en los resultados de la conductividad hidráulica.
- Los resultados serán sometidos a revisión por un experto en el área de hidráulica.
- Las propiedades relativas de los especímenes tienen que ser coherentes entre sí.

Primeras pruebas realizadas

Miércoles 10 de febrero del 2016 – Primera prueba (Primer cajón experimental)

La primera prueba fue realizada el 10 de febrero del 2016 en el laboratorio de hidráulica del ITESO. La prueba se comenzó con la colocación del concreto permeable dentro del modelo, en cuyo momento nos percatamos que la viga tenía una longitud de aproximadamente 1.93 metros,

siendo esta superior a los 1.90 metros necesarios, por lo que se procedió a su corte con una cortadora de disco para que pudiera ajustarse al modelo y proceder con el experimento.



Imagen 16: Corte con disco de viga de concreto permeable (Elaboración propia).



Una vez cortada la viga y colocada dentro del modelo, se procedió a nivelar la mesa de trabajo ya que el área donde se trabajó en esta ocasión no estaba a nivel. Teniendo listo el modelo, y ya nivelado, se colocaron las compuertas de madera a ambos extremos de la viga, y se empezó a introducir agua por medio de una cubeta para obtener un estimado aproximado de la porosidad de la viga, lo que dio como resultado una porosidad del 30% después de introducir 18 litros de agua y habiendo hecho las operaciones correspondientes.

Imagen 17: Introducción de gasto variable a la viga (Elaboración propia).

Posteriormente se conectó el modelo a una bomba y a un tanque de agua y se le introdujo un gasto no constante que rondó los 0.88 lts/seg, con carga variable y pendiente cero. Se cronometró el tiempo en que tardó en llenar una cubeta de 18 litros, y se estimó que la velocidad de salida era de 1.51 cm/s. La finalidad de esta prueba fue observar el funcionamiento del modelo, las correcciones necesarias para mejorar su eficiencia, y un vistazo inicial al comportamiento hidráulico del concreto permeable. Los resultados obtenidos de esta prueba no son de confianza debido a la falta de control de las variables, pero servirán como guía para las futuras pruebas.



Imagen 18: Vaciado de agua por medio de una cubeta para obtener un estimado de la porosidad (Elaboración propia)

Miércoles 17 de febrero del 2016 – Segunda prueba

La segunda prueba comenzó con el engrapado de la geomembrana al cajón por medio de una pistola de grapas a presión. Se colocó dicha geomembrana únicamente en la cara inferior del modelo. Una vez instalada se colocó de regreso la viga de concreto permeable y se sujetó el sobrante de la geomembrana a un polín de madera, esto para direccionar el agua a utilizarse en el experimento al canal del laboratorio, el cual la recicla.



Imagen 19: Engrapado de la geomembrana al cajón (Elaboración propia).



Se conectó el modelo a una bomba y a un tanque de agua, el cual a su vez estaba conectado a una llave del laboratorio, lo cual hizo posible tener un gasto constante. Para la medición del gasto entrante, se contó con un medidor a la entrada del agua en el modelo, el cual mide el flujo de agua que transita por la viga. Además, se conectó un piezómetro por medio de mangueras a diferentes puntos de la viga, con lo que se pretende observar la carga hidráulica a lo largo del sistema.

Imagen 20: Geomembrana engrapada a un polín para el direccionamiento del agua al canal (Elaboración propia).

Teniendo el sistema listo, y con las variables bajo control, se procedió a la introducción de diferentes gastos al modelo. En el transcurso del experimento se pudo apreciar el



comportamiento hidráulico del sistema -concreto permeable y geocompuesto- con diferentes gastos y pendientes.

Imagen 21: Modelo experimental conectado a un medidor de gasto y carga hidráulica (Elaboración propia).

Se utilizaron diferentes gastos y pendientes para apreciar el comportamiento del sistema, teniendo como resultados tirantes de 156, 146.23, 135.09, 114.43, 102.88, 84.06 milímetros a cada 20 centímetros a lo largo de la viga, con un gasto constante de 0.33 lts/seg, y una pendiente cero. Posteriormente se incrementó el gasto a 0.74 lts/s, donde se pudo observar un tirante inicial por encima de la superficie de aproximadamente 1.5 - 2 cm.



Imagen 22: Medición de cargas hidráulicas a lo largo del sistema (Elaboración propia).

Se continuó la prueba con gastos variables a diferentes pendientes, dichos datos no fueron registrados debido a que la finalidad de la prueba no era la obtención de resultados si no la apreciación del funcionamiento del sistema, así como una mejor idea de que es lo que se puede esperar en la prueba final.

Durante la ejecución de esta prueba se pudo encontrar un imperfecto en una de las caras laterales de la viga de concreto, siendo esta no recta si no de forma curva, lo que ocasionaba que una gran cantidad de agua transitara por ahí.



Imagen 23: Modelo funcionando con carga variable y pendiente cero (Elaboración propia).

Para solucionar este problema de manera momentánea, se colocó pedacería de la geomembrana por esa cara para disminuir el flujo de agua por esa zona y tener un comportamiento más real del sistema. En la prueba final, se buscará una solución más permanente, siendo una de las opciones el colocar mortero en esa cara o el uso de marmolina.



Imagen 24: Bomba y tanque de agua conectados al modelo experimental (Elaboración propia).

El desarrollo de la prueba fue un éxito, ya que pudimos percatarnos de errores y oportunidades de mejora para una mejor ejecución de las próximas pruebas experimentales y de la prueba real. Ahora se procederá a fabricar el modelo experimental con MDF para la ejecución de la prueba última, así como también a calibrar correctamente la máquina de introducción de gasto, completar todos los niveles en el piezómetro, entre otras modificaciones necesarias.

Segundo cajón experimental

Después de haber realizado las pruebas preliminares en el primer cajón experimental, y de haber localizado las posibles fallas y defectos del cajón, se procedió a la elaboración de un segundo cajón experimental, el cual se decidió alargar a una distancia de 3.60, logrando así una mayor



cantidad de mediciones a lo largo del modelo, 18 para ser exactos.

Imagen 25: Segundo cajón experimental (Elaboración propia).

De igual manera se barnizo el cajón, se le colocaron las válvulas de medición y se montó en el riel, esta vez se le colocó ya el geocompuesto al modelo y se montaron dos vigas de concreto permeable, una de 1.90 y la otra tuvo que ser cortada 20 cm para ajustarse al largo.



Imagen 26: Colocación de válvulas de medición (Elaboración propia).



Imagen 27: Geocompuesto Delta-Drain 2000 (Elaboración propia).



Imagen 28: Cortado de viga de concreto permeable (Elaboración propia).



Imagen derecha 29: Colocación de Geocompuesto Delta-Drain 2000 (Elaboración propia)



Imagen 30: Calibración del medidor de gasto (Elaboración propia).



Imagen 31: Medidor de gasto utilizado (Elaboración propia).



Imagen 32: Colocación de vigas de concreto permeable en modelo (Elaboración propia).

Como podemos observar en las imágenes anteriores, se calibro el medidor de gasto, arrojándonos un factor de corrección de 1.0155, es decir, el gasto que el medidor marque tendrá que ser multiplicado por este factor para representar el gasto real. Una vez calibrado el medidor, y montado el modelo, se procedió a la nivelación del modelo con gatos hidráulicos, se conectaron las mangueras a las válvulas para la medición de la altura piezometrica, y se conectó a la bomba principal al igual que se colocó el canal de madera para que el agua utilizada en la prueba sea reutilizada.



Imagen 33: Segundo modelo experimental listo para las pruebas (Elaboración propia).

Desafortunadamente, dicho modelo experimental presento fugas considerables e irreparables, de igual manera el riel fue incapaz de soportar el peso del cajón experimental con las vigas de concreto montadas, por lo que se tuvo que aprender y proceder al tercer y último cajón experimental.

Tercer cajón experimental

El largo final de este cajón experimental fue de 3.46, por lo que la viga de concreto permeable tuvo que ser cortada nuevamente para ajustarse. Se hicieron los mismos preparativos de los modelos anteriores pero esta vez con un riel de mayor calibre y con doble gato hidráulico en un extremo para levantar el cajón experimental. El cajón experimental cuenta con un mayor grosor y uniones más elaboradas entre las piezas de madera para evitar el riesgo de fugas.



Imagen 34: Gatos hidráulicos colocados (Elaboración propia).



Imagen 35: Tercer modelo experimental (Elaboración propia).

Se niveló el modelo con gatos hidráulicos, se conectó el cajón experimental a la bomba y se colocó el cajón de descarga hacia el canal de reutilización de agua. Teniendo listo el modelo, se procedió a llevar a cabo las primeras pruebas para verificar su funcionamiento y reparar cualquier fuga menor que se pudiera presentar. En esta ocasión no se sacó ninguna medición debido a que esa no era la finalidad, sino la de probar su funcionamiento.



Imagen 36: Gatos hidráulicos colocados para nivelar el modelo experimental (Elaboración propia).



Imagen 37: Superficie del concreto permeable (Elaboración propia).



Imagen 38: Corte transversal del sistema, geocompuesto por debajo del concreto permeable (Elaboración propia).

Martes 11 de octubre del 2016 – Tercera prueba

Esta fue la primera prueba realizada en la que se tomaron las mediciones necesarias para elaborar este proyecto. Se comenzó con un gasto de 0.37 lt/s a pendiente 0%, se esperó a que se regularizara el gasto dentro del modelo y se procedió a tomar las mediciones pertinentes. Posteriormente se elevó el modelo con los gatos hidráulicos para alcanzar la siguiente pendiente y repetir nuevamente el procedimiento de medición. Se tomaron las mediciones a pendientes del 0%, 3%, 5%, 6% y 7% con gasto de 0.37 lt/s.



Imagen 39: Tercer cajón experimental listo para las pruebas de laboratorio (Elaboración propia).



Imagen 40: Flujo de agua por la superficie del concreto permeable (Elaboración propia).

Se continuó el experimento con un segundo gasto de 0.68 lt/s con las mismas pendientes y procedimiento de medición.

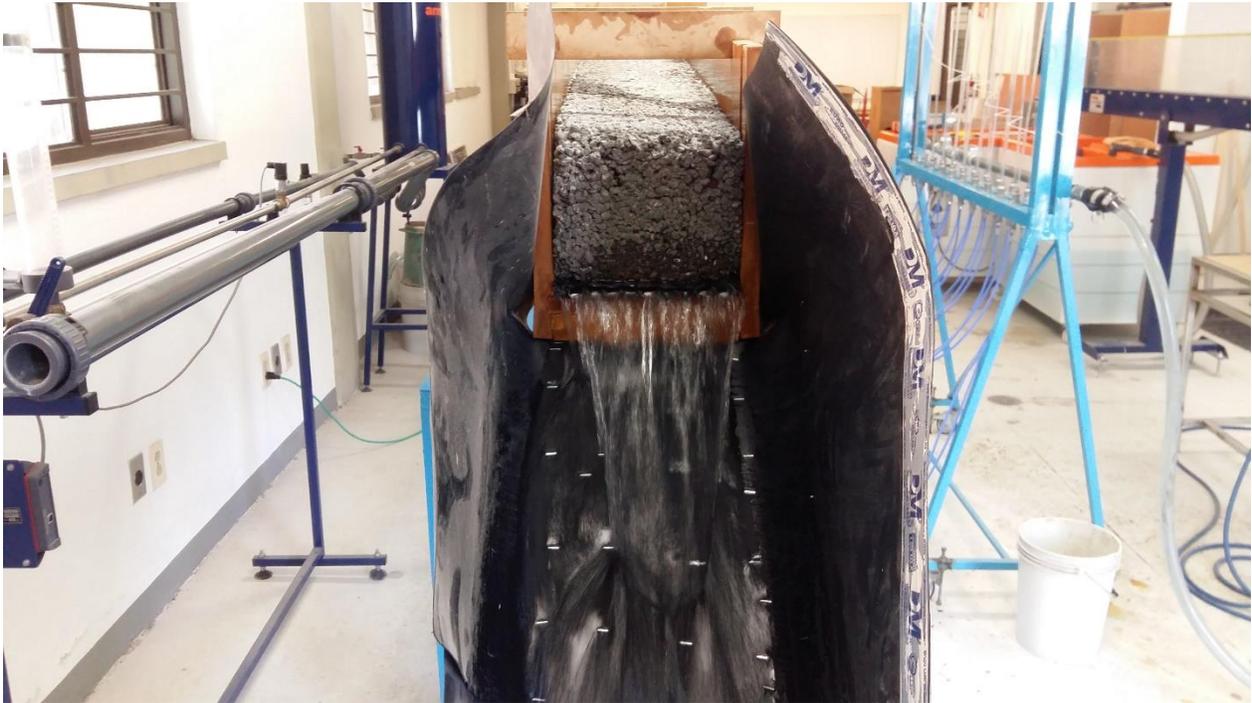


Imagen 41: Salida del flujo del modelo. (Elaboración propia).



Imagen 42: Flujo de agua entrante al modelo (Elaboración propia).

Como podemos observar en la imagen de salida de flujo, la mayor parte del agua que fluye a través del modelo es expulsada a través del geocompuesto, teniendo una presencia minoritaria de agua siendo expulsada por el cuerpo del concreto permeable, por lo que podemos concluir

que el geocompuesto cumple con su función de canal de conducción principal. Conforme se fue incrementando el gasto, fue mayor la cantidad de agua que es expulsada a través del cuerpo del concreto permeable, pero siendo el geocompuesto siempre el principal conductor.

Jueves 27 de octubre del 2016 – Cuarta prueba

Después de haber realizado las primeras dos pruebas exitosamente, se procedió a realizar de la misma manera otras dos pruebas más con las mismas pendientes pero con gastos de 0.68 lt/s y 0.83 lt/s. Se midió a lo largo del modelo la altura piezometrica y el tirante superficial.



Imagen 43: Medición del tirante superficial (Elaboración propia).

Viernes 28 de octubre del 2016 – Quinta prueba

Finalmente se procedió a realizar las últimas dos pruebas con gastos de 1.08 lt/s, y 1.33 lt/s, siendo 1.33 el gasto máximo medido en este trabajo. De igual manera se midieron los diferentes gastos con las pendientes de 0%, 3%, 5%, 6% y 7%. Con estos gastos mayores se observa como el agua sale no solo por el geocompuesto, sino además por el cuerpo permeable del concreto permeable.



Imagen 44: Salida del flujo por el geocompuesto y por el cuerpo del concreto permeable (Elaboración propia).

Esto verifica que no solo el geocompuesto funciona como canal de conducción, sino que además el concreto permeable cumple esta función cuando los gastos son mayores y se requiere de una mayor área de conducción.

Con esto se finalizaron las pruebas en el laboratorio de hidráulica y se procedió al análisis de lo obtenido y a la elaboración de tablas y gráficas.



Imagen 45: Medición y toma de datos de las diferentes pruebas elaboradas (Elaboración propia).

4.2 Síntesis interpretativa de los datos analizados

Se tomó como parámetro inicial el gasto (lt/s) resultante de la precipitación pluvial más intensa de la Zona Metropolitana de Guadalajara obtenida de la siguiente tabla:

PERIODOS DE RETORNO EN AÑOS	INTENSIDAD DE LA LLUVIA EN MILÍMETROS EN MINUTOS						
	5	15	30	45	60	120	1440
2	10.9	20.0	27.1	31.9	35.4	45.7	67.5
5	14.4	26.4	35.8	42.1	47.0	60.3	79.8
10	17.0	31.2	42.3	49.8	55.6	71.4	87.9
25	20.5	37.6	51.0	60.0	67.0	86.0	98.2
50	23.2	42.4	57.6	67.7	75.6	97.0	105.9
100	25.8	47.2	64.1	75.4	84.2	108.1	113.5

Tabla 3: Intensidad-duración-periodo de retorno ZMG. Periodo 1970-2006, obtenida del documento "Características climáticas generales en la Zona Metropolitana de Guadalajara" (Salazar, Ramírez, & Gómez, 2010).

Como se puede observar 25.8 mm es la precipitación más intensa en 5 min con un periodo de retorno de 100 años. Al tomar esta precipitación nos cercioramos de que cualquier precipitación pluvial menor a esta presentará condiciones más favorables a las aquí expuestas. Para realizar la conversión a gasto lt/s/m² se realizan las siguientes operaciones:

$$\frac{25.80 \frac{mm}{5 \text{ min}} / m^2}{(5 \text{ min})(60 \text{ seg})} = 0.086 \frac{mm}{seg} / m^2$$

Es decir, se tiene un gasto de precipitación pluvial de 0.086 mm/s por cada m² de vialidad, convirtiendo nuevamente este gasto al área del modelo experimental nos da:

Largo modelo experimental = 3.46 m

Ancho modelo experimental = 0.20 m

$$\left(\frac{0.086 \frac{mm}{seg}}{m^2} \right) [(3.46 \text{ m})(0.20 \text{ m})] = 0.060 \frac{mm}{seg} \approx 0.060 \frac{lt}{seg}$$

Esto quiere decir que el gasto pluvial equivalente en 1 m² de vialidad en el área del modelo experimental es de 0.060 lt/s. Este gasto obtenido es el gasto que representa las precipitaciones pluviales, pero no es suficiente ya que el modelo no solo estará captando dicha precipitación pluvial sino que además estará captando y conduciendo el gasto de los escurrimientos superficiales descendientes, por lo que se optó realizar las pruebas con gastos mayores al calculado. Como veremos más adelante, el gasto máximo por m² con el que se trabajó fue de 1.92

lt/s/m² a pendiente 0% con un el tirante superficial máximo de 4.40 cm, realizamos las siguientes operaciones:

$$\left(\frac{1.92 \frac{lt}{seg}}{m^2}\right) - \left(\frac{0.086 \frac{lt}{seg}}{m^2}\right) = 1.834 \frac{lt}{seg}/m^2$$

$$\frac{1.834 \frac{lt}{seg}/m^2}{0.086 \frac{lt}{seg}/m^2} = 21.33$$

Esto quiere decir que entre el gasto máximo por m² trabajado y el gasto por m² de precipitación pluvial existe una diferencia de 1.834 lt/seg/m², el cual dividiéndolo entre el gasto de la precipitación pluvial nos arroja que para que se presente un tirante superficial de 4.40 cm a pendiente 0% se requiere de 22 veces el gasto de precipitación pluvial, dicho de otra manera, cada metro cuadrado de este sistema bajo estas condiciones puede captar y conducir 21 m² más.

Respecto al tirante máximo superficial seleccionado de 7 cm, se eligió de forma arbitraria después de comentarlo con personal experto en la materia; se consideró como un tirante coherente cuya presencia en las vialidades no representaría peligro alguno a la sociedad o infraestructuras existentes, caso contrario si este tirante fuera mayor. De igual manera es el caso de las pendientes utilizadas (0%, 3%, 5%, 6% y de 7%), fueron escogidas de manera arbitraria considerando que son las pendientes más comunes en vialidades, andadores y ciclistas.

Durante el desarrollo de las pruebas de laboratorio con el modelo experimental se fueron anotando las diferentes presiones a lo largo del cajón experimental, derivadas de la variación de gastos y pendientes, lo cuales podemos observar a continuación:

SO	ALTURA	UNIDAD
0%	27.5	CM
3%	36.3	CM
5%	42.2	CM
6%	45.2	CM
7%	48.1	CM

ALTURA INICIAL	27.5	CM
DISTANCIA TOTAL	294.6	CM

Tabla 4: Alturas necesarias para cada pendiente de estudio.

El punto de referencia para medir las pendientes se tomó de la mesa al paño inferior del cajón experimental. La altura inicial de la mesa al cajón experimental es de 27.5 cm, y una

distancia de 294.6 cm de los gatos hidráulicos (Lado inicial donde se ubica la entrada de gasto al cajón experimental) al marco inferior (Lado final, salida del gasto). Con estos datos se procedió a calcular las alturas necesarias para alcanzar las pendientes deseadas.

Q (lts/s)	So (%)	PERFIL (cm)																	
		19	38	57	76	95	114	133	152	171	190	209	228	247	266	285	304	323	342
		H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18
0.37	0.00%	34.50	34.30	34.20	34.20	34.20	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00	33.50	32.50	31.00	30.50	28.80	27.40	24.50	22.30
	3.00%	42.00	41.00	40.50	39.60	39.40	38.50	38.40	38.10	36.50	35.80	34.10	32.20	29.70	29.20	26.90	25.70	23.70	20.00
	5.00%	46.50	45.50	44.80	43.50	43.00	42.40	40.70	38.20	37.90	35.60	33.50	31.40	30.60	28.20	26.70	24.30	22.40	18.60
	6.00%	49.10	46.80	44.40	44.10	43.50	42.60	40.20	39.30	38.20	35.80	33.30	31.30	25.30	27.70	25.70	23.80	21.80	18.10
	7.00%	49.70	45.70	45.30	44.70	44.00	42.20	41.90	41.00	39.20	36.10	33.60	31.20	28.50	27.50	25.50	23.50	21.50	17.40
0.68	0.00%	35.50	35.50	35.50	35.50	35.50	35.50	35.50	35.50	35.50	35.50	35.50	35.50	35.50	35.50	35.00	34.10	32.00	24.50
	3.00%	42.60	41.20	40.90	40.10	39.90	39.20	38.50	38.40	37.90	37.70	37.40	37.00	36.00	35.60	34.50	33.40	30.80	23.30
	5.00%	47.90	46.70	46.00	44.20	43.50	42.80	42.00	41.70	41.20	39.50	38.50	37.50	36.10	35.90	34.60	32.90	30.10	21.70
	6.00%	51.00	49.40	47.30	46.50	45.80	45.10	44.00	43.20	42.60	40.50	39.30	38.00	36.60	36.00	34.50	32.50	29.80	21.20
	7.00%	54.20	52.30	51.00	48.70	47.80	46.70	45.20	44.90	44.10	41.40	39.90	38.70	36.80	36.20	34.50	32.40	29.20	20.90
0.83	0.00%	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	35.00	34.00	26.20
	3.00%	42.50	41.10	40.40	40.00	39.70	39.60	39.00	38.90	38.80	38.50	37.30	36.70	36.50	35.90	35.50	34.20	32.30	23.90
	5.00%	48.50	46.20	46.00	44.40	43.90	43.00	42.40	41.90	41.70	41.20	39.20	38.00	37.60	36.10	35.00	33.70	31.40	22.90
	6.00%	51.80	48.50	48.00	46.50	46.00	44.60	43.50	43.00	42.80	41.60	39.30	38.20	37.30	36.40	35.20	33.50	31.10	22.20
	7.00%	54.70	52.00	51.20	48.50	47.70	46.40	45.00	44.30	44.00	42.90	40.00	38.80	37.40	36.80	35.00	33.40	30.90	21.70
1.08	0.00%	36.50	36.50	36.50	36.50	36.50	36.50	36.50	36.50	36.50	36.50	36.50	36.50	36.50	36.50	36.40	36.00	35.40	26.10
	3.00%	43.10	41.50	40.60	40.30	39.70	39.40	39.10	39.00	38.70	37.50	37.20	36.80	36.40	36.20	35.60	34.70	32.70	24.80
	5.00%	48.70	46.50	44.70	44.30	44.20	43.20	42.20	41.50	41.40	40.00	38.30	37.80	36.60	36.30	35.50	34.30	32.00	23.50
	6.00%	52.20	49.00	47.10	46.50	46.20	44.80	43.80	43.10	42.60	40.10	38.90	38.30	36.90	36.50	35.50	34.00	31.70	23.00
	7.00%	55.10	52.20	49.50	48.70	48.40	46.50	45.40	44.50	44.00	41.80	39.70	38.90	37.20	36.70	35.50	33.80	31.50	22.20
1.33	0.00%	36.90	36.90	36.90	36.90	36.90	36.90	36.90	36.90	36.90	36.90	36.90	36.90	36.90	36.60	36.30	35.70	34.00	26.50
	3.00%	43.50	41.90	40.90	40.50	40.40	39.60	39.20	39.00	38.70	38.00	37.50	37.20	36.80	36.50	35.90	34.90	33.00	25.00
	5.00%	49.30	46.50	45.30	44.60	44.40	43.10	42.30	41.70	41.50	39.90	39.00	38.00	36.70	36.50	35.60	34.50	32.40	23.80
	6.00%	52.50	49.00	47.60	46.80	46.70	44.90	43.90	43.20	42.70	40.70	39.50	38.50	37.10	36.60	35.70	34.20	32.00	23.10
	7.00%	55.40	52.20	50.40	48.90	48.20	46.70	45.50	44.70	44.40	41.70	40.30	39.00	37.20	36.90	35.60	34.10	31.70	22.70

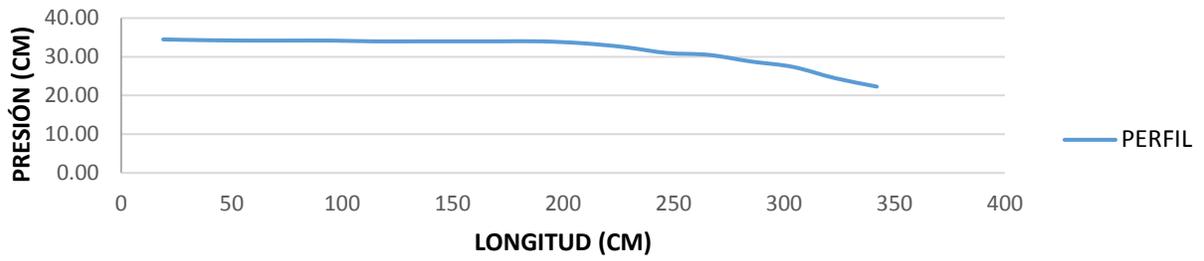
Tabla 5: Tabla con perfiles por cada pendiente y gasto.

Como podemos observar en la tabla anterior, se hicieron 25 pruebas, 5 gastos diferentes y cada gasto con 5 pendientes. Los gastos utilizados fueron de 0.37 lt/s, 0.68 lt/s, 0.83 lt/s, 1.08 lt/s, y 1.33 lt/s; teniendo así un gasto inferior al litro por segundo y uno superior al mismo. Cada gasto fue probado con diferentes pendientes, de 0%, 3%, 5%, 6% y de 7%.

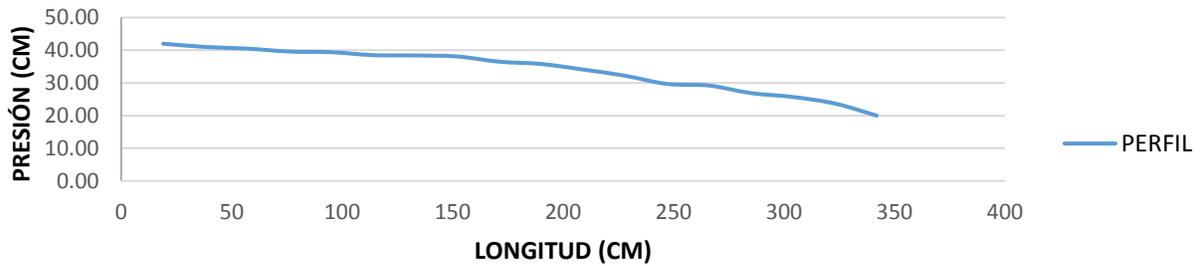
Cada gasto y pendiente cuenta con 18 mediciones de altura piezométrica, las cuales fueron obtenidas de las mangueras conectadas a válvulas colocadas a cada 19 cm a lo largo del cajón experimental. De esta manera podemos observar el cambio de presión que existe dentro del modelo con diferentes condiciones, en este caso con diferentes gastos y pendientes. A continuación se muestran dichos cambios en una manera más grafica para su mejor apreciación y comprensión, cabe mencionar que la presión está en centímetros de columna de agua:

Gasto de 0.37 lts/s con pendientes variables:

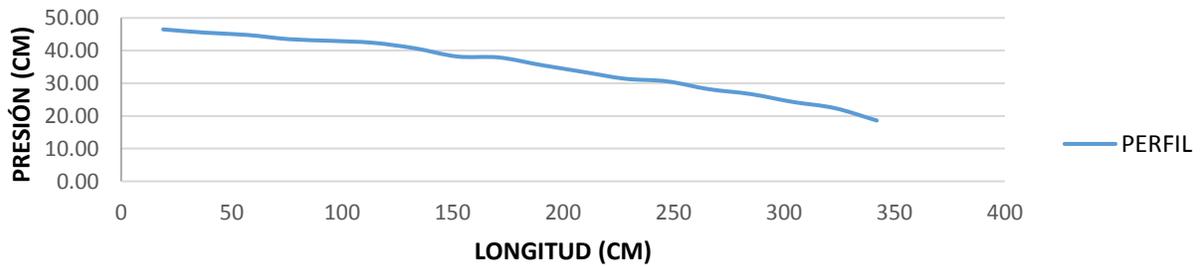
GASTO 0.37 LT/S - PENDIENTE 0%



GASTO 0.37 LT/S - PENDIENTE 3%



GASTO 0.37 LT/S - PENDIENTE 5%



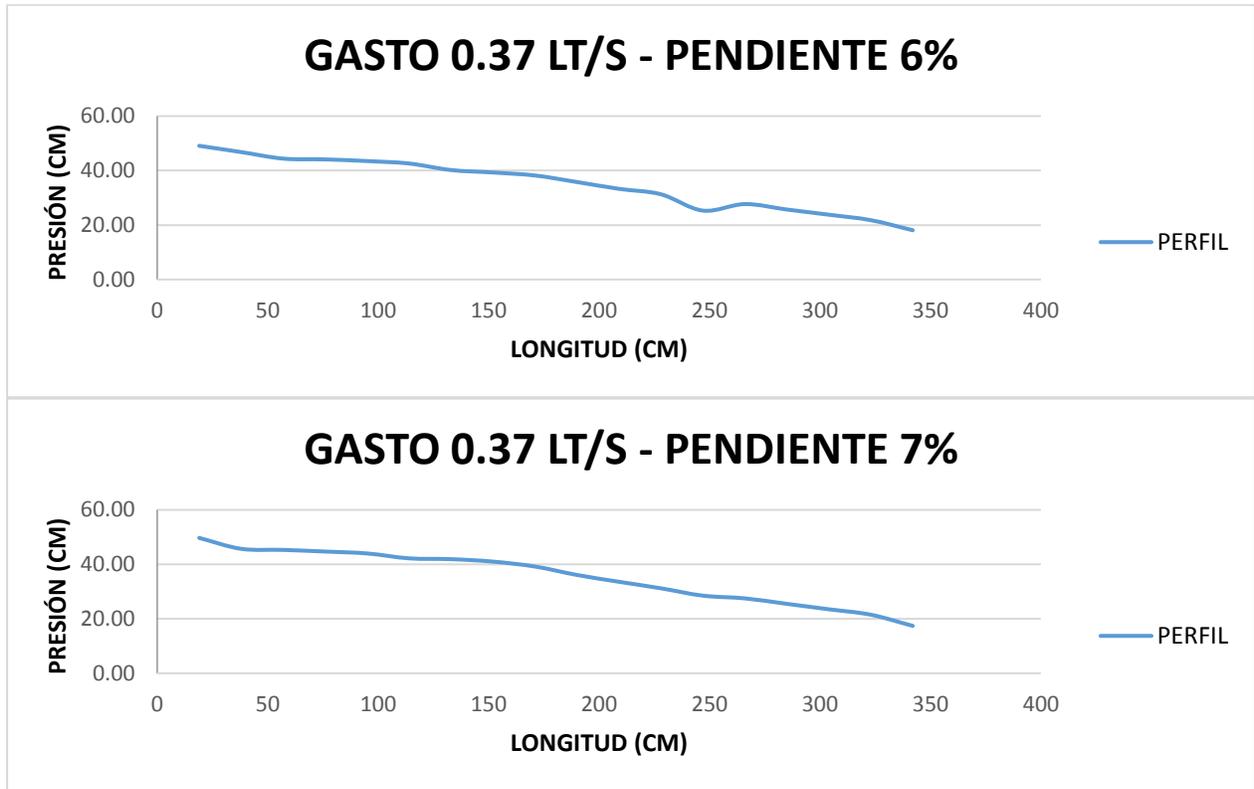
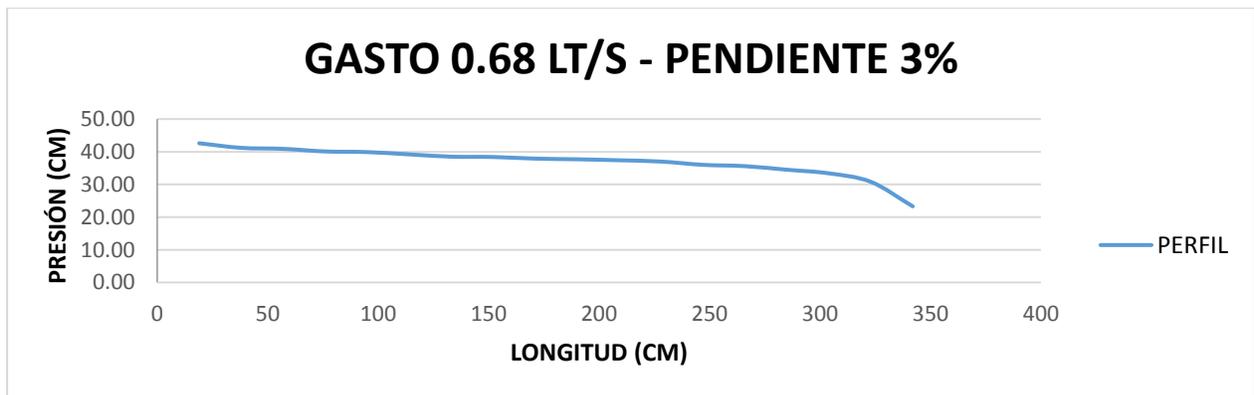
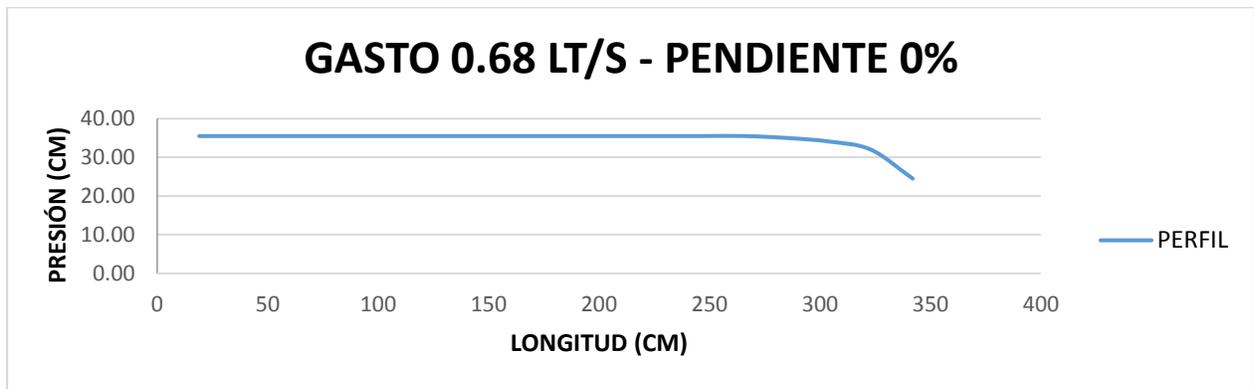


Figura 2: Perfiles del gasto de 0.37 lts/s con pendientes variables.

Gasto de 0.68 lts/s con pendientes variables:



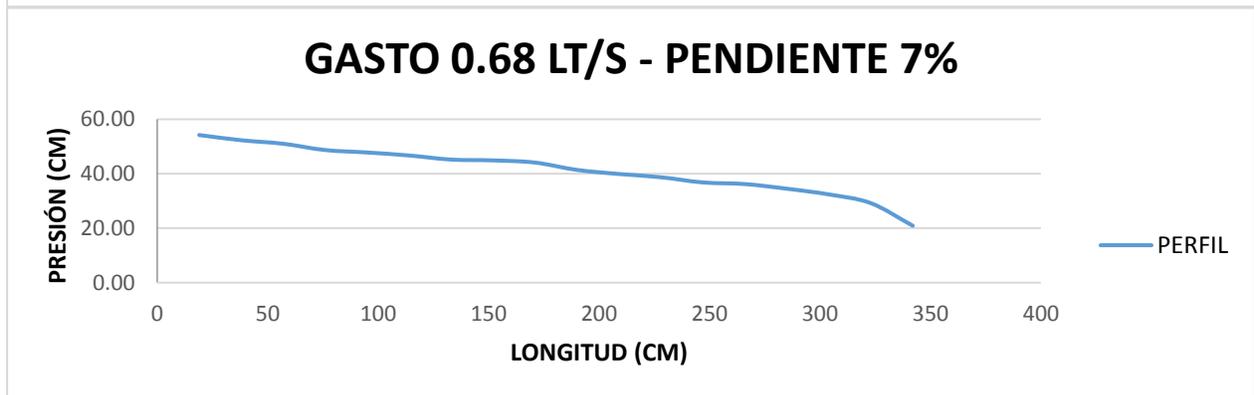
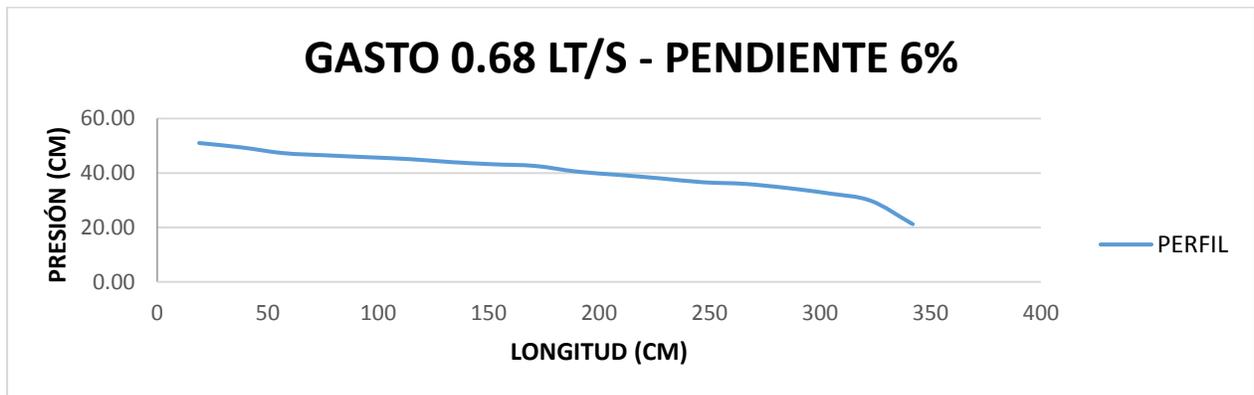
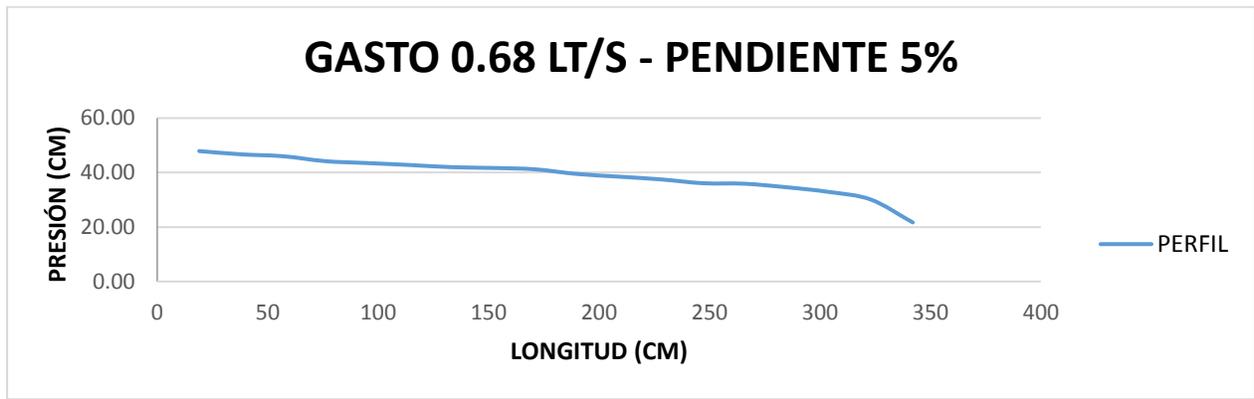
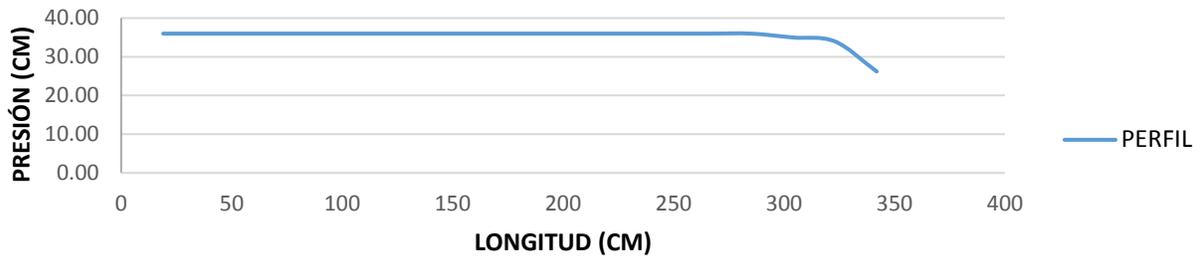


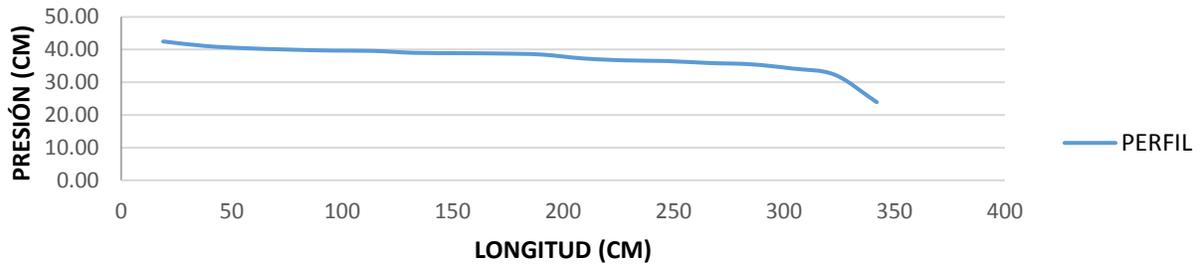
Figura 3: Perfiles del gasto de 0.68 lts/s con pendientes variables.

Gasto de 0.83 lts/s con pendientes variables:

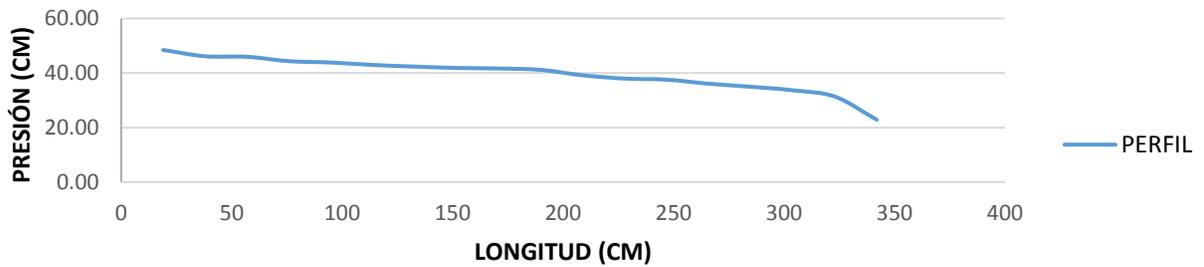
GASTO 0.83 LT/S - PENDIENTE 0%



GASTO 0.83 LT/S - PENDIENTE 3%



GASTO 0.83 LT/S - PENDIENTE 5%



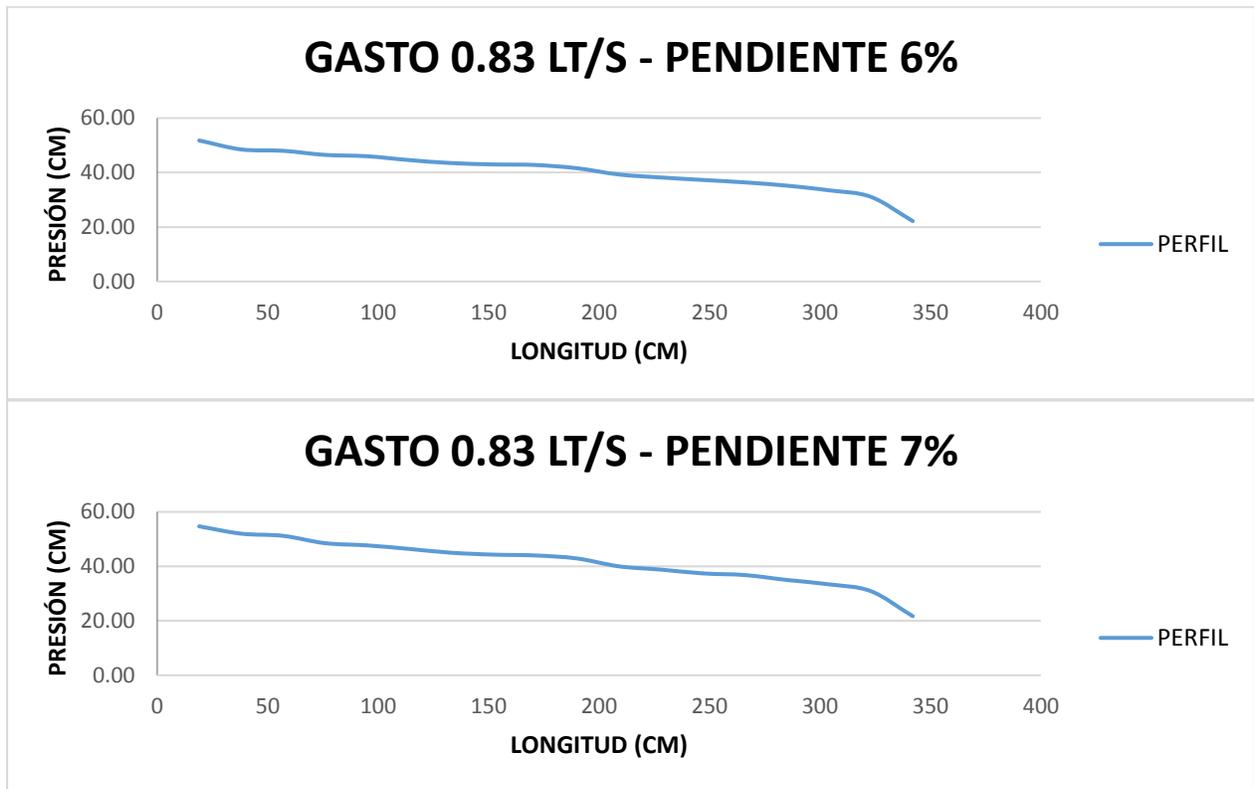
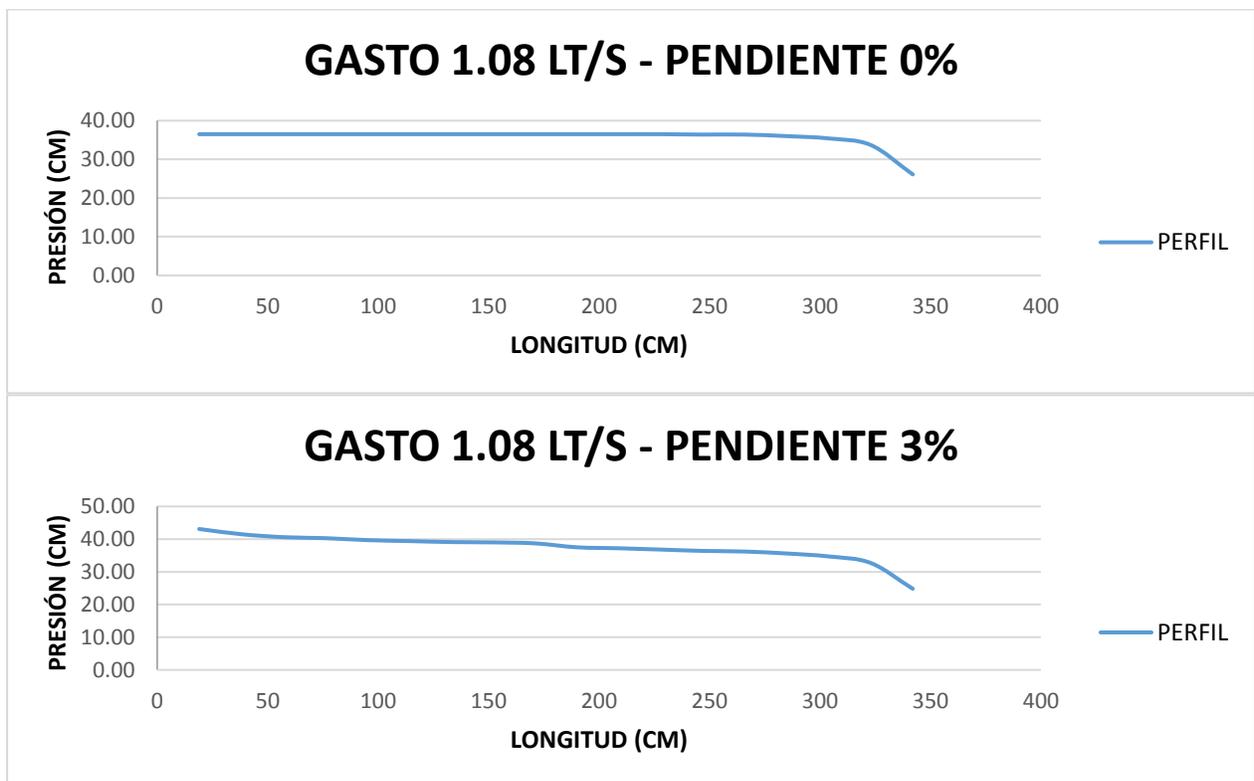


Figura 4: Perfil del gasto de 0.83 lts/s con pendientes variables.

Gasto de 1.08 lts/s con pendientes variables:



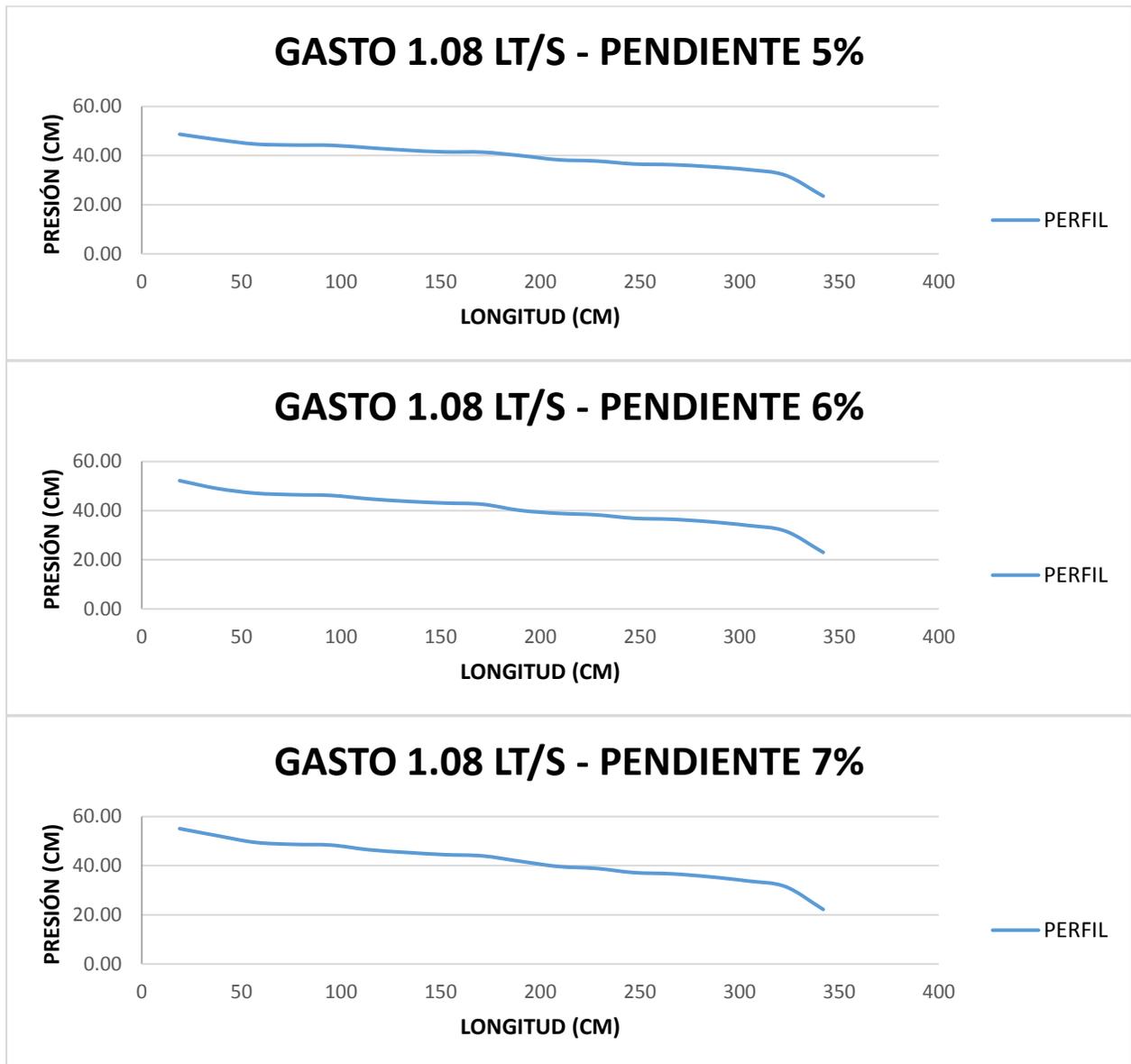
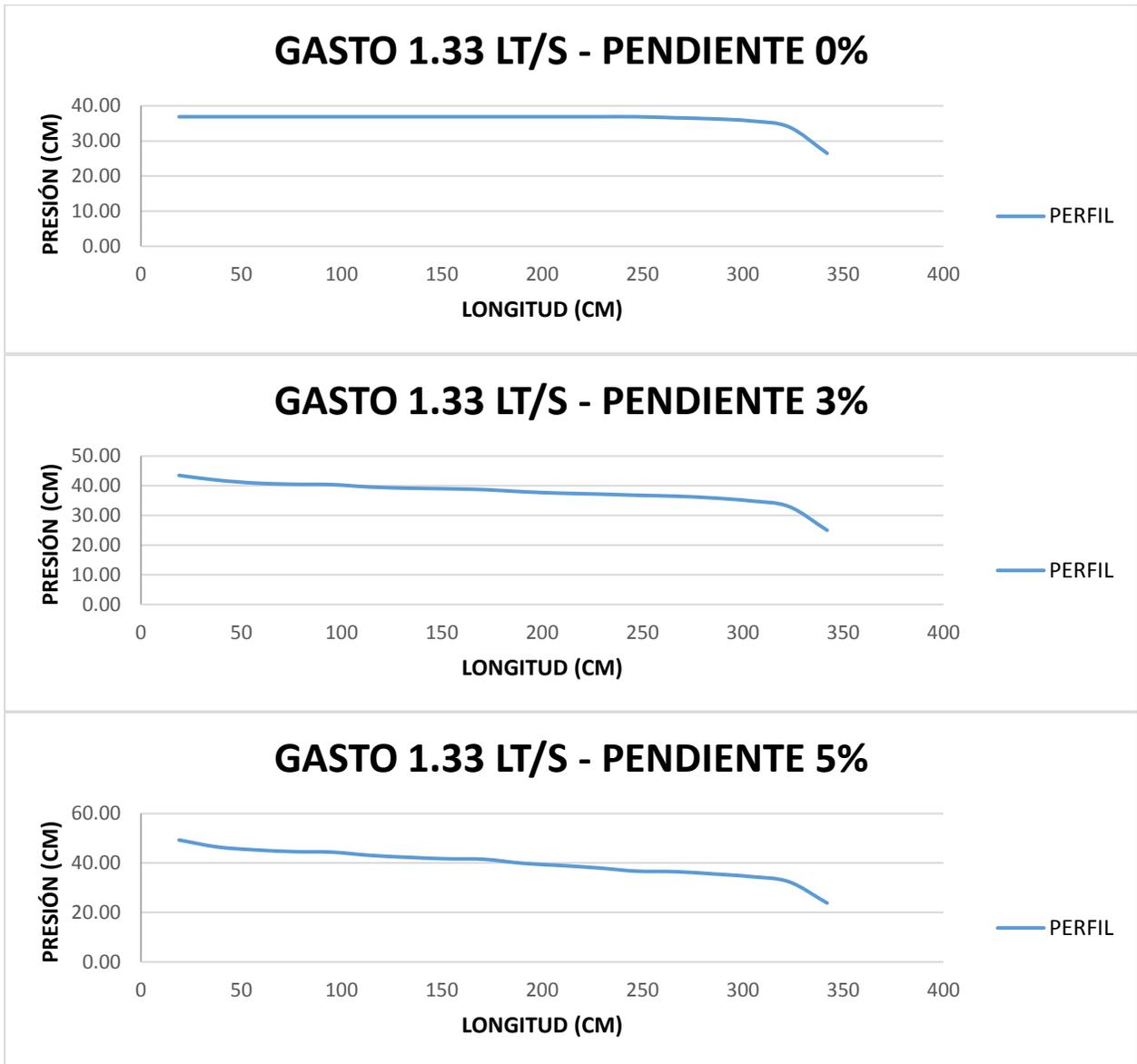


Figura 5: Perfil del gasto de 1.08 lts/s con pendientes variables

Gasto de 1.33 lts/s con pendientes variables:



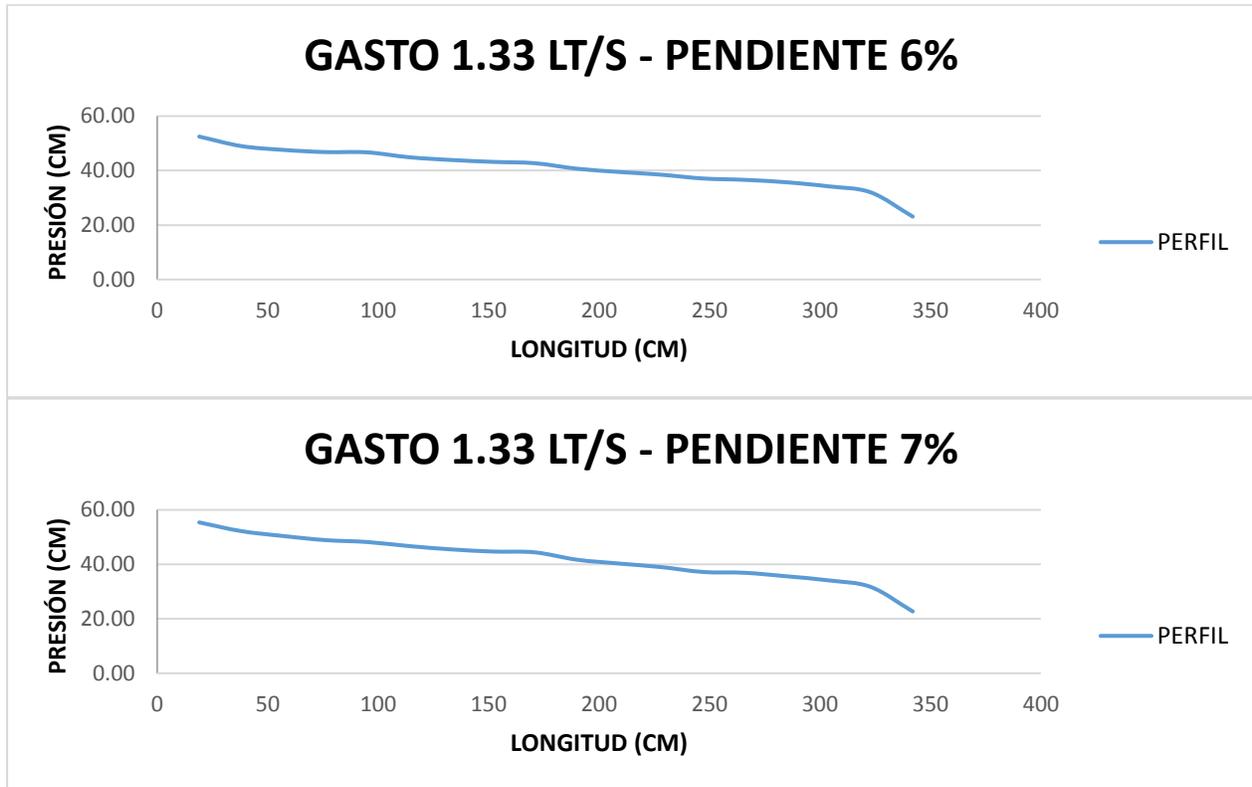


Figura 6: Perfil del gasto de 1.33 lts/s con pendientes variables

Como podemos observar en los gráficos anteriores de presión, la presión al inicio va aumentando conforme se va incrementando la pendiente, posteriormente va descendiendo de manera casi lineal hasta llegar a aproximadamente 20 cm en la mayoría de las pruebas. La variación que existe de presión entre el gasto menor (0.37 lts/s) y el gasto superior (1.33 lts/s) es de tan solo centímetros, de ± 6.0 cm aproximadamente. Como se puede observar en la gráfica de gasto 0.37 lts/s – pendiente 0%, la presión al inicio es de aproximadamente 34.50 cm, mientras que en la gráfica de gasto 1.33 lts/s – pendiente 0% es de 36.90, una diferencia de 2.40 cm. En la pendiente más extrema (7%), se cuenta con una presión al inicio en la gráfica de gasto 0.37 lts/s – pendiente 7% de 49.70 cm, mientras que en la gráfica de gasto 1.33 lts/s – pendiente 7% es de 55.40 cm, una diferencia de 5.70 cm. De igual manera se puede observar en la gráfica de gasto 0.37 lts/s – pendiente 0% que la presión a la salida es de 22.30 cm, mientras que en la de gasto 1.33 lts/s – pendiente 0% es de 26.50 cm, una diferencia de 4.20 cm. En la pendiente más extrema (7%), se cuenta con una presión a la salida en la gráfica de gasto 0.37 lts/s – pendiente 7% de 17.40 cm mientras que en la gráfica de gasto 1.33 lts/s – pendiente 7% es de 22.70 cm, una diferencia de 5.30 cm.

Además de sacar las presiones a lo largo del cajón experimental, se obtuvieron por medio de medición física los tirantes que circulan por encima de la superficie, lo cuales son presentados en la siguiente tabla:

VALORES POR M2			
Q (lts/s/m2)	So (%)	TIRANTE MAXIMO EN SUPERFICIE	TIRANTE TOTAL
0.98	6.00%	0.50	15.50
	7.00%	0.50	15.50
1.20	0.00%	3.40	18.40
	3.00%	1.50	16.50
	5.00%	1.00	16.00
	6.00%	1.00	16.00
	7.00%	0.50	15.50
1.56	0.00%	4.00	19.00
	3.00%	1.50	16.50
	5.00%	1.00	16.00
	6.00%	1.00	16.00
	7.00%	0.50	15.50
1.92	0.00%	4.40	19.40
	3.00%	1.50	16.50
	5.00%	1.30	16.30
	6.00%	1.00	16.00
	7.00%	1.00	16.00

Tabla 6: Tirantes máximos en centímetros por metro cuadrado en cada gasto con diferentes pendientes.



Figura 7: Gráfico comparativo del tirante máximo superficial por metro cuadrado en cada gasto y pendiente.

Recordando que el ancho del cajón experimental es de 20 cm y su largo de 3.46 m, teniendo un área de 0.692 m², se trasladaron dichos gastos a un valor unitario de 1 m² con una simple regla de tres, es decir, se está presentando el gasto necesario en 1 m² de área para que esté presente los mismos tirantes y presiones que en el gasto de 0.692 m² de área, facilitando así futuros cálculos para el diseño de vialidades. Como podemos observar, el tirante máximo que se

alcanzó en la superficie fue de 4.40 cm con el gasto máximo de 1.92 lts/s/m² con pendiente de 0%. Al incrementar esta pendiente, el tirante superficial va descendiendo considerablemente, esto se debe a que la velocidad de flujo incrementa.

Estos tirantes son los más críticos, ya que se presentaron al inicio de la viga y fueron disminuyendo a lo largo de la misma, pero por razones de diseño y suponiendo el escenario más extremo en cada gasto y pendiente, estos tirantes críticos iniciales serán los que rijan nuestros cálculos y tablas de diseño. Tomando esto como punto de partida, se calculó el área transversal en cada uno de los puntos de medición:

		ÁREA TRANSVERSAL (cm ²)																	
Q (lts/s)	So (%)	19	38	57	76	95	114	133	152	171	190	209	228	247	266	285	304	323	342
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18
0.83	0.00%	368.00	368.00	368.00	368.00	368.00	368.00	368.00	368.00	368.00	368.00	368.00	368.00	368.00	368.00	368.00	368.00	368.00	368.00
	3.00%	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00
	5.00%	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00
	6.00%	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00
	7.00%	310.00	310.00	310.00	310.00	310.00	310.00	310.00	310.00	310.00	310.00	310.00	310.00	310.00	310.00	310.00	310.00	310.00	310.00
1.08	0.00%	380.00	380.00	380.00	380.00	380.00	380.00	380.00	380.00	380.00	380.00	380.00	380.00	380.00	380.00	380.00	380.00	380.00	380.00
	3.00%	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00
	5.00%	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00
	6.00%	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00
	7.00%	310.00	310.00	310.00	310.00	310.00	310.00	310.00	310.00	310.00	310.00	310.00	310.00	310.00	310.00	310.00	310.00	310.00	310.00
1.33	0.00%	388.00	388.00	388.00	388.00	388.00	388.00	388.00	388.00	388.00	388.00	388.00	388.00	388.00	388.00	388.00	388.00	388.00	388.00
	3.00%	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00
	5.00%	326.00	326.00	326.00	326.00	326.00	326.00	326.00	326.00	326.00	326.00	326.00	326.00	326.00	326.00	326.00	326.00	326.00	326.00
	6.00%	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00
	7.00%	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00

Tabla 7: Áreas transversales calculadas con el tirante máximo en cada gasto y pendiente.

Con estas áreas transversales se calculó la velocidad en cada gasto y pendiente:

		VELOCIDAD (cm/s)																	
Q (lts/s)	So (%)	19	38	57	76	95	114	133	152	171	190	209	228	247	266	285	304	323	342
		V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16	V17	V18
0.83	0.00%	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26
	3.00%	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52
	5.00%	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59
	6.00%	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59
	7.00%	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68
1.08	0.00%	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84
	3.00%	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27
	5.00%	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37
	6.00%	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37
	7.00%	3.48	3.48	3.48	3.48	3.48	3.48	3.48	3.48	3.48	3.48	3.48	3.48	3.48	3.48	3.48	3.48	3.48	3.48
1.33	0.00%	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42
	3.00%	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02
	5.00%	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07
	6.00%	4.15	4.15	4.15	4.15	4.15	4.15	4.15	4.15	4.15	4.15	4.15	4.15	4.15	4.15	4.15	4.15	4.15	4.15
	7.00%	4.15	4.15	4.15	4.15	4.15	4.15	4.15	4.15	4.15	4.15	4.15	4.15	4.15	4.15	4.15	4.15	4.15	4.15

Tabla 8: Velocidades calculadas con el tirante máximo y área transversal de cada gasto y pendiente.

Para poder apreciar y comprender de mejor manera la velocidad que se presenta en cada gasto y pendiente, y su relación directa con el tirante superficial, se presenta la siguiente gráfica:

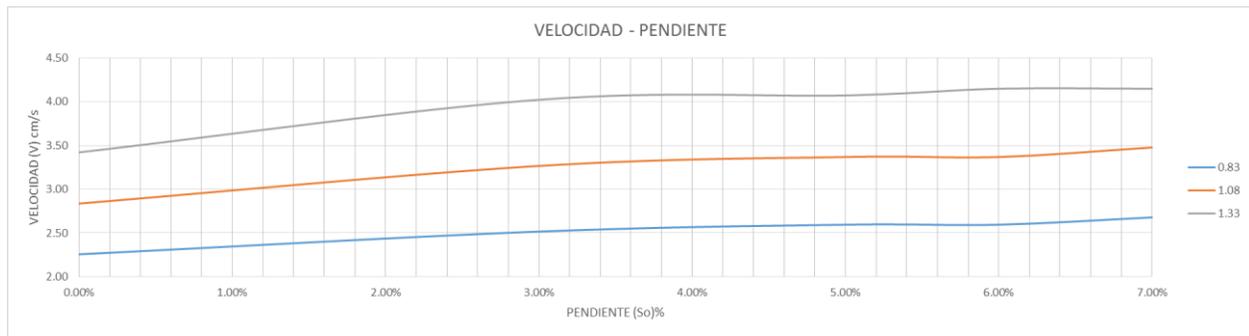


Figura 8: Velocidades graficadas acorde a su pendiente y gasto.

Como podemos observar en la gráfica anterior de Velocidad, conforme el gasto introducido aumenta se cuenta con una mayor velocidad de flujo. Esta velocidad aumenta aún más conforme se va dando pendiente al modelo, tomemos como ejemplo el gasto más crítico de 1.33 lts/s, donde se inicia con una velocidad de 3.42 cm/s en pendiente del 0% y aumenta hasta 4.15 cm/s con pendiente del 7%.

Analizando esta gráfica de velocidad y recordando la gráfica de tirante máximo superficial, nos podemos percatar de la relación directa que existe entre la velocidad de flujo dentro del modelo y el tirante que se presenta en la superficie del concreto permeable. Una vez más tomando como ejemplo el gasto más crítico de 1.33 lts/s (1.92 lt/s/m²) podemos observar que su velocidad en pendiente 0% es de 3.42 cm/s por lo que presenta un tirante superficial de 4.40 cm, este tirante superficial se ve reducido considerablemente al momento que se le da pendiente al modelo, reduciéndose a 1.50 cm con pendiente del 3% y con una velocidad de 4.02 cm/s, y llega a alcanzar tan solo 1.0 cm de tirante en pendiente del 7% con una velocidad máxima de 4.15 cm/s.

Con este análisis podemos concluir que al aumentar la velocidad, derivada del aumento de pendiente, el tirante que se presenta por encima de la superficie del concreto permeable se ve reducido de manera considerable, por lo que casi toda la totalidad del flujo que conlleva estas velocidades transita por el cuerpo del concreto permeable y del geocompuesto, lo cual es parte fundamental del propósito último de esta investigación. Cabe mencionar que todos los tirantes medidos en las pruebas bajo diferentes condiciones fueron menores a 7 cm, punto importante a resaltar ya que es uno de los propósitos establecidos en esta investigación.

4.3 Hallazgos aprovechables

Uno de los propósitos últimos de esta investigación, es la obtención de una gráfica de diseño por pendientes capaz de establecer los parámetros necesarios para alcanzar el diseño de vialidad deseado tomando como base el tirante superficial de flujo máximo permisible del proyecto para la gestión de aguas pluviales. Una vez realizadas las pruebas y tomadas las correspondientes mediciones de tirantes superficiales a lo largo de la viga y a diferentes pendientes y gastos, y como mencionado previamente respecto a tomar el tirante más crítico de cada prueba, se elaboró la siguiente gráfica de diseño:

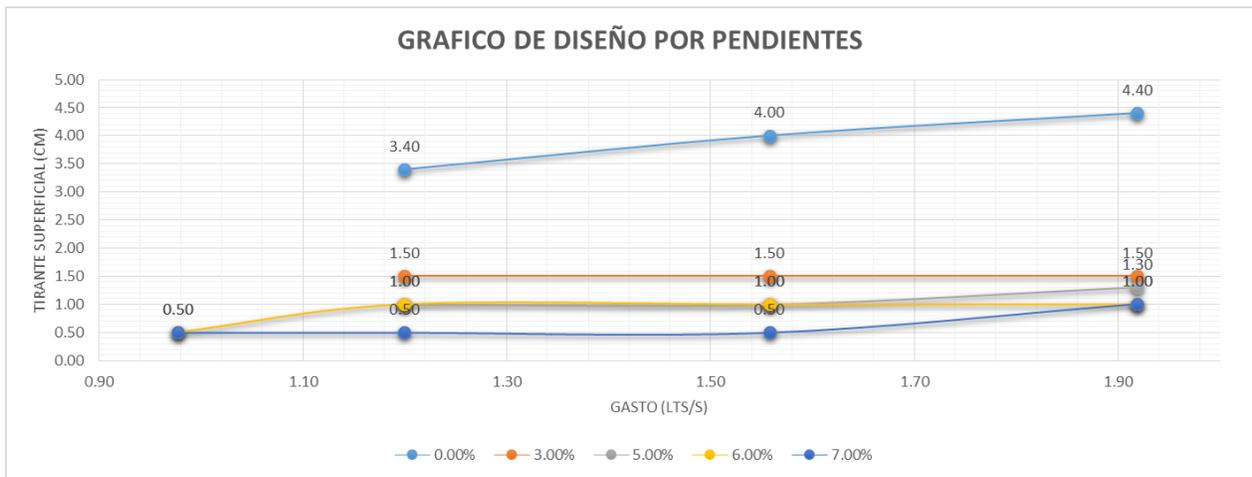


Figura 9: Gráfica de diseño por pendientes.

0.00%	GASTO		1.20	1.56	1.92
	TIRANTE		3.40	4.00	4.40
3.00%	GASTO		1.20	1.56	1.92
	TIRANTE		1.50	1.50	1.50
5.00%	GASTO		1.20	1.56	1.92
	TIRANTE		1.00	1.00	1.30
6.00%	GASTO	0.98	1.20	1.56	1.92
	TIRANTE	0.50	1.00	1.00	1.00
7.00%	GASTO	0.98	1.20	1.56	1.92
	TIRANTE	0.50	0.50	0.50	1.00

Tabla 9: Gastos y tirantes utilizados para elaborar la gráfica de diseño por pendiente. Unidades en cm.

Recordemos que dicho gráfico de diseño contiene los gastos convertidos a un valor unitario de 1.0 m². El propósito de esta gráfica es el conocer el tirante máximo superficial que se

presentaría en la vialidad con base en el gasto presente en el área, el área de la vialidad y la pendiente correspondiente.

Para obtener el valor del tirante máximo superficial, se comienza conociendo el gasto del área, compuesto por el gasto de precipitación pluvial y el gasto de escurrimientos superficiales descendientes. El gasto por precipitación pluvial es obtenido multiplicando el valor obtenido de las tablas de precipitaciones pluviales de la zona en estudio por el área total de la calle con el sistema, mientras que el gasto por escurrimientos superficiales descendientes es el resultante de la multiplicación del gasto de precipitación pluvial en $\text{lt}/\text{seg}/\text{m}^2$ por el área de la calle o calles cuyos escurrimientos entren en contacto con el área del sistema. Habiendo determinado este gasto compuesto en lt/s , se divide entre el área de la calle en metros para ser convertido a las mismas unidad del gráfico; este gasto calculado será el que rija nuestro eje x. Finalmente se traza una línea perpendicular en la gráfica saliendo del gasto calculado hacia la pendiente de la vialidad, donde nuevamente se traza una recta pero esta vez en horizontal hacia el eje de los tirantes superficiales (y), dándonos como resultado el tirante superficial máximo que se presentaría en la vialidad con ese gasto y pendiente.

Tomemos como ejemplo una vialidad con el sistema propuesto de 6.0 m de ancho y 300 m de largo, con un serie de calles colindantes que suman un área total de $37,130 \text{ m}^2$ cuyos escurrimientos superficiales entran a la calle en análisis, una precipitación pluvial de $0.086 \text{ lt}/\text{seg}/\text{m}^2$ correspondiente a la Zona Metropolitana de Guadalajara, y con una pendiente de la vialidad del 5%. Se comienza calculando el gasto compuesto de la siguiente manera:

$$\text{Gasto por precipitación pluvial} = \left(\frac{0.086 \frac{\text{lt}}{\text{seg}}}{\text{m}^2} \right) [(6 \text{ m})(300 \text{ m})] = 154.80 \text{ lt/s}$$

$$\text{Gasto por escurrimientos superficiales descendientes} = \left(\frac{0.086 \frac{\text{lt}}{\text{seg}}}{\text{m}^2} \right) (37,130 \text{ m}^2) = 3,193.18 \text{ lt/s}$$

Gasto compuesto = Gasto por precipitación pluvial + Gasto por escurrimientos superficiales descendientes

$$\text{Gasto compuesto} = 154.80 \text{ lt/s} + 3,193.18 \text{ lt/s} = 3,347.98 \text{ lt/s}$$

Obtenido el gasto compuesto, se procede a dividirlo entre el área de la vialidad para obtener el gasto calculado que se ingresará en la gráfica:

$$\text{Gasto calculado} = \frac{3,347.98 \text{ lt/s}}{(6.0 \text{ m})(300 \text{ m})} = 1.86 \frac{\text{lt}}{\text{s}}/\text{m}^2$$

Con este dato de 1.86 lt/s/m² se procede a marcar la recta vertical tomando como punto de salida el gasto calculado en el eje x hasta la pendiente proporcionada:

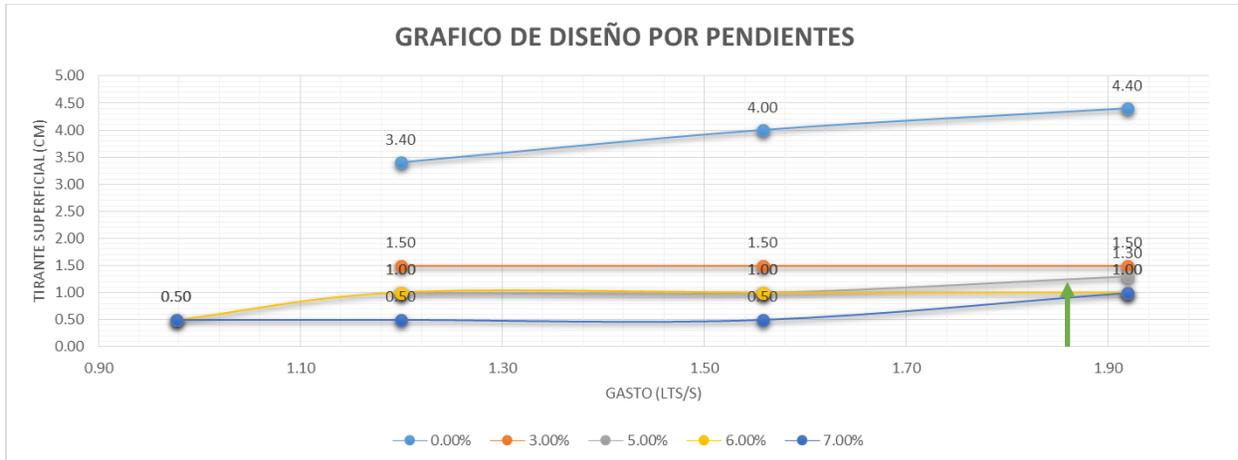


Figura 10: Indicador en vertical de la pendiente proporcionada desde el gasto calculado en el gráfico de diseño por pendientes.

Posteriormente se marca una línea recta horizontal hacia el eje del tirante superficial (y):

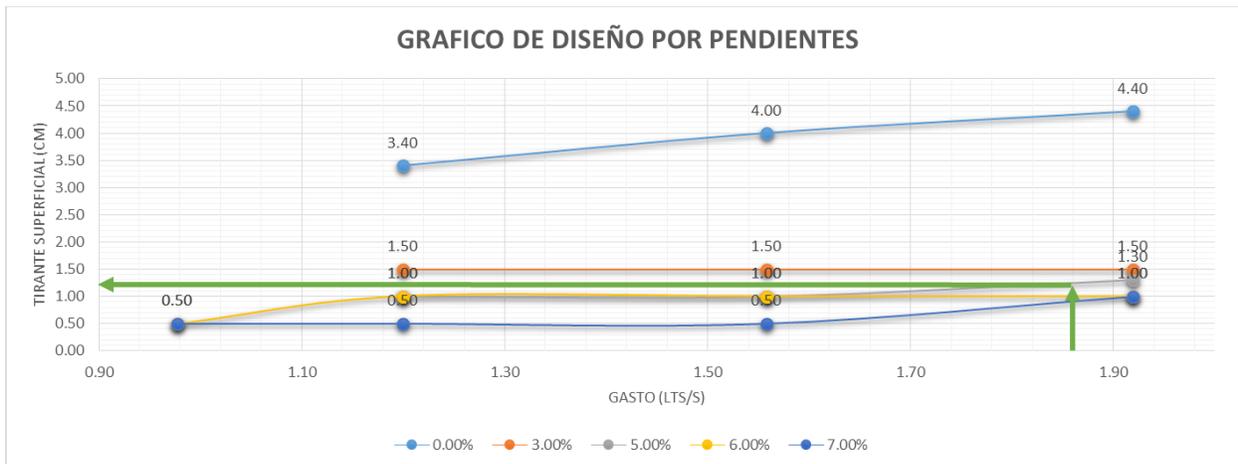


Figura 11: Indicador en horizontal partiendo de la pendiente hasta el tirante superficial resultante en el eje Y.

Con lo que obtenemos que con un gasto compuesto de 3,347.98 lt/s (1.86 lt/s/m²), en una calle de 6.0 m de ancho, 300 m de largo y una pendiente del 5%, el tirante máximo superficial que se presentará será de 1.20 cm.

Ahora, si tomamos como ejemplo el Fraccionamiento Ciudad Bugambillas, obtenemos los siguientes datos:

Vialidades propuestas para la implementación del sistema:

1. **De las Flores Norte:** 10,108 m² de vialidad
2. **Av. Boulevard Bugambilias:** 16,064 m² de vialidad
3. **De las Flores Sur:** 4,011 m² de vialidad

Total m² de vialidad = 30,183 m²

Consideraremos 102,280 m² de las vialidades colindantes cuyos escurrimientos superficiales entran en la zona de estudio.

$$\text{Gasto por precipitación pluvial} = \left(\frac{0.086 \frac{\text{lt}}{\text{seg}}}{\text{m}^2} \right) (30,183 \text{ m}^2) = 2,595.74 \text{ lt/s}$$

$$\text{Gasto por escurrimientos superficiales descendientes} = \left(\frac{0.086 \frac{\text{lt}}{\text{seg}}}{\text{m}^2} \right) (102,280 \text{ m}^2) = 8,796.08 \text{ lt/s}$$

Gasto compuesto = Gasto por precipitación pluvial + Gasto por escurrimientos superficiales descendientes

$$\text{Gasto compuesto} = 2,595.74 \text{ lt/s} + 8,796.08 \text{ lt/s} = 11,391.82 \text{ lt/s}$$

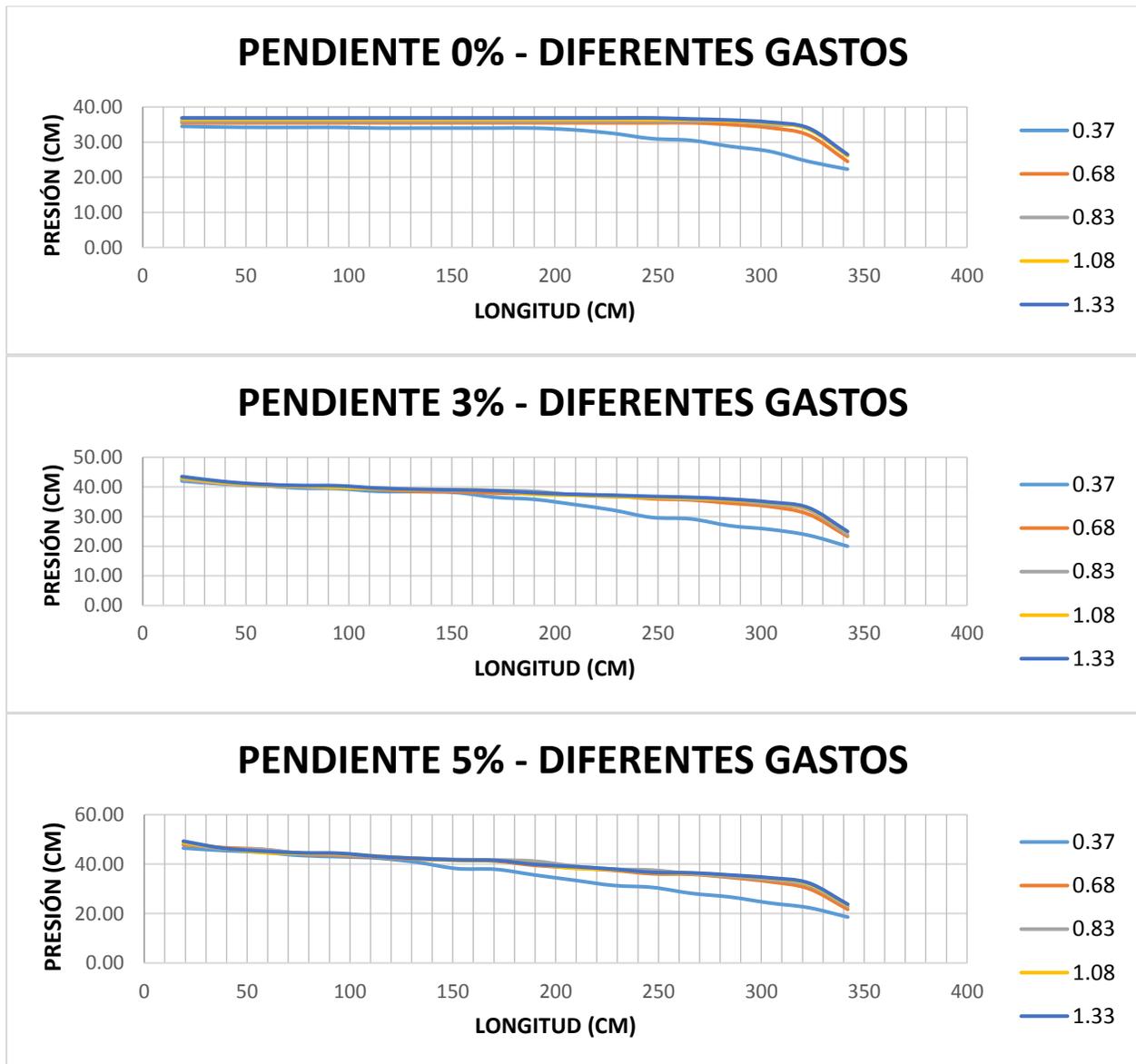
Lo dividimos entre el área de la vialidad para obtener el gasto calculado:

$$\text{Gasto calculado} = \frac{11,391.82 \text{ lt/s}}{30,183} = 0.38 \frac{\text{lt}}{\text{s}}/\text{m}^2$$

Como podemos observar, el gasto de 0.38 lt/s/m² obtenido es menor al gasto mínimo establecido en la gráfica de diseño por pendientes, por lo que sus condiciones de tirante superficial serán más favorables que las aquí estudiadas. La conclusión que podemos obtener, es de que no es necesaria una gran área de captación, podemos considerar ciertas áreas estratégicas dentro de las vialidades para capturar y conducir dentro del sistema el gasto de la zona; por ejemplo si solo consideramos el sistema en franjas a lo largo de las tres calles propuestas, con un área total de 6,000 m², bajo las mismas condiciones el gasto calculado sería de 1.55 lt/s/m², y con una pendiente del 5% obtenemos un tirante superficial máximo de 1.0 cm.

Con la gráfica de diseño obtenida podemos calcular el tirante que se estará presentando en la superficie de las vialidades que utilicen este sistema de infraestructura hidráulica urbana sustentable y tomar las medidas pertinentes para la gestión del agua pluvial. Conociendo el tirante superficial se puede analizar si es el óptimo para el área o se desea reducir por medio de la aplicación de medidas preventivas, tales como el control de escorrentía aguas arriba, el aumento en la pendiente, el aumento en el espesor del concreto permeable, etc.

Otro de los hallazgos aprovechables, es el análisis de las comparativas entre diferentes gastos a una misma pendiente, como se muestra en las siguientes gráficas:



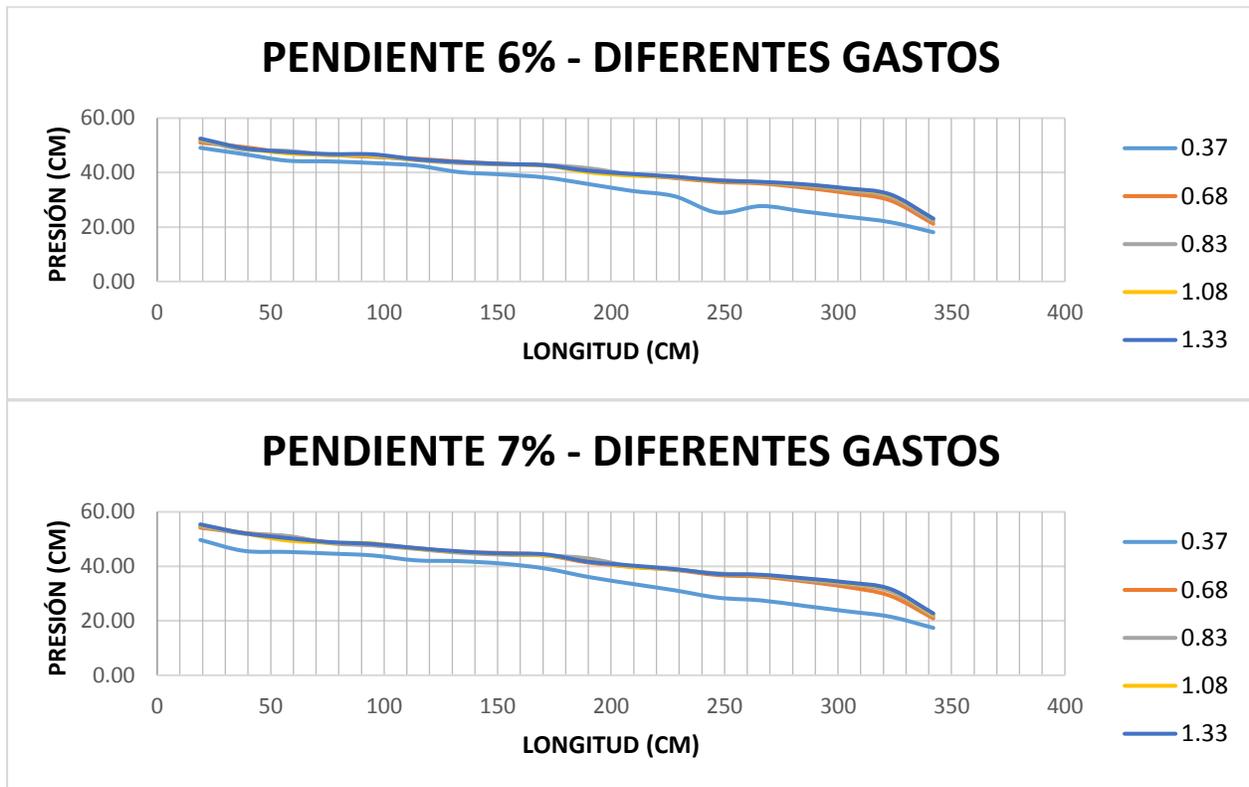


Figura 12: Perfiles de los diferentes gastos a una misma pendiente a lo largo del modelo experimental.

Como se puede analizar en los gráficos anteriores, el comportamiento del flujo de agua a través del sistema es muy similar en todos los gastos. Se puede observar como empiezan con una presión alta y conforme va pasando el flujo a través del modelo esta presión va descendiendo a causa de la misma pendiente. Es bastante notorio que la presión es más alta conforme se va aumentando la pendiente, de igual manera que la presión más alta corresponde al gasto máximo.

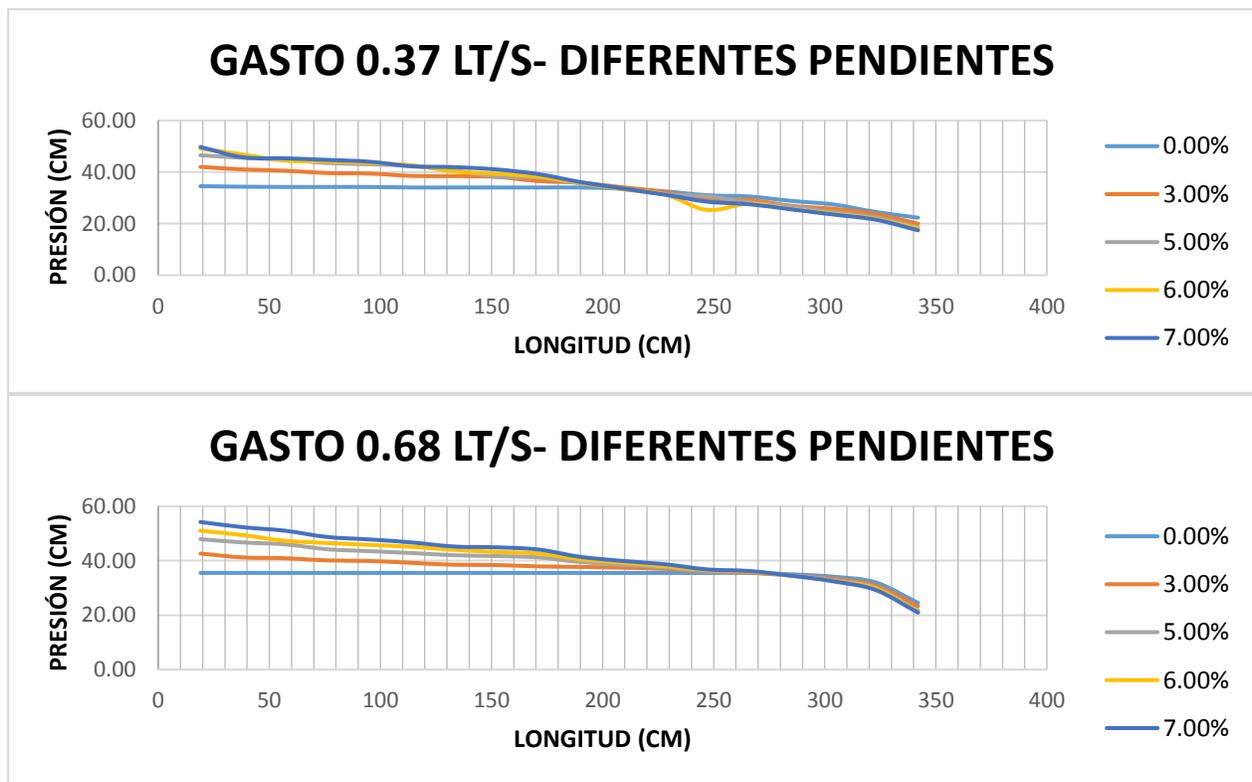
Se observa un decremento gradual en la presión en las gráficas de pendiente conforme el flujo se va acercando a la salida del modelo. Este comportamiento de decremento gradual de la presión será el que predomine a lo largo de todo el modelo al ser implementado en una vialidad, por lo que se puede observar que es bastante uniforme y predecible. Este comportamiento cambia súbitamente a aproximadamente 30 cm de la salida del modelo, donde la presión sufre un decremento significativo debido a la salida del flujo, este comportamiento se presentaría al momento de ingresar el agua pluvial captada a su punto de almacenamiento en una vialidad.

En todas las gráficas podemos observar como los gastos se sobreponen casi en su totalidad – excepto el gasto de 0.37 lt/s del cual se hablará más adelante-, es decir, sus presiones son considerablemente parecidas a lo largo del modelo. La única pendiente donde esto no se presenta

es en la de pendiente 0%, donde las presiones de cada gasto son notoriamente variables y no varían hasta su punto de salida. Esto se puede deber a que no existe un factor que modifique el comportamiento del modelo, es decir, no existe un factor de cambio tal como la pendiente, donde las presiones van descendiendo desde su inicio hasta alcanzar su punto más bajo.

El único gasto que podemos ver que varía de los demás es el de 0.37 lt/s, esto se podría deber a que es un gasto tan pequeño que fluye con mayor facilidad a través del cuerpo del concreto permeable, lo que le permite presentar menores tirantes superficiales y presiones. Otra razón por la que podría variar de tal manera es por haber sido el primer gasto con el que se probó el modelo, algún error en la medición o falló en las mangueras pudo haber ocasionado las presiones bajas, pero se requerirán más pruebas con gastos menores para poder corroborar la verdadera causa de estos resultados.

Otro hallazgo interesante, donde también se puede observar la similitud de presiones entre los diferentes gastos, es la representación de un mismo gasto con sus diferentes pendientes en las siguientes graficas:



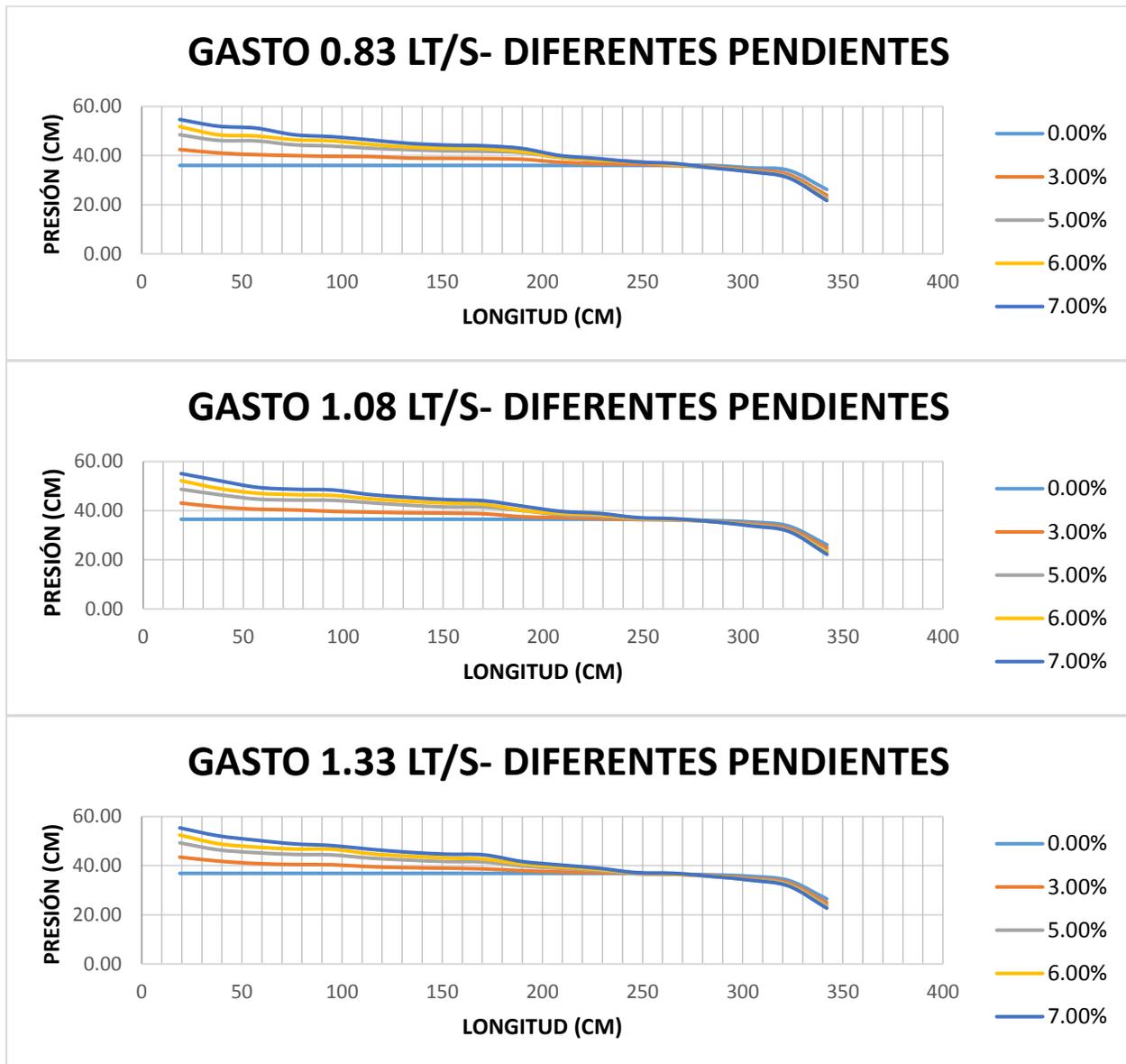


Figura 13: Perfiles de un mismo gasto con diferentes pendiente a lo largo del modelo experimental.

Como podemos observar, el comportamiento de cada gasto a diferentes pendientes es muy similar, excepto el de 0.37 lt/s por las causas antes comentadas, cabe mencionar que a pesar de que su comportamiento es similar al de los demás, sí se puede apreciar una variación considerable que nos obliga a sacar conclusiones diferentes de este comportamiento.

Otro de los principales objetivos de este proyecto, era la obtención de la conductividad del sistema, un valor que nos permitiría diseñar y predecir el comportamiento del sistema bajo cualquier condición sin necesidad de realizar la prueba en laboratorio. Dicho valor sería obtenido de la fórmula de la Ley de Darcy:

$$Q = k \cdot i \cdot A_t$$

Despejando k tenemos:

$$k = \frac{Q}{i \cdot A_t}$$

Donde:

k = Coeficiente de permeabilidad de Darcy en m/s (Conductividad del sistema)

i = Gradiente

A_T = Área de la sección transversal de la muestra, en m^2

Despejando de esta manera la formula podemos calcular el Coeficiente de permeabilidad (k), pero debido a que este coeficiente es representativo de un solo material, y nosotros no estamos analizando la conductividad de los materiales por separado, sino como sistema, se decidió renombrar dicho valor a Conductividad del sistema, lo que representaría un coeficiente de permeabilidad promedio de los dos materiales, es decir, un coeficiente de permeabilidad del sistema.

Una vez establecidos los parámetros necesarios para el cálculo de la conductividad del sistema, se procedió a analizar los datos obtenidos, realizar las respectivas operaciones y a tabular los resultados para analizar las tendencias y concluir si el valor era constante o no. Desafortunadamente, después de realizar todo el análisis nos percatamos de que no existe tendencia alguna o valor constante de la conductividad del sistema. Los valores son muy variables y no se alcanza a apreciar algún valor que podría servir como constante para el propósito establecido en este proyecto. Este resultando nos arroja tres supuesto: Primero, que el sistema no cuenta con un comportamiento constante, el cual pueda ser reducido en una constante de conductividad del sistema, es decir, el sistema responde de diferente manera bajo diferentes condiciones y dicho comportamiento no puede ser predicho por medio de una constante debido a que su flujo puede no siempre ser laminar. Segundo, que las mediciones obtenidas en el laboratorio de hidráulica del sistema son insuficientes y se requiere obtener un coeficiente de

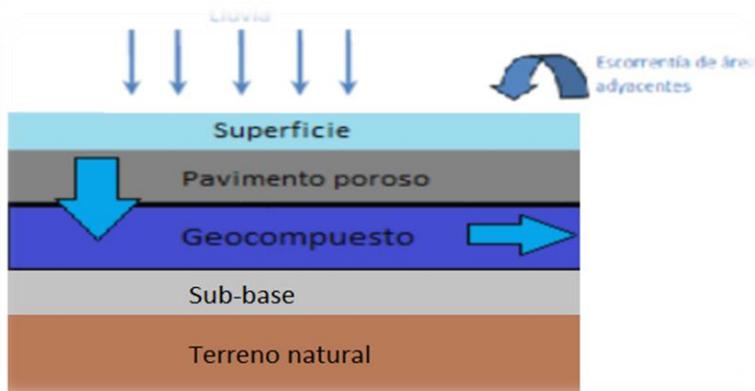
permeabilidad por separado de cada material para posteriormente calcular un valor promedio representativo de todo el sistema. Y la tercera, que se requiere de mediciones aún más precisas del comportamiento del sistema para obtener un valor de conductividad del sistema más exacto y constante.

4.4 Diseño aplicativo de la solución

Sistema propuesto

El sistema propuesto en este proyecto, evitará que el agua se canalice a los sistemas de drenaje en una determinada área, lo que deriva en el aprovechamiento de la misma tanto para usos domésticos, uso potable, o para riego de áreas verdes. El sistema consta en la colocación de concreto permeable en las vialidades de un fraccionamiento determinado que funcionará como estructura filtrante del agua pluvial, esto quiere decir que su cuerpo permitirá el flujo del agua de lluvia de la superficie hacia la base del concreto (García Haba, 2012).

Posteriormente, como podemos observar en la imagen 46, a nivel de la base se coloca un geocompuesto cuya finalidad es la de transportar el agua de lluvia que se infiltró por el concreto permeable hasta un tanque subterráneo donde será almacenada, y posteriormente tratada para uso doméstico, uso potable o riego de áreas verdes. El geocompuesto es utilizado en la mayor parte del área donde exista concreto permeable, al igual que en zonas altamente urbanizadas. En cambio, en zonas donde no estén muy urbanizadas, y exista la posibilidad de permitir que el agua se infiltre sin causar problemas estructurales en cimentaciones, estos no serán colocados para así



permitir que el agua de lluvia se infiltre directamente y recargue los acuíferos por medio de pozos de absorción.

Imagen 46: Sistema propuesto con geocompuesto. (Fuente: elaboración propia).

El diseño del concreto permeable debe de tener en consideración tanto la parte estructural como la hidráulica. Esto se debe a que el diseño estructural del pavimento definirá el

espesor del mismo para soportar las cargas vehiculares de diseño, mientras que el análisis hidrológico determinara los elementos claves para permitir la infiltración del agua lluvia a través de su estructura (Amekudzi, Otto, & Carlson, 2013).

Materiales utilizados

Concreto permeable

El concreto permeable utilizado en las vigas de este proyecto fue proporcionado por la empresa VERDECRETO de San Luis Potosí. Este concreto permeable, de acuerdo a datos proporcionados por la empresa VERDECRETO, tiene una composición de 82.21% de agregado pétreo de ½” a ¼”, 9.30% de Cemento CPC 40R, 0.60% de Aditivo para concreto permeable VERDECRETO e HIDROCRETO, y 7.89% de agua. Tiene un peso volumétrico de aproximadamente 1,700 kg.

El aditivo para concreto permeable VERDECRETO E HIDROCRETO es un material líquido agregado a la mezcla en cantidades pequeñas durante su elaboración y contiene las siguientes propiedades:

Color	Olor	Contenido de plomo ¹	Contenido de mercurio ¹	Contenido de cobre ¹	Contenido de arsénico ¹	Contenido de cromo ¹
Café claro	Sin olor	N.D. ²	N.D. ²	0.7 MG/KG	N.D. ²	0.2 MG/KG

Tabla 10: ¹Resultados Obtenidos por la Universidad Nacional Autónoma de México en el informe No. 10-11-213 con fecha del 29-11-2010.

²No detectable a concentraciones menores al límite de detección: plomo 0.10 mg/L, mercurio 0.002 mg/L y arsénico 0.002 mg/L.

*Tabla obtenida del Dictamen de Idoneidad Técnica No. DIT/354.1/15 (VERDECRETO E HIDROCRETO, 2015).

Respecto a su resistencia, VERDECRETO proporcionó la siguiente tabla de resistencias obtenidas de las pruebas realizadas por el Laboratorio de Control de Calidad y Supervisión S.A. de C.V. en su informe de pruebas No. PAE/03/03/14/01.

Especificaciones	Valores obtenidos	Referencia
Compresión simple a 7 días	236.05 kg/cm ²	NMX-C-083-ONNCCE-2002
Compresión simple a 14 días	268.85 kg/cm ²	NMX-C-083-ONNCCE-2002
Compresión simple a 28 días	294.65 kg/cm ²	NMX-C-083-ONNCCE-2002

Módulo de ruptura a 7 días	34.10 kg/cm ²	ASTM C293
Módulo de ruptura a 28 días	43.10 kg/cm ²	ASTM C293

Tabla 11: Obtenida del Dictamen de Idoneidad Técnica No. DIT/354.1/15 (VERDECRETO E HIDROCRETO, 2015).

Debido a su conformación de gravas, sin arena, el concreto permeable de VERDECRETO forma losas rígidas las cuales cuentan con la capacidad de descomponer las cargas y esfuerzo como si fueran losas tridimensionales al solo unir pequeñas gravas, haciéndolo un pavimento más eficiente en la repartición de cargas y esfuerzos y por ende tiene secciones menores en comparación a las del concreto hidráulico.

El Laboratorio de Control de Calidad y Supervisión S.A. de C.V., con base en la norma ASTM C1701/C1701M-09 “Método de prueba estándar para la filtración del VERDECRETO E HIDROCRETO en sitio” reporto los siguientes resultados respecto a la permeabilidad del concreto permeable:

Especificaciones	Valores obtenidos
Peso del agua infiltrada (M)	18.0 kg
Rango de infiltración (l)	43,653.96 mm/h

Tabla 12: Obtenida del Dictamen de Idoneidad Técnica No. DIT/354.1/15. (VERDECRETO E HIDROCRETO, 2015).

Cabe mencionar que se requiere de la colocación de una base especial para soportar las cargas del tráfico pesado que transitan por la zona pavimentada con concreto permeable. De igual manera es importante mencionar que se requiere colocar una membrana plástica cal.600 en las uniones con pavimentos de concreto hidráulico o asfáltico para evitar el paso de humedad a las bases.

Otros datos interesantes respecto al concreto permeable de VERDECRETO son:

- Tiene una duración de 15 años.
- Se recomiendan espesores de 5 cm para banquetas y andadores peatonales, de 6 a 10 cm para calles de tránsito mediano, y de hasta 15 cm para tráfico intenso.
- Se cuenta con un menor espesor en comparación con los concretos hidráulicos debido a su eficiente repartición de cargas y esfuerzos. Por esta misma razón no se requiere de acero de refuerzo.

- Las fracturas en la losa no representan un problema mayor debido a que no se cuentan con materiales solubles al agua, por lo que no se forman baches.
- El costo del concreto permeable VERDECRETO es hasta un 10% más económico que el concreto hidráulico y 5% más económico que el asfáltico.
- Su volumen de huecos es del 25%.

A continuación se presenta una tabla comparativa entre el concreto permeable, concreto hidráulico y concreto asfáltico:

	CONCRETO	CONCRETO ASFALTICO	VERDECRETO
USOS	Pavimentos	Pavimentos	Pavimentos
	Estructuras		Muros de contención
	Muros de contención		Adoquines
ESTRUCTURA	Bases y sub bases de tepetate, gravas controladas y riegos asfálticos	Bases y sub bases de tepetate, gravas controladas y riegos asfálticos	Bases y sub bases de agregados en diferentes diámetros compactados
FABRICACION	En sitio o en planta	En planta con equipo especial	Mezcla en sitio o en planta
RESISTENCIA	desde 100 kg/cm ²	Desde 50 a 175 kg/cm ²	Desde 200 kg/cm ²
	Hasta 500 kg/cm ²		Hasta 350 kg/cm ²
INSTALACION	Con equipos especiales o a mano	Con equipo especial por su temperatura	Con equipo especial o a mano
CARACTERISTICAS FISICAS	Muy durable	Poco durable	Muy durable
	Se puede estampar	No se estampa	Si se estampa
	Se puede pintar	No se puede pintar	Si se puede pintar
	Es contaminante	Altamente contaminante	Sano al medio ambiente
	No es permeable	No es permeable	100% permeable
	Mantenimiento caro y difícil de ejecutar	Mantenimiento caro y constante	Casi no hay mantenimiento
	No es reciclable	Reciclable	Reciclable
	Alto costo	Costo bajo	Bajo costo
	Se forman baches	Se forman baches fácilmente	No se forman baches
DURACION	según Proveedor 20 años	A los 2 años requiere mantenimiento	15 años
MANTENIMIENTO	Si muy caro	Si, caro y continuo	Si, poco y barato

Tabla 13: Comparativa obtenida del resumen ejecutivo proporcionado por la empresa VERDECRETO.

Geocompuesto Delta-Drain 2000

El geocompuesto utilizado en este proyecto fue el DELTA-DRAIN 2000, el cual está conformado por un núcleo polimérico tridimensional resistente a los desgarros con un geotextil agujerado no tramado. Entre estas dos estructuras se forman canales de flujo por donde el agua puede transitar

libremente y es conducida por gravedad hasta su punto de almacenamiento. En la siguiente tabla podemos observar sus especificaciones obtenidas de la ficha técnica:

Propiedades	Método de prueba	Valores
Peso	ASTM D-3776-96	750 g/m ²
Resistencia a la compresión	ASTM D-1621-94(mod)	550 kN/m ²
Espesor	ASTM D-1777-96	10 mm
Material		PP- Polipropileno
Tela de filtro		
Tensión de agarre	ASTM D-4632-91	450 N
Desgarramiento trapezoidal	ASTM D-4533-91	200 N
Resistencia a la perforación	ASTM D-4833-88	300 N
Índice de flujo de agua	ASTM D-4491-99	5.690 L/min/m ²
Peso típico	ASTM D-5261-92	1.35 g/m ²
Sistema de compuesto		
Índice de flujo de agua (V)	ASTM D-4716-99	223 L/min/m

Tabla 14: Datos obtenidos de la ficha técnica DELTA-DRAIN 2000 (DELTA-DRAIN, n.d.)

Como lidiar con la primera lluvia

Es aconsejable el no recolectar la primera lluvia de la temporada, ya que poseen la mayor cantidad de contaminantes debido al arrastre de estos en la superficie hacia el área de captación, asimismo posee un pH ácido más alto ocasionado por las reacciones que se desencadenan en la atmósfera al tiempo de su caída (Rojas-Valencia et al., 2012).

Las dimensiones del sistema de captación de las primeras lluvias dependerán del volumen requerido de almacenamiento, el cual depende del nivel de contaminación de la lluvia y del área de captación, adicionalmente esta agua puede ser utilizada para fines no potables, como la utilizada para irrigación o para los escusados. Este sistema puede ser ubicado por separado o adyacente al tanque o cisterna donde se almacenara la demás agua pluvial una vez que la primera lluvia haya sido captada, sin embargo, para que este sistema funcione correctamente, el agua

contaminada debe de ser almacenada y sellada de modo que el próximo flujo de agua no acarree los contaminantes del primero (Kinkade-Levario, 2007).

4.5 Factibilidad y validación

Esta infraestructura hidráulica urbana sustentable para la captación y conducción de las aguas pluviales es una alternativa a los actuales modelos de gestión pluvial, pero al igual que estos posee sus limitantes y recomendaciones de utilización o de mejora en su eficiencia. Este sistema es factible en zonas donde existan precipitaciones pluviales cercanas a las aquí estudiadas o incluso menores, en zonas donde la precipitación pluvial sea mayor a las aquí estudiadas, los resultados no pueden ser predichos con el estudio actual, por lo que el comportamiento del sistema se ve comprometido.

El actual sistema propuesto en este estudio, es capaz de conducir un gasto de hasta 1.92 lt/s/m² a lo largo de su cuerpo y con un tirante superficial de no más de 4.40 cm, lo que cumple lo establecido en la hipótesis. Por ende, se puede determinar que este modelo es factible como un sistema de captación y conducción de agua pluvial.

5. Conclusiones y/o recomendaciones

Esta infraestructura hidráulica urbana sustentable para la captación y conducción de las aguas pluviales como alternativa a los actuales modelos de gestión pluvial cumple con lo propuesto en la hipótesis, al lograr un tirante menor al establecido. Esto se alcanzó derivado del incremento en la velocidad por la pendiente dada en cada gasto probado, es decir, que al aumentar la pendiente del modelo, este presenta una mayor velocidad lo que repercute en un menor tirante superficial. Con esto podemos concluir que a mayor velocidad de flujo, mayor es la cantidad de flujo que pasa en su totalidad por el cuerpo del concreto permeable y del geocompuesto. Este hallazgo se puede analizar de mejor forma en la gráfica de diseño por pendientes previamente presentada en este trabajo.

Esta gráfica de diseño por pendientes nos permite conocer el tirante superficial que podemos esperar en este sistema en la vialidad designada, lo que nos permite analizar si es el tirante es el óptimo para el área o se desea reducir por medio de la aplicación de medidas preventivas, tales como:

- Control de escorrentía aguas arriba con métodos como el SUDS
- Aumento en la pendiente de la vialidad
- Aumento en el espesor del concreto permeable
- Un geocompuesto de mayor capacidad
- Colocación de pozos de absorción

Como ya había mencionado, el actual sistema propuesto en este estudio, es capaz de conducir un gasto de hasta 1.92 lt/s/m^2 a lo largo de su cuerpo con un tirante superficial no mayor de 4.40 cm. Este resultado es uno de los muchos que se obtuvo al realizar exitosamente las mediciones de las pruebas de laboratorio con el modelo experimental. Todos los datos expuestos en este trabajo bajo el apartado de “Análisis, desarrollo de la propuesta y resultados” y “Diseño de experimento”, fueron obtenidos de la elaboración y ejecución de las pruebas del modelo experimental en el laboratorio de hidráulica del ITESO. Cabe mencionar que se aplicó el gráfico de diseño por pendientes obtenido al lugar empírico del estudio, el Fraccionamiento Ciudad Bugambilias, donde, como puede constar en el ejemplo previamente descrito en la sección de “Hallazgos aprovechables”, nos percatamos que no es necesario utilizar este sistema en toda el área de las calles, ya que su gasto calculado fue de 0.38 lt/s/m^2 siendo menor este a lo establecido en el gráfico de diseño por pendientes, por lo que sus condiciones de tirante superficial serán más favorables que las aquí estudiadas. Esto nos lleva a la conclusión de que no es necesaria una gran área de captación, podemos considerar ciertas áreas estratégicas dentro de las vialidades para capturar y conducir dentro del sistema el gasto de la zona, como lo podrían ser franjas adyacentes a las guarniciones o en las intersecciones de las vialidades. Por ejemplo, si de los 30 mil metros cuadrados propuestos originalmente utilizamos tan solo 6 mil, nuestro tirante superficial no superaría el centímetro.

Con estos datos se busca aportar a las buenas prácticas en el manejo del agua pluvial al proponer un sistema capaz de recolectar y transportar el agua pluvial de manera independiente a las aguas sanitarias y que además, mitiga las inundaciones que afectan hoy en día a la mayor parte de las ciudades.

El objeto de innovación de este proyecto es la generación de una infraestructura hidráulica urbana sustentable para la captación y conducción de las aguas pluviales, la cual es una

alternativa más eficiente respecto al aprovechamiento del agua pluvial en comparación con la utilización de colectores pluviales; se explorara una alternativa más ecológica, con la utilización de concretos permeables, con un menor impacto en el suelo al utilizar un geocompuesto, al igual que sería un sistema más sustentable al ser capaz de captar y conducir el agua pluvial de la zona para su futuro aprovechamiento. Hoy en día no existe literatura respecto al uso de este sistema, por lo que con este estudio se pretende despertar mayor interés al respecto y fomentar futuras investigaciones relacionadas.

Como principales recomendaciones para la utilización de este sistema, es el utilizarlo en zonas donde las precipitaciones sean cercanas o menores a las aquí estudiadas, ya que de ser mayores el comportamiento hidráulico del sistema podría variar. A pesar de que este trabajo no constó en el estudio de la resistencia a la compactación de los materiales, debido a las propiedades expuestas de los materiales de otros estudios realizados, es seguro afirmar que dicho sistema podría ser utilizado en vialidades de fraccionamientos y vialidades secundarias de la ciudad, evitando como recomendación por seguridad las vialidades principales de tráfico pesado, como camiones, tráileres y demás unidades de peso considerable. Este modelo además puede servir para un propósito menor al designado en este proyecto, como lo es para andadores peatonales, ciclistas, estacionamientos, explanadas de concreto, etc.

Las recomendaciones derivadas de este proyecto para la expansión del mismo y lograr una mayor comprensión mecánica, hidráulica y económica del modelo, son las siguientes:

- Realización de pruebas de compactación a las vigas del concreto permeable.
- Realización de pruebas de compactación al geocompuesto.
- Realización de pruebas de compactación al sistema (concreto permeable con geocompuesto).
- Uso de diferentes modelos de geocompuestos en el sistema.
- La instalación de aspersores a lo largo del modelo para simular de una manera distinta la introducción de agua pluvial al sistema.
- Estudio del coeficiente de permeabilidad (k) de cada material por separado para obtener un valor promedio de la conductividad del sistema.
- Estudio del comportamiento del flujo (laminar o turbulento).

- Estudio económico de la implementación del sistema contra los sistemas actuales de gestión de aguas pluviales.
- Calcular el hidrograma generado por este sistema y compararlo con el actual en las ciudades.

Otra área de oportunidad de investigación derivada de este proyecto sería el estudio de las posibles repercusiones que tendrían las velocidades alcanzadas de los gastos hacia el concreto permeable, es decir, estudiar y analizar si la velocidad interna del modelo puede afectar de alguna manera la composición y estructura interna del concreto permeable.

Los hallazgos de esta investigación, no solo pueden ser utilizados para satisfacer las interrogantes y los propósitos establecidos en el inicio de este trabajo, sino que además pueden ser útiles para otras líneas de investigación y propósitos.

6. Referencias

Acosta, G. (2015). Mapa de Ciudad Bugambilias [Figura 1]. Retrieved from <https://www.google.com.mx/maps>

Aire, C. (2011). Concreto permeable: alternativas sustentables. *Instituto Mexicano Del Cemento Y Del Concreto, AC Revista Construcción Y Tecnología*. Retrieved from <http://www.imcyc.com/revistacyt/jun11/arttecnologia.htm>

Amekudzi, A. A., Otto, S. L., & Carlson, D. J. (2013). *Green Streets, Highways, and Development 2013: Advancing the Practice*. Reston, VA, USA: ASCE. Retrieved from <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10803066>

Ciudad Bugambilias. (n.d.). Retrieved July 13, 2015, from <http://www.nuestro-mexico.com/Jalisco/Zapopan/Ciudad-Bugambilias/>

CONAGUA. Infiltración artificial de agua a los acuíferos.- Características y especificaciones de las obras y del agua., NOM-015-CONAGUA-2007 (2009). Retrieved from

<http://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/documentos/NOM-015-CONAGUA-2007.pdf>

DELTA-DRAIN. (n.d.). Soluciones comprobadas de gran resistencia y alto flujo para sus necesidades más complejas de drenaje.

EL INFORMADOR / CMCS. (n.d.). Aplicarán concreto ecológico en Avenida Moctezuma. Retrieved April 18, 2015, from <http://www.informador.com.mx/jalisco/2009/100787/6/aplicaran-concreto-ecologico-en-avenida-moctezuma.htm>

EL INFORMADOR / MLOM. (n.d.). Concreto ecológico pasa la prueba. Retrieved April 19, 2015, from <http://www.informador.com.mx/jalisco/2009/119965/6/concreto-ecologico-pasa-la-prueba.htm>

EL INFORMADOR. (n.d.). Con la recuperación de cauces, la ciudad gana habitabilidad. Retrieved May 20, 2016, from <http://www.informador.com.mx/jalisco/2010/257845/6/con-la-recuperacion-de-cauces-la-ciudad-gana-habitabilidad.htm>

Eskandari, G. H., Rahimi, H., & Khosravi, A. A. (2011). Performance of geocomposite and granular drains under irrigation canal linings. *Geosynthetics International*, 18(1), 48–55. <https://doi.org/10.1680/gein.2011.18.1.48>

Espinosa, C., & Leandro, M. (2011). Pavimentos permeables como alternativa de drenaje urbano. Retrieved from <http://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/7483>

Espiritu, R. (2015). Zapopan. Jalisco.gob. Retrieved from <http://www.jalisco.gob.mx/es/jalisco/municipios/zapopan>

Febles Domenech, M. D. (n.d.). Innovación y Sostenibilidad en la Gestión del Drenaje Urbano: Primeras Experiencias de SuDS en la Ciudad de Barcelona. Retrieved from <http://www.ingenieriadelagua.com/2004/JIA/Jia2009/fs/CO07rev.pdf>

- Ficha del Pais: Jalisco - Mexico. (2016). Comercioexterior.ub.edu. Retrieved May 20, 2016, from <http://www.comercioexterior.ub.edu/fpais/jalisco/geografia.html>
- García Haba, E. (2012). Control de escorrentías urbanas mediante pavimentos permeables: Aplicación en climas mediterráneos. Retrieved from <https://riunet.upv.es/handle/10251/15383>
- Gleason, J. A. (2015, November 5). Entrevista semiestructurada acerca de la propuesta a desarrollarse en el fraccionamiento Ciudad Bugambilias, Zapopan, Jalisco [Comunicación personal].
- Gobierno Municipal de Zapopan. (2012). *PLAN PARCIAL DE DESARROLLO URBANO - DISTRITO URBANO ZPN-8 "SANTA ANA TEPETITLAN"* (p. 340). Zapopan, Jalisco. Retrieved from http://portal.zapopan.gob.mx/PlanesParciales2013/ZPN8_SANTAANATEPETITLAN/DOCUMENTO/Distrito8_31-09-12.pdf
- Kevern, J. T. (2011). Operation and Maintenance of Pervious Concrete Pavements. Presented at the Transportation Research Board 90th Annual Meeting. Retrieved from <http://trid.trb.org/view.aspx?id=1091515>
- Kinkade-Levario, H. (2007). *Design for Water : Rainwater Harvesting, Stormwater Catchment, and Alternate Water Reuse*. Gabriola Island, BC, CAN: New Society Publishers. Retrieved from <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10201482>
- Novak, C. A., Geisen, E. V., & DeBusk, K. M. (2014). *Designing Rainwater Harvesting Systems : Integrating Rainwater into Building Systems*. Somerset, NJ, USA: John Wiley & Sons, Incorporated. Retrieved from <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10845577>

Palacio Castañeda, N. (2010). Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia | Gestión y Ambiente. Retrieved April 18, 2015, from <http://168.176.5.16/index.php/gestion/article/view/25392>

Paris, M. D. C. (2007). Aguas subterráneas, Gestión integrada y sustentabilidad ambiental. Presented at the Ponencia en el I Congreso Internacional De Agua Y Medio Ambiente., Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Argentina.

PRONACOSE. (2014). *Programas de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía. Guía de elaboración para usuarios urbanos de agua potable y saneamiento*. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. México.: Comisión Nacional del Agua. Retrieved from http://www.pronacose.gob.mx/pronacose14/contenido/documentos/Guia_elaboracion_usuarios_urbanos.pdf

Rivera Juárez, J. (n.d.). La influencia de la urbanización en los escurrimientos pluviales. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Retrieved from <http://ambiental.uaslp.mx/docs/JRJ-0503-InfluenciaUrbanizacion.pdf>

Rojas-Valencia, M. N., Gallardo-Bolaños, J. R., & Martínez-Coto, A. (2012). Implementation and characterization of a system for harvesting and using rainwater. *TIP. Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 15(1), 16–23.

Sabnis, G. M. (2011). *Green Building with Concrete: Sustainable Design and Construction*. CRC Press.

- Salazar, A., Ramírez, L., & Gómez, J. H. (2010). Características climáticas generales en la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG). UDG. Retrieved from <http://sincronia.cucsh.udg.mx/gonzalezsalazarspring2010.htm>
- Secretaría de Salud. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización, NOM-127-SSA1-1994 (2000). Retrieved from <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/m127ssa14.html>
- Tatzky-Gerth, R., Jakob, I., & Müller, W. W. (2008). Long-term water flow capacity of geosynthetic drains and structural stability of their drain cores. *Geosynthetics International*, 15(6), 437–451. <https://doi.org/10.1680/gein.2008.15.6.437>
- Tetreault, D. V. (2004). Una taxonomía de modelos de desarrollo sustentable. *Estudios Sobre Estado Y Sociedad. Universidad de Guadalajara. México.*, X(029), 45 – 80.
- The Parking Area That Drinks in Chattanooga, TN. (n.d.). Retrieved from <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/commercial/chat.asp>
- Tomás, R., Herrera, G., Delgado, J., & Peña, F. (2009). Subsistencia del terreno. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 17(3), 295–302.
- Torres-Rodríguez, A. (2013). ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN LAS CIUDADES DE MÉXICO: EL CASO DE LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA. *Agua y Territorio*, 1(1), 77–90.
- VERDECRETO E HIDROCRETO. (2015). *Dictamen de idoneidad técnica No. DIT/354.1/15 (Actualización)* (No. DIT/354.1/15). México, D.F.: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.

Walsh, C. J., Fletcher, T. D., & Burns, M. J. (2012). Urban Stormwater Runoff: A New Class of Environmental Flow Problem. *PLoS ONE*, 7(9), e45814.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0045814>

Where Pervious Concrete is Being Used - The Concrete Network. (n.d.). Retrieved April 22, 2015, from http://www.concretenetwork.com/pervious/being_used.html

7. Anexos

ANEXO 1

Observación Directa y Registro en Sitio de las Características Físicas del Área en Estudio dentro del Fraccionamiento Ciudad Bugambilias, Zapopan

Objetivo

Con esta técnica se reconoció y registró en sitio las características físicas del área urbana en estudio localizada en el fraccionamiento Ciudad Bugambilias, Zapopan, Jalisco; asimismo se tomaron fotografías para la elaboración de un registro fotográfico del área donde se propone el sistema para la captación, conducción y posible futuro almacenamiento de agua pluvial.

Focos de atención y observables

1. Espacio disponible para el almacenamiento

- a. Medidas físicas del área de la glorieta.
- b. Analizar la infraestructura hidrosanitaria existente sobre el área de la glorieta.
- c. Ver cuántos árboles hay en el área de la glorieta.
- d. Ver los desniveles del área (dirección geográfica del desnivel).
- e. Ver el tránsito de gente peatonal sobre el área.
- f. Ver el tránsito vehicular de la zona.

2. Área de la calle

- a. Medidas de las calles contempladas para la conducción.
- b. Ver los desniveles del área (dirección geográfica del desnivel).
- c. Observar la infraestructura hidrosanitaria y vial urbana existente.
- d. Ver la cantidad de calles colindantes, y la dirección de sus pendientes.
- e. Observar los servicios colindantes (tiendas, escuelas, restaurantes, etc.).
- f. Tipo de superficie de rodamiento (concreto hidráulico, asfáltico, etc.)

3. Infraestructura hidrosanitaria actual

- a. Ubicación de bocas de tormenta

- b. Medidas de las bocas de tormenta
- c. Nivel de limpieza en las bocas de tormenta
- d. Tipo de basura o materiales presentes en el interior de las bocas de tormenta
- e. Alteraciones constructivas o modificaciones físicas hechas a las bocas de tormenta

Materiales necesarios

Para la correcta y rápida ejecución de esta actividad se necesitó llevar los siguientes materiales al área de estudio:

- Cámara fotográfica (Celular)
- Brújula
- Cargador de coche para celular
- Bolígrafo
- Odómetro
- Formato para registrar la observación directa.
- Mapa de la zona

Lugar de la observación

El área de estudio donde se llevó a cabo la Observación directa es en la primera glorieta localizada en la entrada principal del Fraccionamiento Ciudad Bugambilias, Zapopan, Jalisco, y en las siguientes calles colindantes:

- De las Flores Norte
- Avenida Boulevard Bugambilias
- De las Flores Sur

Fecha de ejecución de la actividad

El día lunes 16 de noviembre del 2015.

Responsable de la actividad

Esta Observación directa fue realizada por el alumno Ing. Guillermo Acosta Michel.

A continuación, se anexa el formato de observación directa para la rápida toma de notas en el área de estudio.

Observación directa



ITESO
Universidad Jesuita
de Guadalajara

Nombre del trabajo: Observación Directa y Registro en Sitio de las Características Físicas del Área en Estudio dentro del Fraccionamiento Ciudad Bugambilias, Zapopan

Nombre del responsable: Ing. Guillermo Acosta Michel

Fecha de ejecución: 16 de noviembre del 2015

Hora:

Ubicación: Fraccionamiento Ciudad Bugambilias en Zapopan, Jalisco.

Objetivo: Reconocer y registrar en sitio las características físicas del área urbana en estudio localizada en el fraccionamiento Bugambilias, Zapopan, Jalisco; asimismo se tomarán fotos para la elaboración de un registro fotográfico del área. Los focos de atención son el espacio disponible para el almacenamiento, el área de las calles, y la localización y estado de mantenimiento de la infraestructura hidrosanitaria presente.

Focos de atención	Información a levantar					
1. DISPONIBILIDAD PARA EL ALMACENAMIENTO						
	<i>UN</i>	<i>Medidas/Anotaciones</i>				
a. Medidas físicas del área de la glorieta	<i>M2</i>	Se midió toda la glorieta cuya delimitación es el perímetro de todas las áreas verdes juntas, incluyendo las calles que la cruzan por el centro, dando un total de = 9,818 m ²				
b. Análisis de la infraestructura existente sobre el área de la glorieta	<i>Pzs</i>	<u>Aspersores</u>	<u>Registros</u>	<u>Tanque de agua subterráneo</u>	Bocas de tormenta	<u>Otros:</u> - <u>Postes de luz</u> - <u>Señalamientos</u> - <u>Andador</u>
c. Ver cuantos arboles hay en el área de la glorieta.	Cant.	Ninguno	<u>Pocos</u>		Muchos	

d. Ver los desniveles del área (dirección geográfica del desnivel).	<i>Obs.</i>	Se presenta en el área de la glorieta una pendiente descendente predominante hacia el este.			
e. Ver el tránsito peatonal sobre el área	<i>Cant.</i>	<u>Poco transitado</u>	Normal	Muy transitado	
f. Ver el tránsito vehicular del área	<i>Cant.</i>	Poco transitado	Normal	<u>Muy transitado</u>	
2. ÁREA DE LAS CALLES					
		<i>Calle</i>	<i>Largo</i>	<i>Ancho</i>	<i>Total</i>
a. Medidas de las calles contempladas para la conducción	<i>Calle / M2</i>	De las Flores Norte	722 m (Se midió desde la glorieta principal, hasta la glorieta donde cruzan las calles Azaleas y Av. Bugambilias).	7.0 m	10,108 m2 (Son dos calles en sentidos contrarios).
		Av. Boulevard Bugambilias	502 m (Se midió desde la glorieta principal, hasta la glorieta donde cruzan las calles Av. Bugambilias y Mariano Otero).	6 m (Laterales) 10 m (Carriles centrales)	16,064 m2 (Son dos laterales y dos carriles centrales).
		De las Flores Sur	573 m (Se midió desde la glorieta principal, hasta donde cruza con la calle De Los Claveles).	7 m	4,011 m2 (Son dos calles en sentidos contrarios).
b. Ver los desniveles del área (dirección geográfica del desnivel).	<i>Obs</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. De las Flores Norte – Pendiente hacia el Sureste. 2. Av. Boulevard Bugambilias – Pendiente hacia el Este. 3. De las Flores Sur – Pendiente predominante hacia el Norte. 			
c. Observar la infraestructura urbana existente (Banquetas, Pozos de registro y otros).	<i>Cant.</i>	<u>Banquetas</u>	<u>Pozos de registro</u>	<u>Otros:</u> - Bocas de tormenta - Postes de luz - Señalamientos	
d. Ver la cantidad de calles colindantes, y la dirección de sus pendientes.	<i>Cant.</i>	<i>Calle</i>	<i>C. Colindantes</i>		<i>Dir. Pendiente</i>

	De las Flores Norte	1. Azaleas 2. Av. Bugambilias 3. Continúa Cto. De las Flores Nte.	1. Sur 2. Norte 3. Este			
	Av. Boulevard Bugambilias	1. Av. Bugambilias 2. Continúa Av. B. Bugambilias 3. Mariano Otero 4. Remanso de las Acacias 5. Remanso de las Gardenias 6. Paseo de Las Margaritas 7. Remanso de las Nochebuenas	1. Sur 2. Este 3. Sur 4. Sur 5. Sur 6. Sur 7. Sur			
	De las Flores Sur	1. Remanso de Los Lirios 2. Paseo de Las Camelias 3. De no me Olvides 4. De los Azahares 5. Remanso de Las Violetas 6. De Los Claveles	1. Este 2. Este 3. Este 4. Este 5. Este 6. Este			
e. Observar los servicios colindantes (tiendas, escuelas, restaurantes, etc.).	<i>Serv.</i>	<u>Tiendas</u>	<u>Escuelas</u>	Parques	<u>Restaurantes</u>	<u>Otros:</u> - Salones de eventos - Tiendas de Servicio
f. Tipo de superficie de rodamiento (concreto hidráulico, asfáltico, etc.)	<i>Tipo</i>	<u>Concreto hidráulico</u>	Concreto asfáltico	Adoquín	Otro:	
3. INFRAESTRUCTURA HIDROSANITARIA ACTUAL						
a. Ubicación de bocas de tormenta	<i>Cant.</i>	Calle	Ubicación		Cantidad	
		De las Flores Norte	Ver anexo 1.2		10	
		Av. Boulevard Bugambilias	Ver anexo 1.2		14	
		De las Flores Sur	Ver anexo 1.2		9	

b. Medidas de las bocas de tormenta	M2	Numeración y M2	<table border="1"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>Total M2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>2.6</td></tr> <tr><td>2</td><td>1.9</td></tr> <tr><td>3</td><td>1.9</td></tr> <tr><td>4</td><td>1.8</td></tr> <tr><td>5</td><td>2.3</td></tr> <tr><td>6</td><td>1.7</td></tr> <tr><td>7</td><td>1.6</td></tr> <tr><td>8</td><td>1.3</td></tr> <tr><td>9</td><td>1.1</td></tr> <tr><td>10</td><td>1.4</td></tr> <tr><td>11</td><td>1.2</td></tr> <tr><td>12</td><td>1.9</td></tr> <tr><td>13</td><td>1.9</td></tr> <tr><td>14</td><td>1.7</td></tr> <tr><td>15</td><td>1.8</td></tr> <tr><td>16</td><td>1.8</td></tr> <tr><td>17</td><td>1.8</td></tr> </tbody> </table>			No.	Total M2	1	2.6	2	1.9	3	1.9	4	1.8	5	2.3	6	1.7	7	1.6	8	1.3	9	1.1	10	1.4	11	1.2	12	1.9	13	1.9	14	1.7	15	1.8	16	1.8	17	1.8	<table border="1"> <tbody> <tr><td>18</td><td>1.8</td></tr> <tr><td>19</td><td>1.8</td></tr> <tr><td>20</td><td>0.8</td></tr> <tr><td>21</td><td>1.7</td></tr> <tr><td>22</td><td>1.7</td></tr> <tr><td>23</td><td>1.7</td></tr> <tr><td>24</td><td>1.8</td></tr> <tr><td>25</td><td>1.6</td></tr> <tr><td>26</td><td>1.7</td></tr> <tr><td>27</td><td>1.7</td></tr> <tr><td>28</td><td>1.7</td></tr> <tr><td>29</td><td>1.7</td></tr> <tr><td>30</td><td>1.7</td></tr> <tr><td>31</td><td>1.7</td></tr> <tr><td>32</td><td>1.6</td></tr> <tr><td>33</td><td>1.6</td></tr> <tr><td>34</td><td>1.6</td></tr> </tbody> </table>			18	1.8	19	1.8	20	0.8	21	1.7	22	1.7	23	1.7	24	1.8	25	1.6	26	1.7	27	1.7	28	1.7	29	1.7	30	1.7	31	1.7	32	1.6	33	1.6	34	1.6
			No.	Total M2																																																																										
			1	2.6																																																																										
			2	1.9																																																																										
			3	1.9																																																																										
			4	1.8																																																																										
			5	2.3																																																																										
			6	1.7																																																																										
			7	1.6																																																																										
			8	1.3																																																																										
			9	1.1																																																																										
			10	1.4																																																																										
			11	1.2																																																																										
			12	1.9																																																																										
			13	1.9																																																																										
			14	1.7																																																																										
			15	1.8																																																																										
			16	1.8																																																																										
17	1.8																																																																													
18	1.8																																																																													
19	1.8																																																																													
20	0.8																																																																													
21	1.7																																																																													
22	1.7																																																																													
23	1.7																																																																													
24	1.8																																																																													
25	1.6																																																																													
26	1.7																																																																													
27	1.7																																																																													
28	1.7																																																																													
29	1.7																																																																													
30	1.7																																																																													
31	1.7																																																																													
32	1.6																																																																													
33	1.6																																																																													
34	1.6																																																																													
c. Nivel de limpieza en las bocas de tormenta	<i>Nivel</i>	<u>Excelentes condiciones</u>	Se aprecian sedimentos		Muy sedimentadas	Totalmente obstruidas																																																																								
d. Tipo de basura o materiales presentes en el interior de las bocas de tormenta	<i>Tipo</i>	<u>Plásticos</u>	Materia orgánica	Latas	<u>Bolsas</u>	<u>Otro:</u> - <u>Madera</u> - <u>Hojas de arboles</u>																																																																								
e. Alteraciones constructivas o modificaciones físicas hechas a las bocas de tormenta	<i>Obs.</i>	<p>Se puede apreciar que en algunas bocas de tormenta se quebró la banquetta para conseguir una mayor área de captación.</p> <p>En una minoría muy despreciable se pudo observar que la banquetta se colapsó encima de la boca de tormenta, obstruyéndola casi por completo.</p>																																																																												

Notas adicionales: El área central de la glorieta es la única zona del área de estudio que no cuenta con colector alguno. También se pudo apreciar que hacia el sureste sobre la calle de Av. Boulevard Bugambillas, pasando la glorieta y fuera del área de estudio, existen otras dos bocas de tormenta.

Anexo 1.1 - Medidas de las bocas de tormenta dentro del área de estudio

No.	Largo (M)	Ancho (M)	Total (M2)
1	2.4	0.5	1.2
	1.7	0.8	1.4
	TOTAL		2.6
2	2.7	0.1	0.3
	2	0.8	1.6
	TOTAL		1.9
3	2	0.8	1.6
	2.8	0.1	0.3
	TOTAL		1.9
4	2	0.8	1.6
	2.4	0.1	0.2
	TOTAL		1.8
5	1.1	0.8	0.9
	1.8	0.8	1.4
	TOTAL		2.3
6	1.9	0.8	1.5
	1.8	0.08	0.1
	TOTAL		1.7
7	1.9	0.8	1.5
	1.0	0.1	0.1
	TOTAL		1.6
8	1.5	0.8	1.2
	0.8	0.1	0.1
	TOTAL		1.3
9	1.4	0.8	1.1
	TOTAL		1.1
10	1.4	0.9	1.3
	1.4	0.1	0.1
	TOTAL		1.4
11	1.4	0.8	1.1
	0.8	0.1	0.1
	TOTAL		1.2
12	1.9	0.1	0.2
	1.9	0.9	1.7
	TOTAL		1.9
13	1.4	0.1	0.1
	1.9	0.9	1.7

	TOTAL		1.9
14	1.9	0.8	1.5
	2	0.1	0.2
	TOTAL		1.7
15	1	0.1	0.1
	1.9	0.9	1.7
	TOTAL		1.8
16	2.6	0.1	0.3
	1.9	0.8	1.5
	TOTAL		1.8
17	2.6	0.1	0.3
	1.9	0.8	1.5
	TOTAL		1.8
18	2.6	0.1	0.3
	1.9	0.8	1.5
	TOTAL		1.8
19	1.9	0.9	1.7
	1	0.1	0.1
	TOTAL		1.8
20	1	0.8	0.8
	TOTAL		0.8
21	1.9	0.8	1.5
	2	0.1	0.2
	TOTAL		1.7
22	1.9	0.8	1.5
	2	0.1	0.2
	TOTAL		1.7
23	1.9	0.8	1.5
	1.9	0.1	0.2
	TOTAL		1.7
24	1.8	0.8	1.4
	0.8	0.1	0.1
	TOTAL		1.5
25	1.8	0.8	1.4
	1.1	0.1	0.1
	TOTAL		1.6
26	1.9	0.8	1.5
	2	0.1	0.2
	TOTAL		1.7

27	1.9	0.8	1.5
	2.2	0.1	0.2
	TOTAL		1.7
28	2	0.1	0.2
	1.9	0.8	1.5
	TOTAL		1.7
29	1.9	0.8	1.5
	2	0.1	0.2
	TOTAL		1.7
30	1.9	0.8	1.5
	1.8	0.1	0.2
	TOTAL		1.7
31	1.9	0.8	1.5
	1.9	0.1	0.2
	TOTAL		1.7
32	1.9	0.8	1.5
	0.8	0.1	0.1
	TOTAL		1.6
33	1.9	0.8	1.5
	2	0.1	0.2
	TOTAL		1.7
34	1.9	0.8	1.5
	1.0	0.1	0.1
	TOTAL		1.6

RESUMEN	
No.	Total (M2)
1	2.6
2	1.9
3	1.9
4	1.8
5	2.3
6	1.7
7	1.6
8	1.3
9	1.1
10	1.4
11	1.2
12	1.9
13	1.9
14	1.7
15	1.8
16	1.8
17	1.8
18	1.8
19	1.8
20	0.8
21	1.7
22	1.7
23	1.7
24	1.5
25	1.6
26	1.7
27	1.7
28	1.7
29	1.7
30	1.7
31	1.7
32	1.6
33	1.7
34	1.6
TOTAL	57.4

Anexo 1.2 – Mapa con la ubicación aproximada de las bocas de tormenta dentro del área de estudio



Figura 1: Elaboración propia (Acosta, 2015)

Anexo 1.3 – Registro fotográfico

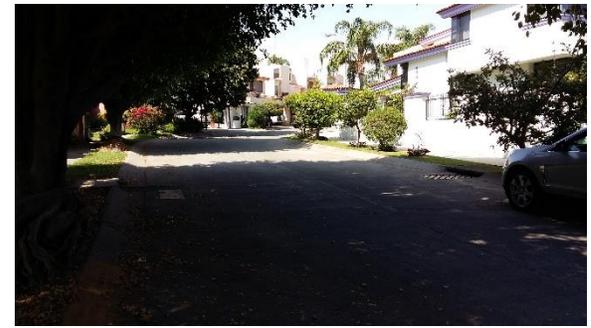
- **Fotografías tomadas de la Glorieta principal del fraccionamiento Ciudad Bugambilias [Fuente propia]:**



- **Fotografías de las calles principales dentro del estudio [Fuente propia]:**



- **Fotografías de algunos colectores pluviales dentro de la zona de estudio [Fuente propia]:**



ANEXO 2

Entrevista semiestructurada acerca de la propuesta a desarrollarse en el fraccionamiento Ciudad Bugambilias, Zapopan, Jalisco

Objetivo:

Con esta entrevista semiestructurada se logró conversar con el Dr. Arturo Gleason, especialista en la gestión integral de recursos hídricos, y docente del ITESO y de la UDG, acerca de la calidad del agua en Guadalajara, los contaminantes más frecuentes, así como del consumo por parte de la sociedad. También se entrevistó al Ing. Carlos Aguirre Pazcka, docente del ITESO y consultor reconocido en infraestructura urbana.

Guion de temas

1. Se entrevistó al Dr. Arturo Gleason, especialista en la gestión integral de recursos hídricos, y docente del ITESO y de la UDG.
 - a) Agua
 - i. Calidad del agua
 - ii. Calidad del agua en la cercanía del bosque La Primavera
 - iii. Contaminantes en la atmosfera
 - iv. Contaminantes en los pavimentos
 - v. Primeras lluvias
 - vi. Potabilización del agua pluvial
 - vii. Consumo por parte de la sociedad
 - viii. Ahorro de agua
 - ix. Desperdicio de agua en las ciudades

Frases de ayuda:

- Cómo considera usted la calidad del agua de lluvia que caen en Guadalajara.
- La calidad del agua pluvial mejora en las cercanías del bosque La Primavera.

- Qué tipo de contaminantes nos podemos encontrar en la atmósfera que afectan al agua pluvial.
- Donde se contamina más el agua, en la atmosfera o como escurrimiento superficial.
- Las primeras lluvias de la temporada son las que más contaminantes contienen, como lidiaría usted con estas lluvias integrando dicha medida en el sistema propuesto.
- Regresando un poco a la calidad del agua, deberíamos de concentrar más esfuerzos en potabilizar el agua pluvial o impulsar más medidas para prevenir que se siga contaminando el agua potable existente, cual es más importante.
- Conforme a lo que ha visto y estudiado, qué postura cree que tiene la sociedad respecto al uso del agua, y cuál es el gasto promedio por familia.
- Con el agua recolectada de lluvia por dicho sistema, que porcentaje de ahorro de agua obtenida de otras fuentes cree que se pueda alcanzar.
- Para finalizar con este tema, en su experiencia, cuánta agua, tanto pluvial como potable, estima usted que se desperdicia en las ciudades, especialmente aquí, en la ZMG.

b) Factibilidad de proyecto

- i. Posibles limitaciones o defectos del proyecto
- ii. Sugerencias de almacenamiento de agua pluvial
- iii. Usos del agua recolectada
- iv. Casos similares exitosos

Frases de ayuda:

- Desde su punto de vista, que defectos o limitaciones le ve a la implementación de concreto permeable en las vialidades de un fraccionamiento, y la colocación de un geocompuesto o una geomembrana por debajo para la recolección y conducción del agua pluvial.

- En su experiencia, cuál cree usted que sería la mejor manera para almacenar el agua pluvial recolectada, en una manera económica y viable.
- Cuáles serían los mejores usos que se le podría dar a dicha agua recolectada.
- Conforme a lo que le he platicado respecto al sistema que estoy proponiendo con la utilización de concreto permeable y un geocompuesto o geomembrana, ha escuchado usted algo similar que haya tenido el éxito esperado.

c) Beneficios

- i. Beneficios ambientales
- ii. Beneficios económicos
- iii. Beneficios sociales

Frases de ayuda:

- Me podría comentar desde su punto de vista, los principales beneficios ambientales que conllevaría la implementación de un proyecto como el que estoy proponiendo.
- Respecto a los beneficios económicos, cuáles cree usted que sean los más importantes derivados de la implementación de este proyecto.
- Finalmente, cuales son los mayores beneficios que este tipo de infraestructuras pluviales podrían traerle a la sociedad.

2. Entrevistó al Ing. Carlos Aguirre Paczka, docente del ITESO y consultor reconocido en infraestructura urbana.

a) Colectores pluviales

- i. Proyectos en los que estuvo involucrado o a estudiado
- ii. Problemas más comunes de los colectores pluviales
- iii. Costo total de su ejecución
- iv. Cantidad de agua que pueden recolectar
- v. Cantidad de agua recolectada aprovechada

vi. Vida útil

Frases de ayuda:

- Me podría platicar un poco en que proyectos de colectores pluviales ha tenido la oportunidad de estar involucrado o de haber estudiado.
- Cuáles cree usted que son los problemas más frecuentes que enfrentan los colectores pluviales durante su construcción y su vida útil.
- Cuánto diría usted que cuesta la implementación de un colector pluvial, y en que dimensiones, es decir, existe algún costo por metro cuadrado
- La finalidad de los colectores pluviales es la de recolectar toda el agua de la zona, pero sabemos que en realidad no siempre es así, cuánta agua cree usted que estos sistemas en verdad captan.
- Dándole continuidad a este último tema, que porcentaje o cantidad de esta agua recolectada es aprovechada.
- Aproximadamente cuantos años duran los colectores pluviales funcionando de la manera en que fueron diseñados.

b) Aspectos técnicos de los pozos de absorción

- i. Como funciona un pozo de absorción
- ii. Materiales utilizados y método constructivo
- iii. Problemas comunes con este sistema

Frases de ayuda:

- Me podría describir cómo se recolecta e infiltra el agua al subsuelo con ese sistema de pozos de absorción
- Platíqueme a grandes rasgos cuales son los materiales que usualmente se utilizan en la construcción de estos pozos y cuál es el método constructivo.
- Desde su punto de vista, que problemas le ve a utilizar pozos de absorción.

c) Posición política

- i. Objeciones o ayuda por parte del gobierno
- ii. Trámites y permisos

iii. Normativas aplicables

Frases de ayuda:

- Me podría platicar que papel adopta el gobierno frente a este estilo de proyectos.
- Para la aprobación de este proyecto, qué tramites y permisos son necesarios
- Que normativas creé usted, en su experiencia, que aplicarían para un proyecto de esta magnitud.

Lugar de la entrevista

Las entrevistas fueron realizadas en las oficinas del CUAAD de la UDG con el Dr. José Arturo Gleason Espíndola, y en el laboratorio de hidráulica del ITESO con el Ing. Carlos Vicente Aguirre Pazcka.

Fecha y hora de ejecución de la actividad

Martes 27 de noviembre del 2015 a las 9 am – Entrevista al Ing. Carlos Aguirre Pazcka

Jueves 05 de noviembre del 2015 a las 12 pm – Entrevista al Dr. Arturo Gleason Espíndola

Responsable de la actividad

Las elaboradas fueron realizadas por el alumno Ing. Guillermo Acosta Michel.

Materiales necesarios

Para la correcta y rápida ejecución de esta actividad se llevaron los siguientes materiales al área de estudio:

- Grabadora de voz (Celular)
- Cuaderno de notas
- Tableta
- Bolígrafo

ENTREVISTA CLAVE A-1

Datos del entrevistado:

Nombre: Ing. Carlos Vicente Aguirre Pazcka

Ocupación: Docente del ITESO

Datos de la entrevista:

Fecha de realización: 27 de noviembre del 2015

Lugar: Laboratorio de hidráulica, ITESO

Hora de inicio/fin: 9:00/9:58

Datos del entrevistador:

Nombre: Ing. Guillermo Acosta Michel

Ocupación: Estudiante de la maestría en Proyectos y Edificación Sustentables

Guillermo Acosta Michel (GAM en adelante): Bueno vamos a empezar con la entrevista, entonces empezaríamos con el tema de colectores pluviales, me podrías platicar un poco en qué proyectos de colectores pluviales ha tenido la oportunidad de estar involucrado o de haber podido estudiar, aquí en la zona metropolitana.

Carlos Aguirre Pazcka (CAP en adelante): Yo tengo una oficina de ingeniería de proyectos, de ingeniería urbana y obviamente nos dedicamos a la infraestructura urbana y a la infraestructura para abastecer la ciudad, cómo acueductos o como colectores en las vías terrestres en la parte urbana y en la parte de fuera, entonces sí hablamos de la zona metropolitana, la zona metropolitana maneja su drenaje pluvial en un sistema combinado, es decir, en un momento allá por 1950 se tomó una decisión, que no creo que haya sido muy buena, de manejar las aguas combinadas, el volumen que se generaba de aguas sanitarias era en relación tan poco y la descarga era al río Santiago, si las condiciones del río Santiago eran otras, que la descarga realmente no parecía ser nada que agravara o contaminara en la relación a lo que tenemos ahorita, estamos hablando de menos de quinientas mil personas, seiscientas mil personas a la ciudad, entonces se decide que para evitar las inundaciones se use un sistema que en tiempo de estiaje funcione con todo el drenaje sanitario, y en tiempo pluvial se combine el sanitario con el pluvial y así se ahorran ellos una conducción y servía que cambiaban o generaban un sistema de colectores que no existía. Entonces desde 1950 la ciudad planea un sistema, ¿que era la ciudad? un solo municipio que era Guadalajara, con algunas poblaciones a los lados como era Zapopan, Tlaquepaque, y Tonalá, que ahora son la parte conurbada de la ciudad. Guadalajara diseña con cuidado su sistema y empieza a trabajar con un sistema más o menos moderno, más o menos porque si bien hizo un análisis hidrológico de la zona acabo tratando de manejar como esquemas parecidos ciertas formulas experimentales que

usaron, que venía de Massachusetts porque se parecía mucho el territorio de allá que les había dado muy buen resultado, calibraron su lluvia y sacaron unos durante mucho tiempo un manejo de cincuenta y un milímetros ahora para la ciudad como un intensidad; Así la manejaron. Estaba muy bien planeada y muy bien acotada la ciudad y se hizo un sistema de colectores, de ahí nace el colector López Mateos, el colector Colon, y todos aquellos de una planeación y para tratar de mejorar las cuencas son interceptadas por colectores, es decir que el colector López Mateos era un interceptor de la cuenca de San Juan de Dios, y otros colectores interceptaban la cuenca de Atemajac y así van cortando y llevando a diferentes puntos, digo, a un punto en común a la salida al río Santiago, todas nuestra descarga, eso funcionó bien mientras la urbanización no nos rebaso. En el día el problema de colectores se debe en realidad a una mala planeación, o sea, parten de una buena planeación de ciudad y luego la ciudad se hace trampa, empieza a apoyarse en la infraestructura que creó y rebasa las fronteras de la capacidad de la infraestructura. Entonces podíamos decir que tontos son, ¿no?, rebasaron la parte, por ejemplo, todo el sur-orientado de la ciudad era ejidal, y ahora se convierte en privado y hay una bola de fraccionamientos que antes no se pensaba que se iban a urbanizar, y obviamente pues eso no fue cierto. Entonces, en esa parte el primer problema que tenemos es que no separamos las aguas, y eso nos va a dar en el futuro cercano, que, ya es, pues un problema de tratamiento, apenas estamos tratando las aguas sanitarias, en dos grandes plantas que yo digo que es un buen adelanto, pero que al final estamos comprometidos y obligado a separar los sistemas, lo que nos va a llevar no menos de veinticinco años si se da la tarea de hacerlo o más por la complicación de que las casa que también tienen un sistema combinado, es decir, todo va a dar a un solo drenaje, que también se debería de desconectar. Entonces el concepto de pluvial como tal, si se da porque capta las aguas pluviales, pero no maneja las aguas como tales, sin embargo, hay partes de la ciudad que sí logramos ya aumentar en una segunda etapa, más o menos los ochentas que empezaba el término ecológico, que no era todavía sustentable, debemos de separar los sistemas, entonces hay zonas donde eran irregulares que se regularizan que curiosamente ahora tienen mejor sistema que las zonas regulares, captan, regulan y separan. Bueno, entonces, iríamos en ese camino decidir si vamos después de tratar a separar los drenajes para tener realmente drenajes pluviales y drenajes sanitarios como la condición ideal de la ciudad. ¿Qué le pasa a la ciudad?, bueno, lo primero está rebasado, su sistema del municipio de Guadalajara que sostenía la parte central y a la que atraviesa prácticamente todos los colectores, pues obviamente se ve rebasada al momento en que recibió otras descargas, y además empieza a transitar desde el inicio de los cincuenta a la fecha la vida útil de las tuberías que ya se rebasa, hay partes de la ciudad donde tienen tuberías de 70 años de edad y que no ha sido sustituidas ni siquiera, vamos poniendo, en un esfuerzo normal tiene 70 años pero sabemos que están en una condición terrible porque son tuberías que eran de concreto simple y otras de inclusive de barro, como las descargas en el centro de la cd y en zonas muy localizadas que tiene el organismo que representa un proceso de sustitución que la ciudad empieza pero que no tiene un programa permanente para que esto se dé y obviamente sería el momento ideal para ir haciendo esta transición entre sistemas combinados y sistemas separados en las descargas de las casas, aun cuando drenadas a la misma tubería en un primer momento, seguirnos preparando cada acción que tuviéramos a una separación. Entonces si bien, también uno de los problemas que se decía en las ciudades, que de origen teniendo pues unas series de arroyos que eran el sistema

primario de salida de agua pluvial, pues bueno lo empezas a sustituir por calles, por colectores, y por esto en un sistema como el que dijimos que se decidió, y decimos bueno, en una acción dejamos una ciudad limpia, no tenemos arroyos mugrosos, etc. y se pierde la red hidrográfica de la ciudad, el primer asunto es cuando hacemos alameda primero el río San Juan de Dios que no sea y luego decidimos en el momento en que lo estamos contaminando cerrarlo para sanear y luego nos olvidamos de que podíamos haber dejado las dos cosas, tener un arroyo con agua pluvial y colectores sanitarios a los lados, inclusive podríamos haber cometido el pecado de seguir conservando los arroyos y tener colectores auxiliares cuando este arroyo se tratara, se desbordará, y pudiéramos usar los colectores como apoyo, y no al contrario, entonces, perdemos en el desarrollo de las ciudades esta parte de que la gente consideraba los arroyos sucios y a la hora de la hora acabamos tratando de desaparecerlos, hasta la fecha, la gente no quiere estar cerca de los arroyos pero no porque sean un recurso si no porque por lo general son o basureros o conductores de aguas sanitarias. Entonces, por eso diríamos que urge completar todo eso. Ha habido cinco planes de colectores en la ciudad, el más ambicioso en el 80 que no se ha completado, en el 94 se volvió a hacer una acción que tampoco se ha contemplado, y otra que también hace su propuesta que tampoco ni siquiera ha iniciado así como estrictamente, entonces yo decía que ¿pedirías de eso?, que se completara cualquiera, ¿no?, o sea, y si todavía pudiéramos mejorar la alternativa de decidir en este momento evolucionar hacia tener aguas limpias en los dos sentidos, sería ideal, pero cualquiera de los sistemas de colectores habría sido excelente.

GAM: Okay muy bien, ya platico alguno de los problemas que vio de los colectores, pero por ejemplo indagando más en este tema, que otros problemas más frecuentes presentan durante su construcción y su vida útil.

CAP: Okay, mira la cd de Gdl tiene dos maneras de construir muy tapatías, una de ellas es, las tuberías no eran tan factibles ni tan fáciles de conseguir como ahora, que de hecho no lo es todavía, tener tuberías grandes necesita cierto tipo de materiales y cierta fabricación, obviamente el que entró con más poder fue el concreto, y durante mucho tiempo el concreto y los derivados del cemento como las tuberías de asbesto y cemento fueron, los conductos ideales para conducir, ¿Por qué? permitían manejar secciones muy amplias, sin embargo en Gdl también en el 50 se planeó o desde antes desde el colector de San Juan de Dios y otros, para tener estructura de diámetro tan grandes o de secciones tan grandes, se eligió el arco como un proceso estructural, entonces los colectores antiguos. inclusive los de López Mateos en algunos tramos de Mariano Otero en otro, todavía son de mampostería de piedra si, puestos en un arco, con un recubrimiento abajo de concreto para la conducción, el arco tenía la ventaja de que al tener secciones muy amplias pero, sin acero, entonces tiene esta facultad de tener una serie de colectores en arco funcionando que son muy efectivos y muy duraderos, en realidad ha seguido operando, nosotros hemos inspeccionado los viejos y los nuevos, y en términos de la edad y servicio que tienen en realidad siguen funcionando más allá de lo que nosotros pensamos, muchísimo mejor que la tubería, la tubería al tener recubrimientos tan cortos, ha empezado a tener problemas de erosión y bueno, se acaba la vida útil de la tubería, más o menos entre 15 y 25 años y hay que hacerle algo y ese algo no se ha hecho, entonces uno de los problemas más serios que tenemos de construcción y mantenimiento son las tuberías que necesita ser remplazadas en un momento determinado. Entonces, pero la construcción en realidad no es un

problema, el problema es cuando entras en las zonas que ya están en la reposición de tuberías, porque necesitas una obra muy invasiva que por la mayoría de las partes que la ciudad eligió como calles, que son también el nido, el lugar donde va la infraestructura, si voy a cambiar el colector López Mateos tengo que parar la avenida López Mateos y no nos gusta mucho, y además se considera que las obras que causan problemas y luego no se ven, no son políticamente muy convenientes, entonces la política le cambia mucho, o le huyen mucho a las obras de infraestructura que representan una molestia en la construcción y ninguna ventaja en el funcionamiento, o sea la gente no ve, no siente, si siente y si disfruta pero no ve ni es consciente de que el servicio está funcionando gracias a que cambió, ni tiene porque saberlo, la gente quiere que si llueva se vaya el agua y si abren la llave salga el agua, pue es ese el asunto. Entonces, esos son los dos enemigos, más la parte política que la parte de construcción, porque podemos tener nuevos materiales, podemos hacer muchas cosas, pero también implican una inversión importante, entonces el costo junto a la flojera de tener que entrarle a obras muy invasivas, y que molestes a la gente, le sacan. Entonces, por el otro lado no se ven, nada más te acuerdas de ellas cada que llueve, echan chispas y ahorita otra vez ya volvimos a como si no pasara nada, nos mortificamos más por el pavimento que por la parte de los colectores, pero la problemática en general es que tiene una serie de puntos de inundación, que todavía no se han vuelto graves en el sentido de que destruyan partes de la ciudad como tal, aunque ya cuestan vidas, hay un reporte de vidas porque fue arrastrada una persona a un canal y etc., cosas que no deberían de pasar en la parte urbana pero ya están pasando desde hace rato, sin embargo en términos de problemática es más problema para el tránsito en la ciudad que en si la propia inundación, se da en puntos muy específicos de los que más conocemos, dentro de plaza del sol porque nos paramos, o el que está allá en Cruz del Sur y Federalismo, y Colon que también para a los servicios, son avenidas de mucha importancia y a la hora de la hora eso es lo que nos molesta, y el número de casas que pueden ser inundadas, que si sacas tus asuntos ya son mucho menor que en un inicio, se ha controlado, pero sigue habiendo gente que pierde parte de su drenaje porque hubo una inundación, descontando a aquellos que están en las zonas de riesgo, o sea que van y se ponen junto al arroyo o qué manera clara están en un punto muy bajo, donde se les vende o donde invaden y se desplantan, y cada año van a sufrir un nivel alto hasta que van echándole material o van trayendo y acaban, por lo general son colonias que están en puntos muy bajos y que la gente se sale en tiempos de lluvia y vuelve cuando ya paso, es una cosa muy drástica, pero bueno, en realidad si tiene problemas de inundación pero tienen más problemas de molestia porque la ciudad se para en su esquema de movilidad, eso es lo que más le molesta a la ciudad, más que la inundación misma. Pero bueno, ese es el problema básico de la ciudad.

GAM: Okay, muy bien, bueno, cuanto diría usted que cuesta la implementación de un colector pluvial de las dimensiones que hemos estado platicando o existe algún costo por metro cuadrado.

CAP : A ver, no puede ser un costo por metro cuadrado como tal, porque cada cuenta es diferente, por ejemplo una cuenca, vamos poniendo una cuenca chica puede tener un colector muy grande porque es una cuenca muy plana, por ejemplo, o al revés una cuenca grande tiene muy buena pendiente y obviamente tiene secciones iguales o más chicas que otra que es más plana, o sea no, es difícil, tener el asunto, y la relación de los diámetros no es lineal, parece más geométrica, entonces no va por pulgada el diámetro, 4 pulgadas no cuesta el

doble que 2, entonces puede costar cinco veces más caro o tres depende de la relación de material, y de refuerzo de la tubería, entonces, los diámetros grandes son, vamos poniendo, sumamente costos, los procesos de conducción son muy costosos, pero si la pregunta es cómo un precio por metro lineal o por metro cuadrado de la ciudad por ejemplo, el PREMIAM dice que necesita \$3500 millones de pesos para hacer arreglos en la ciudad, si lo divides entre el metro cuadrado de la ciudad no es tan costoso, porque es un lujo que se usa mucho para tratar de justificar grandes precios, yo creo que más bien debería de decir, cuál es el presupuesto de la ciudad en términos de infraestructura y que representa la inversión que tenemos que hacer, entonces, ya podríamos tener una relación si ahorita usamos como precio índice los \$3500 millones de pesos que cuesta, bueno, divídelo entre los 500 km² que tiene la ciudad y ese podría ser un parámetro, tantos millones de pesos por km² o por m², para tener una solución aunque el PROMEAM nada más maneja propuestas de tanques de contención y de tensión y algunos colectores para poderle entrar, yo no creo que solucione de fondo el problema pluvial si me está dando una alternativa para poder controlar las descargas o las zonas de inundación que se tienen, ¿no?, pero no piensen que se tienen que sustituir todos los colectores de la ciudad, no piensan en separar los sistemas, no piensan que podemos recuperar algunas zonas de, y no piensan en los controles de origen como tales, las azoteas o, en fin, otras posibilidades para la ciudad, no lo contemplan.

GAM: *Y por ejemplo un colector pluvial, así como el que pusieron en López Mateos o por ejemplo creo que pusieron uno afuera de Bugambillas, ¿no?, me parece que ahí que toda esa.*

CAP: Si hay una parte, pero esas son tuberías que son más chicas, por ejemplo, una tubería estándar de 1m de diámetro que es una buena tubería, a que le llamamos colectores, a las tuberías mayores de 60 cm, a las tuberías menores de 60 cm les llamamos atarjeas o tuberías, entonces con ese criterio de 75 cm en adelante estaríamos hablando de tuberías como grandes o de colectores, una tubería de 1m es una buena referencia, debe estar costando el metro más o menos instalado como 2 mil pesos, o sea de abrir, instalación, cerrar y todo lo que le hacen, y así podríamos hacer parámetros pero sería una tubería estándar para poder manejar un drenaje pluvial, sobre todo cuando la ciudad en el criterio de conducir el 100% de las aguas pluviales, si empezamos a tener otras medidas esos diámetros podrían ser muchísimo menos, vamos, de menor sección, si pudiéramos tener medidas de control. Entonces, el término de fijar un precio yo creo que más bien depende las secciones de los programas, y de lo que estemos diciendo cambiar la ciudad, cuanto te va a costar, vamos a poner, \$6 mil millones de precios entre que cortes, pavimentos, sacas tubería y todo, pero también lo tendríamos que ver en la línea del tiempo, o sea tarde o temprano tienes que reponer pavimentos y esto y aquello y la ciudad se va renovando o rehaciendo, renovando es una palabra, para pensar que no nomás sustituyes si no que renuevas sus sistemas por otras opciones mejores, ese sería como la posibilidad. Recordar que la ciudad es vieja, no es una ciudad fácil de manejar.

GAM: **Bueno la finalidad de los colectores pluviales de acuerdo a su diseño es captar toda el agua de lluvia de la zona, pero muchas veces no es así, cuánta agua cree Uds. en porcentaje o cuánta agua cree que capte en verdad de la zona que está diseñada.**

CAP : En realidad normalmente en la ciudad plana de Gdl, vamos poniendo la zona de los dos niveles, la zona vieja, la ciudad tenía un criterio de que más o menos entre el 60-63% de la superficie bruta estaba ocupada por la vivienda, por la edificación y el resto estaba

manejado por áreas verdes y vialidades, vialidades como casi el 30% y áreas verdes en aquel tiempo ,era primero el 10 y luego hasta el 15, pero si somos muy estrictos decimos 15 de áreas verdes, 60 de vialidades, digo, de vivienda que eran el 75, y 25 porciento de vialidades. La verdad es de que en un sistema combinado el 60% íntegro del agua se va de azoteas al drenaje, y en las calles bueno en las bocas de tormenta y todo tenían la función de absorber esas otras partes, cuando ves agua rebasada, es que la tubería que tenemos ya no fue capaz de recibir el agua de las casas y el agua de las calles, por eso bota por las alcantarillas, entonces quiere decir que el área para la que fue planeada el colector se rebasó, si tenías una área de unidad uno, pues a lo mejor está recibiendo un 20 o un 10 o un 30 por ciento más de área que se decide que se puede atener y se conecta al sistema existete que es lo que paso, lo único que empiezas es a rebasar el sistema, curiosamente quien lo sufre el que no lo sufría antes, el de aguas abajo funcionaba todo muy bien, amplias la zona de captación y obviamente tienes, pero si, en la ciudad de Gdl la mayoría del agua es captada por las azoteas, que son las principales aportadoras de agua pluvial porque están conectadas directamente a este sistema combinado, entonces, el agua que ves por superficie que tu consideras que es un tirante muy grande es porque ya no pudo entrar a las tubería y sigue corriendo a las calles que funcionan como arroyos o como conducciones, que en condiciones normales como pueden estar diseñadas, pero en condiciones rebasada, con tirantes muy altos de calle, pero en esa relación podríamos manejar la mayoría de la ciudad, cuanto más se densifica, en el agua pluvial no importa, porque siguió ocupando el área, aunque sea un edificio de 20 departamentos, el agua que llueve proporcional en la misma área que si fueran 10 viviendas de, unifamiliares, el área de desplante es la misma para una casa de 2 niveles que para un edificio de 20, lo único que cambia es la aportación de drenaje sanitario, que del 3 o 4% que significaba la vivienda unifamiliar en relación al pluvial, es decir del 100% de pluvial el 5% más o menos era sanitario, ahora al aumentar la densidad, probablemente ya doblamos la cantidad de drenaje que para la tubería no significa mucho, pero si al momento de funcionar en toda su capacidad, traes un 5-7% más de agua sanitaria que antes no existía, por densificación, pero la ciudad no tiene problema de captación como tal, el problema al revés, de que todo lo que cae, cae en una azotea que tiene como función irse lo más pronto posible al drenaje, cosa que se cumple bien, porque, porque si no lo haces tu casa se llena arriba en la azotea y te va a causar una serie de problemas que vas a detectar, sino de inmediato, en un plazo corto, porque se tapó tu drenaje y te tira por los lados, se humedece o etc. y la costumbre de las ciudades son, efectivamente las azoteas planas, entonces no es un problema de captación es un problema de que ves en la calle de no, de conducción, no alcanzamos a quitarle a la calle que es lo que es todo, y como la casa tiene una carga, siempre va a inyectar por velocidad su descarga, a menos de que este muy abajo y si sucede que el agua pueda regresarse por las tuberías, o que las casas estén en niveles muy bajos, y la calle y el colector este cargado y en algunas casas pueda botar el agua al revés, que hay puntos en la ciudad que suceden.

GAM: Okay, dándole continuidad a este último tema, que porcentaje o cantidad de esta agua recolectada es aprovechada.

CAP : Este, en realidad, la ciudad te podría dar una contestación que le da desde hace mucho tiempo a todos, el colector de San Juan de Dios, y el colector de Atemajac que son la cuencas que más aportan, tanto en lo pluvial como en lo sanitario, en las dos cosas generan energía eléctrica, las dos, toda el agua sanitaria que usas es usada para generar energía en la planta

de Colimilla, obviamente cuando tienes la pluvial, sí tienes más equipo funcionando porque tienes muchísima más agua, pero es aprovechada en ese tiempo corto y se sube a la red de comisiones, o sea, aunque la ciudad no la necesite es mete a la red de comisiones y empiezas a conectar otras en sus temas de interconexión, que es una respuesta que por lo general calla a todos, que puedas alegar que está contaminada y que vergüenza y todo lo demás, y que el rollo, digo, el río Santiago se contamina hasta las cachas, si, de hecho las plantas de Agua Prieta está en el punto de quitar ese asunto y su principal uso si va a ser la generación de energía además de la descarga con aguas en condiciones de descarga, pero en realidad generamos energía y es un punto muy valioso que casi no se menciona, y que como descarga es bien interesante, yo diría ¿qué valor le damos de aprovechamiento los que la recibimos?, ninguno, para nosotros el sentido de la lluvia en esto, es un sentido de defensa, a nosotros tratamos las lluvias, como son lluvias violentas, lo que nosotros tratamos de hacer es una conducción rápida del agua para deshacernos lo más pronto del problema de inundación, sin ningún pensamiento de reúso o de retención, es como enemiga el agua en una determinada parte, destructora, la primera parte que tenemos que invitar es esa parte, también el régimen de lluvia es tan violento que acaba siendo poco útil, nos cae el metro del agua en 4 meses y yo, cuando nos damos clase en ese sentido con esa pregunta, quisiéramos tener un régimen como los ingleses, los ingleses reciben 400 mm anuales en promedio, pero todo el año, en pequeñas lluvias entre esos chipichipis que dicen los de México, se da una lluvia muy fina, pero por lo menos tiene una humedad como de riego de goteo, sus vacas gordas, y esta, esa humedad que entra del atlántico que entra de manera directa los tiene en unas condiciones impresionantemente buenas, sin necesidad de tener grandes cantidades de agua, en cambio nosotros, como chapuzón, lo que decían del ciclón o lo que paso en monterrey, efectivamente les cayó la mitad o el 40% de toda la lluvia del año en una noche, entonces es que haces con todo eso lo único es que te destruye, como ven los agricultores ahorita ese asunto que para unos es una bendición, horrible, pero esta agua es todo este ciclón, tiene lluvias en Zacatecas, en Coahuila, donde hace 5 años no llovía, imagínate lo que significa que los ciclones puedan dar tal cantidad de lluvia lugares donde prácticamente subsisten de eso, o a las presas de Sinaloa, o a la sierra de Durango, es la parte donde se mantienen con agua, a unos nos estamos ahogando y uno nos estamos, ese es el problema del régimen de lluvias tan copioso en un tiempo, y luego tenemos prácticamente cuatro, ocho, doce, dos terceras partes del año sin agua y una tercera parte del año con unas lluvias enormes, ahora hemos empleado por los ciclones casi 2 meses en temporada del agua, de 4 casi a la mitad del año pero no con esa agua continua, si no esa clase de situaciones, cinco días de lluvia y luego nada otra vez, entonces difícil pensar en el reúso cuando tú piensas en el agua como casi una molestia.

GAM: *Entonces digamos el agua es más utilizada para generar electricidad, que para irrigación o para aprovecharla para edificios, tal vez.*

CAP: O sea, para la agricultura es el principal consumo del agua.

GAM: *Pero digamos aquí en la ZMG.*

CAP : En la ciudad ni siquiera para eso, o sea, hasta te friega el jardín, es lo único que, a lo mejor no lo riegas porque llueve, pero no es vista como un beneficio, es vista como no más para que quite el calor, refresca a la ciudad, pero la generación de esa energía es la única que por la posición que tiene la ciudad, y que se juntan los arroyos y la descarga grande la de San Juan de Dios y la de Atemajac, y las dos cuencas recién cuenca de mucha importancia,

que genera un gasto fijo de aguas negras, casi 8 m³ por segundo de agua y en tiempo de lluvias es desahogo

GAM: Okay, bueno ya platico un poco de eso, pero aproximadamente cuantos años duran los colectores pluviales funcionando de la manera en que fueron diseñados.

CAP: La vida útil de un colector en infraestructura grande, se debe de diseñar con unos 50 años, si pero entre mínimo el tiempo no sea grande unos 25 años, entonces tus materiales deben de ser capaces de soportar 25 años en el uso del colector, ¿qué paso? muchos de estos materiales son resultaron como querían, por ejemplo hubo muchos problema con el asbesto-cemento que es una tubería maravillosamente buena de conducción, que le echaron muchos asuntos de canceres y de que al final no fueron ciertos, pero una vez que rompes la primera capa se vuelve muy frágil, entonces se rompe con facilidad y fue un producto que hubo que sustituir mucho, la ciudad todavía tiene mucha tubería de agua de asbesto-cemento, y la de concreto el problema es de que las primeras venían sin sello hermético, entonces al estar conduciendo agua sanitaria también tienes un problema de contaminación por cada una de las juntas de la tubería, cosa que en las tuberías nuevas desde hace tiempo no sucede, la tubería de plástico de PVC fue la que quito ese problema, y hemos tratado de sustituir todas con una tubería que tiene una mayor capacidad para estar, como se llama, en las condiciones de conducción y dentro de una tierra que el concreto, el concreto tarde o temprano su función se acaba, en 5 años cuando mucho.

GAM: Cinco años, okay, bueno cambiando un poco el tema a aspectos técnicos de los pozos de absorción, me podría describir como se recolecte e infiltra el agua al subsuelo con este sistema de pozos de absorción

CAP: Mira, el pozo de absorción tiene una función y que no es nada mala, sobre todo cuando tenemos un terreno como el de Gdl, pero en primer lugar no en todo en Gdl es jal y arena, hay otros materiales que sean, pero en las partes de jal y arena funcionan bien, con el inconveniente de que pueden saturarse ciertas partes y dar problemas a las internaciones, que acabábamos resolviendo retirando por lo menos los 2 o 3 primeros metros de absorción de la capa, cambiándolo por una tubería cerrada para evitar esos asuntos de perdida de finos y de asentamientos. Pero hay, el pozo de absorción, la gente tiene, el público en general, tiene la idea de que yo puedo meterle toda el agua que quiera y el agua se va a ir como una tubería común, y de alguna manera si así se ha manejado para hacerlos populares, ya tenemos la solución metamos toda el agua al subsuelo y ya, ahí se queda, pero cuando hacemos los ejercicios de permeabilidad, la velocidad de infiltración es muy baja, es decir el pozo de absorción se carga, se llena, y va teniendo una velocidad para poder ir pasando las capas de material, que no funciona como nosotros pensamos, tal vez la primera vez pues el terreno está muy seco y nos reciba gran carga de agua y tenga muchos espacios vacíos disponibles , pero ya la segunda vez, se satura y ya no recibe más, entonces pueden haber terrenos saturados que a la tercera o cuarta lluvia ese pozo de absorción no esté dando la función, ya no esté operando como quisiéramos ya no estará recibiendo el agua pluvial, sino simplemente llega el agua, no cabe, pues nada mas no la deja entrar y el agua sigue corriendo por superficie, entonces también tiene un problema de que arrastra finos, que se ha resuelto, o se trata de resolver metiendo geotextiles alrededor del pozo para retener los finos y que no se vayan, o sea que el agua no los pueda arrastrar con facilidad y filtros de grava también para disponer que el agua pueda estar partiendo, son buenos, pero solamente en partes y con un control, en las zonas en donde tenemos buenas

capas de arena, de jal, la vivienda de interés social pues tienen prohibidos, porque sus niveles de desplante son plataformas y al momento de cimentaciones de metro, metro y medio tienen buena capacidad de carga, al momento en que tenemos infiltración en estas zonas la estructura de suelos se nos descompone y se vuelve inestable, flotan, entonces prohibido tener pozos de absorción en las situaciones donde tenemos viviendas de interés social. En arena, las rupturas de tuberías son fatales, hacen que, como es un material que se erosiona con mucha facilidad tiene baja cohesión, pues automáticamente no es el mejor elemento para ser expuesto al agua, a menos que tenga tratamientos para convivir con el agua, entonces ya no es tan, ni tan barato, ni tan bueno, usar capacidades que tiene el terreno, sin embargo la capa de jal que tenemos aquí puede variar de arenas entre los 7 y 8 metros en las zonas, hasta lugares que tienen más de 40 metros, entonces tiene unos niveles friáticos, la ciudad tiene un gran nivel friático y de ahí se mantuvo mucho tiempo, de explotar ese nivel, pero una vez que empieza a sacar agua también aparecen los problemas de agrietamientos, de asentamientos, y todo lo demás. Entonces por un lado es buenísimo para una cosa, pero por el otro lado no es muy amigo de la infiltración sin control con la edificación, sobre todo si no consideras que los puntos de cimentaciones tienen que ser controladas. No es la solución para el manejo pluvial.

GAM: Bueno ya platico un poco de las siguientes dos preguntas, pero de todos modos las hare, platíqueme a grandes rasgos cuales son los materiales que usualmente se utilizan en la construcción de estos pozos y cuál es el método constructivo.

CAP: La mayoría son tuberías, la tubería clásica del concreto simple y armado en diámetros grandes, el concreto ya con un casquillo de acero para hacerlo más liviano pero al mismo tiempo con resistencia, la tubería de polietileno de alta densidad, el PVD que ya maneja diámetros de los pequeños a los grandes, la tubería de PVC que es muy buena hasta diámetros de 60 cm, de ahí en más el espesor necesita ser tan grande que sale, anti-económica, necesita empezar a aumentar el espesor de sus materiales porque no tiene una capacidad estructural importante, hay varias tuberías que se han usado para el riego que no son muy buenas para manejarlas en lo urbano, pero básicamente son esos materiales. Otro material que es la combinación de fibra de vidrio con ciertas arenas, silicatos, que es tubería de PDF, de polietileno de resinas y fibra de vidrio, un material muy buena, muy liviana, pero más cara, de ahí nos vamos a las tuberías de acero, que en pluvial y en drenaje no son muy utilizadas más que en hincados o en carreteras, cuando tenemos que usar arcos de lámina estructural algo que no son, sino están expuestos y no reciben mantenimiento no son muy utilizados, por falta de eso, entonces tenemos buenos materiales, aparte de poder construir cualquier tipo de túnel usando tecnología combinada de concreto resinas, concreto plástico recubierto, hay muchas combinaciones. Pero sigue siendo básicamente concreto, plásticos en sus formas, y los de fibra de vidrio que traen otra opción un poquito diferente y que además hacen diámetros muy grandes, con muy buena capacidad estructural.

GAM: Okay, desde su punto de vista que problemas le ve a utilizar los pozos de absorción.

CAP: Lo que decíamos, problemas de cimentación, de no control en los finos, quitarle los finos a la arena es dejar un material que se puede, no que se puede, se vuelve sumamente erosionable muy poca cohesión, además tiene que ser un buen estudio de recarga, no son los pozos de 10 metros los que solucionan, la limpieza de los pozos es otro problema, y que estas inyectando ciertos contaminantes sin control, es decir, el agua pluvial urbana no

es un agua muy limpia, entonces tendrían que tener los pozos de absorción un control para que las primeras lluvias que son las que llevan la mayor parte de la suciedad del agua de las calles al drenaje como primeras lluvias, las que llamamos como la lluvia de drenaje, la primera descarga, que limpia todos los pozos de la calle, entonces se convierten en pozos que pueden tener cierto tipo, que no son muy buenos para la calidad del agua, entonces podemos estar teniendo una inyección al suelo de agua que no es muy deseable, aceites, todos los contaminantes de los pavimentos, una vez que son lavados por la lluvia entonces podríamos estar usando la calidad del agua mejora, muchísimo. Yo creo que también cumple una función que nadie nota de retención, es decir, muchos pozos de absorción representan un volumen almacenado de agua que se supone que en el transcurso de uno o dos días puede ser percolado por el pozo, y vuelve a estar listo y vuelve a tener, entonces “n” números de metros cúbicos se encuentran ahí abajo, como almacenados soportando esos picos de los, por eso se ven tan efectivas las primeras lluvias, porque guardan agua y rompen picos.

GAM: Muy bien, ya el último tema sería digamos la posición política, este sería un poco más dirigido hacia el proyecto que le platique, la utilización del concreto permeable con la geomembrana, la idea del proyecto es implementarlo digamos en fraccionamientos, la idea inicial es en Bugambillas tomándolo como marco de referencia, entonces me podría platicar que papel adoptaría el gobierno frente a este estilo de proyectos.

CAP : Yo creo que el gobierno, el municipio de Guadalajara, hace muchos años no mas no lo fue como perdiendo, opto a diferencia de otros lugares y porque el suelo se lo permitía, manejar puros pavimentos rígidos, es decir, Gdl dijo aquí nada más meto concreto, pareciera que había bautizado, apadrinado, a las cementeras, pero no, lo que buscaba era tener un mínimo de mantenimiento contra lo que le pasaba en el centro con los pavimentos de asfalto que resultaban, lo bonito del asfalto es que viste muy rápido, lo tienes en un día y al siguiente día lo estas usando, pero tenía un mantenimiento permanente que se tenía que renovar cada 5 años con sellos y todo, y que cuando lo descuidabas pues se degradaba pues pasa lo que ya conocemos, la ciudad se ve bombardeada, en cambio el concreto le daba vidas útiles de cerca de 15 o 20 años en darle molestias, muchos de los fraccionamientos, si están bien puestos, de los fraccionamientos de aquí de providencia, jardines del bosque, tienen pavimentos de concreto, la misma calle de Niños Héros duro años con los concretos muy grandes de su tiempo, sin ningún problema de reparación, entonces los ayuntamientos decían lo que más dure y lo que menos operación necesite, entonces las preguntas para el pavimento de este tipo serían las mismas, primero, que capacidad tiene o que duración tiene ya en el trabajo, y que gastos de operación tiene, aquel era prácticamente era nada más calafatear las tubería, digo las juntas, mantenerlas a raya, que lo siguen haciendo más o menos, una chamba que no se ve pero que curiosamente se hace bien y a la hora de la hora, era todo, en cambio los asfaltos era otro problema, nuevecitos un año no daban problemas pero hay unos que desde que los ponen a los 3 días ya están dando problemas, y el gran problema, uno de los ataques al concreto permeable es ese sello que se va haciendo encima de la porosidad con el tiempo por el propio material, con escurrimientos, con la tierra que dejo entrar y que pese a todo lo que se le pregunta al concreto pues acaba diciendo de que le vas a dar un mantenimiento con agua a presión, con barredoras y todo, pero nadie les dice cuál va a ser el verdadero costo de mantenimiento, y si la duración del pavimento tanto como superficie rígida rodante, y de

buena calidad va a sostenerse por mayor rato que el concreto normal, y cuanto vida útil va a tener como estructura de absorción, es decir que funcione para lo que fue diseñado, pareciera que te dicen que mil-ocho mil años, pero no hay un estudio que diga como el otro concreto, mira, se proyecta para tanto y ven a verlo este tiene 20 años, este 10 este ya tiene 5, entonces, una de las grandes partes del ayuntamiento de resistencia era ¿deberás durará?, y otra confusión, se propone como una solución para el problema pluvial, y no es eso, en realidad el concreto poroso parece una gran comodidad, por ejemplo para las calles donde se está lloviendo puedas cruzar seco, donde los tirantes de agua para los automóviles sean más cómodos, porque tienes una calle prácticamente seca o con tirantes muy bajitos porque el agua va circulando hacia abajo y en otras posiciones, como retenedores de tiempo del agua, es decir, en vez de ser tanques tienes pavimentos que de todos modos tienes que poner, y en vez de quedarlos así vacíos pues sería muy suave que todo el pavimento de Gdl fuera poroso, y al mismo tiempo tendrías una gran cantidad de agua retenida, sería muy fácil transitar, tu haz ido a cualquier parte del centro, y la gente se quita los zapatos, trae zapatos colgándose, trae otros zapatos para cruzar en tiempos de lluvias, eso se podría evitar, sería una comodidad muy interesante, o sea, su función no es deshacerse o es mágico, o no es una captación propia de agua pluvial como tal, sino que presenta una ventaja para la parte urbana de la ciudad, una comodidad, y para la circulación de vehículos en términos de tirantes, pero si es una apuesta para que funcione como boca de tormenta, no creo que cumpla la función desde ahí. Ahora, porque es ecológico, pues porque pudiera, yo quiero decir, pudiera decir, que puede conducir una gran cantidad de agua a un punto determinado usando el mismo diseño geométrico de las calles, es decir, como si fuera una gran boca de tormenta en términos de ir poniendo el material del agua en algún punto, pero esa agua tiene que llegar a algún lado y tiene que ser conducida por otros conductos y no es el mismo pavimentos el que las conduce, debe de tener, llegaría el momento en que sería incapaz de hacerlo, el experimento de plaza del sol fue el peor lugar donde pudieran escoger para meter un pavimento, sabiendo que necesitaría ser así una esponja del tamaño como de 80 metros para haber chupado todo y se desapareciera, yo creo que lo que trataba era o por lo menos así lo pienso yo, de darle al peatón toda la facilidad de cruzar un área seca, o una área con un tirante mínimo, contra el tirante de 7 – 8 cm que tenemos cada vez que llueve, pero creo que políticamente si no tiene, o no compite con duración mantenimiento como lo hace el concreto rígido, cualquiera de sus versiones, el costo pues podría ser muy similar, pero esa parte es la que necesita para convencer, ¿porque?, porque si pierde su capacidad de infiltración pues sigue manteniendo su capacidad de rodamiento y de poco mantenimiento, entonces tendría en vez de un punto en contra podría tener un punto a favor. Aun cuando lo pierdes es igual, pero sabemos que también la resina se degrada, y que tendrá que ser sustituido, se va a empezar hacer roñoso y luego va a tener una especie de hoyos, cacarizo se va a poner, y eso no le va a gustar a la gente.

GAM: *Ahorita que toco el tema respecto a plaza del sol, que cree usted que salió mal ahí, que fue lo que no previeron.*

CAP: Que persiste en la descarga de tu drenaje pluvial en la zona que más saca, y lo ofrecieron como una solución a un punto que no tiene el problema en términos del pavimento de absorción si no que no tiene la conducción necesaria para sacar el agua, colector que fue diseñado para eso en ese momento ya viene saturado, si hubiera tenido la descarga sería

maravillosamente bueno, porque el tirante que se deja venir hubiera sido retenido por el pavimento desde antes y de repente al llegar a la zona, tu verías que no está el charco ni las lagunas esas, si no que ya se fueron, pero el problema no era ese, el problema es que el agua, el conducto donde la deberías de depositar ya estaba lleno, entonces se quedó tu agua arriba, entonces se hizo el mismo charco, empezó a llover y se desaparecieron pero luego el momento en que , no nada más eso, si no es como haber dejado tu pavimento ahogado en un charco. Entonces no era el mejor punto, donde los pondría yo con toda seguridad, en los puntos de origen, es decir donde inicia el gasto por ejemplo estamos hablando de Bugambilias, en los inicios del agua, en los inicios de los parteaguas, esos serían los puntos ideales, pero no en donde por áreas se esté acumulando toda la lluvia, porque el pavimento no sería capaz de soportar, es más, podría poner su estructura en riesgo, quizá su base, sus sub-base, sus recubrimientos en riesgo si tienes, más agua de la que tú puedes manejar, tiene su sentido. En zonas donde por ejemplo, en pequeños cotos, en donde pudiera tener el sueño de los arquitectos, por ejemplo quieren quitar todos los riachuelos y luego le mandan el problema a las casas, pero en pequeños cotos en un pavimento permeable pues te da solución a ese problema de tener como un solo piso, como que la gente tuviera el concepto de accesibilidad a un nivel, cero topes, cero bachelos, cero rampitas, cero nada, pendientes muy suaves, ahí se vería muy bien, funcionaria muy bien, en lugares con pendientes muy bajas. Esas calles donde tenemos pendientes bajísimas donde se nos va a encharcar el agua es ideal para tener el bombeo de abajo de la calle solucionaría la salida de drenaje y tu tendrías una calle con cero charcos, aunque prácticamente no tuviera una pendiente.

GAM: Muy bien, para la aprobación de este proyecto que tramites y permisos serían necesarios.

CAP: ¿Para pavimentos que dices tú?, tendrías que hacer una propuesta, o sea, todos los proyectos de pavimentos se proponen, y se tienen que discutir con el ayuntamiento, tanto que si lo estas manejando como, por ejemplo el SIAPA si tú lo consideras como parte de tu sistema de drenaje pluvial, entonces tendrá que ser incorporado a hacer el análisis de esquema pluviales, es decir, cuánta agua vas a conducir, a donde la vas a llevar, que coeficiente de rugosidad tienes, trátalo como un conducto, conducto y retención, y valorarlo como tal y ya tienes esa función, y en el caso de superficie de rodamiento como la que ya dijimos, capacidad de carga, valor del f_c , de la compresión y de la tensión, porque ahora están valorando los concretos a tensión 45 kg/cm² de tensión en drenaje poroso haría esa, trabajando el concreto a flexión, entonces es una manera de manejar adecuadamente, que tanta deformación podríamos tener, si cumple esas dos cosas creo que nadie te diría nada.

GAM: Okay, ya la última pregunta, que normativas cree usted en su experiencia que aplicarían para un proyecto de esta magnitud, es decir normativas para el material o para la calidad del agua, tal vez.

CAP: A ver, tendríamos que ver como tienen ellos registrados y si están en una norma, yo desconozco la norma del concreto poroso, que la debe de tener, o estará en un proceso, si no habría que trabajar en aceptar una norma mexicana del concreto poroso. Pero también para eso la gente te pediría pruebas, yo pediría lo que decimos, pruebas de desgaste, pruebas de compresión, pruebas de tensión, capacidades de carga, y estructura de pavimento, cual es la mejor, en fin, todas esas para que pudieras tu compararlo con. Y la otra parte es hablando de la parte hidráulica, lo mismo, valorar la estructura como nada

mas percolado o como una transición, si como, una especie de boca de tormenta, como una estructura de captación o como una estructura de almacenamiento conducción o nada más como una estructura de conducción.

GAM: Okay muy bien, ya con esto damos por finalizada la entrevista, muchas gracias por su ayuda.

ENTREVISTA CLAVE A-2

Datos del entrevistado:

Nombre: Dr. José Arturo Gleason Espíndola

Ocupación: Director general de Gleason Consulting y especialista en Gestión Integral de Recursos Hídricos.

Datos de la entrevista:

Fecha de realización: 05 de noviembre del 2015

Lugar: Oficinas del CUAAD en la UDG

Hora de inicio/fin: 12:00/12:54

Datos del entrevistador:

Nombre: Ing. Guillermo Acosta Michel

Ocupación: Estudiante de la maestría en Proyectos y Edificación Sustentables

Guillermo Acosta Michel (GAM en adelante): Muy bien, damos inicio a la entrevista con el Dr. Gleason, como considera usted la calidad del agua de lluvia que cae en la ciudad de Guadalajara

Arturo Gleason Espíndola (AGE en adelante): Buena, muy buena, quizá la parte inicial del temporal un poco asida pero no, nada del otro mundo, hemos hecho algunos monitoreos y a reserva de tratar de monitorear toda la zona metropolitana, que no lo hemos hecho, pero lo que hemos visto ahora, al menos en la parte sur, la parte centro, y poquito hacia el norte, el noroeste, muy buena, antes de que toque el suelo, claro.

GAM: La calidad del agua pluvial mejora en las cercanías del bosque de La Primavera o es igual al resto de la ciudad

AGE: Bueno, yo antes acotaría la terminología, porque en Gdl pensamos, nos confundimos mucho agua pluvial y agua de lluvia, en el argot internacional, sobre todo en el que posee la *international water association*, en su capítulo de grupo de agua de lluvia donde yo estoy participando, y en la sede internacional del agua, en AySA, y la americana la Arcsa, hay que definir muy bien, agua de lluvia es la que podemos captar y no toca las calles, y el agua pluvial, sería el *rainwater* en inglés, y el pluvial sería el *stormwater*, que es la que va por las calles, si me hablas de agua de lluvia en la zona de la primavera, pues por supuesto tiene mucho mayor calidad, de agua pluvial los escurrimientos que hay ahí también, nada más ahora nos estamos viendo afectados con estas nuevas urbanizaciones como el estadios chivas, las villas panamericanas y otros, algunos fraccionamientos en la pról. Mariano Otero, ahí ya inmediatamente que la urbanización toca en zona natural, si no hay las previsiones requeridas de lo que llaman el *stormwater management*, que es la planeación del drenaje de aguas pluviales, pues definitivamente decrece la calidad.

GAM: Okay, que tipo de contaminantes nos podemos encontrar en la atmosfera que afectan al agua de lluvia.

AGE: Pues básicamente, algunas porciones de plomo, todos los contaminantes de los vehículos, de algunas fábricas, algunos otros materiales que permiten elevar la acides del agua, pero básicamente los contaminantes atmosféricos que producen las industrias y los carros, esos por ahí los encontramos, en distintas concentraciones porque depende también de que zona de la parte metropolitana estemos hablando, no es lo mismo ir a las faldas del cerro del 4 donde está la cementera, donde ahí probablemente encontremos residuos de cemento o ir acá, o venir acá a la barranca de Huentitán, que es una muy buena pero prácticamente ya estamos en la naturaleza cruzando el rio.

GAM: Donde se podría contaminar más el agua, en la atmosfera o como escurrimiento superficial.

AGE: No pues definitivamente en el superficial, si la superficie está muy contaminada que es lo más lógico, aceites, químicos, desechos humanos, desechos de animales, bueno un sinfín de cosas, las aguas pluviales rodadas, que también así les decimos, son más contaminadas que la lluvia.

GAM: Ya había comentado, las primeras lluvias de la temporada son las que más contaminantes contienen, como lidiaría usted con estas lluvias integrando dicha medida en el sistema propuesto.

AGE: ¿En el que tú dices?, pues yo creo que el sistema que tu traes debe de responder a un sistema integral, tu estas atacando una parte de todo un planteamiento que bueno, en la corre científico le llamamos, ciclo hidrológico urbano, desde el punto de vista del manejo *stormwater management*, ¿qué otra referencia importante le da marco a lo que tu traes?, el *sustainable urban drainage system*, los sistemas de drenaje sustentables, el *water sensitive urban design*, que es el sistema urbano sensible al agua. En este contexto tomado como referencia al ciclo del agua, que ha sido modificado por la urbanización, tenemos que tomar medidas integrales, apostarle toda una medida, bueno ¿Cuáles son las medidas a que apostar?, uno, donde se empieza a generar el escurrimientos en la vivienda desde el punto de vista urbano, ahí debe de haber una política o una estrategia sólida para retener la mayor cantidad que se pueda, obviamente no toda el agua de lluvia cae encima de las casas, cae también en las calles, pero si yo desconecto, o dejo de lado que la captación de agua de lluvia es importante al menos para almacenar agua y retener volumen para que no inunde, o sature la tuberías, en este caso creo que sería verlo parcialmente, yo creo que cualquier propuesta técnica aislada no la veo muy conveniente, por todo esto que te digo pues ya hay modelos que nos ayudan a simularlo para ver si por lo tanto los sistemas de captación de agua lluvia ver cuánto retengo del escurrimiento, los árboles en las infiltraciones, solo así yo entendería el proceso importante para que lo que tu propones, pues ya por ejemplo se han propuesto los *swales*, que son un estilo de trincheras filtrantes o canales empastados, donde la parte del fondo viene un tubo ranurado en la parte de arriba, la parte de abajo esta lisa en cierta pendiente, o sea el agua penetra y la llevas por medio de un camellón. Habría que matizarlo muy bien ahí porque no creo, si le apuesto al agua de lluvia de todas las casas no resuelve el problema del todo, si le apuesta nada más al manejo del escurrimiento, yo lo veo limitado, si se va a estudiar algo aislado, para ver la medida, lo veo factible desde el punto de vista de investigación pero no hay que olvidar que esa parte que tu estas investigando tiene que entrar dentro de una lógica, por eso te doy todo este marco

conceptual porque solo así, yo por eso me he dedicado más a los edificios, no porque no me llame la atención lo urbano, pero creo que en mi lógica conceptual primero ¿qué es lo que ingresa a la cuenca? pues la lluvia, por eso me dicen ¿oye porque no te dedicas a las aguas residuales?, pues de ganas me quiero dedicar a todo, aguas pluviales rodadas, uso energético, es que en el ciclo urbano del agua, ahorita acabo de ver una tesis interesante, pues son un montón, no puedes agarrar todo, si de uno saber y más en un grado de maestría, tener el marco bien claro, es decir, yo voy a agarrar una cosita así, entonces digo bueno, yo agarro del ciclo del agua agarro la lluvia, ¿cómo voy a responder hacia ese fenómeno?, bueno capándola, y en esa misma lógica el agua que no cae en las casas pues cae en las avenidas, también entra esa otra línea de trabajo, que debe de considerarse pero que debe conectarse con las demás porque también hay que elevar la evapotranspiración, según el académico Marco Smith de la universidad tecnológica de Berlín, estamos deforestando el planeta a 400km diarios, kilómetros cuadrados diarios del mundo, entonces esa es la velocidad, son dos veces Guadalajara, del cerro del 4 para acá, diarios, entonces te das una idea de que elevar la parte de la evapotranspiración, quitarle volumen al agua, y crear los escurrimientos, yo trataría de evitar lo más que se pueda que el agua llegue al suelo, eso sería así como algo a desearlo

GAM: *Captarla antes de que toque el pavimento.*

AGE: Si, ahora también hay que considerar el factor cultural, porque hay quienes en otros países si tienen las calles limpias, hay mucha disciplina sobre lo que se tira en el pavimento, se cuida, pero en nuestro caso también hay que ser conscientes que tiramos de todo y nos vale gorro lo que tiremos, hay quienes, talleres mecánicos que tiran al drenaje sus aceites, entonces todo eso le arrastra la lluvia, se convierte en escurrimiento pluvial, entonces esa sería mi primera recomendación.

GAM: **Si claro, bueno regresando un poco a la calidad del agua, deberíamos de concentrar más esfuerzos en potabilizar el agua de lluvia o impulsar más medidas para prevenir que se siga contaminando el agua potable existente, cual es más importante.**

AGE: ¿La que nos da el SIAPA?

GAM: *Así es.*

AGE: Las dos, son dos estrategias, bueno vuelvo al esquema, es un ciclo, eres tan responsable de lo que cae en tu techo, que al menos no mucho estamos conscientes de eso, cae al techo y se va al bajante que le decimos bajante de aguas pluviales, que repito otra vez el error de decirle bajante de agua de lluvia, y ya se va, tampoco nos responsabilizamos de la calidad del agua potable que viene de afuera. Las dos cosas mega importantes, pero partimos del hecho de que casi nadie esta consiente de eso, tú le abres a la regadera y te vale gorro si le echaron un químico que a lo mejor te va a quemar la cabeza, tu estas confiando en el sistema, entonces, pero sin embargo los estándares de calidad del SIAPA no son los mejores, porque es agua que no nos podemos ni tomar, en algunas zonas viene muy clorada y en algunas otras zonas tiene con mucho flúor, depende de la fuente de suministro.

GAM: *También viene con metales pesados, ¿no?*

AGE: Algunos, también hace falta más investigación al respecto, entonces eso es una agenda pendiente que debe de acatarse y estar al día, debe de haber un sistema de monitoreo, tú debes de saber qué calidad tienes en todas tus redes y como estas entregando la calidad, nadie lo monitorea, esa es la verdad. Por el agua de lluvia, pues por supuesto, el agua de lluvia siempre va a representar un potencial de coadyuvantes se le dice, para la demanda,

entonces cuando llueve en algunas ocasiones puedes abastecer el 100% de tu suministro durante el temporal y un poquito más cuando de acuerdo al almacenamiento, y ¿qué hay que estudiarlo de calidad del agua de lluvia?, pues por supuesto pues también no es algo terminable, yo he hecho algunos estudios pero pues necesitamos más infraestructura, más tecnología para poder tener instantáneamente en un MARC GIS, en internet, es decir hay tanta ganancia también parte del equipo. Son dos temas prioritarios.

GAM: Conforme a lo que ha visto y estudiado, que postura cree que tiene la sociedad respecto al uso del agua y cuál es el gasto promedio por familia.

AGE: No bueno pues, la sociedad está totalmente inconsciente, esa es la verdad, es el peor de los problemas que tenemos que lidiar, la apatía, la ciencia tratamos de avanzar lo más que podamos con nuestros recursos, con nuestro humano-económico, pero el tema de la educación y la concientización es un tema pendiente. Mientras la ciudadanía no entienda que esto es importante, que primero debiera de haber un, no porque haya crisis, eso debe de ser un hábito, que la percepción que yo tenga del valor del agua es muy irrelevante porque hay la tengo, siempre está segura, es como tener un novio o novia que sé que siempre me va a querer, entonces pues, pero nunca nos va a dejar.

GAM: *Lo das por hecho*

AGE: Si, no ahorita se enoja y ahorita se reconcilia, algo así, es una relación mala, insana, por decirlo así, lo que pasa con el agua. Entonces por ese lado lo veo limitado, ¿y cuál era la segunda parte de esa pregunta?

GAM: *Que cual es el gasto promedio que tiene una familia mexicana*

AGE: Una familia de cinco personas te está consumiendo por día, te está consumiendo y creo que de 750 hasta 1500, dependiendo de los hábitos, y por mes, te están consumiendo los 20 mil a 15 mil, 15 mil a 20 mil litros por mes, entonces si tenemos un alto consumo, escandaloso desde mi punto de vista. De hecho la dotación que nos da, que nos dicta el SIAPA, y los ayuntamientos de aquí de la zona conurbada, en el caso de SIAPA son 280 litros por habitante para abastecer tus redes, y en Tonalá hasta 300, entonces también contando las fugas, y el consumo real, sacando las cifras de lo que produce de agua y se entrega, entre los habitantes estamos sobre 180 – 200, cuando la ONU mínimo dice 120, o sea, perdón, no más de 120, y 120 también se me hace un derroche, bajarlo a 100 o 60 pues se recomienda lo mínimo, entonces pues si estamos totalmente desconectados.

GAM: Bueno, ya toco un poco este tema, pero con el agua recolectada de lluvia por dicho sistema, agua pluvial, que porcentaje de ahorro de agua obtenida por otras fuentes cree que se pueda alcanzar.

AGE: ¿Del agua de lluvia de los edificios o de las calles?

GAM: *De las calles, el hecho de recolectar el agua de lluvia digamos con este estilo de sistemas que puedas recolectar toda el agua pluvial que está escurriendo, ¿a qué porcentaje de ahorro podríamos aspirar? 100% de todo, digamos de irrigación o de doméstico.*

AGE: Bueno, el agua rodada y agua pluvial, tienen grandes desafíos, de hecho, en la universidad del sur de Carolina tiene un área de especialidad porque, hay que, cuesta trabajo tratarla, ahora que estuve en Berlín ahora en septiembre, ahí por uno de los *highways* o *freeways* de Berlín, me di cuenta de que el agua que va rodada la mandan a una planta de tratamiento para aventarla al río, va al *highway* y a una planta y luego al río. Es muy complicado la verdad, utilizar esa agua que ya toco el suelo, sobre todo en las avenidas y reutilizarla, yo le veo que si hubiera restricciones y conciencia y la política de la calidad, estaríamos hablando

que si el 55% de acuerdo a condiciones urbanizadas en un balance hídrico escurre, nosotros podríamos estar por lo menos bajándole unos 20 puntos porcentuales a esos 55, vía infiltración, porque vía captación de agua de lluvia en edificios, si hay un aprovechamiento, si hay un reúso, pero la verdad es de que la infiltración viene siendo hoy por hoy la, al menos hasta lo que yo llevo estudiado, la estrategia para poder bajarle a las inundaciones, infiltrarla, meterla en grandes cantidades, claro si el suelo te lo permite, coadyuvando con la cuestión de las captaciones en los edificios, eso también nos ayuda, pero hablando del 100% de lo que llueve más de la mitad se va al drenaje, pero si la infiltras los estándares son 50% para donde no hay urbanizaciones, es decir la mitad del agua se infiltra en condiciones naturales, ponle tu que de esos 55 poderle ayudar a lo que se bajó a 10 o 15, llevarlo a unos 35% , pues ya representa para mí, un punto al beneficio, ¿Por qué? porque la política de recarga de la ciudad es nula, y si toda esa agua que vemos por las calles pudierase captar en las casas parte, y la otra que ya cae directo en las calles llegará a puntos de tratamiento o filtros que permitan que se infiltre la mejor calidad, yo creo que eso si ayudaría mucho a la ciudad porque nuestro principal banco de ahorro agua donde podríamos guardarla es el suelo, y tenemos la capacidad, o sea el suelo de Guadalajara es un estrato que empieza desde la primavera hasta Tonalá, entonces somos una gran vasija de piedra llena de jal, entonces tenemos estratos de 150 – 200 de jal, como un colchón, toda una esponja, que nos está diciendo aprovéchenme, y sin embargo no aprovechamos, la tiramos al drenaje y luego a la barranca, y luego estamos saque y saque y saque. Yo ahí lo veo muy factible, todo lo que sea infiltración, bien hecha, puede ayudar.

GAM: Okay, para finalizar con este tema, en su experiencia cuánta agua tanto pluvial como potable, estima usted que se desperdicia en las ciudades, especialmente aquí en la ZMG, ya comento un poco sobre eso.

AGE: Hablando en número, bueno pues nosotros conducimos entre los 280 – 300 millones de metros cúbicos al año, las tendencias actuales, estamos hablando que el 40% no llega a las casas por las fugas, entonces si son 300 casi 120 millones de metros cúbicos no están llegando, que eso también coincidentemente más o menos cuesta 300 millones de pesos, pues estamos hablando de que 120 millones de metros cúbicos al año, y 120 millones de pesos no están siendo bien utilizados desde el punto de vista de las fugas. El punto de la lluvia pues estas hablando de que 315 – 320 millones al año, de ingreso de lluvia, más de la mitad 150 – 160, ya se van directo al drenaje, que esos 150 millones que pudieras aprovechar al menos la mitad, que sean unos 70 - 75 millones casi representa el total del déficit que tenemos aquí en la ciudad que es de 90 millones. Entonces yo creo que bajo una muy buena organización sería mucho más factible trabajar con una administración correcta del agua de la ciudad que estar buscando nuevas fuentes. Primero, yo lo pondría primero en la agenda pública.

GAM: Bueno pasando un poco sobre la factibilidad del proyecto que le vengo comentando, desde su punto de vista que defectos o limitaciones le ve a la implementación del concreto permeable en las vialidades de un fraccionamiento y la colocación de un geocompuesto o geomembrana por debajo para la recolección y conducción del agua pluvial. Que defectos le ve.

AGE: Bueno, el concreto permeable, pues es una tecnología que ha agarrado mucha fuerza en los últimos años y que yo le veo deseable pero con ciertas restricciones, el concreto permeable no es mágico, como a veces se piensa, a veces ponen en Facebook donde postean muchos

los alumnos o gente, si pero si ese concreto permeable esta sobre roca en Tonalá, va a ser un desastre, entonces hay que acotarlo bien, no podemos irnos a ciegas, de hecho ninguna tecnología debe de aceptarse a ciegas, tiene que pasar por un proceso de culturización, adaptación y también lo que le llamamos ciencia de transferencia de tecnología, o sea si al alemán le sirvió que padre, pero a ver cuáles son las condiciones en las que aplica su tecnología alemana, entonces hagamos un estudio que es lo que hacen, hacemos lo científicos, una transferencia. Bajo la premisa de que el concreto permeable no es súper-ultra, si no como cualquier otra tecnología tiene restricciones para aplicarse, yo le veo ventaja, bueno, que en zonas permeables y sobre todo en zonas altas lo veo muy factible que ayude a bajar los escurrimientos que se empiezan a generar en las zonas altas, zonas altas que no sean muy transitadas por vehículos, de motor, porque lo que ya vimos ahí en plaza del sol es que el paso de los carros ciertamente va cubriendo la porosidad y si no se le da el mantenimiento, que es otra variable importantísima en la sustentabilidad, la sustentabilidad no pega si no hay mantenimiento, no es mágica, todo en la vida ocupa mantenimiento, que no lo hagamos...

GAM: *Cultura mexicana...*

AGE: Pues sí, le digo ayer en clase, le digo ¿quién va al dentista cada año?, ¿cada 6 meses? Casi nadie, ya hasta que te duele la muela, o ayer que estábamos viendo drenaje, quien se mete a ver su drenaje, si funciona bien, está limpio, nadie, ni le pagas a un plomero tan siquiera, entonces, y si el concreto permeable tiene la, en las zonas altas se le da el mantenimiento, se le está monitoreando yo lo veo muy factible. Donde yo lo he visto su limitante es en las zonas bajas, entonces también se debe planear donde se pone y donde no, porque te repito, en zonas bajas sobre todo de mucha saturación, el concreto no puede hacer todo, si se pone concreto sobre zonas impermeables, lechos rocosos, pues tampoco, entonces hay que analizarlo muy particularmente antes de llegar a la generalización. Yo creo que en tu experiencia puedes hacer un intento, una práctica, una experimentación que venga a colaborar al estado del arte, sin embargo necesitamos para que esto se implemente en toda la ciudad, y es donde yo veo cortas a las empresas que venden esto, identificar las zonas de permeables más importantes de la ciudad y que tipos de contaminantes podríamos ver, ahora, en cuanto a la conducción, la geomembrana yo veo más a la geomembrana no sé cómo la estás planteando a través de tuberías, o no sé, pero..

GAM: *La idea es la geomembrana por debajo del concreto, usarla vilmente como conducción, usando digamos el concreto en si como tubería. O con un geocompuesto que es una geomembrana con un geodren y un geotextil, que permite infiltrar el agua, pero no permite el paso de los sedimentos, y el geodren digamos que guía al agua.*

AGE: Ahí habría que ver muy bien el grado de saturación, porque, como te diré, a que distancia va a ir abajo, porque hay eventos de tormentas instantáneas que en dos tres patadas ya está saturado, hay que hacer ese mapeo porque en zonas altas, y en ciertas zonas altas, es lo que pasa en la naturaleza, cuando empieza a llover los suelos más porosos son los que chupan la mayor cantidad de agua, y ya lo que no cabe escurrir, en el caso de nosotros el tiempo de concentración es muy muy muy pequeño, se concentra todo muy rápido, eso habría que también en modelo incorporarlo porque, pues qué tipo de lluvia me estás hablando, una ligera, una moderada, una intensa, intensa muy fuerte, de acuerdo a la clasificación de la organización mundial meteorológica, que eso va, ahí tendrías que hacer las pruebas en diferentes condiciones. Yo veo que fundamentalmente el concreto

permeable debe de funcionar como absorbente e infiltrador, que veo y ahí te recomiendo, ¿no sé si ya has visto mis libros?

GAM: *No, apenas voy a, ahorita he estado un poco saturado este semestre con todo lo que nos bombardean de la maestría.*

AGE: Ahí tengo mi libro de manejo de aguas pluviales en centros urbanos, en el último capítulo hablo de esto que te estoy hablando, y el otro trae ideas muy puntuales y las referencias para que puedas profundizar más, que por ejemplo yo conduciría el agua vía camellón, conducción me cuesta trabajo pensar habría que verlo más a detalle, porque yo sería de la idea de que el arroyo de la calle absorba y es más allá una especie de filtro debajo del concreto permeable, si es que el permeable, tiene que ver con el grado de contaminación de la zona, y que se infiltre lo más que pueda, y llevar el agua cuando se sature que los tratamientos vayan en los lados vía camellones, y llevar ahí ya sea *bioswales*, que son estos como canales verdes o trincheras filtrantes, para llevar las aguas abajo, lo que ya no cupo en el suelo pues va a botar pues a donde va a ir, por los lados, puedes conducirla hasta lo que han llamado los vaso reguladores o los *ponds*.

GAM: *¿Esos cuáles serían?*

AGE: Los *ponds* son los estanques, pueden ser como vasos, quieren hacer uno acá en el parque metropolitano, pero mira y es que ahí también vuelvo a lo mismo, todo eso tiene una lógica cuando se estudia a la cuenca, o sea tú debes de tener una especie de, o sea si esta es la cuenca, esta es la salida, pues todas estas cuencas ameritan, el suelo no se comporta igual, las pendientes, entonces lo que tú me hablas por ejemplo es, si esta es una avenida pues entonces implementar aquí, pero puede que aquí ya no, entonces habría que acotar bien eso en tu trabajo, donde pondría un vaso regulador en un punto de donde llegue más agua pero si es factible y si hay el uso es para eso, o si lo pienso regular desde aquí.

GAM: *Si también la idea del proyecto digamos es atacar desde las zonas donde se genera, ya ves que en Bugambillas va todo de bajada y no se inunda ahí, se inunda más abajo, pero sería atacar digamos las zonas de origen.*

AGE: Yo creo que si tu documentas un caso ahí particular en la parte alta, que la acotes bien, que tengas bien clara la hidrología de la zona y donde entra tu propuesta, yo creo que la experimentación, los resultados, van a ser importantes, para decir en esas condiciones, lo veo lejos de generalizarlo, yo pienso que esa sería la debilidad de los que venden el concreto, ecocreto, que no, la ciencia es el camino hacia generalización de conocimientos, tú no generalizas una idea o un descubrimiento si no se repite miles de veces, y a veces esas tecnologías necesitan ser probadas en distintos escenarios, pero el que invierte pues tiene el mérito, ya le metió dinero, pero la investigación, hay investigaciones que te lleva años, como el cáncer, pues nos gustaría que ya se resolviera el cáncer, pero necesita dinero, es a largo plazo, yo pienso que el agua puede ser algo ahí más semejante porque no tenemos estaciones meteorológicas en toda la ciudad, no sabemos cómo va el flujo subterráneo, hace falta mucha información para poder diseñar las tecnologías apropiadas que encajen dentro de un contexto natural.

GAM: **En su experiencia, cuál cree usted que sería la mejor manera para almacenar el agua pluvial recolectada en una manera económica y viable.**

AGE: Pues definitivamente el suelo, pienso que el suelo con sus respectivas restricciones, siempre y cuando el suelo así lo permita, es la parte más barata, con cuidado y sus precauciones, hay que dejar que todo se infiltre, bueno si se tiene un taller mecánico y esto viendo que se

está echando toda la lluvia a una alcantarilla y luego a un pozo de absorción, pues ahí sí estoy reprobado, pero entonces entramos a otro asunto, quien regula el uso del suelo, porque están esos talleres ahí, si tengo todo los talleres agrupados en una zona, entonces ya hay una serie de restricciones, para el uso del suelo. Yo sinceramente veo eso muy lejano, pero el suelo, las casas también, aunque algunos sistemas pueden representar un alto costo, pero la mayoría tenemos tinaco y cisterna, ya ese es un gasto que se puede ahorrar uno, las plantas, la masa forestal, creo que son las 3 principales antes de llevar a cabo grandes vasos reguladores, separar las aguas negras de los pluviales que también es algo deseable, muy costoso también. Yo creo que si empezamos a hacer esas puntuales tareas, los desarrolladores empiezan a impulsar la implementación de concreto permeable, porque hay quien dijo: “no, ya ven que en plaza del sol no sirvió, no sirvió ahí”, pues si pero las condiciones que están cómo crees que ese concreto te resuelva el problema de inundaciones de la plaza si lo pones donde ya está inundado, donde el grado de saturación es muy alto y el grado de infiltración es nada, no es culpa del concreto, es de quien propuso ese concreto ahí y lo vendió como una panacea. Habrá que moderar esos comentarios. Pero te vas a Tonalá, ahí el desafío va a ser cuando no puedas infiltrar que haces con los escurrimientos, entonces tienes que diseñar vasos reguladores o buscar las zonas bajas para hacer llegar el agua, y que no la chupa el suelo.

GAM: *No la puedes infiltrar.*

AGE: Si, luego estamos hablando de la misma cuenca, pero diferente zona, tampoco puedes decir “no es que no sirven los concretos permeables”, aquí no, pero acá en Bugambilias, en la parte alta de Bugambilias, la primavera, la ciudad granja, pues toda la parte sureste, la suroeste de la ciudad hasta el centro, tenemos unos ductos donde podemos infiltrar, no hay un proyecto de infiltración serio, solido, y ni mucho menos está posicionado en la agenda pública de la ciudad.

GAM: **Cuáles serían los mejores usos que se le podría dar a dicha agua recolectada, al agua pluvial.**

AGE: Bueno yo creo que principalmente la infiltración como un activo ambiental; dos, el uso recreativo también porque al implementar algunos estanques puede generar espacios públicos como hay en otros países muy interesantes; tres, puede también funcionar como un suministro de agua para riego, uso restringido, dependiendo insisto del grado de contaminación de la cuenca, de la calidad del agua, y también como, pues si, un regenerador del ciclo del agua, es que por ejemplo agua que puedas guardar para riego, para algunos usos industriales, dependiendo de, repito, la calidad, y el buen manejo de esa agua pluvial antes de que llegue al estanque, por ejemplo ahí en el rastro en Gobernador Curiel y Lapslázuli o 18 de marzo, ahí se mezcla con la sangre de las vacas y todos los sacrificios que hay, y luego llega y todavía esa se mezcla, y ves así cascadas de agua con sangre, entonces ahí está bien contaminado, yo no infiltraría esa agua por ejemplo, no podría el concreto ahí, ¿a dónde la conduzco?, no, hay que sancionar al rastro, hay que decirle oye espérate, y también la autoridad debe de planear una infraestructura que le dé certeza al ciudadano de que sus aguas negras, sus aguas con sangre o si van a ser tratadas de otra manera, van a ir a un lugar, el agua de lluvia se va a filtrar o va a ser canalizada al vaso, lo más limpia posible.

GAM: Okay, conforme a lo que le he platicado respecto al sistema que estoy proponiendo con la utilización del concreto permeable y un geocompuesto/geomembrana, ha escuchado usted algo similar que haya tenido el éxito esperado

AGE: No, yo no, habría que verlo, habría que valorarlo.

GAM: *Solo está el caso de Plaza del sol, pero pues no.*

AGE: A si, el caso de plaza del sol, he visto otros casos en Estados Unidos, que otro, en Australia que también visite, he visto que está muy bien, pero por ejemplo tengo unos amigos en San Luis, precisamente, que mande del Ecocreto y fueron con la presidencia de Soledad, o no sé si de San Luis, y les dijeron que no, que porque si se cae alguien se iba a raspar. Eso dijo la presidenta municipal de aquellos entonces, y entonces obviamente no es una justificante técnica, pero es un, por lo que ellos como promotores están luchando, que no hay la suficiente información técnica, para decir que no, o en qué condiciones sí.

GAM: Cambiando un poco ya a los beneficios, me podría comentar desde su punto de vista los principales beneficios ambientales que conllevaría la implementación de un proyecto como el que estoy proponiendo de captación, conducción y aprovechamiento de agua pluvial.

AGE: Bueno pues, yo creo que estamos tratando de con este tipo de medidas, restaurar el balance hídrico de las cuencas, entiéndase por el balance hídrico la diferencia de lo que entra y lo que sale, entra lluvia y salen escurrimientos superficiales subterráneos más la evapotranspiración, entonces todas las medidas que ayuden a equilibrar este desajuste en donde ahorita el escurrimiento se lleva todo y ni se permite la infiltración para que aumente el escurrimiento subterráneo, donde la evaporación se inhibe por la presencia de las construcciones, pues toda medida que ayude a establecer el equilibrio, si va haber escurrimientos, sí, pero no tienen que irse por las aguas negras el agua de lluvia, si tiene que haber evaporación pero no al grado de convertirlo en un desierto, todas estas medidas probadas y comprobadas que ayuden a esto garantizaran la calidad de vida y la supervivencia de la humanidad. El problema es que sin estas medidas de restauración, lo que estamos apostándole es a la destrucción, y mientras más pongas concreto impermeable y más quites árboles, más inundaciones, y más la metas en vez de al suelo al rio y se va al océano pacifico, pues vamos directo a, como dice Marco Smith, a la desertificación urbana por decirlo así, entonces panoramas secos, suelo secos, ambiente seco, las temperaturas, y entonces pues vamos emigrando hacia un nuevo sitio cosas de esas, ahorita no se ve pero con el tiempo sí. Si no humedecemos las cuencas, si no guardamos agua en el suelo, si no captamos el agua de lluvia, si no dejamos de extraer agua del subsuelo, si seguimos siendo cochinitos y contaminando a lo bestia, desde tipo por ejemplo del impermeabilizante en tu casa, debería de ser ecológico, si no la vas a captar por lo menos ayúdanos a que tu impermeabilizante no sea toxico, si no ayúdame a que tu azotea no tengas la bicicleta oxidada, donde la lluvia le cae y escurre oxido y se mezcla.

GAM: *Son esas pequeñas acciones que hacen una gran diferencia.*

AGE: Así es, ese es el camino, es el camino, pero aquí en México como que no lo queremos recorrer.

GAM: *Nos hace falta cultura.*

AGE: Así es.

GAM: Respecto a los beneficios económicos cuales cree usted que sean los más importantes derivados de la implementación de este estilo de proyectos.

AGE: Bueno pues estas hablando que cada año estamos perdiendo 400 a 500 millones de pesos por la inundación, estás hablando que poner un sistema ineficiente 120 millones se están yendo al suelo porque costo 300 producirlo, estás hablando que bien te podrías ahorrar si en el temporal de lluvias pudiéramos consumir el agua de lluvia, estaríamos hablando que al menos 4 meses del año no sacáramos agua de las fuentes actuales y por lo tanto bajar los costos de producción, estás hablando de otros 150 millones, entonces 400 más 120 y 150, estás hablando de entre 700 y 800 millones, sin considerar que si por ejemplo que llegáramos a tomar la lluvia de nuestros techos, estriamos hablando de 800 millones de pesos de garrafones, estamos hablando en un orden de por lo menos 1500 a 2000 millones de pesos de ahorro, si hiciéramos las cosas bien.

GAM: Los 400 millones que menciona de inundación, como a que se refiere.

AGE: Pues a pérdidas materiales, perdidas de las familias en sus patrimonios, daños a la infraestructura, de todo tipo, eléctrica, de agua, de suministro, drenaje, carros, casas, es un promedio de más o menos de 400 millones. Siempre se inundan los de siempre.

GAM: Si es una cantidad muy fuerte.

AGE: Dicha por SIAPA, ahí la puedes documentar en internet.

GAM: **Okay, la voy a buscar, finalmente, cuales son los mayores beneficios que este tipo de infraestructuras pluviales podrían traerle a la sociedad.**

AGE: Pues para mí, garantizar una calidad de vida en el presente y futuras generaciones, la ONU ya lo dijo ahora el 22 de marzo de este año, que no llegamos a 2040 si seguimos con este consumo y estrés del agua no llegamos al 2040, entonces muchos de los que estamos ahorita, estamos entre los 20 y los 40 probablemente de viejitos no sabemos que, es incierto, para los que vienen naciendo quien sabe si tengan acceso a agua limpia, entonces el que se implemente, que se estudie, que se analice, se experimente, se vean las factibilidades, es información súper valiosa y va a ayudar a la toma de decisiones, sobre todo, si es que ya tuviéramos autoridades consientes, entonces hacerlas investigarlas, probarlas, y promocionarlas es garantizar la supervivencia de nosotros en los próximos 30 años y de los que todavía no han nacido, si es que llegan a nacer, para mí eso sería así como el primer beneficio, o sea noes estamos jugando la supervivencia de la humanidad, Guadalajara tiene su cuota de complejidad, por su estado, su situación particular; dos, yo creo que al estar implementando este tipo de tecnologías estaríamos emigrando a una nueva cultura, una cultura de conservación que nos permitiera sostener un estilo de vida consiente y preservar no solamente nuestra integridad y de los que todavía no han nacido si no también la integridad de los ecosistemas, que le hicimos al rio San Juan de Dios, nada más echamos nuestras aguas negras y a nadie se le ocurrió, o no sé, no lo tengo documentando si a finales del siglo 19 y principio del 20 alguien dijo “hay que rescatarlo”, no pues se les hizo fácil entubarlo, hacerle la calzada independencia y vino Porfirio a inaugurarla con el primer siglo de nuestra independencia, entonces, preservar, no, preservar es transitar a una nueva cultura de agua que nos pudiera garantizar la supervivencia de nosotros y de nuestros ecosistemas; y tercero, yo creo que como consecuencia de esas buenas acciones pues los ahorros económicos, es tener dinero en la bolsa, no estar gastando de más, para que tengas una idea, el SIAPA tiene un presupuesto de 2500 millones, debe 3 mil, y de esos 2500, 300 se van a producción de agua, pero falta de drenaje, o sea los costos de producción y de drenaje de la ciudad van a estar sobre los 1000 millones de pesos, o sea 1500 se te están yendo en puro gasto operativo, de suelos y

así no se puede. Y con sistemas ineficientes, donde 300 perdemos, no te llegan 120, donde los bombes tienen que ser más fuertes más pesados, para sacar más agua, donde no tienen idea de cuánta agua te queda en el subsuelo, es un caos, la verdad es un caos nuestra ciudad y he sido criticado por mi forma de expresarme pero no lo puedo decir de otra manera, de otra manera no hay evidencias porque SIAPA si me echa en cara de que soy muy duro, pero como se lo he dicho a su director, pues si usted no me da evidencias de que está todo muy bien, pues yo no puedo opinar de otra manera, y como no me las ha dado, y lo que yo he visto, y lo que yo he comprobado es que, no hay planeación en el sistema, es un desorden, entonces pues todas estas iniciativas que pueda haber desde la investigación, que apoye el ITESO y todas las instituciones comprometidas con la ciencia, son bienvenidas y quisiéramos ver muchas, muchas, muchas más, porque el campo de estudio es inmenso, es inmenso, y no hay muchos investigadores en el área, especializados, aquí en Gdl somos poquitos, muchos dicen ser especialistas, pero acreditados no todos, con publicaciones y con presencia internacional y trabajando proyectos en otros países, yo no conozco más que el doctor y yo y otro por ahí que debe de haber, pero ahí de 4 millones de habitantes, los otros hablan, son activistas, dicen, se pronuncian, pero esto no es de activismo, aquí esto es de, hablando de la parte científica, del rigor científico, tu experimento tiene que cumplir con las mayores normas de metodología científica para que se validen los datos, tiene que ser muy serio, para que digas esto es un resultado digno de publicación en un *journal* de alto nivel, de impacto, no hay eso, puros aficionados, puros buenos deseos, y en cambio esto que estamos haciendo es construir el estado del arte, es construir el concepto, la teoría, claro nos inspiramos en teorías de otros países como los que te cite, pero hay que construir nuestra propia teoría.

GAM: Algo *adecuado a nuestro país*.

AGE: Así es, y en eso estoy yo, trabajando con mi equipo para poder construir una teoría que pueda llevarte a una u otra parte, pero quisiéramos ir más rápido pero faltan manos, faltan cabezas, faltan recursos, la gente no vive de buena voluntad, también necesitan comer, entonces todo un desafío, esta línea de trabajo que has elegido es muy promisoria, hay mucho trabajo en ese sentido pero también es de mucho, ser pionero, y como todo trabajo pionero tiene su cuota de desgaste, de dolor, y de inversión, pero lo veo muy redituable en todos los sentidos, para beneficio de la sociedad y para desarrollo profesional que también es un buen camino.

GAM: Okay, bueno, esas son todas las preguntas, no sé si quiera agregar algo más, que quiera comentar.

AGE: Bueno pues no más hacer la recomendación del experimento, que lo fundamenten bien, que lo trabajen bien con tu asesor la parte metodológica experimental, para que tenga la valides y los resultados, porque a veces pienso que no se lo toman en serio, no digo que ustedes lo hagan así por supuesto, solo es mi recomendación, porque he visto otros experimentos que digo ¡ah!, y ¿a ver y que técnica experimental utilizo?, y te dicen ¿Qué?, entonces si hay decir elegimos esta, y la elegimos por esto, esto y eso, si hacen ese esfuerzo metodológico y bien respaldado, creo que los puede llevar a resultados interesantes y muy valiosos y que, no sé cuál sea la política del ITESO, pero aquí por ejemplo a todos los que trabajan aquí, aquí tienen que publicar, entonces no sé si este en la agenda de ustedes pero todos estos trabajos bien planteados, por eso te hago la observación de que tiene que ser bien planteada la metodología experimental porque podría ser un trabajo digno de un

journal, en el área de hidrología y de hidráulica, y eso a ti y a tu profe pues le daría buenos puntos y nos aportan al saber de todos, es un mérito académico importante para el futuro de tu trayectoria.

GAM: Okay, muchas gracias Dr. Gleason, con esto doy por finalizada la entrevista entonces.

ANEXO 3

Diario de campo

JUEVES 25/06/15			
AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
Realizar un reconocimiento de la zona de estudio, Ciudad Bugambillas, así como también realizar un registro fotográfico.	Se acudió a la zona de estudio donde se observó el área principal de la glorieta, y se tomaron fotografías.	Guardar las fotografías para realizar un registro fotográfico en un futuro.	

JUEVES 10/09/15			
AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
Contactar al Ing. Carlos Aguirre Pazcka para agendar una cita para entrevistarlo.	Mostró interés en el proyecto que planteo, y tiene buenas ideas para el modelo del experimento. Quedamos en agendar la cita para la entrevista en las siguientes dos semanas. Hablamos acerca de lo que trata mi proyecto, sus alcances y como planeo llevar a cabo el experimento.	Me dio buenas ideas para la ejecución del experimento, y quedamos en que lo contactaré en las próximas semanas para agendar la entrevista.	Noto mucho interés en el modelo del experimento y tiene buenas ideas que me podrían ser de mucha utilidad

SABADO 19/09/15			
AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
Contactar al Dr. David Vargas por medio de correo electrónico para solicitar su asesoría respecto al experimento a llevar a cabo.	Su respuesta a mi correo de solicitud fue rápida, fue muy accesible en las fechas por lo que se agendó una cita.	Se confirmó la cita para el día miércoles 23 de septiembre del 2015 a las 6:30 pm en su oficina en el edificio Q5.	Se notó muy accesible y con buen interés.

MIÉRCOLES 23/09/15

AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
Platicar con el Dr. David Vargas respecto al diseño y la metodología del experimento.	Se evaluaron las diferentes variables del experimento, se estudiaron las diferentes combinaciones posibles, así como también se platicó como se construirá el modelo, al que actualmente le decimos "la pecera".	Se diseñó el modelo de la pecera, se acordó que buscaré una concretera que nos suministre el concreto permeable para el experimento, así como alguien que también nos facilite el geocompuesto y la geomembrana.	El Dr. Vargas se mostró entusiasmado con la idea del experimento y fue de mucha ayuda. Sería de gran provecho avisarle el día que el experimento se va a llevar a cabo para aprovechar su experiencia en el asunto.

MIÉRCOLES 07/10/15

AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
Contactar al Ing. Carlos Aguirre para agendar la entrevista previamente platicada con él, así como también solicitar su asesoría en el experimento.	Se le mandó un correo electrónico en el que se le solicita una fecha para realizar la entrevista y experimento, el cual no tuvo respuesta.	Debido a la falta de respuesta se procederá a buscarlo personalmente a su oficina.	

MARTES 13/10/15

AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
Contactar al Ing. Carlos Aguirre de forma presencial en su oficina.	Se logró encontrar al Ing. Carlos Aguirre en la parte de arriba del laboratorio de hidráulica, y se agendó una cita para la entrevista y asesoría.	Se logró agendar una cita para la entrevista y asesoría para el día jueves 15 a las 10:00 am.	

JUEVES 15/10/15

AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
El día de hoy está programada la entrevista y la asesoría del experimento con el Ing. Carlos Aguirre a las 10:00 en el laboratorio de hidráulica.	No se presentó a la cita, se le esperó por poco más de una hora afuera del laboratorio de hidráulica.	Se buscará reagendar con él para otra fecha y hora a su conveniencia.	

LUNES 19/10/15

AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
Reagendar la entrevista con el Ing. Carlos Aguirre a un día y hora a su conveniencia por medio de correo electrónico.	Se logró contactar al ingeniero vía correo electrónico para reagendar la cita.	Se programó la entrevista y asesoría para el día jueves 22 a las 9:00 am en el laboratorio de hidráulica.	Se había agendado para el miércoles, pero por solicitud del ingeniero se movió para el día jueves. No se presentó en la fecha anterior debido a que se le cruzaron unos compromisos previos.

JUEVES 22/10/15

AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
Entrevistar al Ing. Carlos Aguirre a las 9:00 am en el laboratorio de hidráulica del ITESO. Posteriormente se pasará con la asesoría.	No se presentó a la cita, se procederá a volver a reagendar la cita, esta vez vía teléfono.	Se coincidió en ponernos de acuerdo el día lunes para otra cita.	

LUNES 26/10/15

AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
Agendar nueva cita con el Ing. Carlos Aguirre, así como establecer contacto con una concretera para el suministro de concreto permeable para el experimento, y finalmente también contactar al Dr. Gleason para agendar cita para la entrevista.	Se localizó al Ing. Carlos Aguirre por medio de su celular. Se intentó localizar a EcoAccion por medio de sus teléfonos de oficina proporcionados por su página web sin respuesta alguna.	Se agendó la cita con el Ing. Aguirre para el día martes 27 a las 9:00 am en el laboratorio. Se mandó un correo a EcoAccion como última medida para intentar establecer contacto con ellos y solicitar su apoyo. También se le mandó un correo al Dr. Gleason para agendar la entrevista, se esperará la respuesta.	El Ing. Carlos Aguirre no se presentó a la cita pasada debido a una confusión en su agenda.

MARTES 27/10/15

AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
Entrevistar al Ing. Carlos Aguirre a las 9:00 am en el laboratorio de hidráulica, así como también solicitar su asesoría para el experimento.	Se entrevistó al Ing. Aguirre por 58 minutos en el laboratorio, proporcionando información muy valiosa. También proporcionó asesoría respecto al experimento con muy buenas ideas al respecto.	Se replanteó el experimento y se platicará con el Mtro. Gil para la aprobación y su punto de vista de los cambios, para poder proceder con la fabricación del modelo.	La fabricación del modelo será auxiliada por el Ing. Carlos Aguirre. Una vez finalizado el experimento, el modelo será conservado por el laboratorio de hidráulica para futuros experimentos en él.

JUEVES 29/10/15

AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
Contactar al compañero, el Ing. Sergio Curiel para solicitarle información técnica, y muestras de las geomembranas y geocompuestos. Se intentará contactar una vez más al Dr. Gleason vía su correo del CUAAD.	Se le contacto vía WhatsApp al Ing. Sergio Curiel con la solicitud de lo necesario, a lo que mostro gran disponibilidad y ayuda. Se mandó otro correo al Dr. Gleason a su correo institucional del CUAAD en la UDG.	El Ing. Sergio mandará la información en los próximos días, y se esperará la respuesta del Dr. Gleason.	

VIERNES 30/10/15

AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
Debido a la falta de interés y contacto con las concreteras de Guadalajara, se procederá a contactar a Verdecreto, empresa en San Luis Potosí, y solicitar una cita para platicar del proyecto y solicitar su apoyo en el suministro del concreto permeable y demás información relevante al proyecto.	Se agendo una cita con la empresa para el mismo día a las 4:30 pm en sus oficinas de San Luis Potosí, por lo que se procederá a trasladarse hacia allá. Ya en la reunión, se platicó con LAE Fernando Galán y con el coinventor del Verdecreto, quienes mostraron gran interés y accedieron a suministrar las vigas	Ellos colarán, en una obra que tienen en proceso, 2 vigas de medidas: 0.15 m de ancho x 0.15 m de alto x 2 m de alto, con orejas en su cara superior para su fácil manipulación. Dicha acción será llevada a cabo en la semana, así como también proporcionarán la información relevante para el proyecto. Las vigas serán trasladadas	Mostraron mucho interés en colaborar juntos, se buscará hacer un convenio con ellos. También solicitaron que les proporcionara los resultados del experimento una vez que haya sido realizado, lo cual no creo que haya problema.

	necesarias para el proyecto.	de SLP a GDL una vez que estén aptas para el viaje.	
--	------------------------------	---	--

SABADO 31/10/15			
AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
-	El Dr. Arturo Gleason respondió al correo electrónico, por lo que se agendó una cita para la entrevista.	Se confirmó la entrevista para el día jueves 05 a las 12:00 pm en su oficina del CUAAD en la UDG.	Llegar temprano a la cita para buscar la oficina en el CUAAD.

LUNES 02/11/15			
AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
-	El Ing. Sergio Curiel mandó vía correo electrónico la información previamente solicitada sobre los geocompuestos. Falto las geomembranas.	Se revisará la información detenidamente y se platicará más a detalle con el Ing. Sergio. También se le solicitó las fichas técnicas de las geomembranas, al igual que se le preguntó la posibilidad de adquirir las muestras necesarias para el experimento, a lo que contesto que no habría problema.	Escoger un geocompuesto para solicitarlo lo más pronto posible y ya contar con él físicamente.

MIÉRCOLES 04/11/15			
AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
Se definirán las medidas finales con el Ing. Carlos Aguirre y el Mtro. Gil Ochoa en una cita previamente solicitada para las 9:00 am en el laboratorio de hidráulica.	Se platicaron diferentes posibilidades para mejorar el diseño del modelo. Se acordó el diseño del modelo y las medidas: 0.15 m de ancho x 0.15 m de alto x 1.90 m de largo.	Se confirmaron las medidas de 0.15 x 0.20 x 1.90 de las dos vigas, la concretera mando una carta confirmándolas y se aseguró que se colaran en los próximos 2 días	

También se le solicitó a la concretera que ajustara el largo de las vigas de 2 m a 1.90 m, debido al largo de la camioneta con la que serán transportadas de SLP a GDL.	Ese mismo día se recibió respuesta de la concretera donde se confirmó la medida de 1.90 m de largo, y se agrando el ancho de 0.15 m a 0.20 m debido a posibles problemas estructurales que quieren evitar, argumento la concretera. Por lo que las medidas finales de la viga, y por ende del modelo, serán de 0.15 m de alto x 0.20 m de ancho x 1.90 de largo.	para poder ser capaz de trasladarlas a GDL a más tardar el próximo viernes 13. Se acordó con el Ing. Carlos Aguirre que yo dibujaría los planos del modelo en AutoCAD con las medidas reales, el cual será revisado por el Mtro. Gil Ochoa para su aprobación.	
---	--	---	--

JUEVES 05/11/15			
AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
Entrevistar al Dr. José Arturo Gleason Espíndola a las 12:00 pm en su oficina del CUAAD en la UDG. También se confirmará con Verdeceto el colado de las vigas.	Se arribó al lugar 1 hora antes para buscar su oficina. Se entrevistó al Dr. Gleason por 54 minutos, proporcionó información muy valiosa y enriquecedora respecto a diferentes temas. Respecto al colado de las vigas, existió una confusión, debido a que el Ing. a cargo de la obra coló una viga de 2 m de largo, y tampoco estaba enterado de la colocación de las orejas.	La información proporcionada será de mucha utilidad para el TOG. Se revisará la metodología experimental, como aconsejado por el Dr. Gleason. El ing. de la obra quedó en colar ese mismo día otra vez la viga con el largo solicitado (1.90 m), así como también colocarle las orejas para su fácil manejo.	El Dr. Gleason se vio muy accesible e interesado en el tema, y dio consejos muy valiosos.

VIERNES 06/11/15			
AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
Seleccionar el geocompuesto necesario para el experimento, y proceder a solicitarlo al Ing. Sergio Curiel.	Se platicó con el Ing. Sergio respecto a las diferentes características de los diferentes geocompuestos. Y cuál	Considero que sería muy interesante el experimentar con 3 diferentes tipos de geocompuestos en vez de solo uno, como estaba planeado	Se le envió la solicitud al Ing. Sergio vía WhatsApp y vía correo electrónico solicitándole la cotización de dichos

	sería el más apropiado para el experimento.	originalmente. Se escogió el producto Aquadrain 10X, Delta-Drain 6000, y la Enkadrain 3611R, debido a sus diferentes características	productos con las medidas requeridas.
--	---	--	---------------------------------------

LUNES 09/11/15			
AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
Confirmar el colado de las vigas por parte de Verdeceto.	Se habló con el Ing. de la obra por parte de Verdeceto, quien comento que efectivamente se coló una viga la semana pasada con el largo solicitado, pero sin las orejas solicitadas. Comentó que por problemas del suministro del concreto no fue capaz de colar la otra viga la semana pasada, por lo que procederá a colarla este mismo día para que puedan ser trasladadas el día viernes a GDL acorde a lo planeado. El ing. Sergio Curiel mandó la información faltante respecto a las geomembranas.	Verdeceto colará la viga faltante con las medidas y las orejas solicitadas este mismo día, y se comunicará el día jueves para que pueda recoger las vigas. También se analizará detenidamente la información proporcionada por el Ing. Sergio, y se buscará platicar el día de mañana martes 10 con él, para escoger la más indicada.	

MARTES 10/11/15

AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
Platicar con el Ing. Sergio Curiel respecto a cuál sería la mejor opción de geomembrana.	Se platicó con el Ing. Sergio cual sería la mejor opción para el experimento. Se seleccionó una, y se comentó que haría la cotización de esta y de los geocompuestos, lo más pronto posible para ver la posibilidad de adquirir todos o en caso de que fuera muy caro seleccionar las mejores opciones.	Se escogió la geomembrana HDPE lisa de 1.0 mm de Polytex. El Ing. Sergio procederá a realizar la cotización de esta, así como de los geocompuestos pendientes.	Se le comentó al compañero que proporcionara las cotizaciones lo más pronto posible para poder realizar el experimento antes de que finalice el mes.

JUEVES 12/11/15

AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
Esperar la llamada de Verdecreto para poder pasar por las vigas. En caso de no recibirla a hora temprana proceder a contactarlos. Confirmar con el Ing. Carlos Aguirre el progreso en la fabricación del modelo.	Se recibió la llamada por parte de Verdecreto para ponernos de acuerdo en la hora de la recolección de las vigas. Se contactó al Ing. Aguirre quien confirmó que el material ya estaba siendo suministrado para la fabricación del modelo.	El Ing. Guillermo Acosta Ortega pasará en San Luis Potosí por las vigas, quien a su vez las trasladará el mismo día a GDL. Se le seguirá dando seguimiento a la fabricación del modelo con el Ing. Carlos Aguirre.	

VIERNES 13/11/15

AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
Recibir las vigas de concreto permeable.	Se recibieron y guardaron 3 vigas de concreto permeable en el laboratorio de hidráulica y de materiales, aproximadamente a las 7:40 pm.	Las vigas serán guardadas en el laboratorio, sin que estorben, para poder experimentar en ellas una vez el modelo este construido.	Una de las vigas al moverla en el piso se desgranó un poco, se sospecha que esa fue la última viga en ser colada.

LUNES 16/11/15

AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
Realizar la observación directa del área de estudio, Ciudad Bugambillas.	Se arribó al fraccionamiento aproximadamente a las 10:00 am, se realizaron las actividades necesarias para cumplir con la técnica y se tomaron fotografías, concluyendo la actividad aproximadamente a las 2:00 pm.	Se tomaron fotografías de la zona y de algunos colectores pluviales, y se llenó el formato de observación directa.	Existen más colectores pluviales en el fraccionamiento, pero fuera del área de estudio.

VIERNES 20/11/15

AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
-	El ing. Sergio Curiel fue capaz de conseguir un rollo de geomembrana HDPE-40 de 1mm, de 2.8 x 1 m en DM tecnologías; y un rollo de geocompuesto Delta Drain 2000 de 1.83 x 2 m.	Se fueron a pagar y a apartar los rollos para poder ir el lunes a recogerlos.	Solo se pudo conseguir un tipo de geocompuesto debido a que todos los constructores y distribuidores quieren vender mínimo medio rollo, lo cual no es económicamente factible. Se seguirá intentando conseguir otro ejemplar.

MARTES 24/11/15

AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
El lunes se habló para poder pasar por los rollos el martes en la mañana. Reunirse con el Ing. Carlos Aguirre para darle seguimiento a la fabricación del modelo.	Se recogieron los dos rollos, el de geomembrana y geocompuesto, y se compró uno extra de geotextil. Me reuní con el Ing. Aguirre, platicamos del modelo y de algunos ajustes hechos al laboratorio para poder realizar el experimento.	Los rollos fueron guardados en el laboratorio de hidráulica. Habrá otra reunión el día jueves por la tarde para analizar el modelo ya físicamente en una versión preliminar, y se revisará la metodología del experimento.	Revisar la metodología del experimento para llevarla lo más completa posible.

MIERCOLES 10/02/16

AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
Después de varias pláticas durante el mes de enero se acordó realizar la primera prueba con un modelo experimental inicial para detectar cualquier acción correctiva necesaria para el modelo final.	Se llevó a cabo el experimento en el primer modelo (Ver diseño de experimento para más información).	Se acordó en juntarse una vez más para experimentar en el mismo modelo el próximo miércoles 17 de febrero.	El modelo funcionó muy bien, aunque son necesario ciertos ajustes. Se tuvo que cortar aproximadamente 1 cm del largo de la viga debido a que sus dimensiones no eran las adecuadas.

MIERCOLES 17/02/16

AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
Experimentar una vez más en el primer modelo de prueba, esta vez ya con medidor de carga piezométrica y una alimentación constante de agua.	Se llevó a cabo la segunda prueba en el primer modelo experimental (Ver diseño de experimento para más información).	Se acordó en juntarse una última vez para revisar que nada se haya pasado por alto y proceder a la elaboración del modelo experimental final.	Se vio un progreso importante al de la semana pasada, se pudo apreciar de mejor manera cómo funciona el sistema, así como también se detectaron unos problemas (Ver diseño de experimento para más información).

MIERCOLES 24/02/16

AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
Plantear el modelo numérico para el experimento con el profesor Gil Humberto Ochoa.	Se planteó el modelo numérico en el que se tomaran en cuenta los tirantes, las áreas, y las velocidades para poder calcular el valor K, así como para elaborar diferentes gráficos de utilidad.	Se acordó que elaboraría de forma formal el modelo numérico en Excel para tenerlo listo para el día del experimento, así como también revisarlo con el Ing. Carlos Aguirre.	Se espera que con esto podamos obtener un valor de K constante, aunque se desconoce si esto se cumplirá.

MARTES 01/03/16

AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
Reunirse con el Ing. Carlos Aguirre para revisar el modelo numérico previamente elaborado, así como también se tendrá la plática final para la elaboración del modelo final para el experimento formal.	Se revisó el modelo numérico, el cual satisface al Ing. Carlos Aguirre, aunque sugirió ciertas modificaciones que serán tomadas en cuenta. Se platicaron los planes para el desarrollo del modelo final, así como la fecha tentativa para el experimento formal.	Por sugerencia del Ing. Carlos Aguirre se construirá un modelo con una longitud total de 3.8m, correspondiendo a la utilización de 2 vigas de concreto permeable, en vez de una sola como se había venido experimentando, esto permitirá una mejor visualización y apreciación del funcionamiento del sistema. Se acordó reunirnos el viernes 4 de marzo para la elaboración del experimento formal ya con el modelo terminado.	Se perforará una de las vigas de concreto que se tenía de reserva para colocarle varias varillas de acero para poder ser cargada e instalada dentro del modelo, ya que esta no cuenta con ningún tipo de agarradera.

MIÉRCOLES 16/03/16

AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
Agendar fecha definitiva para la realización del experimento formal.	Se había acordado realizar el experimento el día viernes 4, pero debido a que el Ing. Carlos Aguirre estaba muy ocupado se postergó la fecha para el día jueves 17 a las 5pm. Debido a una visita de obra planeada para el día jueves 17 de una materia de la maestría se imposibilitó cumplir una vez más con la fecha pactada.	Se acordó reunirse para el experimento el día martes 29 de marzo.	

MARTES 29/03/16			
AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
Reunión para revisar que falta por terminar del modelo experimental	Se trabajó en el modelo experimental.	Trabajar nuevamente en el cajón experimental los días 30 de marzo y 8 de abril.	Faltan detalles por afinar del modelo experimental.

MIÉRCOLES 13/04/16			
AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
Realizar la primera prueba en el modelo experimental ya instalado y listo.	Se encontraron fugas considerables e irreparables en el cajón experimental.	Se tendrá que hacer un nuevo cajón experimental debido a la gran cantidad que presentó este.	Se tiene que colocar un riel de mayor calibre y mejorar las uniones entre las tablas de madera del cajón experimental.

SABADO 16/04/16			
AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
Planear la elaboración del nuevo cajón experimental.	Se solicitará material a través del ITESO y se armará en el laboratorio de hidráulica.	Nos reuniremos en el transcurso de las próximas semanas para trabajar el cajón experimental.	

MIÉRCOLES 08/06/16			
AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
Seguir con el armado del cajón experimental.	Se continuó con el ensamble, barnizado y sellado del cajón experimental.	Terminar el ensamble del cajón experimental antes de fin de mes.	Se retrasaron los trabajos del cajón experimental debido a la tardanza del suministro del material y al cortado del mismo.

SABADO 20/08/16			
AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
Colocación de válvulas a lo largo del cajón experimental para las mediciones.	Se colocaron todas las válvulas y se instaló el cajón en su lugar.	Sellar el cajón en los próximos días, colocar el geocompuesto y las vigas de concreto permeable.	

JUEVES 22/09/16			
AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
Colocación del geocompuesto y montado de las vigas de concreto permeable	Se colocó el geocompuesto pero fue imposible montar las vigas debido a falta de personal.	Se montarán las vigas de concreto permeable el día jueves 29 de septiembre con la ayuda de más gente y herramientas especiales.	Faltará nivelar el modelo y colocar las mangueras a las válvulas.

MARTES 11/10/16			
AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
Preparar el modelo experimental y realizar las primeras pruebas.	Se montó todo el modelo experimental y se llevó a cabo la primera prueba de flujo con un gasto de 0.37.	Realizar las siguientes tres pruebas el próximo jueves 27.	La prueba fue un éxito, no hubo problemas mayores, solo fugas menores que se pudieron reparar.

JUEVES 27/10/16			
AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
Realizar las siguientes tres pruebas.	Se realizaron 2 pruebas con gastos de 0.67 lt/s y 0.82 lt/s. La tercera prueba se realizará el día de mañana junto con la última programada.	Se realizarán las últimas dos pruebas faltantes el día de mañana viernes 28 de octubre.	

VIERNES 28/10/16			
AGENDA INICIAL	DESARROLLO	AGENDA FINAL	OBSERVACIONES
Realizar las últimas dos pruebas del modelo experimental.	Se realizaron las últimas 2 pruebas de laboratorio con gastos de 1.06 lt/s y 1.31 lt/s.	Habiendo finalizado las pruebas de laboratorio, se analizarán los datos y se realizarán las gráficas pertinentes.	