



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA

**APLICACIÓN DE CONCRETO PERMEABLE PARA EL DISEÑO
DE DRENAJE PLUVIAL:
El caso del Municipio de Mazatlán, Sinaloa.**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA
(CONSTRUCCIÓN)**

P R E S E N T A:

DANIEL ALEXANDER ARIEL CASTRO ORTEGA

DIRECTOR DE TESIS:
DR. HUGO MEZA PUESTO

2011



Dedicado a todos aquellos que me apoyaron y creyeron en mi y en mi trabajo durante la elaboración del mismo; incluyendo familia, amigos y especialmente dedicado a mi tía Guadalupe Ortega Reyes, quién pasaría a mejor vida durante los primeros años de este ciclo.

Índice

INTRODUCCIÓN

1. Antecedentes Generales.....	1
1.1. Antecedentes históricos.....	1
1.1.1. Razones para la construcción de drenajes artificiales.....	3
1.1.2. Primeros comienzos.....	4
1.1.3. La evolución del Sistema de Alcantarillado en México.....	7
1.1.3.1. Ingeniería hidráulica en el México prehispánico.....	8
1.1.3.2. Ingeniería novohispana hasta nuestros tiempos.....	10
1.1.3.3. Una obra sin precedentes, para un problema de grandes antecedentes.....	13
1.1.4. Antecedentes Históricos De La Ciudad de Mazatlán, Sinaloa.....	14
1.1.4.1. Crecimiento de la población.....	15
1.1.4.2. Principales usos del suelo.....	16
2. Marco de Referencia.....	23
2.1. Marco Teórico.....	23
2.1.1. Determinación del caudal de diseño.....	24
2.1.2. Concreto Permeable.....	29
2.1.2.1. Historia del Concreto Permeable.....	29
2.1.2.2. Aplicaciones en Pavimentos.....	30
2.1.3. Ecocreto.....	32
2.1.3.1. Detalles a considerar en cuanto a la utilización del Ecocreto.....	34
2.1.3.2. Infiltración de agua de lluvia a través de Ecocreto, una solución ecológica.....	36
2.2. Marco Conceptual.....	38
2.2.1. La población de la zona a estudiar.....	38
2.2.2. Las avenidas prevalecientes en la zona de estudio.....	41
2.2.3. Fenómenos meteorológicos predominantes en la zona.....	44
2.2.3.1. Precipitación.....	44
2.2.3.2. Fenómenos hidrometeorológicos extremos.....	45
2.3. Marco Histórico.....	47
2.3.1. Componentes del ciclo hidrológico.....	47
2.3.2. Aguas subterráneas.....	49
2.3.3. El fenómeno de las inundaciones en la ciudad de Mazatlán.....	53
2.3.3.1. Aspecto social.....	54
2.3.3.2. Obras públicas.....	59
2.3.3.3. Proyección futura.....	64
2.4. Marco Legal.....	66
3. Aspectos metodológicos.....	73
3.1. Observación.....	73
3.1.1. Descripción visual del problema.....	74
3.1.2. Observación de la zona de estudio.....	77
3.2. Población y muestra.....	81
3.2.1. Encuestas realizadas.....	81

3.2.2.	Tamaño de la muestra.....	85
3.2.3.	Resultados de las encuestas.....	87
3.3.	Condiciones topográficas.....	93
3.3.1.	Determinación de la cuenca en estudio.....	94
3.3.2.	Determinación de la dirección de flujo.....	96
3.3.3.	Determinación de las zonas de control.....	97
3.4.	Diseño de un sistema de drenaje pluvial.....	98
3.4.1.	Aplicación del Método Racional.....	98
3.4.1.1.	Determinación del área.....	98
3.4.1.2.	Determinación del Coeficiente de Escorrentía.....	99
3.4.1.3.	Determinación de la Intensidad de Lluvia.....	99
3.4.1.4.	Determinación los caudales de diseño.....	100
3.4.2.	Aplicación del concreto permeable para el control de inundaciones.....	104
4.	Conclusiones.....	112

Bibliografía

Anexos:

Anexo 1: Encuestas realizadas

Anexo 2: Resultados de las encuestas

Anexo 3: Determinación de las zonas de control

Anexo 4: Cálculo de los caudales de diseño para la zona de estudio

Introducción

Desde el inicio de los tiempos, la interacción del ser humano con el agua ha sido uno de los factores más importantes para el nacimiento de civilizaciones enteras. Desde la necesidad de proveer agua hasta evacuar el agua que ya no resulta útil a la población, la ingeniería civil ha dedicado una gran parte de su concepción y desarrollo a la instalación de sistemas de conducción de aguas a través de cada asentamiento.

En la presente investigación me dediqué a la observación del fenómeno de las inundaciones que sufre la ciudad de Mazatlán, Sinaloa durante la época de lluvias, así como la elaboración de un sistema de drenaje pluvial que pudiera proveer una solución viable y de bajo costo a la misma a base de Ecocreto, una patente mexicana de concreto permeable que ofrece grandes beneficios para la pavimentación de avenidas, siendo la principal de estas su capacidad de filtrar el agua que recibe y enviarla hacia el subsuelo.

Lo que se me revelaría durante el curso de esta investigación terminaría por abrirme los ojos en relación a este fenómeno, como de los procedimientos para el desalojo de agua pluvial que utilizamos en la actualidad.

El problema de las inundaciones en la ciudad de Mazatlán, Sinaloa es un evento el cual conozco de manera muy personal, pero ahora que me dedico a investigarlo a fondo es cuando logro percatarme de la verdadera magnitud del problema, de la necesidad que tiene la población para que este problema sea resuelto y de lo muy poco que las pasadas administraciones han prestado atención a este mismo.

Sin embargo, tras la investigación minuciosa de los sistemas de drenaje pluvial utilizados en la actualidad, es donde uno puede percatarse con facilidad la razón

por la cual en esta ciudad (como quizá en otras ciudades del país) no se ha proyectado un sistema de drenaje pluvial determinante que realmente este proyectado para mitigar este problema; los sistemas actuales concebidos para el control de inundaciones resultan difíciles de instalar, caros, poco confiables y requieren de mucho mantenimiento para que sigan operando en óptimas condiciones.

Durante la presente investigación se logró llegar más lejos de la meta inicial de este proyecto, pues se logró ejemplificar como funcionaría un sistema de drenaje pluvial a base de concreto permeable: Ecocreto, proyectado para la zona Centro de la ciudad de Mazatlán, Sinaloa.

A través de los métodos comúnmente utilizados, se logró la obtención de los caudales de proyecto necesarios para cuantificar el problema y se demostraron las grandes ventajas de poseer un sistema de drenaje pluvial que no requiera la utilización de tuberías para el desalojo de agua de lluvia.

Finalmente, quiero añadir que a través de este tratado deseo expresar la gran necesidad que tenemos de un nuevo sistema de drenaje pluvial que no solo sea eficiente, económico y de fácil instalación. Sino que, dada la tecnología que ahora poseemos en la forma del concreto permeable: Ecocreto, le debemos a nuestros mantos acuíferos y a nuestros cuerpos de agua receptores de agua de desecho una nueva vía por la cual podamos solucionar nuestras necesidades como población, al mismo tiempo que procuramos brindar una nueva visión al modo con el cual interactuamos con nuestro medio ambiente, con el cual necesitamos coexistir si de verdad deseamos continuar habitando sobre este planeta.

1 – Antecedentes Generales

Se dice que no hay problema sin una solución, y la razón de ser de la ingeniería es precisamente la de resolver los problemas que aquejan a la sociedad en cada uno de los diferentes ambientes en los que distintos grupos humanos han optado por establecerse.

Y uno de los fenómenos más comunes que prevalecen en distintos ecosistemas son aquellos que pertenecen al ciclo hidrológico, y la época de lluvias aqueja de diferentes maneras a diferentes grupos sociales.

La ingeniería también ha tenido su papel en cuanto a la tecnología a cargo del control de inundaciones, y diferentes civilizaciones a lo largo de la historia han buscado el modo de convivir con un fenómeno natural que puede ser tanto una bendición para las cosechas, como una señal de infortunio y catástrofes naturales.

1.1 – Antecedentes históricos

Dentro de la problemática del “saneamiento básico” de comunidades tienen enorme importancia el suministro de agua potable y la recolección de las aguas residuales. Cualquier población, por pequeña que esta sea, debería contar como mínimo con los servicios de acueducto y alcantarillado, si se espera de ella un desarrollo social y económico y, ante todo, la reducción de las altas tasas de morbilidad y mortalidad en especial de la población infantil.¹

¹ RICARDO ALFREDO LÓPEZ CUALLA, Diseño de Acueductos y Alcantarillados, 2da. edición Ed. Alfaomega, México, 2000, Pág.19.

La relación entre el hombre y el agua es algo innegable, debido a que el agua es el elemento más importante dentro de la vida de todo ser humano. No es de sorprenderse que las primeras civilizaciones de la humanidad hayan florecido en las cercanías de cuerpos importantes de agua, tal es el caso de la civilización mesopotámica, la cual se estableció entre dos grandes ríos: Tigris y Eufrates. Lo mismo se puede decir al respecto de la civilización egipcia, poderoso imperio de la antigüedad que se estableció a lo largo del río Nilo.

La humanidad requiere del agua para todo tipo de actividades y necesidades; desde las más primordiales, como requerimiento básico diario para su sobrevivencia, como factor primordial para el florecimiento de cultivos, hasta para las más variadas necesidades de higiene y limpieza, entre muchas otras actividades que hacen provecho de la característica más importante de este elemento: el agua como solvente por excelencia.

No es de extrañarse el hecho de que a través de la historia, el hombre ha ingeniado variadas formas de abastecerse del vital líquido, al mismo tiempo de distintos modos para interactuar diariamente con un elemento que toma la forma y puede expandirse sin control a través de tanto espacio como se le permita.

El agua fue un factor determinante para la evolución del hombre, dado que su existencia permitió el florecimiento de los cultivos, lo cual a su vez propició que distintas civilizaciones abandonaran una existencia errante. Pero gracias a la tecnología y a las diferentes ramas de la ingeniería, el hombre ha aprendido a interactuar, controlar, distribuir y hasta trasladarse a través de grandes cuerpos de agua, que han demostrado ser también un obstáculo cuando la humanidad se ha visto en la necesidad de trasladarse a nuevos horizontes.

1.1.1 - Razones para la construcción de drenajes artificiales

La historia nos relata distintas necesidades que el hombre ha presentado en su afán de controlar el agua.

Un ejemplo de ello lo podemos encontrar en Magote, Japón, donde un sistema de drenaje para la agricultura fue necesario para drenar el agua de los cultivos durante los fuertes diluvios. Algo destacado de esta aportación fue el hecho de que sus diseñadores estaban conscientes que las protuberancias en el sistema provocaban turbulencias en el trayecto del agua, lo cual evitaba asentamiento de sedimentos en el canal.

Al Norte de los Estados Unidos y Europa, tras el paso de la era glacial se formó un conjunto de pequeños lagos, los cuales se vieron beneficiados con materia fértil, transformándose en pantanos. Pobladores de esas zonas aprendieron a drenar estos con la ayuda de conductos o trincheras, lo cual dejaba atrás zonas fértiles para ser usadas para el cultivo de vegetales.

El proyecto más grande de este tipo en el mundo se ha llevado a cabo por siglos en Holanda. Durante tiempos prehistóricos, el área situada entre Ámsterdam, Haarlem y Leiden era una tierra pantanosa con múltiples lagos, los cuales se fusionaron para crear el un enorme lago llamado Haarlemmermeer. Debido a que esta zona posee un nivel inferior al del mar, el drenado de este gran cuerpo de agua solo fue posible gracias a la invención de bombas impulsadas por viento, lo cual brindó a Holanda uno de los íconos por los cuales es mundialmente reconocido: sus numerosos molinos de viento.

El definitivo desalojo del gran lago no ocurrió sino hasta el año de 1952 y no sería posible sino gracias a la bomba de vapor y el acuerdo entre autoridades regionales. La eliminación de dicho lago generó miles de kilómetros cuadrados de tierra firme.²

1.1.2 - Primeros Comienzos

La ingeniería es enemiga de la falta de desarrollo, la improvisación, el despilfarro de recursos, la corrupción vital que implica el trabajo mal hecho. Es, por contrario, aliada natural de la planeación, el progreso, la creatividad productiva, el trabajo eficiente y la tecnología puesta al servicio del hombre.³

La necesidad del hombre por tener una relación directa y abastecerse de agua ha influenciado a la ingeniería tanto como su necesidad por limitar el paso y deshacerse de volúmenes de agua innecesarios y de desecho.

Los primeros registros de un sistema avanzado de drenaje se remontan alrededor del 3100 A.C. y provienen de la civilización del valle de la India, territorio que hoy en día conocemos como Pakistán y el Norte de la India. Contrario a su antigüedad, estos sistemas de drenaje pluvial y sanitario, eran por mucho más eficientes que los que encontraremos en ciudades contemporáneos del Medio Oriente. Por ejemplo, todas las casas de las ciudades más grandes de Harappa y Mohenjo-daro tenían un acceso directo al agua y sus correspondientes instalaciones de drenaje, estas últimas encausaban el agua de desecho hacia drenajes cubiertos, los cuales fluían a través de las calles más importantes.⁴

² Cfr. *Drainage*, dirección en Internet: <http://en.wikipedia.org/wiki/Drainage>, fecha de consulta: 22 de Noviembre del 2007.

³ COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES DE MÉXICO A.C (CICM A.C.), *La Ingeniería Mexicana – Un Encuentro con la Historia*, México, 1996, Pág.24.

⁴Cfr. *Drainage*, op. Cit..

Por otro lado, investigaciones arqueológicas han descubierto diversos sistemas de alcantarillado en muchas civilizaciones de la antigüedad. Tal es el caso de un sistema sanitario a base de arcos encontrado en las ruinas de Nippur, Sumeria, que se remonta al 5000 A.C., el cual era un sistema extenso que recolectaba los residuos líquidos de los palacios y zonas residenciales de la ciudad.

En Babilonia, se descubrió un sistema de alcantarillado a base de tuberías, y tanto en Babilonia como en Ninive se descubrieron cloacas de grandes dimensiones las cuales fueron construidas en bóvedas alrededor del siglo VII A.C.

Las aguas residuales provenientes del templo y la ciudad de Jerusalén eran conducidas hacia un estanque, donde estas mismas aguas pasaban por un proceso de depuración. De tal modo que el afluente resultante se utilizaba posteriormente para el riego, mientras los lodos sedimentados eran usados como abono en los jardines del valle de Cedrón.

Del mismo modo, se han descubierto vestigios de la necesidad del hombre de un sistema de alcantarillado en la antigua civilización Griega, dado que en Atenas era ampliamente difundido el uso de letrinas, donde el agua que resultaba de su uso era posteriormente utilizada para la irrigación.⁵

En este aspecto, la civilización romana es ampliamente reconocida por su concepción y realización de obras hidráulicas. Solo basta visitar monumentos como el Pont du Gard o el Acueducto de Cartago para darse una idea del aporte de esta cultura en este ramo de la ingeniería.

⁵ Cfr. CICM A.C., op. cit., Pág.50.

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial

Este “Gran Alcantarillado” fue construido con el propósito inicial de drenar los lugares de nivel más bajo que corrían a lo largo del Forum. Tiempo después, redes de drenaje sanitario y pluvial que circulaban a lo largo de la ciudad se fueron conectando a la Cloaca Maxima, la cual vertía su afluente en las cauces del río Tibes.

Este sistema de drenaje romano continuó en eficiente operación durante el primer siglo D.C., y su construcción es considerada una de las aportaciones más notorias que la civilización romana ha demostrado a la humanidad.⁶

Es importante destacar el hecho de que posteriores diseños de drenaje en Europa fueron básicamente los mismos utilizados por la civilización romana, y no existió un progreso importante de los mismos sino hasta la mitad del siglo XIX. La idea general seguía siendo la misma: un largo conducto que recorrería las calles recolectando los desechos que la gente aporta al sistema.

1.1.3 - La evolución del Sistema de Alcantarillado en México

Como sabemos, el avance cultural de las antiguas civilizaciones contenidas en el continente americano se caracteriza por poseer un avance que no tiene relación con aquellas culturas localizadas en Europa sino hasta las primeras expediciones españolas, inglesas y portuguesas.

Y de entre esas civilizaciones, las situadas dentro del territorio mexicano demostraron impresionantes muestras en el ámbito de la construcción, la arquitectura y la ingeniería. Del mismo modo, estas culturas demostraron el mismo intrínseco interés del ser humano por controlar el agua para su subsistencia. Los ingenieros de esas regiones (cuya existencia dentro de su organización era

⁶*Sanitation in Ancient Rome*, dirección en Internet: http://en.wikipedia.org/wiki/Sanitation_in_Ancient_Rome, fecha de consulta: 22 de Noviembre del 2007.

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial denominada como tlachihuani) constituía la misma función que su similar contemporáneo: la de utilizar su ingenio para hacer algo, poseedores del conocimiento, experiencia y organización para hacerse cargo de obras de gran envergadura. Así mismo, poseían un cuerpo de “ingenieros hidráulicos”, en el caso de los mexicas, compuesto por figuras como Netzahualcóyotl, quien sería sucedido por Nezahualpilli.

1.1.3.1 - Ingeniería hidráulica en el México prehispánico

Al igual como otras grandes culturas de la antigüedad, en las culturas mesoamericanas, el gran cúmulo de conocimientos estaba solo a disposición de las clases sacerdotales, quienes eran aquellos que detentaban el poder y la organización de estos grandes pueblos.

Es por ejemplo, importante destacar el caso de Teotihuacan, donde se llevaron a cabo importantes obras de canalización de ríos y donde se construyeron sistemas para canalizar las aguas pluviales mediante conductos y registros subterráneos. Incluso, dentro de sus estatutos existió una organización de servicios públicos que tenía por encomienda el construir y mantener las redes de desagüe.

Por otra parte, en la zona de Malinalco, sus constructores concibieron la importancia de diseñar un sistema de desagüe pluvial a través de una red de canales, y ello con el propósito de evitar la erosión en sus templos y recintos, los cuales fueron labrados en el flanco de la montaña.

Otro hallazgo interesante puede situarse en la Gran Pirámide de Cholula, la cual contiene canales de desagüe pluvial el cual estaba constituido de tuberías de barro recocido.

Estos y otros ejemplos, como los encontrados en Palenque y Chichén Itzá nos dan claro testimonio del entendimiento e interés por parte de nuestros ancestros por proveer a sus ciudades de un control de las aguas. Y no hay un ejemplo más notable de esta interacción entre el hombre y el agua que los avances encontrados en el Valle de México.

Fueron los mexicas quienes dominaron el Valle de México 500 años después de que habían declinado otras grandes culturas del Horizonte Clásico, como Teotihuacan y Palenque. Guiados por Huitzilopochtli, los mexicas se establecieron en un islote situado entre los cinco lagos que conformaban esa zona lacustre del Valle de México, la cual era una cuenca alimentada por las lluvias y ríos procedentes de la Sierra Nevada y pequeños manantiales.

El mayor reto para esta civilización fue establecer condiciones aptas para llevar a cabo la agricultura, de ahí que idearan un interesante sistema de cultivo: la chinampa. Esta era una masa de tierra, de aproximadamente diez por cien metros, compactada a base de juntos amarrados con cuerdas al fondo de los lagos. Del mismo modo, esta zona lacustre propició el que los mexicas construyeran una red de canales y acequias por la cual su gente se transportaría a través de miles de canoas. Lo más destacado del sistema hidráulico de México-Tenochtitlán son sus presas, albarradones y redes de acequias.

El acueducto de Chapultepec fue sin duda una de las obras hidráulicas más impresionantes que figuraban el gran imperio mexica, el cual dotaba de agua a toda la ciudad. El mismo Hernán Cortés no pudo evitar demostrar su admiración en la segunda de sus cartas de Relación.

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial

Y tan vital era esta obra de ingeniería que el cerrar dicho acueducto por los invasores españoles fue una táctica estratégica que ayudaría a doblegar la voluntad para luchar de los mexicas.⁷

1.1.3.2 – Ingeniería novohispana hasta nuestros tiempos

Tras la conquista y la colonización de México por parte de los españoles, hubo una serie de requerimientos si es que esta nueva sociedad estaba diseñada para florecer en el Nuevo Continente. Y la importancia del agua en este proceso volvió a tomar un papel fundamental en la agenda de los ingenieros de aquella época.

Hubo que dotar de agua para irrigación mediante canales y acequias a los cultivos que presentaban sequías durante ciertas épocas del año.

De las obras más impresionantes de aquella época fueron los acueductos construidos para llevar agua a ciudades distantes, al igual que proveer energía hidráulica a molinos de agua y otra serie de ingenios que requerían de la misma. Dichos acueductos fueron elaborados siguiendo el sistema con base en arcadas de piedra diseñado por los romanos. El acueducto que fue construido por órdenes del marqués de la Villa del Villar del Águila en Querétaro aún se mantiene erguido y su caño corre sobre 74 arcos a lo largo de mil 280 metros.

La Ciudad de México era provista de agua a través de un ducto prehispánico que fue reparado tras la edificación de la nueva urbe y este llevaba el agua a la ciudad desde los manantiales de Chapultepec. Con el crecimiento de la ciudad, fueron creándose nuevos acueductos que saciarían la sed de la gran ciudad.

⁷ Cfr. CICM A.C., op. cit., Págs. 61-71.

Y no fue otra sino la misma ciudad de México, una de las primeras en ser víctimas del progreso, dado que la cada vez más impermeable ciudad era susceptible a las inundaciones. Este constituyó un reto peculiar para los ingenieros de la época.

Fue en el año de 1555, durante el gobierno de Luis de Velasco cuando la primera gran inundación de la Ciudad de México se presentó. Para evitar eventos futuros de la misma magnitud se tuvo que recurrir a los indígenas más ancianos para que ellos informaran como era el proceder de los gobernantes prehispánicos en ese tipo de situaciones. El Cabildo recolectó una lista de obras a realizar, entre las que estaba conducir remanentes de agua fuera de la ciudad, componer las principales calzadas, reparar bordos y, particularmente, había que reconstruir la albarrada que había sido edificada en tiempos de Ahuizotl, la cual sería conocida después como albarradón de San Lázaro. Este mismo año se propuso realizar por primera vez un sistema de desagüe, pero solo quedó en un proyecto.

El caso de la ciudad de México es un caso excepcional, la ciudad más grande del mundo se sitúa en una cuenca que no posee una salida fácil hacia ningún cuerpo de agua importante. Esta podría considerarse una primera llamada para toda ciudad en desarrollo, dado que en el desarrollo está implícita la necesidad de pavimentar, construir y edificar zonas que, dejarán de infiltrar el agua hacia al subsuelo. Las inundaciones de la Ciudad de México en la primera mitad del siglo XVII llegaron a ser tan graves que se consideró cambiar nuevamente la capital del país.

En 1604 y 1607 se dio orden para que se repararan las calzadas y diques, ello bajo la supervisión de los frailes franciscanos Juan de Torquemada y Jerónimo de Zárate. Nuevamente se retomó la idea de realizar un desagüe para la ciudad, pero las discusiones se prolongaron, y no importando la gran necesidad del mismo, la obra nuevamente se ignoró.

No fue sino hasta un segundo gobierno de don Luis de Velasco en 1607 cuando se dio inicio la construcción del canal de Huehuetoca que drenaría el lago de Zumpango e interceptaría el río Cuautitlán, dirigiendo sus aguas hacia el río Tula.

La dirección de este desagüe estuvo a cargo del famoso cosmógrafo europeo Enrico Martínez. El resultado final de estos trabajos no fue del todo satisfactorio, dado que no se pudo disminuir en gran medida el nivel de los lagos. Adrián Boot, un experto en hidráulica holandés, aseguró que aquellos trabajos no serían de utilidad, pero el famoso cosmógrafo se valió de una carta al rey Felipe III para que le permitieran continuar con sus trabajos; hasta el año de 1623, el virrey en turno ordenó la suspensión de los trabajos.

En el año de 1629 ocurrió la peor de las inundaciones. Enrico Martínez, temiendo que las aguas del río Cuautitlán destruyeran el canal de desagüe, ordenó que este se cerrara, lo cual conllevó que el río siguiera su curso hacia la cuenca de México, subiendo su nivel por todos los rumbos de la capital. Fue tal el desastre que hubo graves víctimas humanas y materiales durante el suceso, por lo cual el famoso cosmógrafo fue encarcelado por negligencia.

Después de varias discusiones, Enrico Martínez fue puesto en libertad, dado que las autoridades comprendieron que él era quien más sabía acerca del tema, de modo que los trabajos continuaron en 1630. El famoso cosmógrafo murió en 1632, tras haberle dedicado 25 años de su vida a las obras de desagüe de la ciudad de México.

Los trabajos del desagüe continuaron a tajo abierto a partir del año de 1637, pero no fue sino hasta 1774 cuando el tribunal del Consulado pidió su opinión al maestro de matemáticas de la Real y Pontificia Universidad, don Joaquín Velásquez Cárdenas de León. Tras estudiar el problema en cuestión, él coincidió con la idea que

Humboldt manifestó en el siglo XIX: La ciudad correrá muchos riesgos, mientras no se abra un canal al lago de Texcoco.⁸

1.1.3.3 – Una obra sin precedentes, para un problema de grandes antecedentes

El final de nuestro recorrido a través de las obras de desagüe en México, culmina en nada menos que una de las obras más grandes que la ingeniería mexicana haya sido capaz de crear en nuestro territorio en el siglo XX.

Para el año de 1950, la ciudad de México padeció de terribles inundaciones, lo cual conllevó que en el año de 1954, la Dirección General de Obras Hidráulicas formulara un plan que atacara tres problemas fundamentales: El hundimiento, las inundaciones y el abastecimiento de agua potable.

Tras haber trabajado en los proyectos más urgentes en esta materia, en marzo de 1959, surgió la idea de que lo que hacía falta era un sistema de drenaje profundo.

Posteriores estudios determinaron que dicha obra debía de constar de un emisor central y dos interceptores profundos: el central y el oriente, los cuales tendrían la función de hacer uso de la gravedad para transportar el agua, a través de túneles, desde la ciudad hasta la desembocadura del sistema, esta última ubicada en el río del Salto, en Hidalgo.

Este proyecto inició en el año de 1967, y esta obra implicó un gran reto para la ingeniería mexicana, dada la dimensión de la misma y de las particularidades del terreno.⁹

⁸ Cfr. Ibid., Págs. 87-152.

⁹ Cfr. Ibid., Págs. 235-238.

Esta obra aún se encuentra en operación en la capital de la República, aunque recientemente se ha determinado que su capacidad ha disminuido a través de los años. Apenas el pasado 10 de marzo de 2008 especialistas en ingeniería y buzos del Sistema de Aguas del Distrito Federal descendieron al sistema de drenaje profundo para realizar una inspección de y rehabilitación del emisor central de donde se ha reportado la aparición de fisuras y grietas importantes.¹⁰

1.1.4 - Antecedentes Históricos De La Ciudad de Mazatlán, Sinaloa

La ciudad de Mazatlán fue concebida como un puerto internacional tras la conquista de los españoles a principios del siglo XVI. Su principal importancia se debía a que a través de este puerto se exportaban los cargamentos de oro y plata provenientes de las minas de Rosario, Copala y Pánuco.

Con el establecimiento de muelles y astilleros, se originó un nuevo eje vial y de desarrollo urbano.

En unos años después, la ciudad se extendió en forma de cruz y a base de rellenos tanto en el eje norte - sur como también de oriente - poniente.

A principios del siglo XX (1902 - 1903) la ciudad tenía ya definido el trazo urbano que aún permanece, en el año de 1950 se hizo el primer plan de desarrollo urbano (plano regulador) por conducto de la Junta Federal de Mejoras Materiales, en 1954 se hizo un segundo proyecto y en 1960 un tercero.

¹⁰ Cfr. MILENIO.COM; Dirección en Internet: <http://www.milenio.com/index.php/2008/03/11/207406/>; fecha de consulta: 26 de marzo de 2008.

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial

Al emprenderse los estudios de un nuevo plan de desarrollo urbano en (1974 y 1975) la ciudad de Mazatlán había desbordado los límites originales de su fondo legal, en su tendencia de crecimiento los ejes carreteros norte y sur.

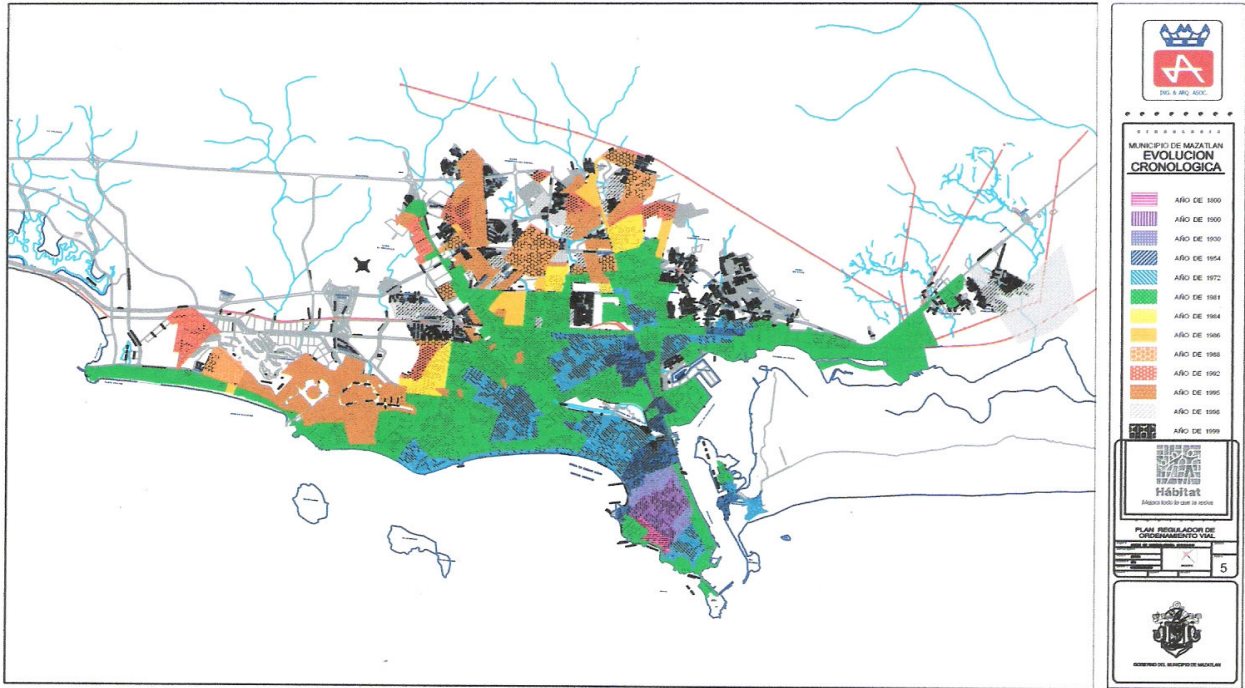
De esta manera, surge la configuración de un trazo urbano en forma de abanico con límites en el libramiento carretero, dando respuesta a las necesidades viales de la ciudad.

1.1.4.1 - Crecimiento de la población

La población que reside en el municipio de Mazatlán ha estado creciendo a un ritmo acelerado; conforme a los censos, pasó de 76,866 habitantes en 1950, a 167,616 habitantes en 1970, a 249,968 en 1980 y llega a 352,471 habitantes en 2005.

Esto significa que aproximadamente se duplica cada 20 años, por lo que se estima que superará el millón y medio de habitantes para el año 2010, conforme a esa tendencia.

Aunada a esta expansión sobrevino una fuerte concentración demográfica en el área urbana, mientras perdía participación la población rural, así, en 1950 casi las dos terceras partes eran urbanas y un tercio rural, para 1970 y 1990 la primera subió a 79.8 % y 87.8 %, mientras que la segunda decaía respectivamente a 20.2 % y 12.2 %.



Como podemos observar Mazatlán ha crecido de manera alarmante, lo que nos indica que los problemas que enfrenta el servicio público, deberán incrementarse proporcionalmente. Para el año 2015 las demandas de estos servicios serán más del doble por el factor población.

1.1.4.2 - Principales usos del suelo

Ordenar y regular el desarrollo urbano de la Ciudad de Mazatlán.

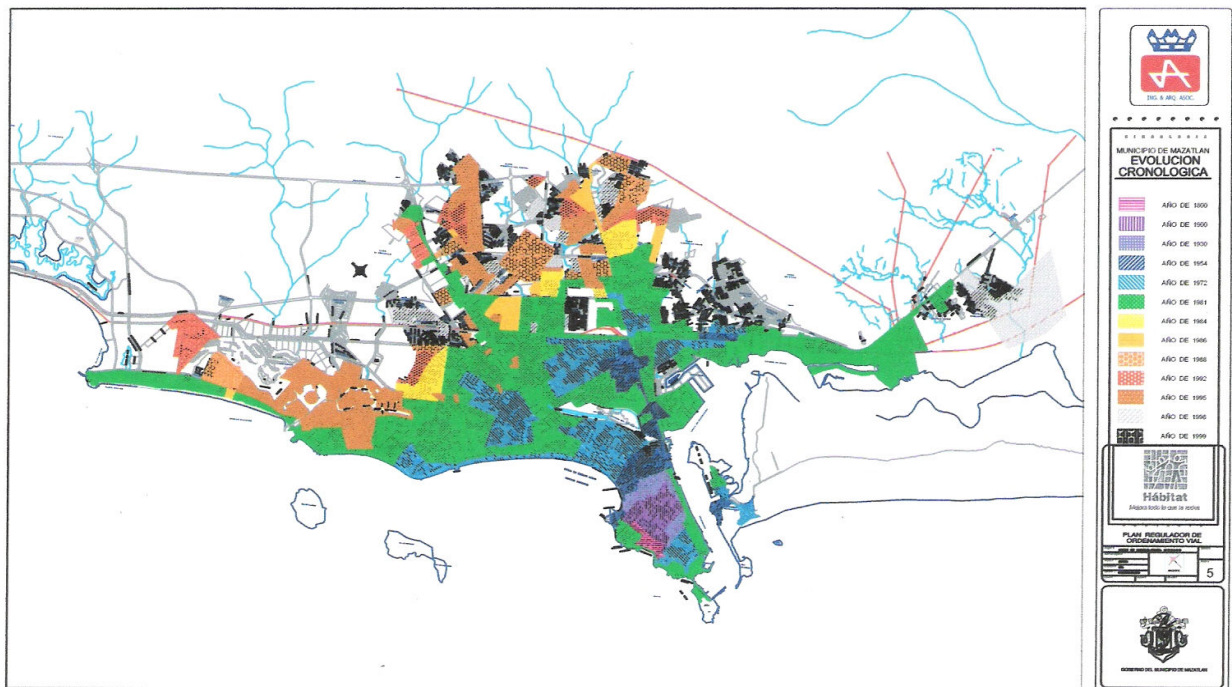
De no llevarse a cabo una organización administrativa del medio urbano, la Ciudad crecerá sin orden, autorizándose edificaciones o fraccionamientos habitacionales en zonas no aptas para dichos desarrollos; por lo que es necesario realizar una revisión integral a los Reglamentos de construcción vigentes, asociado con modificaciones y reformas de conformidad a los cambios suscitados en materia urbana para poder contar con una legislación que refleje mayor claridad en las normas y establezca una

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial estructura simple en sus procedimientos, facilitando a los usuarios los trámites correspondientes de una manera más rápida.

Planear y regular la conservación, mejoramiento y crecimiento del centro de población.

Promover la conservación y el buen funcionamiento del centro de población, se obtiene del apego a las leyes de la planeación urbana. La revisión constante en el desarrollo de la ciudad sobre los usos y de su compatibilidad, resume la integración de todos los servicios de infraestructura y equipamiento urbano.

El pronóstico de las nuevas zonas para el crecimiento, actualiza la compatibilidad con las áreas urbanizadas, por la organización espacial determinada por el plan, corresponden en su mayoría a la identificación de concentraciones de las actividades comerciales, recreativas, educativas, de salud, de servicios etc.



En resumen, el Diagnóstico–Pronóstico integrado de la mancha urbana de la Ciudad de Mazatlán queda definido de la siguiente manera:

La Mancha Urbana actual se analizó a través del estudio de 22 centros de población; la mancha urbana actual comprende un área de 6,155-39-55.318 hectáreas de las cuales, 2,828.22 hectáreas son habitacionales, 467.78 hectáreas son de uso comercial y servicios, 590.26 hectáreas son de equipamiento general, 364.99 hectáreas son de uso industrial, 174.19 hectáreas de uso rústico, 1,729.56 hectáreas comprenden los grandes baldíos, 812.86 hectáreas son las zonas interurbanas baldías aptas para consolidar la mancha urbana.

Se tiene en toda la ciudad una población de 486,584 habitantes, el número de habitantes posibles a albergar con la disponibilidad de suelo existente son 91,482 habitantes, que saturando la mancha urbana quedaría un total de 578,066 habitantes.

Para largo plazo se tiene pronosticado un requerimiento de 1,723.48 hectáreas al año 2010. Concretando, el total del requerimiento de suelo al año 2018 en corto, mediano y largo plazo será de 5,069.08 hectáreas.

Al estudiar las causas y factores que configuran la problemática del uso del suelo, se descubren las condiciones y elementos que determinan su situación. Este conocimiento permite delinear las medidas a seguir y la postura a tomar a fin de orientar mejor su desarrollo.

Y para entender el fenómeno de crecimiento urbano es imprescindible conocer las causas políticas, económicas y sociales que lo han motivado.

El proceso evolutivo de urbanización de la ciudad de Mazatlán, Sinaloa en las últimas tres décadas ha ocurrido en el marco de la existencia de una proporción muy

alta de terreno baldío en especulación, al mismo tiempo una alarmante carencia de espacio para la construcción de vivienda popular.

El crecimiento de la población en la ciudad de Mazatlán, que tuvo una tasa media anual de 5.7 % en los años sesenta, de 4.5 % en los setenta y de 5 % en los ochenta se convirtió en una gran presión en materia de vivienda que se tradujo en una “disputa por el suelo” entre propietarios e demandantes del espacio. Generalmente la disputa por el suelo y el mal ordenamiento de los usos y destinos del suelo, fue provocando un crecimiento desordenado de la ciudad.

Este tipo de urbanización se generalizó en la ciudad de Mazatlán y se impuso también a los espacios del mar, causes naturales de arroyos, marismas y esteros.

Actualmente, el uso del suelo urbano está fuertemente influido por la situación económica de la región. Resulta evidente que la dispersión demográfica y su concentración y distribución determinan la demanda de los terrenos, su localización y aprovechamiento.

El desajuste entre oferta (cantidad de suelo) y demanda (precios capacidad de compra), revela la accesibilidad que tiene la población a los terrenos y surgimiento de mecanismos sociales de apropiación. A lo que se añade la falta de control y regulación del suelo como causas del crecimiento anárquico de la localidad.

Los grandes problemas del suelo urbano que se presentan en Mazatlán son:

- Insuficiencia de Reservas Territoriales
- Asentamientos Localizados en Zonas Peligrosas
- Irregularidad de la Tenencia de la Tierra
- Limitantes al Crecimiento de la Localidad

Entre las características físicas del suelo sobresale su topografía y su vulnerabilidad a las inundaciones y a la contaminación.

En materia administrativa ocupa un lugar preponderante el régimen de tenencia del área urbana y en cuanto al aspecto económico destaca el elevado valor adquirido por el suelo; los altos costos de urbanización e introducción de servicios, y la carencia de suelo urbano para satisfacer la demanda de estratos sociales de escasos recursos.

En estas condiciones el uso del suelo en Mazatlán es irracional, ya que por un lado su crecimiento es marcadamente horizontal y por el otro los asentamientos humanos irregulares se han venido localizando en zonas propensas a inundaciones e incluso altamente contaminadas.

En la ciudad se distinguen básicamente cuatro zonas:

ZONA COMERCIAL

Ubicada en el centro o primer cuadro.

ZONA INDUSTRIAL – PORTUARIA

Localizada en la parte sureste.

ZONA TURISTICA

Que se extiende a lo largo de la Bahía de Puerto Viejo hasta la Playa Cerritos.

ZONA HABITACIONAL O VIVIENDA

Que constituye el área más extensa.

La Zona Comercial, comprende aproximadamente 200 Has. y en ella se ubican las Oficinas de Gobierno, los Despachos particulares, los Establecimientos, Bancos, Tiendas Departamentales, etc..

La Zona Centro o primer cuadro representa el casco de la ciudad; a partir de este se ha ido esparciendo la urbanización y se transforma en una extensa área de servicios en general, a ella tradicionalmente recurren los habitantes para proveerse de los bienes y servicios necesarios, además recibe constantemente la visita de personas que habitan en otros municipios: San Ignacio, Concordia, Elota, El Rosario y Escuinapa.

La Zona Industrial, se ha venido ampliando en la parte Sureste debido a la existencia de vías férreas, al canal de navegación del Puerto y el fácil acceso carretero.

La Zona Turística, comprende básicamente el malecón de la ciudad en donde se encuentran las playas y las instalaciones requeridas: Hoteles, Moteles, Parques de Camiones a Remolque, Restaurantes, Centros Nocturnos, Clubes de Golf, Etc.

El desarrollo de la mancha urbana, representa sin duda un mosaico de diferentes épocas que se estructura por las condicionantes de tipo social, cultural, político y económico.

El crecimiento de la población, marca la línea a seguir, el poder dotar de servicios e infraestructura a los nuevos asentamientos urbanos, que se establecen en forma constante, es el punto de donde se despliega todas las necesidades de la ciudad, actualmente se puede decir que la ciudad se encuentra servida en un 80 %, en lo que respecta a los servicios básicos de la población, pero Mazatlán, no es sólo la Ciudad, sino compete a todo el Municipio, y el alimentar o satisfacer las demandas que otras localidades le manifiestan, distrae o disminuye la atención primordial de nuestra ciudad.

Constantemente las localidades que son aledañas a nuestra ciudad, están en un acelerado crecimiento poblacional, y sus necesidades, se ven resueltas temporalmente por sus pobladores con medidas precarias y temporales, realizando

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial

una inmediata solución, motivo que afecta claramente a la calidad de vida de sus habitantes convirtiendo la ciudad en un complicado desarrollo urbano, que no alcanza a suministrar sus recursos.

Los programas de intervención en la imagen urbana y la constante correlación con sus habitantes, permite un acercamiento a las necesidades y demandas. Se sabe bien que el desarrollo urbano está creciendo hacia la parte Noreste de la Ciudad, pero se debe de atacar primordialmente todos aquellos espacios carentes de algún tipo de servicio y que quedaron inmersos dentro de la mancha urbana, es decir cercados como puntos de conflicto. Este tipo de espacios demeritan los servicios y disminuye la calidad de todo un sector o una zona.

2 – Marco de referencia

Los sistemas de alcantarillado pluvial existen, y aunque han tenido su evolución a lo largo de los tiempos, la idea básica no se ha alejado de sus orígenes. La presente tesis busca emplear procedimientos que han sido de utilidad con anterioridad, incorporando a los mismos las virtudes que el concreto ecológico puede ofrecer al control de inundaciones.

Además, se ha planteado realizar un estudio minucioso de las diferentes variables que intervienen en el sistema.

2.1 – Marco Teórico

El sistema de alcantarillado pluvial consiste en un conjunto de colectores y canales necesarios para evacuar el agua, producto de las lluvias. Los diseños de alcantarillado a base de tuberías captan esta agua de lluvia a través de sus redes, las cuales se interconectan, y estas van ampliando su sección a medida que aumenta el área de drenaje. Posteriormente estos colectores depositan el agua desalojada en un cuerpo de agua que los reciba, como lo sería un río.

Dado que el objetivo de esta tesis es la evaluación de un sistema de drenaje pluvial que no requiera de tuberías, los procedimientos que llevan a su diseño diferirán de los procedimientos más habituales.

2.1.1 – Determinación del caudal de diseño

Para cualquier sistema de drenaje pluvial, el primer paso es la determinación del caudal de agua que circulará dentro del mismo sistema, cualquier modelo de lluvia-escorrentía puede ser empleado para este propósito.

Para efectos de esta tesis se ha planteado el uso del método racional como base de diseño dada su simplicidad en superficies menores a 1300 Ha. Existe controversia en cuanto a la utilización del método racional, pero es su misma simplicidad lo que lo hace tan útil en la mayoría de los casos, sin embargo, se recomienda que para áreas mayores a 1300 Ha se utilice un modelo más apropiado dadas las características de la cuenca.

Hay tres valores fundamentales para determinar el caudal a través del método racional: Coeficiente de escorrentía, intensidad de lluvia y área de la cuenca.

El coeficiente de escorrentía es la variable menos precisa de este método debido a que en el mismo influyen muchos factores. La idea detrás de este coeficiente tiene que ver con el hecho de que no toda el agua de lluvia llega hasta el sistema, sino que parte de este volumen se pierde por factores del mismo terreno, factores tales como:

- Características y condiciones del suelo.
- La tasa de infiltración disminuye a medida que la lluvia continúa.
- Es influida por las condiciones de lluvia antecedentes en el suelo.
- Intensidad de lluvia.
- Proximidad con el Nivel de aguas freáticas.
- Grado de compactación del suelo.
- Porosidad del subsuelo.
- Vegetación.

- Pendiente.
- Almacenamiento por depresión.

De todos estos, el factor de infiltración es el más importante de los mencionados, por lo cual, al factor de escorrentía también se le suele llamar coeficiente de impermeabilidad.

Los coeficientes de escorrentía a utilizarse en el presente proyecto provienen de la tabla 2.1, la cual designa un coeficiente de acuerdo a las características del terreno, así como del periodo de retorno propuesto para esa zona.

Tabla 2.1. Coeficientes de escorrentía típicos

Tipo de superficie	Coeficiente
- Zonas comerciales	0.90
- Desarrollos residenciales con casas contiguas y predominio de zonas duras	0.75
- Desarrollos residenciales multifamiliares con bloques contiguos y zonas duras entre ellos	0.75
- Desarrollo unifamiliar con casas contiguas y predominio de jardines	0.55
- Desarrollo residencial con casas rodeadas de jardines o multifamiliares apreciablemente separados	0.45
- Areas residenciales con predominio de zonas verdes y cementerios tipo jardines	0.30
- Laderas desprovistas de vegetación	0.60
- Laderas protegidas con vegetación	0.30

El valor de la intensidad de lluvia a proyectar se obtendrá a través de estudios hidrológicos en la zona de estudio. La Comisión Nacional del Agua me facilitó los datos suficientes para poder realizar la gráfica de Intensidad-Duración-Frecuencia para la ciudad de Mazatlán, Sinaloa (Figura 2.1).

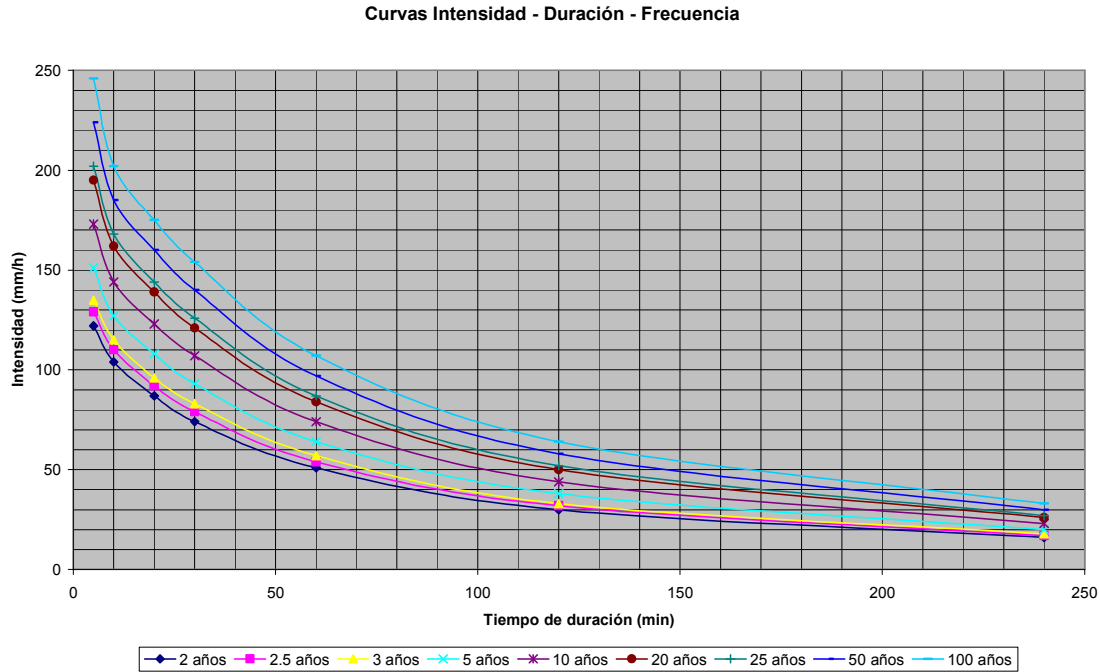


Figura 2.1. Gráfica de Intensidad-Duración-Frecuencia para la ciudad de Mazatlán, Sinaloa.

El tiempo de duración de la lluvia se ha demostrado que tendrá un nivel máximo si esta es igual al tiempo de concentración del área drenada. El tiempo de concentración es el tiempo que tarda el agua en llegar desde el punto más alejado de la cuenca hasta el colector final. En otras palabras, es el tiempo tras el cual se puede decir que toda el área de la cuenca está contribuyendo con el colector.

El tiempo de concentración se divide en dos: tiempo de concentración inicial y tiempo de recorrido en el colector.

El tiempo de concentración inicial es el tiempo recorrido por el agua en montañas, terreno plano, cunetas, zanjas y depresiones, el cual variará en función de su pendiente y tipo de superficie, este suele oscilar entre 10 y 20 minutos.

Por otro lado, el tiempo de recorrido en el colector tiene que ver con el tiempo que tarda el agua de lluvia en atravesar el sistema de colectores entre pozos. Este tiempo será despreciado de los cálculos del sistema, dado que no serán útiles las tuberías en el presente trabajo. Sin embargo habrá nuevos factores a considerar, como veremos más adelante.

El periodo de retorno se establece utilizando estándares de diseño, su valor puede variar de los 3 años, hasta valores del orden de 100 años.

Para efectos de la presente investigación, el periodo de retorno estará dado en función al uso de suelo y el tipo de vía que corresponden a las vialidades en la zona centro de la ciudad de Mazatlán, de acuerdo a las tablas 2.2 y 2.3.

Tabla 2.2. Tipo de uso de suelo y su correspondiente periodo de retorno

<u>Tipo de uso</u>	<u>Frecuencia (años)</u>
Zonas de actividad comercial	5
Zonas de actividad industrial	5
Zonas de edificios públicos	5
Zonas residenciales con multifamiliares de alta densidad	3
Zonas residenciales unifamiliares y multifamiliares de baja densidad	1.5
Zonas de alto valor recreativas e intenso uso por el público	1.5
Otras áreas recreativas	1

Tabla 2.3. Tipo de vía y su correspondiente periodo de retorno mínimo

<u>Tipo de vía</u>	<u>Frecuencia (años)</u>
<i>Vialidad arterial</i>	5
Autopistas urbanas y avenidas que garantizan	

la comunicación básica a la ciudad	
<i>Vialidad distribuidora</i>	3
Vías que distribuyen el tráfico proveniente de la vialidad arterial o que la alimentan	
<i>Vialidad local</i>	1.5
Avenidas y calles cuya importancia no traspasa la zona servida	
<i>Vialidad especial</i>	10
Acceso a instalaciones de seguridad nacional y servicios públicos vitales	
<i>Drenaje para agua pluvial</i>	2-10

Es importante recordar el hecho de que, de acuerdo a las curvas de intensidad, duración y frecuencia, la intensidad es inversamente proporcional a la duración y directamente proporcional a la frecuencia de lluvia, de ahí que esos últimos dos valores sean tan importantes.

Para finalizar, debe de proyectarse el área de drenaje dentro de la ciudad que piensa drenarse a través de este método, de modo que pueda determinarse la cuenca o subcuenca hidrológica que aporte los volúmenes de agua a desalojar por el sistema.

Obtenidos estos tres valores la fórmula se expresa de esta manera:

$$Q = CiA$$

Donde:

Q = Caudal pico.

C = Coeficiente de escorrentía.

i = Intensidad de lluvia.

A = Área de la cuenca.

De modo que, una lluvia con una intensidad i comienza de manera instantánea y continúa de modo indefinido, la tasa de escorrentía continuará de ese modo hasta llegar al tiempo de concentración t_c . Así, El producto entre iA es el caudal de entrada al sistema, a una tasa de concentración porcentual dada por el coeficiente C .

2.1.2 – Concreto permeable

El término concreto permeable se aplica a un concreto que posee cero revenimiento y que posee una relativamente alta relación de vacíos debido a su poca o nula adición de finos. Esto genera un concreto con un contenido de huecos de 18 a 35%, con resistencias a la compresión de 2.8 a 28 MPa y cuya capacidad drenante variará con el tamaño del agregado y la densidad de la mezcla, pero generalmente caerá en el rango de 81 a 730 L/min/m².¹

2.1.2.1 – Historia del concreto permeable

Mientras el concreto permeable se ha utilizado desde el siglo XIX, históricamente, en referencias anteriores se le encontrará descrito como concreto sin finos o un concreto de granulometría discontinua.

El concreto permeable ha sido bastante empleado como elemento constructivo en Europa de muy diferentes maneras: muros colados en obra para soportar cargas, en casas de uno o varios pisos, y en algunos casos, en edificios de gran altura.

Pero su principal introducción se llevó a cabo tras la Segunda Guerra Mundial (1939 – 1945), suceso que dejó a Europa con grandes necesidades habitacionales y era

¹ Cfr. INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO A. C., *Concreto Permeable*, IMCYC, México, 2006, Pág.1.

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial necesario encontrar nuevos métodos constructivos o indagar por aquellos métodos que no habían sido empleados para la construcción de edificios.

La demanda sin precedente de ladrillos conllevó a que la industria de fabricación de ladrillos fuera incapaz de garantizar una provisión adecuada, lo cual condujo a la utilización del concreto permeable como un material de construcción, además de que brindaba de ventajas económicas tras su utilización, dado que su elaboración requiere de menos cemento por volumen unitario de concreto en comparación con el concreto convencional.

El concreto permeable fue empleado para la construcción de nuevas casas en países como Reino Unido, Alemania, Holanda, Francia, Bélgica, Escocia, España, Hungría, Venezuela, África Occidental, el Medio Oriente, Australia y Rusia.

Mientras tanto, en América del Norte, su utilización no ha sido tan próspera como en Europa, y ello se debe a que nuestro continente no experimentó la misma escasez de materiales para la construcción tras la Segunda Guerra Mundial.²

2.1.2.2 – Aplicaciones en Pavimentos

La aplicación de concreto permeable ha demostrado ofrecer ventajas como elemento en la construcción de edificios, tales como un menor volumen de cemento necesario para su elaboración, que evita los altos costos del transporte de ladrillo, los riesgos de incendio que implica la construcción con madera y las pobre propiedades aislantes térmicas del concreto convencional.

Sin embargo, la mayor virtud que posee este método es su aplicación en pavimentos. Su uso como pavimento ha probado poseer grandes ventajas que otros métodos

² Cfr. Ibid., Pág.3.

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial convencionales no poseen, pues la capacidad filtrante brindada por su alto contenido de vacíos permite el drenado de agua (comúnmente, de procedencia pluvial) que de otra manera se quedaría estancada sobre el pavimento hasta que el fenómeno de la evapotranspiración se haga cargo de ella.

Además de controlar el escurrimiento de aguas pluviales, un pavimento dotado con concreto permeable reduce los efectos del hidropneumático sobre la superficie de carreteras y autopistas, reduce el deslumbramiento sobre su superficie (sobre todo en estado húmedo), reducción del ruido ocasionado entre la llanta y el pavimento, entre otras.

De entre las aplicaciones prácticas de la aplicación de concreto permeable como pavimento se encuentra su uso como capa superficial en estacionamientos y carreteras secundarias. Ejemplo de ellos, se pueden encontrar en capas superficiales construidas en Estados Unidos (principalmente en Florida, Uta, Nuevo México y algunos otros estados). Su uso en Florida se debe a que este estado se ve afectado por fuertes tormentas que ocasionan una gran acumulación de agua pluvial y el concreto permeable permite el reducir el volumen de escurrimiento, al mismo tiempo que se abastece los mantos acuíferos.

La Agencia para la Protección del Medio Ambiente (EPA: *Environmental Protection Agency*) ha adoptado el uso del concreto permeable como parte de Práctica del Mejor Manejo (BMP: *Best Management Practice*) como un modo por el cual las comunidades puedan mitigar el escurrimiento de agua de lluvia en los estacionamientos. Pues además de controlar el volumen de agua que escurre fuera de los estacionamientos durante un periodo de lluvia, el concreto permeable es una solución integral al problema de los “pavimentos calientes”, pues un estacionamiento pavimentado tanto con concreto hidráulico convencional, como por concreto asfáltico, produce un clima muy caluroso en los espacios de

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial estacionamiento. También el concreto permeable evita la acumulación de hielo y nieve sobre la superficie de rodamiento.

Su aplicación en carreteras tiene su uso como base drenante, como sub-base, como capa de rodamiento o capa de fricción.³ Este último aspecto es el que ha demostrado poseer su mayor limitante, pues su capacidad para soportar cargas de vehículos pesados no es la misma que encontramos en el concreto Portland ordinario, de modo que su aplicación no ha sido posible en una carretera o vialidad que soporte cargas de tránsito pesado sin que se vea afectada su durabilidad y el sostenimiento de sus propiedades a largo plazo.

2.1.3 – Ecocreto

El Ecocreto es un aditivo desarrollado por el Ing. Jaime Grau Genesisías, el Arq. Germán Guevara Nieto y el Arq. Néstor de Buen Unna; descubrimiento que les hizo merecedores del Premio al Mérito Ecológico 2000 de manos del presidente Ernesto Zedillo Ponce de León.⁴

Este aditivo toma el lugar de la arena durante el proceso de colado del concreto que incluye la mezcla de granzón, cemento tipo 1 y agua, de modo que se forma un concreto libre de finos y 100% permeable, ecológico y de alta resistencia. Valiéndose del proceso constructivo ideado por sus mismos inventores, el concreto permeable Ecocreto, se convierte en un pavimento permeable, confiable y que permite que el agua de lluvia se infiltre libremente al subsuelo, recargando así los mantos acuíferos de las ciudades.

³ Cfr. Ibid., Pág.4.

⁴ Cfr. INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO, A.C. 2008, dirección en Internet: <http://www.imeyc.com/revista/2000/julio2000/productos8.htm>, fecha de consulta: 15 de Abril del 2008.

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial

A diferencia de los pavimentos permeables desarrollados hasta entonces, el Ecocreto tiene la capacidad de desarrollar grandes resistencias a la compresión (en promedio, más de 300 kg/cm²) y muy buena resistencia a la flexión (más de 40 kg/cm² en promedio). Esto lo hace un material viable para su uso en casi cualquier superficie de tránsito.

Entre algunas más de las ventajas que posee, existe el hecho de que este concreto no es más caro que otros tipos de concreto, incluso, su costo es competitivo comparándosele con el costo del concreto asfáltico. A su vez, es compatible con otros tipos de pavimento, de modo que puede hacerse un uso combinado de superficies de concreto sin mayores dificultades.

Además, es un concreto muy limpio que no contamina, sino que, al contrario funciona como filtro natural de las aguas que recibe.

En resumen:

Concreto permeable ECOCRETO:

RESISTENCIA A LA COMPRESION:	108 a 300 Kg/cm ² a los 28 días.
RESISTENCIA A LA FLEXION:	30 a 60 Kg/cm ² .
PESO VOLUMETRICO :	1,6000 a 1,800 Kg/m ³ .
PERMEABILIDAD:	100 %.
ABSORCION:	20.5 %.
CANTIDAD DE AGUA EN 1 m² SATURADO:	Espesor 6 cm / 13.75 lts. Espesor 8 cm / 18.00 lts.

Estas son las características principales por las cuales el Ecocreto se convierte en la principal variable para el diseño de un efectivo sistema de drenaje pluvial para el

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial

Municipio de Mazatlán, Sinaloa. Se ha comprobado que efectivamente, el concreto permeable es capaz de infiltrar el agua de lluvia que recibe y trasladarla directamente al subsuelo, y de este a los mantos freáticos.

2.1.3.1 – Detalles a considerar en cuanto a la utilización del Ecocreto

Es necesario recordar que el objetivo de esta tesis es el determinar si un sistema de pavimentación a base de Ecocreto puede llegar a tener un efecto correctivo en una zona que requiere de un sistema de drenaje pluvial, minimizando los costos y maximizando sus resultados. De modo que un sistema relativamente nuevo como la eliminación de la descarga pluvial a base de concreto permeable (Ecocreto) debe de obedecer a diversas cuestiones antes de proponérsele como una solución integral, y no una solución que derivará en nuevos problemas.

El término durabilidad engloba distintas características a considerar previa a la aplicación de un sistema de control como este, pues es necesario conocer por cuanto tiempo el presente procedimiento mantendrá vigente sus propiedades ideales que le harán desempeñar su función de manera eficiente.

Su durabilidad está estimada, al igual que un concreto convencional, de alrededor de 10 años. Por otro lado, su apariencia porosa, principal característica de este elemento, es también la que genera más dudas en cuanto a su utilización.

Una de ellas puede ser si es posible que este material llegue a taparse debido a la acumulación de basuras y sedimentos. Este problema puede llegar a suceder, pero esto se puede evitar si se le barre y lava ocasionalmente, mientras tanto, todo aquel residuo fino que logre atravesar es limpiado con la misma agua de lluvia. La labor de limpieza es facilitada, debido a que las partículas no menores a 3 mm no logran

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial

pasar a través de ellas; en casos extremos se recomienda la utilización de una lavadora a presión (Tipo Karcher).

El Ecoconcreto también es resistente ante el ataque de solventes como gasolina, diesel, etc., pero al igual que un pavimento de cemento o asfalto, los ácidos si pueden llegar a degradarlo con el tiempo.

Los espesores empleados en su uso pueden variar según el caso, pero los espesores recomendados por experiencia son:

Andadores peatonales: 6 cm, con $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$

Estacionamientos: 6 cm, con una $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$

Calles de bajo trafico vehicular: 8 cm, con una $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$

Calles de alto trafico vehicular: 8 a 10 cm, con una $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$

Andenes de carga: 12 a 15 cm, con una $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$

Pero a final de cuentas, no solo su aplicación como medida de control en contra de los escurrimientos pluviales lo convierten en un pavimento excepcional, sino que este elemento ofrece grandes ventajas que supera a los pavimentos convencionales, desde lo económico de su instalación, su durabilidad y una resistencia superior. Además de que posee todas las características especiales que poseen los concretos permeables (un ambiente más fresco, minimización de ruido, evita el hidroplaneo de vehículos, etc.) que han sido empleados en la construcción desde hace más de sesenta años, el Ecoconcreto es una patente mexicana de vanguardia que mejora todos esos procedimientos, haciendo posible su utilización en calles altamente transitadas, solucionando los problemas de drenaje pluvial que aquejan con inundaciones a las ciudades, al mismo tiempo que revitaliza el abastecimiento de los acuíferos tan sobre explotados en nuestro país.⁵

⁵ Cfr. ECOCRETO, dirección en Internet: <http://www.ecocreto.com.mx>, fecha de consulta: 14 de diciembre del 2006.

2.1.3.2 – Infiltración de agua de lluvia a través de Ecocreto, una solución ecológica.

Una cualidad más que ofrece el Ecocreto es su capacidad de deshacerse de un volumen dado de precipitación pluvial de una manera ecológica. Este es un problema que poseen los sistemas de drenaje pluvial de la actualidad, pues los conductos de drenaje típicos terminan vertiendo su contenido hacia los cuerpos de agua más próximos.

Esta práctica se hace con la premisa de se está transportando agua de precipitación, por lo cual, a esta se le considera relativamente pura. Pero numerosos estudios han demostrado que el agua de lluvia colecta toda una serie de contaminantes de la atmósfera antes de tocar el suelo.

Más importante aún, una vez que el agua circula por las superficies, esta tiende a lavar y erosionar todo aquello sobre lo que circula. La propiedad del agua como solvente por excelencia, hace que esta acumule una gran cantidad de contaminantes para cuando esta logra entrar en un colector, lo cual varía del tipo de uso de suelo, prácticas locales, tráfico vehicular, etc.⁶

A continuación se describen los diferentes tipos de contaminantes que pueden afectar seriamente el ecosistema de un cuerpo de agua receptor de agua pluvial.

Sólidos suspendidos. El contaminante de mayor predominación en un flujo de agua pluvial son los sólidos suspendidos que el agua lava o erosiona de todas las superficies sobre las que circula el agua antes de entrar al colector y al sistema de tuberías. Un cuerpo de agua receptor de este tipo de contaminantes aumenta su

⁶ Cfr. ADAMS BARRY J., PAPA FABIAN, *Urban Stormwater Management planning with Analytical Probabilistic Models*, John Wiley Sons Inc., 2000, Pag. 10-12.

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial

turbiedad, lo cual no es solo un cambio estético, sino que este fenómeno evita que la luz del sol penetre dentro del agua, afectando a los organismos fotosintéticos que habitan en el fondo de estos. De la misma manera, los sólidos suspendidos suelen obstruir las agallas de los peces que habitan estos hábitats, ocasionando su muerte.

Materia y bacterias demandantes de oxígenos. Una suficiente cantidad de oxígeno disuelto dentro de un cuerpo de agua es necesario para mantener la vida acuática en esta. La introducción de materia orgánica demandante de oxígeno, puede reducir la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, de modo que la capacidad de que la vida subsista y se reproduzca se ve afectada para ciertas formas de vida acuática. Generalmente este tipo de organismos entran al sistema debido a las heces de animales con las que el agua tiene contacto, así como la práctica ilegal de algunas viviendas, comercios o industrias de conectar su sistema de drenaje sanitario al sistema de aguas pluviales.

Nutrientes. Nitrógeno y fósforo (bioestimulantes) son nutrientes que promueven el crecimiento de plantas, como las algas. Estos nutrientes generalmente llegan al agua a través de prácticas como la agricultura, así como de aguas de desecho municipal.

Metales pesados y otros constituyentes tóxicos. Estudios han demostrado que metales pesados son de los contaminantes tóxicos más comunes en corrientes de agua pluvial, tales como zinc y cobre. Otros contaminantes tóxicos que se encuentran en el agua que circula a través de las calles incluyen herbicidas, pesticidas, aceites y grasas.

Mientras existen métodos para la eliminación de estos contaminantes del agua del lluvia antes de llegar a un cuerpo de agua receptor, estos requieren de instalaciones adicionales y no siempre son utilizados.

2.2 – Marco Conceptual

Siempre que se desee proponer o diseñar algún proyecto, siempre debe de tomarse en cuenta la necesidad de que varios factores no solo intervengan uno con otro, sino buscar la interacción de los distintos elementos que formarán parte del sistema.

De modo que para proponer un sistema de drenaje pluvial debemos de considerar los tres elementos que interactuarán con el mismo, estos son tres: La población de la zona a estudiar, las avenidas sobre las cuales se piensa proyectar y los factores meteorológicos predominantes sobre la zona (intensidad y frecuencia de lluvia).

2.2.1 – La población de la zona a estudiar

Por más eficiente que uno desee proyectar un sistema, ya sea para el drenaje de aguas de lluvia, como para cualquier otro propósito, no debemos de perder de vista que estos se están diseñando por y para un sector de la sociedad, de modo que factores sociales de distintas índoles serán siempre necesarios a considerar.

Una manera de definir los habitantes de la zona en estudio, podría ser la dualidad siguiente de conceptos:

Los habitantes de la zona en estudio son las personas que se verán **beneficiadas** por la implantación de un sistema de drenaje pluvial **eficiente** que mitigue el fenómeno de las inundaciones.

Al mismo tiempo, estas mismas personas pueden definirse de la siguiente manera:

Los habitantes de la zona en estudio son las personas que se verán **afectadas** por la implantación de un sistema de drenaje pluvial **ineficiente** que no mitigue el fenómeno de las inundaciones.

El factor poblacional siempre será un fenómeno cambiante, sobre el cual no hay lugar para términos absolutos, debido a que la opinión de un subgrupo de personas podría ser en extremo diferente al de otro subgrupo de personas.

Es por ello que, cualquier proyecto de ingeniería debe siempre tener en cuenta a las personas que se encontrarán en relación con el cambio que se pretende realizar. Aspectos como las costumbres, la rutina de su vida diaria y la reacción de las personas hacia un medio cambiante deben siempre ser considerados si se pretende reconocer el éxito de que tendrá un proyecto de infraestructura en la sociedad.

Todos estos factores nos arrojan toda una controversia de opiniones, las cuales han de ser sorteadas de una manera adecuada, debido a que uno no debe de menospreciar el valor que la sociedad y las consecuencias que acarrea el no tomar medidas al respecto.

Específicamente hablando de nuestro diseño de drenaje pluvial, situaciones que debemos de prever consisten, pero no se limitan, a las siguientes:

La costumbre puede ser siempre uno de los principales problemas a sortear, en nuestro caso, mientras un razonablemente grande sector de la población estará de acuerdo con que se instale un eficiente sistema de drenaje pluvial, posiblemente nos podríamos encontrar con otros sectores que no estén de acuerdo con lo propuesto. Ejemplo de ello podría ser el miedo natural del ser humano hacia lo desconocido, y una nueva tecnología, como la del concreto permeable, puede resultar intimidante hacia la sociedad, provocando reacciones adversas por personas que puedan

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial

ocasionar el estancamiento de nuestro proyecto; para empeorar este tipo de situaciones, grupos y personajes políticos buscan este tipo de controversias para iniciar alegatos y protestas sin fundamento, cuyo verdadero propósito es el de aparentar estar preocupados por la sociedad.

En este aspecto, un concreto con vacíos, inmediatamente generará dudas de la población, tales como su resistencia, si es susceptible a productos químicos, durabilidad, etc.

Es por eso, que es de vital importancia dar oportuna respuesta a todas las dudas que la sociedad pueda presentar. Para ello se debe de contar con la disposición de un personal capacitado para sortear este tipo de eventualidades.

Para lograr el éxito en cuanto a drenaje pluvial, especialmente en campañas que necesitan de una tarifa en apoyo a la instalación de una red de drenaje pluvial, es importante poseer un ‘campeón’ en las tres áreas: un líder político, un líder de staff y un líder respetado por la comunidad.⁷

Es aquí donde radica la importancia de poseer personas aptas para difundir a la perfección las propuestas que se encuentren a la mano. Es necesario que estos ‘campeones’ sean versados en el proyecto en cuestión, así como tengan la facilidad de palabra, de tal manera que puedan dar un testimonio que sea fácilmente entendible por el sector de la sociedad al que se están dirigiendo.

De este modo, es posible no solo dar respuesta a las inquietudes que la sociedad puede presentar, sino también será posible detectar las necesidades y preocupaciones

⁷THOMAS N. DEBO, ANDREW J. REESE, *Municipal Stormwater Management* (traducción personal), Lewis Publishers, 2003, Pág.61.

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial de la sociedad, enfocando los propios esfuerzos hacia puntos de interés que deben ser cubiertos.

2.2.2 – Las avenidas prevalecientes en la zona de estudio

Previo a la realización de cualquier proyecto, es también importante entender que este debe de proyectarse sobre un medio, por lo cual este medio toma un factor fundamental a tomar en cuenta antes de, siquiera, comenzar a darnos una idea de que es lo que queremos hacer. Entender el medio donde se va a proyectar responde a la pregunta: ¿Cómo?

En la presente investigación, las avenidas prevalecientes dentro de la zona de estudio son las que toman el nombre del medio donde ha de proyectarse, debido a que es sobre estas donde el problema se analizará y donde se proyectará su correspondiente solución, al mismo que tiempo que este medio es el que nos impondrá las limitantes que tendremos que seguir en nuestro proyecto.

De este modo, las avenidas y arterias vehiculares sobre las que vamos a proyectar se pueden describir también como el conjunto de elementos prevalecientes sobre el terreno, sobre los cuales (generalmente) no tenemos la opción de modificar. Idealizando nuestro sistema, la posibilidad de cambiar las condiciones de nuestro medio es algo que nos beneficiaría; pero en la realidad, es nuestro sistema de drenaje pluvial el que debe de adaptarse a las condiciones del terreno donde vamos a proyectar.

Estas condiciones se traducen en aspectos topográficos, tales como: El nivel de las avenidas, el cual juega un papel primordial tratándose de la dirección

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial

que adoptará el agua de lluvia; el trazado de las avenidas, la cual distribuirá el agua de lluvia hacia los diferentes puntos.

Otros aspectos necesarios para el cómputo de los datos de proyecto lo comprenden otros aspectos cualitativos y socio-económicos, tales como: Los diferentes usos de suelo de la zona, lo cual nos determinará los diferentes coeficientes de escorrentía; tipo de zona, lo cual nos dará razón de un modelo de frecuencia adecuado a la importancia de la zona.

A final, con estos datos a la mano, podremos calcular la cuenca hidrológica que delimite la zona que aporta agua de lluvia a nuestro sistema.

Los actuales sistemas de drenaje pluvial en la zona han demostrado ser ineficientes, es *el diseño de un nuevo sistema* en donde recae la responsabilidad de realmente dar solución a este problema.

Administradores, analistas, planificadores y otros similares suelen confundir el término de *diseño de sistemas* con el de *mejoramiento de sistemas*. El segundo de ellos significa transformación o cambio que lleva un actual sistema a operar de una manera más cercana a la estándar.

Pero la errónea idea de estar mejorando sistemas preestablecidos cada vez que el nivel de operación se aleja de la medida estándar es introducirnos dentro de un círculo vicioso el cual no solo no dará una solución óptima a nuestro problema, sino que acarreará nuevos problemas a resolver a nuestro itinerario.

El diseño es un proceso creativo que cuestiona los supuestos en los cuales se han estructurado las formas antiguas. Éste demanda una apariencia y enfoque

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial totalmente nuevos, a fin de producir soluciones innovadoras con la inmensa capacidad de curar las enfermedades de la actualidad.⁸

Este medio al que nos hemos estado refiriendo comprende un verdadero reto, en el caso de las calles de la ciudad de Mazatlán, Sinaloa, fácilmente nos percataremos de una gran variedad de niveles dentro de la zona de estudio, además de que el trazado de las avenidas, en muchas ocasiones, suele ser irregular.

Por lo general, la idea de un avance tecnológico, es que la técnica sea primera y que el humano se acostumbre a ella con el tiempo.

La evolución de la ciudad se ha dado a la inversa, primero, fue el humano el que se asentó y forjó una serie de caminos rudimentarios y una distribución habitacional a su conveniencia, sin tener algún tipo de proyección a futuro. Y después fue la tecnología la que hubo que “acostumbrarse” a esta tendencia, acoplándose a lo que ya estaba implementado para tratar de mejorarlo.

Lo cual nos ha dado un sistema de vialidades defectuoso, el cual no solo es un reto para la ingeniería de tránsito, un modelo que prácticamente no ha sufrido cambios desde la era de los romanos, diseño realizado para el tránsito de cabalgaduras y hoy por hoy, una escala que se encuentra fuera de nuestra era motorizada.⁹ Y sobre estas mismas vialidades es por donde hemos aprendido a distribuir nuestros servicios: electricidad, líneas telefónicas, drenaje sanitario, drenaje pluvial, etc.

⁸ JOHN P. VAN GIGCH, *Teoría General de Sistemas*, Editorial Trillas, 2003, Pág. 17

⁹ Cfr. RAFAEL CAL Y MAYOR REYES ESPÍNDOLA, JAMES CÁRDENAS GRISALES, *Ingeniería de Tránsito – Fundamentos y aplicaciones*, 7ª. edición, Editorial Alfaomega, 2004, Pág. 12.

2.2.3 – Fenómenos meteorológicos predominantes en la zona

Son los factores meteorológicos los que justifican el diseño de un sistema de drenaje pluvial en la zona, es por ello que es esta misma variable la que ha de estudiarse con el objeto de medir la gravedad de los eventos meteorológicos a los que estará expuesta la ciudad en los años venideros, lo cual determinará el volumen de agua a desalojar por nuestro sistema.

2.2.3.1 – Precipitación

De acuerdo a la Comisión Nacional del Agua, el puerto de Mazatlán, Sinaloa pertenece a la Región Hidrológica Administrativa de la Cuenca del Pacífico Norte, a la cual pertenecen 51 municipios, los cuales comprenden la totalidad del estado de Sinaloa junto a parte de los estados de Zacatecas, Chihuahua, Durango y Nayarit.



Figura 2.2

En el periodo de 1941 a 2005, Sinaloa ha recibido una precipitación anual promedio de 770.4 mm., siendo los meses de julio y agosto los que más han contribuido a lo largo del año, registrando respectivamente 184.8 y 192.2 mm.



Figura 2.3

2.2.3.2 – Fenómenos hidrometeorológicos extremos

La ciudad de Mazatlán, Sinaloa es también testigo de fenómenos meteorológicos extremos tales como los ciclones tropicales y huracanes, los cuales son un factor a tomar en cuenta dado que estos fenómenos naturales constituyen un transporte de humedad importante.

Estos se clasifican de acuerdo a la intensidad de los vientos máximos sostenidos. Se les denomina como huracán cuando estos alcanzan una intensidad de los vientos

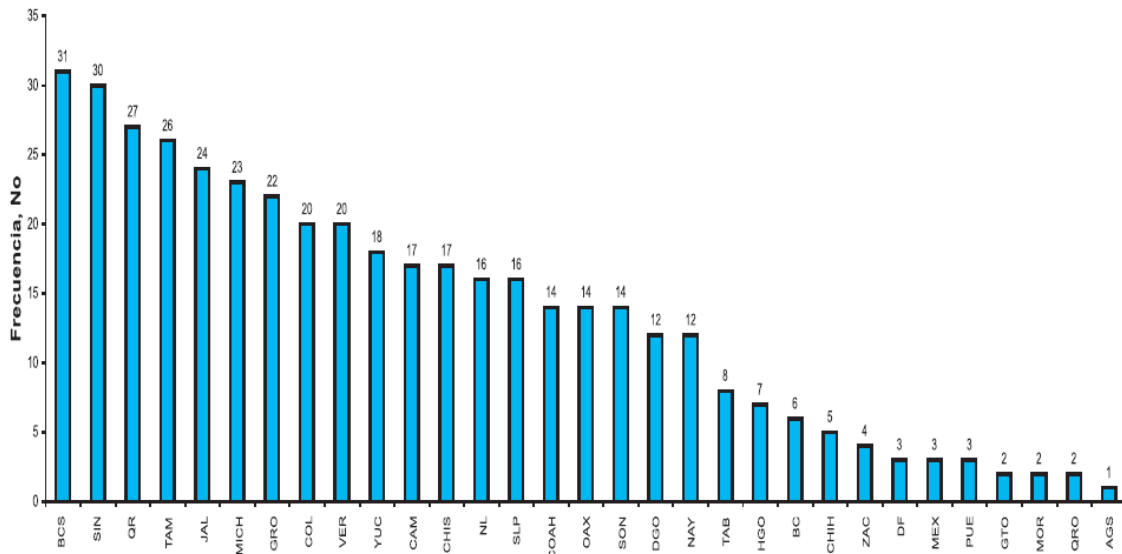
La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial

máximos obtenidos superior a 119 km/hora; un fenómeno con una intensidad entre 61 y 119 km/hora se le denomina tormenta tropical; mientras una depresión tropical es aquella cuyos vientos no logran una intensidad superior a 61 km/hora.

Cada año, 4.2 de estos fenómenos impactan en las costas de nuestro país, 2.6 de las cuales llegan a la zona del Pacífico, donde se encuentra nuestra zona en estudio.

Figura 2.4

Afectación de los Estados por ciclones tropicales (1970 a 2005)



El no poseer un eficiente sistema de alcantarillado pluvial en la ciudad de Mazatlán, Sinaloa constituye una situación alarmante en este aspecto, dado que el estado de Sinaloa es el segundo estado afectado por ciclones huracanes en el país, registrando una cantidad de 30 huracanes entre el año de 1970 y el año 2005 (apenas sobrepasado por Baja California Sur con 31 de estos fenómenos).

2.3 – Marco Histórico

En este capítulo se realizará un contraste entre el estado actual de la ciudad de Mazatlán en cuanto al tema de su capacidad de prevenir inundaciones, así el como es que esta ciudad ha resentido el efecto de las inundaciones, desde un punto de vista sistemático, como social y político.

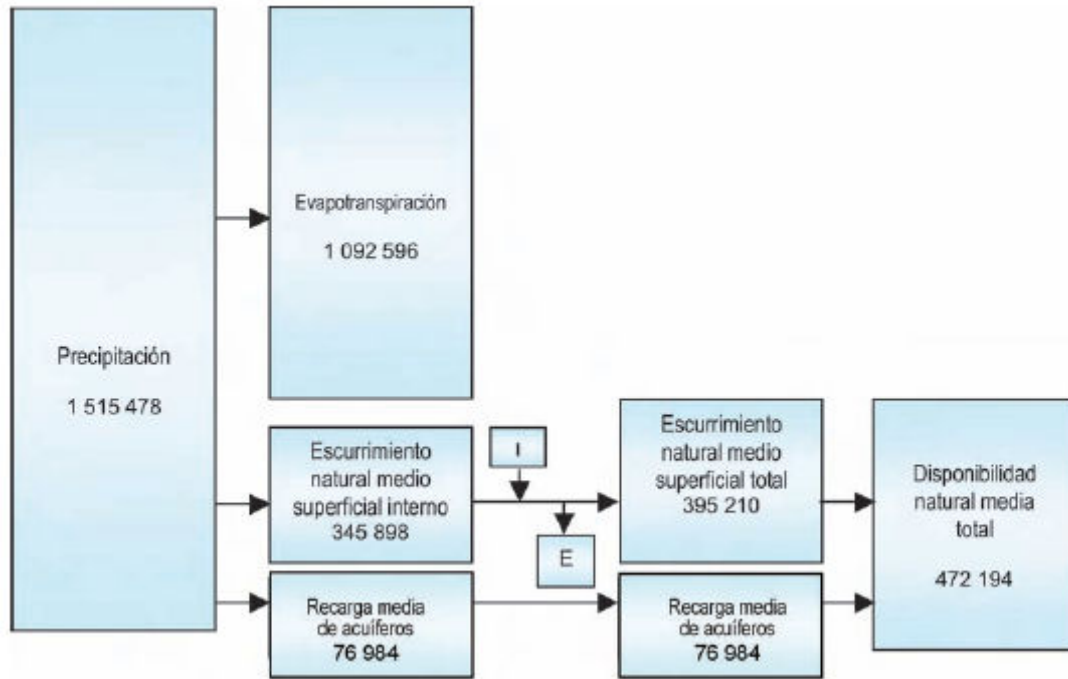
Será sobre esta base como podremos definir la proyección futura y las necesidades de este municipio en materia de control de inundaciones.

2.3.1 – Componentes del ciclo hidrológico

Los recursos hídricos en nuestro país se traducen en los diferentes ríos, arroyos, lagos, lagunas, así como los almacenamientos de agua subterráneos y las grandes masas oceánicas que rodean al estado mexicano.

Estos son cuerpos receptores de una parte del volumen de agua, producto de las precipitaciones. El ciclo hidrológico nos explica sus diferentes componentes, los cuales, posterior a la precipitación, el agua sufre uno de los diferentes procesos, tales como la evapotranspiración, el escurrimiento medio superficial, la recarga de los acuíferos y la disponibilidad natural media del agua.

Figura 2.5. Valores medios anuales de los componentes del ciclo hidrológico (hm³)



I = Importaciones de otros países 49.7, E = Exportaciones a otros países 0.43

El 72% del agua que llueve en nuestro país se evapotraspira y regresa a la atmósfera, el resto se escurre superficialmente hacia los distintos cuerpos de agua o recarga acuíferos.

De acuerdo a los datos anteriores, nos damos cuenta que la recarga de los acuíferos es únicamente un 0.05% del total del agua producto de las lluvias. Cuando hablamos del agua que cae únicamente en el área que comprende una ciudad, quizá estos porcentajes sean bastante similares. Es más factible que, en un entorno impermeable como el de nuestras ciudades, una gran cantidad de agua se pierda a través de la evapotranspiración sobre los pavimentos de nuestras vialidades. Entornos permeables, tales como zonas de áreas verdes, pueden infiltrar el agua producto de las lluvias, pero dadas las condiciones de sus suelos, es también muy factible que una gran cantidad de agua llegue a evaporarse antes de alcanzar las capas más profundas del subsuelo.

Ese 0.05% (o quizá menos en los entornos ciudadanos) es una escasa retribución a los acuíferos, considerando la gran demanda de agua que exigimos a estos importantes cuerpos de agua potable.

2.3.2 – Aguas subterráneas

Ocupando un 36% del volumen total concesionado para usos fuera del cuerpo de agua es de origen subterráneo, lo cual habla de la importancia que estos cuerpo de agua tienen para el sustento del vital líquido para nuestra población.

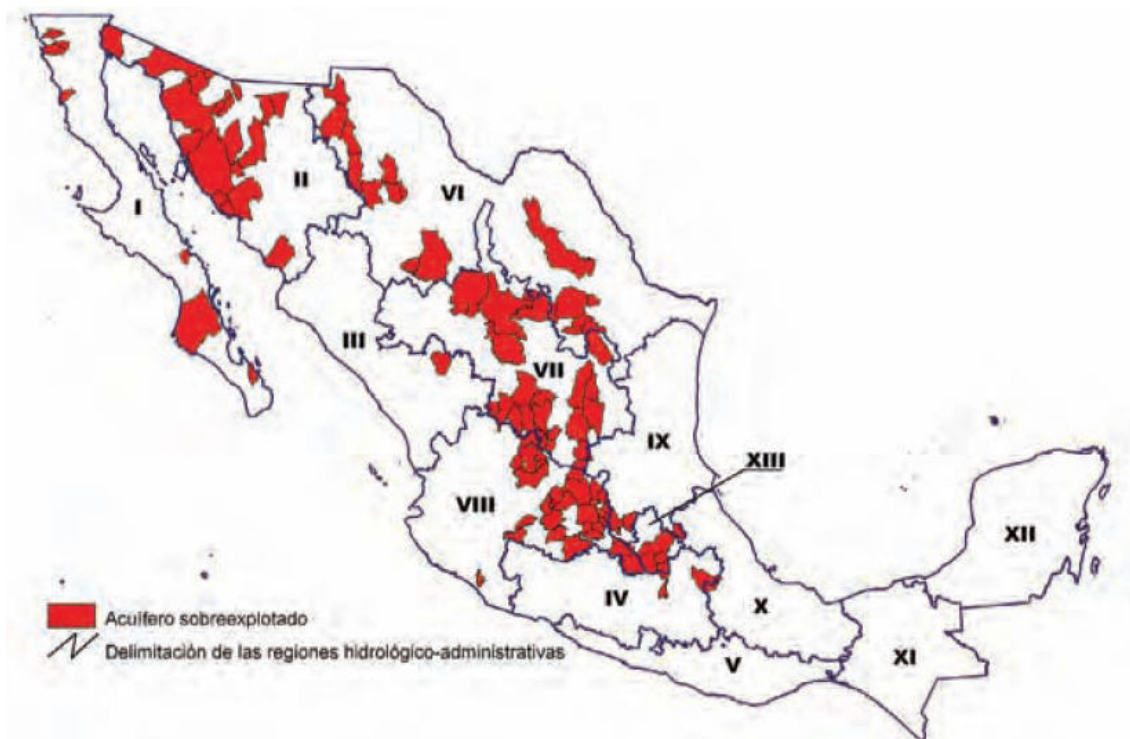
Figura 2.6. Precipitación media mensual histórica por estado, período 1941 – 2005 (mm)

Región Hidrológico Administrativa	Número total de acuíferos	Número de acuíferos sobreexplotados	Número de acuíferos con intrusión marina	Número de acuíferos bajo el fenómeno de salinización de suelos y aguas subterráneas salobres	Volumen Concesionado (hm ²)	Extracción (hm ²)	Recarga media anual (hm ²)
I Península de Baja California	87	7	9	4	1 734	1 493	1 411
II Noroeste	63	18	5	0	2 817	2 736	2 754
III Pacífico Norte	24	1	0	0	1 326	945	2 680
IV Balsas	47	2	0	0	1 877	2 177	3 392
V Pacífico Sur	34	0	0	0	368	220	1 426
VI Río Bravo	100	16	0	4	4 220	4 119	5 266
VII Cuencas Centrales del Norte	68	24	0	8	2 643	2 755	2 118
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	127	29	1	0	6 486	7 507	7 427
IX Golfo Norte	40	3	0	0	1 031	1 119	1 216
X Golfo Centro	22	0	2	0	759	595	3 621
XI Frontera Sur	23	0	0	0	517	525	18 421
XII Península de Yucatán	4	0	0	1	1 857	1 448	25 316
XIII Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	14	4	0	0	2 100	1 915	1 938
Total	653	104	17	17	27 737	27 554	76 984

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial

La sobreexplotación de los acuíferos es un fenómeno que ha venido incrementándose a partir de los años setenta, pues de 32 acuíferos sobreexplotados en el año de 1975, su número ha incrementado a un orden de 104 acuíferos sobreexplotados en el 2005. De éstos se extrae casi el 60% del agua subterránea para todos los usos.

Figura 2.7.
Acuíferos sobreexplotados
(situación a 2005)



En el DOF se han publicado la disponibilidad media anual de agua en los 202 acuíferos de acuerdo a la norma oficial mexicana NOM-011-CNA-2000, la cual fue elaborada para este mismo fin.

Acuíferos cuya disponibilidad media anual fue publicada en el DOF

(situación a 2005)

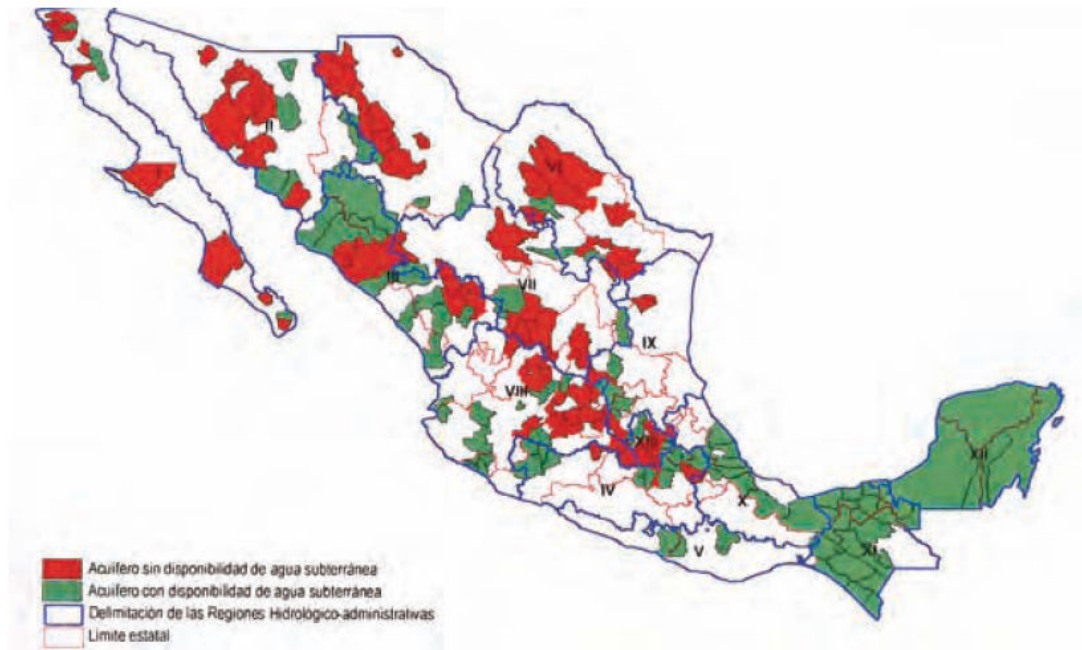


Figura 2.8

Otro factor provocado por la sobreexplotación de los acuíferos es la intrusión de agua marina o la salinización de las aguas subterráneas salobres.

La intrusión marina es el fenómeno a través del cual, el agua de mar se introduce a través del subsuelo y esto se logra cuando la sobreexplotación de los acuíferos causa abatimientos del nivel de agua subterránea por debajo del nivel del mar.

El fenómeno de la salinización puede ocurrirle tanto a los suelos como a las aguas subterráneas. La salinización de los suelos ocurre tras la recarga de agua salinizada; mientras la salinización del agua sucede al inducirse el arrastre de agua congénita salina.

Acuíferos con intrusión marina y/o bajo el fenómeno de salinización de suelos y aguas subterráneas salobres

(situación a 2005)

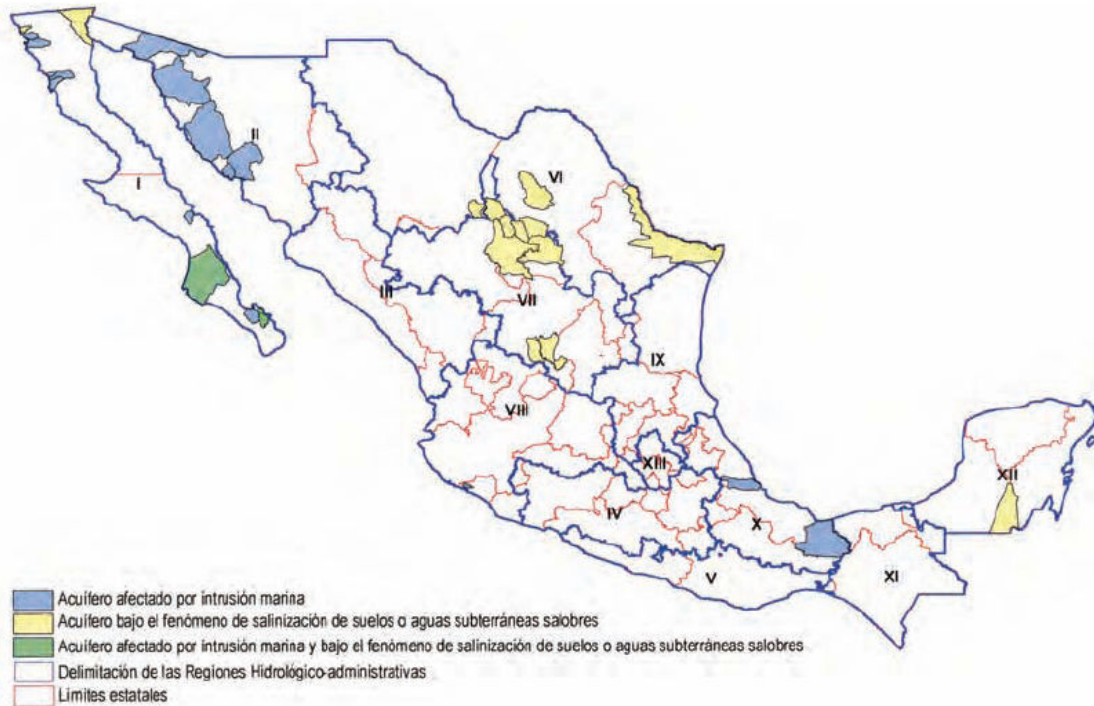


Figura 2.9

La explotación desmedida de los acuíferos de nuestro país y la creciente demanda de agua por parte de las grandes ciudades hacen de la infiltración de agua proveniente de lluvia mucho más que una medida de confort para una sociedad seca, sino que el permeabilizar nuestras ciudades hoy por hoy se convierte en una necesidad si está en nuestro conciencia como diseñadores del mañana el extender la sustentabilidad de las ciudades para el futuro.¹⁰

¹⁰ Cfr. Comisión Nacional del Agua, *Estadísticas Del Agua En México 2006*, CNA, 2006.

2.3.3 – El fenómeno de las inundaciones en la ciudad de Mazatlán

El fenómeno de las inundaciones en la ciudad de Mazatlán es un tema con cierto aire de cotidianidad y costumbre en el lenguaje de los habitantes del puerto durante las temporadas en las que las lluvias se presentan con frecuencia.

La principal razón a la que se debe este problema es a la casi inexistente instalación de un sistema de drenaje pluvial en la mayor parte de la ciudad. Es verdad que existen colectores situados en algunos lugares de la ciudad, pero incluso estos son insuficientes al momento de desalojar grandes volúmenes de agua de lluvia eficientemente. Llama la atención el hecho de que estos colectores se encuentran saturados de agua incluso durante época de sequía, reduciendo su capacidad cuando se requiere de su operación.

El sistema de desalojo de aguas pluviales en la ciudad se debe principalmente al trazado de las calles, las cuales se convierten en las principales arterias sobre las cuales circula el caudal de agua producido por la precipitación.

El destino final del agua que escurre sobre las vialidades de la ciudad puede ser uno de los cuerpos de agua que posee el puerto (arroyos, esteros, mar abierto, etc.). Del mismo modo, las distintas alturas que poseen las calles de la ciudad tienden a transportar el agua hacia los sectores con niveles más desfavorables, donde la eliminación del cuerpo de agua final queda a cargo del fenómeno de la evapotranspiración.

2.3.3.1 – Aspecto Social

Para efectos de la presente investigación se realizó una encuesta a una porción representativa de la ciudad de Mazatlán (Anexo 1), con el objetivo de medir el interés de los mismos hacia el fenómeno de las inundaciones y de la necesidad de un sistema de drenaje pluvial. Información más detallada acerca de los resultados de dicha encuesta se verán en el capítulo 4.3.

Se estima que aproximadamente 40 colonias están bajo riesgo de inundación debido a que estas se encuentran bajo el nivel del mar.¹¹ De acuerdo a los datos obtenidos, el 50.28% de la población encuestada clasificó el problema de las inundaciones en Mazatlán como “grave”, mientras que un 25.79% lo consideró como “muy grave”.

Los efectos adversos a la sociedad causados por las inundaciones poseen una escala de gravedad dependiendo de los distintos sectores de la ciudad. El efecto más leve que esta problemática ocasiona se debe al escurrimiento superficial del agua de lluvia sobre el pavimento, lo cual ocasiona dificultades viales tanto a vehículos como peatones.

El caudal de agua que viaja a través de las calles de la ciudad puede llegar a poseer un tirante igual al de las aceras y esta es la inconformidad, ligada a las inundaciones, más común; testimonio efectivo de ello son los datos recogidos en las encuestas donde, mientras un 24.3% de la población afirmó que su colonia de residencia es propensa a las inundaciones y un 64.01% de los mismos afirmó haber vivido los efectos de las inundaciones en otros sectores de la ciudad, el 86% de los encuestados

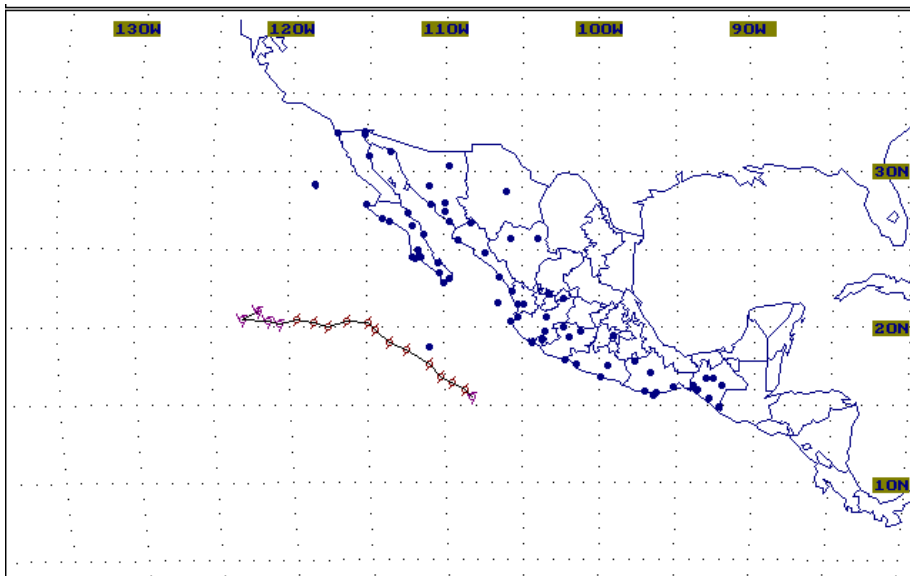
¹¹ Cfr. Ayuntamiento Municipal de la ciudad de Mazatlán, dirección en Internet: <http://www.mazatlan.gob.mx/modules.php?name=News&file=print&sid=2316>, fecha de consulta: 24 de noviembre del 2007.

afirmó haber tenido dificultades para llegar a su lugar de destino debido a la inundación de calles.

Un nivel mayor de gravedad se avecina cuando el agua efectivamente logra sobrepasar el nivel de las banquetas, alcanzando así las propiedades de los residentes, propietarios de negocios, etc. Zonas susceptibles a este tipo de inundación son las zonas ubicadas en las márgenes del arroyo Jabalíes y los asentamientos cercanos al Estero del Infiernillo.

Uno de los eventos catastróficos más recientes en el puerto de Mazatlán se debió a las fuertes lluvias causadas por el paso de la tormenta tropical Emilia el 26 de julio del 2006.

Figura 2.10. Trayectoria de la tormenta tropical Emilia



Este fenómeno se generó en el Pacífico Nororiental, iniciando a una distancia de 570 Km. al suroeste de Manzanillo, Colima, con vientos máximos sostenidos de 55 Km./hora y rachas de 75 Km./hora; siguió incrementando su fuerza hasta alcanzar

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial

los 65 Km./hora, con rachas de 85 Km./hora, lo cual la catalogó como tormenta tropical “Emilia”.

Durante el día 27 de julio por la tarde, la tormenta logró alcanzar una velocidad de 100 Km./hora, con rachas de 120 Km./hora a una distancia de 535 km al Suroeste de Cabo San Lucas.¹²

Este fenómeno se acercó 400 Km. de las costas de Mazatlán, Sinaloa, distancia que fue suficiente para causar estragos debido a las intensas lluvias que se presentaron durante un largo periodo de tiempo.

En situaciones como esta es cuando podemos darnos cuenta de la gravedad que causa la falta de un sistema de drenaje pluvial en la ciudad, dado que el agua de lluvia logra rebasar la altura de las banquetas y en efecto invade las casas ubicadas en las zonas más desfavorables; tal fue el caso de aquellas ubicadas en colonias como el Zafiro y el Toreo. Este evento provocó la movilización de elementos del Ejército Mexicano, de la Dirección de Seguridad Pública y Tránsito Municipal y cuerpos coordinados por Protección Civil con el propósito de auxiliar a las personas que requirieran de ello. De este incidente se reportó que 150 personas provenientes del Toreo, Anahuac y Zona Dorada fueron evacuadas a zonas más altas.¹³

En el fraccionamiento Los Olivos, el fenómeno fue tan intenso que provocó que el nivel del agua llegara a una altura de 1.40 metros, causando pérdidas de bienes materiales a una gran cantidad de residentes de esa zona y las autoridades se valieron de derribar un muro para ayudar a que el agua encontrara un punto por el cual se desplazara.

¹² Cfr. Sistema Meteorológico Nacional, Tormenta tropical Emilia, dirección en Internet: <http://smn.cna.gob.mx/ciclones/tempo2000/pacifico/emilia/emilia.html>

¹³ Cfr. *Fuerte lluvia en Mazatlán provoca inundaciones*, El Sol de México, dirección en Internet: <http://www.oem.com.mx/elsoldemexico/notas/n7419.htm>, fecha de consulta: 4 de febrero del 2008.

Los daños materiales que causan este tipo de inundaciones logran escalas millonarias, considerando el hecho de que el 11% de la población encuestada afirmó haber perdido objetos de valor durante las inundaciones, tales como muebles, aparatos eléctricos, muebles, computadoras, televisiones, radios, etc. Tras el paso del huracán Lane, el 16 de septiembre del 2006, a vecinos del fraccionamiento Jacarandas se les proporcionaron enseres electrodomésticos para reponer los aparatos perdidos durante aquella inundación.

Por supuesto que estos daños no se ven reflejados únicamente en particulares, sino también este problema puede atacar a otros sectores de la sociedad en general, tal es el caso como los daños que sufren las escuelas tras estos incidentes; de acuerdo a un censo levantado, fueron 33 escuelas de la región las que reportaron haber perdido mobiliario y libros debido a la penetración de agua de lluvia en su propiedad.¹⁴

Ejemplo de ello es el caso de la escuela Primaria José Cayetano Valadez, la cual se ha inundado por completo en tres de los siete años que lleva de operación, ejemplo de ellos fue lo causado por el paso del huracán Lane, y uno de sus inconvenientes se debe a que posee al arroyo jabalíes como su vecino, por consiguiente sufre de inundaciones debido a su desbordamiento en las épocas de mayores lluvias. Además, este plantel se encuentra en una zona muy baja, recibiendo el escurrimiento de agua proveniente de la colonia Luís Echeverría, tomando el acceso a la escuela inaccesible, lo cual conlleva a la suspensión de clases. Un problema que se suma a los antes mencionados son los inconvenientes propiciados indirectamente por las inundaciones, como es la proliferación de alimañas que penetran en el interior del plantel, las cuales van desde alacranes y ranas, hasta víboras e iguanas.¹⁵ Personal de

¹⁴ Cfr. *Los efectos que causó el huracán Lane siguen arrasando*, El debate, dirección en Internet: <http://www.debate.com.mx/eldebate/Articulos/ArticuloGeneral.asp?IdArt=2789650&IdCat=6087>

¹⁵ Cfr. *Alimañas afectan a estudiantes*, El Sol de México, dirección en Internet: <http://www.oem.com.mx/elsoldemazatlan/notas/n422010.htm>, fecha de consulta: 4 de febrero del 2008.

la Secretaría de Salud ha acudido a las instalaciones a fumigar la zona con la intención de eliminar la proliferación del mosquito vector del dengue.¹⁶

Este fenómeno pasivo no es fácilmente olvidado por los sectores de la sociedad más afectados. Con cierta regularidad nos encontramos con particulares que emprenden a realizar modificaciones a sus propiedades con el afán de contrarrestar los efectos de las inundaciones dentro de sus casas. Algunas de estas personas, incluso realizan modificaciones a las banquetas y obstrucciones en las avenidas con el fin de bloquear el paso del escurrimiento pluvial dentro de sus propiedades (algunos de los cuales claramente violan los reglamentos de construcción locales). Otros, como en el caso de los residentes que no desean volver a vivir experiencias como esas, tal es el caso de colonias como la López Mateos, han colocado letreros que anuncian la venta de sus propiedades.

Otro problema ligado a las inundaciones son los efectos que estas tienen en aspectos como la salud pública. El primero de ellos tiene que ver con el agua estancada, lo cual origina en la proliferación del mosquito vector del dengue.

Además, la inundación de calles y sus problemas de tránsito no solo conllevan al retraso de particulares hacia sus lugares de destino, sino que también evitan que las operaciones de recolección de basura se realicen con naturalidad. Irónicamente, durante las épocas de lluvia más intensa, basura y toda clase de desechos terminan por apilarse en las bocas de alcantarillas y registros, lo cual es un indicio de que

¹⁶ El dengue es un caso muy suscitado en la ciudad de Mazatlán, Sinaloa en las temporadas más calurosas, donde el agua de lluvia provoca criaderos adecuados para el mosquito vector del dengue, enfermedad que se clasifica en dos casos diferentes: clásico y hemorrágico; siendo el segundo de ellos el más nocivo y ha cobrado la vida de la mayoría de los afectados. La escuela Primaria José Cayetano Valadez ya ha presentado un caso de dengue hemorrágico en uno de sus alumnos con anterioridad.

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial

estos sistemas no están ni siquiera cerca de combatir un afluente de lluvia extraordinario.¹⁷

Por otro lado, un aspecto también muy nocivo tiene que ver con la tendencia de algunos a conectar su descarga de drenaje pluvial hacia el sistema de drenaje sanitario. Esto provoca un afluente excesivo dentro del sistema, lo cual provoca que este llegue a rebosar por las alcantarillas de más bajo nivel en la ciudad, llevando así un gran volumen de aguas negras hacia la superficie. Más allá de convertirse en un aspecto negativo para la imagen de la ciudad, puede proliferar casos infecciosos en la población, tal es el caso de enfermedades como la tifoidea y salmonelosis. Estos efectos tienen importancia para el sector público, dado que un 14.10% de la población encuestada expresó haber padecido (el encuestado o alguien de su familia) de alguna enfermedad ligada con el efecto de las inundaciones.

2.3.3.1 – Obras públicas

Por un lado, podemos medir las necesidades de obra pública que demanda la ciudad de Mazatlán, y por otro podemos medir las necesidades que exige la población en cuestión de obra pública. Pero los movimientos suscitados en el sector de obras públicas poseen un patrón bastante peculiar.

Al final de un periodo administrativo de 3 años de duración por parte del presidente municipal en turno, hay muchos factores que la sociedad aprenderá a ver como buenos o malos del presidente en turno, y es en cuestiones de obra pública donde los funcionarios pueden brillar más por su presencia, dada la inexorable capacidad de la ingeniería civil de ser una manifestación perpetua de funcionalidad.

¹⁷Cfr. *Prevén más lluvias intensas*, en diario Noroeste, No. 10947, Mazatlán, 4 de Septiembre de 2007, Pág. 8B, Sección Local.

Es ahí donde reside la razón por la cual el sector de obras públicas tiende a atender más ciertas necesidades que otras: debido a la popularidad que una obra de infraestructura tendrá sobre otras.

Como en cualquier ciudad, Mazatlán necesita de muchas obras de infraestructura para estar debidamente equipada, es decir, varios asentamientos y el crecimiento desmesurado de la ciudad durante tantos años han dejado una ciudad que tiene más necesidades que posibilidades.

Por un lado, las necesidades de drenaje sanitario han sobrepasado a los sistemas anteriormente formulados, de ahí que la Junta Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Mazatlán (JUMAPAM) haya destinado \$12,917,371.46 en ampliaciones a sus redes de atarjeas y descargas en su última administración. Por otro lado, existe también la necesidad de una planta de tratamiento de aguas negras; sectores de la población demandan la instalación de alumbrado público o que se les brinde necesidades tales como seguridad pública. Mientras, debido al hecho de que la ciudad de Mazatlán es un sitio turístico, sus respectivos organismos demandan una serie de nuevos atractivos que hagan a la ciudad más vistosa a los ojos de turistas nacionales e internacionales. Por otro lado, nuevas vialidades comienzan a ser cada vez más necesarias en una ciudad que poco a poco va resintiendo los efectos de tráfico cada vez más pesado.

Mientras tanto, a lo largo de la presente tesis hemos insistido en la gran necesidad de un sistema de drenaje pluvial eficiente para la ciudad. Cuando a la población encuestada, para efectos de esta investigación, se les dio enumerar en orden de importancia cinco obras de infraestructura necesitadas en Mazatlán, el inciso denominado “control de inundaciones” fue situado como la necesidad número 1 por un 41.37% de la población, mientras un 23.01% lo situó como la necesidad número 2 y un 17.25% de la misma lo situó como la tercera necesidad para Mazatlán.

Tomando estos valores en cuenta, nos damos cuenta de que la necesidad de drenaje pluvial para Mazatlán posee el lugar más destacado en la opinión pública cifrando una importancia de 74.88%.

Contrariamente a esta cifra, el sector de obras públicas se ha evocado hacia una cuestión que no deja de ser importante, pero si podemos medirla, podríamos decir que se encuentra fuera de control: la pavimentación de calles.

De acuerdo a las encuestas realizadas, la pavimentación de calles posee el segundo lugar más bajo dentro de la opinión general (después de atractivos para la ciudad), donde solo un 11.5% de la población la ubicó como la necesidad número 1 y el resto de sus puntuaciones no fueron de lo más sobresaliente; finalmente obteniendo un 56.47% de puntuación (quedando arriba de atractivos para la ciudad por 9.76%).

Sin embargo, cuando pensamos en la obra de infraestructura que mayor notoriedad brinda a un presidente municipal, es precisamente, la pavimentación de calles. Y en una ciudad en la que aún existen calles sin pavimentar, un buen gobierno municipal puede ser medido por la cantidad de calles pavimentadas.

Realizando un escrutinio en las obras públicas de la ciudad de Mazatlán (Apéndice 1), nos encontramos que se realizó una cantidad de 344 obras, donde 251 de estas son obras de pavimentación de calles (72.95% del total de obras). Económicamente hablando, el sector de obras públicas reportó haber realizado una inversión de \$146,087,195.20, de los cuales, una extravagante suma de \$126,204,452.36 (86.39% del total invertido) fue utilizada para la pavimentación de calles. Aunque en números claros, las obras de pavimentación suelen ser apoyadas por una participación ciudadana beneficiada por la obra en cuestión, la cual promedia un 20% de la inversión.

A final de cuentas, esos aproximados \$100,882,969.05 que pudieron haber sido utilizados en otras obras más necesarias para la ciudad, no solo fueron invertidos en algo que bien puede ser justificado como publicidad postelectoral, sino que también incrementan la cantidad de áreas impermeables en el municipio, dado que estos proyectos de pavimentación no poseen un sistema de drenaje pluvial que desaloje el agua de lluvia que corra a través de su superficie.

Ante todo, se debería de tener conciencia de que todo cambio tiene sus consecuencias, pero es muy difícil asegurarse de que se esté pensando por adelantado los efectos que tendrá el pavimento en una avenida sobre el volumen de escorrentía superficial provocado por las lluvias. Si por encima de esto, añadimos el hecho de que las calles que se pavimentan suelen provenir de caminos de terracería generados tras la instalación de múltiples asentamientos irregulares, lo que en muchas ocasiones vamos a encontrar son caminos con nivelaciones muy desfavorables, que al contrario, favorecerán los volúmenes de agua de lluvia hacia las zonas más bajas de la ciudad.

Retomando los datos generados en las encuestas, el 89.24% de la población considera que Mazatlán necesita de un sistema de drenaje pluvial, y hasta un 62.34% de los mismos opinaron que el problema sigue igual sin importar el paso de los años, mientras un 18.55% y un 15.21% manifestaron que el problema ha disminuido y empeorado, respectivamente.

Por supuesto que el problema de las inundaciones está presente en la opinión de nuestros mandatarios, y al cabo de los años han buscado la manera de disminuir el daño que estas causan a la ciudad, sobre todo cuando se presentan fenómenos naturales de manifestación extraordinaria.

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial

Una de las obras más recientes culminadas durante la presente administración ha sido la ampliación del Puente Insurgentes para que este posea un cauce mayor, lo cual pretende disminuir los daños causados por las inundaciones en las zonas aledañas al río Jabalines que pasa por debajo del mencionado puente. Esta obra demandó un presupuesto de 9.6 millones de pesos y la obra llegó a su termino el pasado 28 de mayo de 2008.

La iniciativa que conllevó la realización de esta obra se debió a una manifestación de colonos provenientes de las zonas más afectadas por el desbordamiento del arroyo, tales como la Jacarandas y López Mateos.

Aunado a las actividades ligadas a esta obra se optó también por realizar una limpieza del arroyo Jabalines, de modo que el agua pudiera fluir con mayor facilidad evitando que el mismo se desborde afectando a zonas aledañas. Para ello hubo que pedir un permiso especial a SEMARNAT, que incluía un estudio de impacto ambiental, dado que era necesario remover una larga sección de mangle.

Esta medida sería puesta a prueba tras una repentina lluvia que se manifestó en el puerto el pasado 29 de septiembre del 2007. Este fenómeno se debió a la formación de la tormenta tropical Juliette, la cual empujó bandas de nubes que llegaron a descargarse en la ciudad de Mazatlán. El agua pudo moverse con mayor fluidez a través del arroyo en cuestión, lo cual fue visto como un éxito por el director de Protección Civil de la ciudad, quien expresó estar satisfecho por los resultados de esta tan necesaria obra de dragado.¹⁸

Por otro lado, este hecho tan reciente siguió demostrando lo poco preparada que se encuentra la ciudad ante eventos de esta magnitud, donde nuevamente hubo

¹⁸ *Exhibe la lluvia problemas*, en diario Noroeste, No. 10972, Mazatlán, 30 de Septiembre de 2007, Pág. 1F, Sección El Sur.

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial manifestación de alcantarillas rebosantes de líquidos en exceso, calles y avenidas que quedaron bajo el agua y lodazales en calles sin pavimentar.

Las zonas que se reportaron más afectadas por este incidente fueron la avenida Insurgentes, cuyo excesivo escurrimiento causó que varios vehículos quedaran varados; la avenida reforma también reportó una inundación de calles que sobrepasó por varios centímetros guarniciones y banquetas; agentes de Tránsito Municipal estuvieron a cargo de desviar el tráfico para que evitaran terminar varados en la Avenida La Marina; al igual que la Zona Dorada también resultó inundada debido a que el sistema de drenaje pluvial de esa área se encontraba tapado.¹⁹

2.3.3.1 – Proyección futura

Dentro de las obras que la presente administración tiene contempladas en cuestión de control de inundaciones, se encuentran obras de desazolve para los canales en la Zona Dorada y en canal de la colonia López Mateos.

Estas obras pueden reducir en buena medida la posibilidad de que se presenten inundaciones de gran magnitud durante eventos extraordinarios de lluvia, sin embargo, un efectivo sistema de drenaje es aún una necesidad si se está pensando en corregir el problema que aún perdura.

Por otro lado, los efectos del cambio climático que se han estado resintiendo en nuestros últimos tiempos pueden estar ligados con las repentinas tormentas tropicales que azotan a la región. De la misma manera, los efectos del deshielo

¹⁹ Cfr. *Ibíd.*, pág. 10B.

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial

podrían provocar inundaciones aún más intensas en la región, debido a que muchas zonas de Mazatlán se encuentran en zonas muy bajas.²⁰

Proyectar un sistema de drenaje pluvial para esta zona es aún una prioridad, y medidas pueden seguirse tomando cada vez que nos acerquemos a situaciones de emergencia o bajo escenarios alarmistas, pero mientras un cambio no sea previsto corregir el problema actual, el futuro nos forzará a tomar una decisión entre una serie de soluciones correctivas para un problema mucho mayor.

²⁰ Cfr. *Amenazan las inundaciones más graves*, El Sol de Mazatlán, dirección en Internet: <http://www.oem.com.mx/elsoldemazatlan/notas/n673109.htm>, fecha de consulta: 15 de mayo del 2008.

2.4 – Marco Legal

Para efectos de la presente investigación, se consultaron los artículos de la Ley Nacional del Agua publicada por la Cámara de Diputados del Honorable Congreso de la Unión. De entre los cuales se expone lo siguiente:

Una de las principales preocupaciones detrás de esta tesis, es que no se le dé el seguimiento correspondiente. De modo que esto pueda evitarse, es necesario que se presente la debida difusión, y la Ley de Aguas Nacionales nos expresa en su título segundo:

ARTÍCULO 14. En el ámbito federal, "la Comisión" acreditará, promoverá y apoyará la organización de los usuarios para mejorar el aprovechamiento del agua y la preservación y control de su calidad, y para impulsar la participación de éstos a nivel nacional, estatal, regional o de cuenca en los términos de la presente Ley y sus reglamentos.

ARTÍCULO 14 BIS. "La Comisión", conjuntamente con los Gobiernos de los estados, del Distrito Federal y de los municipios, los organismos de cuenca, los consejos de cuenca y el Consejo Consultivo del Agua, promoverá y facilitará la participación de la sociedad en la planeación, toma de decisiones, ejecución, evaluación y vigilancia de la política nacional hídrica.

Se brindarán apoyos para que las organizaciones ciudadanas o no gubernamentales con objetivos, intereses o actividades específicas en materia de recursos hídricos y su gestión integrada, participen en el seno de los Consejos de Cuenca, así como en Comisiones y Comités de Cuenca y Comités Técnicos de Aguas Subterráneas. Igualmente se facilitará la participación de colegios de profesionales, grupos académicos especializados y otras organizaciones de la sociedad cuya participación enriquezca la planificación hídrica y la gestión de los recursos hídricos.

Para los efectos anteriores, "la Comisión", a través de los Organismos de Cuenca y con apoyo en los Consejos de Cuenca:

I. Convocará en el ámbito del sistema de Planeación Democrática a las organizaciones locales, regionales o sectoriales de usuarios del agua, ejidos y comunidades, instituciones educativas, organizaciones ciudadanas o no gubernamentales, y personas interesadas, para consultar sus opiniones y propuestas respecto a la planeación, problemas prioritarios y estratégicos del agua y su gestión, así como evaluar las fuentes de abastecimiento, en el ámbito del desarrollo sustentable;

II. Apoyará las organizaciones e iniciativas surgidas de la participación pública, encaminadas a la mejor distribución de tareas y responsabilidades entre el Estado

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial

-entendido éste como la Federación, los estados, el Distrito Federal y los municipios- y la sociedad, para contribuir a la gestión integrada de los recursos hídricos;

III. Proveerá los espacios y mecanismos para que los usuarios y la sociedad puedan:

a. Participar en los procesos de toma de decisiones en materia del agua y su gestión;

b. Asumir compromisos explícitos resultantes de las decisiones sobre agua y su gestión, y

c. Asumir responsabilidades directas en la instrumentación, realización, seguimiento y evaluación de medidas específicas para contribuir en la solución de la problemática hídrica y en el mejoramiento de la gestión de los recursos hídricos;

IV. Celebrará convenios de concertación para mejorar y promover la cultura del agua a nivel nacional con los sectores de la población enunciados en las fracciones anteriores y los medios de comunicación, de acuerdo con lo previsto en el Capítulo V del Título Sexto de la presente Ley, y

V. Concertará acciones y convenios con los usuarios del agua para la conservación, preservación, restauración y uso eficiente del agua.

Lo cual sustenta una base sólida sobre la cual se puede llevar a cabo un seguimiento de un proyecto que tenga la intención de dar solución a problemáticas de tipo hídrica sobre suelo nacional.

El título tercero, por su parte, expresa los principios que sustentan la política hídrica nacional, entre los cuales nos encontramos con los siguientes derivados del Artículo 15 BIS 5:

I. El agua es un bien de dominio público federal, vital, vulnerable y finito, con valor social, económico y ambiental, cuya preservación en cantidad y calidad y sustentabilidad es tarea fundamental del Estado y la Sociedad, así como prioridad y asunto de seguridad nacional.

En el cual nos habla de la importancia que posee el agua en nuestro país, así como es el Estado el principal regulador de las políticas que la rigen, dando especial importancia a las tareas de preservación del mencionado elemento.

XII. El aprovechamiento del agua debe realizarse con eficiencia y debe promoverse su reúso y recirculación.

La presente tesis tiene como una de sus características la de promover que exista alimentación de los acuíferos por parte de las precipitaciones pluviales, lo cual sustenta la validez de los procedimientos utilizados en este sistema y su respectiva aplicación.

XVIII. Las personas físicas o morales que hagan un uso eficiente y limpio del agua se harán acreedores a incentivos económicos, incluyendo los de carácter fiscal, que establezcan las Leyes en la materia.

Aquí nos encontramos un principio que en particular nos especifica que los avances que logren realizarse en cuestiones ecológicas a favor del agua son incentivados por el Estado por bienes económicos y fiscales. De la correcta aplicación de los presentes procesos se pueden desprender beneficios para quienes lo promuevan.

En cuestión de inundaciones, dentro de los artículos de su título sexto, que tiene que ver con los usos del agua, en su Capítulo V nos estipula:

ARTÍCULO 83. "La Comisión", a través de los Organismos de Cuenca, en coordinación con los gobiernos estatales y municipales, o en concertación con personas físicas o morales, deberá construir y operar, según sea el caso, las obras para el control de avenidas y protección de zonas inundables, así como caminos y obras complementarias que hagan posible el mejor aprovechamiento de las tierras y la protección a centros de población, industriales y, en general, a las vidas de las personas y de sus bienes, conforme a las disposiciones del Título Octavo.

"La Comisión", en los términos del reglamento, y con el apoyo de los Organismos de Cuenca, clasificará las zonas en atención a sus riesgos de posible inundación, emitirá las normas y, recomendaciones necesarias, establecerá las medidas de operación, control y seguimiento y aplicará los fondos de contingencia que se integren al efecto.

Los Organismos de Cuenca apoyarán a "la Comisión", de conformidad con las leyes en la materia, para promover, en su caso, en coordinación con las autoridades competentes, el establecimiento de seguros contra daños por inundaciones en zonas de alto riesgo, de acuerdo con la clasificación a que se refiere el párrafo anterior.

ARTÍCULO 84. "La Comisión" determinará la operación de la infraestructura hidráulica para el control de avenidas y tomará las medidas necesarias para dar seguimiento a fenómenos climatológicos extremos, promoviendo o realizando las acciones preventivas que se requieran; asimismo, realizará las acciones necesarias que al efecto acuerde su Consejo Técnico para atender las zonas de emergencia hidráulica o afectadas por fenómenos climatológicos extremos, en coordinación con las autoridades competentes.

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial

Para el cumplimiento eficaz y oportuno de lo dispuesto en el presente Artículo, "la Comisión" actuará en lo conducente a través de los Organismos de Cuenca.

Ambos principios nos informan que es la Comisión Nacional de Agua a quien debemos de dirigirnos al momento de proyectar un sistema de drenaje que tenga por objeto el regular el efecto de las inundaciones.

Dentro del Título octavo, denominado como inversión en infraestructura hidráulica, el artículo 96 BIS 2 menciona las obras públicas que competen al Ejecutivo Federal a través de Comisión Nacional del Agua, de las cuales se derivan las siguientes:

- II. Regulen y conduzcan el agua, para garantizar la disponibilidad y aprovechamiento del agua en las cuencas, salvo en los casos en los cuales hayan sido realizadas o estén expresamente al cargo y resguardo de otros órdenes de gobierno;
- III. Controlen, y sirvan para la defensa y protección de las aguas nacionales, así como aquellas que sean necesarias para prevenir inundaciones, sequías y otras situaciones excepcionales que afecten a los bienes de dominio público hidráulico; sin perjuicio de las competencias de los Gobiernos Estatales o Municipales;
- IV. Permitan el abastecimiento, potabilización y desalinización cuya realización afecte a dos o más estados;

Un sistema de drenaje pluvial a base de concreto permeable posee estas tres características, dado que la recarga de los acuíferos conduce a mayor disponibilidad de agua para su aprovechamiento; Tiene como principal función la de prevenir inundaciones; y, mientras es un proceso que no está directamente relacionado con esta tesis, la infiltración de aguas provenientes de la lluvia es también una posible fuente de abastecimiento de agua, para lo cual, nuevos programas y leyes habrán de decretarse para su correcto aprovechamiento.

Al mismo tiempo, la Comisión también tiene su papel en el asesoramiento de terceros de acuerdo al artículo 99 de la misma Ley:

ARTÍCULO 99. "La Autoridad del Agua" proporcionará a solicitud de los inversionistas, concesionarios o asignatarios, los apoyos y la asistencia técnica

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial

para la adecuada construcción, operación, conservación, mejoramiento y modernización de las obras hidráulicas y los servicios para su operación.

"La Autoridad del Agua" proporcionará igualmente los apoyos y la asistencia técnica que le soliciten para la adecuada operación, mejoramiento y modernización de los servicios hidráulicos para su desarrollo autosostenido, mediante programas específicos que incluyan el manejo eficiente y la conservación del agua y el suelo, en colaboración con las organizaciones de usuarios.

De acuerdo a la misma Ley, la Comisión será regulador de las mismas obras de infraestructura, tal y como es estipulado en los artículos 100 y 101:

ARTÍCULO 100. "La Comisión" establecerá las normas o realizará las acciones necesarias para evitar que la construcción u operación de una obra altere desfavorablemente las condiciones hidráulicas de una corriente o ponga en peligro la vida de las personas y la seguridad de sus bienes o de los ecosistemas vitales.

ARTÍCULO 101. "La Comisión" realizará por sí o por terceros las obras públicas federales de infraestructura hidráulica que se desprendan de los programas de inversión a su cargo, conforme a la Ley y disposiciones reglamentarias. Igualmente, podrá ejecutar las obras que se le soliciten y que se financien total o parcialmente con recursos distintos de los federales.

En caso de que la inversión se realice total o parcialmente con recursos federales, o que la infraestructura se construya mediante créditos avalados por el Gobierno Federal, "la Comisión" en el ámbito de su competencia establecerá las normas, características y requisitos para su ejecución y supervisión, salvo que por ley correspondan a otra dependencia o entidad.

De este modo, se podrá vigilar en cualquier aspecto que no se haga una alteración perjudicial a los cuerpos de agua.

Asimismo, la Comisión Nacional del Agua tiene los siguientes preceptos en cuanto a la participación privada y social en Obras Hidráulicas Federales:

ARTÍCULO 102. Para lograr la promoción y fomento de la participación de los particulares en el financiamiento, construcción y operación de infraestructura hidráulica federal, así como en la prestación de los servicios respectivos, "la Comisión" podrá:

I. Celebrar con particulares contratos de obra pública y servicios con la modalidad de inversión recuperable, para la construcción, equipamiento y operación de infraestructura hidráulica, pudiendo quedar a cargo de una empresa o grupo de éstas la responsabilidad integral de la obra y su operación, bajo las disposiciones que dicte la Autoridad en la materia y en los términos de los reglamentos de la presente Ley;

II. Otorgar concesión total o parcial para operar, conservar, mantener, rehabilitar y ampliar la infraestructura hidráulica construida por el Gobierno Federal y la prestación de los servicios respectivos, y

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial

III. Otorgar concesión total o parcial para construir, equipar y operar la infraestructura hidráulica federal y para prestar el servicio respectivo.

"La Comisión" se coordinará en términos de Ley con el o los gobiernos de los estados correspondientes para otorgar las concesiones referidas en las fracciones II y III del presente Artículo.

Para el trámite, duración, regulación y terminación de la concesión a la que se refiere la fracción II del presente Artículo, se aplicará en lo conducente lo dispuesto en esta Ley para las concesiones de explotación, uso o aprovechamiento de agua y lo que dispongan sus reglamentos. Los usuarios de dicha infraestructura tendrán preferencia en el otorgamiento de dichas concesiones.

ARTÍCULO 103. Las concesiones a que se refiere la fracción III del Artículo anterior, se sujetarán a lo dispuesto en el presente Capítulo y a los reglamentos de la presente Ley.

"La Comisión" fijará las bases mínimas para participar en el concurso para obtener las concesiones a que se refiere este Capítulo, en los términos de esta Ley y sus reglamentos. La selección entre las empresas participantes en el concurso se hará con base en las tarifas mínimas que respondan a los criterios de seriedad, confiabilidad y calidad establecidas en las bases que para cada caso establezca "la Comisión".

ARTÍCULO 104. Las tarifas mínimas a que se refiere el Artículo anterior, conforme a las bases que emita "la Comisión" deberán:

I. Propiciar el uso eficiente del agua, la racionalización de los patrones de consumo y, en su caso, inhibir actividades que impongan una demanda excesiva;

II. Prever los ajustes necesarios en función de los costos variables correspondientes, conforme a los indicadores conocidos y medibles que establezcan las propias bases, y

III. Considerar un periodo establecido; que en ningún momento será menor que el periodo de recuperación del costo del capital o del cumplimiento de las obligaciones financieras que se contraigan con motivo de la concesión.

El término de la concesión en relación con este Capítulo no podrá exceder de cincuenta años, salvo lo dispuesto en el último párrafo del Artículo 102 de la presente Ley.

ARTÍCULO 105. "La Comisión", en los términos del reglamento respectivo, podrá autorizar que el concesionario otorgue en garantía los derechos de los bienes concesionados a que se refiere el presente Capítulo, y precisará en este caso los términos y modalidades respectivas.

Las garantías se otorgarán por un término que en ningún caso comprenderá la última décima parte del total del tiempo por el que se haya otorgado la concesión, para concesiones con duración mayor a quince años; cuando la duración de la concesión sea menor a quince años, las garantías se otorgarán por un término que no excederá la última octava parte de la duración total de la concesión respectiva.

ARTÍCULO 106. Si durante la última décima u octava parte de la duración total de la concesión, según el caso que proceda conforme a lo dispuesto en el Artículo anterior, el concesionario no mantiene la infraestructura en buen estado, "la Comisión" nombrará un interventor que vigile o se responsabilice de mantener la infraestructura al corriente, con cargo al concesionario, para que se proporcione un servicio eficiente y no se menoscabe la infraestructura hidráulica.

ARTÍCULO 107. La concesión sólo terminará por:

I. Vencimiento del plazo establecido en el título o renuncia del titular;

II. Revocación por incumplimiento en los siguientes casos:

a. No ejecutar las obras o trabajos objeto de la concesión en los términos y condiciones que señale la presente Ley y sus Reglamentos;

b. Dejar de pagar las contribuciones o aprovechamientos que establezca la legislación fiscal por el uso o aprovechamiento de la infraestructura y demás bienes o servicios concesionados;

c. Transmitir los derechos del título u otorgar en garantía los bienes concesionados, sin contar con la autorización de "la Comisión", o

d. Prestar en forma deficiente o irregular el servicio, o la construcción, operación, conservación o mantenimiento, o su suspensión definitiva, por causas imputables al

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial

concesionario, cuando con ello se pueda causar o se causen perjuicios o daños graves a los usuarios o a terceros;

III. Rescate de la concesión por causa de utilidad pública o interés público, conforme a lo establecido en la Fracción V del Artículo 6 de la presente Ley, mediante pago de la indemnización respectiva, fijada por peritos en los términos del Reglamento, garantizando en todo caso que la misma sea equivalente por lo menos a la recuperación pendiente de la inversión efectuada y la utilidad razonable convenida en los términos de la concesión, o

IV. Resolución Judicial.

En los casos a que se refieren la fracción II, las obras o infraestructura construidas, así como sus mejoras y accesiones y los bienes necesarios para la continuidad del servicio, se entregarán en buen estado, sin costo alguno y libres de todo gravamen o limitaciones, para pasar al dominio de la Nación, con los accesorios y demás bienes necesarios para continuar con la explotación o la prestación del servicio.

ARTÍCULO 108. La recuperación total o parcial de la inversión privada o social se podrá efectuar mediante el suministro de agua para usos múltiples, incluyendo la venta de energía eléctrica en los términos de la Ley aplicable en la materia.

Las obras públicas de infraestructura hidráulica o los bienes necesarios para su construcción u operación se podrán destinar a fideicomisos, establecidos en instituciones de crédito, para que, a través de la administración y operaciones sobre el uso o aprovechamiento de dichas obras, se facilite la recuperación de la inversión efectuada. Una vez cumplido el objeto del fideicomiso deberán revertir al Gobierno Federal, en caso contrario, se procederá a su desincorporación en los términos de la Ley aplicable en la materia.

En cuanto a lo relacionado a la recuperación de la inversión pública, el Capítulo tercero dentro del mismo Título presenta lo siguiente:

ARTÍCULO 109. Las inversiones públicas en obras hidráulicas federales se recuperarán en la forma y términos que señale la Ley de Contribución de Mejoras por Obras Públicas Federales de Infraestructura Hidráulica, mediante el establecimiento de cuotas de autosuficiencia que deberán cubrir las personas beneficiadas en forma directa del uso, aprovechamiento o explotación de dichas obras.

ARTÍCULO 110. La operación, conservación y mantenimiento de la infraestructura hidráulica se efectuarán con cargo a los usuarios de los servicios respectivos. Las cuotas de autosuficiencia se determinarán con base en los costos de los servicios, previa la valuación de dichos costos en los términos de eficiencia económica; igualmente, se tomarán en consideración criterios de eficiencia económica y saneamiento financiero de la entidad o unidad prestadora del servicio.

Considerando el hecho de que el sistema que estamos tratando requiere de poco mantenimiento y su durabilidad se encuentra en alrededor de 20 años, los costos de los servicios que de este provengan serían relativamente bajos.

De este modo, se presentan las bases para la instalación de un sistema de drenaje pluvial a base de concreto permeable como una opción legalmente viable, cuyo impacto beneficiará directa e indirectamente a diversos sectores de la población.

3 – Aspectos Metodológicos

A continuación se detallarán todos los procedimientos empleados y las técnicas adoptadas para la obtención de los datos que ayudaron a determinar la magnitud del problema en cuestión, los cuales abarcan desde la interacción con el problema en sí, la obtención de los datos de campo necesarios para su cómputo, hasta el como todos estos elementos se conjugaron para determinar la viabilidad del procedimiento estudiado.

3.1 – Observación estructurada

Se precisó realizar una observación estructurada de los diferentes puntos de la localidad que pueden presentar hallazgos útiles para la formulación de esta tesis.

Se denomina a este tipo de observación como estructurada, debido a que se han de observar detalles o elementos explícitos que de antemano se sabe que son de utilidad para esta tesis.

Básicamente, los objetivos que se buscan en la fase de observación son:

En primer lugar, es de importancia observar los diferentes puntos de la localidad que presenten el problema de inundaciones. De modo que sea posible describir y detallar algunos de los elementos que hacen posible que esta problemática prevalezca.

Ha sido también muy importante hacer una observación en primer plano de los fenómenos meteorológicos y las inundaciones que se presentan en diferentes puntos de la localidad.

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial

Se harán las descripciones correspondientes a los fenómenos observados durante este proceso.

3.1.1 – Descripción visual del problema.

Como residente de la ciudad de Mazatlán, Sinaloa me fue muy fácil identificarme con el problema en cuestión, de modo que no fue muy complicado poder localizar ciertos puntos de interés al recorrer la ciudad durante y después de un periodo de precipitación pluvial.

La huella que queda detrás de cada uno de estos fenómenos meteorológicos son los estancamientos de agua que suelen presentarse en las zonas más desfavorables de la ciudad.

El problema de las inundaciones se encuentra muy presente en la ciudadanía, razón por la cual no fue muy difícil encontrar obras realizadas por los mismos ciudadanos en sus propiedades para evitar la inundación de sus inmuebles. Estas obras van desde topes frente a las puertas de sus casas, hasta la elevación de banquetas y guarniciones a fin de sobrepasar la altura que logra alcanzar el escurrimiento pluvial.



Figuras 3.1 y 3.2. Fotografías tomadas con un año de diferencia, donde se muestra la elevación de la banqueta por parte del mismo propietario del local.

El principal afectado durante las épocas de lluvia es el tránsito vehicular debido a la inundación de calles y avenidas que logran entorpecer y alentar su circulación causando molestia en la población. La magnitud de las lagunas generadas tras el paso de la lluvia varía dependiendo la zona, pero las hay desde charcos de gran área situados sobre las avenidas, hasta verdaderos estanques que logran inundar un crucero por completo.



Figuras 3.3 y 3.4.Inundación completa de cruceros.

Durante un periodo de lluvia, se hacen evidentes dos cosas. Una, que no existe un sistema de drenaje pluvial propiamente dicho; y dos, que aquellos puntos a los que se les ha provisto de un sistema de captación de agua pluvial, ha resultado ineficiente.

En las siguientes imágenes se muestra en detalle la inundación de un crucero en tres puntos de interés. La primeras dos imágenes corresponden a la inundación en sí vista desde dos diferentes ángulos.

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial



Figuras 3.5 y 3.6. Muestra de una inundación de aproximadamente 15 cm. de altura en un punto donde radica un colector y un canal de agua de lluvia.

Las siguientes tres imágenes muestran la ineficiencia de los sistemas locales, los cuales incluso se vuelven parte de este problema en cuestión.



Figuras 3.7 y 3.8. Canal azolvado sobre el que no circula libremente el agua. Colector de agua sobresaturado de agua, que libera agua proveniente de otro sector.



Figura 3.9. Alcantarilla de drenaje sanitario rebosando agua hacia la calle.

3.1.2 – Observación de la zona de estudio.

Para efectos de la presente tesis se optó por delimitar una zona de estudio sobre la cual se proyectaría el sistema de drenaje pluvial. De modo que se eligió la Zona Centro de la ciudad de Mazatlán, Sinaloa, debido a que posee todos los elementos que la hacen susceptible a inundaciones, además de la importancia que esta posee para la ciudad.

La Zona Centro se encuentra situada entre distintas elevaciones, las cuales crean una gran cuenca que transporta el escurrimiento pluvial hacia las zonas más desfavorables. Como se verá en el capítulo 3.3, se logró determinar la extensión de dicha cuenca hidrológica, de la cual se tomó una sección que puede considerarse la más problemática dado el desnivel que presenta, la cual transporta el agua hacia las zonas más bajas, las cuales son relativamente planas.



Figura 3.10. Zona Centro de la Ciudad de Mazatlán, Sinaloa.

Habiendo delimitado esta subcuenca de estudio, se procedió a realizar una observación para obtener detalles de campo que después ayudarían a la determinación de la dirección del flujo del escurrimiento pluvial sobre las calles y avenidas de la misma.

Para ello, me dediqué a visitar la zona en cuestión tras haber recibido agua de lluvia, cuando el escurrimiento de la misma aún circulaba por la calle. Se tomaron fotos, se realizaron notas y detallados de cómo el terreno dirige las distintas masas de agua por el centro de la ciudad. Esta fase resultó ser de gran importancia, pues solo con lujo de detalles fue posible determinar la dirección del flujo de agua y las áreas que aportan al sistema, pues pese a los lineamientos que la teoría nos ha dado, cada caso en particular tiene sus propias variables, y el caso de Mazatlán, Sinaloa arrojó detalles necesarios a ser considerados. Algunas de las observaciones hechas fueron las siguientes:

En primer lugar, la lluvia evidenció las pobres condiciones en las que se encuentran las calles más transitadas de la zona, como la calle Teniente Azueta, pues los diversos baches e imperfecciones del terreno los hacían inmediatamente propensos a encharcamientos.

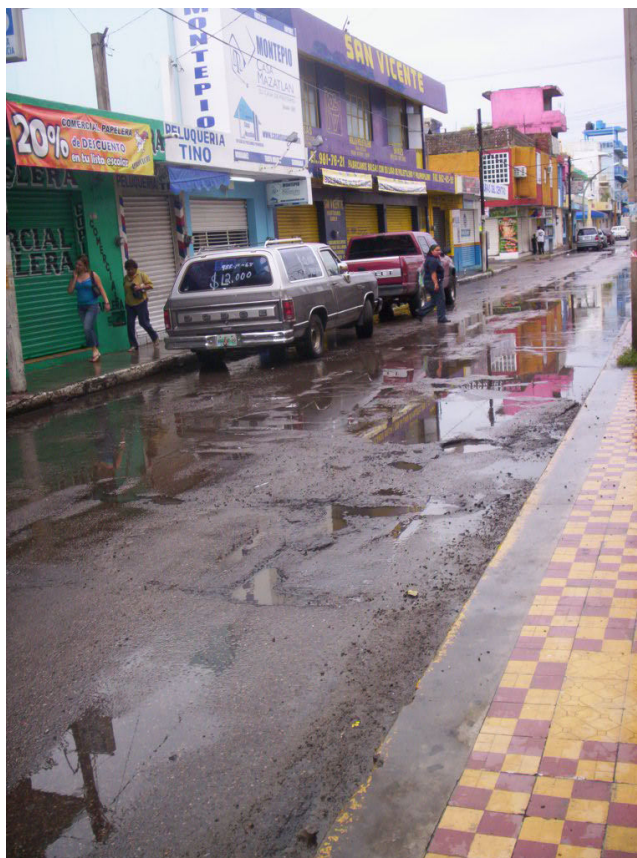


Figura 3.11. Calle Teniente Azueta en pésimas condiciones.

Por otra parte, el constante re-encarpetado de las mismas calles ha provocado un desnivel sobre las mismas calles, de modo que el agua de lluvia tiende a escurrirse sobre la orilla de las mismas, donde aún yace el nivel original de la calle.



Figura 3.12. El escurrimiento superficial se lleva a cabo por la orilla de ciertas avenidas debido al constante re-encarpetamiento de las mismas.

El proceso de observación para la determinación concluyente de la dirección del flujo de agua sobre un área proyectada para un sistema de drenaje pluvial es un proceso indispensable que no debe omitirse ni realizarse a la ligera, pues datos intangibles como los provistos por planos del mismo pueden mostrar no ser suficientemente detallados como para tomar en cuenta desniveles de terreno no considerados por la planimetría que impidan o fomenten el recorrido del escurrimiento en una dirección u otra.

Se añadirán detalles de las observaciones realizadas en los siguientes procesos metodológicos a describirse donde sea pertinente dar explicación de las decisiones tomadas.

3.2 – Población Y Muestra

Parte importante detrás de esta investigación es lograr medir el interés público y municipal por la necesidad que tiene el puerto de Mazatlán, Sinaloa, de un sistema de drenaje pluvial en pleno funcionamiento que corrija el fenómeno de las inundaciones que afecta a la ciudad año con año.

De ahí es que se realizó una encuesta ciudadana, dirigida a la población adulta, de la cual se pueda desprender su interés en el tema actual.

El marco muestral de esta encuesta se obtuvo, en su mayoría, por parte de los alumnos y maestros de distintas facultades de la Universidad Autónoma de Sinaloa. Esta elección se hizo debido a que las aulas de clase de una Universidad contiene una colección numerosa de personas mayores de 18 años, de residencia y clase social variable, lo cual convirtió a este plantel y sus instalaciones en el objeto de estudio ideal para la presente investigación. Cabe mencionar que en las mismas instalaciones contamos con la disposición de buena fe por parte de directores y maestros de distintas facultades de la Universidad Autónoma de Sinaloa, quienes nos brindaron su autorización y cooperación para la aplicación de encuestas al estudiantado.

3.2.1 – Encuestas realizadas

Una muestra de las encuestas realizadas durante esta investigación puede ser encontrada en el Anexo 2. En esta sección se detallará el contenido de la mencionada encuesta y las consideraciones que llevaron a su elaboración:

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial

La primera intención detrás de la aplicación de las encuestas fue medir el interés de la población porque exista un sistema de drenaje pluvial en la ciudad de Mazatlán, Sinaloa; de ahí que era de vital importancia el no sugestionar a los encuestados acerca de la naturaleza de la presente encuesta.

De este modo, el objetivo de la encuesta se mencionó de la siguiente manera:

“El objetivo de la presente encuesta es recabar la opinión de una parte representativa de la población de Mazatlán, Sinaloa, en cuanto a su interés respecto a las distintas obras de infraestructura con que cuenta y carece este mismo municipio.”

Así, se lograría que los encuestados se enfocaran a dar respuestas en relación a obras públicas en general y no invitarlos a responder de basados en el fenómeno específico a estudiar.

Los “Datos del encuestado” nos proveen una serie de datos que nos pueden ser de utilidad, entre ellos conocer cuanto tiempo llevan viviendo en la ciudad y la zona donde residen actualmente.

Datos del encuestado:

Sexo: ____ Edad: ____ Estado civil: _____ Ocupación: _____

Colonia de residencia: _____

Años viviendo en la ciudad de Mazatlán, Sinaloa: ____

Vive con:

Sus padres Su familia Sus Parientes Solo

Las preguntas 1 y 2, nuevamente, invitan al encuestado a pensar en la calidad de vida y en los servicios que posee o no en general, sin motivarlo a pensar en cuestiones de drenaje pluvial.

1. ¿Cómo considera que es el nivel de calidad de vida en la ciudad de Mazatlán?
2. ¿Cuenta con todos los servicios que usted considera necesarios para usted y su familia?

La tercera pregunta cuestiona al sujeto de estudio a seleccionar una de las cinco obras de infraestructura que considere más necesarias para el municipio. Las cinco opciones a elegir son un arreglo de las obras de infraestructura de mayor difusión y necesidad, entre las cuales se encontraba la opción de drenaje pluvial, la cual fue descrita como “control de inundaciones” de manera que la ciudadanía pudiera identificar la obra con mayor facilidad.

La pregunta número 4 es una de las más importantes de la encuesta, una vez que el encuestado está más conciente de algunas de las obras civiles más importantes en el municipio, a este se le pide enumerar las mencionadas obras en orden de importancia.

A partir de aquí al encuestado se le cuestiona acerca del fenómeno de las inundaciones en Mazatlán. Las preguntas 5 a 9 se avocan a preguntar al encuestado si ha vivido algunos de los efectos que tienen las inundaciones; esto se diversifica en cuestiones como conocer si el encuestado ha vivido inundaciones en su colonia o si ha vivido dicho fenómeno en otras zonas de la ciudad. Las siguientes preguntas son de carácter más directo y buscan conocer si, debido a las inundaciones, la población ha perdido objetos de valor, padecido alguna enfermedad o tenido dificultades para llegar a su lugar de destino debido a la inundación de calles y avenidas.

1. ¿Sufre de inundaciones en su colonia?
2. ¿Ha vivido el efecto de las inundaciones en otros sectores de la ciudad?
3. ¿Ha perdido objetos de valor debido a las inundaciones (vehículos, muebles, ropa, etc.)?
4. ¿Ha padecido (usted o su familia) enfermedades vinculadas con el efecto de las inundaciones?
5. ¿Ha tenido problemas para llegar a un lugar debido a la inundación de las calles?

Una vez que las personas han meditado sobre la importancia del problema, en la pregunta 10 se les pide contestar cuan grave consideran que es el problema de las

inundaciones en Mazatlán. La pregunta 11 invita al encuestado a responder si se han hecho medidas para corregir el problema, pero más concretamente se les pide responder si el problema, a lo largo de los años, es el mismo, ha disminuido, o al contrario, empeorado.

La pregunta número 12 presenta una serie de cuestiones que llevan al encuestado a reflexionar cuan importante puede ser la implantación de un sistema de drenaje pluvial en la ciudad.

12. ¿Usted cree que un eficiente sistema de drenaje pluvial, que evite la inundación en diversos sectores de la ciudad, son de beneficio para Mazatlán en los siguientes aspectos?

- a. ¿Mejorará la calidad de vida de sus ciudadanos?:
 Sí. No. No estoy seguro.
- b. ¿Mejorará las condiciones de salud pública del puerto?:
 Sí. No. No estoy seguro.
- c. ¿Hará más eficientes las vialidades de la ciudad durante la época de lluvias?
 Sí. No. No estoy seguro.
- d. ¿Mejorará la imagen de nuestro puerto hacia el exterior?:
 Sí. No. No estoy seguro.

Todo este trayecto, nos lleva a la pregunta 13, en la cual se le pide al encuestado definir una postura final en cuanto al problema de las inundaciones y la necesidad de un sistema de drenaje pluvial. Este es el reactivo más importante de la encuesta, dado que de este se medirá el interés de las personas porque se instale un sistema de drenaje pluvial. Además que este dato nos ayudará a concretar un tamaño apropiado de la muestra.

5. ¿Está de acuerdo con las siguientes afirmaciones?

- a. "El problema que ocasiona la falta de un sistema eficiente de drenaje pluvial en Mazatlán es un problema que merece ser atendido"
 Totalmente de acuerdo. Totalmente en desacuerdo.
 No estoy seguro.
- b. "No se han hecho medidas de importancia para corregir el problema de las inundaciones en Mazatlán"
 Totalmente de acuerdo. Totalmente en desacuerdo.
 No estoy seguro.

Finalmente, se deja un espacio para que los encuestados puedan expresar con sus propias palabras la razón por la cual no se ha diseñado un sistema de drenaje pluvial para la ciudad de Mazatlán.

3.2.2 – Tamaño de la muestra

Es importante que se considere un tamaño de la muestra que sea representativo de los datos cualitativos a coleccionar en la aplicación de esta encuesta.

Para determinar un tamaño de muestra suficiente para esta tesis, se hará uso de un sistema de muestreo aleatorio simple, dado que los datos recabados tendrán un valor cualitativo, la fórmula adoptada para este estudio será la siguiente:

$$n = \frac{Z^2 PQN}{\varepsilon^2(N-1) + Z^2 PQ}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra necesaria

Z = Margen de confiabilidad.

P = Probabilidad de que el evento ocurra

Q = Probabilidad de que el evento no ocurra

ε = Error o diferencia máxima entre la media muestral y la media de la población que se está dispuesto a aceptar.

N = Tamaño de la población.

Tamaño de la población

El conjunto universo al que está encaminado esta tesis se ha delimitado al municipio de Mazatlán, Sinaloa, el cual, de acuerdo al Censo 2005 realizado por el Instituto

Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) tiene una población de 352,471 habitantes.¹

En cuanto a la población que es de interés para la realización de esta encuesta se delimitará a la población que posee la mayoría de edad, debido a que se busca la obtención de respuestas de personas que ya tengan una mayor experiencia previa hacia el problema de las inundaciones en Mazatlán; de acuerdo a este mismo organismo, en 2005 se obtuvo que la población que posee una edad de 18 años o más equivale a 220,742 habitantes.

Muestra piloto

Las primeras 56 encuestas realizadas fueron tomadas como muestra piloto. Para obtener de ellas el valor de P y Q, necesarios para la determinación del tamaño de la muestra, se tomó en función de la pregunta no. 13a de la encuesta.

La pregunta 13a hace al encuestado contestar si está de acuerdo o no con la afirmación: “El problema que ocasiona la falta de un sistema eficiente de drenaje pluvial en Mazatlán es un problema que merece ser atendido”

El porcentaje de encuestados que respondió estar de acuerdo con este enunciado fue de 93%, este pasará a ser el valor de P para la fórmula. El 7% restante será el valor de Q.

Sustitución de valores.

$Z =$ Se tomará un margen de confiabilidad de 99%, tomando un valor de 2.56.

¹ *Conteo 2005*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) tiene una población de 352,471 habitantes, dirección en Internet: <http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/conteo2005/iter2005/selentcampo.aspx>

$$P = 93\%$$

$$Q = 7\%$$

ε = Se aceptará un error de 5%.

$$N = 220,742$$

Por lo tanto:

$$n = \frac{(2.56)^2(0.93)(0.07)(220742)}{(0.05)^2(220742 - 1) + (2.56)^2(0.93)(0.07)}$$

$$n = 173.58$$

De ese modo, un tamaño adecuado de la muestra será de 174 personas.

3.2.3 – Resultado de las encuestas

Al final, se encuestaron a 539 personas, de los 56.03% de los cuales corresponden a población del género masculino, y un 43.41% restante corresponde a población del género femenino, cuyas edades promedian los 21 años.

Los mismos provienen de muy distintas zonas de a ciudad y su tiempo de residencia en el puerto de Mazatlán, Sinaloa promedia los 15.5 años.

Los resultados de las diferentes cuestiones se detallarán a continuación:

1. ¿Cómo considera que es el nivel de calidad de vida en la ciudad de Mazatlán?
32.65% Bueno. **4.27%** Malo **62.34%** Regular

2. ¿Cuenta con todos los servicios que usted considera necesarios para usted y su familia?
89.42% Sí. **9.09%** No.

En la pregunta número 3, los encuestados debían de seleccionar la obra de infraestructura que ellos pensarán más necesaria para el municipio de Mazatlán, pero

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial

los mismos tendían a confundirse y a seleccionar más de una opción. De ahí que los resultados arrojados por su cómputo fueran los siguientes:

Tabla 3.1.

Opción	Cant.	%
Vialidades	110	20.41%
Control de inundaciones	278	51.58%
Atractivos para la ciudad	208	38.59%
Alcantarillado sanitario	144	26.72%
Pavimentación de calles	180	33.40%
Totales	920	170.69%

Aquí podemos apreciar que más del 50% de la población consideró anotar el control de inundaciones como una de las opciones. Sin embargo, los resultados de esta pregunta no se considerarán como concluyentes. A pesar de todo, esta pregunta funcionó como preparación previo a la pregunta 4.

La pregunta cuatro pedía a la población encuestada a enumerar, en orden de importancia, las cinco opciones de obras de infraestructura. La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos:

Tabla 3.2.

Opción	Importancia / encuestados					Totales	Puntaje	Max	Importancia
	1	2	3	4	5				
Control de inundaciones	223	124	93	48	32	520	2018	<u>2695</u>	74.88%
	41.37%	23.01%	17.25%	8.91%	5.94%	96.47%			
Vialidades	175	102	91	93	61	522	1803	<u>2695</u>	66.90%
	32.47%	18.92%	16.88%	17.25%	11.32%	96.85%			
Atractivos para la ciudad	84	67	66	73	227	517	1259	<u>2695</u>	46.72%
	15.58%	12.43%	12.24%	13.54%	42.12%	95.92%			
Alcantarillado sanitario	97	151	121	90	57	516	1689	<u>2695</u>	62.67%
	18.00%	28.01%	22.45%	16.70%	10.58%	95.73%			
Pavimentación de calles	62	110	146	132	70	520	1522	<u>2695</u>	56.47%
	11.50%	20.41%	27.09%	24.49%	12.99%	96.47%			

La opción de Control de Inundaciones se destacó de manera importante por encima de las demás. El 41.37% de las personas la consideraron la obra de infraestructura

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial

más necesaria para el puerto, y un 23.01% y 17.25% lo de la población lo consideró la segunda y tercera obra más importante respectivamente.

A cada una de las calificaciones se les asignó una puntuación del 5 al 1 (en orden de importancia), de ahí que cada una de las opciones recibiera una puntuación final tras su desempeño en las encuestas. Este puntaje final fue comparado con un puntaje máximo (que hubiera sido alcanzado si alguna de las opciones hubiera sido considerada la número 1 entre los 539 encuestados).

El resultado final nos da una idea de cuanto prevalece cada una de las opciones en la sociedad. Dando un 74.88% para control de inundaciones, sobrepasando a todas las demás opciones, incluyendo la de pavimentación, la cual es la obra de mayor difusión en la ciudad.

Las preguntas 5 al 9 cuestionan al encuestado acerca de sus pasadas experiencias con el fenómeno de las inundaciones, de lo cual se desprenden los siguientes resultados:

5. ¿Sufre de inundaciones en su colonia?
24.30% Sí. **75.14%** No.
6. ¿Ha vivido el efecto de las inundaciones en otros sectores de la ciudad?
64.01% Sí. **35.25%** No.
7. ¿Ha perdido objetos de valor debido a las inundaciones (vehículos, muebles, ropa, etc.)?
10.02% Sí. **89.80%** No.
8. ¿Ha padecido (usted o su familia) enfermedades vinculadas con el efecto de las inundaciones?
14.10% Sí. **85.71%** No.
9. ¿Ha tenido problemas para llegar a un lugar debido a la inundación de las calles?
78.11% Sí. **21.71%** No.

Un 24.30% de la población encuestada consideró que su colonia de residencia es inundable, mientras un 64.01% de la población afirma haber vivido el efecto de las inundaciones en otras zonas de la ciudad.

Cuando se les cuestionó si habían perdido objetos de valor debido a las inundaciones, el 10.02% de la población contestó afirmativamente, mientras un 14.10% de los encuestados aseguró que en su núcleo familiar alguien ha padecido una enfermedad vinculada con las inundaciones.

Quienes aseguraron haber experimentado el efecto de las inundaciones en sus zonas habitacionales provienen de muy distintos puntos de la sociedad, de entre ellos destacan los encuestados provenientes de colonias como El Toreo. Pero el problema pareciera ser aún más grave en colonias como Jacarandas, Insurgentes, Zona Centro, Francisco Villa, Jabalíes, Mar de Cortés, Villas del Rey y Benito Juárez (siendo esta la más mencionada), de donde provienen los encuestados que confirmaron haber perdido objetos de valor, haber sufrido alguna enfermedad relacionada con las lluvias dentro de su núcleo familiar o ambos casos.

Por encima de estas estadísticas, nos encontramos con un exorbitante 78.11% de personas que afirman haber tenido problemas para llegar a sus lugares de destino debido a la inundación de calles.

Después, en la pregunta 10, cuando se les preguntó cuan grave consideran la situación de Mazatlán en cuanto a inundaciones, poco más de la mitad lo consideró un problema grave, y una cuarta parte lo denominó como un problema muy grave. Mientras, en la pregunta 11, el 62.34% de la población consideró que el problema es el mismo y no ha cambiado con el paso de los años, mientras un 15.21% del resto consideró que este ha venido empeorando.

La pregunta 12, por su parte, se dedicó a cuestionar a los encuestados a reflexionar los beneficios de un eficiente sistema de drenaje pluvial para Mazatlán, de donde se obtuvieron resultados mayormente positivos:

Al final, considero que los datos recabados tras la aplicación de estas encuestas resultaron concluyentes; desde un principio la encuesta demostró una inclinación bastante clara hacia el problema en cuestión. La necesidad de un drenaje pluvial eficiente en la ciudad es un factor determinante en la mente de los habitantes de Mazatlán, Sinaloa.

3.3 – Condiciones topográficas

Las zonas más propensas a inundaciones durante la época de lluvia en la zona Centro de la ciudad de Mazatlán, se muestran en la siguiente figura. Para efectos de esta tesis, se tomará en cuenta el área marcada al centro de la figura 3.13 dada su área y la importancia de dicha zona, pues la misma es donde residen edificios de importancia para el ámbito local y turístico para la ciudad, tales como la Catedral, el Palacio Municipal, El Mercado Pino Suárez, además de que dichas avenidas son de gran importancia para el tránsito vehicular y sede de muchos comercios.

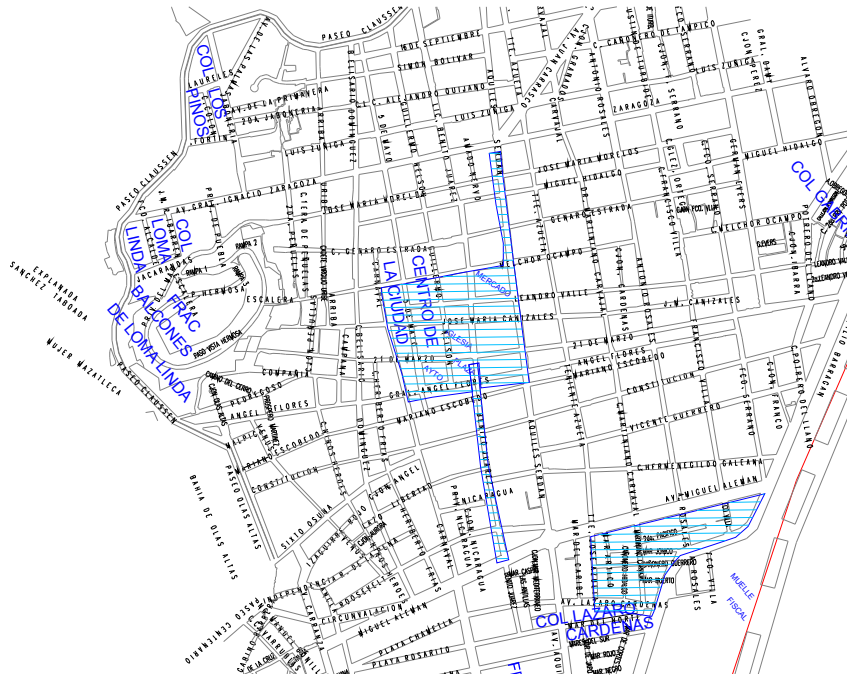


Figura 3.13. Zonas inundables en la Zona Centro de Mazatlán, Sinaloa.

3.3.1 – Determinación de la cuenca en estudio.

Para poder entender donde y efectivamente interpretar cuales son los factores que conllevan a la inundación de la zona ya descrita, es necesario determinar la cuenca que conduce el agua de lluvia hasta ese punto.

La Junta Municipal de Alcantarillado y Agua Potable de Mazatlán (JUMAPAM) me facilitó un plano con las curvas de nivel de esta zona junto con los niveles topográficos de la mayoría de las esquinas de la zona.

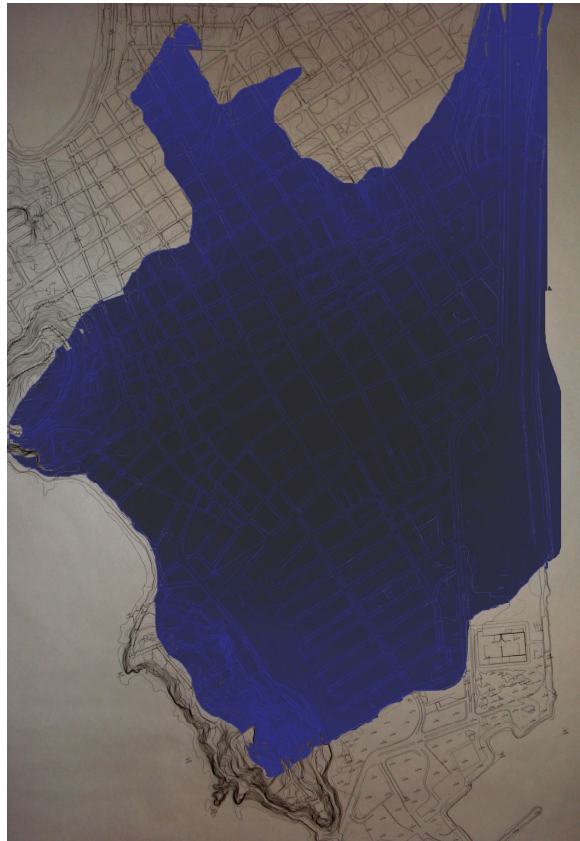


Figura 3.14. Cuenca hidrológica sobre la Zona Centro.

Una vez determinada la cuenca en cuestión, esta a su vez se subdivide en varias subcuencas que dirigen el agua en diferentes direcciones y centrándonos

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial

nuevamente en el punto a investigar (Figura 3.12) nos encontramos en la posición para determinar porque es ese punto en cuestión el más perjudicado durante las lluvias.



Figuras 3.15., 3.16. y 3.17. Calles de gran desnivel facilitan el escurrimiento de agua hacia la zona en estudio.

La razón principal se debe a que esta zona radica en una zona en la que convergen otras zonas de gran desnivel que terminan por encausar el agua de lluvia en esa dirección. De este modo es por el cual se determinó que para dar solución al problema de inundaciones sobre esta zona es necesaria la determinación del caudal de agua que circula a través de las zonas que le rodean.

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial

sin tomar en cuenta las imperfecciones que poseen las avenidas, lo cual es una pieza elemental de información no detallada en los planos.

3.3.3 – Determinación de las zonas de control

Uno de los objetivos que dirigen esta tesis es la determinación de zonas de control, las cuales asimilen el agua que llega hasta ella; es aquí donde las propiedades del concreto permeable juegan su papel más importante; pues una área apropiadamente grande de este material logrará infiltrar el escurrimiento de lluvia que llega hasta estas denominadas zonas de control, lo que significa, que secciones posteriores de la red no tendrán que lidiar con el caudal ya infiltrado.

Una vez ya trazada la red, y la dirección del flujo de agua sobre cada avenida, haciendo referencia a lo observado en campo, se puede determinar cual es la dirección que toma el agua en cada uno de los cruces.

Habiendo hecho esto, ya es solo cuestión de observar detenidamente la red trazada (Anexo 3), lo cual nos llevará a localizar cruces sobre los cuales convergen distintos flujos de agua; estos serán entonces las zonas de control, pues al infiltrar el caudal que pasa sobre ellos, se logrará controlar efectivamente toda el agua que se precipita aguas arriba de ese punto.

3.4 - Diseño de un sistema de drenaje pluvial

Los datos obtenidos hasta este punto nos darán los elementos suficientes para poder determinar el caudal de agua que circula a través de la red vial que conforma el área de estudio, dato que nos servirá como punto de partida para los posteriores cálculos

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial

que nos ayudarán a formular el sistema de drenaje pluvial que nos permitan desalojar el volumen de agua captado durante una precipitación pluvial.

3.4.1.1 – Aplicación del método racional

Como ya se mencionó en el capítulo 2.1.1, se optó por el método racional como el instrumento a utilizar para el cálculo del caudal de diseño para nuestra red de drenaje pluvial (capítulo en el cual también se exponen las razones de su implementación).

A continuación se desglosa a grandes rasgos como cada uno de sus elementos son conformados por los datos reales de esta zona de estudio y la obtención de resultados.

3.4.1.2 - Determinación del área

Al concluir el capítulo 3.3.3, obtuvimos las zonas de control, o bien, las subcuencas que dividen el volumen de agua pluvial captado en la zona de estudio (Anexo 3). Estos trazos nos proveerán el área de captación para cada una de las subcuencas que representan, dado que cada una de ellas ha de calcularse por separado de las demás. Esta es la bondad que ofrece la aplicación del concreto permeable, que a través de este método es posible corregir cada área independientemente de las demás, cada zona de control desalojará únicamente el volumen de agua que le corresponde, sin recibir agua de más por parte del resto de las zonas, así como tampoco aportará su volumen de agua para que otras zonas se hagan cargo de ellas.

De la nivelación que posean estos mismos, se obtienen los datos de longitud máxima del cauce, así como la pendiente que la compone; datos también útiles para cálculos posteriores.

3.4.1.2 - Determinación del coeficiente de escorrentía

Obtenido a partir de la tabla de Coeficientes de escorrentía típicos (Tabla 2.1), se seleccionan los coeficientes adecuados de acuerdo al tipo de superficie sobre la cual el agua estará transitando. En el caso particular de nuestra zona de estudio, esta se encuentra compuesta por zonas de actividad comercial y desarrollos residenciales con casas contiguas, los cuales poseen un coeficiente de escorrentía de 0.9 y 0.75, respectivamente. Este será el dato que estará figurando en los cálculos posteriores, el cual se promediará en el caso de que en una misma zona de control convivan ambos tipos de edificación.

3.4.1.3 - Determinación de la intensidad de lluvia

Directamente de la Gráfica de Intensidad-Duración-Frecuencia para la ciudad de Mazatlán, Sinaloa (figura 2.1), se relacionan los datos de frecuencia y duración, para la obtención de la intensidad.

De acuerdo con las tablas 2.2 y 2.3, la zona de estudio califica para una frecuencia de 5 años, dada su importancia como vialidad arterial para el tránsito de la ciudad, así como funciona como zona de actividad comercial y turística en el puerto.

La duración (tal como se mencionó en el capítulo 2.1.1), para efectos de este procedimiento está dado únicamente por el tiempo de concentración (inicial y tiempo mínimo de concentración sobre la cuenca), despreciándose el tiempo de recorrido en el colector (inexistente bajo este procedimiento).

Mientras tanto, el tiempo de concentración en el sistema estará dado por la fórmula de Kirpich.

$$t_{cs} = 0.0003245(L/\sqrt{S})^{0.77}$$

donde:

t_{cs} = tiempo de concentración en horas.

L = longitud del cauce principal en metros.

S = pendiente media del cauce principal.

3.4.1.4 - Obtención de los caudales de diseño

Con todo esto en cuenta, se procede a calcular los caudales de diseño de cada una de las subcuencas. Las operaciones y resultados puede observarse en la tabla del Anexo 4. Gráficamente podemos demostrar los resultados de la siguiente forma:

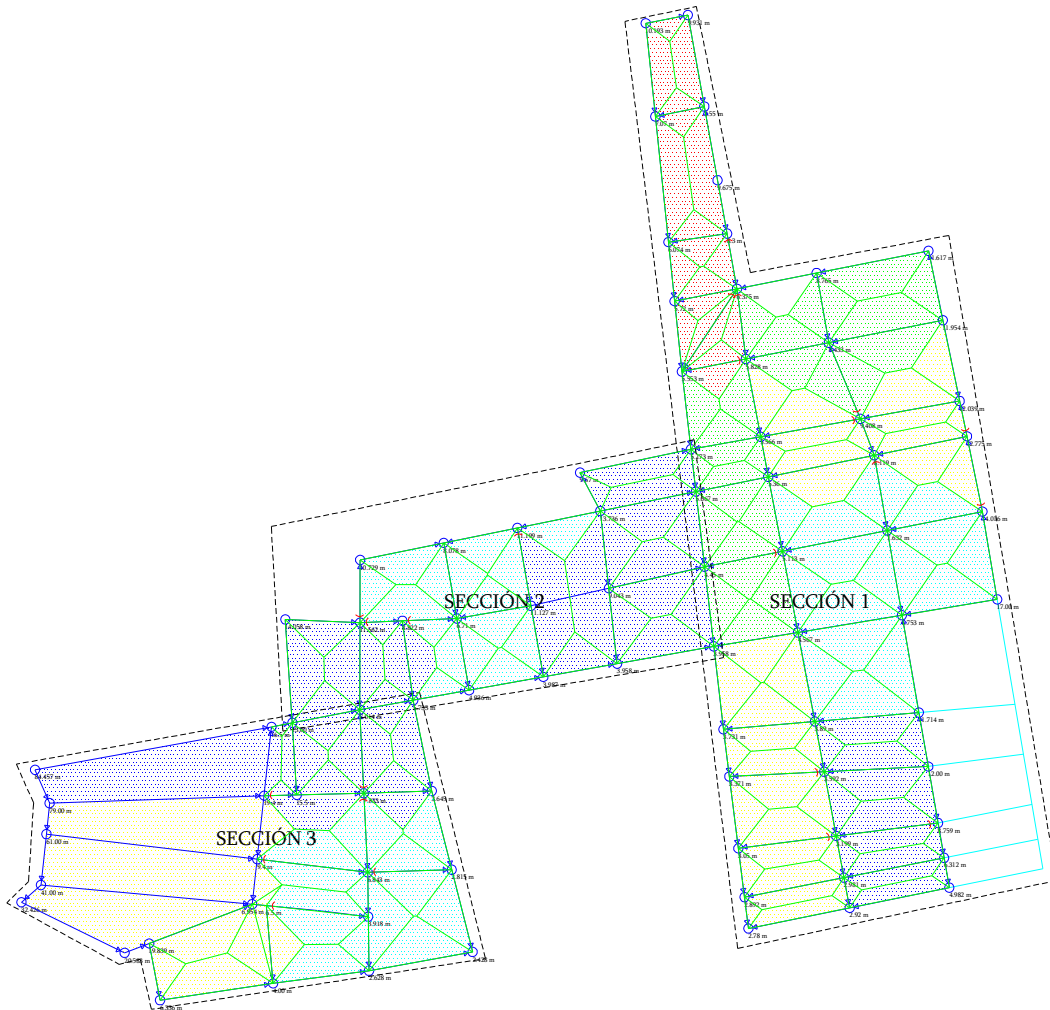


Figura 3.19. Red de escurritia principal (separada en sus diferentes áreas de influencia).

La figura 3.19 nos muestra nuevamente las diferentes subcuencas del sistema diferenciadas por colores. Los caudales arrojados por este cálculo oscilan entre los 610.09 litros/segundo y los 1,237.28 litros/segundo en función de las áreas, desniveles y longitud del cauce principal de cada subcuenca.

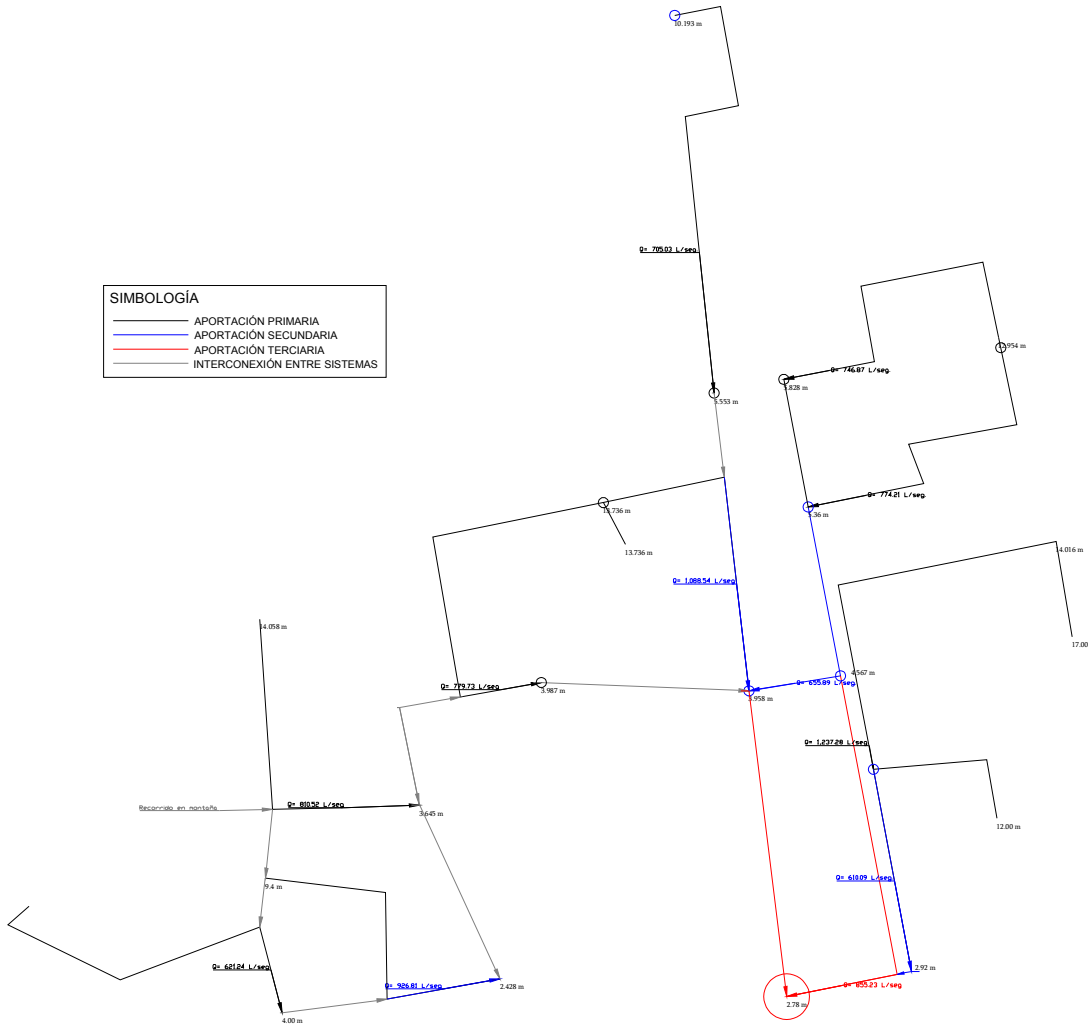


Figura 3.20. Flujo actual de aportaciones de la cuenca.

Por su parte, la figura 3.20 nos da una idea de cómo es que se interconectan los diferentes cauces de las subcuencas alrededor del centro histórico de Mazatlán, donde se puede observar que la esquina entre las calles Mariano Escobedo y Aquiles Serdán es el punto más desfavorable del sistema, pues recibe la escorrentía de dos de las tres secciones en las que se encuentra dividida la cuenca (248,943.653 m²) y es este cuello de botella el principal causante de que las avenidas de esta zona turística y comercial del puerto se inunden de manera considerable durante las épocas de lluvia.

3.4.2 – Aplicación del concreto permeable para el control de inundaciones

El diseño de un sistema de pavimentación a base de concreto permeable (Ecocreto) para la eliminación del caudal de agua de lluvia se calcula en base al volumen de agua de lluvia que cada punto de control recibiría durante un periodo de precipitación pluvial.

Se pretende la disposición de un área efectiva de concreto permeable que sea capaz de desalojar el volumen de agua de lluvia que recibe en un periodo de tiempo razonable.

Tomemos en cuenta que, aunque un pavimento permeable es capaz de drenar todo el caudal del agua que circula sobre este, el volumen de agua captado permanecerá un tiempo almacenado dentro del sistema antes de que sea efectivamente infiltrado hacia el subsuelo.

Por especificación, se requiere que el sistema posea un periodo de infiltración máximo de 48 a 72 horas con el propósito de establecer un periodo de cese en el cual el sistema debe de estar completamente drenado para recibir un nuevo volumen en su totalidad. Este periodo también es un auxiliar para prevenir que este volumen de agua posibilite los criaderos de mosquitos al existir un estancamiento de agua por periodos prolongados.

Volumen de precipitación

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial

Basados en los resultados obtenidos en el cálculo de los caudales de diseño, podemos obtener los valores necesarios para obtener el volumen de precipitación de proyecto para el sistema²:

$$V_r = h \times A$$

donde:

V_r = Volumen de infiltración en m³.

h = Altura de precipitación, en metros.

A = Área de la cuenca, en m².

De los cuales, el área es un valor que ya poseemos para cada subcuenca, y la altura de precipitación la obtendremos de valores que también ya tenemos disponibles:

$$h = I \times T_c$$

h = Altura de precipitación, en metros.

T_c = Tiempo de concentración, en minutos.

I = Intensidad de lluvia, en metros/minuto.

De este modo, se obtiene el volumen de precipitación para cada una de las subcuencas:

Subcuenca	Tc(min)		I		h	A	Vr
	horas	minutos	(mm/h)	(mm/min)	mm	m ²	m ³
1	0.22	13.16	120.0	2.0	26.310	21,150.89	556.5
2	0.14	10.00	127.0	2.1	21.167	21,171.07	448.1
3	0.25	14.77	116.0	1.9	28.556	20,355.21	581.3
4	0.13	10.00	127.0	2.1	21.167	21,946.23	464.5
5	0.16	10.00	127.0	2.1	21.167	35,072.42	742.4
6	0.28	16.78	113.0	1.9	31.597	27,246.18	860.9
7	0.13	10.00	127.0	2.1	21.167	17,293.95	366.1
8	0.13	10.00	127.0	2.1	21.167	30,856.36	653.1
9	0.14	10.00	127.0	2.1	21.167	22,102.60	467.8
10	0.10	17.07	112.0	1.9	31.859	26,052.45	830.0
11	0.13	10.00	127.0	2.1	21.167	26,271.89	556.1
12	0.08	16.21	114.0	1.9	30.791	19,618.07	604.1

² Cfr. IMCYC Op. Cit., Pág.49.

Tabla 3.3. Obtención del volumen de precipitación de proyecto.

Volumen de captación

El volumen de captación que el sistema es capaz de almacenar está dado en función de las propiedades de porosidad (volumen de huecos) que posean tanto del concreto permeable, como del tipo de suelo que compone su capa subrasante.

El sistema constructivo sugerido para un pavimento de Ecoconcreto para calles con tráfico vehicular se ilustra en la figura 3.22:



Figura 3.22. Sistema constructivo recomendado para pavimentos con tráfico vehicular.

De modo que la capacidad de almacenamiento del sistema se encontrará dada por el volumen de huecos de la capa de concreto permeable con un espesor de 10

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial

centímetros, y los 10 y 15 centímetros de grava compactada que comprenden su subrasante, por cada metro cuadrado de zona pavimentada.

Bajo este sistema constructivo, el agua es infiltrada al subsuelo a través de pozos de absorción, los cuales deben de ser cavados y rellenos de material granular y se recomienda se dispongan a una distancia de 40 metros entre estos, así como, se debe de procurar que la pendiente de la subrasante dirija el volumen de agua infiltrada hacia dichos pozos.

Por otro lado, La *Comisión Regional de Atlanta (ARC)* recomienda criterios y especificaciones para la instalación de un sistema de infiltración a través de un pavimento de concreto permeable, como se encuentra descrito en el *Georgia Stormwater Management Manual*³.

Este sistema básicamente consiste en cuatro capas, como se muestra en la figura 3.23.

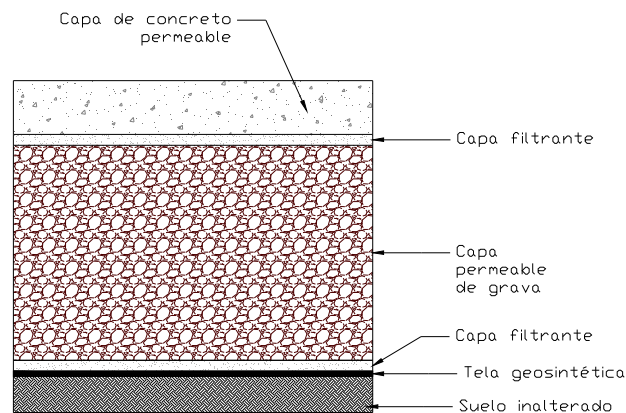


Figura 3.23. Sección de concreto permeable descrito por el Georgia Stormwater Management Manual.

³ Cfr. Ibid., Pág.50.

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial

Bajo estas especificaciones, la capa de concreto permeable se recomienda de un espesor de entre 10 y 30 centímetros, dependiendo de la resistencia de apoyo requerida. Dado que el pavimento de Ecoconcreto ha demostrado ser efectivo para la pavimentación de avenidas con tráfico vehicular con un espesor de 10 centímetros, podemos adoptar ese mismo valor en pro de un diseño económico.

La capa filtrante superior consiste en una capa de piedra triturada de 0.5 pulgadas de diámetro y con un espesor de 1 o 2 pulgadas.

La capa de captación consiste en una grava lavada de 1.5 a 2.5 pulgadas de diámetro, y el espesor de esta capa se diseña en función del volumen de captación de proyecto, así como de la capacidad de infiltración del suelo, de modo que esta varía entre los 0.6 y 1.2 metros.

La capa de filtro de fondo debe de estar conformada por una capa de 0.6 a 2 pulgadas de piedra triturada de 0.5 pulgadas de diámetro, y esta debe de ser graduada de manera uniforme para promover la infiltración en toda la superficie. Esta capa tiene la función de proteger el suelo subyacente en contra de la densificación y actuar como interfase entre la capa de captación y la tela de filtro.

La capa de filtro (geosintética) debe de revestir toda el área de excavación, incluyendo los lados de esta, y su función es la de evitar que el suelo migre hacia la capa superior, reduciendo la capacidad de almacenamiento del sistema.

Para este sistema de infiltración, la ARC recomienda que no se utilice en pendientes mayores a 5%, y no se recomienda para pendientes mayores al 2%. En cuanto a pendientes mayores a 1%, se recomienda la instalación de barreras perpendiculares a la dirección del drenaje en el material de la subrasante para evitar que este se deslave.

Calculando el volumen de almacenamiento de cada subcuenca

El volúmen de almacenamiento puede ser calculado de la siguiente manera⁴:

$$V_p = A \times d1 \times p1 / 100$$

$$V_s = A \times d2 \times p2 / 100$$

donde:

V_p = Almacenamiento disponible en el pavimento, m³.

V_s = Almacenamiento disponible en la subrasante, m³.

A = Área del pavimento, m².

d1 = espesor del pavimento, m.

d2 = espesor de la subrasante, m.

p1 = porcentaje de huecos en el pavimento (%).

p2 = porcentaje de huecos en la subrasante (%).

La suma de ambos volúmenes de almacenamientos debe de ser superior al volumen de precipitación que esa área de pavimento permeable recibirá. En nuestro caso, ya poseemos el volumen de agua que contemplamos almacenar y lo que realmente deseamos determinar es el área que vamos a emplear. De modo que, sustituyendo la fórmula, nos queda como sigue:

$$A = \frac{100 V_r}{(d1 \times p1) + (d2 \times p2)}$$

Para un cálculo más concreto del área de captación disponible en el sistema sería necesario realizar estudios de mecánica de suelos, para conocer el porcentaje de huecos de los bancos de agregado que se encuentran en la localidad, al igual que

⁴ Cfr. Ibid., Pág.49.

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial

realizar pruebas de laboratorio para determinar las propiedades del concreto permeable (Ecocreto) elaborado con materiales locales.

Debido a que el alcance de esta investigación no penetra en estudios tan minuciosos, para los presentes cálculos se utilizarán valores conservadores para tres diferentes escenarios, lo cual nos pueda dar una mejor idea de los parámetros alrededor de los cuales el sistema pueda ser suficiente.

A) *Primer escenario.* Método constructivo para calles con tráfico vehicular Ecocreto (figura 3.22) con capa de Ecocreto de 10 centímetros de espesor y 35 centímetros de subrasante, donde se utilizarán los valores de porcentaje de huecos conservadores de 15 y 40%, respectivamente para cada capa.

B) *Segundo escenario.* Método constructivo recomendado por la comisión Regional de Atlanta (ARC), para la cual se utilizará la misma capa de concreto permeable de 10 centímetros de 15% de porcentaje de vacíos, pero se aplicará una capa de subrasante de 1.2 metros, con un porcentaje de vacíos recomendado por este mismo procedimiento de 32%.

C) *Tercer escenario.* Mismo método constructivo ARC citado en el segundo escenario, excepto que se utilizará el porcentaje de vacíos conservador de 40%.

En la tabla 3.4 se muestra una comparación entre el área de Ecocreto necesaria para albergar el volumen de precipitación de proyecto para cada uno de los tres escenarios descritos anteriormente.

Subcuenca	A	B	C
1	3,590.22	1,394.70	1,124.21
2	2,891.10	1,123.11	905.29
3	3,750.09	1,456.80	1,174.27
4	2,996.96	1,164.23	938.44

5	4,789.46	1,860.57	1,499.73
6	5,554.11	2,157.61	1,739.16
7	2,361.65	917.43	739.51
8	4,213.72	1,636.91	1,319.45
9	3,018.31	1,172.53	945.13
10	5,354.85	2,080.21	1,676.77
11	3,587.67	1,393.71	1,123.41
12	3,897.12	1,513.92	1,220.31

Tabla 3.4. Comparación de áreas de infiltración necesarias para cada escenario.

Como se puede apreciar, las áreas calculadas para cada una de las subcuencas varían en gran medida de la profundidad de la subrasante. De aquí en adelante solo resta calcular un modelo apropiado en función del espacio, la economía y la capacidad de infiltración de la zona.

Desafortunadamente, el alcance de esta investigación no contempla el minucioso estudio de mecánica de suelos necesario para determinar la capacidad de infiltración de esta zona de estudio.

Para el escenario A (método constructivo recomendado para pavimentos de Ecocreto), será necesario indagar a que profundidad se encuentra un suelo con la capacidad de infiltrar el agua almacenada en un periodo de 48 horas.

Para los escenarios B y C. (Método constructivo ARC) será necesaria la exploración del suelo de desplante de este sistema para, del mismo modo, determinar si el suelo tendrá la capacidad de infiltrar un volumen proyectado de agua de lluvia en un periodo de 48 horas. En caso de no ser posible, se deberán hacer estudios para determinar si existe un suelo apropiado a una profundidad mayor o si será necesaria un área mayor de infiltración para dadas subcuencas (lo cual deberá de estudiarse en función de la economía de este proyecto.

4 – Conclusiones

PRIMERA. Después de los cálculos realizados se concluye que un área adecuada de concreto permeable (Ecocreto) puede ser utilizada como medida correctiva para mitigar efectivamente un volumen de precipitación pluvial proyectado en la cuenca situada en la zona centro de la ciudad de Mazatlán, Sinaloa. Procedimiento que puede ser aplicado tanto a otras zonas de la ciudad, incluso dentro del país.

SEGUNDA. La aplicación de este método puede ser de beneficio para mitigar la sobre explotación de los acuíferos de agua potable de los cuales se abastecen la población de nuestro país.

TERCERA. Este método ofrece no solo una solución más simple y económica al problema de las inundaciones, sino que además es una alternativa ecológica que no impacta de manera negativa el ecosistema de cuerpos de agua receptores, lo cual es un fenómeno muy común en los métodos convencionales de drenaje pluvial.

CUARTA. Después de haber realizado una investigación a fondo de los sistemas actuales de drenaje pluvial a base de colectores y tuberías, sigue siendo la misma idea y procedimiento que la ingeniería ha aplicado desde épocas antiguas, el cual ha demostrado poseer múltiples deficiencias y necesidades de mantenimiento que los vuelven inefectivos o muy difíciles de proyectar.

QUINTA. La ciudad de Mazatlán, Sinaloa es una prueba más de que la difícil implementación de un eficiente sistema de drenaje pluvial ha concebido una ciudad que prácticamente carece de este, donde la solución del problema generalmente recae en permitir que el agua circule de manera libre sobre las avenidas hasta alcanzar un cuerpo de agua o algunos de los pocos colectores y conductos situados

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial

en la ciudad, los cuales requieren atención y mantenimiento para que funcionen de manera correcta.

SEXTA. Una parte importante de esta investigación se dedicó a estudiar el fenómeno socio-económico y político detrás de la falta de un eficiente sistema de drenaje pluvial en la ciudad de Mazatlán, Sinaloa. Después de implementar una exhaustiva etapa de encuestas e investigación hemerográfica se concluye que los habitantes de la ciudad están concientes de la problemática actual en materia de inundaciones.

SÉPTIMA. La obra de infraestructura de mayor promoción en la localidad es la pavimentación de calles, la cual no solo es una de las menos necesitadas, de acuerdo a la población encuestada, sino que este tipo de obras no suelen ser proyectadas con un sistema de drenaje pluvial que desaloje el agua captada por la nueva superficie impermeable. Este círculo vicioso, no hace más que empeorar el problema de las inundaciones hacia las zonas de menor altitud.

OCTAVA. El alcance de esta investigación no abarcó la determinación de las características geológicas y geotécnicas de la zona de estudio. Futuras líneas de investigación podrían avocarse a la determinación de las capacidades de infiltración para este caso o para algún otro sitio donde se pretenda la instalación de este mismo sistema.

NOVENA. La implantación exitosa de este sistema también deberá de considerar tareas de mantenimiento suficientes que permitan a este sistema continuar con su funcionamiento. También nuevas leyes y cuidados deberán de considerarse con el propósito de que las áreas de infiltración no sean estropeadas por prácticas comunes, como lo serían el colado de concreto sobre las avenidas, la acumulación de arenas

La aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial sobre el pavimento para fines constructivos o el derrame intencional de ácidos o combustibles sobre el mismo.

Anexo 1: Encuestas realizadas.

Objetivo. El objetivo de la presente encuesta es recabar la opinión de una parte representativa de la población de Mazatlán, Sinaloa, en cuanto a su interés respecto a las distintas obras de infraestructura con que cuenta y carece este mismo municipio.

Encuesta No. _____

Datos del encuestado:

Sexo: _____ Edad: _____ Estado civil: _____ Ocupación: _____

Colonia de residencia: _____

Años viviendo en la ciudad de Mazatlán, Sinaloa: _____

Vive con:

Sus padres Su familia Sus Parientes Solo

1. ¿Cómo considera que es el nivel de calidad de vida en la ciudad de Mazatlán?
 Bueno. Malo Regular
2. ¿Cuenta con todos los servicios que usted considera necesarios para usted y su familia?
 Sí. No.
Si su respuesta es no, ¿De que servicio(s) carece? _____
3. En cuestión de mejoras en la calidad de vida de la ciudad, seleccione un aspecto que usted considere debería de invertirse en la ciudad.
 - a. Nuevas vialidades
 - b. Control de inundaciones.
 - c. Atractivos para la ciudad (parques recreativos y deportivos, embellecimiento de la ciudad, museos, atractivos turísticos).
 - d. Alcantarillado sanitario.
 - e. Pavimentación de calles.
4. En orden de importancia, enumere del 1 al 5 los aspectos en los que considere debería de invertirse en la ciudad:
 - a. _____ Nuevas vialidades.
 - b. _____ Control de inundaciones.
 - c. _____ Atractivos para la ciudad (parques recreativos y deportivos, embellecimiento de la ciudad, museos, atractivos turísticos).
 - d. _____ Alcantarillado sanitario.
 - e. _____ Pavimentación de calles.
5. ¿Sufre de inundaciones en su colonia?
 Sí. No.
6. ¿Ha vivido el efecto de las inundaciones en otros sectores de la ciudad?
 Sí. No.
7. ¿Ha perdido objetos de valor debido a las inundaciones (vehículos, muebles, ropa, etc.)?
 Sí. No.
8. ¿Ha padecido (usted o su familia) enfermedades vinculadas con el efecto de las inundaciones?
 Sí. No.
9. ¿Ha tenido problemas para llegar a un lugar debido a la inundación de las calles?
 Sí. No.

Anexo 2: Resultados de las encuestas

Objetivo. El objetivo de la presente encuesta es recabar la opinión de una parte representativa de la población de Mazatlán, Sinaloa, en cuanto a su interés respecto a las distintas obras de infraestructura con que cuenta y carece este mismo municipio.

Encuesta No. _____

Datos del encuestado:

Sexo: _____ Edad: _____ Estado civil: _____ Ocupación: _____

Colonia de residencia: _____

Años viviendo en la ciudad de Mazatlán, Sinaloa: _____

Vive con:

Sus padres Su familia Sus Parientes Solo

1. ¿Cómo considera que es el nivel de calidad de vida en la ciudad de Mazatlán?
32.65% Bueno. **4.27%** Malo **62.34%** Regular

2. ¿Cuenta con todos los servicios que usted considera necesarios para usted y su familia?
89.42% Sí. **9.09%** No.
Si su respuesta es no, ¿De que servicio(s) carece? _____

3. En cuestión de mejoras en la calidad de vida de la ciudad, seleccione un aspecto que usted considere debería de invertirse en la ciudad.
 - a. Nuevas vialidades
 - b. Control de inundaciones.
 - c. Atractivos para la ciudad (parques recreativos y deportivos, embellecimiento de la ciudad, museos, atractivos turísticos).
 - d. Alcantarillado sanitario.
 - e. Pavimentación de calles.

4. En orden de importancia, enumere del 1 al 5 los aspectos en los que considere debería de invertirse en la ciudad:
 - a. **66.90%** Nuevas vialidades.
 - b. **74.88%** Control de inundaciones.
 - c. **46.72%** Atractivos para la ciudad (parques recreativos y deportivos, embellecimiento de la ciudad, museos, atractivos turísticos).
 - d. **62.67%** Alcantarillado sanitario.
 - e. **56.47%** Pavimentación de calles.

5. ¿Sufre de inundaciones en su colonia?
24.30% Sí. **75.14%** No.

6. ¿Ha vivido el efecto de las inundaciones en otros sectores de la ciudad?
64.01% Sí. **35.25%** No.

7. ¿Ha perdido objetos de valor debido a las inundaciones (vehículos, muebles, ropa, etc.)?
10.02% Sí. **89.80%** No.

8. ¿Ha padecido (usted o su familia) enfermedades vinculadas con el efecto de las inundaciones?
14.10% Sí. **85.71%** No.

9. ¿Ha tenido problemas para llegar a un lugar debido a la inundación de las calles?
78.11% Sí. **21.71%** No.

Anexo 3: Determinación de zonas de control.

Zonas de control. Subcuencas sobre las cuales circula el agua de lluvia dentro de la zona de estudio.

Sección 1

Subcuenca 1

Delimitada por:

Teniente Azueta – Aquiles Serdán – México – Ignacio Zaragoza

Desemboca en: Esquina entre Zaragoza y Aquiles Serdán

Area = 23500.9842

Longitud = 473.12

Pendiente = 0.01

Subcuenca 2

Delimitada por:

Luis Zuñiga – Ignacio Zaragoza – Antonio Rosales – Teniente Azueta

Desemboca en: Esquina entre Zaragoza y Teniente Azueta

Area = 23523.4105

Longitud = 364.522

Pendiente = 0.019

Subcuenca 3

Delimitada por:

Teniente Azueta – Aquiles Serdán – Antonio Rosales – Melchor Ocampo

Desemboca en: Esquina entre Melchor Ocampo Y Aquiles Serdán

Area = 22616.8977

Longitud = 388.846

Pendiente = 0.005

Subcuenca 4

Delimitada por:

José María Morelos – Miguel Hidalgo – Antonio Rosales – Teniente Azueta

Desemboca en: Esquina entre Teniente Azueta y Miguel Hidalgo

Area = 25498.9090

Longitud = 353.828

Pendiente = 0.021

Subcuenca 5

Delimitada por:

Genaro Estrada – Leandro Valle – Antonio Rosales – Teniente Azueta

Desemboca en: Esquina entre Teniente Azueta y Leandro Valle

Area = 41898.5813

Longitud = 499.084

Pendiente = 0.026

Subcuenca 6

Delimitada por:

Teniente Azueta – Aquiles Serdán – Melchor Ocampo – Mariano Escobedo

Desemboca en: Esquina entre Mariano Escobedo y Aquiles Serdán

Area = 30480.5392

Longitud = 410.364

Pendiente = 0.004

Subcuenca 7

Delimitada por:

Dr. Martiniano Carvajal – Teniente Azueta – Leandro Valle – Mariano Escobedo

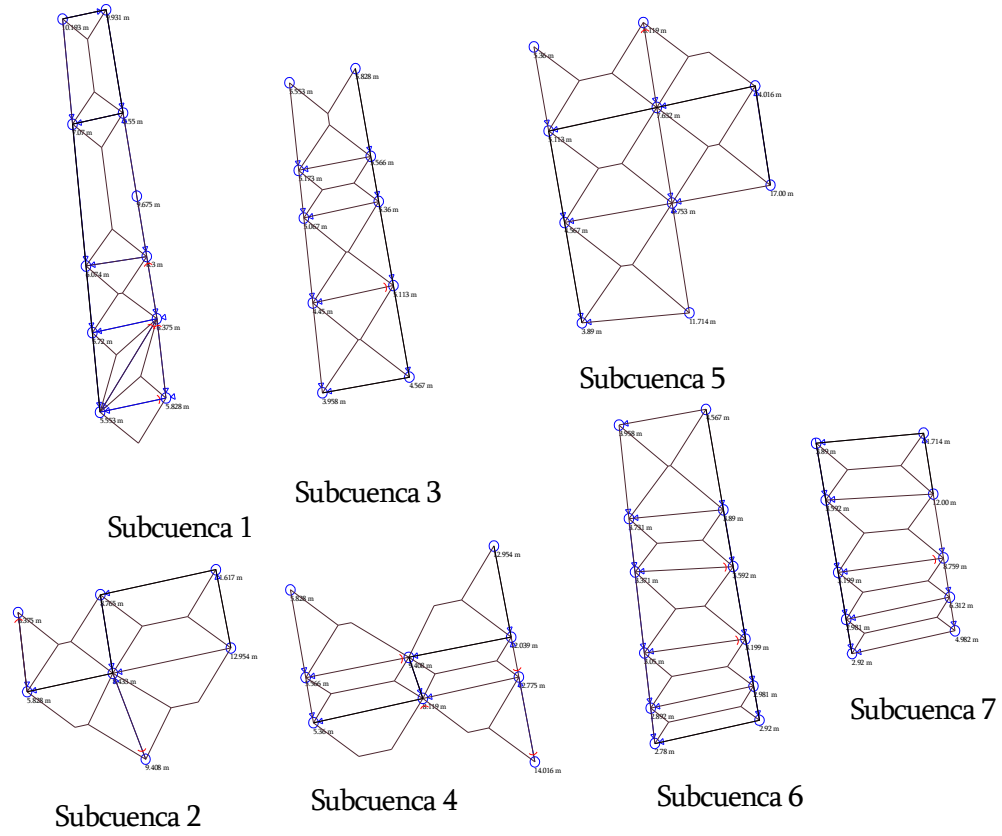
Desemboca en: Esquina entre Mariano Escobedo y Teniente Azueta

Area = 21664.7173

Longitud = 373.288

Pendiente = 0.024

Anexo 3: Determinación de zonas de control.



Red de subcuenas separadas para su estudio (sección 1).

Anexo 3: Determinación de zonas de control.

Sección 2

Subcuenca 8

Delimitada por:

Aquiles Serdan - Guillermo Nelson - José María Morelos - Melchor Ocampo

Desemboca en: Esquina entre Melchor Ocampo y Aquiles Serdán

Area = 34284.8449

Longitud = 379.934

Pendiente = 0.026

Subcuenca 9

Delimitada por:

Miguel Hidalgo - Melchor Ocampo - Guillermo Nelson - Belisario Dominguez

Desemboca en: Esquina entre Melchor Ocampo y 5 de Mayo

Area = 25474.7693

Longitud = 412.059

Pendiente = 0.0236

Subcuenca 10

Delimitada por:

Genaro Estrada - José María Canizales - Carnaval - Cadete Virgilo Uribe

Desemboca en: Esquina entre Carnaval Y José María Canizales

Area = 31680.3973

Longitud = 322.843

Pendiente = 0.0322

Flujo superficial = 269.24

Recorrido sobre superficie impermeable

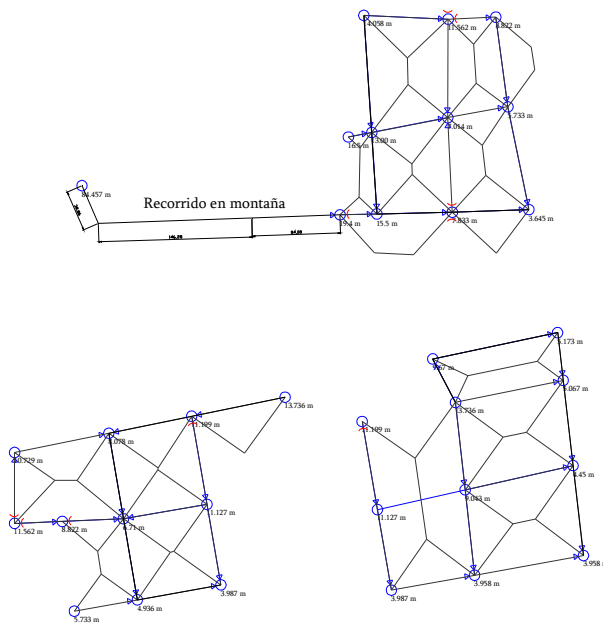
Longitud = 84.08

Recorrido sobre pasto denso

Longitud = 185.16

Pendiente = 0.263

Subcuenca 10



Subcuenca 9

Subcuenca 8

Anexo 3: Determinación de zonas de control.

Subcuenca 11

Delimitada por:

Carnaval - Belisario Dominguez - 21 de marzo - Angel Flores

Desemboca en: Esquina entre General Angel Flores y Carnaval

Area = 31314.4881

Longitud = 337.669

Pendiente = 0.0206

Subcuenca 12

Delimitada por:

Angel Flores - Compañía- Prospero Martínez - Niños Héroes

Desemboca en: Esquina entre General Angel Flores y Niños Héroes

Area = 22120.7655

Longitud = 385.239

Pendiente = 0.096

Flujo superficial = 316.25

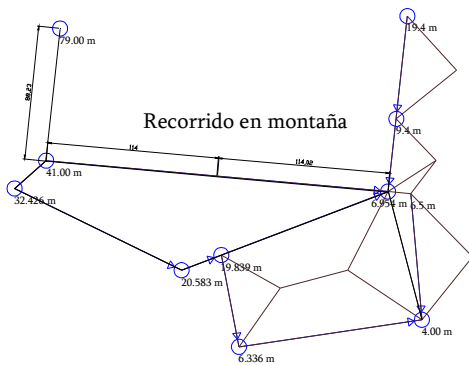
Recorrido sobre superficie impermeable

Longitud = 114.02

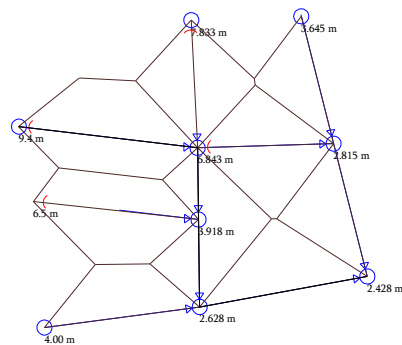
Recorrido sobre pasto denso

Longitud = 202.23

Pendiente = 0.296



Subcuenca 12



Subcuenca 11

Anexo 4: Cálculo de los caudales de diseño para la zona de estudio.

Subcuenca	Pendiente	Longitud	Area Comercial		Area residencial		Sum Ax C	A total	C	Tt minutos	Tc(min)		I (mm/h)	Q (m ³ /seg)	Q (L/seg)
			δ	C	δ	C					horas	minutos			
1	1.00%	473.12	23,500.98	0.900	0.00	0.750	21,150.89	23,500.98	0.900		0.22	13.16	120.0	0.706	705.03
2	1.90%	364.52	23,523.41	0.900	0.00	0.750	21,171.07	23,523.41	0.900		0.14	10.00	127.0	0.747	746.87
3	0.50%	388.85	22,616.90	0.900	0.00	0.750	20,355.21	22,616.90	0.900		0.25	14.77	116.0	0.656	655.89
4	2.10%	353.83	18,813.63	0.900	6,685.28	0.750	21,946.23	25,498.91	0.861		0.13	10.00	127.0	0.775	774.21
5	2.60%	499.08	24,323.23	0.900	17,575.35	0.750	35,072.42	41,898.58	0.837		0.16	10.00	127.0	1.238	1,237.28
6	0.40%	410.36	29,238.48	0.900	1,242.06	0.750	27,246.18	30,480.54	0.894		0.28	16.78	113.0	0.856	855.23
7	2.40%	373.29	6,969.42	0.900	14,695.30	0.750	17,293.95	21,664.72	0.798		0.13	10.00	127.0	0.611	610.09
8	2.60%	379.93	34,284.84	0.900	0.00	0.750	30,856.36	34,284.84	0.900		0.13	10.00	127.0	1.089	1,088.54
9	2.36%	412.06	19,976.81	0.900	5,497.96	0.750	22,102.60	25,474.77	0.868		0.14	10.00	127.0	0.780	779.73
10	3.22%	322.84	15,281.03	0.900	16,399.37	0.750	26,052.45	31,680.40	0.822	10.819	0.10	17.07	112.0	0.811	810.52
11	2.06%	337.67	18,573.50	0.900	12,740.99	0.750	26,271.89	31,314.49	0.839		0.13	10.00	127.0	0.928	926.81
12	9.60%	385.24	20,183.33	0.900	1,937.44	0.750	19,618.07	22,120.77	0.887	11.504	0.08	16.21	114.0	0.622	621.24

I. LEGISLACIÓN CONSULTADA

Ley de Aguas Nacionales, Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, Última Reforma DOF 18-04-2008, Dirección en Internet: www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16.pdf

II. PUBLICACIONES PERIÓDICAS CONSULTADAS

Estadísticas Del Agua En México 2006, Comisión Nacional del Agua, cuarta edición, 2006.

III. OBRAS CONSULTADAS

ADAMS BARRY J., PAPA FABIAN, *Urban Stormwater Management planning with Analytical Probabilistic Models*
John Wiley Sons Inc., 2000.

COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES DE MÉXICO A.C., *La Ingeniería Mexicana – Un Encuentro con la Historia*, México, 1996.

DEBO THOMAS N., REESE ANDREW J., *Municipal Stormwater Management*
Lewis Publishers, 2003.

GARCÍA RIVERA RODRIGO, *Método de Diseño de Alcantarillado Pluvial que incluye la determinación de su trazo*, Asesor: Dr. Oscar Arturo Fuentes Mariles, Facultad de Ingeniería, División de Estudios de Posgrado, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2002.

INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO A.C., *Concreto Permeable*, México, 2008.

LÓPEZ CUALLA RICARDO ALFREDO, *Diseño de Acueductos y Alcantarillados*
Ed. Alfaomega, 2000.

VAN GIGCH JOHN P., *Teoría General de Sistemas*, Segunda edición
Editorial Trillas; México, 2003.

TE CHOW VEN, *Hidrología Aplicada*
Ed. Mc Graw Hill, Colombia, 1994.

VAZQUEZ CUEVAS ALBERTO JOSSUE, *Hidrología e hidraulica urbana aplicadas a una red de drenaje pluvial*, Asesor: M. I. Victor Franco, Facultad de Ingeniería, División de Estudios de Posgrado, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2005.

IV. OTRAS FUENTES CONSULTADAS

High Tech Concretes, dirección en Internet: <http://www.ecocreto.com.mx/index.htm>,
fecha de consulta: 14 de diciembre del 2006.

CADENA CEPEDA RAÚL, *Diseño de Redes de Drenaje Pluvial, Maquetas Electrónicas Diseño Urbano*, dirección en Internet: <http://rcadena.com/dp/curric-dp.htm> , 1998

Comisión Nacional del Agua, dirección en Internet: <http://www.conagua.gob.mx/conagua/Default.aspx>

Drainage, dirección en Internet: <http://en.wikipedia.org/wiki/Drainage>, fecha de consulta: 22 de Noviembre del 2007.

Ecocreto, dirección en Internet: <http://www.ecocreto.com.mx/>

El Sol de Mazatlán, dirección en Internet: <http://www.oem.com.mx/elsoldemazatlan/>

Glenrose Engineering, *Water Quality Design Calculations, Well Branco Church of Christ*, Submitted to Ecocreto Texas Inc., 24 de Septiembre del 2001.

Gobierno del Estado de Sinaloa, *Significado del Escudo de Mazatlán*, dirección en Internet: <http://laip.sinaloa.gob.mx/NR/exeres/5768813A-FD2D-4037-9B29-5612AC32546F.frameless.htm?NRMODE=Published>, fecha de consulta 1 de mayo del 2008.

Gobierno Municipal 2008 – 2010, *Breve historia de Mazatlán*, dirección en Internet: <http://www.mazatlan.gob.mx/modules.php?name=News&file=article&sid=386>, fecha de consulta 1 de mayo del 2008.

INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO, A.C. 2008, dirección en Internet: <http://www.imcyc.com/>, fecha de consulta: 15 de Abril del 2008.

Sanitation in Ancient Rome, dirección en Internet: http://en.wikipedia.org/wiki/Sanitation_in_Ancient_Rome, fecha de consulta: 22 de Noviembre del 2007.

Servicio Meteorológico Nacional, dirección en Internet: <http://smn.cna.gob.mx/>