



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO
DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN
CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE
EDIFICACIONES.**



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE
PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES**



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO
DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN
CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE
EDIFICACIONES.**



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE
PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES**



HENRY ARROYO QUINTERO

HERNANDO GARCIA DIAZ

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.**

2016



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO
DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN
CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE
EDIFICACIONES.**



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE
PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.**

Autores:

Henry Arroyo Quintero

Hernando José García Díaz

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO CIVIL

Director:

ING. RAMON ANDRADE CASTILLO

Ms.c. Hidráulica y Saneamiento básico

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.**

2016



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO
DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN
CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE
EDIFICACIONES.**



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

DEDICATORIAS

A Dios por darme la oportunidad,

La sabiduría y el entendimiento para hacer de este Sueño un gran triunfo.

A mis padres y abuelo Q.E.P.D. Por ser mis bastiones y el apoyo permanente.

*A mis hermanos por la confianza y el apoyo que siempre tuvieron en mí; a mi arquitecta favorita
por su apoyo incondicional y su muestra de compañía en cada paso.*

Gracias por estar ahí siempre.

A todos ustedes, gratitud eterna, Dios los bendiga.

Hernando G.

A los motores de mi vida: Dios y Mis

Padres, quienes siempre han estado

Incólumes ante cualquier adversidad y me

Han brindado el impulso necesario para

Cumplir a satisfacción y cabalidad esta

Meta. “Dios los bendiga”

Henry A.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO
DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN
CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE
EDIFICACIONES.**



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

AGRADECIMIENTOS

A Ramón Andrade Castillo

Por su constancia, filantropía, sabiduría, toma de decisiones y transmisión magnánima del conocimiento en hidráulica de redes.

A Dalia Moreno Egel

*Por su carisma, tiempo y dedicación,
Gracias por enseñarnos a leer y escribir nuevamente.*

A Javier Mouthon Bello

*Por su interés y apoyo incondicional en cada consulta,
Gracias por enseñarnos a perseverar con paciencia.*



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

RESUMEN

Todas las áreas de una edificación están propensas a ser afectadas por una lluvia, o en su defecto por el no tratamiento adecuado de dichas aguas; en lo que se basa el documento es la capacidad que pueden tener los sistemas de drenajes para evacuarlas, de tal forma que no se vea afectada la cubierta y áreas comunes de las edificaciones. Para esto se propone una serie de recomendaciones en el cual se datan las capacidades de las estructuras principales de los sistemas de drenaje de aguas lluvias. En su defecto, este da recomendaciones a través de un estudio hidráulico a dichas estructuras.

El principal objetivo de este trabajo fue estudiar el comportamiento hidráulico de las aguas pluviales en los sistemas de evacuación en la edificaciones, en donde se pudo establecer cuál es la mejor combinación de los distintos tipos de rejillas y tragantes para garantizar que el sistema sea lo más eficiente posible, dependiendo del área en la que va a trabajar el sistema; esto comprende caudales máximos de desagüe por rejillas y tragantes. Al igual que en las bajantes, la forma en que trabajan las rejillas y tragantes, ya sea como vertederos u orificio, las eficiencia de los distintos tipos y comparación entre estas, y áreas máximas de desagüe.

Para lograr lo anterior, se dispuso de un prototipo de $1 m^2$ de área en el cual se simularon precipitaciones típicas de la zona costera e incluso la máxima generada en Colombia, luego se instalaron diferentes nominaciones y tipos de rejillas y tragantes, trabajando como vertedero y a nivel de suelo; se midieron las tirantes críticas que se formaban y el volumen evacuado en un tiempo determinado, capacidad de drenaje que tenía cada una de las rejillas y tragantes para una acumulación determinada. Con los datos obtenidos se dispuso a crear una serie de tablas en la que se tiene toda la información necesaria de las rejillas y tragantes por la nominaciones y tipos más usados en la actualidad, además de la elaboración de unas recomendaciones y una tabla para la creación de sistemas de drenaje de aguas pluviales, en donde se describe la nominación, geometría del sistema, ubicación y tipo de rejillas y tragantes.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO
DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN
CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE
EDIFICACIONES.**



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

ABSTRACT

All areas of a building are likely to be affected by rain or failing by a slow evacuation of these waters, which is based the document is the capacity that may have drainage systems to evacuate a rain, so which is not affected housing and common areas of buildings for this purpose a series of recommendations in which the capacities of the main structures of the drainage systems of rainwater is proposed date.

The main objective of this work was to study the hydraulic behavior of storm water drainage systems where they can establish what the best combination of different types of grids and inlets to ensure that the system is as efficient as possible depending on the area in which the system will going to work, this includes maximum drainage flow for grids and inlets as in the downspouts, the manner in grates and inlets work either as weir or orifice, the efficiency of the different grids between these, maximum drainage areas.

To achieve the above it was prepared a prototype of 1 m^2 of area in which typical rainfall in the coastal area were simulated and even the maximum generated in Colombia was imitated after that, different types of grids nominations and inlets were installed and working as a spillway an orifice at soil level; Critical depths were measure and the volume evacuated in a given time, in addition the drainage capacity of each grids and for a given accumulation were measured. With the data I was set out to create series of tables where all the necessary information from the vents, inlets, grids and nominations more used today, in addition to creating a handbook and the elaboration of recommendations, a table for design, stormwater drainage systems, where the size, system geometry, location and type of grids and inlets were described.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	16
2	MARCO REFERENCIAL.....	19
2.1	MARCO TEÓRICO	19
2.1.1	SISTEMA DE EVACUACIÓN DE AGUAS LLUVIAS.....	19
2.1.2	COMPONENTES DE UN SISTEMA DE EVACUACIÓN DE AGUA LLUVIA.....	21
2.1.3	Elementos verticales.....	24
2.1.4	Elementos horizontales.....	24
2.1.5	Cubiertas.....	25
2.1.6	HIDRAULICA DE LOS DESAGÜES.....	26
2.1.7	Dimencionamiento de una reja.....	26
2.1.8	Reja con poca inclinación.....	27
2.1.9	Áreas adyacentes.....	29
2.1.10	velocidad del flujo.....	30
2.1.11	canales.....	30
2.1.12	BAJANTES.....	31
2.2	ESTADO DEL ARTE.....	32
2.2.1	LLUVIAS EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	32
2.2.2	CÓDIGO NACIONAL DE FONTANERÍA.....	34
2.3	ANTECEDENTES.....	37
2.3.1	Diseño Hidrológico e Hidráulico del Drenaje Pluvial de Cubiertas de Edificaciones.....	37
2.3.2	RAS 2000; TITULO D; SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y EVACUACIÓN DE AGUAS RESIDUALES Y/O PLUVIALES.....	45
2.3.3	REDES DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO PLUVIAL.....	49
3	OBJETIVO Y ALCANCE.....	54
3.1	OBJETIVO GENERAL.....	54
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	54
3.3	ALCANCE.....	55
4	METODOLOGÍA.....	57
4.1	CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO.....	59
4.2	ENSAYOS PARA PROBAR EL FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO.....	62
4.2.1	RECOLECCIÓN DE DATOS.....	62
4.2.2	FORMATO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	63
4.3	MONTAJE DEL PROTOTIPO.....	67
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	70
5.1	COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE LAS REJILLAS Y TRAGANTES.....	70
5.2	ANÁLISIS DE DATOS.....	80
6	CONCLUSIONES.....	91
6.1	LIMITACIONES.....	92
6.2	RECOMENDACIONES.....	93
7	BIBLIOGRAFÍA.....	94
8	ANEXOS.....	97



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO
DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN
CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE
EDIFICACIONES.**



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

1	INTRODUCCIÓN	101
2	MARCO REFERENCIAL.....	104
2.1	SISTEMA DE EVACUACIÓN DE AGUAS LLUVIAS.....	104
3	ANÁLISIS DE DATOS	110
4	RECOMENDACIONES	115



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO
DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN
CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE
EDIFICACIONES.**



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

LISTADO DE CUADROS

Cuadro 1. Número de patologías en las distintas zonas de las edificaciones según Mussat-----	20
Cuadro 2. Parámetros climatológicos en Cartagena -----	33
Cuadro 3. Dimensionamiento de desagües principales en cubierta, ramales y bajante. -----	34
Cuadro 4. Definición de las dimensiones de la tuberías horizontal de aguas lluvias. -----	35
Cuadro 5. Dimensionamiento de canales exteriores de la fachada-----	36
Cuadro 6. Recomendación para elección de Rejillas y Tragantes.-----	90



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO
DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN
CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE
EDIFICACIONES.**



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

LISTADO DE GRAFICAS

Gráfica 1. Volumen de agua drenado en (L) por Rejilla Anti-insecto; para 5 cm de lámina de agua.....	85
Gráfica 2. Volumen de agua drenado en (L) por Rejilla Estándar; para 5 cm de lámina de agua. 86	
Gráfica 3. Volumen de agua drenado en (L) por Tragantes; para 5 cm de lámina de agua.	86
Gráfica 4. Tiempo de concentraciones en las estructuras estudiadas.	87
Gráfica 5. Velocidad de desagüe en las estructuras estudiadas.	87
Gráfica 6. Caudales drenados en (L/S) para las estructuras analizadas.	88
Gráfica 7. Área de captación (cm ²) para las estructuras analizadas.	89



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO
DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN
CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE
EDIFICACIONES.**



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

LISTADO DE IMÁGENES

Imagen 1. Rejillas Anti-Cucarachas	222
Imagen 2. Tragantes tipo Cúpula.....	22
Imagen 3. Sumidero tradicional (a) y Sumidero Sinfónico (b), respectivamente	24
Imagen 4. Cubierta de vivienda en láminas sintéticas.....	25
Imagen 5. Distribución de canales en rejillas planas e inclinadas.....	27
Imagen 6. Tipo de áreas portantes de escorrentía en cubiertas.	30
Imagen 7. Resalto hidráulico producido por el paso de aguas de la bajante a colectores	32
Imagen 8. Gasto de equilibrio y tiempo de concentración.	3961
Imagen 9. Esquema De una Bajada.....	4061
Imagen 10. Áreas de azoteas mínimas y máximas en función del diámetro de la bajada.....	43
Imagen 11. Prototipo para medir la capacidad de las rejillas y dragantes.....	59
Imagen 12. Esquema del prototipo en vista frontal empleado en el laboratorio.	61
Imagen 13. Esquema del prototipo en planta empleado en el laboratorio.....	61
Imagen 14. Elementos del prototipo instalado en el laboratorio para probar las estructuras de drenaje.....	617
Imagen 15. Prototipo instalado en el laboratorio.....	618
Imagen 16. Rejillas y Tragantes utilizadas.....	68



LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Modelo de tabla de procesamiento de datos..... 64

Tabla 2. Modelo de tabla de procesamiento de datos..... 65

Tabla 3. Datos obtenidos en laboratorio para Rejillas Anti-Insecto..... 71

Tabla 4. Datos obtenidos en laboratorio para rejillas estándar..... 72

Tabla 5. Datos obtenidos en laboratorio para rejillas Tragantes. 73

Tabla 6. Datos obtenidos en el laboratorio para tragantes con tirantes de 5cm. 74

Tabla 7. Datos obtenidos en el laboratorio para rejillas Anti-insectos con tirante de 5cm. 75

Tabla 8 . Datos obtenidos en laboratorios para rejillas estándar. 76

Tabla 9. Promedios de resultado para Rejilla Anti-insecto; para un tiempo de 60 segundos de una lluvia de 180 mm. 77

Tabla 10. Promedios de resultado para Rejilla Estándar; para un tiempo de 60 segundos de una lluvia de 180 mm. 77

Tabla 11. Promedio de resultados de tragantes; para un tiempo de 60 segundos de una lluvia de 180 mm. 77

Tabla 12. Promedio de tiempo para tirante en rejilla anti-insectos; con una tirante de 5 cm de lámina de agua. 78

Tabla 13. Promedio de tiempo para tirante en rejilla estándar; con una tirante de 5 cm de lámina de agua..... 78

Tabla 14. Promedio de tiempo para tirante en tragantes; con una tirante de 5 cm de lámina de agua..... 78

Tabla 15. Caudales y Áreas de captación Rejillas Anti-insectos; para una lámina de agua de 1 cm de espesor 82

Tabla 16. Caudales y áreas de captación de Rejillas Estándar; para una lámina de agua de 1 cm de espesor 83

Tabla 17. Caudales y Áreas de captación para tragantes.; para una lámina de agua de 1 cm de espesor 83



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

Tabla 18. Comportamiento hidráulico de una Rejilla Anti-insecto. En Cartagena; para una lamina de agua de 1 cm de espesor. 84

Tabla 19. Comportamiento hidráulico de una Rejilla Estándar. En Cartagena; para una lamina de agua de 1 cm de espesor. 84

Tabla 20. Comportamiento hidráulico de una Tragante. En Cartagena; para una lamina de agua de 1 cm de espesor. 84



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO
DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN
CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE
EDIFICACIONES.**



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Esquema de la metodología empleada. 5858



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

1 INTRODUCCIÓN

En países que están en vía de desarrollo como el nuestro, las aguas pluviales urbanas son subestimadas, debido a que no se encuentran consideradas como un recurso; pero en cambio, sí representan un problema para su evacuación, ya que el drenaje urbano tradicionalmente usado para agrupar ligeramente el agua lluvia, y conducirla fuera de las zonas urbanas es poco eficiente, luego de captarlas y/o evacuarlas por un sistema de drenaje, tanto en las edificaciones como en el trazado urbano.

En las edificaciones se debe contar con un sistema de drenaje para las eventuales lluvias que ocurren en su zona de ubicación, estos sistemas de drenaje y aislamiento de aguas lluvias son necesarios tenerlos en un óptimo estado para la prevención de los posibles daños que puede ocasionar un evento pluvial.

Ahora bien, puntualizando en una zona específica, si hablamos de nuestra ciudad, Cartagena, se notó, que en la mayoría de edificaciones existentes y de los nuevos proyectos de edificaciones cuentan con un sistema de drenaje de aguas lluvia convencional, en donde las aguas negras se depositan en un recolector o caja de inspección y las aguas lluvias se descargan generalmente sobre la calle, generando un cambio de uso en el sistema de alcantarillado. ¿Por qué los sistemas de drenajes de aguas pluviales funcionan de forma poco eficiente en las cubiertas y áreas privadas de las edificaciones?, porque en las edificaciones, las aguas lluvias y negras se deben conducir separadamente hasta los límites de la edificación convencional, ya que no contamos con un sistema de alcantarillado mixto.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

Por otra parte se tuvo en cuenta, la falta de información para la localización y el dimensionamiento de cada una de los elementos que contiene un sistema de drenaje pluvial propuesto por la (NTC-1500, 2005), ya que no permiten el funcionamiento óptimo de la rejillas y tragantes colocados en las cubiertas y áreas privadas de las edificaciones, de lo cual se cuestionó lo siguiente: ¿cómo obtener un mejor comportamiento de las rejillas y tragantes del sistema de drenaje de aguas lluvias? En el caso de los balcones, estos sistemas al trabajar en su máxima capacidad permiten la entrada de estas aguas lluvias a la vivienda, generando poca comodidad a los habitantes y el deterioro de los muebles que se encuentran en esta. En el caso de las cubiertas la acumulación excesiva de agua y la retención excesiva producidas por malos drenajes generan cargas en el edificio, ocasionando fuerzas que pueden dar como resultado fisuras y daños en las estructuras de las edificaciones. En las terrazas, zonas privadas y zonas de actividades públicas de las edificaciones no son bien evacuadas, con el resultado del deterioro en los equipos y otros elementos almacenados en zonas aledañas a estas. ¿Cómo se comportan los sistemas de drenajes de aguas lluvias en las cubiertas de edificaciones y áreas privadas?

En Latinoamérica los países con un grado mayor de desarrollo, cuentan con sistemas urbanos de drenajes sostenibles o SUDS, estos además de evacuar rápidamente las aguas pluviales, las captan para usos no potables, aunque existen casos en que se complementa con un sistema de potabilización para que sean aptas para consumo humano. Estudios realizados en México, Chile, Argentina y Perú entre otros; han tratado posibles soluciones relacionadas con esta problemática; por ejemplo, en el año 2000 en Chile la oficina nacional de la FAO para América Latina y el Caribe, desarrolló el “Manual de captación y aprovechamiento de agua lluvia basado en la experiencia”, en este manual se encuentran lineamientos muy prácticos para la implementación de SUDS además hace referencia al uso de tragantes para este tipo de sistema de drenajes, porque el área de captación es mayor a la de una rejilla y así se obtiene mayor captación de las aguas pluviales.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

Este proyecto estudió el comportamiento hidráulico de un sistema de drenaje pluvial, usando los métodos de diseños propuestos por el RAS 2000 y la NTC 1500, enmarcado no solo para las precipitaciones características de Cartagena sino a nivel nacional, esto se logró con un prototipo que fue instalado en el laboratorio de hidráulica de la Universidad de Cartagena campus Piedra de Bolívar, el cual nos permitió simular un evento pluvial controlado, en donde se pudo seleccionar y obtener la intensidad de lluvia, los volúmenes y tiempos de evacuación de las estructuras que acogen inicialmente estas aguas lluvias, como los son las rejillas y tragantes. Durante la ejecución del proyecto, se demostró que las tipologías de rejillas y tragantes si inciden en su comportamiento hidráulico, y se estableció que para cubiertas y áreas libres es mejor utilizar tragantes, ya que estos drenan mayor volumen de agua y su área de aferencia es mayor. Para balcones y áreas comunes, se recomienda la utilización de rejilla estándar; ya que al formase una lámina de 1 cm de espesor se tienen áreas de captación óptimas y su funcionamiento es viable para dichas zonas.

Otro objetivo de este trabajo de grado fue plasmar una serie de recomendaciones para la metodología de diseño, para un sistema de evacuación de aguas lluvia en las cubiertas, balcones, parqueaderos, zonas comunes, etc., con el fin de que nuestros colegas y estudiantes puedan consultar y guiarse cuando estén diseñando o requieran estos datos para realizar su investigación. Por otra parte, nuestro pequeño aporte a la comunidad científica es la creación de un cuadro para selección de estructuras con sus respectivas áreas de captación permitida por cada una de ellas; las estructuras que utilizamos en nuestra investigación fueron de las marcas PAVCO y CELTA.

Este trabajo de grado se realizó dentro del programa de ingeniería civil perteneciente a la facultad de ingeniería de la Universidad de Cartagena, dentro de línea de manejo ambiental, específicamente en el manejo y tratamiento de aguas pluviales; es importante para la ingeniería ya que para futuros diseños de sistemas de drenaje de aguas pluviales, su aporte es de gran magnitud porque data puntualmente las características de las estructuras (rejillas y tragantes) con el fin de mejorar el manejo y captación de aguas lluvias.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

2 MARCO REFERENCIAL

2.1 MARCO TEÓRICO

En este capítulo se abordan aspectos relevantes sobre los sistemas de evacuación de aguas lluvia en edificaciones y su capacidad de evacuación. Se definen los componentes de un sistema de drenaje pluvial en una edificación y los cálculos para medir la capacidad de evacuación de las rejillas y tragantes en un evento pluvial.

2.1.1 SISTEMA DE EVACUACIÓN DE AGUAS LLUVIAS

Un sistema de evacuación de aguas lluvias puede transportar también otras aguas con características similares como aguas subterráneas de infiltración, aguas de drenaje superficial o aguas de proceso industriales que no requieran tratamiento. Todas las aguas lluvias en las cubiertas de edificaciones deben ser evacuadas por la red de drenajes de aguas lluvias para el cálculo de caudales del sistema de drenajes de aguas lluvias se considera una intensidad de precipitación obtenida a partir de la curva de intensidad-frecuencia propias de la zona, para un período mínimo de 15 años y una duración de 30 min. Datos suministrados por el IDEAM. (NTC 1500).

Las cubiertas planas, pueden ser elementos constructivos con una superficie importante, teniendo en muchos casos una problemática concentrada, puntual y localizada. Por todo ello es necesario disponer de un sistema de desagüe de aguas lluvias eficiente para evitar inundaciones, no solo en cubiertas sino también en balcones, parqueaderos y áreas sociales.

En un estudio realizado por La Fundación Musaat, compañía especializada en seguros de la construcción en Madrid - España, se realizó una investigación nacional sobre patologías en edificaciones y la elaboración de documentos técnicos de prevención con el objeto de favorecer la formación, información y sensibilización dirigidas al sector de la edificación. En el cuadro 1 se muestra en porcentaje el número de patologías computadas a cada zona en porcentaje, vemos que



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

las cubiertas ocupan el tercer lugar de las zonas con mayor número de patologías y de los daños en cubiertas. (Carretero Ayuso & Moreno Cansado, 2013).

Cuadro 1. Numero de patologías en las distintas zonas de las edificaciones según Mussat.

Zona	No. de patologías	Porcentaje
Cerramientos y distribuciones	1.178	20,79%
Instalaciones	854	15,07%
Cubiertas	801	14,14%
Acabados	681	12,02%
Cimentación	663	11,70%
Carpintería exterior	341	6,02%
Estructura	332	5,86%
Solados	316	5,58%
Urbanización	234	4,13%
Revestimientos interiores	190	3,35%
Aislamiento acústico e impacto	76	1,34%
Total general	5.666	100%

Tomado de (Carretero Ayuso & Moreno Cansado, 2013)

Las humedades son el tipo de reclamación más importante en el sector de la edificación llegando a ser un 70% del total de las reclamaciones, según las compañías aseguradoras de la responsabilidad civil de arquitectos e ingenieros de edificación.

Entre los tipos de humedades, las más frecuentes y las que suponen una cuantía económica más importante son las humedades por filtración, llegando a representar más de un 20% del total de las reclamaciones, las cuales aparecen habitualmente en plantas sótano, fachadas y cubiertas. (Carretero Ayuso & Moreno Cansado, 2013).



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO
DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN
CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE
EDIFICACIONES.**



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

2.1.2 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE EVACUACIÓN DE AGUA LLUVIA

Según la sección II del título D del Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2000) y la Norma Técnica Colombiana (NTC 1500), entre otros documentos internacionales analizados, como las hojas de divulgación técnica del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), se estableció una configuración básica de tres componentes, para la elaboración de un sistema de recolección y evacuación de aguas lluvias, estos son:

- ✓ **Elementos receptores**
- ✓ **Elementos verticales**
- ✓ **Elementos horizontales**

2.1.2.1 Elementos receptores

Son los encargados de recolectar el agua de las superficies plana en donde se instalan y llevarla hasta las bajantes, son ubicados en cubiertas (tragantes), azoteas (rejillas); en balcones (piletas de piso) y piso (boca de desagüe). En el mercado se encuentra muchos tipo de rejillas como son las tradicionales, anti cucarachas y concéntricas; en las imágenes 1 y 2 se pueden apreciar unas rejillas tipo anti insecto y tragantes tipo cúpulas tomadas de un catálogo.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL



Imagen 1. Rejillas Anti-Cucarachas

Tomado de (Colrejillas Catalogo de rejillas), 2005



Imagen 2. Tragantes tipo Cúpula.

- 1: tragante tipo cúpula entrada cónica
- 2: tragante tipo cúpula entrada esferica

Tomado de. (Colrejillas Catalogo de rejillas), 2005



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

En caso de tener cubiertas de grandes áreas, los sistemas de rejillas y tragantes convencionales no son muy eficientes para evacuar grandes volúmenes de agua, ya que no funcionan a tubería llena porque al bajar el agua por la bajante se forma un anillo alrededor de la tubería y el centro es ocupado con aire en una relación $1/4$ a $1/3$ del área total de esta. Para estos casos existen sistemas sifónicos como el QuickStream de Pavco (PAVCO, 2015), este en lugar de usar la gravedad como fuerza única de evacuación, induce un vacío por gravedad que acelera la descarga que en combinación con el diseño especial de las tragantes, evitan la entrada de aire al sistema y se consigue una evacuación con la tubería completamente llena de agua. Cuando el sistema está totalmente iniciado, la intensidad de diseño igual a la intensidad real, la diferencia de altura entre los sumideros y el punto de descarga, se usa para obtener la energía que asegura la presión negativa en el sistema de tuberías. El émbolo hidráulico a tubería llena incrementará la velocidad del agua en el sistema de tuberías.

Al inicio de la lluvia, cuando la intensidad de la precipitación está por debajo de la intensidad de diseño, el sistema QuickStream funciona como un sistema por gravedad tradicional. A medida que se incrementa la lluvia, el aire es eliminado de la tubería por el efecto sifónico que crea el bajante y las tragantes, y con su placa anti vórtice, impide entrada de aire al sistema. Cuando el sistema está completamente iniciado, la intensidad de diseño es igual a la intensidad real, la diferencia de altura entre los sumideros y el punto de descarga, se usa para obtener la energía que asegura la presión negativa en el sistema de tuberías. El émbolo hidráulico a tubería llena incrementará la velocidad del agua en el sistema de tuberías. La combinación de la eliminación del aire de los tubos y el aumento de velocidad del agua dan como resultado un importante incremento en la capacidad de evacuación (MANUAL QUICKSTREAM BAJA, PAVCO). En la imagen 3 podemos ver la diferencia en la forma de trabajar de los sifones convencionales y los que trabajan a tubería llena.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

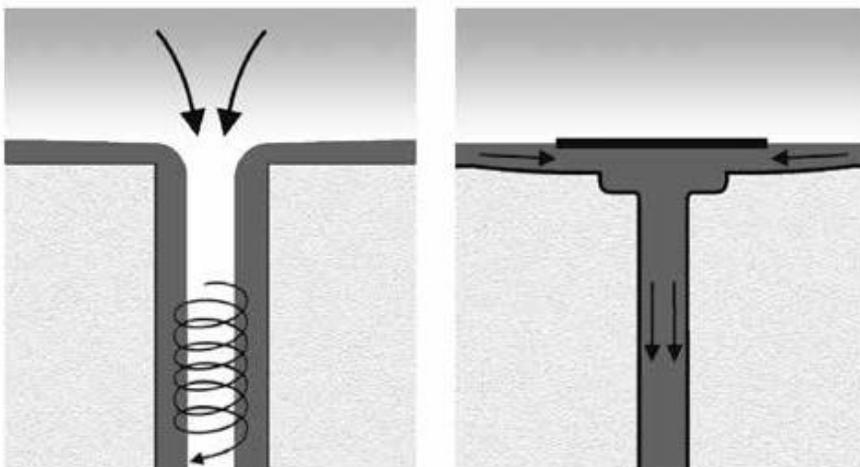


Imagen 3. Sumidero tradicional (a) y Sumidero Sinfónico (b), respectivamente

Tomado de (PAVCO, 2015)

2.1.3 Elementos verticales

Una bajante es una tubería de desagüe que funciona verticalmente y recibe aguas lluvia. Cumplen la función de transportar el agua tomada de rejillas y tragantes ubicados en las distintas zonas de acumulación de agua lluvia de la edificación y entregarla al condutal del sistema.

2.1.4 Elementos horizontales

Son los que transportan el agua a su lugar de disposición en nuestro caso la vía pública. El tramo horizontal (Condutales) debe tener pendiente para que produzca circulación por gravedad del agua lluvia y conducirla a una estación de bombeo subterránea o a la vía pública.

Adicionalmente a estos tres elementos básicos, mencionados anteriormente para un diseño de evacuación pluvial en una edificación eficiente, se debe tener en cuenta otros dos aspectos relevantes como los son la cubierta y las zonas que están por debajo del nivel de la edificación.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

2.1.5 Cubiertas

Son elementos estructurales que desempeñan el papel de protección contra los agentes climáticos o para privacidad, también debemos considerarlas como un elemento que soporta su propio peso y las sobrecargas que actúan sobre el mismo, ya sea por el uso, el viento, la nieve, las vibraciones de la calle, sismos, excesos de agua lluvias etc., trasladando estos esfuerzos a todos los elementos resistentes del edificio. Por otro lado, es sabido que las cubiertas no son elementos inertes; sus elementos se mueven, se contraen, se dilatan, por asentamientos, flechas o efectos térmicos. Las cubiertas son de tipo curvas y planas siendo su principal diferencia las pendientes. En el caso de las planas su pendiente no supera 10%. En la imagen 4 podemos ver una típica cubierta plana

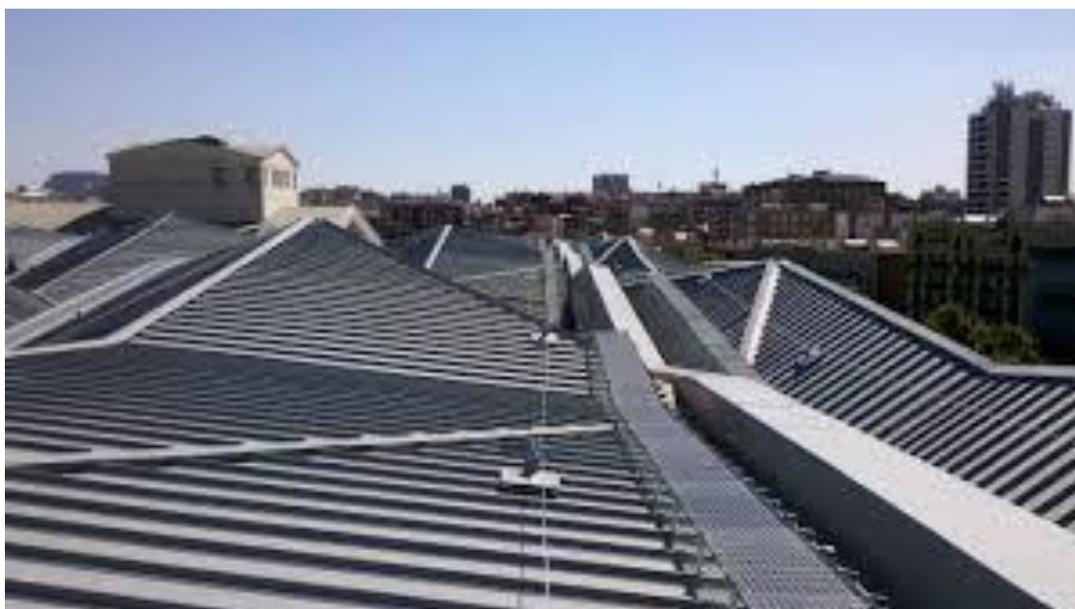


Imagen 4. Cubierta de vivienda en láminas sintéticas.

Tomado de (Board, 2005)



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

2.1.6 HIDRAULICA DE LOS DESAGÜES

Las tuberías de desagüe deberían trabajar a flujo libre; el flujo a tubo lleno produce fluctuaciones de presión que pueden destruir los sellos hidráulicos. Se recomienda que funcione al 50% de su profundidad y máximo un 75%.

Por lo general se utiliza la fórmula de Manning:

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad \text{Ecuación 1}$$

En donde:

$$Q = \text{Caudal en } m^3/s$$

$$A = \text{Área de la sección en } m^2$$

$$n = \text{Número de Manning}$$

$$R = \text{Radio Hidráulico en } m$$

$$S = \text{Pendiente}$$

2.1.7 Dimencionamiento de una reja

Una reja usualmente está constituida de barras paralelas o de una lámina perforada. Su función es la de impedir el paso de material indeseable (sedimento grueso, pelusa etc.) hacia el sistema de conducción. Para analizar el flujo a través de una reja debe recurrirse a los principios teóricos que corresponden a un flujo espacialmente variado con disminución de caudal.

En general, se puede distinguir dos (2) casos específicos: rejas con poca inclinación, con flujo vertical y rejas con alta inclinación con flujo inclinado. En los casos anteriores se pueden presentar ambos fluidos, a su vez el caudal de captación sea parcial o total. La imagen 5 se permite visualizar mejor esta última distribución de caudales.

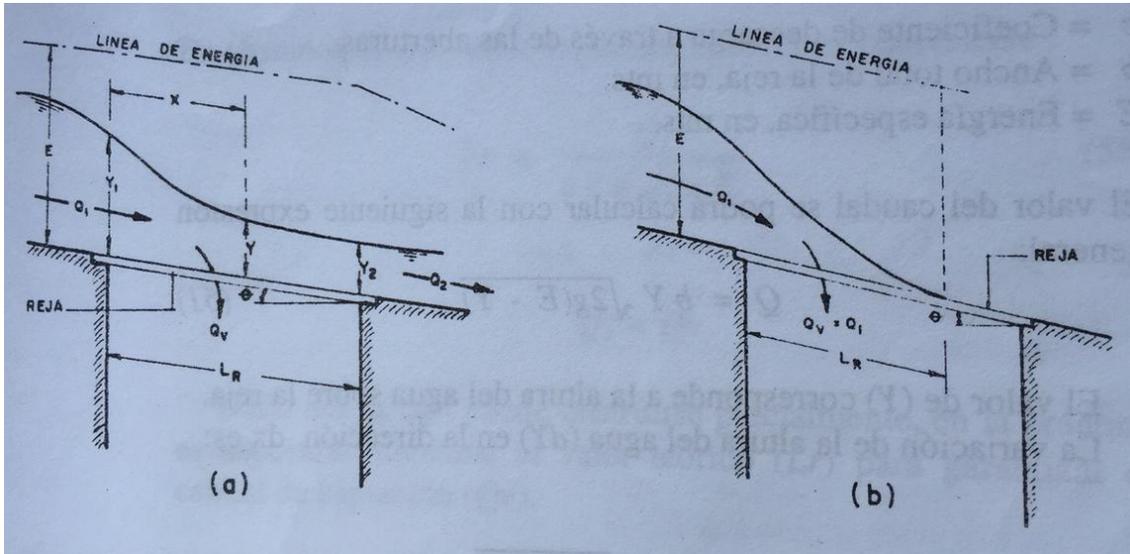


Imagen 5. Distribución de canales en rejillas planas e inclinadas

Tomado de (Materon, 2014)

2.1.8 Reja con poca inclinación

Se pretende determinar el valor de la longitud de la reja L_r , de manera que se asegure la captación del caudal requerido. Para el caso de rejillas con poca inclinación, $\alpha < 20 \%$, se considera que la descarga por la reja depende de la carga efectiva sobre (E), esto se cumple porque el flujo a través de la reja es del tipo vertical, ya que el agua fluye sin producir choques bruscos contra los bordes de las aberturas de la reja.

Con base en lo anterior, se desprenden que la energía específica (E) es constante; luego se tiene que el valor de la descarga a través de la longitud (dx) es:

$$\frac{dQ}{dx} = e c b \sqrt{2gE} \quad \text{Ecuación 2.}$$



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

Dónde:

$\frac{dQ}{dx}$ = Cantidad descargada por la reja por unidad de longitud.

e = Relación entre el área de abertura y el área total de la reja.

c = Coeficiente de descarga a través de las aberturas.

b = Ancho total de la reja, en m.

E= Energía específica.

El valor del caudal se podrá calcular con la siguiente expresión general:

$$Q = b Y \sqrt{2g(E - Y)} \quad \text{Ecuación 3.}$$

El valor de (Y) corresponde a la altura del agua sobre la reja. La variación de la altura del agua (dY) en la dirección dx es:

$$\frac{dY}{dx} = 2 e c \frac{\sqrt{E(E - Y)}}{3Y - 2E}$$

Mediante un proceso de integración se puede deducir para el caso de una captación parcial del caudal, el valor de la longitud de reja requerida (x):

$$x = \frac{E}{ec} \left[\frac{Y_1}{E} \sqrt{1 - \frac{Y_1}{E}} - \frac{Y_1}{E} \sqrt{1 - \frac{Y}{E}} \right]$$



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

Dónde:

x = Longitud de reja para una altura de agua Y ($L = x$)

Y_1 = Altura del agua al inicio de la reja.

Y = Altura del agua en un punto intermedio o al final de la reja ($Y = Y_2$).

Para una captación total, o sea cuando $Y = 0$, se tiene que:

$$Lr = \frac{E}{ec} \left[\frac{Y_1}{E} \sqrt{1 - \frac{Y_1}{E}} \right]$$

En términos de caudal, la expresión anterior es equivalente:

$$Lr = \frac{Q_1}{ecb\sqrt{2gE}}$$

El caudal total será el producto del área protegida y del caudal unitario anteriormente.

2.1.9 Áreas adyacentes

Al área proyectada horizontalmente se debería agregar el efecto de los muros verticales adyacentes que pueden captar un porcentaje de la precipitación, de acuerdo a la inclinación que tome por acción del viento, la que finalmente cae a la superficie horizontal. Se recomienda tomar el 35% o el 50% del área vertical aunque depende en buena parte del material del muro y su capacidad de retención del agua. En la imagen 6 se muestra como calcular el aporte de escorrentía dependiendo de la geometría que se tenga en la cubierta o azotea.

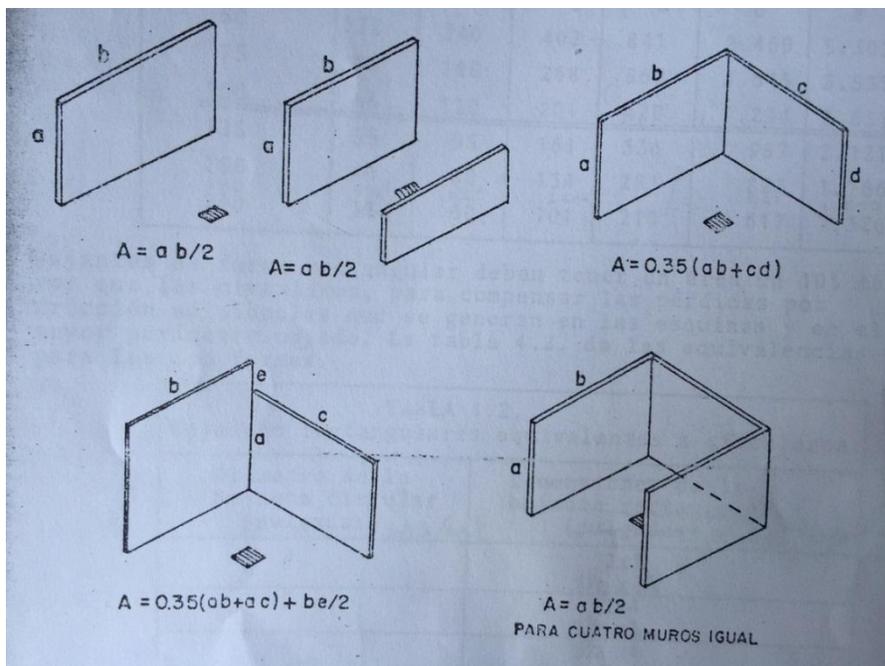


Imagen 6. Tipo de áreas portantes de esorrentía en cubiertas.

Tomado de (Perez Cardona, 2006)

2.1.10 velocidad del flujo

Mientras una velocidad mínima de 0,6 m/s. es adecuada para desagües sanitarios, se ha encontrado que se requiere una mayor velocidad en los pluviales, para arrastrar las partículas en suspensión y evitar que se decanten. Se establece mínimo 0,8 m/s.

2.1.11 canales

Los techos inclinados entregan el agua inicialmente a canales de forma semicircular o rectangular. La capacidad de flujo depende de la pendiente que se deje hacia la bajante. El agua ocupa el 70% de la profundidad y el 30% restante actúa como borde libre.

La pendiente de las canales en mampostería o en concreto, puede darse interiormente para no perjudicar la apariencia de las fachadas.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO
DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN
CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE
EDIFICACIONES.**



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

2.1.12 BAJANTES

El caudal que puede desaguar una bajante es función del área del anillo de agua pegado a las paredes y el área total de la sección. Los investigadores Both Dawson y Roy B. Hunter (Perez Cardona, 2006) encontraron que cuando dicha relación está entre 1/4 y 1/3 no se producen fluctuaciones de presión.

La capacidad se expresa así:

$$Q = 1.754 r^{5/3} d^{8/3} \quad \text{Ecuación 4.}$$

En donde:

$Q = \text{Caudal}$

$r = \text{Relación aire/agua dentro de la tubería}$

$d = \text{diámetro de la tubería, en pulgadas}$

Para nuestro caso utilizaremos la siguiente fórmula de capacidad:

$$Q = C * I * A \quad \text{Ecuación 5.}$$

En donde:

$Q = \text{Caudal}$

$C = \text{Escorrentía}$

$I = \text{Intensidad de lluvia}$

$A = \text{Área a evacuar}$

Cuando la bajante entrega a una tubería horizontal, la velocidad terminal es superior a la velocidad para flujo uniforme de nuevo colector, produciéndose un descenso brusco de aquella, acompañado con un aumento de la profundidad, dando lugar al fenómeno conocido como resalto hidráulico en el tramo inicial, a una distancia que varía entre cero y diez diámetros. Para minimizar el efecto, se puede aumentar el diámetro del colector horizontal o aumentar su pendiente.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

Después de producido el resalto, la tubería tiende a fluir llena, arrastrando aire y causando fluctuaciones de presión. Para evitar este resalto hidráulico se debe extender el ramal horizontal en máximo 10 veces del diámetro, para ilustrar este fenómeno se muestra la imagen 7.

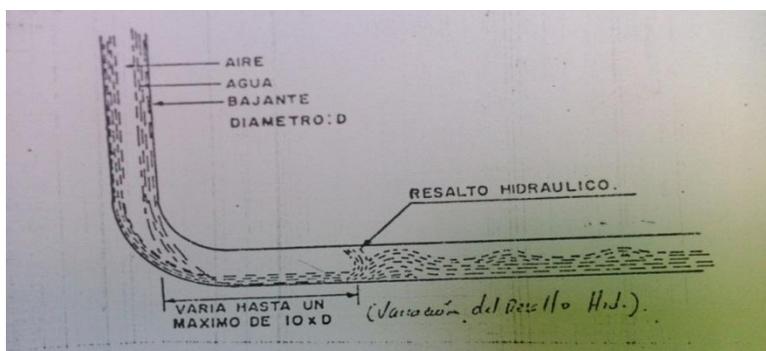


Imagen 7. Resalto hidráulico producido por el paso de aguas de la bajante a colectores

Tomado de (Perez Cardona, 2006).

2.2 ESTADO DEL ARTE

En las edificaciones se debe contar con un sistema de drenaje para las eventuales lluvias que ocurren en su zona de ubicación, estos sistemas de drenaje y aislamiento de aguas lluvias son necesarios tenerlos en un óptimo estado para la prevención de los posibles daños que puede ocasionar un evento pluvial. Como hipótesis se tuvo que el Código Nacional de Fontanería (NTC 1500) tiene establecido cuales son las áreas de aferencia de las rejillas en sus dimensiones comerciales

2.2.1 LLUVIAS EN LA ZONA DE ESTUDIO

La ciudad de Cartagena tiene una época húmeda o época de lluvias que se extiende desde el mes de agosto hasta el mes de noviembre, en cuyo período el mes con mayor intensidad de precipitaciones es el mes de octubre. Se caracteriza por vientos débiles de orientación variable y por un régimen de lluvias abundantes. En esta época suelen presentarse los denominados ciclones tropicales (huracanes), los cuales pueden aumentar el régimen o intensidades de lluvias en todo el Caribe (CIOH, 2015).



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

Las variaciones climáticas estacionales definen la dirección e intensidad de las corrientes regionales y locales, la dirección e intensidades del oleaje y el régimen de precipitaciones, se establece una temperatura media anual de 28°C para el área de estudio. Las variaciones observadas en la temperatura media no superan los 2°C, esto se debe principalmente a que la temperatura de la superficie del océano presenta fluctuaciones mínimas durante todo el año (CIOH, 2015). En el cuadro 2 se muestra cómo es la variación de los demás parámetros que intervienen en el clima además de la temperatura como lo son humedad, precipitación etc., a lo largo del año.

Cuadro 2. Parámetros climatológicos en Cartagena

MES	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Precipitación (mm)
ENERO	27,0	82	4,5
FEBRERO	26,8	81	0,0
MARZO	27,1	82	1,6
ABRIL	27,5	82	22,6
MAYO	28,1	83	67,3
JUNIO	28,3	83	80,4
JULIO	28,2	83	73,8
AGOSTO	28,2	83	85,2
SEPTIEMBRE	28,3	83	111,6
OCTUBRE	27,8	85	180,8
NOVIEMBRE	27,8	85	93,8
DICIEMBRE	27,3	84	29,5

Tomado de (CIOH, 2015)



2.2.2 CÓDIGO NACIONAL DE FONTANERÍA

Para definir las dimensiones de los desagües principales se utilizan los cuadros 3, 4 y 5 que son los propuestos por el Código Nacional de Fontanería (NTC 1500); de los cuales se tienen las siguientes tablas, las cuales enmarcan la tipología y diámetro de estructura a utilizar.

Cuadro 3. Dimensionamiento de desagües principales en cubierta, ramales y bajante.

Diámetro nominal (mm)	Caudal, máximo l/s	Áreas máximas permitidas proyectadas horizontalmente en m^2 para diferentes intensidades de lluvia					
		25 mm/h	50 mm/h	75 mm/h	100 mm/h	125 mm/h	150 mm/h
75	4,2	600	300	200	150	120	100
100	9,1	1286	643	429	321	257	214
125	16,5	2334	1117	778	583	467	389
150	26,8	3790	1895	1263	948	758	632
200	57,6	8175	4088	2044	2044	1653	1363

NOTAS:

- 1) Las dimensiones de bajantes y colectores están basadas en los caudales correspondientes a una relación de llenado de 7/24.
- 2) Para precipitaciones diferentes de las indicadas, se deberá interpolar linealmente.
- 3) La tubería vertical puede ser redonda, cuadrada o rectangular. La sección cuadrada debe contener la sección circular equivalente. La sección rectangular debe tener por lo menos la misma área transversa que la sección circular equivalente, excepto que la relación de sus dimensiones laterales no excedan 3 a 1.

Tomado de (NTC-1500, 2005)



**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO
DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN
CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE
EDIFICACIONES.**



Cuadro 4. Definición de las dimensiones de la tuberías horizontal de aguas lluvias.

Diámetro nominal (mm)	Caudal pendiente del 1,0 % (L/s)	Áreas máximas permitidas en m^2 de cubiertas proyectadas horizontalmente para diferentes precipitaciones					
		25 mm/h	50 mm/h	75 mm/h	100 mm/h	125 mm/h	150 mm/h
100	4,9	700	350	233	175	140	116
125	8,8	1241	621	414	310	248	207
150	14,0	1988	994	663	497	398	331
200	30,2	4273	2137	1424	1068	855	713
250	54,3	7692	3846	2564	1923	1540	1282
300	87,3	12375	6187	4125	3094	2476	2062
375	156,0	22110	11055	7370	5528	4422	3583
Diámetro nominal (mm)	Caudal pendiente del 2,0 % (L/s)	Áreas máximas permitidas en m^2 de cubiertas proyectadas horizontalmente para diferentes precipitaciones					
		25 mm/h	50 mm/h	75 mm/h	100 mm/h	125 mm/h	150 mm/h
80	3,0	431	216	144	108	86	72
100	6,9	985	4921	328	246	197	164
125	12,4	1754	877	585	438	351	292
150	19,8	2806	1403	935	701	361	468
200	42,7	6057	3029	2019	1514	1211	1009
250	76,6	10851	5425	3618	2713	2169	1807
300	123,2	17465	8733	5816	4366	3493	2912
375	220,2	31214	15607	15607	7804	6248	5202
Diámetro nominal (mm)	Caudal, máximo l/s	Áreas máximas permitidas proyectadas horizontalmente en m^2 para diferentes intensidades de lluvia					
		25 mm/h	50 mm/h	75 mm/h	100 mm/h	125 mm/h	150 mm/h
80	4,3	611	305	204	153	122	102
100	9,8	1400	700	465	350	280	232
125	17,5	2482	1241	827	621	494	413
150	28,1	3976	1988	1325	994	797	663
200	60,3	8547	4273	2847	2137	1709	1423
250	108,6	15390	7695	5128	3846	3080	2564
300	174,6	24749	12374	8250	8187	4942	4125
375	312,0	44220	22110	14753	11055	8853	7367
NOTAS:							
1) Los datos de las dimensiones para tubería horizontal están basados en la tubería trabajando a tubo lleno.							
2) Para precipitaciones diferentes de las indicadas, se deberá interpolar linealmente.							

Tomado de (NTC-1500, 2005)



Cuadro 5. Dimensionamiento de canales exteriores de la fachada

Diámetro de la canal en mm Pendiente del 0,5%	Áreas máximas permitidas en m^2 de cubiertas proyectadas horizontalmente para diferentes precipitaciones				
	51 mm/h	76 mm/h	102 mm/h	127 mm/h	152 mm/h
76	31,6	21,0	15,8	12,6	10,5
102	66,9	44,6	33,4	26,8	22,3
127	116,1	77,5	58,1	46,5	38,7
152	178,4	119,1	89,2	71,4	59,5
178	256,4	170,9	128,2	102,2	85,3
203	369,7	246,7	184,9	147,7	123,1
254	668,9	445,9	334,4	267,6	223,0
Diámetro de la canal en mm Pendiente del 1,0%	Áreas máximas permitidas en m^2 de cubiertas proyectadas horizontalmente para diferentes precipitaciones				
	51 mm/h	76 mm/h	102 mm/h	127 mm/h	152 mm/h
76	44,6	29,7	22,3	17,8	14,9
102	94,8	63,3	47,4	37,9	31,6
127	163,5	108,9	81,8	65,4	54,5
152	252,7	168,6	126,3	100,8	84,1
178	362,3	241,5	181,2	144,9	120,8
203	520,2	347,5	260,1	208,1	173,7
254	947,6	631,7	473,8	379	315,9
Diámetro de la canal en mm Pendiente del 2,1%	Áreas máximas permitidas en m^2 de cubiertas proyectadas horizontalmente para diferentes precipitaciones				
	51 mm/h	76 mm/h	102 mm/h	127 mm/h	152 mm/h
76	63,2	42,2	31,6	25,3	21,0
102	133,8	89,2	66,9	53,5	44,6
127	232,3	155,0	116,1	92,9	77,5
152	256,7	237,8	178,4	142,7	
178	512,8	341,9	256,4	204,9	118,9
203	739,5	493,3	369,7	295,4	170,9
254	133,8	891,8	668,9	534,2	246,7
Diámetro de la canal en mm Pendiente del 4,2%	Áreas máximas permitidas en m^2 de cubiertas proyectadas horizontalmente para diferentes precipitaciones				
	51 mm/h	76 mm/h	102 mm/h	127 mm/h	152 mm/h
76	89,2	595	44,6	35,7	29,7
102	189,5	126,3	94,8	75,8	63,2
127	328,9	219,2	164,4	131,5	109,6
152	514,7	343,3	257,3	206,2	171,9
178	724,6	483,1	362,3	289,9	241,4
203	1040,5	693,0	520,2	520,2	346,5
254	1858,0	1238,4	929,0	743,2	618,7

Tomado de (NTC-1500, 2005)



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

De lo anteriormente mencionado en las tablas, se puede observar que las investigaciones al respecto han sido pocas y que en este proyecto se pretende mostrar que el comportamiento hidráulico de las rejillas y tragantes puede ser óptimo y eficiente a la hora de una eventual lluvia, basados en los datos arrojados por el ya propuesto en Código Nacional de Fontanería (NTC 1500)

Por otro lado se investigo que en Latinoamérica los países con un grado mayor de desarrollo, cuentan con sistemas urbanos de drenajes sostenibles o SUDS, estos además de evacuar rápidamente las aguas pluviales y muchas veces estos son captados para usos no potables, aunque existen casos en que se complementa con un sistema de potabilización para que sean aptas para consumo humano, también en el año 2000 en Chile la oficina nacional de la FAO para América Latina y el Caribe, desarrolló el “Manual de captación y aprovechamiento de agua lluvia basado en la experiencia” , en este manual se encuentran lineamientos muy prácticos para la implementación de SUDS además hace referencia al uso de tragantes para este tipo de sistema de drenajes, porque el área de captación es mayor a la de una rejilla y así se obtiene mayor captación de las aguas pluviales.

2.3 ANTECEDENTES

En este proyecto se obtuvo como antecedentes las pruebas realizadas por un M.I. Sergio Ignacio Martínez Martínez, en su publicación llamada Diseño Hidrológico e Hidráulico del Drenaje Pluvial de Cubiertas de Edificaciones; de la ciudad de Aguascalientes en el país de México, en los cuales toman lluvias de cierta intensidad y las prueban de la siguiente forma, por otra parte se trabajó con el Ras 2000 y el Código Nacional de Fontanería ya mencionado en el ítem anterior.

2.3.1 *Diseño Hidrológico e Hidráulico del Drenaje Pluvial de Cubiertas de Edificaciones*

En las instalaciones de las edificaciones es necesario proveer una que sirva para desfogar la precipitación que cae sobre sus cubiertas. Muchas veces se considera que la capacidad de la instalación puede fijarse solo tomando en cuenta el tamaño o área de la cubierta. Esto no es suficiente, pues en diferentes lugares la precipitación se comportara de manera diferente; y, la capacidad que sería buena en una zona geográfica podría ser insuficiente o muy costosa en otra.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

Además se considera que cualquier cubierta tardará el mismo tiempo, supuestamente 2 o 5 minutos, en concentrar todo el caudal en su parte más baja, esto no es cierto. Tampoco se toma en cuenta cómo funcionan hidráulicamente las condiciones de bajada del agua pluvial. Estas prácticas deben revisarse, pues pueden llevar diseños inadecuados. El objetivo de este trabajo es proponer un método sistemático de diseño que sea más exacto que los criterios utilizados actualmente. Se supone que un refinamiento de los modelos que representan el comportamiento de la precipitación, del flujo sobre las cubiertas y de las estructuras de desfogue puede llevar, en la mayoría de los casos prácticos, a obtener mejores diseños de las instalaciones pluviales de los edificios.

La base teórica de la que parte la investigación es la determinación del caudal de salida producido por una tormenta que cae sobre una cuenca. Para cuencas pequeñas, tales como las cubiertas de edificaciones, se puede determinar el gasto máximo instantáneo o de equilibrio con la fórmula racional americana (Martínez, 2000)

$$Q = kCiA$$

Esta fórmula dice que Q (m^3/s , l/s) es proporcional al producto del coeficiente de escurrimiento C (adimensional e igual a la unidad para una superficie impermeable), por la intensidad de la lluvia i (mm/h , m/s) por el área drenada A (ha , m^2). La constante k sirve para transformar unidades.

Para que el gasto que da la fórmula racional sea cierto, primero se debe cumplir que toda el área de la cuenca este aportando escurrimiento a la salida. Al tiempo que pasa desde el inicio de la precipitación hasta el momento en que toda la cuenca. En cambio, la determinación del valor de la intensidad de lluvia puede ser complicada.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

La intensidad depende, en un lugar dado, de la duración de la tormenta d (min, s) y del nivel de seguridad que se le quiera dar a la estructura. El nivel de seguridad se da vía el periodo de retorno, T_1 que es el tiempo promedio en años en que un evento hidrológico es igualado o excedido. Por ejemplo, una probabilidad de $1/10 = 0.1000$ de igualarse o excederse en un año cualquiera; así, un evento grande tendrá un periodo de retorno mayor que uno pequeño. En general, la intensidad de la precipitación i , aumenta con el periodo de retorno, T_1 , y disminuye con la duración de la tormenta, d . A su vez, el tiempo de concentración t_c depende de la intensidad, i , y de las características geométricas e hidráulicas de la cuenca.

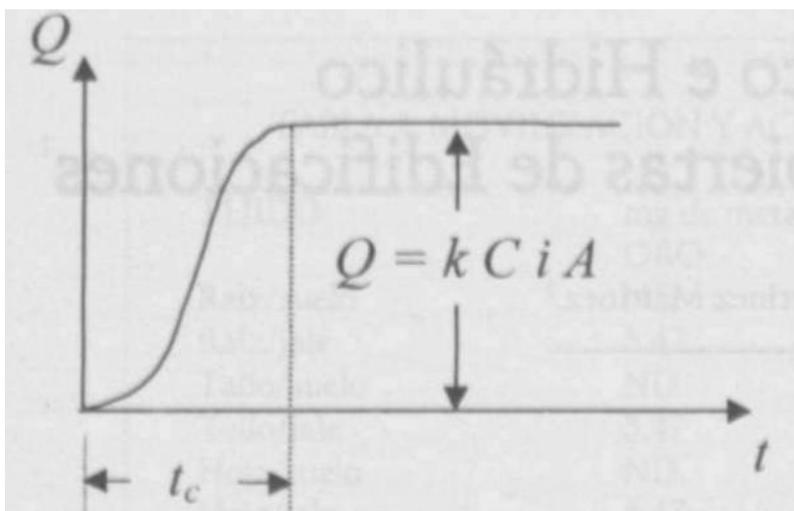


Imagen 8. Gasto de equilibrio y tiempo de concentración.

Tomado de. (Diseño Hidrológico e Hidraulico del drenaje Pluvial de Cubiertas de Edificaciones,2001)

2.3.1.1 MATERIALES Y METODOS.

El trabajo se desarrolló en el CCDC de la UAA durante el año 2000. El diseño de la investigación comprende el análisis crítico de la práctica común, el estudio de los aspectos relevantes del problema y la propuesta del procedimiento sistemático de diseño del drenaje. Los aspectos que se consideraron relevantes son: las características de la precipitación, para establecer la relación de la intensidad de precipitación con la duración de la tormenta y el periodo de retorno.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

Por otro lado el flujo superficial del agua precipitada en un plano y en dos tipos de canales, para estimar su tiempo de concentración cuando se sujetan a una intensidad dada; y el comportamiento hidráulico de las bajadas pluviales, para determinar el efecto de la salida en el valor del tiempo de concentración. Para contrastar el método que se deseaba proponer se planteó un caso de prueba representativo (se describe adelante). Se eligió como variable para evaluar el tiempo de concentración.

2.3.1.2 RESULTADOS

Del análisis crítico de la práctica común se concluyó que para el diseño preliminar se podrían proponer para las bajadas, los diámetros calculados a partir del gasto (Q , l/s) con:

$$D = 53.78Q^{11.4}$$

Ecuación que lleva a tirantes o profundidades del agua (y , mm), a la entrada de la bajada, aproximadamente iguales a la mitad del diámetro (D , mm)

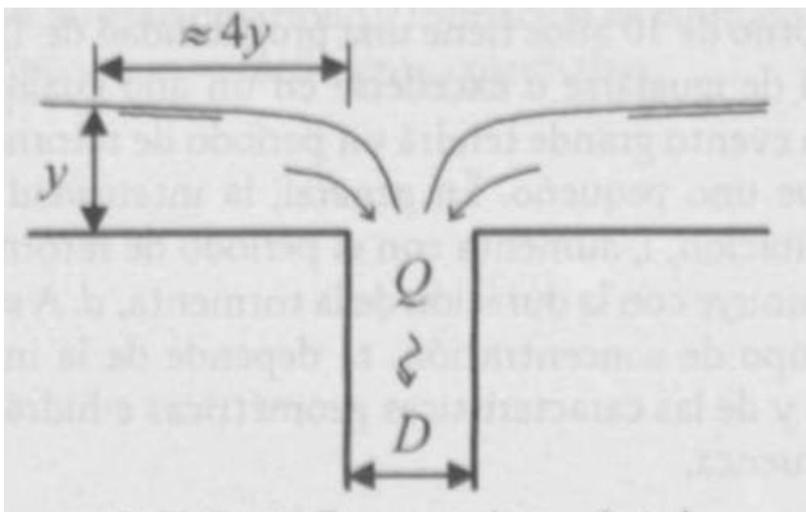


Imagen 9. Esquema De una Bajada.

Tomado de.(Diseño Hidrológico e Hidraulico del drenaje Pluvial de Cubiertas de Edificaciones,2001)



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

La ecuación 2ª nace de la ecuación

$$Q = \frac{Dy^{1.5}}{7500} \quad (2b)$$

Valida si $y \leq D/2$. Se considera que la bajada funciona como vertedor. Si en esta ecuación se hace $y=D$ y se resuelve para Q se obtiene la ecuación 2ª. Si $y>D/2$ la bajada funciona como orificio y el gasto se tiene que calcular con:

$$Q = \frac{D^2y^{0.5}}{15000} \quad (2c)$$

La ecuación 2b y 2c las proponen las normas británicas para el caso de las bajadas pluviales sin obstrucción aguas abajo. Los investigadores británicos encontraron que las bajadas funcionan mejor si están cerca de paredes y que, generalmente son utilizadas junto con canalones que son alimentados lateralmente. (Mayo, 1997. O si se puede admitir un riesgo mayor, se puede utilizar el criterio de Anda (Zeoedia, 1998) aquí que se expresa con la ecuación

$$D = 49.22Q^{0.374} \quad (3)$$

Que produce tirantes que cumplen con $0.784 \leq y/D \leq 1.270$ para los diámetros comerciales (50, 63, 75, 100, 125,150 y 200mm).

Al estudiar la precipitación se llegó a plantear, como alternativa práctica, una ecuación que puede servir para determinar la intensidad de la lluvias a partir de la lámina de precipitación de periodo de retorno de dos años y duración igual a 60 minutos (Martínez, 2000). La ecuación está basada en la relación de la precipitación de periodo de retorno de dos años y duración igual a dos minutos y la precipitación de periodo de retorno de dos años y la duración igual a cinco minutos, $P_2^2 / P_2^5 = 0.5$, recomendada por Hershfield (Campos, 1997) y las relaciones recomendadas por el United Stated Weather Bureau (USWB) (Ferreri et al, 1990) para las precipitaciones de periodo de



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

retorno de dos años y duraciones de 5 a 10 minutos con respecto a la precipitación del mismo periodo de retorno y duración de 60 minutos. La ecuación obtenida es:

$$i_{Tr}^d = 5.82 F_{Tr} \frac{P_2^{60}}{d^{0.332}} \quad (4a)$$

Válida para $2 \leq d \leq 10$ minutos. Donde F_r es un factor que toma en cuenta el efecto del periodo de retorno, el cual dependerá del resultado del procesamiento estadístico de la serie de lluvias máximas diarias. Para simplificar, se puede adoptar el factor F_r propuesto por Bell en su fórmula (Martínez, 2000), quedando la ecuación

$$i = 5.82(0.35 \ln T_r + 0.76) \frac{P_2^{60}}{d^{0.332}}$$

Válida para $2 \leq d \leq 10$ y $2 \leq Tr \leq 100$

Donde concluyendo: T_r es el periodo de retorno requerido en años, usualmente se elige un valor de 5 a 50 años; P_2^{60} , la precipitación con duración igual a 60 minutos y periodo de retorno igual a 2 años; d , duración de la lluvia, en minutos, e i , intensidad de la lluvia mm/h. Martínez (2000) efectuó el procesamiento estadístico de los datos de 1985 a 1995 de la precipitación máxima diaria de la estación climatológica de la ciudad universitaria de la UAA. Encontró que se ajustan a la distribución gumbel. Luego utilizando el criterio de Campos y Gómez de Luna determinó que P_2^{60} para Ciudad Universitaria es de 24.9mm. a su vez el mismo autor (1999) procesó el registro de 1948 a 1998 de la lluvia máxima de la estación Aguascalientes, operada por la Comisión Nacional del Agua (CNA). Encontró que también se ajusta a la distribución gumbel y en este caso la precipitación P_2^{60} resulto ser 21.5 mm. En principio para la Ciudad de Aguascalientes, se puede adoptar una precipitación $P_2^{60} = 25$ mm y luego utilizar, convenientemente la ecuación 4b ya mencionada anterior mente.

Un resultado aplicable directamente al diseño preliminar del drenaje pluvial de la cubierta de una edificación localizada en Ciudad de Aguascalientes considerando periodos de retorno de 5 y 50 años y duraciones de 2 y 5 minutos, lo proporciona la formula



ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



$$A = kD^{2.674}$$

Donde A esta en m², D en mm y la constante k vale 4,388 x 10⁻⁴ para área mínima y 9.544 x 10⁻⁴ para área máxima. La ecuación 5 se obtiene a partir de las ecuaciones 1,3 y 4b; y los periodos de retornos y duraciones consignados en la tabla 1 se muestran las áreas, obtenidas con la ecuación 5 , correspondientes a los diámetros comerciales comunes. Para la Ciudad de Aguascalientes, se ha manejado la siguiente regla empírica: “Por cada 100 o120 m² de azotea se puede proponer una bajada de 4” de diámetro”.

Diámetro (mm)	Área mínima* (m ²)	Área máxima** (m ²)
50	15	33
63	28	62
75	45	98
100	97	212
125	177	386
150	288	628
200	622	1355

Notas: *t = 2 min. y T_r = 50 años. ** t = 5 min. y T_r = 5 años.

Imagen 10. Áreas de azoteas mínimas y máximas en función del diámetro de la bajada

Tomado de.(Diseño Hidrológico e Hidraulico del drenaje Pluvial de Cubiertas de Edificaciones,2001)

Según la tabla 1 se comprueba la validez de dicha regla; dado que para un diámetro de 100 mm (4”) se pueden admitir áreas que van de los 97 a 212 m². Si se aplica esta regla en otras localidades, se podría proponer un diámetro demasiado pequeño, que sería suficiente, o un diámetro demasiado grande, que sería antieconómico.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

El método utiliza como datos de partida los registros pluviográficos de la localidad estudiada y los datos de intensidad de precipitación (con periodos de retorno de 10, 25 y 50 años y duraciones de 10, 30, 60, 120, y 240 minutos) de 32 Ciudades de México, publicados en 1990 por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)

Como resultado del estudio del escurrimiento se presentaron, en formato uniforme, varias fórmulas para estimar el tiempo de concentración de algunas estructuras hidráulicas simples. Todas las fórmulas, menos una, están basadas en la teoría de la onda cinética (Campos, 1990), (Wong, 1996), mientras que la restante, propuesta en este trabajo, está basada en la ecuación de impulso y cantidad de movimiento. Las estructuras contempladas son: un plano inclinado, un canal rectangular con pendiente horizontal. Se consideraron flujos laminar y turbulento. También se consideró que la estructura de la salida puede trabajar como vertedor como orificio, dependiendo esto, de la relación entre el tirante a la entrada y el diámetro de la bajada (May, 1997).

2.3.1.3 Conclusiones

Se comprobó que el refinamiento de los modelos si lleva a obtener mejores diseños de las instalaciones pluviales de los edificios, los aportes más importantes de este estudio fueron el método sistemático que se generó para diseñar el drenaje de las cubiertas y las formulas propuestas en dicho artículo.

Por otra parte también se concluyó que la consideración del remanso podría llevar a estudiar nuevamente este problema ya planteado.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO
DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN
CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE
EDIFICACIONES.**



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

**2.3.2 RAS 2000; TITULO D; SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y EVACUACIÓN DE AGUAS
RESIDUALES Y/O PLUVIALES**

2.3.2.1 Tipos de sistemas

- **Sistemas convencionales**

Los alcantarillados convencionales son los sistemas tradicionales utilizados para la recolección y transporte de aguas residuales o lluvias hasta los sitios de disposición final. Los tipos de sistemas convencionales son el alcantarillado combinado y el alcantarillado separado. En el primero, tanto las aguas residuales como las pluviales son recolectadas y transportadas por el mismo sistema, mientras que en el tipo separado esto se hace mediante sistemas independientes; es decir, alcantarillado sanitario y alcantarillado pluvial.

- **Sistemas no convencionales**

Debido a que los alcantarillados convencionales usualmente son sistemas de saneamiento costosos, especialmente para localidades con baja capacidad económica, en las últimas décadas se han propuesto sistemas de menor costo, alternativos al alcantarillado convencional sanitario, basados en consideraciones de diseño adicionales y en una mejor tecnología disponible para su operación y mantenimiento. Dentro de estos sistemas alternativos están los denominados alcantarillados simplificados, los alcantarillados condominiales y los alcantarillados sin arrastre de sólidos. Los sistemas no convencionales pueden constituir alternativas de saneamiento cuando, partiendo de sistemas in situ, se incrementa la densidad de población. (RAS-2.000. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales y Pluviales)



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

2.3.2.2 Los alcantarillados simplificados

Funcionan esencialmente como un alcantarillado sanitario convencional pero teniendo en cuenta para su diseño y construcción consideraciones que permiten reducir el diámetro de los colectores tales como la disponibilidad de mejores equipos para su mantenimiento, que permiten reducir el número de pozos de inspección o sustituir por estructuras más económicas.

Los alcantarillados condominiales son sistemas que recogen las aguas residuales de un conjunto de viviendas que normalmente están ubicadas en un área inferior a 1 ha mediante colectores simplificados, y son conducidas a la red de alcantarillado municipal o eventualmente a una planta de tratamiento.

Los alcantarillados sin arrastre de sólidos son sistemas en los que el agua residual de una o más viviendas es descargada a un tanque interceptor de sólidos donde éstos se retienen y degradan, produciendo un efluente sin sólidos sedimentables que es transportado por gravedad en un

2.3.2.3 Sistemas in situ

Por otra parte, existen sistemas basados en la disposición in situ de las aguas residuales como las letrinas y tanques, pozos sépticos y campos de riego, los cuales son sistemas de muy bajo costo y pueden ser apropiados en áreas suburbanas con baja densidad de población y con adecuadas características del subsuelo. En el tiempo, estos sistemas deben considerarse como sistemas transitorios a sistemas no convencionales o convencionales de recolección, transporte y disposición, en la medida en que el uso de la tierra tienda a ser urbano. En el capítulo E.3 del Título E se establecen los criterios de diseño de este tipo de sistemas.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

2.3.2.4 Selección de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales y lluvias En general

en el proceso de selección de un sistema de recolección y evacuación de aguas residuales y lluvias deben estar involucrados aspectos urbanos municipales como las proyecciones de población, las densidades, los consumos de agua potable y las curvas de demanda de ésta, aspectos socioeconómicos y socioculturales, institucionales, aspectos técnicos y tecnológicos y consideraciones económicas y financieras. El diseñador debe seleccionar el sistema o combinación de sistemas más conveniente para drenar las aguas residuales y pluviales de la población o área. La justificación de la alternativa adoptada debe estar sustentada con argumentos técnicos, económicos, financieros y ambientales. Las siguientes constituyen pautas generales de selección de éstos.

Sistema pluvial Es necesario proyectar estos sistemas cuando las condiciones propias de drenaje de la localidad requieran una solución a la evacuación de la esorrentía pluvial. Es decir, no necesariamente toda población requiere un alcantarillado pluvial, pues eventualmente la evacuación de la esorrentía pluvial podría lograrse satisfactoriamente a través de las cunetas de las calles, por ejemplo. Donde sea necesario, estos sistemas pueden abarcar la totalidad de la población o solamente los sectores con problemas de inundaciones. Su adopción requiere una justificación sustentada de tipo técnico, económico, financiero y ambiental.

Sistema combinado Este sistema puede ser adoptado en aquellas localidades donde existan situaciones de hecho que limiten el uso de otro tipo de sistemas y en áreas urbanas densamente pobladas, donde los volúmenes anuales drenados de aguas residuales son mayores que los de aguas lluvias o cuando resulte ser la mejor alternativa técnica, económica y ambiental, incluyendo consideraciones de tratamiento y disposición final de las aguas combinadas, para lo cual es recomendable hacer estudios de modelación de la calidad del agua del cuerpo receptor en donde se demuestre que los impactos generados por las descargas del alcantarillado combinado, permiten cumplir con los usos asignados a dicho cuerpo.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO
DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN
CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE
EDIFICACIONES.**



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

Su adopción requiere una justificación técnica, económica, financiera y ambiental. El sistema combinado puede ser utilizado cuando es indispensable transporta las aguas lluvias por conductos enterrados y no se pueden emplear sistemas de drenaje superficiales, debido al tamaño de las áreas a drenar, la configuración topográfica del terreno o las consecuencias económicas de las inundaciones. Este sistema es particularmente útil en áreas urbanas densamente pobladas, donde los volúmenes anuales drenados de aguas residuales son mayores que los de aguas lluvias y por lo tanto su incidencia en los costos de tratamiento de efluentes es moderada

Sistemas sanitarios no convencionales La experiencia mundial, con relación a los sistemas no convencionales, ha permitido identificarlos como alternativas de saneamiento viables que pueden ser más accesibles a comunidades de bajos ingresos, sin que esto signifique que no puedan ser adoptados por comunidades de mayores ingresos. Sin embargo, las tecnologías asociadas con su diseño y operación requieren, en muchos casos, mayor investigación, experiencia, control y análisis de equipos que permitan efectuar un eficiente mantenimiento del sistema. Por lo tanto, la adopción de sistemas no convencionales debe estar completamente justificada con argumentos técnicos como primera medida, y con argumentos socioeconómicos, socioculturales, financieros, institucionales y de desarrollo urbano, por otra parte. La aceptación por parte de la comunidad de algunas de estas tecnologías es fundamental.

Estos sistemas pueden ser considerados como alternativas factibles cuando los sistemas convencionales no lo son desde el punto de vista socioeconómico y financiero, pero requieren mucha mayor definición y control de las contribuciones de aguas residuales dada su mayor rigidez en cuanto a posibilidades de prestación de servicio a usuarios no previstos o a variaciones en las densidades de ocupación. Para poblaciones con nivel de complejidad bajo y medio y con niveles bajos generalizados de ingresos, los sistemas no convencionales pueden ser considerados como alternativa al sistema convencional. Para desarrollos de vivienda de interés social y conjuntos residenciales cerrados, los cuales no tengan ninguna posibilidad de densificación urbana, pueden diseñarse sistemas condominiales que conecten al alcantarillado.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

Su adopción requiere una justificación sustentada de tipo técnico, económico, financiero y ambiental. Estos sistemas requieren mucha mayor definición y control de las contribuciones de aguas residuales (dada su mayor rigidez), mejores equipos para su mantenimiento (en el caso de simplificados y condominiales), así como operación y mantenimiento adecuados de los tanques interceptores y control al uso indebido de los colectores (RAS-2.000. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales y Pluviales Página D.19)

2.3.2.5 Sistemas de disposición in situ

Se pueden proyectar estos sistemas en áreas suburbanas con densidades menores que 30 habitantes por hectárea en función del nivel de abastecimiento de agua. Estos sistemas pueden pasar a sistemas no convencionales en la medida en que la densidad de población vaya incrementándose, teniendo en cuenta las consideraciones del literal anterior.

2.3.2.6 Componentes de los sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales y pluviales

Los diferentes componentes del sistema de recolección y evacuación de aguas residuales y pluviales deben ser correlacionados de tal manera que el sistema sea funcional y garantice los objetivos.

2.3.3 REDES DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO PLUVIAL

En este capítulo se establecen las condiciones para la definición y estimación de los parámetros de diseño que deben considerarse en el proceso de diseño de sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias.

2.3.3.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Los aspectos generales para la concepción de proyectos de recolección y evacuación de aguas pluviales deben seguirse de acuerdo con el capítulo A.4. Los sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias pueden proyectarse cuando las condiciones propias de drenaje de la localidad



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

requieran una solución a la evacuación de la escorrentía pluvial. No necesariamente toda población o sector requiere un sistema pluvial. Dependiendo de las condiciones topográficas, tamaño de la población, las características de las vías, la estructura y desarrollo urbano, entre otras, la evacuación de la escorrentía podría lograrse satisfactoriamente a través de las cunetas de las calles. Donde sea necesario, estos sistemas pueden abarcar la totalidad de la población o solamente los sectores con problemas de inundaciones. Los sistemas de recolección y evacuación de aguas pluviales pueden ser proyectados y construidos para:

1. Permitir una rápida evacuación de la escorrentía pluvial de las vías públicas.
2. Evitar la generación de caudales excesivos en las calzadas.
3. Evitar la invasión de aguas pluviales a propiedades públicas y privadas.
4. Evitar la acumulación de aguas en vías de tránsito.
5. Evitar la paralización del tráfico vehicular y peatonal durante un evento fuerte de precipitación.
6. Evitar las conexiones erradas del sistema de recolección y evacuación de aguas residuales.
7. Mitigar efectos nocivos a cuerpos de agua receptores por contaminación de escorrentía pluvial urbana.

Los siguientes son algunos de los factores que deben ser considerados en el estudio de los problemas de recolección y evacuación de aguas pluviales en áreas urbanas:

1. Tráfico peatonal y vehicular.
2. Valor de las propiedades sujetas a daños por inundaciones.
3. Análisis de soluciones con canales abiertos o conductos cerrados.
4. Profundidad de los colectores. En la elaboración de un proyecto de sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias es necesaria la consideración económica.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

La selección de los periodos de retorno que deben adoptarse en el proyecto está en función de la ocurrencia de eventos de precipitación y debe representar un balance adecuado entre los costos de construcción y operación y los costos esperados por daños y perjuicios de inundación para el periodo de diseño. La capacidad de recolección de aguas lluvias del conjunto de sumideros debe ser consistente con la capacidad de evacuación de la red de colectores para garantizar que el caudal de diseño efectivamente llegue a la red de evacuación.(RAS-2.000. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales y Pluviales)

2.3.3.2 PARÁMETROS DE DISEÑO

Los parámetros de diseño constituyen los elementos básicos para el desarrollo del diseño de un sistema de recolección y evacuación de aguas lluvias. A continuación se establecen las condiciones para su definición y estimación. Es función de la DSPD y la Junta Técnica Asesora del Reglamento establecer los mecanismos, procedimientos y metodologías para la revisión, actualización y aceptación de los parámetros y valores para el diseño de sistemas de recolección y evacuación de aguas pluviales.

Áreas de drenaje El trazado de la red de drenaje de aguas lluvias debe, en general, seguir las calles de la localidad. La extensión y el tipo de áreas tributarias deben determinarse para cada tramo por diseñar. El área aferente debe incluir el área tributaria propia del tramo en consideración. Las áreas de drenaje deben ser determinadas por medición directa en planos, y su delimitación debe ser consistente con las redes de drenaje natural.

Caudal de diseño Para la estimación del caudal de diseño puede utilizarse el método racional, el cual calcula el caudal pico de aguas lluvias con base en la intensidad media del evento de precipitación con una duración igual al tiempo de concentración del área de drenaje y un coeficiente de escorrentía. La ecuación del método racional es

$$Q = 2.78 \times C \times i \times A$$



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

De acuerdo con el método racional, el caudal pico ocurre cuando toda el área de drenaje está contribuyendo, y éste es una fracción de la precipitación media bajo las siguientes suposiciones:

1. El caudal pico en cualquier punto es una función directa de la intensidad i de la lluvia, durante el tiempo de concentración para ese punto.
2. La frecuencia del caudal pico es la misma que la frecuencia media de la precipitación.
3. El tiempo de concentración está implícito en la determinación de la intensidad media de la lluvia por la relación anotada en el punto 1 anterior.

El método racional es adecuado para áreas de drenaje pequeñas hasta de 700 ha. Cuando son relativamente grandes, puede ser más apropiado estimar los caudales mediante otros modelos lluvia escorrentía que representen mejor los hietogramas de precipitación e hidrogramas de respuesta de las áreas de drenaje y que eventualmente tengan en cuenta la capacidad de amortiguamiento de las ondas dentro de la red de colectores. En estos casos, es necesario justificar el método de cálculo.

Curvas de intensidad-duración-frecuencia Las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) constituyen la base climatológica para la estimación de los caudales de diseño. Estas curvas sintetizan las características de los eventos extremos máximos de precipitación de una determinada zona y definen la intensidad media de lluvia para diferentes duraciones de eventos de precipitación con periodos de retorno específicos. Es necesario verificar la existencia de curvas IDF para la localidad. Si existen, éstas deben ser analizadas para establecer su validez y confiabilidad para su aplicación al proyecto. Si no existen, es necesario obtenerlas a partir de información existente de lluvias. La obtención de las curvas IDF debe realizarse con información pluviográfica de estaciones ubicadas en la localidad, derivando las curvas de frecuencia correspondientes mediante análisis puntuales de frecuencia de eventos extremos máximos.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO
DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN
CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE
EDIFICACIONES.**



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

La distribución de probabilidad de Gumbel se recomienda para estos análisis, aunque otras también pueden ser ajustadas. Eventualmente, es posible hacer análisis regionales de frecuencia en caso de disponer de más de una estación pluviográfica. Si no existe información en la población, debe recurrirse a estaciones localizadas en la zona lo más cercanas a la población. Si esto no permite derivar curvas IDF aceptables para el proyecto, deben ajustarse curvas IDF por métodos sintéticos, preferencialmente derivados con información pluviográfica colombiana.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

3 OBJETIVO Y ALCANCE

3.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar el comportamiento hidráulico en un sistema de drenaje pluvial en cubiertas y áreas privadas de edificaciones en Colombia, específicamente en la ciudad de Cartagena, para el posterior transporte y disposición de estas, en el sistema de alcantarillado de aguas lluvias o mixto, mediante la revisión de los métodos de diseño aceptados actualmente por la NTC 1500 (Norma Técnica Colombiana), el Código de Fontanería Colombiano y pruebas de laboratorio, con el fin de mejorar el funcionamiento de las estructuras del sistema de drenaje de las aguas lluvias tales como rejillas y tragantes que se usan actualmente en el mercado comercial.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Determinar el área de captación de las estructuras hidráulicas que forman parte del sistema de drenaje de aguas pluviales, cuando existe una eventual lluvia.
- ✓ Evaluar el comportamiento de las rejillas y tragantes que se encuentran comercialmente propuestas por PAVCO y GRIVAL, basados en los parámetros establecidos por el Código Nacional de Fontanería (NTC 1500) y el RAS 2000.
- ✓ Proponer una tabla para selección de rejillas y tragantes, además una serie de recomendaciones para el estudio del comportamiento de las estructuras que componen el sistema de drenaje de aguas lluvias, a la hora de que ocurra una lluvia en su máxima intensidad.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

3.3 ALCANCE

El proyecto tuvo su parte experimental en los laboratorios de la UNIVERSIDAD DE CARTAGENA sede PIEDRA DE BOLIVAR, ya que es en este sitio fue donde se realizó la parte investigativa y de ensayos para el estudio del comportamiento hidráulico de un sistema de drenajes de aguas pluvial en cubiertas y áreas privadas de edificaciones, también donde se simularon diferentes intensidades de lluvias, mediante una regadera con un prototipo o modelo de captación de agua por metros cúbicos; el cual sirvió para modelar la capacidad de agua recolectada por cada estructura del sistema de drenaje, y analizar cada una de las estructuras que se encuentran comercialmente, evaluando las diferentes intensidades de lluvias y la cobertura que acarrean en M² de área, en dimensiones de 2", 3" y 4".

Este proceso tuvo una duración aproximada de 40 días, comprendidos en el segundo período académico del año 2015. Teniendo como inicio el mes de agosto del 2015 y culminando en el mes de noviembre del mismo año, donde se trabajó de lunes a viernes 2 horas diarias en dichos laboratorios.

En el proyecto se tuvo en cuenta una información secundaria, la cual fue proporcionada por el Código Nacional de Fontanería (NTC 1500) y el RAS 2000, quienes dictaminan la normatividad vigente en el país sobre el diseño de sistemas de drenajes de aguas pluviales en cubiertas y áreas privadas de las edificaciones. Con base a estas se demostró cómo trabajan las estructuras, como se data en estos códigos, y además se comprobó el comportamiento hidráulico de un sistema de drenaje para las aguas pluviales.

Se evaluaron todas las variables, tales como la intensidad de las lluvias (ya que se tuvo la gráfica del período de diseño e intensidades de las lluvias proporcionado y evaluado por el IDEAM), y el caudal que puede transportar el sistema de drenaje y el caudal que puede ingresar por las estructuras, el tipo de tejado y la fricción de cada una de estas estructuras evaluadas, cuya fricción se encuentra establecida por cada uno de los fabricantes, en este caso fueron las propuestas por PAVCO y GRIVAL.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO
DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN
CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE
EDIFICACIONES.**



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

En cuanto a la variable de tiempo de retorno de las lluvias, se evaluó y se trabajó con las que fueron óptimas para el drenaje de aguas lluvias. Por lo cual se puede decir que este proyecto estuvo marcado por la eficiencia del sistema de drenaje, su economía y la durabilidad; las cuales, en conjunto, brindaron un funcionamiento eficiente. En cuanto al dimensionamiento y la localización de las rejillas y tragantes, se analizaron como variables indirectas, y se evaluó la información obtenida, para así, proponer unas recomendaciones que nos demostraron cómo fue el funcionamiento del sistema de drenaje de aguas lluvias, y a su vez se creó una tabla que muestra las variaciones de las intensidades que tienen las lluvias y el funcionamiento de cada una de las estructuras evaluadas, junto con una solución para su posterior uso.

Por tanto, se buscó que el análisis de las estructuras mostraran los resultados esperados, para así comprobar que el estudio del comportamiento hidráulico de un sistema de drenaje de agua pluvial trabaja en un estado poco óptimo, ya que las lluvias tienen diferentes intensidades, las cuales en época de invierno llegan hasta 180,8 mm, y muchas veces ésta es superada. Se puede decir que en este instante en donde las estructuras de sistema de drenaje colapsan ocasionando inundaciones y deterioro a la infraestructura de las edificaciones y áreas privadas de la misma.

Se espera entonces, que lo propuesto en este proyecto sean unas excelentes recomendaciones para el diseño de un sistema de drenaje de aguas pluviales, las cuales se puedan implementar en las edificaciones existentes y en las nuevas, con el fin de generar un funcionamiento óptimo para la estructuras del sistema de drenaje, y que la infraestructura y áreas privadas de las edificaciones no sufran inconvenientes a la hora de que se genere una lluvia con intensidad.

El resultado que se obtuvo en esta investigación fue una serie de recomendaciones y tablas para la metodología de diseño para sistema de drenaje de aguas pluviales, para que los constructores y diseñadores de sistemas de drenajes de evacuación de aguas lluvias de edificaciones las implementen y tengan un mejor funcionamiento a la hora de proponer sus diseños a los futuros sistemas que propongan.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

4 METODOLOGÍA

El estudio del comportamiento hidráulico es una investigación mixta, ya que contiene una parte bibliográfica, en donde se tomaron las especificaciones a ensayar, de la NTC 1500; el Código Nacional de Fontanería y una parte experimental con ensayos de laboratorios.

Para el estudio del comportamiento hidráulico de un sistema de drenaje de aguas lluvias en cubierta y áreas privadas de edificaciones, se tuvo como fuente de información principal, la que se encuentra en el Código Nacional de Fontanería NTC 1500 y el RAS 2000, en el cual muestra un manual y especificaciones para el diseño y ubicación óptima de las estructuras que contienen el sistema de drenaje de aguas lluvias en edificaciones, tales como rejillas, tragantes y diámetro de tuberías, que trabajan como vertederos, en vez de tubos sumergidos o tubos llenos.

El tiempo de recolección de información y pruebas de laboratorios que se realizaron, tienen una duración aproximada de 40 días, comprendidos en el segundo periodo académico del año 2015, teniendo como inicio el mes de Agosto y culminando en el mes de Noviembre, donde se trabaja de Lunes a Viernes 2 horas diarias, en los laboratorios de la sede PIEDRA DE BOLIVAR, UNIVERSIDAD DE CARTAGENA.

El tipo de investigación implementada fue descriptiva, experimental y bibliográfica, donde se mostró cómo es el funcionamiento de las rejillas y los tragantes para sistemas de drenajes de aguas lluvias; dichas estructuras se sometieron a pruebas para su evaluación, y trabajaron dependiendo del caudal empleado, el tiempo de retorno de la lluvias y la capacidad de drenaje de cada una de estas estructuras.

De la metodología surgió un esquema para cada una de las actividades planteadas, el cual se muestra en la ilustración 1.



ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Ilustración 1. Esquema de la metodología empleada; (Autor, 2015)

En cuanto a la parte experimental, se puso a prueba la eficiencia de las estructuras del sistema de drenaje; mostrándolas y obteniendo como resultado una serie de recomendaciones para un diseño óptimo, tras haber obtenido resultados de las prácticas de laboratorio. Así mismo, en el enfoque descriptivo, estas recomendaciones se describieron paso por paso, lo cual permitió realizar un diseño óptimo del sistema de drenaje de aguas lluvias.

En este proyecto se realizaron prácticas experimentales a las que se sometieron las estructuras como lo son las rejillas y los tragantes, con los dimensionamientos y ubicación, que se proponen en el Código Nacional de Fontanería y la NTC 1500; para el sistema de drenajes y recolección de aguas lluvias en edificaciones y sus áreas privadas, probándolas en distintas variaciones, mediante un prototipo de regadera en la que se proporcionan distintas intensidades de lluvias, y se recolecta en un prototipo para ensayar las estructuras del sistema de drenaje; para así obtener una serie de recomendaciones y tablas para el diseño de un sistema de drenaje de las aguas pluviales en cubiertas y áreas privadas en edificaciones; para que su rendimiento y desarrollo sea óptimo.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

4.1 CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO

Para la realización de los ensayos de laboratorio, de cada una de las estructuras hidráulicas, se construyó un prototipo en las instalaciones pertinentes; como lo es el laboratorio de hidráulica de la Universidad de Cartagena. Dicho prototipo, consistente en un área de cubierta de 1m^2 , un tanque de 1m^3 de volumen, con una regadera (la cual fue intervenida, haciéndole una serie de perforaciones u orificios de 2 ml para simular la lluvia) en la parte superior.

Del mismo modo, también consta de un tanque de suministro, con una tubería de $\frac{1}{2}$ ", y en su parte inferior, se colocó la rejilla o tragante para realizar los ensayos pertinentes a cada una de las estructuras encontradas en el mercado, como se muestra en la imagen N° 8.

Cabe anotar, que el prototipo, fue construido con un material similar a un plástico con vestiduras de vidrio, comúnmente conocido como acrílico; el cual se sostuvo sobre una estructura metálica de aluminio y fue sellado con silicona líquida.

El prototipo, y todo el sistema para obtención de los datos, se construyó con un tanque elevado, una bomba centrífuga, tuberías de conducción de agua y un tanque bajo para recolección; con el fin de captar el volumen que puede drenar con cada estructura.

A continuación se muestra el sistema empleado en dicho proceso.

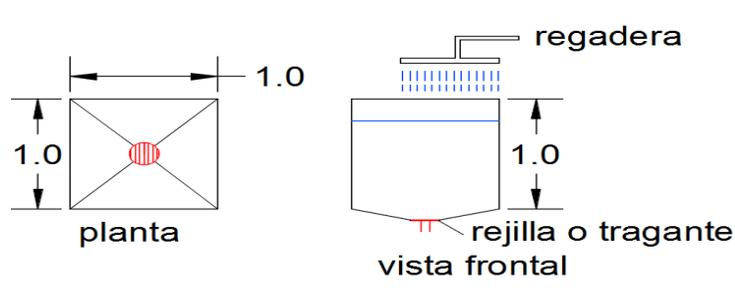


Imagen 11. Prototipo para medir la capacidad de las rejillas y dragantes.

Tomado de (Autor, 2015).



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

Para poder llevar a cabo los ensayos; se utilizó un tanque de suministro, bomba centrífuga de 2hp, válvulas de control, una regadera para simular la lluvia (intensidad de 180mm) y tubería de conducción de agua.

A continuación, se describen cada una:

- **Bomba centrífuga:** También conocida como Roto-dinámica. Es una de las máquinas más utilizadas para la impulsión de líquidos a una presión deseada. Se encargan de transformar la energía mecánica en un impulsor de energía cinética.
- **Tanque de suministro:** Contiene cierto volumen para que el esquema empleado pueda suministrar de manera oportuna la cantidad de agua que se necesita para simular una lluvia de 180mm. En este caso se utilizó un tanque de 5000 litros.
- **Válvulas de control:** Una válvula es un aparato mecánico que puede iniciar, parar o regular la circulación de líquidos y gases por medio de una pieza móvil que abre, cierra o detiene parcialmente el fluido de dicho líquido o gas. Para nuestra investigación se colocó una válvula de $\frac{1}{2}$ " de diámetro, para regular la entrada de agua desde la bomba a la tubería de conducción y de la tubería a la regadera para simular la lluvia deseada.
- **Regadera:** Es un aparato que sirve para conducir líquido (para ser regado o expandido en cierta parte). En este trabajo, se hizo una con orificios de 2 mm de diámetro, para poder obtener una lluvia de 180 mm.
- **Tubería de conducción:** Como su nombre lo dice es una tubería que se encarga de transportar el líquido para su posterior disposición; este va desde la bomba hasta la regadera de simulación.

El montaje de todo el esquema se realizó en el laboratorio de hidráulica, (con la ayuda de los auxiliares de laboratorio). Para este montaje, se tuvo el siguiente esquema (con el fin de obtener los resultados para la elaboración de unas recomendaciones específicas para la instalación de estructuras como lo son las rejillas y tragantes).



ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.

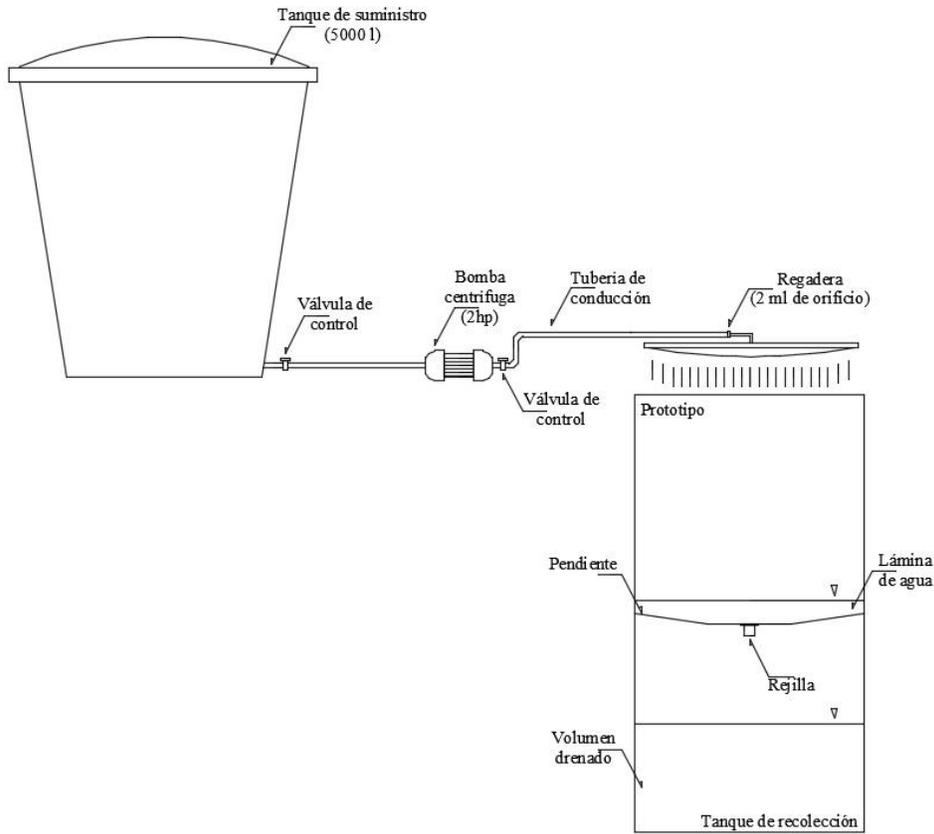


Imagen 12. Esquema del prototipo en vista frontal empleado en el laboratorio.

(Autor, 2015)

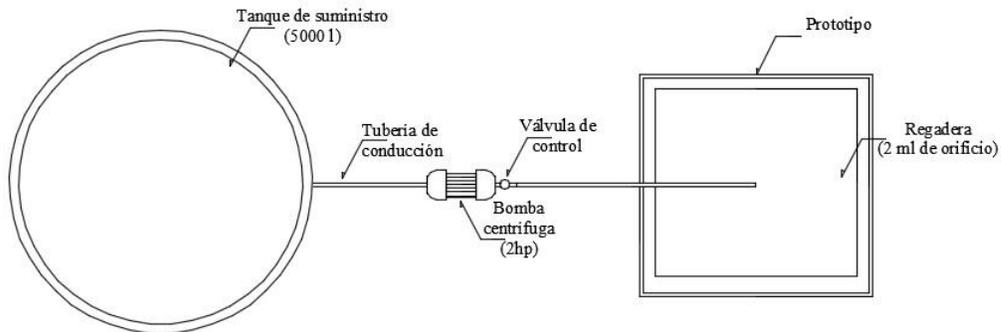


Imagen 13. Esquema del prototipo en planta empleado en el laboratorio.

(Autor, 2015)



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

4.2 ENSAYOS PARA PROBAR EL FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO

Para la realización de los ensayos se utilizaron rejillas tipo estándar y rejillas anti-insectos, las cuales se encontraron en el mercado, con diámetros de entrada de 3", 4" y 5" y diámetros de salida de 2", 3" y 4" respectivamente; a su vez se utilizaron tragantes con diámetros de entrada de 4" y 5" y diámetros de salida de 2", 3" y 4". Luego se elaboró un formato para la recolección de datos.

Para la simulación de una lámina de 5 cm de agua, transcurrió un tiempo de 5 minutos en una lluvia de 180 mm de intensidad, luego de dar apertura a todo el esquema propuesto; desde el arranque de la bomba hasta la apertura total de las válvulas.

4.2.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

Se parte del punto de la construcción del prototipo, el cual se diseñó con el fin de probar 1 m³ de agua para cada una de las estructuras ensayadas, con perfiles en aluminio, y utilizando un acrílico como paredes laterales. Probamos que no tuviera filtraciones para evitar el escape de agua, luego realizamos las mediciones a las rejillas y tragantes para comprobar que el orificio donde se anclan estuviera en buen funcionamiento y proceder a la muestra de ensayos.

Para la muestra de ensayos comenzamos con un estudio del comportamiento hidráulico de cada una de las estructuras, (rejillas y tragantes) detallando volúmenes, tiempos y áreas de captación, a su vez comprobando el funcionamiento cuando la regadera tenga la intensidad máxima de 180mm, obteniendo así, el caudal de cada una de las estructuras. El ejercicio de las mediciones se realizó con cada una de las rejillas y tragantes a analizar.

Con el fin de que los ensayos tuvieran una buena toma de datos, se colocaron las rejillas y tragantes a funcionar como vertedero, esto se pudo hacer, una vez transcurrido un lapso de solo 3 minutos de la simulación de la lluvia intensa de 180 mm, donde la lámina de agua no superaba los 3 cm, se esperaba que al tener una lámina de agua de 5 cm o mayor pudieran tener esta función, pero se logró conseguir que trabajara como un orificio, colocando dicho orificio como un tubo lleno.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

Por otra parte, para la obtención de una lluvia de 180 mm fue necesario tener una potencia de 2 HP en la bomba, de tal forma que ésta le diera la impulsión necesaria para suministrar la cantidad requerida a la regadera, y recorriera la tubería.

Para que la regadera simulara la lluvia intensa, se tuvo que abrir totalmente la válvula de control, obteniendo así la lámina de 5cm (se regulaba su paso para poder realizar la toma de datos).

Luego de verificar el funcionamiento del esquema con el prototipo, se inició la recolección de datos. Para ello, se tomaron medidas de las láminas formadas en cierto tiempo, estas se medían con un flexómetro para saber cuál era su altura, y al tener una lámina de 5 cm se medía el tiempo en que se formaba.

A su vez se midió el tiempo que transcurría en realizar el drenaje; este tiempo se media con un cronometro, también se tomó el volumen que drenaba cada una de las estructuras en dicho lapso de tiempo.

Luego de finalizar los ensayos y de obtener nuestros resultados de laboratorio pasamos a la elaboración de un manual que contiene recomendaciones a la hora de utilizar rejillas y tragantes para un sistema de drenaje de aguas lluvias en cubiertas y áreas comunes de edificaciones.

4.2.2 FORMATO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

De los ensayos realizados, se propone una tabla y cómo trabaja cada elemento estructural de la modelación; estas estructuras en el comercio tienen dimensiones de entrada y salida, ya que iban montadas sobre un elemento estructural para que realizaran su función. Estas estructuras comercialmente varían así:

- ✓ Rejillas anti-insectos con diámetros de 3" a 2", 4" a 3" y 5" a 4"
- ✓ Rejillas estándar o de ranuras con diámetros de 3" a 2", 4" a 3" y 5" a 4"
- ✓ Tragantes con diámetros de 4" a 2", 4" a 3" y 5" a 4"



ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Se ensayaron como vertedero y se mostró su funcionamiento como un orificio, sobrecargando la estructura del sistema de drenaje. Los datos se tomaron con respecto a un tiempo de lluvia de 1 minuto y otros con respecto a una lámina de agua de 5 cm para formar un volumen, de esto se tienen los siguientes cuadros para la recolección de datos:

Tabla 1. Modelo de tabla para la el procesamiento de datos

TIPO DE REJILLA					
Diámetro (pul)	Dato	Tiempo (s)	Lámina de agua (cm)	Volumen drenado (L)	Observaciones
3" a 2"	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
4" a 3"	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
5" a 4"	1				
	2				
	3				
	4				
	5				

Tomado del (Autor, 2015).



ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Del cuadro 1, los datos que se tomaron fueron medidos por un tiempo de lluvia de un minuto, con el fin de obtener la lámina de agua que se forma en este tiempo transcurrido, a su vez, se midió el volumen de agua que era capaz de drenar, también tuvo unas observaciones de cómo fue su comportamiento, si trabajó como un orificio o como un vertedero. En el prototipo se cambió cada una de las estructuras a ensayar con el fin de obtener así los resultados deseados.

Tabla 2. Modelo de tabla de procesamientos de datos

Tipo de rejilla o tragante con tirante de 5(cm)				
Diámetro (pul)	Dato	Volumen drenado (cm³)	Tiempo de drenaje (s)	Observaciones
4" a 2"	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
4" a 3"	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
5" a 4"	1			
	2			
	3			
	4			
	5			

Tomado del (Autor, 2015)



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO
DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN
CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE
EDIFICACIONES.**



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

Del cuadro 2, se tomó como medida principal una lámina de agua de 5cm con un volumen de 50.000 cm^3 , esta lamina se generó luego de dejar la válvula de control abierta, con el fin de obtener el tiempo que demoró en drenar el volumen de agua ya mencionado, y así poder datar a cuanta área podía drenar una estructura en m^2 , en donde se obtuvo la información para demostrar el comportamiento hidráulico del sistema de drenaje de aguas lluvias.

Las áreas permitidas de cubierta en metros, para cada intensidad de lluvia (en este caso las más elevadas para la ciudad de Cartagena en 180,8 mm) con pendientes de 0%, (ya que en tuberías verticales no se trabajan con pendientes).

En el cuadro anterior se tienen datos para cada uno de los parámetros ya indicados. Se ejecutan 5 ensayos a cada estructura de diferente diámetro y con pendientes de 0%, para así tener datos suficientes para el estudio del comportamiento hidráulico del sistema de drenaje de aguas pluviales. Con los datos obtenidos se realizaron graficas de caudal vs intensidad de lluvia por cada elemento a evaluar, y se propusieron rangos para la utilización de las estructuras.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

4.3 MONTAJE DEL PROTOTIPO

Según lo sugerido por el Ingeniero Ramón Andrade y el asistente de laboratorio se realizó el montaje del prototipo, como se indica en la imagen 10 y 11



Imagen 14. Elementos del prototipo instalado en el laboratorio para probar las estructuras de drenaje.

A: Derecha, tanque y sistema de bombeo

B: Prototipo con regadera

Tomada del (Autor, 2015)



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL



Imagen 15. Prototipo instalado en el laboratorio. Tipos de rejillas y tragante

- 1: rejilla anti-insectos
- 2: tragantes tipo cúpula
- 3: rejilla estándar

Tomada del (Autor, 2015)



Imagen 82. Rejillas y Tragantes utilizadas

- 1: rejilla anti-insectos
- 2: tragante tipo cúpula
- 3: rejilla estándar

Tomado del (Autor ,2015).



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO
DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN
CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE
EDIFICACIONES.**



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

Una vez realizada la recolección de información de los ensayos hechos en la práctica de laboratorio, se determinó el caudal máximo que pueden recolectar y transportar el sistema de drenaje de aguas lluvias en edificaciones; este caudal se mide en m^3/h de lluvia una velocidad de m/s , con el fin de calcular la capacidad que se propone en la metodología a determinar.

Se recolectaron 5 datos por cada estructura, donde se obtuvo el volumen drenado en un tiempo de 60 segundos, el cual fue el tiempo de muestra para el análisis de dichos datos; para un total de 45 datos en el ensayo del volumen drenado en 1 minuto de tiempo. Por otro lado, se tomaron otros 5 datos por cada estructura, drenando 50.000 cm^3 de agua, para un total de 45 datos, en el ensayo de tiempo que demora en drenar el volumen de drenaje. En su totalidad, se obtuvieron 90 datos.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Basados en las normas y documentos (Código Nacional de Fontanería (NTC 1500) y el RAS 2000) que datan o tratan sobre el comportamiento hidráulico de las estructuras que conforman un sistema de drenaje de aguas lluvias en las edificaciones, en las zonas como cubiertas, balcones, áreas libres y áreas comunes; como lo son las rejillas y tragantes; fueron fuentes vitales de información y sirvieron como guía principal para llevar a cabo la correcta ejecución del proyecto.

Estas normas contienen las especificaciones y alineamientos para el diseño de un sistema de drenaje de aguas lluvias, principalmente el Código Nacional de Fontanería (NTC 1500). Para la realización de una metodología de diseño se encontró que la línea fabricante o diseñadora de las estructuras de un sistema de drenaje (PAVCO) una conocida como QUICKSTREAM BAJA, muestra cómo se realiza la instalación de tragantes especiales creados por dicha marca fabricante. La norma colombiana propone cómo realizar la elección de un área aferente de captación de las aguas lluvias para cada estructura, su diámetro, el volumen drenado y su caudal.

5.1 *COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE LAS REJILLAS Y TRAGANTES*

El estudio propuesto en este proyecto, yace en estudiar el funcionamiento y diseño de los sistemas de drenajes de aguas lluvias cuando existe una lluvia en gran intensidad mediante el comportamiento hidráulico, como objetivo principal se buscó que dicho sistema fuese capaz de drenar las aguas ocasionadas en lluvia fuertes sin que ocurra colapso y trabajen óptimamente cuando esto suceda, teniendo en cuenta la medición de los volúmenes drenados y áreas de aferencia para cada rejilla y tragante según su diámetro comercial.



De las pruebas realizadas en el laboratorio, se obtuvo la siguiente información:

Nota: Se define drenaje lento como la capacidad de salida de agua en forma sosegada; el drenaje rápido es la capacidad de salida de agua en forma dinámica y por último el drenaje medio que es una variación oscilante entre el drenaje lento y el rápido.

Tabla 3. Datos obtenidos en laboratorio para Rejillas Anti-Insecto.

REJILLA ANTI-INSECTOS					
Diámetro (pul)	Dato	Tiempo (s)	Lámina de agua (cm ³)	Volumen drenado (cm ³)	Observaciones
3" a 2"	1	60	2,2	80000	No se forma anillo y el drenaje es lento
	2	60	2,3	81000	
	3	60	2,1	80000	
	4	60	2,3	81000	
	5	60	2,2	80200	
4" a 3"	1	60	1,8	82000	Forma un anillo entre abierto y su drenaje es medio
	2	60	1,9	83000	
	3	60	1,9	82000	
	4	60	1,8	83000	
	5	60	1,7	81000	
5" a 4"	1	60	1,6	85000	Forma un anillo abierto y su drenaje es rápido
	2	60	1,5	85000	
	3	60	1,7	84000	
	4	60	1,6	85000	
	5	60	1,5	86000	

Tomado del (Autor, 2015)

De la anterior tabla, se dedujo que las rejillas anti-insectos con diámetro de 3" de entrada y 2" de salida, no permite drenar rápidamente el agua en un evento pluvial, y que las rejillas con diámetro de entrada de 5" y 6" de salida, tienen un drenaje rápido y fluido.



Tabla 4. Datos obtenidos en laboratorio para rejillas estándar

REJILLAS ESTÁNDAR O DE RANURAS					
Diámetro (pul)	Dato	Tiempo (s)	Lámina de agua (cm)	Volumen drenado (cm ³)	Observaciones
3" a 2"	1	60	2,1	85000	Forma un anillo que se cierra y se abre y drena lentamente
	2	60	1,9	90000	
	3	60	2	90000	
	4	60	2	89000	
	5	60	2	90000	
4" a 3"	1	60	1,5	102000	Forma un anillo entre abierto y drenaje medio
	2	60	1,5	103000	
	3	60	1,6	100000	
	4	60	1,4	100000	
	5	60	1,5	103000	
5" a 4"	1	60	1,3	123000	Forma un anillo visible y buen drenaje
	2	60	1,3	124000	
	3	60	1,2	125000	
	4	60	1,1	123000	
	5	60	1,2	124000	

Tomado del (Autor, 2015).

De la anterior tabla, se dedujo que al igual que las rejillas anti-insectos, las rejillas estándar o de ranuras, drenan rápidamente para los diámetros de 5" de entrada y 4" de salida; y para las rejillas de 4" de entrada y 3" de salida, lo hacen de forma aceptable con una lámina de agua de 1.2 a 1.5cm en promedio de espesor.



Tabla 5. Datos obtenidos en laboratorio para rejillas Tragantes.

TRAGANTES					
Diámetro (pul)	Dato	Tiempo (s)	Lámina de agua (cm)	Volumen drenado (cm ³)	Observaciones
4" a 2"	1	60	2	106000	Anillo visible y drenaje medio
	2	60	1,9	100500	
	3	60	2,1	103000	
	4	60	2	100000	
	5	60	1,9	107000	
4" a 3"	1	60	1,7	132000	Anillo visible y buen drenaje
	2	60	1,8	131000	
	3	60	1,9	133000	
	4	60	1,8	132700	
	5	60	1,7	134000	
5" a 4"	1	60	1,3	153800	Anillo visible y buen drenaje
	2	60	1,1	140000	
	3	60	1,2	141100	
	4	60	1,3	139200	
	5	60	1,2	140000	

Tomado del (Autor, 2015).

De las tablas 3, 4 y 5 mostradas anteriormente, se tienen datos tales como el volumen de agua drenado en un minuto de lluvia simulado para cada uno de los diámetros encontrados comercialmente, a su vez la generación de una lámina de agua; como se observa, los tragantes de diámetro de 5" de entrada y 4" de salida, a su vez que los de diámetros de 4" de entrada y 3" de salida presentan un drenaje rápido, el cual los hace más favorables o factibles, porque su drenaje es mayor, ya que éstos forman una lámina de agua de 1.2 a 1.8 cm en promedio de espesor.



Tabla 6. Datos obtenidos en el laboratorio para tragantes con tirantes de 5cm.

TRAGANTES CON TIRANTES DE 5 cm				
Diámetro (pul)	Dato	Volumen drenado (cm ³)	Tiempo de drenaje (s)	Observaciones
4" a 2"	1	50000	20,27	Buen drenaje
	2	50000	21,05	
	3	50000	20,57	
	4	50000	21,3	
	5	50000	20,57	
4" a 3"	1	50000	18,52	Buen drenaje
	2	50000	17,47	
	3	50000	17,38	
	4	50000	18,03	
	5	50000	17,09	
5" a 4"	1	50000	14,52	Buen drenaje
	2	50000	14,38	
	3	50000	14,07	
	4	50000	13,58	
	5	50000	14,06	

Tomado del (Autor, 2015).

De la anterior tabla se dedujo, que para las láminas de agua de 5cm de espesor, (representando una lluvia de 180 mm y con un período de retorno de 15 años) los tragantes ensayados presentaron un buen drenaje, ya que sus espesores de la lámina de agua, dataron entre 14.5 cm y 20.5cm en promedio, para diámetros de 5" de entrada y 4" de salida, 4" de entrada y 3" de salida y, 4" de entrada y 2" de salida.



Tabla 7. Datos obtenidos en el laboratorio para rejillas Anti-insectos con tirante de 5cm.

REJILLA ANTI INSECTOS CON TIRANTE DE 5 cm				
Diámetro (pul)	Dato	Volumen drenado (cm ³)	Tiempo de drenaje (s)	Observaciones
3" a 2"	1	50000	27	drenaje lento
	2	50000	26,47	
	3	50000	27,2	
	4	50000	27,32	
	5	50000	26,56	
4" a 3"	1	50000	22,4	drenaje medio
	2	50000	21,56	
	3	50000	23,57	
	4	50000	22,3	
	5	50000	21,56	
5" a 4"	1	50000	19,5	buen drenaje
	2	50000	20,1	
	3	50000	18,7	
	4	50000	19,57	
	5	50000	20,57	

Tomado del (Autor, 2015)

De la anterior tabla se dedujo, que para las láminas de agua de 5cm de espesor, (representando una lluvia de 180 mm y con un período de retorno de 15 años) las rejillas anti-insecto ensayadas presentaron un drenaje variable, ya que sus espesores de la lámina de agua, dataron entre 19.5 cm y 27cm en promedio, de los cuales sólo la rejilla de diámetro de 5" de entrada y 4" de salida fue de la que se obtuvo un buen drenaje, ya que su menor lámina de agua fue de 19.5 cm de espesor, obteniendo que las rejillas de 3" de entrada y 2" de salida, no tuvo un drenaje bueno, ya que su lámina fue de 27 cm de espesor.



Tabla 8 . Datos obtenidos en laboratorios para rejillas estándar.

REJILLA ESTÁNDAR O DE RANURA CON TIRANTE DE (5 cm)				
Diámetro (pul)	Medición	Volumen drenado (cm³)	Tiempo de drenaje (s)	Observaciones
3" a 2"	1	50000	24,05	Drenaje medio
	2	50000	24,32	
	3	50000	24,04	
	4	50000	25	
	5	50000	24,57	
4" a 3"	1	50000	22,07	Drenaje medio
	2	50000	20,07	
	3	50000	21,93	
	4	50000	20,12	
	5	50000	20,48	
5" a 4"	1	50000	18,37	Buen drenaje
	2	50000	19,22	
	3	50000	18,33	
	4	50000	19,37	
	5	50000	18,57	

Tomado del (Autor del 2015).

De la anterior tabla se dedujo, que para las láminas de agua de 5cm de espesor, (representando una lluvia de 180 mm y con un período de retorno de 15 años) las rejillas estándar o de ranuras ensayadas presentaron un drenaje variable, ya que sus espesores de la lámina de agua, dataron entre 18,3cm y 24,40 cm en promedio, de los cuales solo la rejilla de diámetro de 5" de entrada y 4" de salida fue de la que se obtuvo un buen drenaje, ya que su menor lámina de agua fue de 19.5 cm de espesor, obteniendo que las rejillas de 3" de entrada y 2" de salida, obtuvo un drenaje lento, ya que su lámina fue de 24,32 cm de espesor.



En las tablas 6,7 y 8, se muestra el tiempo que duran en drenar 50000 cm³ en volumen de agua; el cual fue utilizado para todas las estructuras ensayadas al igual que el mismo caudal de drenaje. De estas se tomaran los promedios para tener una mejor muestra de lo que se quiere demostrar con el proyecto; se tiene de la siguiente manera:

Tabla 9. Promedios de resultado para Rejilla Anti-insecto; para un tiempo de 60 segundos de una lluvia de 180 mm.

Rejilla Anti-insectos			
Diámetro (pul)	Tiempo	Lámina de agua promedio (cm)	Caudal promedio (cm ³ /s)
3" a 2"	60	2,22	80440
4" a 3"	60	1,82	82200
5" a 4"	60	1,58	85000

Tomado del (Autor, 2015).

Tabla 10. Promedios de resultado para Rejilla Estándar; para un tiempo de 60 segundos de una lluvia de 180 mm.

Rejilla Estándar			
Diámetro (pul)	Tiempo	Lámina de agua promedio (cm)	Caudal promedio (cm ³ /s)
3" a 2"	60	2	88800
4" a 3"	60	1,5	101600
5" a 4"	60	1,22	123800

Tomado del (Autor, 2015).

Tabla 11. Promedio de resultados de tragantes; para un tiempo de 60 segundos de una lluvia de 180 mm.

Tragantes			
Diámetro (pul)	Tiempo (s)	Lámina de agua promedio (cm)	Caudal promedio (cm ³ /s)
3" a 2"	60	1,98	103300
4" a 3"	60	1,78	132540
5" a 4"	60	1,22	142820

Tomado del (Autor, 2015).



Tabla 12. Promedio de tiempo para tirante en rejilla anti-insectos; con una tirante de 5 cm de lámina de agua.

Rejilla Anti-insectos			
Diámetro (pul)	Tiempo (s)	Tirante de agua promedio (cm)	Caudal promedio (cm^3/s)
3" a 2"	26,91	5	50000
4" a 3"	22,278	5	50000
5" a 4"	19,688	5	50000

Tomado del (Autor, 2015).

Tabla 13. Promedio de tiempo para tirante en rejilla estándar; con una tirante de 5 cm de lámina de agua.

Rejilla Estándar			
Diámetro (pul)	Tiempo (s)	Tirante de agua promedio (cm)	Caudal promedio (cm^3/s)
3" a 2"	24,396	5	50000
4" a 3"	20,934	5	50000
5" a 4"	18,772	5	50000

Tomado del (Autor, 2015).

Tabla 14. Promedio de tiempo para tirante en tragantes; con una tirante de 5 cm de lámina de agua.

Tragantes			
Diámetro (pul)	Tiempo (s)	Tirante de agua promedio (cm)	Caudal promedio (cm^3/s)
3" a 2"	20,752	5	50000
4" a 3"	17,698	5	50000
5" a 4"	14,122	5	50000

Tomado del (Autor, 2015).



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO
DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN
CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE
EDIFICACIONES.**



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

Los resultados de este proyecto, mostraron que todas las rejillas trabajan en una lluvia torrencial, pero su comportamiento es variable, ya que las estructuras (rejillas y tragantes) de mayor diámetro (como lo son las de 5" de entrada y 4" de salida) tienen un mejor drenaje y mayor volumen de salida de agua, también tienen una mayor área de aferencia; lo que las hace eficaces a la hora de implementar un sistema de drenaje de aguas lluvias; estas deben trabajar como sumidero en las cubiertas y áreas libres de las edificaciones, pero con una objeción técnica y estética. Se propone, pues, que en los pasillos, áreas comunes y balcones trabajen a nivel del piso, pero con una función de vertedero.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente (con base a los datos obtenidos), se generaron una serie de nuevos interrogantes, al compararlos con los propuestos por las normas del país, especialmente el RAS y el Código Nacional de Fontanería (NTC 1500), ya que muchas de las variables estudiadas le dan paso a condicionar lo que aquí se propuso y se estudió.

Anteriormente no se habían datado estudios sobre el comportamiento hidráulico de los sistemas de drenaje de aguas lluvias, por tanto, este proyecto buscó proporcionar la información para que diseñadores, técnicos e instaladores de sistemas de drenajes tengan una selección de estas estructuras y su trabajo sea más eficiente en lo que respecta a una torrencial lluvia; desde el punto de vista técnico, económico, ambiental y social. En cuanto al análisis técnico-económico, el proyecto mostró, que al seleccionar correctamente las rejillas y tragantes, los diseñadores tendrán técnicamente un mejor desempeño en su sistema, gracias al aumento del área de aferencia, proporcionando disminución de los costos en el sistema de drenaje de aguas lluvias.

Para dar certeza de lo mencionado en el párrafo anterior, se debió tener en cuenta la colocación de cada uno de los elementos, lo cual se muestra a continuación:

Se obtuvo el área de aferencia sabiendo que:

$$Q = C * I * A$$



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

En donde:

$$Q = \text{Caudal (cm}^3/\text{s)}$$

$$C = \text{Escorrentía}$$

$$I = \text{Intesidad de lluvia } \left(\frac{\text{mm}}{\text{hr}} \text{ o } \frac{\text{L}}{\text{min}} \right)$$

$$A = \text{Área a evacuar (m}^2\text{)}$$

De aquí despejamos el área, luego de calcular el caudal y sabiendo que

$$C = 1$$

$$I = 180 \text{ mm/hora Lo que es igual a: } = 0,05 \text{ L/min}$$

5.2 ANALISIS DE DATOS

Para el análisis de los datos obtenidos, se buscó que la lámina de agua formada fuese máximo de 1 cm de espesor, con el fin de evitar colapsos en el sistema de drenaje de aguas lluvias, y establecer cuál es el área de aferencia de cada una de las estructuras estudiadas. Para esto se tiene, que la fórmula propuesta por KEIBY se calcula el caudal para rejillas y tragantes, dado que:

$$LR = \frac{Q}{ecb\sqrt{2gE}}$$

Donde

$LR = \text{longitud de aberturas de las rejillas (M)}$

$e = \text{relción en el área de aberturas y área total de la rejilla (M)}$

$c = \text{coeficiente de descarga a través de las aberturas}$

$b = \text{ancho total de las rejillas (M)}$

$E = \text{energía específica (M)}$



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

Para el cálculo del caudal Q se despejó de la ecuación anterior obteniendo:

$$Q = LR ecb\sqrt{2gE} \text{ (cm}^3/\text{s)}$$

Donde

$$c = 0.5$$

$$e = \frac{a}{A}; a = \text{área de orificios y } A = \text{área de la rejilla}$$

Para el cálculo de la Energía $E = \frac{V}{2g}$; $V =$ velocidad.

La velocidad se calculó dependiendo del tiempo de concentración dado por:

$$tc = 1,44 \left(\frac{L \cdot m}{s^2} \right)^{0,467}; L = \text{lámina de agua y } m = 0,02$$

De las ecuaciones mencionadas anteriormente, se realizó un ejemplo muestra, y los demás datos fueron tabulados para comprobar de una forma más didáctica la finalidad del proyecto; por ejemplo tomamos una rejilla de 2”

Dónde:

$$LR = 0,21 \text{ mts}$$

$$c = 0.5$$

Y la pendiente es de 0,5%

Se calculó el tiempo de concentración sabiendo que la lámina de agua es de 1 cm.

$$tc = 1,44 \left(\frac{1 \times 0,02}{0,005^2} \right)^{0,467}$$

$$tc = 0,789 \text{ min}$$

$$tc = 47 \text{ s}$$

Donde el prototipo de diseño tuvo 1 metro en cada uno de sus lados entonces:

$$V = \frac{1}{47} = 0,02 \text{ m/seg}$$



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

Se calcula la energía

$$E = \frac{0,02}{2g}$$

$$E = 0,001$$

De lo anterior se entiende, que la energía es muy baja, lo cual se hace despreciable; por tanto, pasamos a calcular el caudal:

$$Q = LR ecb\sqrt{2gE}$$

$$Q = 0,21 * 0,5 * 0,0015 * \sqrt{2 * 9,8 * 1000}$$

$$Q = 0,488$$

Con el caudal, calculamos el área despejando de la ecuación

$$Q = C * I * A$$

$$A = \frac{Q}{C * I}$$

$$A = \frac{0,488}{1 * 0,05}$$

$$A = 9,76 \text{ m}^2$$

Del ejemplo anterior calculamos el área de referencia, para cada una de las estructuras estudiadas y que se encuentran actualmente en el mercado.

Tabla 15. Caudales y Áreas de captación Rejillas Anti-insectos; para una lámina de agua de 1 cm de espesor

Rejilla Anti-insectos					
Diámetro	Área orificio (cm ²)	Área de reja (cm ²)	LR (m)	Caudal (L/s)	Área de Captación (m ²)
3" a 2"	13,34	44,53	0,27	0,810	16,20
4" a 3"	18,27	79,16	0,378	1,52	30,4
5" a 4"	21,75	123,7	0,45	2,16	43,2

Tomado del (Autor, 2015).



Tabla 16. Caudales y áreas de captación de Rejillas Estándar; para una lámina de agua de 1 cm de espesor

Rejilla Estándar					
Diámetro	Área orificio (cm^2)	Área de reja (cm^2)	LR (m)	Caudal (L/s)	Área de Captación (m^2)
3" a 2"	27	44,53	0,30	1,790	35,80
4" a 3"	28,8	79,16	0,44	2,8	56
5" a 4"	56	123,7	0,88	10,9	218

Tomado del (Autor, 2015).

Tabla 17. Caudales y Áreas de captación para tragantes.; para una lámina de agua de 1 cm de espesor

Tragantes					
Diámetro	Área orificio (cm^2)	Área de reja (cm^2)	LR (m)	Caudal (L/s)	Área de Captación (m^2)
3" a 2"	42,75	79,16	0,27	0,810	16,20
4" a 3"	42,75	79,16	0,378	1,52	30,4
5" a 4"	63,75	123,7	0,45	2,16	43,2

Tomado del (Autor, 2015).

De las tablas 15, 16 y 17, se tuvo los caudales que pueden drenar y las áreas de captación de cada una de las rejillas comunes en el mercado.

De acuerdo a los datos obtenidos en el laboratorio, se tuvo que las estructuras trabajan como sumidero, y que las láminas de agua varían, por tanto se hizo énfasis, en que las recomendaciones propuestas, pretenden disminuir las láminas de aguas a 1cm o menos, de aquí tenemos que:



Tabla 18. Comportamiento hidráulico de una Rejilla Anti-insecto. En Cartagena; para una lamina de agua de 1 cm de espesor.

Rejilla Anti-insectos							
Diámetro	Área orificio (cm^2)	Área de reja (cm^2)	LR(m)	Lámina de agua (cm)	tc (s)	Vel (m/s)	Energía
3" a 2"	13,34	44,53	0,27	2,220	69,00	0,01	0,0051
4" a 3"	18,27	79,16	0,378	1,82	63	0,015	0,0076
5" a 4"	21,75	123,7	0,45	1,58	59	0,016	0,0081

Tomado del (Autor ,2015).

Tabla 19. Comportamiento hidráulico de una Rejilla Estándar. En Cartagena; para una lamina de agua de 1 cm de espesor.

Rejilla Estándar							
Diámetro	Área orificio (cm^2)	Área de reja (cm^2)	LR(m)	Lámina de agua	tc (s)	Vel (m/s)	Energía
3" a 2"	13,34	44,53	0,30	2,000	66,00	0,015	0,0076
4" a 3"	18,27	79,16	0,44	1,5	59	0,016	0,005
5" a 4"	21,75	123,7	0,88	1,22	53	0,018	0,0091

Tomado del (Autor, 2015).

Tabla 20. Comportamiento hidráulico de una Tragante. En Cartagena; para una lamina de agua de 1 cm de espesor.

Rejilla Tragantes							
Diámetro	Área orificio (cm^2)	Área de reja (cm^2)	LR(m)	Lámina de agua	tc (s)	Vel (m/s)	Energía
3" a 2"	13,34	44,53	0,95	1,980	65,00	0,015	0,0076
4" a 3"	18,27	79,16	0,95	1,78	63	0,015	0,007
5" a 4"	21,75	123,7	1,25	1,22	53	0,018	0,0091

Tomado del (Autor, 2015).



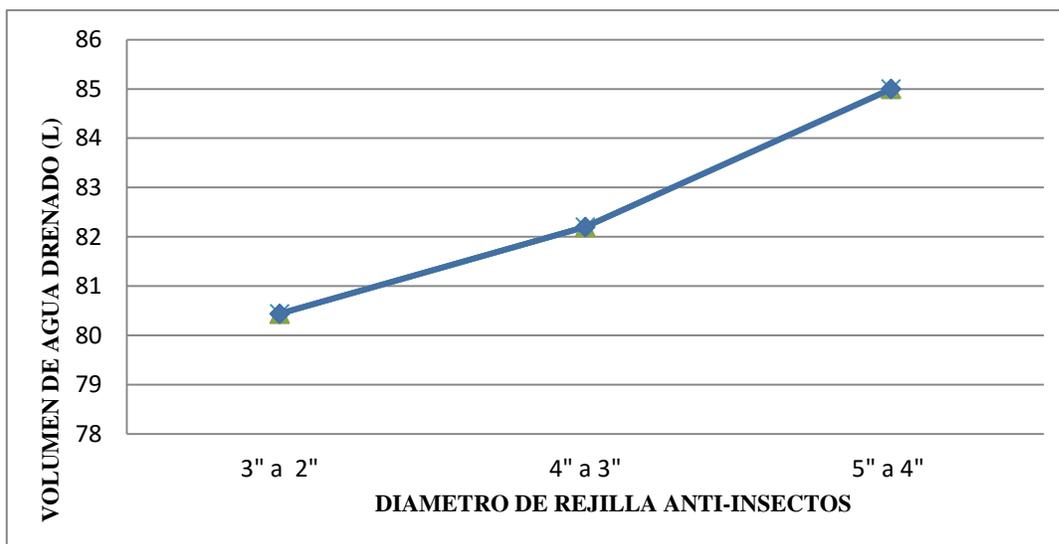
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



De acuerdo con las tablas 18, 19 y 20, se tuvo que el comportamiento hidráulico de las rejillas y tragantes como normalmente se proponen en el Código Nacional de Fontanería y el RAS, están trabajando de manera irregular, ya que están siendo sometidas a un sobre esfuerzo, por lo que tenemos que el cálculo de su área de aferencia es igual a como si tuviera una lámina de un cm. El inconveniente está en que el tiempo de retención es mayor, y se demorarían en drenar toda el agua generada por la lluvia.

Al evaluar el funcionamiento de las rejillas y tragantes, se demostró que es mejor colocar los tragantes para las cubiertas y áreas libres, mientras que para los balcones y áreas comunes se recomienda la utilización de rejillas estándar; ya que las rejillas anti-insectos no generan un trabajo óptimo para el drenaje de aguas lluvias.

De todo lo anterior se obtuvieron las siguientes gráficas para mostrar el comportamiento hidráulico de las rejillas y tragantes estudiados:

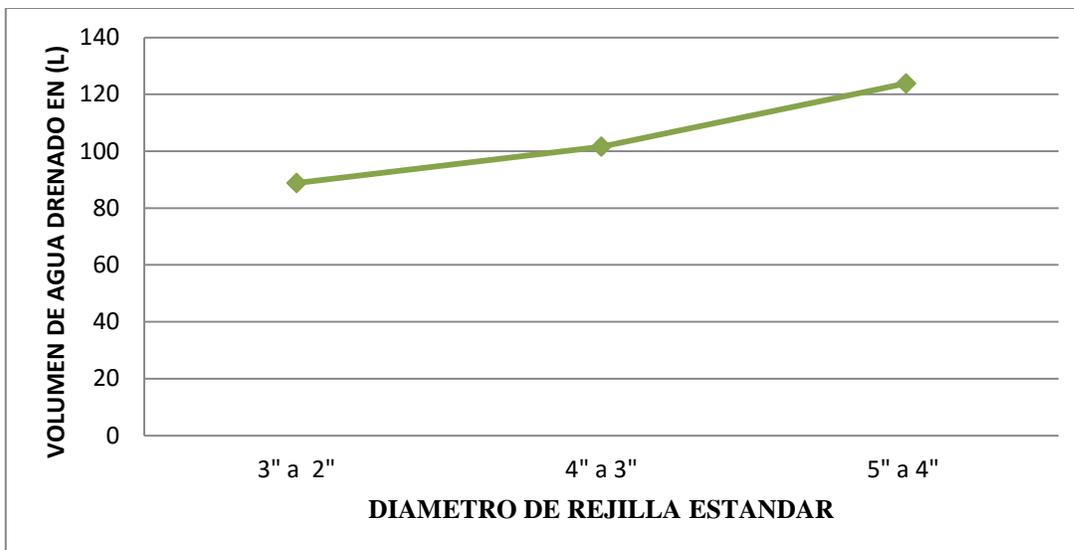


Gráfica 1. Volumen de agua drenado en (L) por Rejilla Anti-insecto; para 5 cm de lámina de agua.

Tomado del (Autor, 2015).

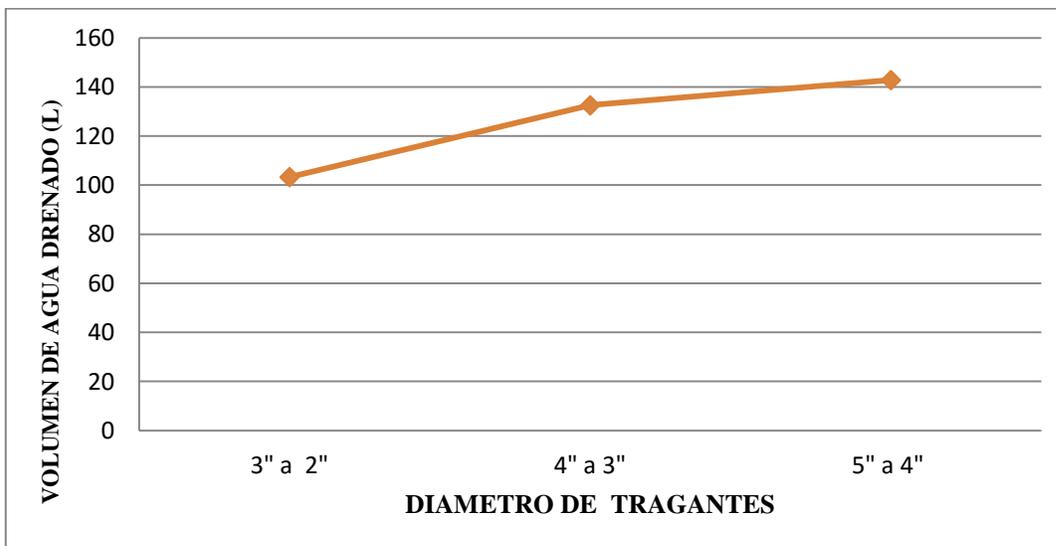


ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Gráfica 2. Volumen de agua drenado en (L) por Rejilla Estándar; para 5 cm de lámina de agua.

Tomado del (Autor, 2015).

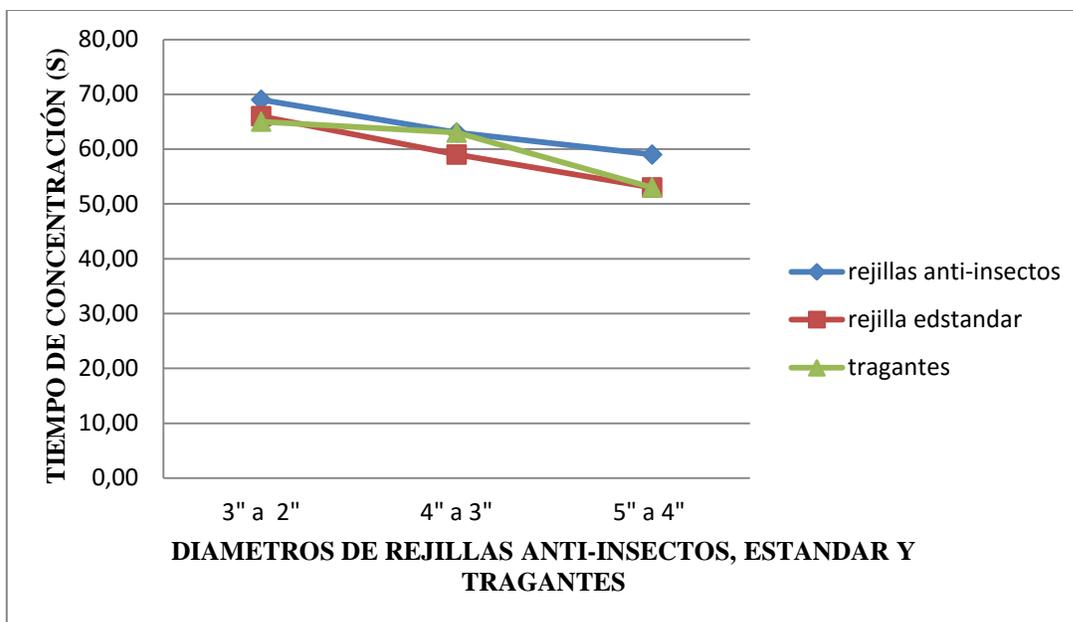


Gráfica 3. Volumen de agua drenado en (L) por Tragantes; para 5 cm de lámina de agua.

Tomado del (Autor, 2015).

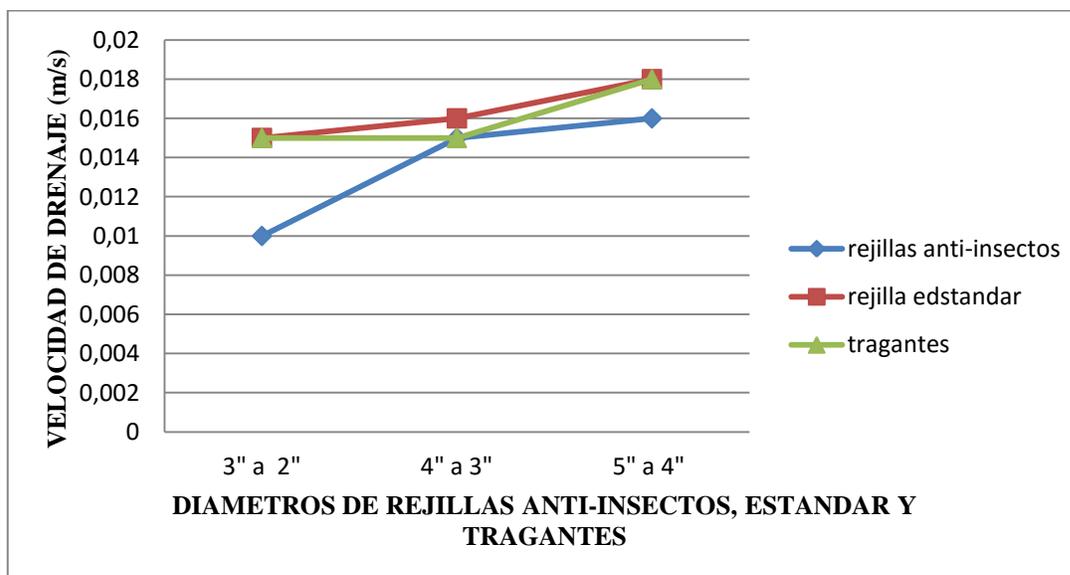


ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Gráfica 4. Tiempo de concentraciones en las estructuras estudiadas.

Tomado del (Autor, 2015).



Gráfica 5. Velocidad de desagüe en las estructuras estudiadas.

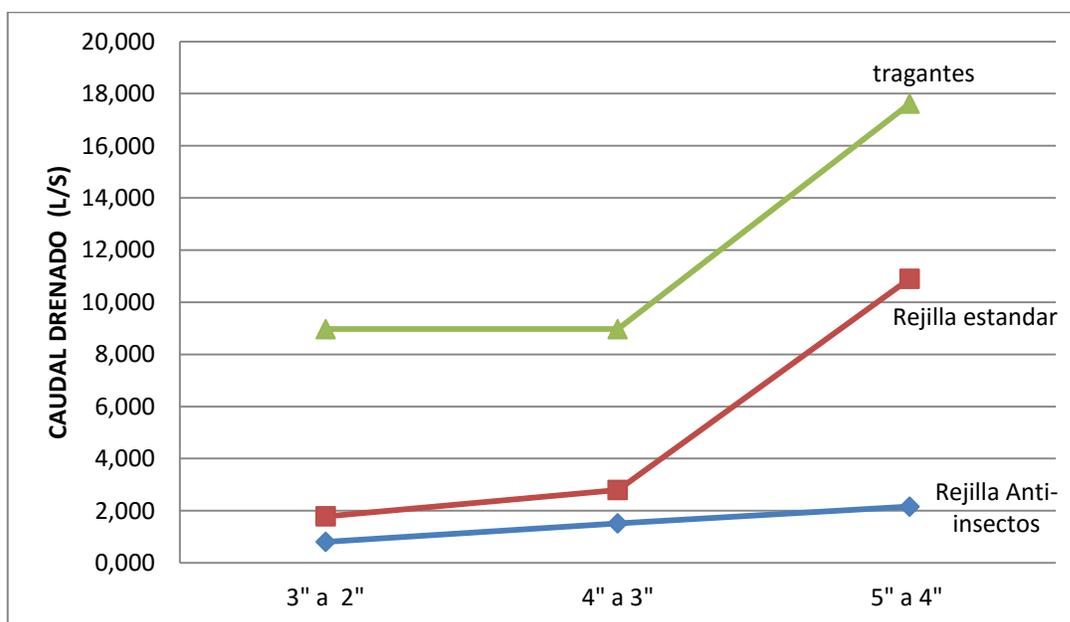
Tomado del (Autor, 2015).



ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.

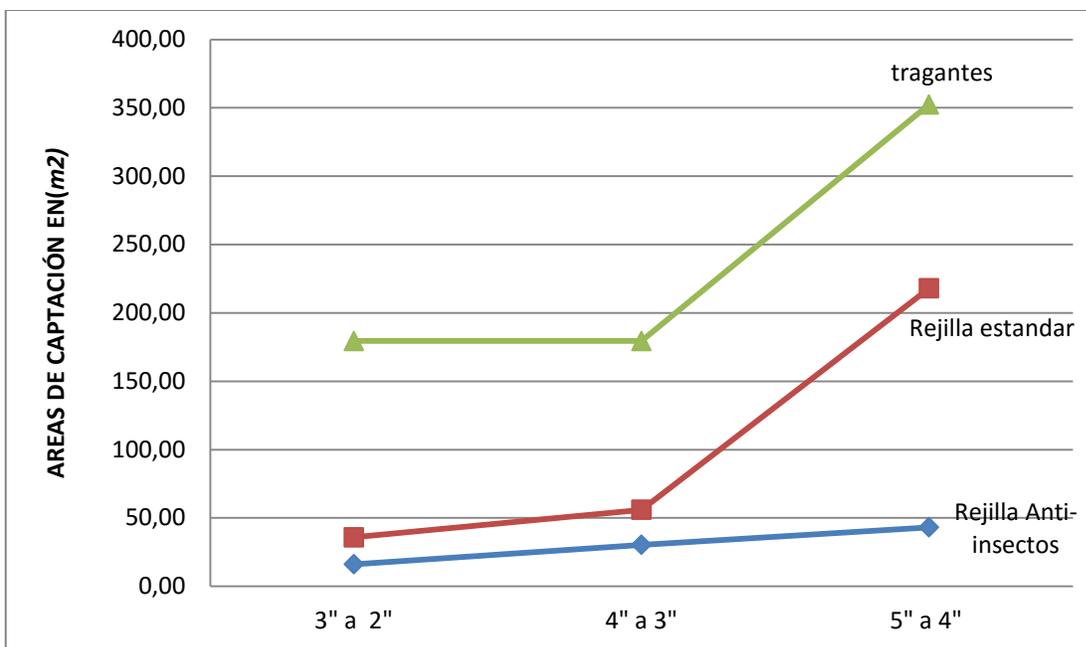


Las gráficas 1, 2 y 3, muestran el volumen que pueden drenar cada una de las estructuras en sus diámetros comerciales o más comunes. La grafica 4 muestra el tiempo de concentración de todas las estructuras, partiendo de su similitud y de la extensión del tiempo y la gráfica 5, muestra las velocidades de drenaje, en donde vimos que las rejillas anti-insectos tienen unas velocidades pequeñas, lo cual no las hace recomendables para su uso en las cubiertas, áreas libres, balcones y áreas comunes de las edificaciones para el sistema de drenaje de lluvias.



Gráfica 6. Caudales drenados en (L/s) para las estructuras analizadas.

Tomado del (Autor, 2015).



Gráfica 7. Área de captación (cm²) para las estructura analizadas.

Tomado del (Autor, 2015).

La gráfica 6, nos mostró cómo es el caudal, teniendo en cuenta que los tragantes tuvieron un buen caudal y los anti-insectos se mantuvieron de forma ascendente, es decir, a mayor diámetro, mayor caudal; mientras las estándar tuvieron una variación similar a la de los tragantes; y la gráfica 7, muestra el área de captación de las estructuras estudiadas, respectivamente. De lo cual pudimos deducir que es recomendable la utilización de tragantes y rejillas estándar en las cubiertas, áreas libres (áreas destechadas), balcones y áreas comunes de las edificaciones, para el sistema de drenaje de aguas lluvias de las mismas.



De acuerdo con el manual propuesto para el sistema de drenaje de aguas lluvias, se recomienda tener en cuenta los siguientes pasos para una buena escogencia del tipo de estructura de diseño, dimensión y área de captación de agua.

- Identificar la zona o el lugar donde se va a elaborar el sistema de drenaje
- Elegir el tipo de estructura con el cual se trabajara en el sistema de drenaje.
- Determinar el área en metros cuadrados de cubierta, balcón, áreas libres y áreas comunes que se va a drenar.
- Localizar el sistema de bajantes de aguas lluvias y servidas de la edificación, con el fin de realizar un buen manejo de drenaje.
- Consultar con la tabla propuesta a continuación para obtener el diámetro de la estructura a utilizar en dicho sistema de drenaje de aguas pluviales.
- Revisar su información y proceder a diseñar el sistema de drenaje de aguas lluvias.

Cuadro 6. Recomendación para elección de Rejillas y Tragantes.

Cuadro de selección para estructura			
Zona de trabajo	Tipo de estructura	Diámetro (pul)	Área de Captación (m²)
Balcones	Rejilla Estándar	3" a 2"	35,80
		4" a 3"	56
		5" a 4"	218
Áreas Comunes	Rejilla Estándar	3" a 2"	35,80
		4" a 3"	56
		5" a 4"	218
Cubiertas	Tragante	4" a 2"	179,40
		4" a 3"	179,4
		5" a 4"	352,4
Áreas Libres	Tragante	4" a 2"	179,40
		4" a 3"	179,4
		5" a 4"	352,4

Tomado del (Autor, 2015).



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

6 CONCLUSIONES

Este proyecto se enfocó principalmente en obtener un comportamiento idóneo de las estructuras que componen un sistema de drenaje de aguas lluvias, tales como rejillas y tragantes; al mismo tiempo que determinó el área de captación de dichas estructuras, con el fin de proponer unas recomendaciones para su optimización, y mejorar el concepto de diseño de sistemas de drenajes de aguas pluviales.

El propósito fue obtener datos precisos y una información representativa para posteriores estudios sobre el comportamiento hidráulico de dichas estructuras partiendo de las bases propuestas por el manual ya mencionado con antelación, para futuros estudios o investigaciones respecto a este tema.

Paralelamente se obtuvo una información bibliográfica bastante amplia que permitió revisar y crear conceptos, desarrollando criterios para su aplicación a nivel local y nacional.

Por otra parte, se pudieron establecer todas las variables para la obtención del comportamiento hidráulico y los parámetros necesarios por medio de ensayos de laboratorio, colaboración de los auxiliares de laboratorio, préstamo de las instalaciones de la universidad (laboratorios del campus Piedra de Bolívar) y un gran apoyo para la revisión bibliográfica, clave para el desarrollo del mismo.

Durante la ejecución del proyecto, se demostró que las tipologías de las rejillas y tragantes si incide en la variación del comportamiento hidráulico a la hora de analizar su eficiencia y su comportamiento para evacuar el drenaje en cubiertas y balcones. Se estableció que para cubiertas y áreas libres (áreas destechadas) es mejor utilizar tragantes, ya que drenan mayor volumen de agua y su área de aferencia es mayor.

Se recomienda para balcones y áreas comunes, la utilización de rejillas estándar; ya que al formar una lámina de 1 cm de espesor se tienen áreas de captación óptimas y su funcionamiento es viable para estas zonas.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

Las rejillas anti-insectos tienen una velocidad de drenaje pequeña, lo cual no las hace recomendables para su uso en las cubiertas, áreas libres, balcones y áreas comunes de las edificaciones para el sistema de drenaje de lluvias.

Teniendo en cuenta los parámetros técnicos para la escogencia del tipo de estructura, una opción altamente atractiva para los diseñadores de sistemas de drenaje de aguas lluvias, son las recomendaciones y tablas o pasos propuestos en este proyecto, ya que previenen la evaluación y utilización de fórmulas tediosas y agilizan la elaboración de dicho sistema.

Se determinó que las rejillas estándar pueden tener un área de captación de hasta 218 m² y que los tragantes pueden tener áreas de captación de 352,4 m²; lo cual da a deducir que son las estructuras que trabajan óptimamente en una lluvia torrencial.

El estudio del comportamiento hidráulico del sistema de drenaje de aguas lluvias, pretende incentivar a diseñadores y calculistas a la utilización de las tablas propuestas, y la motivación de desarrollar otras investigaciones con respecto a los sistemas de drenaje, también con intención de posicionar a la Universidad de Cartagena dentro de los grupos de entes educativos en el desarrollo de esta temática en la región

De los datos obtenidos se concluyó que la lámina de agua mayor a 1 cm lo que genera es un tiempo de concentración mayor, teniendo un área de captación menor a la hora de realizar el drenaje, a su vez aumenta la energía, la cual pero sigue siendo despreciable porque es muy pequeña.

6.1 LIMITACIONES

Las principales limitaciones que se presentaron en este proyecto fueron las siguientes.

- La falta de un estudio sobre el comportamiento hidráulico de las estructuras (rejillas y tragantes) principales de un sistema de drenaje de aguas lluvias.
- La falta de certeza de las áreas de captación de las rejillas y tragantes de un sistema de drenaje de aguas pluviales.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

- La falta de un estudio que establezca la utilización correcta de dichas estructuras, ya mencionadas anteriormente.
- La falta de un estudio detallado de los caudales y volúmenes de aguas que pueden drenar una de estas estructuras en una lluvia torrencial.

6.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Se puede evidenciar que la metodología para el estudio del comportamiento hidráulico de un sistema de drenajes de aguas lluvias, y para la determinación de áreas de captación de las rejillas y tragantes para una eventual lluvia en sus máximas intensidades aconseja la utilización de las recomendaciones propuestas en este proyecto y la apropiación de estas para los diseñadores y calculistas de sistemas de drenajes.
- ✓ Para futuros trabajos e investigaciones, se recomienda la revisión de este proyecto y cada uno de sus parámetros y se extiende la invitación para que otros estudiantes se animen a investigar respecto al tema aquí tratado.
- ✓ Se recomienda realizar los ensayos para las estructuras de drenaje vistas con otras alturas de láminas de agua para verificar su comportamiento hidráulico. Por ejemplo, se pueden realizar pruebas con una lámina de agua de 2 cm de espesor.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRAULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

7 BIBLIOGRAFÍA

- (ICONTEC), i. d. (s.f.). *Arquit.* Recuperado el 18 de abril de 2015, de http://documentos.arq.com.mx/Detalles/105778.html#.VTnXAtIn_Gf
- Board, W. T. (2005). *The Texas Manual on Rainwater Harvesting Development.*
- Bocanegra, C., & Almanza, C. (2015). *Diseño de Sistema Piloto de Almacenamiento de Agua Lluvia a Escala Laboratorio en la Sede Piedra de Bolívar de la Universidad de Cartagena.* En C. Bocanegra, & C. Almanza, *Diseño de Sistema Piloto de Almacenamiento de Agua Lluvia a Escala Laboratorio en la Sede Piedra de Bolívar de la Universidad de Cartagena.* Cartagena.
- Carretero Ayuso, M. J., & Moreno Cansado, A. (2013). *ANALISIS ESTADISTICO NACIONAL SOBRE PATOLOGIA EN EDIFICACIONES.* MADRID: BANKINTER.
- Castañeda, N. (2010). *Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en la instalacion educativa Maria Auxiliadora de Caldas, Antioquia.* Antioquia.
- Castañeda, P. (2010). *Propuesta de un sisistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institucion Maria Auxiliadora de Caldas.* Medellin: Universidad de Antioquia.
- Centro Panamericano de ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente, O. P. (2004). Obtenido de <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsair/e/hdts.html>
- Coombes, P., Argue, J., & Kuczera, G. (2000). Figtree Place: a case study in water sensitive urban development(WSUD). *Urban Water*, 335-343.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO
DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN
CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE
EDIFICACIONES.**



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

- Duan, C., Attawater, R., & Min, L. (2008). *Introduction to rainwater management in Australia and suggestions for china's water problem*. Melbourne: Journal of Chongquin University.
- GERFOR. (s.f.). *Ficha tecnica GERFOR*. Recuperado el 10 de Abril de 2015, de http://www.coval.com.co/pdfs/manuales/man_gerfor_sanitaria.pdf
- Ghisi, E. B. (2006). Rainwater tank capacity and potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of southeastern Brazil. *Building and Environment*, 41, 1544-1550.
- Ghisi, E., Tavares, D., & Rocha, V. (2009). *Rainwater harvesting in petrol station in Brasilia: Potential for potable water saving and investment feasibility analysis*. Brasilia: Resources, Conservation and Recycling.
- Hatt, B., Deletic, A., & Fletcher, T. (2004). *Integrated treatment and recycling of stormwater and Re-use systems-Inventory of Australian Practice*. CRC Catchment Hydrology Industry Report.
- Hernandez, B. J. (2006). *Construcción de pavimentos permeables para el control en origen de la escorrentía urbana: ejemplo del aparcamiento del palacio de deportes*. Presentado en el III Congreso de Ingeniería Civil Territorio y Medio Ambiente. Universidad de Cantabria, Universidad de Oviedo y Ayuntamiento de Gijón.
- IDEAM. (2005). *Atlas Climatológico de Colombia*. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial-IDEAM, 35.
- MACROMAT. (s.f.). *Ficha tecnica de productos MACROMAT*. Recuperado el 10 de Abril de 2015, de <http://www.macromatsa.com/productos.php>
- Mbugua, J. (2002). Artificial Recharge. Small Community Water Supplies. Technology people and partnership.. *Technical Series Paper*, 129-149.
- Neila, J. (2000). *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible: buenas prácticas edificatoria*. Ciudades para un futuro más sostenible. Madrid.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO
DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN
CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE
EDIFICACIONES.**



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

NTC-1500. (2005). Desagues Pluviales. *Norma Técnica Colombiana de Fontanería*, 137-220.

PAVCO. (2015). *PAVCO.com*. Recuperado el 10 de Abril de 2015, de <https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&cad=rja&uact=8&ved=0CDYQFjAH&url=http%3A%2F%2Fwww.pavco.com.co%2F%3Fdw%3De10d8c5ef3871659756a49a3c747227fw2t2&ei=xPY5VaDaIqXIsATG3oCYDw&usg=AFQjCNHPNz9ExZ-TZYFVB79dN7UwuO-XLg&sig2=YmQa8hJk>

Perez Cardona, R. (2006). *Instalaciones Hidrosanitarias y de Gas en Edificaciones*. Bogota: Ecoe Ediciones.

Ramirez, J. (2009). Construcción verde en concreto. *Noticreto revista de la tecnoca y la construcción*, 2-20-27.

Ras-2000. (2010). Desagues de Aguas Residuales y/o Lluvias.

Sanchez, L., & Caicedo, E. (2004). *Uso del agua lluvia en La Bocana-Buenaventura*. Cartagena: CINARA.

Suarez, J., Garcia, M., & Mosquera, R. (2006). *Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia*. Sao pablo : Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de agua Joao Pessoa.

Marinez; Ignacio (2001). Diseño Hidrológico e Hidráulico del drenaje Pluvial de Cubiertas de Edificaciones; UNIVERSIDAD DE AGUASCALIENTES; MEXICO.

CIOH. (2015). Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas. http://www.cioh.org.co/dev/proserv/dat_generales.htm



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO
DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN
CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE
EDIFICACIONES.**



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

8 ANEXOS

***RECOMENDACIONES PARA SELECCIÓN DE ELEMENTOS BÁSICOS DE UN SISTEMA
DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.***



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO
DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN
CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE
EDIFICACIONES.**



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	101
2	MARCO TEORICO.....	104
	<i>2.1. SISTEMA DE EVACUACION DE LLUVIAS.....</i>	<i>104</i>
3	ANALISIS DE DATOS	110
4	RECOMENDACIONES	115



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO
DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN
CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE
EDIFICACIONES.**



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

LISTADO DE CUADROS

Cuadro 1. Número de patologías en las distintas zonas de las edificaciones según Mussat-----	105
Cuadro 2. Parámetros climatológicos en Cartagena -----	106
Cuadro 3. Dimensionamiento de desagües principales en cubierta, ramales y bajante. -----	107
Cuadro 4. Definición de las dimensiones de la tuberías horizontal de aguas lluvias. -----	108
Cuadro 5. Dimensionamiento de canales exteriores de la fachada-----	109
Cuadro 6. Recomendación para elección de Rejillas y Tragantes.-----	116



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO
DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN
CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE
EDIFICACIONES.**



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

LISTADO DE TABLAS

Tabla 21. Caudales y Áreas de captación Rejillas Anti-insectos.	112
Tabla 22. Caudales y áreas de captación de Rejillas Estándar.	112
Tabla 23. Caudales y Áreas de captación para tragantes.....	113
Tabla 24. Comportamiento hidráulico de una Rejilla Anti-insecto.....	113
Tabla 25. Comportamiento hidráulico de una Rejilla Estándar.....	114
Tabla 26. Comportamiento hidráulico de una Tragante.....	114



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

1 INTRODUCCIÓN

En países que están en vía de desarrollo como el nuestro, las aguas pluviales urbanas son subestimadas, debido a que no se encuentran consideradas como un recurso; pero en cambio, sí representan un problema para su evacuación, ya que el drenaje urbano tradicionalmente usado para agrupar ligeramente el agua lluvia, y conducirla fuera de las zonas urbanas es poco eficiente, luego de captarlas y/o evacuarlas por un sistema de drenaje, tanto en las edificaciones como en el trazado urbano.

En las edificaciones se debe contar con un sistema de drenaje para las eventuales lluvias que ocurren en su zona de ubicación, estos sistemas de drenaje y aislamiento de aguas lluvias son necesarios tenerlos en un óptimo estado para la prevención de los posibles daños que puede ocasionar un evento pluvial.

Ahora bien, puntualizando en una zona específica, si hablamos de nuestra ciudad, Cartagena, se notó, que en la mayoría de edificaciones existentes y de los nuevos proyectos de edificaciones cuentan con un sistema de drenaje de aguas lluvia convencional, en donde las aguas negras se depositan en un recolector o caja de inspección y las aguas lluvias se descargan generalmente sobre la calle, generando un cambio de uso en el sistema de alcantarillado. ¿Por qué los sistemas de drenajes de aguas pluviales funcionan de forma poco eficiente en las cubiertas y áreas privadas de las edificaciones?, porque en las edificaciones, las aguas lluvias y negras se deben conducir separadamente hasta los límites de la edificación convencional, ya que no contamos con un sistema de alcantarillado mixto.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO
DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN
CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE
EDIFICACIONES.**



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

Por otra parte se tuvo en cuenta, la falta de información para la localización y el dimensionamiento de cada una de los elementos que contiene un sistema de drenaje pluvial propuesto por la (NTC-1500, 2005), ya que no permiten el funcionamiento óptimo de la rejillas y tragantes colocados en las cubiertas y áreas privadas de las edificaciones, de lo cual se cuestionó lo siguiente: ¿cómo obtener un mejor comportamiento de las rejillas y tragantes del sistema de drenaje de aguas lluvias? En el caso de los balcones, estos sistemas al trabajar en su máxima capacidad permiten la entrada de estas aguas lluvias a la vivienda, generando poca comodidad a los habitantes y el deterioro de los muebles que se encuentran en esta. En el caso de las cubiertas la acumulación excesiva de agua y la retención excesiva producidas por malos drenajes generan cargas en el edificio, ocasionando fuerzas que pueden dar como resultado fisuras y daños en las estructuras de las edificaciones. En las terrazas, zonas privadas y zonas de actividades públicas de las edificaciones no son bien evacuadas, con el resultado del deterioro en los equipos y otros elementos almacenados en zonas aledañas a estas. ¿Cómo se comportan los sistemas de drenajes de aguas lluvias en las cubiertas de edificaciones y áreas privadas?

En Latinoamérica los países con un grado mayor de desarrollo, cuentan con sistemas urbanos de drenajes sostenibles o SUDS, estos además de evacuar rápidamente las aguas pluviales, las captan para usos no potables, aunque existen casos en que se complementa con un sistema de potabilización para que sean aptas para consumo humano. Estudios realizados en México, Chile, Argentina y Perú entre otros; han tratado posibles soluciones relacionadas con esta problemática; por ejemplo, en el año 2000 en Chile la oficina nacional de la FAO para América Latina y el Caribe, desarrolló el “Manual de captación y aprovechamiento de agua lluvia basado en la experiencia”, en este manual se encuentran lineamientos muy prácticos para la implementación de SUDS además hace referencia al uso de tragantes para este tipo de sistema de drenajes, porque el área de captación es mayor a la de una rejilla y así se obtiene mayor captación de las aguas pluviales.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO
DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN
CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE
EDIFICACIONES.**



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

Este proyecto estudió el comportamiento hidráulico de un sistema de drenaje pluvial, usando los métodos de diseños propuestos por el RAS 2000 y la NTC 1500, enmarcado no solo para las precipitaciones características de Cartagena sino a nivel nacional, esto se logró con un prototipo que fue instalado en el laboratorio de hidráulica de la Universidad de Cartagena campus Piedra de Bolívar, el cual nos permitió simular un evento pluvial controlado, en donde se pudo seleccionar y obtener la intensidad de lluvia, los volúmenes y tiempos de evacuación de las estructuras que acogen inicialmente estas aguas lluvias, como los son las rejillas y tragantes. Además se podrá seguir recopilando información para futuros proyectos que contemplen un sistema de drenaje pluvial en edificaciones, sea sostenible o no y sirva como base para continuar con la investigación académica.

Otro objetivo de este trabajo de grado fue plasmar una serie de recomendaciones para la metodología de diseño, para un sistema de evacuación de aguas lluvia en las cubiertas, balcones, parqueaderos, zonas comunes, etc., con el fin de que nuestros colegas y estudiantes puedan consultar y guiarse cuando estén diseñando o requieran estos datos para realizar su investigación. Por otra parte, nuestro pequeño aporte a la comunidad científica es la creación de un cuadro para selección de estructuras con sus respectivas áreas de captación permitida por cada una de ellas; las estructuras que utilizamos en nuestra investigación fueron de las marcas PAVCO y CELTA.

Este trabajo de grado se realizó dentro del programa de ingeniería civil perteneciente a la facultad de ingeniería de la Universidad de Cartagena, dentro de línea de manejo ambiental, específicamente en el manejo y tratamiento de aguas pluviales; nuestro director y asesor, el Ingeniero Ramón Andrade Castillo, debido a que el tema a tratar está dentro de sus lineamientos y características académicas e investigativas, además, trabaja en proyectos relacionados con el tema, lo que brinda una apropiada experiencia para el apoyo de la investigación.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

2 MARCO REFERENCIAL

En este capítulo se abordan aspectos relevantes sobre los sistemas de evacuación de aguas lluvia en edificaciones y su capacidad de evacuación, Se definen los componentes de un sistema de drenaje pluvial en una edificación y los cálculos para medir la capacidad de evacuación de las rejillas y tragantes en un evento pluvial.

2.1 SISTEMA DE EVACUACIÓN DE AGUAS LLUVIAS

Un sistema de evacuación de aguas lluvias puede transportar también otras aguas con características similares como aguas subterráneas de infiltración, aguas de drenaje superficial o aguas de proceso industriales que no requieran tratamiento. Todas las aguas lluvia en las cubiertas de edificaciones deben ser evacuadas por la red de drenajes de aguas lluvias para el cálculo de caudales del sistema de drenajes de aguas lluvias se considera una intensidad de precipitación obtenida a partir de la curva de intensidad-frecuencia propias de la zona, para un periodo mínimo de 15 años y una duración de 30 min. Datos suministrados por el IDEAM. (NTC 1500).

Las cubiertas planas, pueden ser elementos constructivos con una superficie importante, teniendo en muchos casos una problemática concentrada, puntual y localizada. Por todo ello es necesario disponer de un sistema de desagüe de aguas lluvias eficiente para evitar inundaciones no solo en cubiertas sino también en balcones, parqueaderos y áreas sociales.

En un estudio realizado por La Fundación Musaat, compañía especializada en seguros de la construcción en Madrid - España, se realizó una investigación nacional sobre patologías en edificaciones y la elaboración de documentos técnicos de prevención con el objeto de favorecer la formación, información y sensibilización dirigidas al sector de la edificación. En cuadro 1 se muestra en porcentaje el número de patologías computadas a cada zona en porcentaje, vemos que las cubiertas ocupan el tercer lugar de las zonas con mayor número de patologías y de los daños en cubiertas. (Carretero Ayuso & Moreno Cansado, 2013).



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

Cuadro 1. Numero de patologías en las distintas zonas de las edificaciones según Mussat.

Zona	Núm. de patologías	Porcentaje
Cerramientos y distribuciones	1.178	20,79%
Instalaciones	854	15,07%
Cubiertas	801	14,14%
Acabados	681	12,02%
Cimentación	663	11,70%
Carpintería exterior	341	6,02%
Estructura	332	5,86%
Solados	316	5,58%
Urbanización	234	4,13%
Revestimientos interiores	190	3,35%
Aislamiento acústico e impacto	76	1,34%
Total general	5.666	100%

Tomado de (Carretero Ayuso & Moreno Cansado, 2013)

Las humedades son el tipo de reclamación más importante en el sector de la edificación llegando a ser un 70% del total de las reclamaciones, según las compañías aseguradoras de la responsabilidad civil de arquitectos e ingenieros de edificación.

Entre los tipos de humedades, las más frecuentes y las que suponen una cuantía económica más importante son las humedades por filtración, llegando a representar más de un 20% del total de las reclamaciones, las cuales aparecen habitualmente en plantas sótano, fachadas y cubiertas. (Carretero Ayuso & Moreno Cansado, 2013).

La ciudad de Cartagena tiene una época húmeda o época de lluvias que se extiende desde el mes de agosto hasta el mes de noviembre, en cuyo periodo el mes con mayor intensidad de precipitaciones es el mes de octubre. Se caracteriza por vientos débiles de orientación variable y por un régimen de lluvias abundantes. En esta época suelen presentarse los denominados ciclones



tropicales (huracanes), los cuales pueden aumentar el régimen o intensidades de lluvias en todo el Caribe (CIOH, 2015).

Las variaciones climáticas estacionales definen la dirección e intensidad de las corrientes regionales y locales, la dirección e intensidades del oleaje y el régimen de precipitaciones, se establece una temperatura media anual de 28°C para el área de estudio. Las variaciones observadas en la temperatura media no superan los 2°C, esto se debe principalmente a que la temperatura de la superficie del océano presenta fluctuaciones mínimas durante todo el año (CIOH, 2015). En el cuadro 2 se muestra como es la variación de los demás parámetros que intervienen en el clima además de la temperatura como lo son humedad, precipitación etc., a lo largo del año.

Cuadro 2. Parámetros climatológicos en Cartagena

MES	Temperatura °c	Humedad relativa %	Precipitación mm
ENERO	27,0	82	4,5
FEBRERO	26,8	81	0,0
MARZO	27,1	82	1,6
ABRIL	27,5	82	22,6
MAYO	28,1	83	67,3
JUNIO	28,3	83	80,4
JULIO	28,2	83	73,8
AGOSTO	28,2	83	85,2
SEPTIEMBRE	28,3	83	111,6
OCTUBRE	27,8	85	180,8
NOVIEMBRE	27,8	85	93,8
DICIEMBRE	27,3	84	29,5

Tomado de (CIOH, 2015)



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

Para definir las dimensiones de los desagües principales se utilizan los cuadros 3, 4 y 5 que son los propuestos por el Código Nacional de Fontanería NTC 1500.

Cuadro 3. Dimensionamiento de desagües principales en cubierta, ramales y bajante.

Diámetro nominal (mm)	Caudal, máximo l/s	Áreas máximas permitidas proyectadas horizontalmente en m^2 para diferentes intensidades de lluvia					
		25 mm/h	50 mm/h	75 mm/h	100 mm/h	125 mm/h	150 mm/h
75	4,2	600	300	200	150	120	100
100	9,1	1286	643	429	321	257	214
125	16,5	2334	1117	778	583	467	389
150	26,8	3790	1895	1263	948	758	632
200	57,6	8175	4088	2044	2044	1653	1363

NOTAS:

- 4) Las dimensiones de bajantes y colectores están basadas en los caudales correspondientes a una relación de llenado de 7/24.
- 5) Para precipitaciones diferentes de las indicadas, se deberá interpolar linealmente.
- 6) La tubería vertical puede ser redonda, cuadrada o rectangular. La sección cuadrada debe contener la sección circular equivalente. La sección rectangular debe tener por lo menos la misma área transversa que la sección circular equivalente, excepto que la relación de sus dimensiones laterales no excedan 3 a 1.

Tomado de (NTC-1500, 2005)



**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO
DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN
CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE
EDIFICACIONES.**



Cuadro 4. Definición de las dimensiones de la tuberías horizontal de aguas lluvias.

Diámetro nominal (mm)	Caudal (L/s) pendiente del 1,0 %	Áreas máximas permitidas en m^2 de cubiertas proyectadas horizontalmente para diferentes precipitaciones					
		25 mm/h	50 mm/h	75 mm/h	100 mm/h	125 mm/h	150 mm/h
100	4,9	700	350	233	175	140	116
125	8,8	1241	621	414	310	248	207
150	14,0	1988	994	663	497	398	331
200	30,2	4273	2137	1424	1068	855	713
250	54,3	7692	3846	2564	1923	1540	1282
300	87,3	12375	6187	4125	3094	2476	2062
375	156,0	22110	11055	7370	5528	4422	3583

Diámetro nominal (mm)	Caudal (L/s) pendiente del 2,0 %	Áreas máximas permitidas en m^2 de cubiertas proyectadas horizontalmente para diferentes precipitaciones					
		25 mm/h	50 mm/h	75 mm/h	100 mm/h	125 mm/h	150 mm/h
80	3,0	431	216	144	108	86	72
100	6,9	985	4921	328	246	197	164
125	12,4	1754	877	585	438	351	292
150	19,8	2806	1403	935	701	361	468
200	42,7	6057	3029	2019	1514	1211	1009
250	76,6	10851	5425	3618	2713	2169	1807
300	123,2	17465	8733	5816	4366	3493	2912
375	220,2	31214	15607	15607	7804	6248	5202

Diámetro nominal (mm)	Caudal, máximo l/s	Áreas máximas permitidas proyectadas horizontalmente en m^2 para diferentes intensidades de lluvia					
		25 mm/h	50 mm/h	75 mm/h	100 mm/h	125 mm/h	150 mm/h
80	4,3	611	305	204	153	122	102
100	9,8	1400	700	465	350	280	232
125	17,5	2482	1241	827	621	494	413
150	28,1	3976	1988	1325	994	797	663
200	60,3	8547	4273	2847	2137	1709	1423
250	108,6	15390	7695	5128	3846	3080	2564
300	174,6	24749	12374	8250	8187	4942	4125
375	312,0	44220	22110	14753	11055	8853	7367

NOTAS:

- 3) Los datos de las dimensiones para tubería horizontal están basados en la tubería trabajando a tubo lleno.
- 4) Para precipitaciones diferentes de las indicadas, se deberá interpolar linealmente.

Tomado de (NTC-1500, 2005)



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

Cuadro 5. Dimensionamiento de canales exteriores de la fachada

Diámetro de la canal en mm Pendiente del 0,5%	Áreas máximas permitidas en m ² de cubiertas proyectadas horizontalmente para diferentes precipitaciones				
	51 mm/h	76 mm/h	102 mm/h	127 mm/h	152 mm/h
76	31,6	21,0	15,8	12,6	10,5
102	66,9	44,6	33,4	26,8	22,3
127	116,1	77,5	58,1	46,5	38,7
152	178,4	119,1	89,2	71,4	59,5
178	256,4	170,9	128,2	102,2	85,3
203	369,7	246,7	184,9	147,7	123,1
254	668,9	445,9	334,4	267,6	223,0
Diámetro de la canal en mm Pendiente del 1,0%	Áreas máximas permitidas en m ² de cubiertas proyectadas horizontalmente para diferentes precipitaciones				
	51 mm/h	76 mm/h	102 mm/h	127 mm/h	152 mm/h
76	44,6	29,7	22,3	17,8	14,9
102	94,8	63,3	47,4	37,9	31,6
127	163,5	108,9	81,8	65,4	54,5
152	252,7	168,6	126,3	100,8	84,1
178	362,3	241,5	181,2	144,9	120,8
203	520,2	347,5	260,1	208,1	173,7
254	947,6	631,7	473,8	379	315,9
Diámetro de la canal en mm Pendiente del 2,1%	Áreas máximas permitidas en m ² de cubiertas proyectadas horizontalmente para diferentes precipitaciones				
	51 mm/h	76 mm/h	102 mm/h	127 mm/h	152 mm/h
76	63,2	42,2	31,6	25,3	21,0
102	133,8	89,2	66,9	53,5	44,6
127	232,3	155,0	116,1	92,9	77,5
152	256,7	237,8	178,4	142,7	
178	512,8	341,9	256,4	204,9	118,9
203	739,5	493,3	369,7	295,4	170,9
254	133,8	891,8	668,9	534,2	246,7 445,9
Diámetro de la canal en mm Pendiente del 4,2%	Áreas máximas permitidas en m ² de cubiertas proyectadas horizontalmente para diferentes precipitaciones				
	51 mm/h	76 mm/h	102 mm/h	127 mm/h	152 mm/h
76	89,2	595	44,6	35,7	29,7
102	189,5	126,3	94,8	75,8	63,2
127	328,9	219,2	164,4	131,5	109,6
152	514,7	343,3	257,3	206,2	171,9
178	724,6	483,1	362,3	289,9	241,4
203	1040,5	693,0	520,2	520,2	346,5
254	1858,0	1238,4	929,0	743,2	618,7

Tomado de (NTC-1500, 2005)



3 ANALISIS DE DATOS

Para el análisis de los datos obtenidos se tiene en cuenta que se búscala lámina de agua a formarse sea máximo de 1 cm con el fin de evitar colapsos en el sistema de drenaje de aguas lluvias y establecer cuál es el área de aferencia de cada una de las estructuras estudiadas, para esto se tiene que la fórmula propuesta por KEIBY se calcula el caudal para rejillas y tragantes, dado que:

$$LR = \frac{Q}{ecb\sqrt{2gE}}$$

Donde

LR = longitud de aberturas de las rejillas

e = relción en el área de aberturas y areá total de la rejilla

c = coeficiente de descarga a través de las aberturas

b = ancho total de las rejillas

E = energía específica

Para el cálculo del caudal Q se despejó de la ecuación anterior obteniendo:

$$Q = LR ecb\sqrt{2gE}$$

Donde

$$c = 0.5$$

$$b = \frac{a}{A}; a= \text{área de orificios y } A \text{ área de la rejilla}$$

Para el cálculo de la Energía $E = \frac{V}{2g}$; V= velocidad.

La velocidad se calcula dependiendo del tiempo de concentración dado por:

$$tc = 1,44 \left(\frac{L \cdot m}{\frac{1}{s^2}} \right)^{0,467}; L= \text{lámina de agua y } m= 0,02$$



De las ecuaciones mencionadas anterior mente se realiza un ejemplo muestra y los demás datos serán tabulados con el fin de que se muestre de una forma más didáctica la finalidad del proyecto; por ejemplo tomaremos una rejilla de 2”

Dónde:

$$LR = 0,21 \text{ mts}$$

$$c = 0.5$$

Y la pendiente es de 0,5%

Se calcula el tiempo de concentración sabiendo que la lámina de agua es de 1 cm.

$$tc = 1,44 \left(\frac{1 \times 0,02}{0,005^{\frac{1}{2}}} \right)^{0,467}$$

$$tc = 0,789 \text{ min}$$

$$tc = 47 \text{ seg}$$

Donde el prototipo de diseño tiene 1 metro en cada uno de sus lados entonces:

$$V = \frac{1}{47} = 0,02 \text{ m/seg}$$

Se calcula la energía

$$E = \frac{0,02}{2g}$$

$$E = 0,001$$

De lo anterior se entiende que la energía es muy baja lo cual se hace despreciable, pasamos a calcular el caudal:

$$Q = LR \text{ ecb} \sqrt{2gE}$$

$$Q = 0,21 * 0,5 * 0,0015 * \sqrt{2 * 9,8 * 1000}$$

$$Q = 0,488$$



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

Con el caudal, calculamos el área despejando de la ecuación

$$Q = C * I * A$$

$$A = \frac{Q}{C * I}$$

$$A = \frac{0,488}{1 * 0.5}$$

$$A = 9,76 \text{ m}^2$$

Del ejemplo anterior calculamos para cada una de las estructuras a estudiar y que se encuentra comercialmente en el mercado.

Tabla 21. Caudales y Áreas de captación Rejillas Anti-insectos.

Rejilla Anti-insectos					
Diámetro	Área orificio (cm²)	Área de reja (cm²)	LR (m)	Caudal (L/s)	Área de Captación (m²)
3" a 2"	13,34	44,53	0,27	0,810	16,20
4" a 3"	18,27	79,16	0,378	1,52	30,4
5" a 4"	21,75	123,7	0,45	2,16	43,2

Tomado del (Autor, 2015).

Tabla 22. Caudales y áreas de captación de Rejillas Estándar.

Rejilla Estándar					
Diámetro	Área orificio (cm²)	Área de reja (cm²)	LR (m)	Caudal (L/s)	Área de Captación (m²)
3" a 2"	27	44,53	0,30	1,790	35,80
4" a 3"	28,8	79,16	0,44	2,8	56
5" a 4"	56	123,7	0,88	10,9	218

Tomado del (Autor, 2015).



Tabla 23. Caudales y Áreas de captación para tragantes.

Tragantes					
Diámetro	Área orificio (cm^2)	Área de reja (cm^2)	LR (m)	Caudal (L/s)	Área de Captación (m^2)
3" a 2"	42,75	79,16	0,27	0,810	16,20
4" a 3"	42,75	79,16	0,378	1,52	30,4
5" a 4"	63,75	123,7	0,45	2,16	43,2

Tomado del (Autor, 2015).

De las tablas 21, 22 y 23, tenemos los caudales que pueden drenar y las áreas de captación de cada una de las rejillas comunes en el comercio.

Para los datos obtenidos en el laboratorio se tuvo que las estructuras trabajan como sumidero y que las láminas de agua varían, y en este proyecto nuestro director y asesor de este el Ing. Ramón Andrade nos sugiere trabajar para láminas de agua inferiores a 1 cm ya que este es el máximo en lugares privados como lo son balcones y cubiertas; en ese caso tenemos, láminas de aguas inferiores a 1 cm.

Tabla 24. Comportamiento hidráulico de una Rejilla Anti-insecto.

Rejilla Anti-insectos							
Diámetro	Área orificio (cm^2)	Área de reja (cm^2)	LR(m)	Lámina de agua	tc (s)	Vel	Energía
3" a 2"	13,34	44,53	0,27	2,220	69,00	0,01	0,0051
4" a 3"	18,27	79,16	0,378	1,82	63	0,015	0,0076
5" a 4"	21,75	123,7	0,45	1,58	59	0,016	0,0081

Tomado del (Autor ,2015).



Tabla 25. Comportamiento hidráulico de una Rejilla Estándar.

Rejilla Estándar							
Diámetro	Área orificio (cm^2)	Área de reja (cm^2)	LR(m)	Lámina de agua	tc (s)	Vel	Energía
3" a 2"	13,34	44,53	0,30	2,000	66,00	0,015	0,0076
4" a 3"	18,27	79,16	0,44	1,5	59	0,016	0,005
5" a 4"	21,75	123,7	0,88	1,22	53	0,018	0,0091

Tomado del (Autor, 2015).

Tabla 26. Comportamiento hidráulico de una Tragante.

Rejilla Tragantes							
Diámetro	Área orificio (cm^2)	Área de reja (cm^2)	LR(m)	Lámina de agua	tc (s)	Vel	Energía
3" a 2"	13,34	44,53	0,95	1,980	65,00	0,015	0,0076
4" a 3"	18,27	79,16	0,95	1,78	63	0,015	0,007
5" a 4"	21,75	123,7	1,25	1,22	53	0,018	0,0091

Tomado del (Autor, 2015).

De acuerdo con las tablas 24, 25 y 26, se tiene que el comportamiento hidráulico de las rejillas y tragantes como normalmente se proponen en el Código Nacional de Fontanería y el RAS, están trabajando bajo un gran esfuerzo por lo que tenemos que el cálculo de su área de referencia es igual a la de si tu viera una lámina de un cm, el inconveniente está en que el tiempo de retención es mayor y se demorarían en drenar todo el agua generada en una lluvia.

Al evaluar el funcionamiento de las rejillas y tragantes, se demuestra que es mejor colocar los tragantes para las cubiertas y áreas libres, mientras que para los balcones y áreas comunes se recomienda la utilización de rejillas estándar; ya que las rejillas anti-insectos no generan un trabajo óptimo para el drenaje de aguas lluvias.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN CUBIERTAS Y ÁREAS PRIVADAS DE EDIFICACIONES.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

4 RECOMENDACIONES

En este documento encontraremos una serie de recomendaciones, las cuales están basadas en la búsqueda de una mejor utilización de las rejillas y tragantes de un sistema de drenaje de aguas lluvias, a su vez contiene una tabla para la escogencia de la estructura que más se acomode a el uso que se la va a dar, en cubiertas, balcones y áreas sociales y privadas de las edificaciones. De acuerdo con la propuesta de un manual para el sistema de drenaje de aguas lluvias, se recomienda tener en cuenta los siguientes pasos para una buena escogencia del tipo de estructura, dimensión y área de captación de agua.

- Determinar el área de cubierta, balcón, áreas libres y áreas comunes que se va a drenar.
- Elegir el tipo de estructura con el cual se trabajara en el sistema de drenaje.
- Tener la zona o el lugar donde se va a elaborar el sistema de drenaje.
- Localizar el sistema de bajantes de aguas lluvias y servidas de la edificación, con el fin de realizar un buen drenaje.
- Consultar con la tabla propuesta a continuación para obtener el diámetro de la estructura a utilizar en dicho sistema de drenaje de aguas pluviales.
- Revisar su información y proceder a diseñar el sistema de drenaje de aguas lluvias.



Cuadro 6. Recomendación para elección de Rejillas y Tragantes.

Cuadro de selección para estructura			
Zona de trabajo	Tipo de estructura	Diámetro	Área de Captación m^2
Balcones	Rejilla Estándar	3" a 2"	35,80
		4" a 3"	56
		5" a 4"	218
Áreas Comunes	Rejilla Estándar	3" a 2"	35,80
		4" a 3"	56
		5" a 4"	218
Cubiertas	Tragante	4" a 2"	179,40
		4" a 3"	179,4
		5" a 4"	352,4
Áreas Libres	Tragante	4" a 2"	179,40
		4" a 3"	179,4
		5" a 4"	352,4

Tomado del (Autor, 2015).

Nota: de las anteriores recomendaciones e instrucciones para la utilización de las estructuras debemos tener en cuenta que si se tienen áreas mayores o se quiere utilizar un tipo de rejilla en específico, debemos aumentar el número de las mismas y la colocación de estas van de acuerdo a la pendiente y el tejado a utilizar.