

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

Trabajo de Grado
Previo a la obtención del título de
INGENIERO CIVIL

Tema:

*Análisis comparativo entre un sistema convencional de
alcantarillado pluvial y uno que contenga depósitos de
regulación para el agua lluvia, ubicados en las viviendas*

Realizado por:

Xavier Méndez Zúñiga

Director:

Ing. Javier Plaza Vera

Guayaquil – Ecuador

2012

TRABAJO DE GRADO

Tema:

Análisis comparativo entre un sistema convencional de alcantarillado pluvial y uno que contenga depósitos de regulación para el agua lluvia, ubicados en las viviendas.

Presentado a la facultad de ingeniería, Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Por:

Xavier Méndez Zúñiga

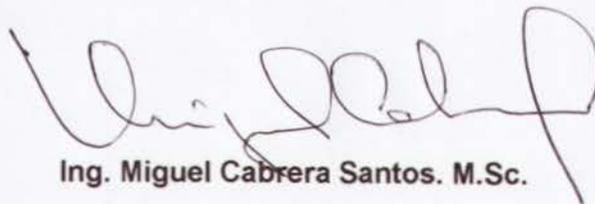
Para dar cumplimiento con uno de los requisitos para optar

Por el título de:

INGENIERO CIVIL

Tribunal de sustentación

Ing. Javier Plaza Vera. M.Sc.
Director de Trabajo de Grado.



Ing. Miguel Cabrera Santos. M.Sc.

PROFESOR INVITADO

Dr. Ing. Walter Mera Ortiz. M.Sc.
DECANO DE LA FACULTAD

Ing. Lilia Valarezo de Pareja. M.Sc.
DIRECTORA DE LA ESCUELA

DEDICATORIA

*Para mi esposa e hija,
que han sido la razón de este logro.*

AGRADECIMIENTO

A Cynthia, gracias por tu amor, apoyo y paciencia. Por estar ahí en todo momento de mi vida.

A mis padres, gracias por su amor, paciencia, apoyo espiritual y económico a lo largo de mi carrera universitaria y vida.

A Yolanda de Celi y Guillermo Celi por el constante apoyo moral.

A mi tutor, Ing. Javier Plaza Vera, por su ayuda constante a lo largo del desarrollo de este trabajo.

A el Ing. Miguel Cabrera Santos, por sus sugerencias y ayuda en el desarrollo del tema.

A la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, por haber sido parte de la misma a lo largo de mi carrera universitaria, a sus profesores y docentes.

ÍNDICE GENERAL**JUSTIFICACIÓN DEL TEMA**

ANTECEDENTES.....	1
OBJETIVOS.....	2
ALCANCE.....	2
METODOLOGÍA.....	3
CAPÍTULO 1: GENERALIDADES.....	4
1.1. DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL.....	5
CONVENCIONAL	
1.2. ELEMENTOS QUE CONFORMAN EL SISTEMA DE ALCANTARILLADO.....	6
PLUVIAL	
1.3. ASPECTOS DE HIDRÁULICA.....	12
1.4. ASPECTOS DE HIDROLOGÍA.....	13
1.5. ESTIMACIÓN DE CAUDALES PLUVIALES.....	13
1.6. PARÁMETROS DE DISEÑO.....	15
1.7. ASPECTOS RELATIVOS A LA CONSTRUCCIÓN DE UNA RED DE	
ALCANTARILLADO PLUVIAL.....	17
1.7.1. Limpieza y trazo de la red.....	18
1.7.2. Ruptura de pavimento.....	18
1.7.3. Excavación de la zanja.....	18
1.7.4. Protección de las paredes de la zanja.....	19
1.7.5. Extracción del agua de las zanjas.....	19
1.7.6. Instalación de la tubería.....	19
1.7.7. Relleno de la zanja.....	20
1.7.8. Reconstrucción del pavimento.....	20

1.7.9. Preparación de la cimentación del conducto.....	21
1.7.10. Construcción de la losa de fondo.....	21
1.7.11. Construcción de los muros.....	21
1.7.12. Construcción del techo del conducto.....	21
1.8. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	22

CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA, CÁLCULOS Y RESULTADOS..... 25

2.1. ÁREA DE ESTUDIO: (CIUDAD CELESTE, URBANIZACIÓN LA BRISA).....	26
2.1.1. Introducción.....	26
2.1.2. Datos generales - Urbanización la Brisa.....	27
2.1.3. Hidrología y drenaje.....	27
2.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL (LA BRISA – CIUDAD CELESTE).....	28
2.2.1. Colectores.....	29
2.2.2. Cámaras de inspección.....	31
2.2.3. Sumideros.....	31
2.2.3. Estructuras de descarga.....	32
2.3. EVALUACIÓN DEL SISTEMA EXISTENTE.....	32
2.3.1. Parámetros de diseño de alcantarillado pluvial.....	33
2.3.1.1 Método de cálculo del caudal.....	33
2.3.1.2 Frecuencia de diseño.....	33
2.3.1.3 Intensidad y frecuencia de lluvias.....	35
2.3.1.4 Tiempo de concentración.....	35
2.3.1.5 Coeficiente de escurrimiento.....	37
2.3.1.6 Cálculo de los caudales o capacidad hidráulica.....	41
2.3.1.7 Profundidad mínima de instalación.....	42
2.3.1.8 Cambio de diámetro.....	42

2.3.1.9	Localización y distancias máximas de cámaras de inspección.....	42
2.3.1.10	Velocidades permitidas.....	43
2.3.1.11	Pendientes permitidas.....	45
2.3.1.12	Relación de colado a diámetro.....	48
2.3.2.13	Diámetros y secciones de las alcantarillas.....	49
2.3.2.14	Cámaras de revisión.....	49
2.3.2.15	Cálculo de la caída en cámara de inspección.....	53
2.4.	REDISEÑO DEL SISTEMA EXISTENTE Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO.....	56
2.4.1	Alternativas de diseño.....	56
2.4.1.1	Alternativa 1.....	56
2.4.1.2	Alternativa 2.....	57
2.4.2	Comparación de alternativas.....	63
2.4.	PRESUPUESTO.....	64
	 CAPÍTULO 3: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	 65
3.1.	Conclusiones.....	66
3.2.	Recomendaciones.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL (ASCE, 1992).....	6
FIGURA 2. TIPOS DE SUMIDEROS O COLADERAS PLUVIALES (ASCE, 1992).....	8
FIGURA 3. SECCIONES TRANSVERSALES DE CONDUCTOS CERRADOS.....	10
FIGURA 4. SECCIONES TRANSVERSALES DE CONDUCTOS A CIELO ABIERTO.....	10
FIGURA 5. TOBERA PARA LIMPIEZA HIDRODINÁMICA.....	24
FIGURA 6. UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO.....	26
FIGURA 7. SUBSISTEMAS DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL – LA BRISA.....	29
FIGURA 8. COEFICIENTES DE PÉRDIDAS EN LAS CAMARAS.....	55

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. PERIODOS DE RETORNO PARA DISEÑO DE ESTRUCTURAS MENORES.....	17
TABLA 2. TIPO DE MATERIAL PARA LOS DIFERENTES DIAMETROS DE HORMIGON.....	30
TABLA 3. VALORES MEDIOS DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA "C".....	38
TABLA 4. VALORES DE "C" PARA DIVERSOS TIPOS DE SUPERFICIES.....	39
TABLA 5. VELOCIDADES MAXIMAS SEGÚN EL MATERIAL DE LA TUBERIA.....	45
TABLA 6. RELACIONES (q/qo) y (y/d) PARA ALCANTARILLADO.....	48
TABLA 7. RELACIONES (q/qo) y (y/d) PARA ALCANTARILLADO SANITARIO.....	49
TABLA 8. DISTANCIA MAXIMAS ENTRE CAMARAS.....	50
TABLA 9. DIAMETROS RECOMENDADOS DE CAMARAS DE REVISION.....	51

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACION (1.1). CALCULO DEL CAUDAL POR EL METODO RACIONAL.....	33
ECUACION (1.2). INTENSIDAD DE LLUVIA PARA 34min < t (GUAYAQUIL), PERIODO DE RECURRENCIA 5 AÑOS.....	35
ECUACION (1.3). INTENSIDAD DE LLUVIA PARA 34min < t < 120min (GUAYAQUIL), PERIODO DE RECURRENCIA 5 Años.....	35
ECUACION (1.4). INTENSIDAD DE LLUVIA PARA 120min < t 120min (GUAYAQUIL), PERIODO DE RECURRENCIA 5 Años.....	35
ECUACION (1.5). TIEMPO DE CONCENTRACION.....	35
ECUACION (1.6). TIEMPO DE RECORRIDO.....	36
ECUACION (1.7). CALCULO DEL COEFICIENTE MEDIO PONDERADO DE ESCORRENTIA.....	40
ECUACION (1.8). ECUACION DE CONTINUIDAD	41
ECUACION (1.9). FORMULA DE MANNING.....	41
ECUACION (1.10). NUMERO DE FROUDE.....	46
ECUACION (1.11). PERDIDAS DE CARGA.....	54

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1

IMPLANTACIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE AGUAS LLUVIAS (SISTEMA EXISTENTE)
URBANIZACIÓN LA BRISA – CIUDAD CELESTE

ANEXO 1.1

PLANILLAS DE CÁLCULO AA.LL PARA URBANIZACIÓN LA BRISA
(SISTEMA EXISTENTE)

ANEXO 1.2

RESUMEN – PLANILLAS DE CÁLCULO PARA URBANIZACIÓN LA BRISA
(SISTEMA EXISTENTE)

ANEXO 2

PLANILLA DE CÁLCULO OBTENIDA DE LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA EN EL STORMCAD

ANEXO 3

ÁREAS DE APORTACIÓN A LAS CÁMARAS DE INSPECCIÓN DE AA.LL

ANEXO 4

COTAS DEL TERRENO URBANIZACIÓN LA BRISA

ANEXO 5

HISTOGRAMAS DE DISEÑO PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO Y DURACIÓN

ANEXO 6

SIMULACIÓN HIDRÁULICA DE COLECTORES (PLANILLA DE CÁLCULO)
SISTEMA REDISEÑADO EN SEWERGEMS SIN REGULACIÓN

ANEXO 7

IMÁGENES DE LOS HIDROGRAMAS DE SALIDA, CON SUS RESPECTIVOS VOLÚMENES
SISTEMA REDISEÑADO EN SEWERGEMS SIN REGULACIÓN

ANEXO 8

RESULTADOS DE LOS CAUDALES QUE GENERAN LAS DIFERENTES ÁREAS DE LOS
SOLARES DE LA URBANIZACIÓN

ANEXO 9

SIMULACIÓN HIDRÁULICA DE COLECTORES (PLANILLA DE CÁLCULO)
SISTEMA REDISEÑADO EN SEWERGEMS CON REGULACIÓN

ANEXO 10

IMÁGENES DE LOS HIDROGRAMAS DE SALIDA, CON SUS RESPECTIVOS VOLÚMENES
SISTEMA REDISEÑADO EN SEWERGEMS CON REGULACIÓN

ANEXO 11

RESUMEN COMPARATIVO ENTRE SISTEMAS CON Y SIN REGULACIÓN

ANEXO 12

DATOS DE LA BOMBA SELECCIONADA

ANEXO 13

IMPLANTACIÓN GENERAL DE LA CISTERNA EN LAS VIVIENDAS Y
DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA CISTERNA

ANEXO 14

PRESUPUESTO Y VOLÚMENES DE OBRA
(ALTERNATIVA 1)

ANEXO 15

PRESUPUESTO Y VOLÚMENES DE OBRA
(ALTERNATIVA 2)

JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

ANTECEDENTES

La demanda de vivienda en nuestro país crece de manera considerable, lo que se refleja en el aumento de nuevas soluciones habitacionales de todo nivel económico. Esta realidad obliga a los proyectistas buscar nuevas alternativas constructivas que sean económicas y que funcionen de manera correcta.

En la planeación y diseño de urbanizaciones existen varios estudios para el funcionamiento de las mismas, tales como los estudios hidráulicos y dentro de estos el diseño de alcantarillado pluvial, que corresponde a todas las obras de captación, conducción y descarga final.

Dentro del diseño del alcantarillado pluvial nos podemos encontrar con problemas de drenaje tales como:

- A. Seleccionar la lluvia de diseño, lo cual debe realizarse a partir de la información existente que en ciertos casos es escasa.
- B. Determinación del tamaño adecuado del colector principal o canal para evacuar los caudales de la lluvia de diseño.

Ante los problemas planteados, el último paso es la decisión sobre un tamaño de colector a construir y otros tipos de obras que conduzcan este caudal de diseño hacia los mismos.

En un sistema convencional de alcantarillado pluvial, el agua escurre superficialmente hasta los sumideros y luego hasta un colector principal que transporta toda el agua lluvia hasta descargarla al cuerpo receptor.

Sin embargo, se pueden proyectar diseños alternativos de la red de drenaje pluvial que incluyan estructuras de regulación que disminuyan los caudales pico de los hidrogramas de entrada, con la consecuente disminución de los diámetros de los colectores.

OBJETIVOS

Realizar una comparación desde el punto de vista económico – hidráulico, entre el diseño de un sistema de alcantarillado pluvial convencional y uno que contenga depósitos de regulación (cisternas) en las viviendas.



ALCANCE

Tener un estudio comparativo entre el sistema convencional de alcantarillado pluvial y el propuesto, que incluya costos de inversión, operación y mantenimiento de los depósitos de regulación y se recomendarán ciertas normas para el diseño de los mismos.

METODOLOGÍA

En el trabajo se seleccionó una urbanización de nivel económico medio – alto (Ciudad Celeste) y se revisó el dimensionamiento del sistema de alcantarillado pluvial.

Luego se planteó una alternativa, que consideraba el uso de depósitos (cisternas) de regulación para cada vivienda. El dimensionamiento de la red de aguas lluvias fué el que estableció la regulación de las cisternas.

Por último se evaluaron los costos de inversión, operación y mantenimiento de ambas alternativas y se analizaron las ventajas y desventajas de cada uno de ellos. Se obtuvieron algunos parámetros, los cuales se recomendarán para la selección del tamaño de los depósitos y para la selección de los diámetros de los colectores.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES



1.1. DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL CONVENCIONAL

El diseño de un sistema de alcantarillado pluvial convencional, tiene como su principal función la conducción de aguas pluviales hasta sitios que no provoquen daños e inconvenientes a los habitantes de poblaciones de donde provienen o a las cercanías.

Un sistema de alcantarillado pluvial está constituido por una red de conductos e instalaciones complementarias que permiten la operación, mantenimiento y reparación del mismo. Su objetivo es la evacuación de las aguas pluviales, que escurren sobre calles y avenidas, evitando con ello su acumulación y propiciando el drenaje de la zona a la que sirven. De ese modo se impide la generación y propagación de enfermedades relacionadas con aguas contaminadas, debido a la acumulación de las mismas.

En la figura 1.1 se muestra el esquema de un sistema de alcantarillado pluvial convencional.

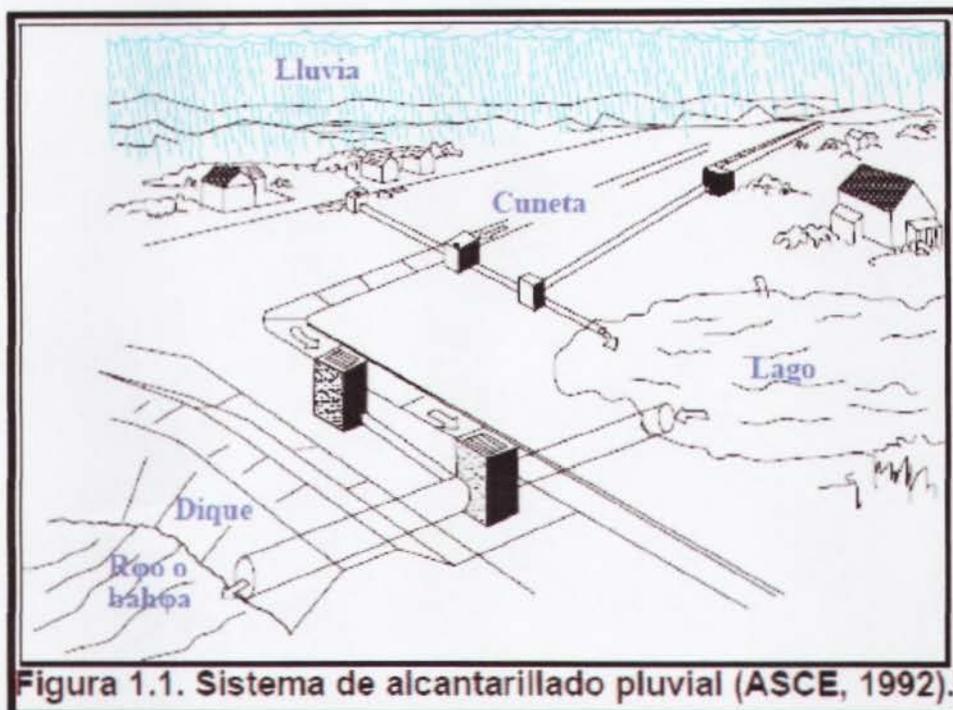


FIGURA 1

FUENTE: MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO

1.2. ELEMENTOS QUE CONFORMAN EL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL

Los componentes principales de un sistema de alcantarillado pluvial se agrupan según la función para la cual son empleados. Así un sistema de estos se integra de las partes siguientes:



a) Estructuras de captación (Recolectan las aguas a transportar)

Se utilizan sumideros como estructuras de captación, aunque también pueden existir conexiones domiciliarias donde se vierta el agua de lluvia que cae en techos y patios. En los sumideros (ubicados convenientemente en puntos bajos del terreno y a cierta distancia en las calles) se coloca una rejilla para evitar el ingreso de objetos que obstruyan los conductos, por lo que son conocidos como sumideros.

En la figura 2 se muestran varios tipos de sumideros utilizados como estructuras de captación.

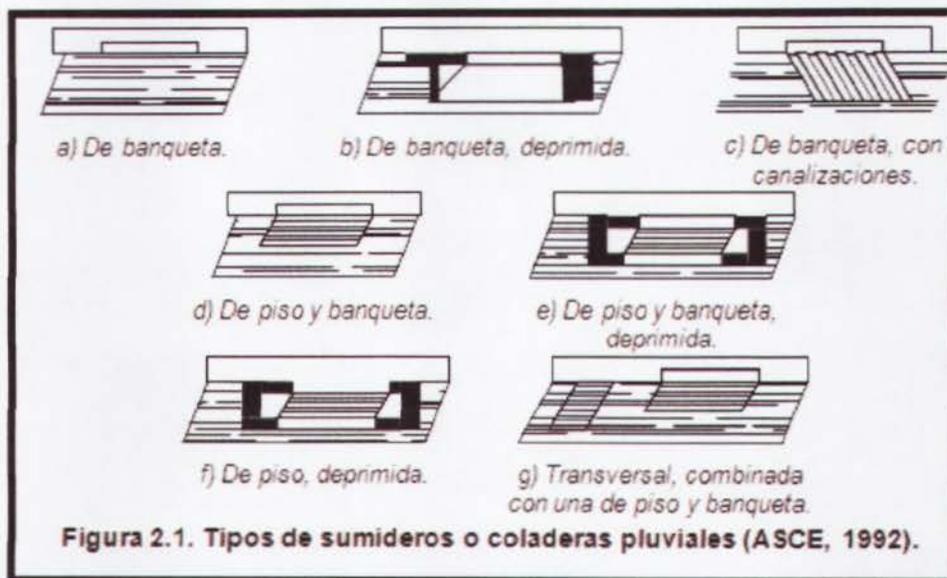


FIGURA 2

FUENTE: MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO

b) Estructuras de conducción

Transportan las aguas recolectadas por las estructuras de captación hacia el sitio de vertido. Representan la parte medular de un sistema de alcantarillado y se forman con conductos cerrados y abiertos conocidos como tuberías y canales, respectivamente.

Por otra parte, los conductos pueden clasificarse de acuerdo al material que los forma y al método de construcción o fabricación de los mismos. Desde el punto de vista de su construcción, existen dos tipos de conductos: los prefabricados y los que son hechos en el lugar.

Los conductos prefabricados son a los que comúnmente se les denomina como "tuberías", con varios sistemas de unión o ensamble, y generalmente de sección circular.

En la figura 3 Y 4 se muestran varios tipos de conductos cerrados y conductos abiertos utilizados como estructuras de conducción.

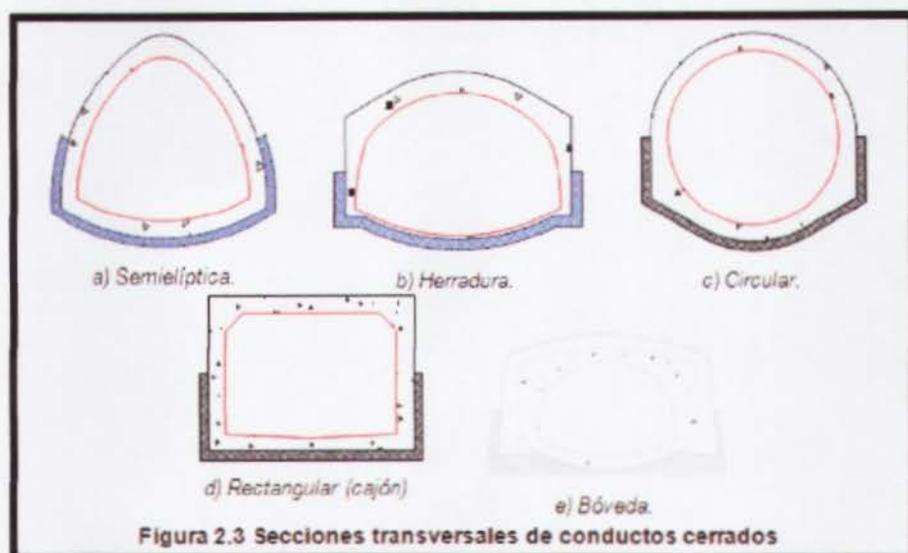


FIGURA 3

FUENTE: MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO

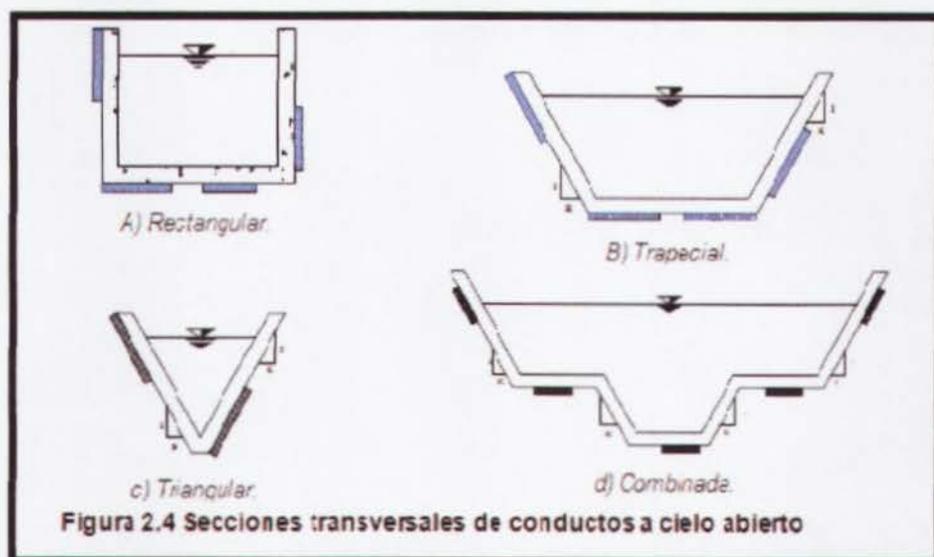


FIGURA 4

FUENTE: MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO

c) Estructuras de conexión y mantenimiento

Facilitan la conexión y mantenimiento de los conductos que forman la red de alcantarillado, pues además de permitir la conexión de varias tuberías, incluso de diferente diámetro o material, también disponen del espacio suficiente para que un hombre baje hasta el nivel de las tuberías y maniobre para llevar a cabo la limpieza e inspección de los conductos. Tales estructuras son conocidas como cámaras de inspección.

d) Estructuras de vertido

Son estructuras terminales que protegen y mantienen libre de obstáculos la descarga final del sistema de alcantarillado, pues evitan posibles daños al último tramo de tubería que pueden ser causados por la corriente a donde descarga el sistema o por el propio flujo de salida de la tubería.

e) Instalaciones complementarias

Se considera dentro de este grupo a todas aquellas instalaciones que no necesariamente forman parte de todos los sistemas de alcantarillado, pero que en ciertos casos resultan importantes para su correcto funcionamiento.

Entre ellas se tiene a las estructuras de cruce, vasos de regulación y de detención, disipadores de energía, etc.

1.3. ASPECTOS DE HIDRÁULICA

La eficiencia del funcionamiento hidráulico de una red de alcantarillado para conducir aguas pluviales, depende de sus características físicas. Mediante el empleo de algunos de los principios de la Hidráulica, se analizan y dimensionan desde estructuras sencillas tales como sumideros hasta otras más complicadas como son las redes de tuberías y de canales.

Los conceptos básicos de Hidráulica, útiles para el diseño y revisión de una red de alcantarillado abarcan entre otros a los siguientes: tipos de flujo, ecuaciones fundamentales de conservación de masa (o de continuidad), cantidad de movimiento y energía, conceptos de energía específica, pérdidas de carga por fricción y locales, perfiles hidráulicos, salto hidráulico, estructuras hidráulicas especiales y métodos de tránsito de avenidas.

1.4. ASPECTOS DE HIDROLOGÍA

Para el diseño de un sistema de alcantarillado pluvial hay que tener en cuenta ciertas variables tales como:

- a) Área de aportación de la cuenca
- b) Datos pluviométricos o registros de lluvias
- c) Intensidad de la lluvia
- d) Coeficiente de escorrentía según el tipo de suelo, etc.

Más allá de esto se deben realizar ciertos procedimientos para el cálculo de las variables ya mencionadas como: cálculo de la precipitación media, curva masa media, construcción del hietograma, deducción de datos faltantes, ajuste de registros etc.

1.5. ESTIMACIÓN DE CAUDALES PLUVIALES

La finalidad es, estimar la avenida que producirá una tormenta en una cuenca, cuando se cumplan algunas de las condiciones siguientes:



La cuenca en estudio está urbanizada y es relativamente chica; de manera que se considera que no es necesaria la simulación detallada de su funcionamiento mediante modelos matemáticos. Este caso incluye a subcuencas asociadas a un sistema principal de drenaje, aunque en el diseño de este último se requiere de una simulación como la mencionada.

La cuenca se drena en forma natural; es decir, no existen drenes artificiales que determinen la forma del escurrimiento, ni presas que lo regulen.

Dimensiones del área por drenar (A).

Forma del área por drenar (f).

Pendiente del terreno (S).

Intensidad de la lluvia (i).

Coefficiente de permeabilidad (k).

Existen varios métodos que relacionan estas variables ya mencionadas. A continuación se mencionaran los métodos más usados.

-Método racional

-Método del hidrograma unitario

-Método de Chow



Estos métodos señalados son los más utilizados para determinar el caudal de una tormenta de diseño en una determinada zona.

1.6. PARÁMETROS DE DISEÑO

El diseño y construcción de una red de alcantarillado es un trabajo de ingeniería donde se busca la eficiencia y economía. El diseño de la red abarca en forma general, la determinación de la geometría de la red, incluyendo el perfil y trazo en planta, los cálculos de diámetro y pendientes de cada tramo y la magnitud de las caídas necesarias en los pozos.

La definición de la geometría de la red se inicia con la ubicación de los posibles sitios de vertido y el trazo de colectores. Para ello, se siguen normas de carácter práctico, basándose en la topografía de la zona y el trazo urbano de la localidad. Por lo común, se aplican las reglas siguientes:

- a) Los colectores de mayor diámetro se ubican en las calles más bajas para facilitar el drenaje de las zonas altas o colectores de menor diámetro.
- b) El trazado de los colectores se ubica sobre el eje central de las calles, evitando su cruce con edificaciones.

Su trazo debe ser lo más recto posible procurando que no existan curvas. Cuando la calle sea amplia, se pueden disponer dos canaletas, una a cada lado de la calle.

c) La red de alcantarillado debe trazarse buscando el camino más corto al sitio de vertido.

d) Las conducciones serán por gravedad. Se tratará de evitar las conducciones con bombeo, puesto que el costo de esta alternativa es demasiado alto.

e) La velocidad mínima del flujo dentro del colector debe ser mayor a 0.6m/s, la pendiente mínima debe ser 4%, tratar de que la tubería no trabaje a presión, tener una relación de tirante vs diámetro de 80% aproximadamente.

f) Seleccionar un adecuado periodo de retorno para la obra, ya que en función de esto la obra será más o menos costosa. En la siguiente tabla se muestran periodos de retorno para el diseño de estructuras menores.

TIPO DE ESTRUCTURA	T (años)
Alcantarillas en caminos secundarios, drenaje de lluvia o contracunetas	5 a 10
Drenaje lateral de los pavimentos, donde pueden tolerarse encharcamientos causados por lluvias de corta duración	1 a 2
Drenaje de aeropuertos	5
Drenaje urbano	2 a 10

TABLA 1

FUENTE: MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO

Estos son ciertos criterios que se deben tener en cuenta al momento de diseñar una red de alcantarillado pluvial.

1.7. ASPECTOS RELATIVOS A LA CONSTRUCCIÓN DE UNA RED DE ALCANTARILLADO PLUVIAL

La construcción de un sistema de alcantarillado pluvial comprende una serie de actividades, las cuales se pueden describir de una manera muy general y en el siguiente orden.

Antes de comenzar a construir cualquier tipo de obra se debe realizar un reconocimiento del terreno, revisar vías de acceso, peligrosidad de la zona, material de préstamo cercano si se da el caso, lugares de depósitos momentáneos para los desechos, etc.

1.7.1. Limpieza y trazo de la red. El trazo de la red se realiza con cal de acuerdo al ancho de la zanja y de acuerdo a los planos del proyecto. Durante esta actividad deberán removerse todos aquellos obstáculos tales como piedras, árboles, etc. que pudieran dificultar la construcción de la red, especialmente en aquellas poblaciones donde no existe pavimento en las calles.

1.7.2. Ruptura de pavimento. Esta actividad se realiza en aquellos casos en que deben hacerse ampliaciones o la instalación de la red por primera vez en aquellas poblaciones cuyas calles ya cuentan con pavimento.

1.7.3. Excavación de la zanja. Se efectúa empleando maquinaria o a mano según el tipo de suelo y la disposición de mano de obra de la localidad. La maquinaria puede consistir en retroexcavadoras, dragas o zanjadoras según el tipo de zanja por excavar.

En los puntos donde se construirán pozos de visita se suele hacer la excavación un poco más amplia, de acuerdo con las dimensiones del pozo y se coloca una plantilla de concreto de acuerdo con los niveles de proyecto.

1.7.4. Protección de las paredes de la zanja. En algunos casos se requiere el uso de puntales pues el material de los costados de la zanja no resiste los taludes de excavación.

1.7.5. Extracción del agua de las zanjas. Puede llevarse a cabo con bombas en aquellos lugares en que el nivel freático sea somero y dificulte la excavación de las zanjas.

1.7.6. Instalación de la tubería. Cuando la excavación de las zanjas ha avanzado lo suficiente, se realiza una nivelación con teodolito de la plantilla de la zanja y se colocala cama de arena según las especificaciones de la misma. Posteriormente se instala cuidadosamente la tubería de acuerdo a las cotas y pendientes de proyecto.



La unión de las tuberías se realiza tal como lo recomienda el fabricante de la tubería y en aquellos espacios donde se ubicarán los pozos de visita se suelen dejar los huecos durante la instalación de la tubería, para que una vez colocada la tubería se construyan los pozos.

1.7.7. Relleno de la zanja. Cuando ya ha sido instalada la tubería y se han hecho los pozos necesarios, se inicia el relleno de la zanja de acuerdo a las especificaciones del relleno de la zanja. Usualmente se apisona el relleno en capas de 10 cm de espesor hasta cubrir el lomo de la tubería. Posteriormente pueden apisonarse capas de mayor espesor (15 a 25 cm) hasta alcanzar la superficie del terreno.

Antes de pavimentar deberá esperarse de tres días a una semana para que el terreno alcance su compactación natural y se eviten asentamientos posteriores.

1.7.8. Reconstrucción del pavimento. Finalmente, se reconstruye el pavimento faltante o se pavimenta toda la calle según lo especifique el proyecto.

La instalación de las estructuras de captación se realiza siguiendo los mismos pasos anteriores, pero complementando la instalación de las tuberías con las estructuras de captación.

Cuando se requiere la construcción de conductos in situ, después de la excavación de las zanjas se lleva a cabo un procedimiento constructivo que permite la construcción de los conductos en dos o tres partes según los siguientes pasos:

1.7.9. Preparación de la cimentación del conducto. Si el terreno de la zanja es consistente, se le da al fondo de la zanja la forma exterior del conducto. Por otra parte, si el terreno es blando, se coloca una plantilla de concreto pobre en el fondo de la zanja.

1.7.10. Construcción de la losa de fondo. Con el terreno preparado, se coloca un armado que permita en primer término fundir la losa de fondo y que ya incluya el armado de los muros.

1.7.11. Construcción de los muros. Una vez que ya se tiene la losa de fondo se pueden colar los muros y en ocasiones hasta el techo del conducto empleando cimbras especiales.

1.7.12. Construcción del techo del conducto. Si la sección del conducto es rectangular, se funde el techo del conducto una vez que los muros están listos.

Durante la fundición de las diferentes partes del conducto deberán tenerse los cuidados necesarios para que el concreto llene todos los huecos, generalmente se utiliza un vibrador.

Estos son ciertos procedimientos que se realizan al momento de construir un sistema de alcantarillado pluvial.

1.8. Operación y mantenimiento

Todo sistema de alcantarillado para que opere de manera eficiente debe contar con una política de operación, la cual debe estar acorde con el diseño del sistema para que el funcionamiento de este sea adecuado y evitar daños tanto a la red como reducir las molestias a los usuarios.

Dentro de las políticas de operación de la red deben estar contemplados programas de mantenimiento preventivo y correctivo, así como maniobras de compuertas y bombeos en determinados sitios y horarios, esto con el propósito de lograr que el sistema funcione de manera óptima. Los programas de mantenimiento tienen por objeto mantener en buenas condiciones a todas las tuberías y todas las estructuras que conforman el sistema.

En todo momento se tratará que las tuberías de la red trabajen a superficie libre; sin embargo, cuando se presenten lluvias mayores a la que corresponde al período de diseño es de esperarse que trabajen a presión y como correspondencia se produzcan inundaciones en la zona, por ello se debe contar con las medidas necesarias para aminorar los daños y molestias que se ocasionan por causa de esto.

Para la limpieza de las conducciones cerradas se deberán emplear equipos apropiados para arrastrar las sustancias sedimentadas. Una forma de hacerlo es remansando el agua dentro de la alcantarilla y después liberándola de manera súbita, esto se logra colocando una compuerta en un extremo de la alcantarilla y al liberar el volumen remansado, éste arrastrará el material sedimentado hacia aguas abajo, esta onda de agua se recomienda se presente en longitudes de tuberías no mayores a 150 a 200 m.

Otro sistema de limpieza es el que utiliza inyección de agua a presión (750 kg/cm²), que es introducida a través de una manguera en cuyo extremo lleva una boca, estas llevan en su parte posterior y en forma de anillo una serie de orificios con cierto grado de inclinación (35° y 45°) para poder ir lanzando el agua y a la vez poder ir avanzando. Este sistema se utiliza en conductos con diámetro interior mayor de 23 mm.

La operación de limpieza de una tubería con este ultimo tipo de sistema es bastante sencilla, ya que basta introducir por el pozo de registro el extremo de la manguera, una vez colocada la tobera adecuada, se pone en funcionamiento la bomba y comienza a avanzar a partir de este momento la manguera, a través de la tubería, empujada por la relación del agua que sale a través de los orificios de la misma, el detalle del proceso se muestra en la siguiente figura.



FIGURA 5

FUENTE: MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO

Existen otros métodos para la limpieza de los colectores pluviales y las cámaras de revisión, pero los ya mencionados son uno de los métodos más usados y prácticos realizados en nuestro medio.

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA, CÁLCULOS Y RESULTADOS

2.1. ÁREA DE ESTUDIO: (CIUDAD CELESTE, URBANIZACIÓN LA BRISA)



FIGURA 6

FUENTE: CIUDAD CELESTE – DEPARTAMENTO TÉCNICO

2.1.1. Introducción

Ciudad Celeste, ubicada en el sector de mayor plusvalía de Samborondón rodeada de naturaleza, ríos de agua fresca, comodidades y excelentes vías de acceso, ha sido concebida con los más altos estándares de calidad y seguridad cuenta con 200 hectáreas en un total de 14 urbanizaciones privadas.



Estudios urbanísticos realizados para el Municipio de Samborondón por Georgia Tech University, han reconocido a la zona de ciudad celeste como nuevo polo de desarrollo de Samborondón.

Ciudad Celeste está ubicada en la vía a Samborondón; a solamente 8 minutos de Riocentro Entreríos, a 20 minutos del Hotel Hilton Colón por la avenida Francisco de Orellana, y a 30 minutos del Malecón 2000.

2.1.2. Datos generales - Urbanización la Brisa

La urbanización la Brisa se encuentra ubicada en el Kilómetro 9 de la vía a Samborondón, dentro de los siguientes límites; al norte, el Cortijo y vía a Daule; al sur, el río Babahoyo; al este, la vía a Daule; al oeste, vía Salitre y cuenta con un área de 16,74 ha.

De acuerdo con la cartografía del sector, el área del proyecto en estudio tiene una topografía regular debido a los rellenos del sector, que se deben al constante crecimiento urbanístico.

2.1.3. Hidrología y drenaje

Este componente es fundamental, considerando que el proyecto es de drenaje pluvial. El área a estudiarse está integrada por la cuenca del mismo proyecto o sea; el área del mismo que comprende 16,74 ha, la cuenca está completamente urbanizada por lo que el sistema de drenaje está definido por el bombeo de las calles.

El área del proyecto es exclusivamente residencial y se ha desarrollado como producto de soluciones habitacionales.

2.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL (LA BRISA – CIUDAD CELESTE)

El sistema de alcantarillado pluvial existente consta de una red de colectores, que se dividen en tres subsistemas los cuales los llamaremos; subsistema 1, subsistema 2 y subsistema 3.

Siendo el subsistema 1, el colector que descarga a una cámara que pertenece al sistema macro de aguas lluvias de ciudad celeste, el subsistema 2, es el colector que descarga al estero 6, así lo hemos llamado por falta de datos y el subsistema 3, es aquel colector que descarga al estero 7, el cual también se lo ha llamado así por falta de datos.

En la figura 7 se muestra el esquema de los tres subsistemas.

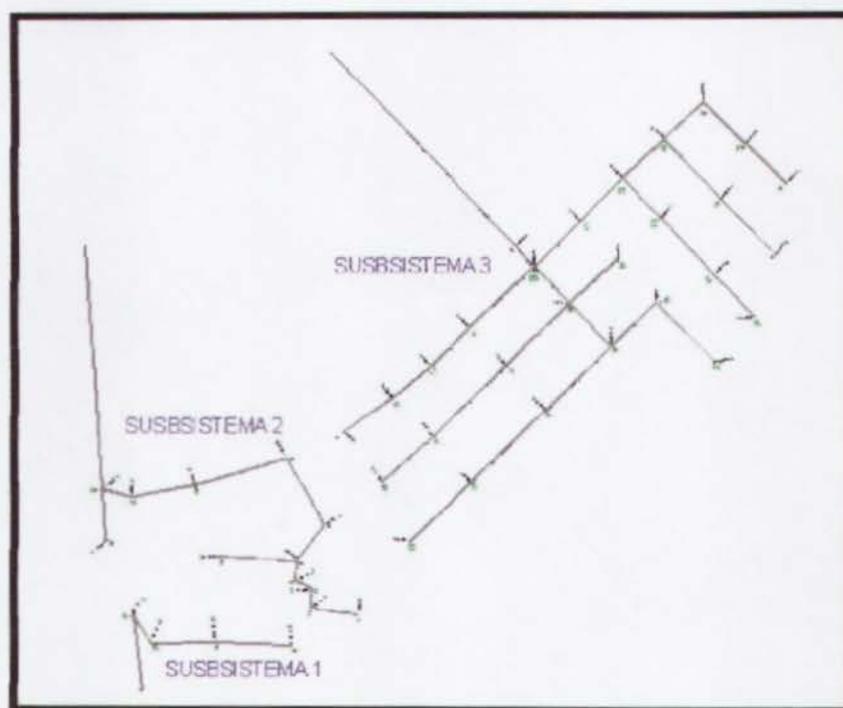


FIGURA 7

2.2.1. Colectores

El sistema de alcantarillado pluvial existente (colectores) es de material hormigón armado y hormigón simple en su totalidad; siendo los colectores de menor diámetro de hormigón simple y los de mayor diámetro de hormigón armado.

A continuación se muestra una tabla, en la cual se indica el material para los diferentes diámetros de tuberías. La tabla mostrada ha sido proporcionada por el departamento de costos de ciudad celeste.

Tipo de material para los diferentes diámetros de hormigón

DIAMETRO	mm	H.S.	H.A.	Longitud
4"	100	7.56		1.25
6"	150	9.14		1.25
8"	200	13.5		1.25
10"	250	18.03		1.5
12"	300	28.55		1.5
16"	400	44.4		1.5
18"	450	45.82		1.5
20"	500	54.43	90.57	1.5
24"	600	82.95	114.08	1.5
27"	670	99.89	137.18	2.5
30"	780	120.09	164.68	2.5
33"	830	135.54	187.55	2.5
36"	900	153.35	209.92	2.5
40"	1000		282.11	2.5
42"	1050		319.68	2.5
44"	1100		354.94	2.5
48"	1200		421.12	2.5
54"	1400		490.27	2.5
60"	1500		613.29	2.5
66"	1700		668.61	2
72"	1800		754.24	2
80"	2000		989.09	2
90"	2250		1115.48	2

Tabla 2

FUENTE: CIUDAD CELESTE – DEPARTAMENTO TÉCNICO

La tubería de hormigón simple se fabrica bajo especificaciones ASTM C-14 e INEN 1590.

La tubería de hormigón armado se fabrica bajo especificaciones ASTM C-76 e INEN 1591.

Los diámetros instalados en la urbanización la brisa son los siguientes:

Ø500mm; 20"

Ø600mm; 24"

Ø670mm; 27"

Ø785mm; 33"

Ø890mm; 36"

Ø985mm; 40"

Ø1090mm; 42"

Ø1390mm; 54"

Ø1490mm; 60"

Ø1690mm; 66"

Ø1820mm; 72"

2.2.2. Cámaras de inspección

Las cámaras de inspección o de revisión están compuestas por dos tipos; cámaras tipo 1, para alturas de excavación hasta 1,50m y cámaras tipo 2, para alturas de hasta 2,50m.

2.2.3. Sumideros

Los sumideros son de tipo buzón, con tapa de hormigón armado y el colector de descarga para estos sumideros es de material nofavort y diámetro 315mm.

2.2.3. Estructuras de descarga

Las estructuras de descarga de los colectores se componen de muros de cabeza con alas a 45°, existen tres tipos dependiendo el diámetro de descarga de los subsistemas.

Para un mejor detalle de lo citado en los párrafos anteriores, revisar el plano 1 en anexos.

2.3. EVALUACIÓN DEL SISTEMA EXISTENTE

Para la evaluación del sistema existente, se procedió a revisar la planilla de cálculo usada en el diseño de la red de colectores de aguas lluvias proporcionada por el departamento técnico de Ciudad Celeste, el cual después de revisar las mismas se llegó a la siguiente conclusión.

Como el diseño de los colectores está basado en un método de diseño antiguo, el cual no toma en cuenta ciertos parámetros de diseño que son importantísimos al momento de diseñar un sistema de alcantarillado pluvial tales como:

La ecuación de intensidad de lluvia, periodos de retorno y asume que las tuberías trabajan a su total capacidad es decir a presión, cuando un sistema de alcantarillado pluvial debe trabajar a gravedad.

Se decidió simular el sistema existente con nuevos parámetros de diseño y la utilización de software, para tener una mejor idea del comportamiento

Hidráulico del sistema. Proponiendo las alternativas mencionadas en **(justificación del tema – objetivos, pág. 2)**.

2.3.1. Parámetros de diseño de alcantarillado pluvial

2.3.1.1 Método de cálculo del caudal

Para la determinación de los caudales de aguas lluvias para el proyecto, se utilizará la fórmula del Método Racional, cuya ecuación es:

$$Q = 0.00278 C I A \quad (1.1)$$

En donde:

- Q = Caudal (m³/s)
- C = Coeficiente de escorrentía (adimensional)
- I = Intensidad promedio de la lluvia (mm/hora)
- A = Área de la cuenca de drenaje (ha)
- 0.00278 = Constante de conversión

2.3.1.2 Frecuencia de diseño

La selección de la frecuencia óptima de diseño debe responder a un estudio de tipo hidro-económico que permita escoger a aquella que presente el valor mínimo para la suma del daño anual esperado, ocasionado por los eventos de lluvias, más los costos de inversión, operación y mantenimiento de las obras de drenaje.

El cálculo de los daños para los diferentes niveles de inundación que generan las lluvias de diversos periodos de recurrencia, es una actividad compleja y requiere de una gran cantidad de información de campo y metodologías que permitan definir el costo de los daños por efecto de las inundaciones. Por esta razón la frecuencia de diseño se la define a partir de lo establecido en normas del IEOS que dicen lo siguiente:

Con propósitos de selección de las frecuencias de las lluvias de diseño, se considerará el sistema de drenaje como constituido por dos sistemas diferentes. El sistema de drenaje inicial o de microdrenaje compuesto por pavimentos, cunetas, sumideros y colectores y el de macrodrenaje, constituido por grandes colectores. (Canales, esteros y ríos).

El sistema de microdrenaje se dimensionará para el escurrimiento cuya ocurrencia tenga un período de retomo entre 2 y 10 años, seleccionándose la frecuencia de diseño en función de la importancia del sector y de los daños y molestias que puedan ocasionar las inundaciones periódicas. Para la urbanización La Brisa se diseñará el microdrenaje para una frecuencia de 5 años.

Los sistemas de macrodrenajes se diseñarán para escurrimientos de frecuencias de 25 y 50 años. La selección de la frecuencia de diseño será el resultado de un análisis de los daños a propiedades y vidas humanas que puedan ocasionar escurrimientos de frecuencias superiores. Para el microdrenaje se aplicará el modelo StormCAD.

2.3.1.3 Intensidad y frecuencia de lluvias

Las ecuaciones de intensidad de lluvia fueron obtenidas del plan maestro de alcantarillado pluvial INTERAGUA.

$$I = 181,8 \times t^{-0,2645}; \text{ Para } 34\text{min} < t \quad (1.2)$$

$$I = 438,1 \times t^{-0,5148}; \text{ Para } 34\text{min} < t < 120\text{min} \quad (1.3)$$

Válidas para un periodo de retorno de 5 años

$$I = 175,3 \times t^{-0,36}; \text{ Para } 120\text{min} < t \quad (1.4)$$

Válida para un periodo de retorno de 2 años

2.3.1.4 Tiempo de concentración

Se lo define como el tiempo necesario (t_c) para que una gota de agua llegue desde el punto más alejado de la cuenca hasta el punto donde se necesita estimar el caudal de escorrentía. Este es un concepto muy importante, dado que para calcular el caudal de escorrentía, se debe asumir que el valor de la intensidad media de la lluvia, es el correspondiente a la duración t , de lluvia igual al tiempo de concentración t_c .

Para el microdrenaje, el valor de t_c se obtiene mediante la suma del tiempo de concentración inicial y del tiempo de recorrido.

$$t_c = t_i + t_r \quad (1.5)$$

Donde:

t_i = Tiempo inicial (minutos)

t_r = Tiempo de recorrido (minutos)

Tiempo inicial: es el tiempo requerido, expresado en minutos, para que el agua fluya por la superficie del terreno hasta la primera entrada del sistema de recolección.

Para calcular el tiempo de concentración se han desarrollado un sinnúmero de ecuaciones que se encuentran en la literatura técnica, y cuya utilización no se justifica para áreas urbanas de pequeño tamaño, por lo que se utilizará los tiempos de concentración iniciales, recomendados en las normas del IEOS y de Interagua.

Para el presente proyecto se ha asumido un tiempo de concentración inicial de 15 minutos.

Tiempo de recorrido: es el tiempo requerido, expresado en minutos, para que el agua fluya en la alcantarilla desde el inicio hasta el final de esta.

Para el cálculo de este tiempo se empleará la siguiente expresión:

$$t_r = \frac{L}{60 \times V} \quad (1.6)$$

Donde:

t_r = Tiempo de recorrido (minutos)

L = Longitud del tramo (metros)

La simulación del comportamiento hidráulico de los colectores, en el presente trabajo se la realizará empleando el software StormCAD. Dentro de la rutina de cálculo se considera el tiempo de recorrido, a lo largo de los conductos, calculado como el cociente entre la longitud del tramo y su velocidad media.

2.3.1.5 Coeficiente de escurrimiento

El coeficiente de escurrimiento, C , es función del tipo de suelo, del grado de permeabilidad de la zona, de la pendiente del terreno y otros factores que determinan la fracción de la precipitación que se convierte en escurrimiento. En su determinación deben considerarse las pérdidas por infiltración en el suelo y otros efectos retardadores de la escurrimiento. De igual manera, debe incluir consideraciones sobre el desarrollo urbano, los planes de ordenamiento territorial y las disposiciones legales locales sobre uso del suelo. El valor del coeficiente C debe ser estimado tanto para la situación inicial como la futura, al final del periodo de diseño.

Para el presente proyecto se utilizarán los coeficientes de escurrimiento determinados en la "Hidrología Aplicada" de Ven Te Chow y cuyos valores medios pueden resumirse en la siguiente tabla:

Valores medios del coeficiente de escorrentía "C"

TIPO DE ZONA	COEFICIENTE "C"	
	RANGO	ADOPTADO
Zonas centrales densamente construidas, con vías y calzadas pavimentadas	0.70 - 0.90	0.90
Zonas adyacentes al centro de menor densidad poblacional con calles pavimentadas	0.70	0.70
Zonas residenciales medianamente pobladas	0.55 - 0.65	0.60
Zonas residenciales con baja densidad	0.35 - 0.55	0.40
Parques, campos de deportes	0.10 - 0.20	0.15

Tabla 3

FUENTE: HIDROLOGÍA APLICADA DE VEN TE CHOW

Cuando sea necesario se calculará un coeficiente de escurrimiento compuesto, basado en porcentajes de diferentes tipos de superficie. En esos casos se podrá utilizar los valores que se presentan en la siguiente tabla:

Valores de "C" para diversos tipos de superficies

TIPO DE SUPERFICIE	"C"
Cubierta metálica o teja vidriada	0.95
Cubierta con teja ordinaria o impermeabilizada	0.9
Pavimentos asfálticos en buenas condiciones	0.85 a 0.90
Pavimentos de hormigón	0.8 a 0.85
Empedrados (juntas pequeñas)	0.75 a 0.8
Empedrados (juntas ordinarias)	0.4 a 0.5
Pavimentos de macadam	0.25 a 0.6
Superficies no pavimentadas	0.1 a 0.3
Parques y jardines	0.05 a 0.25

Tabla 4

FUENTE: HIDROLOGÍA APLICADA DE VEN TE CHOW

Para la determinación del coeficiente de escorrentía de cada zona es necesario establecer las distintas áreas y tipos de protección.

El coeficiente medio ponderado de escorrentía es igual a:

$$C = \sum (A_i \times C_i) / \text{Sum} (A) \quad (1.7)$$

En donde:

\sum = Sumatoria

C = coeficiente medio de escorrentía

A_i = área de aportación correspondiente a cada tipo de protección

C_i = coeficiente de escorrentía correspondiente a cada tipo de protección

A = área total aportación

Para el caso de La Brisa, se utilizará un C de 0.85 para las áreas pobladas y 0.35 para las áreas verdes y no urbanizables. Para ciertos casos se utilizará un coeficiente ponderado.

Para la conducción y evacuación de las aguas lluvias de los colectores, se ha considerado elementos geométricos de sección circular, como tuberías de PVC, hormigón simple o armado.

Las obras de captación proyectadas serán sumideros simples con tirantes de \varnothing 315mm novafort, instalados con una pendiente mínima de 1%, o lo que se indique en los planos de diseño.

2.3.1.6 Cálculo de los caudales o capacidad hidráulica

El dimensionamiento hidráulico de las tuberías de alcantarillado pluvial, se efectuara aplicando las fórmulas hidráulicas universales de continuidad y de Manning, que se expresan en la siguiente fórmula:

$$Q = A \times V \quad (1.8)$$

$$V = (1/n) \times R_h^{2/3} \times S^{0.5} \quad (1.9)$$

En donde:

Q = Caudal de descarga en la tubería o conducto, en l/s

A = Área o sección transversal del conducto, en m²

V = Velocidad media del agua, en m/s

R_h = Radio Hidráulico, en m.

S = Pendiente de instalación del conducto

n = Coeficiente de rugosidad del conducto

El coeficiente de rugosidad n utilizado en los cálculos hidráulicos es de 0.013, para tuberías de hormigón y de 0.010 para el caso de tuberías de P.V.C.

2.3.1.7 Profundidad mínima de instalación

La determinación de la profundidad mínima de instalación está orientada a disponer siempre una altura de relleno de protección sobre el lomo de la tubería, mínimo de 1.00 m; en caso de que no se alcance esta altura de relleno, se deberá proteger la tubería con un elemento estructural de hormigón armado.

2.3.1.8 Cambio de diámetro

Cuando en un punto o pozo del colector aumenta el diámetro de la tubería o se une a una tubería de menor diámetro con otra mayor, el invert de la tubería grande se colocará más abajo hasta obtener una misma gradiente de energía y permitir el flujo normal del agua.

2.3.1.9 Localización y distancias máximas de cámaras de inspección

Las cámaras de inspección se colocarán en los siguientes lugares:

- Al inicio de todo colector
- En la intersección de los colectores
- En los cambios de dirección
- En los cambios de pendiente
- En los cambios de diámetros

Las distancias máximas entre cámaras de inspección, de conformidad a las "Normas y Criterios de diseño para alcantarillado de la ciudad de Guayaquil, Volumen 3 Redes de Alcantarillado de la I. Municipalidad de Guayaquil" serán las siguientes:

< Ø 200 mm	L = 100 m
Ø 200 mm y Ø 450 mm	L = 120 m
Ø 450 mm y Ø 600 mm	L = 150 m

Es de suponer que para diámetros mayores a 600 mm se facilitan las labores operativas, por lo que se considerará las recomendaciones del IEOS, respecto a las distancias máximas entre cámaras de inspección para estos diámetros:

Entre Ø 600 mm y Ø 800 mm	L = 150 m
Mayores a Ø 800 mm	L = 200 m

2.3.1.10 Velocidades permitidas

Las velocidades máximas admisibles en tuberías o colectores dependen del material de fabricación. Se recomienda usar los valores que consta en la tabla 4.

En lo que se refiere a la velocidad de flujo, INTERAGUA indica que el valor mínimo aceptable para alcantarillas de aguas de lluvias será de 0,70 m/s para colectores secundarios y 0.90 m/s para colectores principales.

En ciertos casos, especialmente cuando se puedan producir arrastres excesivos, INTERAGUA, podrá exigir una velocidad mínima de 1 m/s. Las velocidades máximas permisibles en las redes de aguas de lluvias estarán en función del material de las tuberías (y de las indicaciones del fabricante).

Como valores de referencia se incluye una tabla con las velocidades máximas recomendadas, en función del material del conducto. En cada tramo deberá verificarse el comportamiento de autolimpieza del flujo, para lo cual es necesario utilizar el criterio de esfuerzo cortante medio, estableciéndose que sea mayor a 3.0 N/m² o 0.3 kg/m² para el caudal de diseño y mayor o igual a 1.5 N/m² ó 0.15 kg/m² para el 10% de la capacidad a tubo lleno.

Velocidades máximas según el material de la tubería

Tipo de Material de la tubería	Velocidad Máxima (m/s)
Acero	6.0
Cloruro de Polivinilo (PVC)	10.0
Acero con recubrimiento de mortero centrifugado	4.5
Cobre	4.0
Concreto normal	5.0
Concreto reforzado	6.5
Ladrillo común	3.0
Gres	5.0
Hierro Dúctil con recubrimiento de mortero centrifugado	4.5

Tabla 5

FUENTE: INTERAGUA

2.3.1.11 Pendientes permitidas

La pendiente mínima estará determinada por la velocidad mínima de autolimpieza.



Aún cuando las pendientes máximas están determinadas en general por la velocidad máxima, también deberá tenerse en cuenta que en el diseño de canales o estructuras complementarias no se produzca flujo crítico o cercano al crítico (dentro de un 10% de la altura del agua correspondiente al flujo crítico).

Cabe destacar que la determinación del tipo de régimen de flujo se realizará mediante la utilización del número de Froude. Este es el parámetro adimensional que caracteriza los regímenes de flujo a superficie libre donde la fuerza predominante sobre el escurrimiento es la fuerza de gravedad. Este número se define como:

$$F = V / (gA/Bs)^{0.5} \quad (1.10)$$

Donde:

V: Velocidad real del agua para el tubo funcionando parcialmente lleno (m/s).

g: Aceleración de la gravedad (m/s²) – 9,81 m/s²

A: Área transversal mojada de la sección del conducto (m²).

Bs: Ancho superficial (m).



La discriminación del tipo de flujo mediante este parámetro se realiza mediante la siguiente manera:

$$F < 1$$

El régimen de flujo es subcrítico lo que implica que cualquier modificación que se le produzca a la sección transversal del escurrimiento, aumento o disminución en corte o en planta, se traducirá en elevación o depresión de la misma y esta perturbación se propagará hacia aguas arriba.

$$F = 1$$

El régimen de flujo es crítico y se caracteriza por la inestabilidad de la superficie libre con la consecuente formación de ondulaciones en la misma.

$$F > 1$$

El régimen de flujo es supercrítico o de alta velocidad, lo que implica que cualquier modificación que se le produzca a la sección transversal del escurrimiento, aumento o disminución en corte o en planta, se traducirá en depresión o elevación de la misma y esta perturbación se propagará hacia aguas abajo.



2.3.1.12 Relación de colado a diámetro

El criterio para definir esta relación puede estar en función del máximo porcentaje de utilización de la capacidad de transporte de agua en la tubería (Q/Q_0), dado en la tabla que se muestra a continuación, o de la relación entre la altura del agua al diámetro interno del colector (Y/D).

En este sentido la definición de esta relación se convierte en una restricción para la adopción final del diámetro del colector, que en ocasiones obliga a tomar un diámetro superior al hidráulicamente necesario.

Relaciones (q/q_0) y (y/d) para alcantarillado		
DIAMETRO DE LA TUBERIA (mm)	Q/Q_0	Y/D
200 a 600	0,60	0,60
600 a 1200	0,70	0,65
> 1200	0,90	0,80

Tabla 6

FUENTE: HIDROLOGÍA APLICADA DE VEN TE CHOW



Relaciones (q/q₀) y (y/d) para alcantarillado pluvial		
DIAMETRO DE LA TUBERIA (mm)	Q/Q₀	Y/D
TODOS	0,90	0,80

Tabla 7

FUENTE: HIDROLOGÍA APLICADA DE VEN TE CHOW

2.3.1.13 Diámetros y secciones de las alcantarillas

Tanto para tuberías de hormigón como PVC, el diámetro mínimo considerado para alcantarillado sanitario es de 0.20 m, y para alcantarillado pluvial de 0.25 m.

2.3.1.14 Cámaras de revisión

En sistemas de alcantarillado, las cajas de revisión se colocarán al inicio de todo colector, en todo cambio de diámetro en todos los cambios de pendientes, cambios de dirección, exceptuando el caso de alcantarillas curvas, y en las confluencias de los colectores. La máxima distancia entre cámaras de revisión será:



Distancias máximas entre cámaras

DIAMETRO (mm)	DISTANCIA MÁXIMA (m)
< 200 mm	100
DE 200 mm A 450 mm	120
DE 450mm A 600 mm	150
DE 600mm A 800 mm	150
Mayor a 800 mm	200

Tabla 8

FUENTE: INTERAGUA

Para todos los diámetros de colectores, las cámaras podrán colocarse a distancias mayores, dependiendo de las características topográficas y urbanísticas del proyecto, considerando siempre que la longitud máxima de separación entre las cámaras no deberá exceder a la permitida por los equipos de limpieza.

La abertura superior de la cámara será como mínimo 0,6 m. El cambio de diámetro desde el cuerpo de la cámara hasta la superficie se hará preferiblemente usando un tronco de cono excéntrico, para facilitar el descenso al interior de la cámara.



El diámetro del cuerpo de la cámara estará en función del diámetro de la máxima tubería conectada al mismo, de acuerdo al cuadro. El diámetro del cuerpo de la cámara estará en función del diámetro de la máxima tubería conectada al mismo, de acuerdo a la tabla 9.

Diámetros recomendados de cámaras de revisión

Diámetro de la tubería (mm)	Diámetro de la cámara (m)
menor e igual a 550	0,9
mayor a 550	Diseño especial

Tabla 9

FUENTE: INTERAGUA

La tapa de la cámara de revisión será circular y generalmente de hierro fundido. Tapas de otros materiales, como por ejemplo hormigón armado, podrán utilizarse previa la aprobación del contratista o Ciudad Celeste. Las tapas irán aseguradas al cerco mediante pernos, o mediante algún otro dispositivo que impida su apertura por personas no autorizadas. De esta manera se evitarán las pérdidas de las tapas o la introducción de objetos extraños al sistema de alcantarillado.



La corona de la cámara se mantendrá a 0.10 m por encima de la superficie del terreno en calles no pavimentada y a nivel con el pavimento en calles pavimentadas.

No se recomienda el uso de peldaños en la cámara. Para acceder a las alcantarillas a través de la cámara, se utilizarán escaleras portátiles.

Si el conducto no cambia de dirección, la diferencia de nivel, en la cámara, entre la solera de la tubería de entrada y aquella de la tubería de salida corresponderá a la pérdida de carga que se haya calculado para la respectiva transición.

Para el caso de tuberías laterales que entran a la cámara en la cual el flujo principal es en otra dirección, los canales del fondo serán conformados de manera que la entrada se haga a un ángulo de 45 grados respecto del eje principal de flujo. Esta unión se dimensionará de manera que las velocidades de flujo en los canales que se unan sean aproximadamente iguales. De esta manera se reducirán las pérdidas al mínimo.

Cámaras Tipo

Las cámaras se clasifican en Tipo I, Tipo II, son cámaras circulares de hormigón simple, con losa rectangular.



Cámaras Tipo I

Son cámaras circulares de 1,0 m de diámetro con base rectangular, cilindro de hormigón simple y losa superior en concreto reforzado, para tuberías cuyos diámetros oscilan entre 250 y 500mm.

La resistencia a la compresión simple del concreto a los 28 días, será de $f'c=210$ kg/cm². Se muestran detalles en el Plano 1 Cámara de Inspección de AA.LL, con tapa de hormigón Tipo I.

Cámaras Tipo II

Son cámaras con base rectangular, para tuberías cuyos diámetros oscilan entre 600 y 900mm, sin cambios de dirección en la línea del flujo. La resistencia a la compresión simple del concreto a los 28 días, será de $f'c=210$ kg/cm². Se muestran detalles en Plano Cámara de Inspección de AA.LL, con tapa de hormigón Tipo II.

2.3.1.15 Cálculo de la caída en cámara de inspección

Como ya se indicó, la simulación hidráulica de los colectores, en el presente trabajo se realiza con el empleo del StormCAD, que calcula la superficie del agua en los conductos, considerando flujo gradualmente variado. En cada cámara se calculan las pérdidas de carga, dependiendo de los ángulos de llegada de las tuberías con respecto al de la salida y, eventualmente, el número de tuberías que llegan a la cámara.



A partir del cálculo de los perfiles, en régimen gradualmente variado, se define el salto que es necesario incluir en la cámara para evitar que la tubería trabaje a presión en el tramo de llegada a la cámara.

Se adjunta un cuadro donde se indican los coeficientes k de las pérdidas de carga en las cámaras, para diversas situaciones de entrada y salida de las tuberías.

Las pérdidas de carga se calculan como
$$h_l = \frac{k v^2}{2g} \quad (1.11)$$

Coefficientes de pérdidas en las cámaras

Table 9-5 Typical Headloss Coefficients

Type of Manhole	Diagram	Headloss Coefficient
Trunkline only with no bend at the junction		0.5
Trunkline only with 45° bend at the junction		0.6
Trunkline only with 90° bend at the junction		0.8
Trunkline with one lateral		Small 0.6 Large 0.7
Two roughly equivalent entrance lines with angle < 50° between lines		0.8
Two roughly equivalent entrance lines with angle > 50° between lines		0.9
Three or more entrance lines		1.0

FIGURA 8

FUENTE: MANUAL DE DISEÑO DEL STORMCAD



2.4. REDISEÑO DEL SISTEMA EXISTENTE Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO

Para el rediseño y evaluación del sistema se han considerado los mismos parámetros de diseño mencionados en el subcapítulo (2.3.2. **Parámetros de diseño de alcantarillado pluvial**), a excepción de lo siguiente.

Método de análisis:	Método del hidrograma unitario
Tiempo de análisis del programa:	6 horas
Hietogramas de diseño:	ver anexos (ANEXO 5)

Tiempo de análisis del programa. Es el tiempo en el cual el programa calcula los datos hidráulicos.

Se comparan resultados desde el punto hidráulico y económico entre las 2 alternativas, mencionadas en (**justificación del tema – objetivos, pág. 2**).

2.4.1 ALTERNATIVAS DE DISEÑO

2.4.1.1 Alternativa 1

La alternativa 1 propone el rediseño completo de los colectores del sistema existente; puesto que en ciertos casos la tubería está trabajando de manera holgada es decir está sobredimensionado el sistema.



Esta alternativa contempla disminuir los colectores que trabajen de manera holgada lo más posible, para así bajar los costos de suministro e instalación de las mismas.

La modelación del sistema de alcantarillado pluvial se lo hará en el Sewergems; puesto que el programa permite simular en régimen no permanente.

Luego se calcularán los volúmenes de obra y presupuesto de la alternativa 1 para tener una idea del costo aproximado de la construcción del sistema rediseñado.

2.4.1.2 Alternativa 2

La alternativa 2 consiste en implementar depósitos de regulación (cisternas) a la alternativa 1, con el fin de almacenar el agua que proviene de los techos de las casas, la cual equivale al 50% del área del solar.

El propósito de almacenar el agua lluvia en las cisternas es; atenuar el pico del hidrograma de salida de los 3 subsistemas, con el fin de disminuir los diámetros de los colectores del sistema de alcantarillado pluvial.

El agua almacenada en las cisternas se procederá a bombear una vez transcurrida la lluvia de diseño hacia las cunetas, que posteriormente conducirán el agua hacia los colectores.



Luego se calcularán los volúmenes de obra y presupuesto de la alternativa 2 para tener una idea del costo aproximado de la construcción del sistema con regulación y se lo comparará con la alternativa 1.

A continuación se detalla paso a paso, el procedimiento para lograr el objetivo de la alternativa 2.

Procedimiento

1. Se escogieron diferentes áreas de los solares que pertenecen a la urbanización La Brisa, con el fin de determinar cuáles serían los caudales que generan estos.

Entre los solares escogidos tenemos el de área más pequeña, promedio y el de mayor área; siendo estas áreas las siguientes:

Solar tipo 1: 351.64m²

Solar tipo 2: 270m²

Solar tipo 3: 216m²

Caudales sin regulación

Los caudales pico que generan los solares tipo sin regulación se detallan a continuación:



Para un periodo de retorno $T = 5$ años y 2 horas de duración

Solar tipo 1: 2.09l/s

Solar tipo 2: 1.61l/s

Solar tipo 3: 1.31l/s

Para un periodo de retorno $T = 5$ años y 0.30min de duración

Solar tipo 1: 1.86l/s

Solar tipo 2: 1.44l/s

Solar tipo 3: 1.17l/s

Para un periodo de retorno $T = 2$ años y 2 horas de duración

Solar tipo 1: 1.34l/s

Solar tipo 2: 1.03l/s

Solar tipo 3: 0.84l/s

Para un periodo de retorno $T = 2$ años y 0.30min de duración

Solar tipo 1: 0.67l/s

Solar tipo 2: 0.51l/s

Solar tipo 3: 0.42l/s

Caudales con regulación

Los caudales pico que generan los solares tipo con regulación se detallan a continuación:



Para un periodo de retorno $T = 5$ años y 2 horas de duración

Solar tipo 1: 1.01l/s

Solar tipo 2: 0.84l/s

Solar tipo 3: 0.66l/s

Para un periodo de retorno $T = 5$ años y 0.30min de duración

Solar tipo 1: 0.91l/s

Solar tipo 2: 0.75l/s

Solar tipo 3: 0.59l/s

Para un periodo de retorno $T = 2$ años y 2 horas de duración

Solar tipo 1: 0.65l/s

Solar tipo 2: 0.54l/s

Solar tipo 3: 0.42l/s

Para un periodo de retorno $T = 2$ años y 0.30min de duración

Solar tipo 1: 0.32l/s

Solar tipo 2: 0.27l/s

Solar tipo 3: 0.21l/s

NOTA: Se decidió calcular los caudales con esos periodos de retorno y duraciones; puesto que son las situaciones más críticas para el diseño de la cisterna, ya que con el volumen de los hidrogramas que generan los solares se dimensionará el volumen de la cisterna.



La cual deberá tener la capacidad de almacenar el volumen generado por los solares para los diferentes periodos de retorno y duración.

2. Una vez obtenido los caudales que generan los solares, se procedió a dimensionar la cisterna en función del volumen del hidrograma que genera el solar con mayor área y un periodo de retorno de 5 años y 2 horas de duración; puesto que se asume que con ese periodo y duración de lluvia tendría que llenarse la cisterna.

Cabe resaltar que para el diseño de la cisterna estamos considerando que el 50% del escurrimiento, va directo al sistema de alcantarillado pluvial y el otro 50% hacia las cisternas el cual deberá permanecer almacenado hasta que transcurra la lluvia.

El volumen del hidrograma que genera el solar tipo 1: 5.14m³

Con ese volumen se definió el siguiente volumen de cisterna

$$V= 6\text{m}^3$$

A continuación se muestra un detalle de la cisterna.

Detalle definitivo de la cisterna

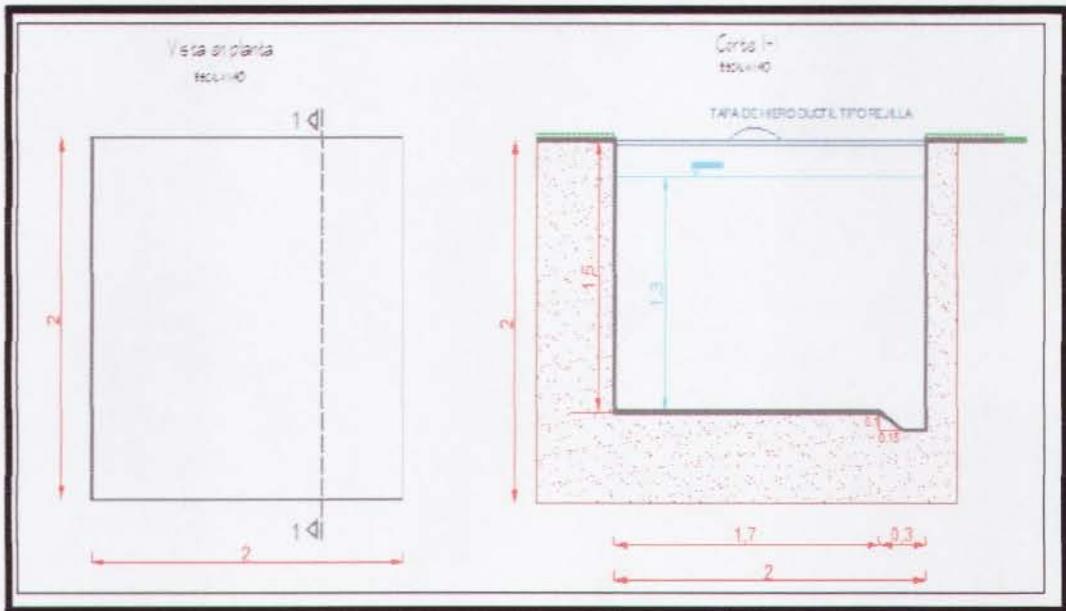


FIGURA 9

3. Una vez diseñado el volumen de la cisterna se procedió a seleccionar la bomba para vaciar la el agua que se almacena durante la lluvia.

Para la selección de la bomba se tomaron en cuenta los siguientes parámetros:



a) El caudal que debía bombear y el tiempo de vaciado de la cisterna

El tiempo de vaciado de la cisterna: El volumen de la cisterna (6m^3), ha sido definido en función del periodo de retorno y duración de lluvia más crítico; o sea $T = 5$ años y $\Delta t = 2$ horas, entonces el vaciado de la cisterna deberá hacerse después de las 2 horas. Se asume que para ese evento más crítico la cisterna debería llenarse en su totalidad.

El caudal a bombear: Para determinar el caudal a bombear, se tomó como referencia el caudal que generaba el solar tipo 1, para el evento más crítico.

Solar tipo 1 (área más grande de todos los solares = $351,64\text{m}^2$)

Caudal que genera considerando la regulación = 1.015 L/s

Entonces la bomba a seleccionar deberá ser capaz de bombear un caudal menor o igual a 1.015 L/s y ser capaz de elevar una CDT = 2m .

b) El tipo de bomba a utilizar

Se utilizan bombas de achique o sumergibles que tienen la capacidad de bombear alturas de agua menores a 1cm .

c) Determinar la carga dinámica total

Para determinar la carga dinámica total se utilizó el programa Flow master, para calcular las pérdidas por fricción generadas en la tubería y para las pérdidas locales, la fórmula de pérdidas localizadas en conductos.



2.4.2 Comparación de alternativas

Desde el punto de vista del comportamiento hidráulico y de operación, las alternativas son idénticas, por lo que la selección deberá hacerse en función del costo de inversión.

2.5. PRESUPUESTO

El presupuesto de ambas alternativas son las siguientes:

Alternativa #1 US \$ 915,668.03

Alternativa #2 US \$ 1,723,767.18

CAPÍTULO 3

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 CONCLUSIONES

En virtud de la gran diferencia que existe entre los presupuestos, la segunda alternativa desde el punto de vista económico, no es viable.

La manera como ha sido concebida la alternativa 2, de almacenar el agua lluvia a través de sistemas de hormigón armado es inaplicable; puesto que la construcción e instalación de las mismas eleva considerablemente el costo de la alternativa.

3.2 RECOMENDACIONES

Construir sistemas para almacenar agua lluvia no es conveniente, es muy costoso, en una futura investigación se deberá buscar la manera de reducir los costos de la cisterna buscando otro tipo de material que no sea hormigón.

Una alternativa que podría ser más viable que la considerada de los depósitos de almacenamiento, sería construir un depósito para varias viviendas, para lo cual podría analizarse previamente la economía de escala de los tanques.

En el caso de desarrollos habitacionales planificados, como el analizado en este trabajo, se podría prever el uso de las áreas verdes como sitio de ubicación de grandes depósitos de almacenamiento e infiltración.

BIBLIOGRAFÍA

COMISION NACIONAL DEL AGUA – MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO.

FACTIBILIDAD ALCANTARILLADO PLUVIAL LOS VERGELES.

JAVIER SANCHEZ SAN ROMÁN – DEPARTAMENTO GEOLOGÍA SALAMANCA (ESPAÑA)

ARTICULO PUBLICADO.

HIDROLOGIA APLICADA DE VEN TE CHOW.

FRANCISCO MAFLA PROFESOR DE LA UNIVERSIDAD MARIANA PASTO (COLOMBIA) ARTICULO PUBLICADO.

REDALYC – SISTEMA DE INFORMACION CIENTIFICA (RED DE REVISTAS CIENTIFICAS DE AMERICA LATINA, EL CARIBE, ESPAÑA Y PORTUGAL).

URBAN DRAINAGE DESIGN MANUAL (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION).