

"Diseño del Drenaje Superficial de Calles, en el Proyecto Vial Sector 3, de la Parroquia Pascuales, Ubicado entre el Km. 18 y Km. 22 de la Vía Perimetral (Av. 56 N-O), Utilizando el Software “Storm Water Management Model (SWMM)” de la Environmental Protection Agency (EPA)”

Silvia Mercedes Miranda Naranjo⁽¹⁾ Jefferson Fernando Pachar Cando⁽²⁾ Ing. Alby del Pilar Aguilar Pesantes⁽³⁾
Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
silmmira@espol.edu.ec⁽¹⁾ jeffpach@espol.edu.ec⁽²⁾ albdagui@espol.edu.ec⁽²⁾

Resumen

Este documento presenta el diseño del sistema de drenaje superficial de calles en el Área Norte del proyecto vial Sector 3, de la parroquia Pascuales de la ciudad de Guayaquil, el cual procuró adaptarse al amanzamiento existente y cumplir con los requisitos de ser una solución técnica, eficiente, y económica. Se espera que mediante la ejecución de este proyecto de ingeniería, complementado con el diseño de una red de AAPP y AASS apropiado, se logre cumplir con el objetivo de mejorar la calidad de vida de los habitantes de este populoso Sector al reducir las zonas de inundación, disminuir las enfermedades infectocontagiosas y daños materiales ocasionadas por el actual ineficiente drenaje de las aguas lluvias. Para comprobar la funcionalidad del diseño se realizaron los cálculos hidráulicos necesarios, además de una simulación del mismo en el software libre Storm Water Management Model (SWMM), de la Environmental Protection Agency (EPA) de Estados Unidos.

Palabras Claves: *drenaje superficial, escorrentía, método racional, cuencas de drenaje, áreas tributarias, intensidad de lluvia, estructuras de drenaje, flujo en lámina libre, colectores, simulación.*

Abstract

This paper presents a rainwater drainage design in the North Area of Sector 3 road project, at Pascuales in Guayaquil, Ecuador. This design was adapted to existing urban blocks, met technical requirements, and offered an efficient, and economical solution. It is hoped that through this project, engineering design could be complemented with a drinking water distribution system and an appropriate sewage collection system. This must be achieved to meet the goal of improving the quality of life of the inhabitants of this populous area, to reduce flood zones, reduce infectious diseases and minimize the damage caused by the current inefficient drainage of rainwater. To verify the design's functionality, hydraulic calculations were made using the rational method. A simulation of the proposed design was run using the Storm Water Management Model (SWMM), which is a free software, provided by the Environmental Protection Agency (EPA) of the United States.

Keywords: *surface drainage, runoff, rational method, drainage basins, tributary areas, rainfall intensity, drainage structures, free surface flow, collectors, simulation.*

1. Introducción

En época de lluvias es muy común que en algunas zonas de la ciudad de Guayaquil se produzcan inundaciones, lo que refleja la importancia de contar con un sistema de drenaje adecuado que sea capaz de evacuar con rapidez el agua proveniente de las precipitaciones.

El problema radica en la forma desorganizada y sin planificación en la que se ha dado la expansión de nuestra ciudad principalmente en la periferia donde se constituyeron ocupaciones informales, sin

infraestructura urbana con precarias condiciones sanitarias y de seguridad. Siendo este el caso del “Sector 3” denominado así por la Municipalidad que sectorizó las cooperativas ubicadas al oeste de la Av. Perimetral con la finalidad de que se lleven a cabo simultáneamente estudios y diseños independientes pero interrelacionados que permitan dotar de infraestructura estos sectores.

Debido a la gran extensión que abarca el territorio (151 ha. aproximadamente), se ha dividido el Sector 3 en dos áreas separadas por la Avenida Modesto Luque: Norte y Sur, cada una con 89.4 y 61.4 ha.,

respectivamente, considerando la superficie de mayor extensión y más accidentada, con cotas que varían desde 15 hasta 73 m.s.n.m., el presente estudio se enfoca en el desarrollo del diseño del sistema de drenaje superficial del Área Norte específicamente.

Se trata de un asentamiento popular cuya población tiene una la capacidad económica muy baja, un índice de insatisfacción de necesidades básicas mayor al 50%, las casas no están construidas de manera organizada, las calles aún se encuentran a nivel de terreno natural y en algunos casos el cauce de las aguas lluvias pasa en medio de las viviendas construidas de caña, bloque o mixtas.

El Área Norte del Sector 3, pertenece a la Parroquia Pascuales y está ubicada al oeste de la avenida 56 NO (Vía Perimetral) a la altura del kilómetro 18, pasando el Hospital Universitario (dirección norte – sur). Como se ilustra en la Figura 1, el área de estudio limita al:

Norte: Calle 25 NO (Marcel Laniado), entrada al Bloque 6 de Flor de Bastión

Sur: Calle Modesto Luque,

Este: Avenida 56 NO, vía Perimetral,

Oeste: poliducto



Figura 1. Vista satelital del Área Norte del Sector 3

Y está georeferenciado con las coordenadas referidas al DATUM WGS84 proyección normal de MERCATOR que se muestran en la Tabla 1:

Tabla 1. Coordenadas referidas al DATUM WGS84 proyección normal de MERCATOR

PUNTO	NORTE	ESTE
P1	2009532.11	491113.26
P2	2010827.74	491415.10
P3	2010841.98	491588.80
P4	2010474.65	492229.50
P5	2010289.56	492323.47
P6	2009907.97	492317.77

El objetivo principal es realizar un diseño funcional, técnico y económico del sistema de drenaje superficial, el cual mitigará al máximo los daños que las aguas de lluvia pueden causar a propiedades y habitantes mejorando las condiciones sanitarias y ambientales al disminuir las enfermedades infectocontagiosas y la mezcla de aguas lluvias con aguas residuales, además de permitir un apropiado tránsito de personas y vehículos durante la ocurrencia de eventos de lluvia, finalmente se comprobará la eficiencia del diseño con la ayuda del software Storm Water Management Model de la EPA.

2. Metodología

Para realizar el diseño se tomaron en cuenta varios aspectos como la intensidad de lluvia, los canales naturales de agua, el área tributaria que llegaría a cada uno de los sumideros y colectores, además de aprovechar las pendientes con las que cuenta el terreno.

El estudio hidrológico del sector permitió determinar la variación de la intensidad de lluvia con respecto al tiempo de concentración y los caudales generados por medio del método racional, el cual involucra las variables I, C, A.

Donde:

A \equiv área de la cuenca de drenaje.

C \equiv coeficiente de escorrentía, valor adimensional que representa la proporción de lluvia que se convierte en escorrentía.

I \equiv intensidad de lluvia, calculada con la ecuación pluviométrica determinada en el Plan Maestro de INTERAGUA para la ciudad de Guayaquil.



Figura 2. Cuencas de drenaje Área Norte Sector 3

Para el cálculo del caudal hidrológico el primer paso fue identificar los puntos altos y bajos de la superficie en estudio y establecer cuál sería el recorrido natural del agua (lo que sirvió como guía para trazar el alineamiento del sistema de drenaje pluvial). Esta información complementada con el

diseño vial, permitió definir las 5 cuencas principales de drenaje que se muestran en la Figura 2 y se describen en la Tabla 2, además se determinó que aproximadamente 38 ha que están fuera del perímetro, drenan hacia la cuenca D desde el oeste.

Tabla 2. Cuencas de drenaje del Proyecto

NOMBRE	EXTENSIÓN	DESCARGA
Cuenca A	5,15 ha	Canal natural hacia el norte del Proyecto
Cuenca B	2,27 ha	Vía de servicio que se conecta a la vía Perimetral
Cuenca C	5,02 ha	Cámara ubicada en la Modesto Luque
Cuenca D	83,02 ha	Ducto cajón que cruza la Modesto Luque
Cuenca E	17,27 ha	Cámara ubicada en la Modesto Luque

Lo siguiente fue subdividir estas cuencas en áreas más pequeñas, llamadas áreas tributarias, las cuales se utilizaron en los cálculos para determinar el caudal que es aportado directamente a cada tramo de colector.

El coeficiente de escorrentía utilizado se ponderó en 0.6 teniendo en cuenta que el Sector estará constituido por áreas pavimentadas, casas contiguas y patios sin revestir con pendientes $> 7\%$.

El diseño se realizó por medio de una hoja de cálculo, la cual tiene como parámetros de entrada las áreas de drenaje, longitud de cada tramo y las cotas de la rasante de la vía o borde superior del canal o ducto de acuerdo al alineamiento establecido. La hoja de cálculo garantiza los criterios de diseño tales como velocidad mínima de 0.60 m/s, velocidad máxima de 7.5 m/s para tuberías PVC Novaloc y 5.0 m/s para elementos de hormigón, relación de caudales $q/Q \leq 0.85$, no existencia de flujo crítico ($0.9 \geq F_R \geq 1.1$) y recubrimiento mínimo de 0.9 m sobre el lomo de la tubería.

Considerando tanto la importancia del Sector como las obras de drenaje planteadas además de los daños y molestias que ocasionan las inundaciones, el sistema de colectores se proyectó para un escurrimiento con una probabilidad de ocurrencia de 10 años en el caso de las cuencas de mayor extensión, donde se utilizan canales abiertos y ductos cajón, y una probabilidad de ocurrencia de 5 años para las cuencas pequeñas (menores a 10 ha), donde se utilizan tuberías de PVC, mientras que los elementos de menor capacidad como cunetas y canaletas se proyectaron para un tormenta con un período de retorno de 2 años.

Tabla 3. Secciones de canales trapezoidales y ductos cajón diseñados

SECCIÓN	ANCHO BASE B	ALTURA CANAL H	Z	ANCHO SUPERFICIAL T
1	0,30	0,35	0,50	0,65
2	0,45	0,50	0,50	0,95
3	0,55	0,65	0,50	1,20
4	0,65	0,70	0,50	1,35
5	0,70	0,80	0,50	1,50
6	1,00	1,00	0,50	2,00
7	1,30	1,60	0,50	2,90
8	0,70	0,35	0,00	0,70
9	1,00	0,50	0,00	1,00
10	1,60	0,80	0,00	1,60
11	2,00	1,00	0,00	2,00
12	2,00	1,60	0,00	2,00
13	3,00	1,60	0,00	3,00
14	3,00	2,00	0,00	3,00

Como resultado de los cálculos se establecieron 6 diferentes diámetros de tuberías y 14 diferentes secciones (entre rectangulares y trapezoidales), las cuales se resumen en la Tabla 3.

Tabla 4. Longitud requerida de tuberías

DIÁMETRO (mm)	LONGITUD (m)			
	CUENCA A	CUENCA C	CUENCA E	TOTAL
475,00	212,8	42,6	-	255,4
525,00	38,3	-	-	38,3
640,00	-	161,3	-	161,3
690,00	54,9	24,3	-	79,2
790,00	-	-	145,9	145,9
840,00	-	-	8,6	8,6

Las Tablas 4 y 5 resumen las longitudes de tuberías de PVC y canales trapezoidales o ductos cajón requeridos para cada cuenca de drenaje, por diámetro y sección.

Tabla 5. Longitud requerida de ductos y canales

SECCIÓN	LONGITUD (m)		
	CUENCA D	CUENCA E	TOTAL
1	50,0	-	50,0
2	385,0	-	385,0

SECCIÓN	LONGITUD (m)		
	CUENCA D	CUENCA E	TOTAL
3	163,6		163,6
4	120	50,0	170,0
5	140	145,0	285,0
6	45,0		45,0
7	111,0		111,0
8	67,8		67,8
9	180,6		180,6
10	23,7		23,7
11	220,6		220,6
12	90	85,0	175,0
13	409	26,7	435,7
14	100,1		100,1

Para la comprobación de la capacidad hidráulica del diseño se utiliza como herramienta el software SWMM de la EPA, después de ingresar todos los parámetros determinados mediante la hoja de cálculo, se realiza la simulación y mediante un proceso iterativo se llega al diseño más apropiado.

3. Resultados

Hay que tomar en cuenta que a pesar de que la simulación se realiza con todas las cuencas en conjunto, cada una de ellas tiene un sistema de drenaje que funciona de manera totalmente independiente teniendo cada una su punto de descarga, por lo que tenemos en:

Cuenca A.- Tiene una extensión de 5,15 ha donde la escorrentía generada es conducida mediante las cunetas y badenes hasta llegar a los sumideros para luego fluir por un sistema de tuberías de PVC Novaloc, con diámetros que van desde los 475 mm a los 690 mm, hasta su punto de descarga. Que se realizará en un canal que ha sido revestido de piedra por una empresa privada, finalmente el flujo ingresa a un ducto cajón de 0,80 m de alto por 1,15 m de ancho.

Cabe mencionar que la cámara A2 tiene 1 m de caída superando el ΔZ calculado, correspondiente a 0,278 m por este motivo es preciso colocar un tubo bajante. Este tubo se unirá a la tubería de entrada con el fondo de la cámara con el proceso de mitigar problemas de turbulencia en flujo inestable y pérdida de capacidad estructural.

Cuenca B.- El área total de la cuenca es de 2,27 ha y la pendiente longitudinal promedio de 5%, donde de acuerdo a los cálculos realizados se puede comprobar que la escorrentía puede fluir superficialmente por cunetas y badenes sin causar problemas de inundación o hidropneumático.

La descarga de la cuenca B se da a la vía de servicio que comunica el Área Norte del Sector 3 con

la Vía Perimetral, la cual consta de sumideros que llevarán el flujo al sistema de drenaje existente.

Cuenca C.- Abarca un área de 5,02 ha y la escorrentía es captada por un sistema de colectores de PVC – Novaloc cuyos diámetros varían entre 475 y 690 mm, hasta descargar en el sistema de drenaje existente de la calle Modesto Luque. Durante la simulación del sistema no se presentaron inconvenientes de inundación sobre la descarga lo que comprueba las capacidades hidráulicas de los colectores seleccionados para esta cuenca.

Como una particularidad, esta cuenca tiene un tramo de 32 m (colector C2- C3) diseñado en contra pendiente del terreno natural, esto obedece al propósito de disminuir la presencia de quiebre o cambios de dirección en el alineamiento respetando en todo momento el recubrimiento de 0,90 m sobre el lomo de la tubería.

Cuenca D.- Esta es la cuenca más extensa, con 44,69 ha propias del Área en estudio mas 38,83 ha pertenecientes a áreas externas que drenan desde el oeste, dando lugar a un flujo mayor de 10 m³/s. Además del gran volumen de escorrentía que genera esta cuenca de drenaje, el trazado del alineamiento del sistema es complejo ya que el recorrido del agua cruza las manzanas pasando en medio de las viviendas. El sistema conformado por 5 ramales y una troncal principal, contempla tanto canales trapezoidales de hormigón simple como ductos cajón de hormigón armado, que cumplen la función de captar y conducir el agua lluvia hasta el ducto cajón de 2,50 m * 2,50 m que cruza la calle modesto Luque.

Cuando los canales cruzan las calles transversalmente estarán cubiertos por una losa de hormigón armado en el caso de anchos superficiales de hasta un metro, caso contrario será necesario utilizar ductos cajón para evitar la interrupción vehicular.

Al realizar la simulación se obtiene como resultado que de los 42 colectores y 32 nodos que conforman el sistema, existen 2 colectores que funcionan a sección llena por un periodo menor a 10 minutos. Situación que se considera despreciable por el tamaño de la cuenca y periodo retorno.

Cuenca E.- Con una extensión de 17,25 ha y conformada por un sistema combinado de canales trapezoidales, ductos cajón y colectores, al igual que la cuenca C este sistema descarga en la calle Modesto Luque. Para poder incorporar el volumen que drena por esta cuenca al sistema de drenaje existente es necesario un flujo subcrítico en el ducto cajón justo antes de ingresar a la tubería de PVC con el objetivo de que el flujo descargue poco a poco hacia la calle principal.

La simulación demuestra que las tres tuberías de PVC trabajaron a capacidad llena durante un periodo máximo de 20 minutos, donde según este análisis la cámara E 2 se inunda por un lapso de tiempo menor de 10 minutos, pudiendo ocasionar daños que se

consideran despreciables tomando en cuenta que se está modelado una lluvia de dos horas de duración para un período de retorno de 10 años.

Además de dimensionar las estructuras que forman parte del sistema de drenaje pluvial, es necesario conocer el costo de ejecución por lo que se realizó un presupuesto estimado que dio un valor de \$ 2.189.571,25.

4. Conclusiones

- El Sector 3 constituye un asentamiento popular establecido sin planificación ni supervisión alguna y como consecuencia de la deficiencia en el abastecimiento de servicios básicos, en época de invierno presenta grandes problemas por el agua pluvial que escurre no solo sobre las calles y avenidas aún no pavimentadas sino también en medio de las casas que se han ubicado a los lados del cauce natural de la escorrentía que se genera.
- Considerando un horizonte de proyecto de 30 años, se determinó que aproximadamente 24,127 habitantes del Área Norte del Sector 3 se verán beneficiados con la ejecución del sistema de drenaje pluvial propuesto en el presente estudio, mejorando su calidad de vida y condiciones de salud al garantizar una rápida y adecuada evacuación de la escorrentía superficial evitando el brote de focos infecciosos y la mezcla de aguas residuales con aguas lluvias.
- Basados en la topografía del terreno y el proyecto vial, el área en estudio se divide principalmente en cinco cuencas cuya extensión varía entre 5.02 y 83.02 ha que descargan principalmente al río Daule después de incorporarse a los colectores existentes. Cada una de estas cuencas cuenta con un sistema de drenaje independiente diseñado a partir del nivel de rasante de la vía terminada, el cual concuerda con el nivel de ingreso a los inmuebles.
- El tipo de colector empleado en cada cuenca se determinó esencialmente en base al recorrido del alineamiento del sistema, el área de aportación, el volumen de escorrentía generado y la disponibilidad de espacio además de la cota y estructura de descarga, dando como resultado el diseño de 1209.6 m de canal de hormigón simple con sección trapezoidal, 1203.3 m de ducto cajón de hormigón armado y 688.7 m de tuberías de PVC. Antes de ingresar a los colectores el flujo recorrerá las cunetas, canaletas y badenes que han sido diseñados con una sección hidráulica adecuada considerando la ubicación de los sumideros y puntos bajos de las cuencas.
- Las pendientes longitudinales que tienen las vías del Área Norte del Sector 3 representan una ventaja al ayudar con la rápida evacuación del agua superficial generada por las lluvias, pero las grandes velocidades que alcanza el flujo podrían

llegar a causar daños en el pavimento asfáltico erosionándolo.

- El presupuesto referencial se determinó incluyendo cantidades requeridas de hormigón, acero de refuerzo y excavación para todas las estructuras que forman parte del sistema, así como longitudes de tuberías de PVC.
- El tiempo empleado para realizar la simulación del sistema en el SWMM es corto y los resultados se pueden representar de diferentes maneras, una de ellas es la gráfica de perfiles, una opción práctica e interactiva que da una idea clara de lo que sucede dentro del sistema pluvial durante un evento de lluvia constituyéndose en una herramienta clave para la comprobación de regímenes de flujo y capacidades hidráulicas.
- A pesar de no ser compatible con programas como el Autocad Civil 3D, el SWMM representa una práctica ayuda para el diseñador sin dejar de ser sólo una herramienta que no daría buenos resultados de no ser manejada por un profesional capacitado.

5. Recomendaciones

- Establecer mayor control de los asentamientos informales y concienciar a la población sobre el peligro que representa establecerse en lugares que obstruyen el cauce natural del agua, ya que en época invernal el flujo se incrementa considerablemente llegando a afectar incluso los cimientos de las casas.
- Corroborar el levantamiento topográfico del Sector previo a la construcción del sistema, ya que el paso del invierno puede modificar la topografía en ciertos puntos debido a la erosión.
- Promover el cuidado de las obras de drenaje, evitar que se produzcan represamientos limpiando todo tipo de restos que pueden interrumpir el paso del agua. Estas actividades son indispensables para el correcto desempeño del sistema.
- Este proyecto deberá ser puesto a consideración de la entidad encargada de la expansión del sistema de alcantarillado de la ciudad (INTERAGUA) para verificar su viabilidad en conjunto con el diseño del sistema aguas servidas y agua potable.
- Considerar la instalación de subdrenos debajo de las estructuras que serán asentadas sobre suelos arcillosos u orgánicos debido a las posibles filtraciones de agua.
- Antes de ingresar los objetos que representaran los elementos del sistema con sus respectivas propiedades en el SWMM es importante relacionarse con el manual ya que el programa está disponible en el idioma inglés.
- Considerar la compatibilidad entre los programas que se van a utilizar como herramientas para

representar y simular el diseño con la finalidad de optimizar el tiempo de trabajo.

6. Agradecimientos

Agradecemos a todos los que de una u otra manera colaboraron en el desarrollo de este proyecto aportando con su granito de arena para que este sueño sea hoy una realidad, de manera especial a CONSULNAC Geotecnia y Materiales Cía. Ltda. y al Ing. Julián Coronel P. por la confianza y facilidades brindadas en el acceso a la información base.

7. Referencias

- [1] INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS, Censo Nacional de Población y Vivienda, 2001 y 2010.
- [2] METCALF & EDDY, Ingeniería de Aguas Residuales, McGraw-Hill, 1991
- [3] SOFTLAND S.A., La pobreza en Guayaquil. Estudio comparativo de los indicadores: Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) y Capacidad Económica (CAPECO) de la población de la ciudad de Guayaquil, M.I. Municipalidad de Guayaquil, Julio 2006
- [4] INTERAGUA, Revisión y Actualización del Plan Maestro – AAPP, AASS y AALL, Guayaquil 2010
- [5] LARRY W. MAYS, Stormwater Collection Systems Design Handbook, McGraw-Hill, 2001
- [6] BÁEZ NOGUERA, Ingeniería Ambiental. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales y Pluviales, Ediciones Uninorte, 2007
- [7] DOLZ, Problemática del drenaje de aguas pluviales en zonas urbanas y del estudio hidráulico de las redes de colectores, Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Ingeniería, Hidráulica y Medioambiente, 1994
- [8] ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Manual del Usuario del SWMM Modelo de Gestión de Aguas Pluviales 5.0 ve, Traducción al español por GMMF
- [9] ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Applications Manual, Storm Water Management Model, Department of Civil and Environmental Engineering
- [10] CONSULNAC Geotecnia y Materiales Cía. Ltda., Estudios Preliminares y Diseños Definitivos del Proyecto: construcción de vías ubicadas entre el km 18 y km 22 de AV. 56 NO (Perimetral al Oeste) Sector 3, de la parroquia Pascuales.