

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



*Una Institución Adventista*

**Modelación hidráulica de la red de alcantarillado y drenaje  
pluvial mediante el uso del modelo numérico SWMM**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

**Autor:**

Bach. Lesly Rosamel Carbajal Robles

Bach. Walter Cordova Anyosa

**Asesor:**

Ing. Ferrer Canaza Rojas

**Lima, Setiembre del 2021**

## **DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD DE LA TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

Ing. Ferrer Canaza Rojas, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Académica Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana Unión.

### **DECLARO:**

Que la presente investigación titulada: **“MODELACIÓN HIDRÁULICA DE LA RED DE ALCANTARILLADO Y DRENAJE PLUVIAL MEDIANTE EL USO DEL MODELO NUMÉRICO SWMM”** constituye la memoria que presenta la Bach. Lesly Rosamel Carbajal Robles y Bach. Walter Cordova Anyosa para aspirar al título profesional de Ingeniero Civil, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección. Se ha desarrollado de manera íntegra, respetando derechos intelectuales de las personas que han desarrollado conceptos mediante las citas en las cuales indican la autoría, y cuyos datos se detallan de manera más completa en la bibliografía.

Las opiniones y declaraciones en este trabajo de investigación son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución. En virtud de esta declaración y estando de acuerdo, firmo la presente declaración.

Lima, 28 de Setiembre de 2021.



Ing. Ferrer Canaza Rojas

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los **23** día(s) del mes de **septiembre** del año 2021 siendo las **11:00 horas**, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Mg. Leonel Chahuares Paucar**, el secretario: **Ing. Reymundo Jaulis Palomino** y los demás miembros: **Ing. Roberto Yoctun Rios** y el asesor **Ing. Ferrer Canaza Rojas**, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Modelación hidráulica de la red de alcantarillado y drenaje pluvial mediante el uso del modelo numérico SWMM"

.....de el(los)/la(las) bachiller/es: a)..... **LESLY ROSAMEL CARBAJAL ROBLES**...

.....b) .....**WALTER CORDOVA ANYOSA**.....

.....conducente a la obtención del título profesional de

.....**INGENIERO CIVIL**.....

(Nombre del Título Profesional)

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): ..... **LESLY ROSAMEL CARBAJAL ROBLES** .....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<b>Aprobado</b>	<b>14</b>	<b>C</b>	<b>Aceptable</b>	<b>Bueno</b>

Candidato (b): ..... **WALTER CORDOVA ANYOSA** .....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<b>Aprobado</b>	<b>15</b>	<b>B-</b>	<b>Aceptable</b>	<b>Bueno</b>

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

\_\_\_\_\_  
Presidente  
Mg. Leonel  
Chahuares  
Paucar



\_\_\_\_\_  
Secretario  
Ing. Reymundo  
Jaulis Palomino

\_\_\_\_\_  
Asesor  
Ing. Ferrer  
Canaza Rojas

\_\_\_\_\_  
Miembro  
Ing. Roberto  
Yoctun Rios

\_\_\_\_\_  
Miembro

\_\_\_\_\_  
Candidato/a (a)  
Lesly Rosamel  
Carbajal Robles

\_\_\_\_\_  
Candidato/a (b)  
Walter Córdova  
Anyosa

## DEDICATORIA

Dedicamos con todo el corazón la tesis  
a nuestro hijo Marck Wesly Córdova  
Carbajal por el apoyo emocional que nos  
brinda cada día para alcanzar nuevas  
metas tanto profesionales y personales.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primera instancia agradezco a Dios por permitirme escalar cada logro y bendecirnos con un hermoso niño que fue el pilar de la unión para salir adelante tanto profesional y personal.

Yo Lesly Carbajal Robles agradezco a mi padre Víctor Carbajal Cabieses por brindarme su apoyo incondicional, económico y emocional, también agradezco a mi mamá Margarita Robles Rojas por estar siempre a mi lado apoyándome, cuidándome, alimentándome y brindándome mucho amor y paciencia.

Yo Walter Córdova Anyosa agradezco a mis padres: Bruno Córdova Carrasco y Basilia Anyosa Guisado por darme el regalo más grande que es la educación, también agradezco al programa PRONABEC por haberme brindado la oportunidad de estudiar la carrera que siempre soñé, agradezco a cada uno de los docentes de la Universidad Peruana Unión por haberme compartido sus conocimientos para el desarrollo de mi vida profesional.

Agradecemos a nuestro asesor, el Ing. Ferrer Canaza Rojas, por compartir sus conocimientos, por la atención, por la disposición y apoyo continuo de cada paso del desarrollo de nuestra tesis.

## INDICE

<b>RESUMEN .....</b>	<b>7</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>7</b>
<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>8</b>
<b>1. METODOLOGÍA .....</b>	<b>8</b>
1.1. Levantamiento de Información Requerida .....	8
1.2. Representación del sistema de alcantarillado combinado en un modelo numérico.....	8
1.3. Análisis hidráulico del sistema de alcantarillado combinado .....	10
<b>2. CASO DE ESTUDIO .....</b>	<b>11</b>
2.1. Levantamiento topográfico y trabajo en gabinete.....	11
2.2. Obtención de datos para el cálculo de caudal sanitario .....	12
2.3. Obtención de datos para el cálculo de caudal hidrológico .....	12
2.4. Representación y Análisis hidráulico del sistema de alcantarillado en SWMM .....	14
<b>3. RESULTADOS .....</b>	<b>14</b>
<b>4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>19</b>
<b>5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>20</b>

# **Modelación hidráulica de la red de alcantarillado y drenaje pluvial mediante el uso del modelo numérico SWMM**

Bach. Lesly Rosamel Carbajal Robles

[leslycarbajal@upeu.edu.pe](mailto:leslycarbajal@upeu.edu.pe)

Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión. Lima-Perú

Bach. Walter Córdova Anyosa

[waltercordova@upeu.edu.pe](mailto:waltercordova@upeu.edu.pe)

Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión. Lima-Perú

## **RESUMEN**

El presente investigación se ha detallado estudios sobre obras de saneamiento acerca del análisis poblacional y el diseño de un sistema de alcantarillado incluyendo drenaje Pluvial, con lo cual buscamos realizar la modelación hidráulica del sistema de alcantarillado combinado usando los parámetros hidrológicos, lo cual comprende caudales de diseño con aporte poblacional y caudal de aporte hidrológico, los resultados servirán como guía para prever diseños en un sistema de alcantarillado tomando en cuenta el aporte hidrológico del lugar. Además, el software SWMM se consideró como la mejor alternativa para esta problemática; debido a que hace posible la simulación combinada entre caudal sanitario y caudal de aguas pluviales, enfocada especialmente en alcantarillado urbanos. Adicional a ello, permite recrear múltiples escenarios y someter un trazado de redes de alcantarillado en condiciones normales y extremas.

**Palabras clave:** alcantarillado, drenaje, hidrológico, modelación, SWMM.

## **Hydraulic modeling of the sewerage and storm drainage network using the SWMM numerical model**

### **ABSTRACT**

This research has detailed studies on sanitation works about the population analysis and the design of a sewerage system including storm drainage, with which we seek to carry out the hydraulic modeling of the combined sewerage system using hydrological parameters, which includes flows of design with population contribution and hydrological contribution flow, the results will serve as a guide to foresee designs in a sewage system taking into account the hydrological contribution of the place. Furthermore, SWMM software was considered the best alternative for this problem; Because it makes possible the combined simulation between sanitary flow and rainwater flow, especially focused on urban sewerage. Additionally, it allows to recreate multiple scenarios and submit a sewer network layout under normal and extreme conditions.

**Keywords:** sewerage, drainage, hydrological, modeling, SWMM.

## **INTRODUCCION**

Con el crecimiento poblacional del distrito de Lurigancho, Localidad de Yanacoto. Se hace necesaria diseñar los servicios básicos como el servicio de alcantarillado combinado debido a que el lugar en estudio presenta la presencia de lluvia en los meses de diciembre a marzo, en los cuales hubo presencia de inundación causando daños en las propiedades por la acumulación de las aguas de lluvia. Es por eso la presente propuesta contempla la modelación hidráulica para las redes de alcantarillado incluyendo el drenaje pluvial de la Urbanización de Yanacoto, Ubicada en la jurisdicción de distrito de Lurigancho – Lima.

Con el avance de la tecnología en el mundo, se han implementado modelos matemáticos numéricos de libre acceso, que permiten predecir con mayor precisión la respuesta de un sistema de drenaje a diferentes eventos de lluvia. Dentro de estos modelos numéricos se encuentra el Storm Water Management Model (modelo de gestión de aguas pluviales) SWMM, el cual fue empleado en este trabajo. Desde la creación del software en 1971 tuvo mejoras importantes hasta la actualidad y son variadas las investigaciones realizadas con el uso de este modelo numérico. Rincón, J. y Fabiana, M. (2013) realizan en su trabajo el diseño hidráulico de sistema dual utilizando el modelo SWMM, considerando en el esquema de red las calles y colectores conectados entre sí a través del sistema de captación utilizando los sumideros. Por otro lado, Vargas, M. y Villegas, R. (2013) proponen la modelación de la red de alcantarillado sanitario y pluvial de forma separada, caracterizando hidráulicamente en un área menor a 2 ha con un periodo de retorno de 3 años.

El contenido del trabajo se ha elaborado teniendo en cuenta las disposiciones del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), sector de obras de saneamiento y drenaje pluvial como también el uso del modelo numérico SWMM para la modelación del sistema de Alcantarillado combinado.

El objetivo del presente trabajo es realizar la modelación de la red de alcantarillado combinado aplicando en un modelo numérico desarrollado para el diseño de sistema de drenaje pluvial. Esta metodología será utilizada para la modelación de la red de alcantarillado combinado en la Asociación del Asentamiento Humano Yanacoto del Distrito de Lurigancho, con el cual, buscamos mejorar la calidad de vida y seguridad en épocas de presencia de lluvias.

## **METODOLOGÍA**

A continuación, se describe la metodología utilizada para la modelación hidráulica de la red de alcantarillado combinado, los cuales incluyen los parámetros indicados en el RNE, que serán aplicables en zonas con presencia de precipitación de baja a moderada intensidad.

### **Levantamiento de Información Requerida**

Para realizar un modelamiento hidráulico eficiente se requiere contar con la siguiente información: levantamiento topográfico a nivel superficial, datos de los parámetros hidrológicos e hidráulicos de la zona o cercana al sitio de estudio, información sobre los puntos de descarga del sistema de alcantarillado, datos poblacionales para el cálculo de caudal sanitario, características de la superficie vial, características físicas y condiciones de los lugares que representa las áreas verdes, condiciones de parcelas asignadas a vivienda y características técnicas de suelo.

### **Representación del sistema de alcantarillado combinado en un modelo numérico**

El modelo numérico bajo el cual se desarrolla esta metodología es el Storm Water Management Model (SWMM), modelo dinámico que representa el comportamiento de un sistema de drenaje mediante la simulación continua en periodo extendido (Rincón y Fabiana 2013).

El SWMM representa el comportamiento de un sistema de drenaje pluvial mediante una serie de flujos de agua y materia entre los principales componen un análisis medioambiental. Estos módulos y correspondientes objetos son los siguientes: el módulo de escorrentía que funciona con una serie de subcuencas en las cuales cae el agua de lluvia y se genera la escorrentía. El módulo de transporte el cual analiza el recorrido de estas aguas a través de un sistema compuesto por tuberías, canales, dispositivos de almacenamiento y tratamiento, bombas y elementos reguladores y el módulo de calidad, permite seguir la evolución de la cantidad y calidad del agua de escorrentía de cada subcuenca, así como el caudal, el nivel de agua en los buzones o la concentración de un compuesto de cada tubería durante una simulación del sistema de drenaje pluvial (Vargas y Villegas 2013).

Los componentes físicos del primer módulo corresponden al pluviómetro y las subcuencas. El pluviómetro representa la lluvia y en él se introducen los datos de la misma (hietogramas de precipitación), las subcuencas representan las parcelas, conjunto de lotes, manzanas, etc., dependiendo del nivel de precisión deseado, en todo caso, para cada subcuenca deben introducirse datos como área, ancho, pendiente, % de impermeabilidad, método de infiltración, etc.

En el segundo módulo quedan representados por los nodos de conexión (Buzones), los conductos y los nodos de vertido. Los nodos de conexión para el alcantarillado representan la salida hacia donde descargan las aguas sanitarias el cual requiere como principal dato la cota del mismo. Los conductos constituyen los elementos por donde circulará el agua. Los datos requeridos son la sección transversal, dimensiones, longitud, coeficiente de rugosidad de Manning, etc. Las salidas constituyen los elementos de conexión entre el colector secundario y colector principal. Los nodos de vertido representan las condiciones hidráulicas en la salida de aguas abajo como el caudal en cada tubería, la profundidad normal y niveles de agua.

Los componentes del tercer modulo están representados por la capacidad de analizar la acumulación, arrastres, transporte y tratamiento de cualquier número de contribuyentes de calidad de agua. La función del parámetro de análisis de acumulación y arrastre determinan la calidad derivada de la escorrentía por cada tipo de uso de terreno.

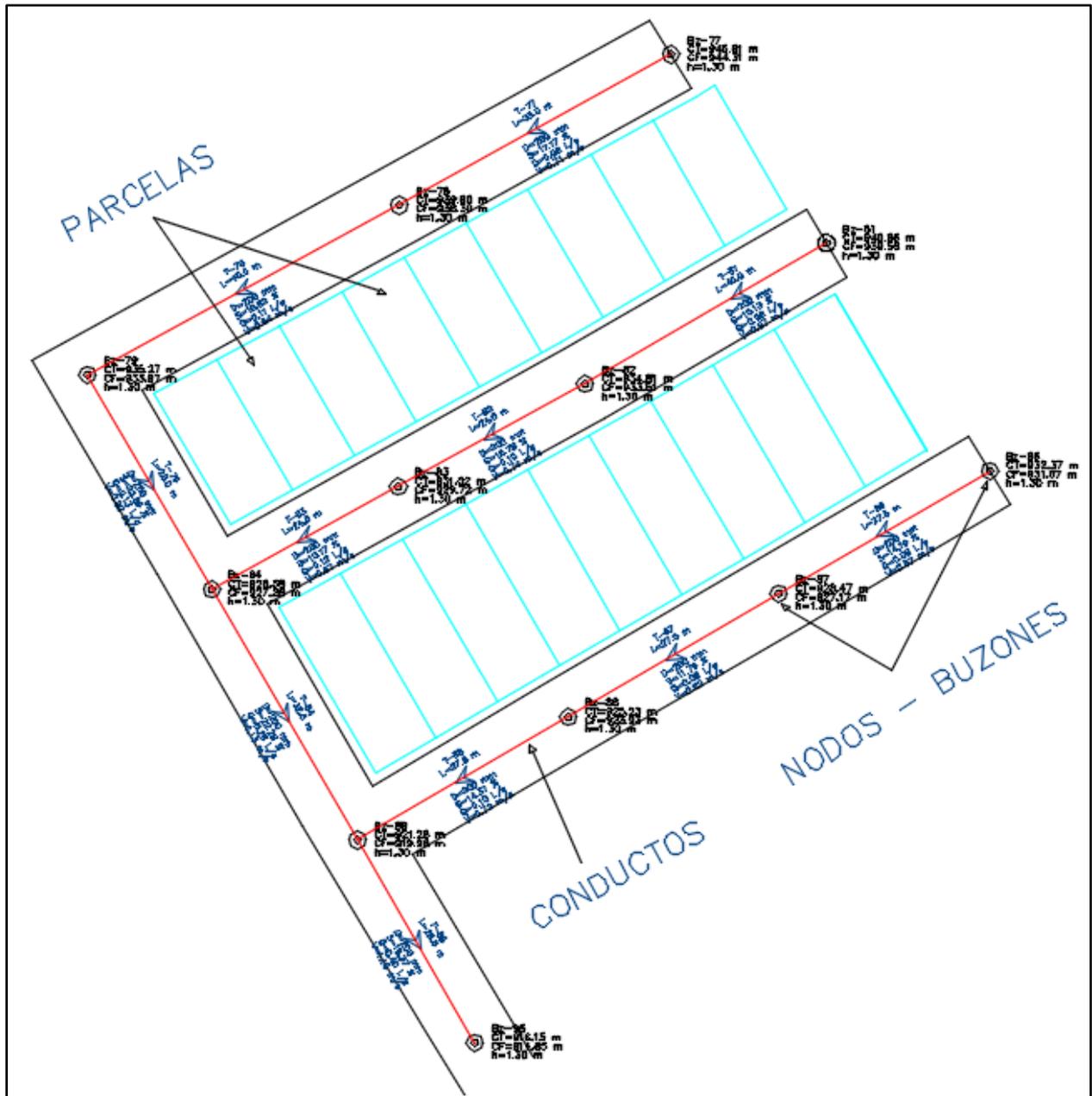


Figura 1. Representación del sistema de alcantarillado combinado en el modelo numérico SWMM

La figura 1 muestra la representación esquemática del sistema de alcantarillado combinado de las calles en el modelo numérico, empleando los elementos anteriormente descritos.

Como se mencionó en el párrafo anterior las parcelas representan un conjunto de lotes de viviendas construidas en su totalidad o de forma parcial, lo cual cuenta con una caja de registro por donde las aguas producidas por las lluvias se incorporan para formar un sistema de alcantarillado combinado. Mientras los conductos son conjunto de tuberías que trasladan las aguas servidas como las aguas de lluvia hacia un vertido o buzón de salida.

### Análisis hidráulico del sistema de alcantarillado combinado

Este capítulo está elaborado a base del manual de usuario de EPA SWMM encontrado en su página web [www.swmm.upv.es/](http://www.swmm.upv.es/), y el autor de este documento lo aplica a fin de su investigación.

La evaluación hidráulica se realiza una vez se tiene cargada la representación gráfica del sistema con la data requerida. Dicha evaluación puede realizarse bajo dos de los tres enfoques claramente explicados por la EPA (2005): modelo de onda cinemática el cual es una simplificación de las llamadas ecuaciones de Saint Venant y onda dinámica (el más completo) que resuelve las ecuaciones de continuidad y cantidad de movimiento para flujo no permanente. Es importante mencionar que la explicación realizada para la modelación de los nodos de conexión se ha hecho bajo el enfoque de onda dinámica que resulta ser el más preciso.

El análisis debe consistir, en una primera fase, en la obtención de una estación pluviométrica en el lugar de estudio con los registros más completos de precipitación. En caso contrario, que es lo más común, los datos de precipitación deben ser obtenidos de una estación pluviométrica más cerca en caso de tener las mismas condiciones climáticas o buscar una estación pluviométrica con situaciones climáticas similares al lugar de estudio.

Finalizado todos los cálculos hidráulicos necesarios que corresponden al alcantarillado del lugar en estudio, para la simulación, es posible comprobar y verificar los puntos críticos durante el invierno y verano, también verificar velocidades, niveles, capacidad de tuberías, etc.

Toda la información que se requiera como cota de fondo, profundidad, aportes, diámetro, longitud de tramo, será importada del software Civil 3D, donde está almacenada toda la información realizada del levantamiento topográfico y luego procesada toda la información con fines de diseño de alcantarillado.

La información antes mencionada es de suma importancia, ya que es la base para la aplicación del software en situaciones reales, dicha aplicación consta de los siguientes pasos:

1. Dibujar la representación gráfica del sistema de la red de alcantarillado combinado, similar al del diseño en el software Civil 3D.
2. Introducir los parámetros necesarios a los diferentes objetos dibujados sobre el plano, como son datos de diámetros de tubería, cotas de profundidad de buzones, desniveles, etc.
3. Realizar la simulación para observar el comportamiento del sistema.
4. Analizar e interpretar los resultados en cada elemento que compone el sistema, así como verificar que, si cumplen los criterios de diseño correspondientes al reglamento nacional de edificaciones en la sección sanitaria, nada de los datos importados será modificados debido a que es evaluación de la situación a un futuro del alcantarillado combinado de la asociación en estudio

## **CASO DE ESTUDIO**

### **Levantamiento topográfico y trabajo en gabinete**

El levantamiento topográfico se ha realizado usando equipos electrónicos de alta precisión como son la estación total con precisión de 5", en las que se almacenan información codificada para luego ser convertida en datos que se suministran a programas de cómputo como AutoCAD Civil 3D, para el procesamiento de la información.

Se ubicaron y monumentaron 6 Bench Marcks o puntos de control donde se usó un GPS navegador a fin de verificar las coordenadas respectivas cuando se necesite.

El levantamiento topográfico se realizó conformando una poligonal sin exceder de una distancia de 500 ml., apoyados en los vértices de la poligonal y los puntos de control, se levantaron en campo los detalles planimétricos tales como postes, árboles, viviendas y puntos intermedios entre el terreno.

Toda información adquirida en campo fue transmitida a la computadora de trabajo para el procesamiento de la información, para ello se usó el software AutoCAD Civil 3D, donde con los datos se obtuvieron de las curvas de nivel y planos preliminares de lotización.

Con los datos procesados del levantamiento topográfico, se procedió con el trazado de la red de alcantarillado y a la vez se obtuvo el perfil longitudinal, con ello, se definió la altura de los nodos propuestos cumpliendo con las pendientes mínimas definidas en el R.N.E. OS.070

### **Obtención de datos para el cálculo de caudal sanitario**

Para el cálculo de caudal sanitario se ha empleado utilizando métodos de cálculo según los Reglamentos RNE OS.070, OS.100 y Trabajos en campo.

La población inicial se obtuvo multiplicando 590 lotes (Empadronamiento en Campo) por la densidad poblacional 6 (RNE OS.100) que hace una  $P_0=3540$  habitantes. Para obtener la población futura ( $P_f$ ) se calculó por el método de Interés Compuesto (ecuación 1), donde la tasa de crecimiento ( $r$ ) para el distrito de Lurigancho Chosica es de 3.6% según Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) y el periodo de diseño ( $t$ ) es de 20 años, cuya Población Futura es  $P_f = 6089$  habitantes.

$$P_f = P_0 * (1 + r)^t \quad (Ec 1)$$

El cálculo de caudal sanitario ha sido el resultado de la Dotación (Dot) 220, Variación de Consumo por demanda horaria ( $K_2$ ) 2.0 y el Caudal de Contribución al Alcantarillado (C) 80%. Según (ecuación 2) cuyo resultado del caudal sanitario es  $Q_{san} = 24.807$  l/s.

$$Q_{san} = K_2 * \frac{P_f * Dot * C}{86400} \quad (Ec 2)$$

Cabe señalar que en el caudal sanitario no se incluyeron los caudales por el ingreso de escorrentía de lluvias a los buzones, debido a que el caudal de lluvias (caudal hidrológico) se hizo un cálculo de forma separada. El caudal de infiltración se tomó nulo debido a que se trabajó con la tubería PVC.

### **Obtención de datos para el cálculo de caudal hidrológico**

Para el cálculo de caudal hidrológico se seleccionó la estación Chosica, cuyos datos son desde el año 1989 a 2021 de precipitaciones máximas, dicha información fue adquirida de la página del sistema nacional de información de recursos hídricos (SNIRH ANA). Es necesario ubicar las estaciones pluviométricas más cercanas al área de estudio, para que los datos obtenidos abarquen el 100% del área de influencia.

El método aplicado para la obtención de hietogramas de precipitación de diseño, se realizó para un periodo de retorno  $Tr=2$  años para la función complementaria y  $Tr=500$  años para la función básica. Para determinar la duración de lluvia, se calculó el tiempo de concentración utilizando el método de California Culverts Practice (1942) que esencialmente es la ecuación de Kirpich, desarrollada para pequeñas cuencas.

$$Tc = 0.0195 * \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \quad (Ec 3)$$

Donde la longitud del curso de agua más largo (L) en el proyecto es 1198 m. y la diferencia de nivel entre la divisora de aguas y la salida (H) es 134m.

Tomando todos los datos de la cuenca en estudios tenemos como resultado de  $Tc=15$  minutos, con ello se elaboraron hietogramas de precipitación con intervalo de 5 minutos hasta 60 minutos de duración para la evaluación del sistema de drenaje propuesto. Con los datos de lluvia se realizó el ajuste probabilístico de los datos, resultando una distribución tipo Gumbel, para luego construir las curvas de Intensidad- Duración- Frecuencia.

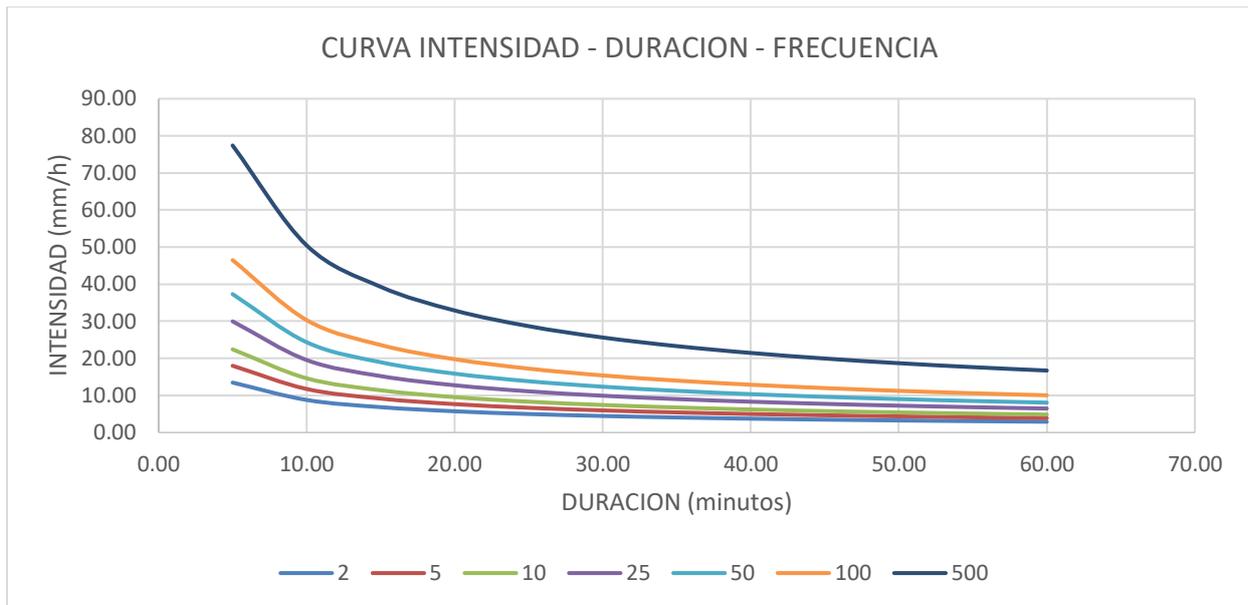


Figura 2. Curva de Intensidad-Duración-Frecuencia realizado mediante la distribución tipo Gumbel

De los periodos de retorno antes mencionados y la curva de Intensidad-Duración-Frecuencia, fueron empleados para la obtención de los hietogramas de precipitación mediante el método de bloques alternos. Los resultados obtenidos para una duración de 60 minutos para un periodo de retorno de 10 años se muestran en la siguiente figura.

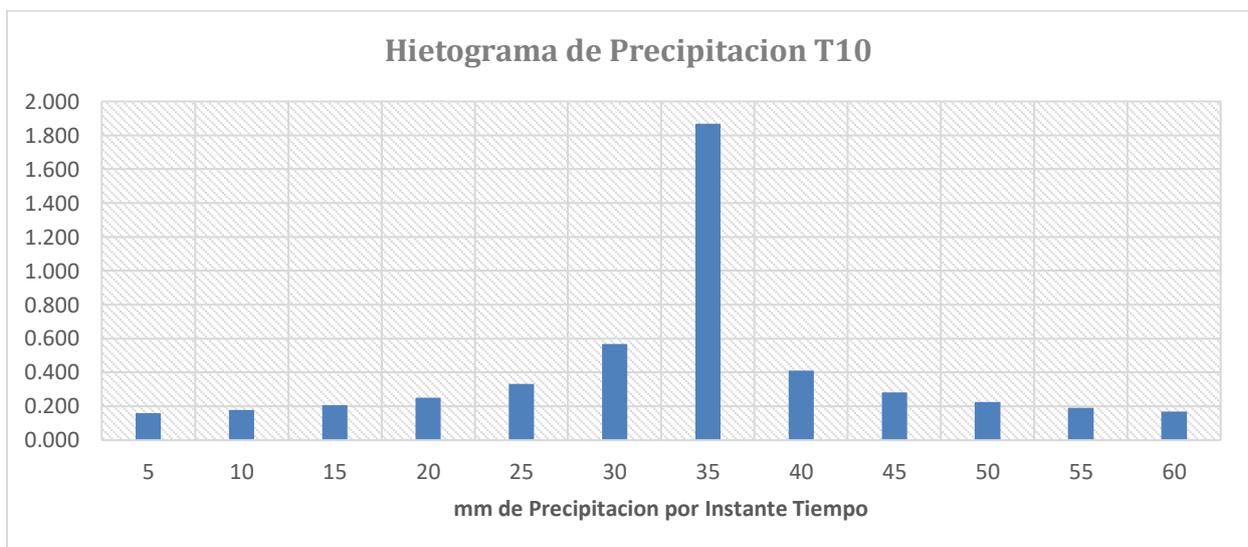


Figura 3. Hietograma de precipitación de diseño para 10 años de periodo de retorno en una duración de 60 minutos

Para determinar el área de drenaje ( $A_j$ ), tenemos la Asociación del Asentamiento Humano Yanacoto de 17.78 ha, conformado por 590 viviendas de 200 m<sup>2</sup> aproximadamente. Las parcelas representan un 68% de construcción y 32% representa calles y áreas verdes. Con los datos antes mencionados, se seleccionó los valores del coeficiente de escorrentía ( $C_j$ ) para áreas desarrolladas (parcelas techadas en un 50% a más) el valor de 0.60 y áreas no desarrolladas (vías de comunicación no pavimentadas) el valor de 0.15, considerando el grado de impermeabilización y pendiente de la superficie en estudio, características y condiciones del suelo (RNE EC.040).

El caudal máximo de escorrentía  $Q$  obtenido, fue calculado mediante el uso del Método Racional para una intensidad de lluvia ( $i$ ) del hietograma de precipitación de un periodo de retorno de 10 años, mediante la (ecuación 4) cuyo resultado es  $Q_h = 0.256 \text{ m}^3/\text{s}$ .

$$Q_h = 0.278 * i * \sum_{j=1}^m C_j * A_j \quad (Ec 4)$$

### **Representación y Análisis hidráulico del sistema de alcantarillado en SWMM**

El sistema de alcantarillado en estudio quedó conformado por 590 sub-cuencas que representan las parcelas, lotes, terrenos, etc. los datos geométricos de las cuencas (áreas, ancho de la cuenca y % de área impermeable que fueron obtenidos del trabajo en campo y de los planos de la Asociación digitalizados en AutoCAD), los coeficientes de rugosidad de Manning (definidos en función del material), los 180 nodos (buzones) que representan a los puntos de descarga donde drenan las cuencas, las cotas de los nodos extraídas del levantamiento topográfico, los 180 conductos que representan la simulación del recorrido de las aguas servidas y de lluvia cuya sección fue definido en el diseño de alcantarillado, un vertido que representa la condición de borde en un extremo agua abajo (descarga de la quebrada).

Desarrollado el montaje del sistema de alcantarillado en el modelo numérico SWMM y fijado todos los parámetros de diseño, se procedió a realizar las corridas a fin de evaluar las características de los materiales propuestos en el diseño. Para ello, se realizaron las corridas con los datos obtenidos en concordancia con los hietogramas de precipitación antes descritos. Los parámetros de corrida empleados en el modelo fueron los siguientes:

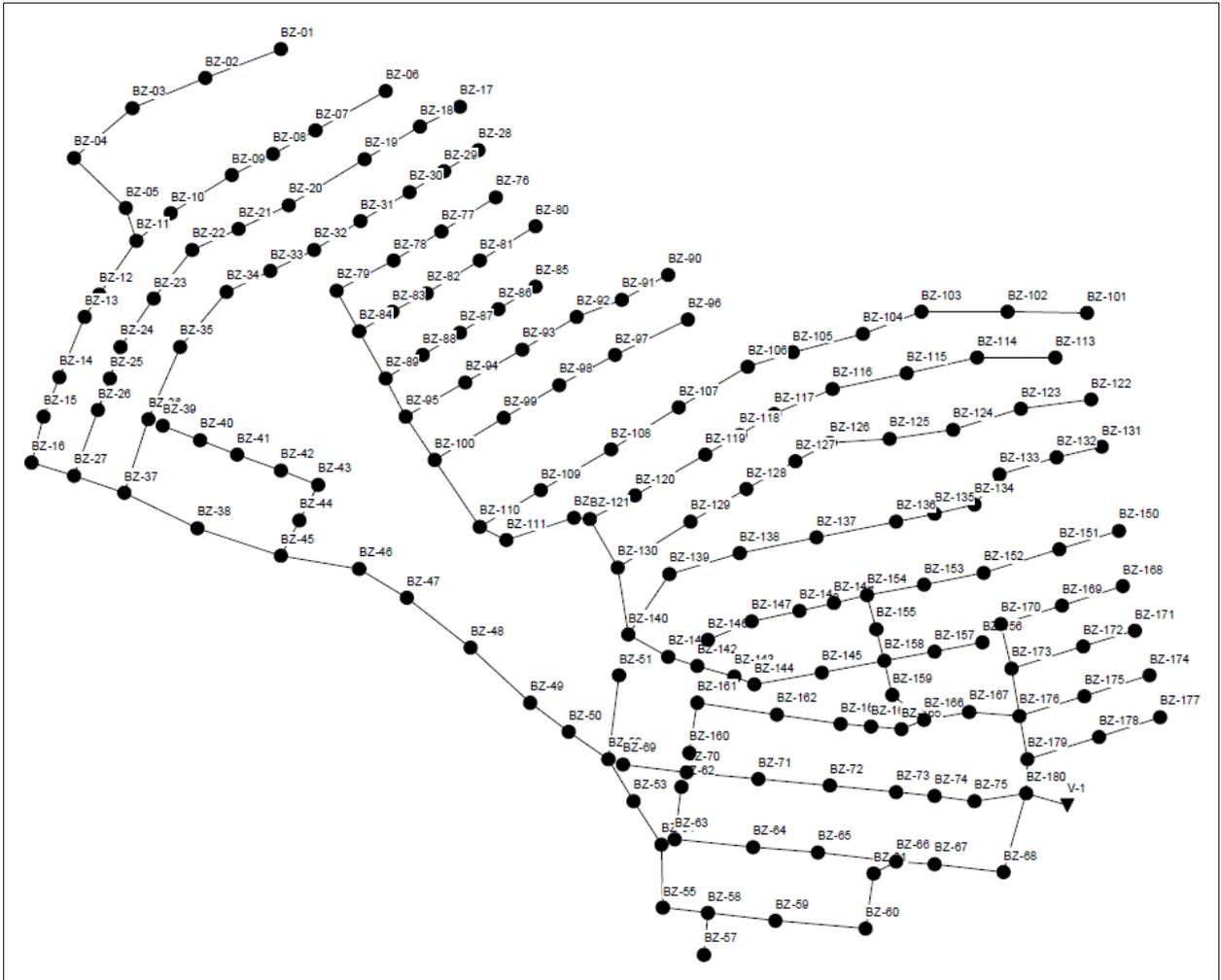
1. método de cálculo hidráulico: onda dinámica
2. tiempo de simulación: 1 hora
3. intervalo de tiempo para calculo hidráulico: 1 segundo
4. intervalo de tiempo para análisis de resultados: 1 minuto

### **RESULTADOS**

Para el diseño hidrológico del sistema de alcantarillado combinado se fijó como parámetro de diseño a la población y la precipitación del lugar. Para la función complementaria los caudales sanitarios y los caudales hidrológicos para así evitar daños en las viviendas por colapso del sistema de alcantarillado.

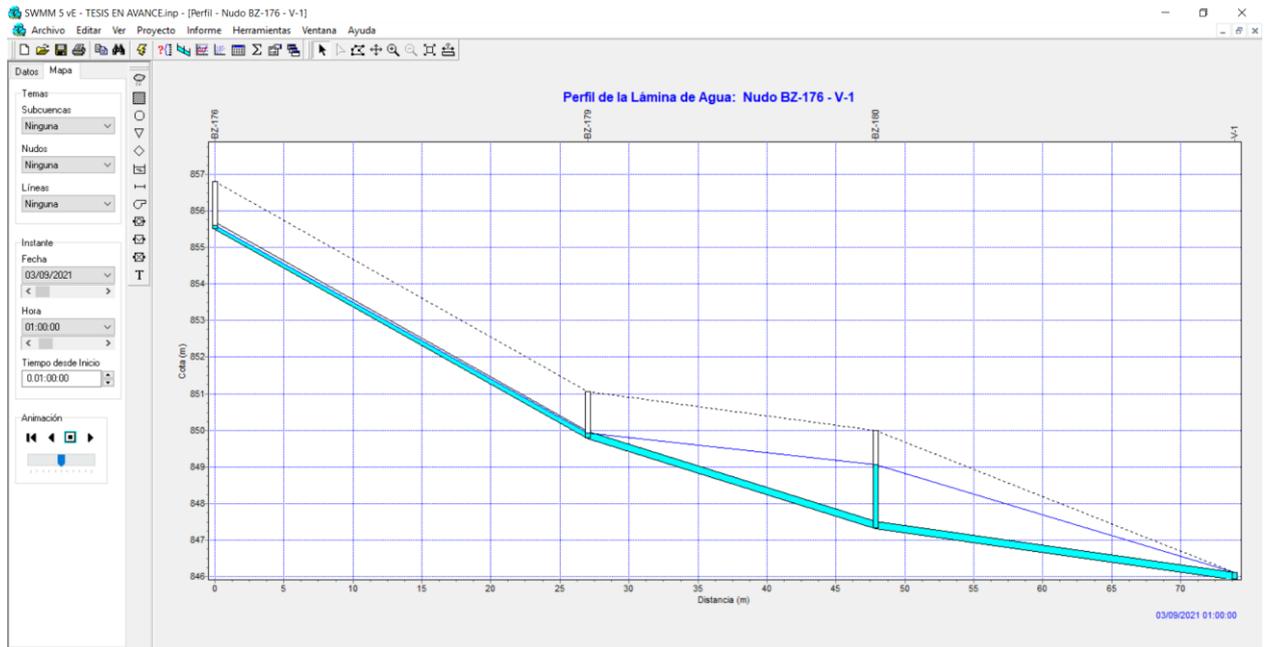
De la modelación realizada en el alcantarillado de la Asociación del Asentamiento Humano Yanacoto, se tendrán en cuenta los parámetros de Velocidad, Caudal y consideraciones técnicas estipuladas en el RNE.

En la figura 4 se pueden observar la representación gráfica de la distribución del sistema de Alcantarillado combinado distribuidos a lo largo de la Asociación incluyendo todos los parámetros hidrológicos de las subcuencas en épocas máximas que podría ocurrir las inundaciones.



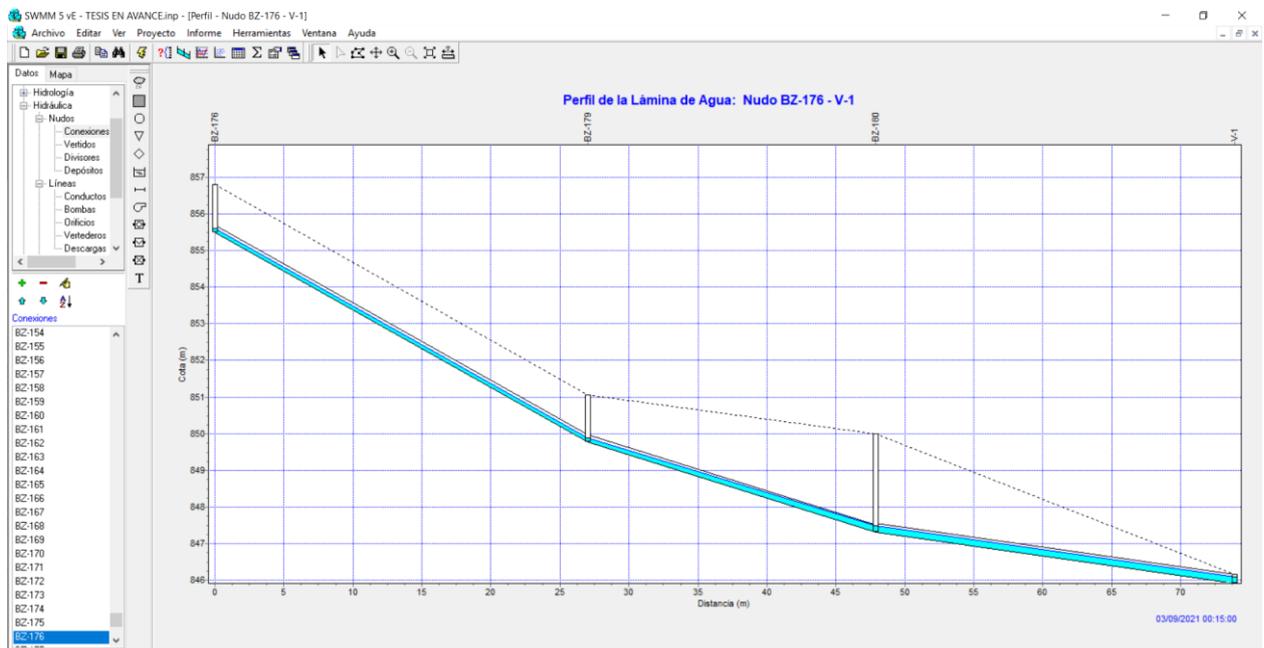
*Figura 4. Representación gráfica del sistema de Alcantarillado en el modelo SWMM*

La modelación del sistema de alcantarillado combinado, se realizó todos los tramos con un diámetro de 200mm (8") de tubería PVC-U. de la modelación realizada se observó que la capacidad de los conductores en el tramo 180-OF1 no es suficiente para el desagüe, lo que produce reboce en el buzón 180 por lo que no es deseado en el funcionamiento del alcantarillado.



**Figura 5. Perfil de la lámina de agua para el sistema de alcantarillado combinado con tubería de 200mm**

Para mejorar el comportamiento del tramo de alcantarillado, se modifica el diámetro del conductor a 250mm (10”) y así observar en la figura 6 el comportamiento de la simulación y encontrar el comportamiento óptimo del alcantarillado.



**Figura 6. Resultados del perfil de la lámina de agua para el sistema de alcantarillado combinado**

En la figura 6 se puede observar el estado de las secciones de las tuberías en los tramos finales garantizando el buen estado de funcionamiento en épocas máximas de lluvia y garantizando que no ocurrirá inundaciones que perjudicaría a la población.

Analizando los perfiles de lámina de agua de cada tramo, es importante mencionar que a menor pendiente la lámina de agua es mayor, por lo cual es recomendable trabajar con pendientes superiores a los pendientes mínimos para garantizar el buen funcionamiento del sistema.

Para el desarrollo de la propuesta se fijó como prioridad el cumplimiento de los parámetros establecidos por el Reglamento Nacional de Edificaciones para lo cual las verificaciones principales son las velocidades con parámetros definidos entre 0.60 y 5.00 m/s en tuberías de PVC y caudales mínimos no menores a 1.50 l/s.

**Tabla 1. Verificación de Velocidades y Caudales de Diseño en Puntos críticos de la red, Colector Principal 1.**

DISEÑO					CONDICIONES DE FLUJO							
PIEZA	INICIO	FINAL	Longitud	Diám.	Qacum. (l/s)	Qdiseño. (l/s)	Área (m <sup>2</sup> )	P (m)	R (m)	Veloc. (m/s)	T. tractiva (Pa)	mensaje
			L(m)	m								
T-01	Bz-01	Bz-02	50.00	0.200	0.01	1.50	0.0002	0.059	0.003	1.12	416.49	Oks
T-06	Bz-06	Bz-07	50.00	0.200	0.02	1.50	0.0002	0.059	0.003	1.12	467.79	Oks
T-11	Bz-11	Bz-12	40.00	0.200	9.56	9.56	0.0014	0.123	0.012	0.84	207.79	Oks
T-16	Bz-16	Bz-27	28.30	0.200	9.68	9.68	0.0006	0.093	0.007	1.87	959.95	Oks
T-17	Bz-17	Bz-18	28.00	0.200	0.03	1.50	0.0002	0.059	0.003	1.12	660.14	Oks
T-27	Bz-27	Bz-37	32.80	0.200	16.81	16.81	0.0010	0.108	0.009	2.12	1427.23	Oks
T-28	Bz-28	Bz-29	25.00	0.200	0.03	1.50	0.0002	0.059	0.003	1.12	631.15	Oks
T-37	Bz-37	Bz-38	51.10	0.200	24.41	24.41	0.0013	0.120	0.011	2.26	1329.62	Oks
T-39	Bz-39	Bz-40	25.00	0.200	0.06	1.50	0.0002	0.059	0.003	1.12	364.64	Oks
T-45	Bz-45	Bz-46	50.00	0.200	30.83	30.83	0.0018	0.133	0.013	2.17	1299.25	Oks
T-52	Bz-52	Bz-53	30.00	0.200	31.10	31.10	0.0017	0.130	0.013	2.31	1376.37	Oks
T-55	Bz-55	Bz-58	28.50	0.200	35.49	35.49	0.0019	0.135	0.014	2.37	1545.98	Oks
T-61	Bz-61	Bz-66	16.60	0.200	40.18	40.18	0.0039	0.177	0.022	1.28	353.59	Oks
T-66	Bz-66	Bz-67	23.50	0.200	40.32	40.32	0.0020	0.137	0.014	2.56	1763.11	Oks
T-68	Bz-68	Bz-180	46.90	0.200	40.34	40.34	0.0039	0.177	0.022	1.28	368.87	Oks

**Tabla 2. Verificación de Velocidades y Caudales de Diseño en Puntos críticos de la red, Colector Principal 2.**

DISEÑO					CONDICIONES DE FLUJO							
PIEZA	INICIO	FINAL	Longitud	Diám.	Qacum. (l/s)	Qdiseño. (l/s)	Área (m <sup>2</sup> )	P (m)	R (m)	Veloc. (m/s)	T. tractiva (Pa)	mensaje
			L(m)	m								
T-76	Bz-76	Bz-77	40.00	0.200	0.04	1.50	0.0002	0.059	0.003	1.12	438.51	Oks
T-84	Bz-84	Bz-89	32.80	0.200	5.64	5.64	0.0004	0.079	0.005	1.80	1088.40	Oks
T-89	Bz-89	Bz-95	26.50	0.200	8.92	8.92	0.0006	0.088	0.006	2.02	1188.87	Oks
T-95	Bz-95	Bz-100	32.00	0.200	13.16	13.16	0.0008	0.098	0.008	2.19	1410.04	Oks
T-100	Bz-100	Bz-110	50.00	0.200	17.41	17.41	0.0010	0.108	0.009	2.20	1599.00	Oks
T-110	Bz-110	Bz-111	18.00	0.200	32.07	32.07	0.0024	0.147	0.016	1.68	733.11	Oks
T-121	Bz-121	Bz-130	34.00	0.200	39.82	39.82	0.0016	0.128	0.013	3.12	2595.67	Oks
T-130	Bz-130	Bz-140	41.00	0.200	47.30	47.30	0.0019	0.135	0.014	3.16	2690.85	Oks
T-140	Bz-140	Bz-141	29.00	0.200	56.52	56.52	0.0027	0.153	0.017	2.64	1726.71	Oks
T-145	Bz-145	Bz-158	40.00	0.200	56.58	56.58	0.0032	0.163	0.019	2.23	1139.45	Oks
T-158	Bz-158	Bz-159	21.30	0.200	72.76	72.76	0.0027	0.155	0.018	3.33	2647.48	Oks
T-166	Bz-166	Bz-167	29.60	0.200	74.87	74.87	0.0045	0.187	0.024	2.06	898.14	Oks
T-170	Bz-170	Bz-173	27.50	0.200	2.02	2.02	0.0002	0.059	0.003	1.51	759.11	Oks
T-173	Bz-173	Bz-176	29.50	0.200	3.50	3.50	0.0003	0.069	0.004	1.66	760.55	Oks
T-176	Bz-176	Bz-179	27.00	0.200	82.36	82.36	0.0027	0.153	0.017	3.85	3634.63	Oks
T-179	Bz-179	Bz-180	20.90	0.200	82.44	82.44	0.0033	0.166	0.020	3.12	2301.29	Oks
T-180	Bz-180	OF-1	26.00	0.250	134.32	134.32	0.0063	0.222	0.028	2.68	1474.01	Oks

En las tablas 1 y 2 se muestran un resumen de los resultados en los conductos modelados en el software SWMM. En estos cuadros se muestra los caudales y velocidades máximas, como se puede observar ningún conducto supera la velocidad máxima permitida en el RNE.

En los tramos de inicio de la red, se observó que el caudal unitario es inferior a lo establecido en el Reglamento, lo cual, en el caudal de diseño se modifica al caudal mínimo de diseño establecido en dicho Reglamento.

Como se puede verificar en todos los parámetros de diseño del sistema de alcantarillado cumplen con los estándares mínimos, donde el caudal sanitario representa la sexta parte del resultado final, ello indica que es importante el diseño de alcantarillados considerando los parámetros hidrológicos ya que previene las inundaciones en las viviendas por colapso del sistema.

En la figura 7 se muestra la representación gráfica observatorio de las velocidades en los conductos, los cuales también en la tabla 1 se puede observar los valores de los mismos.

En la figura 8 se muestra también la representación gráfica de los caudales de diseño que se están representando en las tablas 1 y 2.

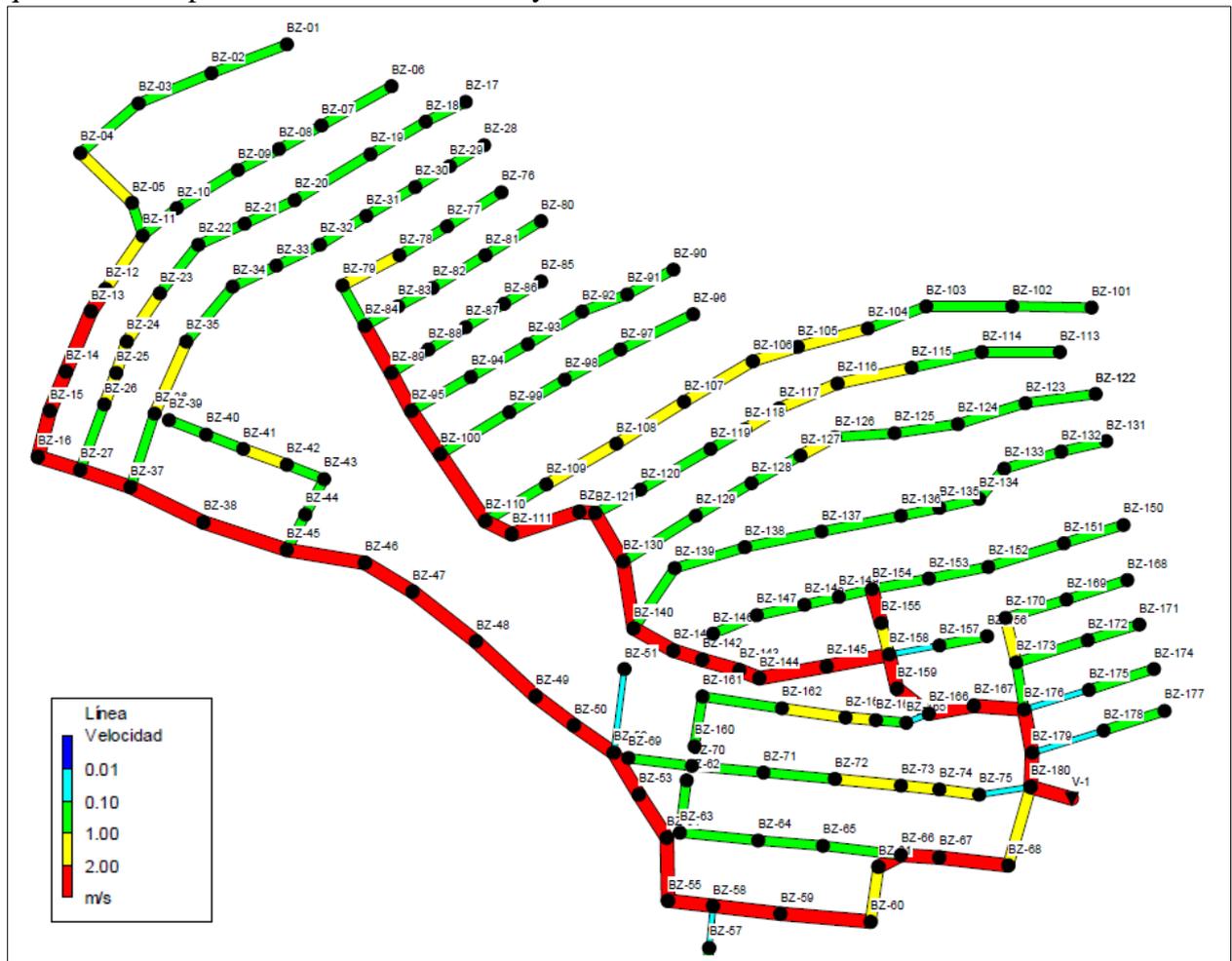


Figura 7. Representación de velocidades en el modelo SWMM

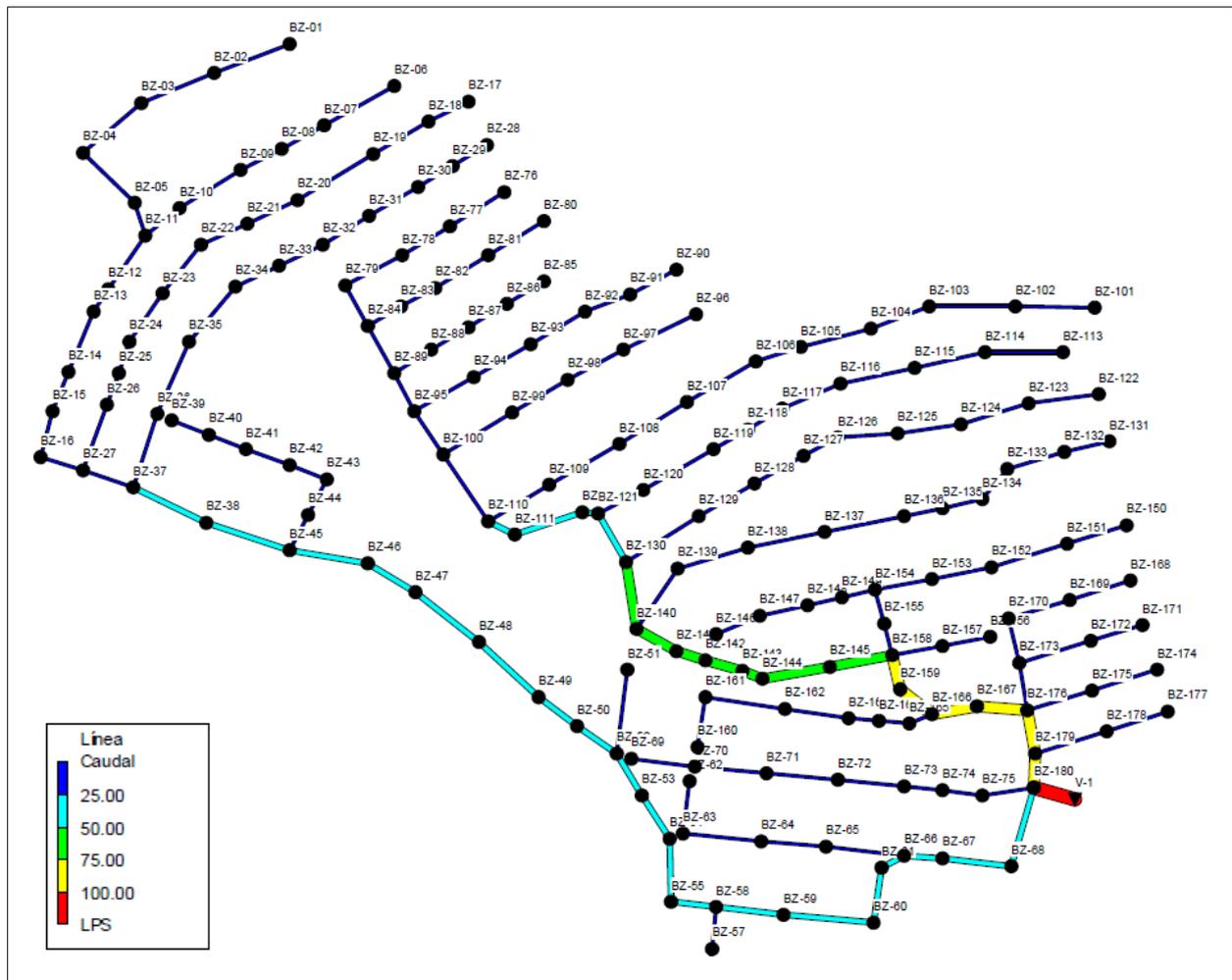


Figura 8. Representación de caudales combinados en el modelo SWMM

## CONCLUSIONES

Se desarrolló una metodología para el diseño de sistemas de alcantarillado combinado tomando como base la modelación dual en el modelo matemático SWMM, que consiste en el movimiento simultáneo del flujo en las calles como en las redes de alcantarillado.

La adquisición de datos como población fue mediante un padrón de la población 590 viviendas con un total de 3540 habitantes, lo cual sirvió para el cálculo de caudales sanitarios, mientras los datos hidrológicos fueron consultados al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI y al Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (SNIRH-ANA), para la obtención de las precipitaciones.

Los cálculos hidráulicos como caudales, velocidades, Pendientes Mínimos, fueron con los datos obtenidos con los trabajos topográficos y datos de la población, mientras para el cálculo de caudal hidrológico usamos las precipitaciones y el área de las sub-cuencas representadas por las parcelas, dentro de los parámetros hidrológicos se trabajó con un periodo de retorno de 10 años y una precipitación máxima de 4.84 mm. El hietograma de diseño se elaboró con el uso del método de distribución por Gumbel para un periodo de retorno de 10 años. Los coeficientes de escorrentía para parcelas construidas por partes, se consideró un valor de 0.60 y para las vías no pavimentadas en un 100% se consideró en valor de 0.15.

Los valores obtenidos mediante el diseño del sistema de alcantarillado incluyendo el sistema de drenaje pluvial en la Asociación del Asentamiento Humano Yanacoto, ha cumplido con los estándares mínimos de diseño según el Reglamento Nacional de Edificaciones, donde los valores de velocidad se encuentran dentro de lo establecido de 0.60 m/s y 5.00 m/s en

tuberías de PVC, caudales no menores a 1.50 m/s, la tensión tractiva media mayor o igual a 1.0 pa.

Durante el desarrollo del proyecto de investigación, nuestra intención no solamente es mostrar el funcionamiento y el manejo del programa SWMM, sino proporcionar una justificación a la manera de proceder en el diseño del sistema de alca

alcantarillado sanitario en combinación con el sistema de drenaje pluvial, con el objetivo de sacar el máximo rendimiento en los diseños de alcantarillados combinados, dando como resultado un análisis hidráulico adecuado para evitar inundaciones por la presencia de lluvias.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Rincón, J., Fabiana, M.** (2013). “Diseño hidráulico de sistemas de drenaje dual a través del modelo SWMM” Decanato de Ing. Civil, Lisandro Alvarado University Centroccidental, Venezuela

**Vargas, M., Villegas, R.** (2013). “Modelación de la red de alcantarillado sanitario y pluvial de la urbanización plaza Madrid mediante el software EPA SWMM”. Proyecto de grado, Universidad Católica de Colombia. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1004/2/MONOGRAFIA%20ESPECIALIZACION.pdf>

**Chambi, L.** (2018). “Análisis y diseño de la red de alcantarillado y drenaje pluvial en el distrito de alto selva alegre “el mirador” Provincia de Arequipa mediante el programa SWMM 5.1”. Tesis de grado, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/6728/SAchvilz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**Rodríguez, M., Rodríguez, J.** (2014). “Modelación y Evaluación hidráulica del alcantarillado del municipio de Chocontá – cundimarca, mediante el uso del software EPA SWMM”. Proyecto de Grado, Universidad Católica de Colombia. Obtenido de [https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1686/1/Modelacion-evaluacion-hidraulica-alcantarillado-Choconta-con-software-EPA\\_SWMM.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1686/1/Modelacion-evaluacion-hidraulica-alcantarillado-Choconta-con-software-EPA_SWMM.pdf)

**Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos - GMMF.** (2005). SWMM. Modelo de Gestión de Aguas Pluviales. Manual de usuario.

**Ministerio de Vivienda.** (2006). Reglamento Nacional de Edificaciones. Reglamento, Ministerio de Vivienda, Lima. Obtenido de <http://ww3.vivienda.gob.pe/ejes/vivienda-y-urbanismo/documentos/Reglamento%20Nacional%20de%20Edificaciones.pdf>

**Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI** obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>

**Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos – SNIRH ANA** obtenido de <http://snirh.ana.gob.pe/snirh/>

EVIDENCIA DE SUMISIÓN DEL ARTÍCULO “Modelación hidráulica de la red de alcantarillado y drenaje pluvial mediante el uso del modelo numérico SWMM” a la Revista **RIHA (INGENIERIA HIDRAULICA Y AMBIENTAL)**



Inicio / Contacto

## Contacto

Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría-Cujae. Calle 114 No. 11901 entre Ciclovía y Rotonda, Marianao. La Habana, Cuba. CP 19390

### Contacto principal

Dr. Maray Garrido Monagas  
Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, Cujae

[maray@civil.cujae.edu.cu](mailto:maray@civil.cujae.edu.cu)

### Contacto de soporte

Ing. Cristóbal Savón

**Teléfono**  
(537) 266 3700

[savon@tesla.cujae.edu.cu](mailto:savon@tesla.cujae.edu.cu)

### Información

Para autores/as

Para bibliotecarios/as



lesly carbajal 11:18 a. m.  
para maray



Buenos días,  
Es grato dirigirme a usted para expresarles mis cordiales saludos, y a su vez alcanzar el artículo de investigación titulado: **Modelación hidráulica de la red de alcantarillado y drenaje pluvial mediante el uso del modelo numérico SWMM**.  
En tal sentido solicitamos su revisión para corregir las observaciones si es que hubiese.  
Agradeceremos su pronta respuesta gracias.  
Atentamente:  
Lesly Rosamel Carbajal Robles  
Walter Cordova Anyosa

[Mostrar texto citado](#)



maray@civil.cujae.e... 11:25 a. m.  
para mí



Recibido, muchas gracias

[Mostrar texto citado](#)