

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

“MODELAMIENTO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL USANDO EL SOFTWARE SWMM DE LA AV. SAN MARTÍN DE PORRES, COMPRENDIDA ENTRE LAS INTERSECCIONES DE LA AV. ATAHUALPA Y EL JR. LOS CONQUISTADORES, CAJAMARCA 2022”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO CIVIL

Autor:

Rhainer Victor Polanco Palacios

Asesor:

Mg. Ing. Tulio Edgar Guillen Sheen

<https://orcid.org/0000-0001-5024-7595>

Cajamarca - Perú

JURADO EVALUADOR

| | | |
|---------------------------|-----------------------------|-----------------|
| Jurado 1 Presidente(a) | LUIS VÁSQUEZ RAMÍREZ | 26693344 |
| | Nombre y Apellidos | Nº DNI |

| | | |
|----------|-------------------------------------|-----------------|
| Jurado 2 | KELY ELIZABETH NÚÑEZ VÁSQUEZ | 42679441 |
| | Nombre y Apellidos | Nº DNI |

| | | |
|----------|--------------------------------------|-----------------|
| Jurado 3 | ERLYN GIORDANY SALAZAR HUAMÁN | 71106769 |
| | Nombre y Apellidos | Nº DNI |













INFORME DE SIMILITUD



Document Information

| | |
|-------------------|-----------------------------------------------|
| Analyzed document | Tesis_Victor Polanco_01.doc.docx (D158800075) |
| Submitted | 2/16/2023 3:20:00 PM |
| Submitted by | |
| Submitter email | tulio.guillen@upn.pe |
| Similarity | 5% |
| Analysis address | tulio.guillen.delnor@analysis.orkund.com |

Sources included in the report

| | | |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| SA | Universidad Privada del Norte / Tesis Avila Angel.pdf Document Tesis Avila Angel.pdf (D139880749) Submitted by: abel.oruna@upn.edu.pe Receiver: oruna.abel.delnor@analysis.orkund.com |  1 |
| SA | Universidad Privada del Norte / Tesis_ Oroz Merino Luis.docx Document Tesis_ Oroz Merino Luis.docx (D117343876) Submitted by: luis.vasquez@upn.pe Receiver: luis.vasquez.delnor@analysis.orkund.com |  1 |
| W | URL: https://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/1933/TESIS%20RAMOS%20%20Y%20UCHUYPOMA.pdf?_ Fetched: 1/13/2022 2:00:30 AM |  2 |
| SA | Alania Alvarez, Greisy Angela - 2019 11 09.pdf Document Alania Alvarez, Greisy Angela - 2019 11 09.pdf (D58597366) |  1 |
| W | URL: http://www.repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/1301/T037_48189922_T.pdf?sequ... Fetched: 2/16/2023 3:21:00 PM |  2 |
| SA | Alania Alvarez, Greisy 2019 11 11 A.pdf Document Alania Alvarez, Greisy 2019 11 11 A.pdf (D58749616) |  1 |
| W | URL: https://www.slideshare.net/rogercayetanofigueroavelasquez/estudio-hidrologico-e-hidraulico Fetched: 2/8/2023 11:01:09 PM |  1 |
| SA | TSP Carlos Enrique Alvarez Neyra.docx Document TSP Carlos Enrique Alvarez Neyra.docx (D109836523) |  2 |
| W | URL: https://es.slideshare.net/rogercayetanofigueroavelasquez/estudio-hidrologico-e-hidraulico Fetched: 2/8/2023 11:01:17 PM |  2 |
| SA | Universidad Privada del Norte / Tesis_ Oroz Merino Luis.docx Document Tesis_ Oroz Merino Luis.docx (D117370891) Submitted by: luis.vasquez@upn.pe Receiver: luis.vasquez.delnor@analysis.orkund.com |  1 |
| W | URL: http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/800/2/Tesis%20Civ447_San.pdf.txt Fetched: 12/10/2021 9:40:56 PM |  1 |
| W | URL: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/51980/Orozco_POA-Rodr%C3%ADguez_G... Fetched: 11/4/2021 10:46:23 AM |  1 |

DEDICATORIA

A Dios, por ser la luz que ilustra mi vida. **A mis padres** Eugenio y Guillermina por darme fortaleza, buenas enseñanzas, consejos, valores, por su sacrificio y constante motivación para alcanzar mis metas. **A mi hermano** Miguel por estar siempre a mi lado y apoyarme en todo momento de mi vida, por compartir etapas significativas conmigo y por el gran afecto que nos une.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la oportunidad de vivir en este mundo y cumplir un sueño tan anhelado que es el título de ingeniero civil. **A mis padres y familiares**, por todo el apoyo y la dedicación que me han brindado a lo largo de todos estos años. **A mis profesores** por sus enseñanzas que me han brindado a lo largo de todos estos años. **A la UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE** por haberme acogido en sus aulas y haberme brindado una buena formación académica a través de cada uno de los docentes de la Facultad de Ingeniería.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---------------------------------------|-----------|
| JURADO EVALUADOR | 2 |
| INFORME DE SIMILITUD | 3 |
| DEDICATORIA | 4 |
| AGRADECIMIENTO | 5 |
| TABLA DE CONTENIDO | 6 |
| ÍNDICE DE TABLAS | 7 |
| ÍNDICE DE FIGURAS | 10 |
| ÍNDICE DE ECUACIONES | 13 |
| RESUMEN | 14 |
| CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN | 15 |
| 1.1. Realidad problemática | 15 |
| 1.1.2. Bases Teóricas: | 20 |
| 1.2. Formulación del problema | 34 |
| 1.3. Objetivos | 34 |
| 1.3.1. Objetivo General | 34 |
| 1.3.2. Objetivos específicos | 35 |
| 1.4. Hipótesis | 35 |
| CAPÍTULO II: METODOLOGÍA | 37 |
| CAPÍTULO III: RESULTADOS | 75 |
| CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES | 155 |
| REFERENCIAS | 165 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1: Características de los sistemas de drenaje pluvial..... | 20 |
| Tabla 2: Frecuencia de diseño según el tipo de zona..... | 22 |
| Tabla 3: Frecuencia de diseño según el área drenada..... | 23 |
| Tabla 4: Coeficiente de escorrentia típicos..... | 26 |
| Tabla 5: Tipo de material de tubería para alcantarillado pluvial..... | 30 |
| Tabla 6: Diámetro de tubería para alcantarillado pluvial..... | 30 |
| Tabla 7: n de Manning para cunetas de calles y calzadas | 32 |
| Tabla 8: Variable dependiente..... | 37 |
| Tabla 9: Variable independiente..... | 37 |
| Tabla 10: Tramos de calles a ser evaluados para el comportamiento hidráulico del drenaje pluvial..... | 39 |
| Tabla 11: Ubicación de la estación metereológica Augusto Weberbauer..... | 45 |
| Tabla 12: Precipitaciones máximas en 24 horas de la estación Augusto Weberbauer..... | 52 |
| Tabla 13: Distribución probabilística de Gumbel..... | 53 |
| Tabla 14: Datos para el cálculo de la función de probabilidad..... | 55 |
| Tabla 15: Precipitaciones máximas diarias probables para distintas frecuencias..... | 56 |
| Tabla 16: Coeficiente de duración de lluvias entre 1 y 24 horas..... | 56 |
| Tabla 17: Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias..... | 57 |
| Tabla 18: Intensidad de lluvias para diferentes tiempos de retorno..... | 58 |
| Tabla 19: Síntesis numérica de la curva IDF en un periodo de retorno de 2 años..... | 59 |
| Tabla 20: Síntesis numérica de la curva IDF en un periodo de retorno de 5 años..... | 60 |
| Tabla 21: Síntesis numérica de la curva IDF en un periodo de retorno de 10 años..... | 61 |
| Tabla 22: Síntesis numérica de la curva IDF en un periodo de retorno de 25 años..... | 62 |
| Tabla 23: Resumen de aplicación de regresión potencial..... | 63 |
| Tabla 24: Resumen de la regresión potencial según la distribución de Gumbel..... | 63 |
| Tabla 25: Tabla de intensidades – duración – frecuencia final requerida..... | 65 |
| Tabla 26: Hietograma de diseño PR = 2 años..... | 66 |
| Tabla 27: Hietograma de diseño PR = 5 años..... | 67 |
| Tabla 28: Hietograma de diseño PR = 10 años..... | 68 |
| Tabla 29: Hietograma de diseño PR = 25 años..... | 70 |
| Tabla 30: Caudal máximo para TR = 2 años..... | 71 |
| Tabla 31: Caudal máximo para TR = 5 años..... | 71 |
| Tabla 32: Caudal máximo para TR = 10 años..... | 72 |
| Tabla 33: Caudal máximo para TR = 25 años..... | 72 |
| Tabla 34: Características y cálculos lado derecho tramo Av. Atahualpa – Jr. Bolognesi..... | 74 |
| Tabla 35: Características y cálculos lado izquierdo tramo Av. Atahualpa – Jr. Bolognesi..... | 75 |
| Tabla 36: Características y cálculos lado derecho tramo Jr. Bolognesi - Jr. Emancipación..... | 77 |
| Tabla 37: Características y cálculos lado izquierdo tramo Jr. Bolognesi - Jr. Emancipación..... | 78 |
| Tabla 38: Características y cálculos lado derecho tramo Jr. Emancipación – Psje. Las Américas..... | 80 |
| Tabla 39: Características y cálculos lado izquierdo tramo Jr. Emancipación – Psje. Las Américas..... | 81 |
| Tabla 40: Características y cálculos lado derecho tramo Jr. Emancipación – Psje. Las Américas..... | 83 |
| Tabla 41: Características y cálculos lado izquierdo tramo Jr. Emancipación – Psje. Las Américas..... | 84 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 42: Características y cálculos lado derecho tramo Jr. Los Proceres – Jr. Diego Ferre.... | 86 |
| Tabla 43: Características y cálculos lado izquierdo tramo Jr. Los Proceres – Jr. Diego Ferre.. | 87 |
| Tabla 44: Características y cálculos lado derecho tramo Jr. Diego Ferre – Psje. San Antonio.. | 89 |
| Tabla 45: Características y cálculos lado izquierdo tramo Jr. Diego Ferre – Psje. San Antonio..... | 90 |
| Tabla 46: Características y cálculos lado derecho tramo Psje. San Antonio – Jr. Argentina.... | 92 |
| Tabla 47: Características y cálculos lado izquierdo tramo Psje. San Antonio – Jr. Argentina.. | 93 |
| Tabla 48: Características y cálculos lado derecho tramo Jr. Argentina – Jr. Santa Rosa..... | 95 |
| Tabla 49: Características y cálculos lado izquierdo tramo Jr. Argentina – Jr. Santa Rosa..... | 96 |
| Tabla 50: Características y cálculos lado derecho tramo Jr. Santa Rosa – Jr. Misión Japonesa..... | 98 |
| Tabla 51: Características y cálculos lado izquierdo tramo Jr. Santa Rosa – Jr. Misión Japones..... | 99 |
| Tabla 52: Características y cálculos lado derecho tramo Jr. Misión Japonesa – Jr. La Historia..... | 101 |
| Tabla 53: Características y cálculos lado izquierdo tramo Jr. Misión Japonesa – Jr. La Historia..... | 102 |
| Tabla 54: Características y cálculos lado derecho tramo Jr. La Historia – Psje. El Imperio.... | 104 |
| Tabla 55: Características y cálculos lado izquierdo tramo Jr. La Historia – Psje. El Imperio..... | 105 |
| Tabla 56: Características y cálculos lado derecho tramo Psje. El Imperio – Jr. Los Conquistadores..... | 107 |
| Tabla 57: Características y cálculos lado izquierdo tramo Psje. El Imperio – Jr. Los Conquistadores..... | 108 |
| Tabla 58: Evaluación de la capacidad hidráulica del sistema de drenaje pluvial lado derecho de la Av. San Martín de Porres..... | 110 |
| Tabla 59: Evaluación de la capacidad hidráulica del sistema de drenaje pluvial lado izquierdo de la Av. San Martín de Porres..... | 111 |
| Tabla 60: Pendientes y velocidades con respecto a los criterios de la norma técnica CE.040 lado derecho de la Av. San Martín de Porres..... | 112 |
| Tabla 61: Pendientes y velocidades con respecto a los criterios de la norma técnica CE.040 lado Izquierdo de la Av. San Martín de Porres..... | 112 |
| Tabla 62: Tramo lado derecho de la Av. San Martín de Porres..... | 114 |
| Tabla 63: Tramo lado izquierdo de la Av. San Martín de Porres..... | 115 |
| Tabla 64: Datos de las cuencas urbanas..... | 116 |
| Tabla 65: Datos de los conductos que representan las alcantarillas y colectores..... | 116 |
| Tabla 66: Valores de inundación para cada nudo en m ³ /s TR = 2 años..... | 122 |
| Tabla 67: Valores de descarga en cada uno de los nudos de los colectores TR = 2 años..... | 123 |
| Tabla 68: Valores de inundación para cada nudo en m ³ /s TR = 5 años..... | 129 |
| Tabla 69: Valores de descarga en cada uno de los nudos de los colectores TR = 5 años..... | 130 |
| Tabla 70: Valores de inundación para cada nudo en m ³ /s TR = 10 años..... | 135 |
| Tabla 71: Valores de descarga en cada uno de los nudos de los colectores TR = 10 años..... | 136 |
| Tabla 72: Valores de inundación para cada nudo en m ³ /s TR = 25 años..... | 141 |
| Tabla 73: Valores de descarga en cada uno de los nudos de los colectores TR = 25 años..... | 142 |
| Tabla 74: Abastecimiento de la capacidad del sistema de drenaje ante el caudal..... | 143 |
| Tabla 75: Dimensionamiento del drenaje en zonas crítica del tramo 2: Jr. Bolognesi – Jr. Emancipación..... | 144 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 76: Dimensionamiento del drenaje en zona crítica del tramo 12: Psje. El Imperio – Jr. Los Conquistadores..... | 145 |
| Tabla 77: Dimensionamiento del drenaje en zonas crítica del tramo 1: Av. Atahualpa - Jr. Bolognesi..... | 145 |
| Tabla 78: Dimensionamiento del drenaje en zonas crítica del tramo 2: Jr. Bolognesi - Jr. Emancipación..... | 146 |
| Tabla 79: Dimensionamiento del drenaje en zonas crítica del tramo 3: Jr. Emancipación – Psje. Las Américas..... | 146 |
| Tabla 80: Dimensionamiento del drenaje en zonas crítica del tramo 4: Psje. Las Américas – Jr. Los Proceres..... | 147 |
| Tabla 81: Dimensionamiento del drenaje en zonas crítica del tramo 6: Jr. Diego Ferre – Psaje. San Antonio..... | 148 |
| Tabla 82: Dimensionamiento del drenaje en zonas crítica del tramo 7: Psaje. San Antonio – Av. Argentina..... | 148 |
| Tabla 83: Dimensionamiento del drenaje en zonas crítica del tramo 8: Av. Argentina – Jr. Santa Rosa..... | 149 |
| Tabla 84: Dimensionamiento del drenaje en zonas crítica del tramo 9: Jr. Santa Rosa – Jr. Misión Japonesa..... | 149 |
| Tabla 85: Dimensionamiento del drenaje en zonas crítica del tramo 10: Jr. Misión Japonesa – Jr. La Historia..... | 150 |
| Tabla 86: Dimensionamiento del drenaje en zonas crítica del tramo 11: Jr. La Historia – Psje. El Imperio..... | 151 |
| Tabla 87: Dimensionamiento del drenaje en zonas crítica del tramo 12: Psje. El Imperio – Jr. Los Conquistadores..... | 151 |
| Tabla 88: Diseño hidráulico de canales colectores..... | 152 |
| Tabla 89: Comparación de datos obtenidos vs antecedente 01..... | 158 |
| Tabla 90: Comparación de datos obtenidos vs antecedente 02..... | 158 |
| Tabla 91: Comparación de datos obtenidos vs antecedente 03..... | 159 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 1: Riesgo del evento de diseño durante la vida útil..... | 25 |
| Figura 2: Sumidero lateral de sardinel o solera..... | 28 |
| Figura 3: Sumidero de fondo..... | 29 |
| Figura 4: Sumidero mixto o combinado..... | 29 |
| Figura 5: Delimitación de población..... | 38 |
| Figura 6: Croquis de la zona de estudio..... | 40 |
| Figura 7: Procedimiento hidráulico del sistema de drenaje pluvial de la zona en estudio..... | 43 |
| Figura 8: Área de estudio ubicada en la zona urbana de la Av. San Martín de Porres comprendida entre las intersecciones de la Av. Atahualpa y el Jr. Los Conquistadores..... | 49 |
| Figura 9: Regresión de la curva Intensidad vs Duración por PR = 2 años..... | 59 |
| Figura 10: Regresión de la curva Intensidad vs Duración por un PR = 5 años..... | 60 |
| Figura 11: Regresión de la curva Intensidad vs Duración por un PR = 10 años..... | 61 |
| Figura 12: Regresión de la curva Intensidad vs Duración por un PR = 25 años | 62 |
| Figura 13: Constante de regresión D vs los periodos de retorno | 64 |
| Figura 14: Curva IDF de la cuenca | 65 |
| Figura 15: Hietograma de diseño TR = 2 años..... | 67 |
| Figura 16: Hietograma de diseño TR = 5 años..... | 68 |
| Figura 17: Hietograma de diseño TR = 10 años..... | 69 |
| Figura 18: Hietograma de diseño TR = 25 años | 70 |
| Figura 19: Sección transversal típica de la Av. San Martín de Porres entre Av. Atahualpa y Jr. Bolognesi..... | 74 |
| Figura 20: Sección transversal típica de la Av. San Martín de Porres entre Jr. Bolognesi y Jr. Emancipación..... | 77 |
| Figura 21: Sección transversal típica de la Av. San Martín de Porres entre Jr. Emancipación y Psje. Las Américas..... | 80 |
| Figura 22: Sección transversal típica de la Av. San Martín de Porres entre Psje. Las Américas – Jr. Los Proceres..... | 83 |
| Figura 23: Sección transversal típica de la Av. San Martín de Porres entre Jr. Los Proceres – Jr. Diego Ferre..... | 86 |
| Figura 24: Sección transversal típica de la Av. San Martín de Porres entre Jr. Diego Ferre – Psje. San Antonio..... | 89 |
| Figura 25: Sección transversal típica de la Av. San Martín de Porres entre Psje. San Antonio – Jr..... | 92 |
| Figura 26: Sección transversal típica de la Av. San Martín de Porres entre Psje. Real – Jr. Santa Rosa..... | 95 |
| Figura 27: Sección transversal típica de la Av. San Martín de Porres entre Jr. Santa Rosa – Jr. Misión Japonesa..... | 98 |
| Figura 28: Sección transversal típica de la Av. San Martín de Porres Jr. Misión Japonesa – Jr. La Historia..... | 101 |
| Figura 29: Sección transversal típica de la Av. San Martín de Porres Jr. La Historia – Psje. El Imperio..... | 104 |
| Figura 30: Sección transversal típica de la Av. San Martín de Porres Psje. El Imperio – Jr. Los Conquistadores..... | 107 |
| Figura 31: Esquema del sistema de drenaje pluvial en SWMM de la Av. San Martín de Porres, comprendida entre las intersecciones de la Av. Atahualpa y el Jr. Los conquistadores..... | 113 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 32: Valores de inundación para cada nudo en m ³ /s – SWMM para un TR = 2 años..... | 118 |
| Figura 33: Perfil de lámina de agua margen derecho del nudo P01 al nudo P06, TR = 2 años..... | 119 |
| Figura 34: Perfil de lámina de agua margen derecho del nudo P06 al nudo P13, TR = 2 años..... | 120 |
| Figura 35: Perfil de lámina de agua margen derecho del nudo P13 al nudo P17, TR = 2 años..... | 120 |
| Figura 36: Perfil de lámina de agua margen izquierdo del nudo P18 al nudo P23, TR = 2 años..... | 121 |
| Figura 37: Perfil de lámina de agua margen izquierdo del nudo P23 al nudo P30, TR = 2 años..... | 121 |
| Figura 38: Perfil de lámina de agua margen izquierdo del nudo P30 al nudo P34, TR = 2 años..... | 122 |
| Figura 39: Descargas en cada uno de los nudos para un TR = 2 años..... | 124 |
| Figura 40: Valores de inundación para cada nudo en m ³ /s – SWMM para un TR = 5 años... | 125 |
| Figura 41: Perfil de lámina de agua margen derecho del nudo P01 al nudo P06, TR = 5 años..... | 126 |
| Figura 42: Perfil de lámina de agua margen derecho del nudo P06 al nudo P13, TR = 5 años..... | 126 |
| Figura 43: Perfil de lámina de agua margen derecho del nudo P13 al nudo P17, TR = 5 años..... | 127 |
| Figura 44: Perfil de lámina de agua margen izquierdo del nudo P18 al nudo P23, TR = 5 años..... | 127 |
| Figura 45: Perfil de lámina de agua margen izquierdo del nudo P23 al nudo P30, TR = 5 años..... | 128 |
| Figura 46: Perfil de lámina de agua margen izquierdo del nudo P23 al nudo P30, TR = 5 años..... | 128 |
| Figura 47: Descargas en cada uno de los nudos para un TR = 5 años..... | 130 |
| Figura 48: Valores de inundación para cada nudo en m ³ /s – SWMM para un TR = 10 años..... | 131 |
| Figura 49: Perfil de lámina de agua margen derecho del nudo P01 al nudo P06, TR = 10 años..... | 132 |
| Figura 50: Perfil de lámina de agua margen derecho del nudo P06 al nudo P13, TR = 10 años..... | 132 |
| Figura 51: Perfil de lámina de agua margen derecho del nudo P13 al nudo P17, TR = 10 años..... | 133 |
| Figura 52: Perfil de lámina de agua margen izquierdo del nudo P18 al nudo P23, TR = 10 años..... | 133 |
| Figura 53: Perfil de lámina de agua margen izquierdo del nudo P23 al nudo P30, TR = 10 años..... | 134 |
| Figura 54: Perfil de lámina de agua margen izquierdo del nudo P30 al nudo P34, TR = 10 años..... | 134 |
| Figura 55: Descargas en cada uno de los nudos para un TR = 10 años..... | 136 |
| Figura 56: Valores de inundación para cada nudo en m ³ /s – SWMM para un TR = 25 años..... | 137 |
| Figura 57: Perfil de lámina de agua margen derecho del nudo P01 al nudo P06 , TR = 25 años..... | 138 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 58: Perfil de lámina de agua margen derecho del nudo P06 al nudo P13, TR = 25 años..... | 138 |
| Figura 59: Perfil de lámina de agua margen derecho del nudo P13 al nudo P17, TR = 25 años..... | 139 |
| Figura 60: Perfil de lámina de agua margen izquierdo del nudo P18 al nudo P23, TR = 25 años..... | 139 |
| Figura 61: Perfil de lámina de agua margen izquierdo del nudo P23 al nudo P30, TR = 25 años..... | 140 |
| Figura 62: Perfil de lámina de agua margen izquierdo del nudo P30 al nudo P34, TR = 25 años..... | 140 |
| Figura 63: Descargas en cada uno de los nudos para un TR = 25 años..... | 142 |
| Figura 64: Ubicación de los canales colectores propuestos..... | 153 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ecuación 1: Cálculo del máximo caudal en colectores por el método racional..... | 21 |
| Ecuación 2: Riesgo de falla admisible..... | 24 |
| Ecuación 3: Tiempo de duración de lluvia..... | 26 |
| Ecuación 4: Velocidad del flujo según la ecuación de Manning..... | 31 |
| Ecuación 5: Caudal según la ecuación de la continuidad..... | 31 |
| Ecuación 6: Caudal según la expresión de Manning..... | 31 |
| Ecuación 7: Función del modelo de probabilidad para el cálculo de precipitaciones..... | 54 |
| Ecuación 8: Media Aritmética..... | 54 |
| Ecuación 9: Desviación estandar..... | 54 |
| Ecuación 10: Constante 1 de distribución probabilística de Gumbel..... | 55 |
| Ecuación 11: Constante 2 de distribución probabilística de Gumbel..... | 55 |
| Ecuación 12: Intensidad de precipitación..... | 57 |
| Ecuación 13: Intensidad establecido por Bernard..... | 58 |
| Ecuación 14: Cambio de variable a la fórmula de intensidad..... | 58 |
| Ecuación 15: Cálculo de la intensidad con respecto a la ecuación 14..... | 59 |
| Ecuación 16: Intensidad de precipitación..... | 64 |
| Ecuación 17: Reemplazando valores en la ecuación 16..... | 64 |

RESUMEN

La presente tesis, tuvo como objetivo principal realizar la verificación del modelamiento hidráulico del sistema de drenaje pluvial usando el software SWMM de la Av. San Martín de Porres, comprendida entre las intersecciones de la Av. Atahualpa y el Jr. Los Conquistadores – Cajamarca, con la finalidad de evaluar el comportamiento hidráulico del sistema de drenaje pluvial del área en estudio, en primer lugar se realizó el reconocimiento de campo, seguidamente se realizó la recolección de datos de campo con el uso de la guía de observación y ficha de recolección de dimensiones de elementos de drenaje, se realizó el levantamiento topográfico del área de influencia obteniendo las secciones transversales, pendientes, curvas de nivel.

En gabinete se obtuvo la información de las precipitaciones de la estación Augusto Weberbauer para los cálculos hidrológicos obteniendo las precipitaciones máximas en 24 horas, las curvas IDF, los hietogramas de diseño y los caudales máximos de diseño para periodos de retorno de 2, 5, 10 y 25 años respectivamente, al momento de realizar la evaluación del drenaje existente se llegó a la conclusión de que el sistema hidráulico de drenaje de lado derecho tiene la capacidad hidráulica de abastecer en su mayoría, lo que no sucede con el lado izquierdo que en la mayoría de los tramos colapsa el sistema debido también a que la sección del lado derecho es mayor a la sección del lado izquierdo con respecto a sus estructuras de drenaje pluvial, por tal motivo se plantea el uso de aumentar la sección de los canales con rejilla a 0.75 m x 0.50 m y de las cunetas triangulares a 0.45 m x 0.30 m respectivamente.

PALABRAS CLAVES: Verificación, Hidrología, Drenaje pluvial, SWMM.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En América Latina, el aumento en la frecuencia de precipitaciones de gran intensidad produce inundaciones urbanas que recurrentemente generan pérdidas materiales y humanas, así como cuantiosos daños a la infraestructura de las ciudades que afectan notablemente a las economías nacionales.

Un ejemplo ampliamente conocido es el de Barranquilla, Colombia. La frecuente ocurrencia de lluvias convectivas locales intensas convierte a las calles centrales de la ciudad en una especie de ríos urbanos, con elevadas alturas de agua y potentes velocidades de flujo. Estas inundaciones ocurren por una densa concentración urbana que ha desatendido la conservación del drenaje natural y la protección ambiental de los arroyos que atraviesan la ciudad, además de desaciertos en las regulaciones de uso del suelo urbano (Arroyo, 2016).

Según (Gozzer, 2019), la cantidad de lluvia puede llegar a ser fatal, por ejemplo: Resistencia, la capital del Chaco argentino, batió el récord de lluvia en este caso con 556,8 milímetros, cientos de vecinos tuvieron que ser evacuados, ya que el 50% de la ciudad se inundó; por lo tanto, las ciudades deben encontrar una solución a estos cambios climáticos para reducir los riesgos que presentan para la sociedad.

Por otro lado en Estados Unidos, Canadá, Australia y algunos países europeos se han desarrollado en la última década nuevas estrategias para la gestión de las aguas pluviales. Se trata de nuevos paradigmas que aprovechan el recurso pluvial para la ciudad y para la arquitectura, y al hacerlo, minimizan, reducen e incluso eliminan los riesgos de inundación en las ciudades. En Estados Unidos sobresalen los diseños y normativas de la ciudad de Filadelfia, definidos en Green Streets Design Manual of Philadelphia. En Canadá, llama la atención los estructurados lineamientos para la gestión de las aguas pluviales desarrollados para la región

de Quebec, que se presentan en los 14 capítulos de la Guide de gestion de aguas pluviales. Australia se destaca por su innovadora propuesta de Water Sensitive Cities (ciudades sensibles al agua), que forma parte de los objetivos del gobierno federal y los gobiernos estatales de ese país. En Europa, cinco países están a la vanguardia en el campo de la gestión de las aguas pluviales: Dinamarca, Suecia, Bélgica, Suiza y Francia (en la región del Grand Lyon), puesto que han establecido estrategias o normativas claras y precisas en cuanto a la gestión de las aguas pluviales urbanas que inciden en el diseño urbano. **(Villegas Rodriguez, Sandoval Betancour, Casas Matiz, Cotés Cely, & Molina Prieto, 2019)**

En el Perú, debido a las inundaciones provocadas por el fenómeno del Niño, es necesario contar con una red de agua pluvial eficaz y suficiente, al menos en las provincias donde ocurren estos desastres naturales. Por ello, es necesario destacar algunos puntos relacionados con los desagües pluviales, el trágico deslizamiento de tierra que mató a 9 personas en Huamanga (Ayacucho) en 2009 llevó al gobierno regional y al Ministerio de Vivienda a construir un sistema de drenaje pluvial eficiente y mejorado, que cumplió su propósito contra las inundaciones durante la temporada de lluvias. **(Hijar, 2016).**

Los sistemas de drenaje urbano disminuyen el impacto social y económico causado por las inundaciones en las ciudades, además de administrar las aguas de lluvia a través de la infiltración, retención o reúso. Por ejemplo, Chiclayo tiene 32 puntos vulnerables por lluvias intensas en el 50% de su territorio, según INDECI. Por esta razón, el Gobierno, a través del Ministerio de Vivienda, está impulsando el proyecto de drenaje pluvial para la zona norte del país, que beneficiará a los habitantes de cinco regiones **(Wavin, 2022).**

Por otro lado la región de Piura, en el norte del Perú, ha sufrido la peor temporada de lluvias desde el 2017, cuando el fenómeno de El Niño Costero dejó más de 20 400 damnificados, 2300 casas inhabitables y 2400 colapsadas solo en esta región. Esta vez las

alarmas se encendieron cuando el río Piura alcanzó, el último miércoles, un caudal de casi 1700 metros cúbicos por segundo en la estación Puente Sánchez Cerro, en el centro de la ciudad. La población temía un desborde similar al de hace seis años, pero el pico estuvo lejos de los 3400 m³/s registrados en el 2017, en el centro de Piura y en los distritos de Castilla y Catacaos, en Perú, decenas de familias cercanas al cauce del río han colocado sacos de arena y construidos muros de contención al ingreso de sus viviendas y comercios para protegerse de un eventual desborde (**Chunga, 2023**).

En el departamento de Cajamarca, también fueron afectados por el niño costero el distrito de Choros (Provincia de Cutervo), distrito de San Pablo (Provincia de San Pablo), distrito de Chilete (Provincia de Contumazá), distrito de San Felipe (Provincia de Jaén), distrito de Llama (Provincia de Chota), distrito de Namballe (Provincia de San Ignacio) y distrito de Celendín (Provincia de Celendín), esto se debe a la inseguridad de los sistemas de drenaje pluvial, falta de protección de los ríos y posibles fenómenos naturales (**Rabanal, 2018**).

El clima de la ciudad de Cajamarca es frío, llueve constantemente en la temporada de invierno, y llueve frecuentemente en épocas de verano, la mayoría de las cuales son significativas con una precipitación pluvial promedio anual de 620 mm, la cual consta de tres períodos, uno lluvioso con el 55% de la lluvia anual (diciembre-marzo), un periodo intermedio de 36% de la lluvia anual (abril, setiembre, octubre y noviembre) y un periodo seco con 9% de la lluvia anual (mayo, junio, julio y agosto) (**SENAMHI - Cajamarca, 2012**).

El problema más común en las calles de la ciudad de Cajamarca es la cantidad de agua que escurren por ellas, formando riachuelos y haciéndolas intransitables sus calles. Este problema existe desde hace años, por lo que en algunos lugares los ciudadanos no pueden salir de sus casas. La ciudad de Cajamarca actualmente requiere un sistema de drenaje pluvial para

áreas críticas, por lo que muchas áreas y algunas intersecciones de calles sufren inundaciones constantes provocadas por la lluvia.

1.1.1 Antecedentes:

De esta investigación tenemos estudios previos tales como:

Litardo Navarrete, A. (2020) en su tesis denominado “Diseño del sistema de drenaje urbano del centro histórico del Cantón Pichincha, provincia de Manabí - Ecuador”, Tuvo como objetivo diseñar el sistema de drenaje urbano del centro histórico del Cantón Pichincha, Provincia de Manabí, el autor concluyó que, para un periodo de retorno de 10 años, el tiempo de concentración calculado es de 5 minutos, resultado que se ajusta a la ecuación de referencia de la estación meteorológica Chone para el cálculo de intensidad el cual registra un valor promedio de 92,76 mm/h. El caudal de diseño se lo determinó mediante el método racional obteniendo un valor de $Q = 0,036 \text{ m}^3/\text{s}$, el coeficiente de escorrentía para pavimento asfáltico es de $C = 0,85$ y las pendientes de la zona varían de 1% a 5 %, cumpliendo con los rangos establecidos en la norma técnica de Secretaria del Agua. En Los parámetros hidráulicos se utilizarán sumideros tipo rejilla en cada uno de los puntos de descarga, las tuberías de PVC con una rugosidad $n = 0,011$ y con diámetros que varían de 400 a 700 mm, las velocidades de flujo se encuentran dentro de los rangos permisibles $V_{\min} = 0,95 \text{ m/s}$ y $V_{\max} = 4,25 \text{ m/s}$.

Alvarez Encarnación, G. & Usquiano Paredes E. (2020) en su tesis denominado “Modelamiento hidráulico del sistema de drenaje pluvial en la zona urbana del distrito de Poroto, Trujillo – La Libertad, 2020”. Tuvo como objetivo realizar el modelamiento hidráulico del sistema de drenaje pluvial en la zona urbana del distrito de Poroto, Trujillo - La Libertad, los autores concluyeron que, para la obtención de los tiempos de retorno de 2, 5, 10, 25 y 50 años, se logró diseñar adecuadamente el modelamiento hidráulico del sistema de drenaje pluvial en la zona urbana del distrito de Poroto, Trujillo – La Libertad. Para ello se empleó el

programa de modelamiento Storm Water Management Model (SWMM), obteniendo así una óptima simulación para el drenaje de aguas pluviales en el área de estudio, de acuerdo a los requerimientos establecidos por la norma O.S 060 Drenaje pluvial urbano. Los resultados, plantean el uso de canales de tipos trapezoidal de 0.90m y 0.45m de base, altura de 0.60 m y triangular 25 cm de altura y ancho 50 cm para el área de investigación; así también, el caudal de vertido en una tormenta con un periodo de retorno de 10 años es de 0.075 m³/s, la zona impermeable está formada por asfalto, concreto y techos de las viviendas para lo cual se consideró el 95%, sin embargo la sub cuenca C5 que pertenece al parque del distrito de poroto está determinada con una permeabilidad del 10%, para el coeficiente n de impermeabilidad, las condiciones del modelamiento hidráulico del sistema del drenaje pluvial urbano, aplicadas a nuestro entorno se especifican en los valores máximos, teniendo más incidencia los meses de diciembre hasta abril con mayor intensidad de precipitaciones.

Abanto Plasencia, C. (2017) en su tesis denominado “Evaluación del riesgo de inundación mediante modelo de gestión de aguas pluviales del sector sur de la ciudad de Cajamarca”, el objetivo de esta tesis es identificar y analizar las variables y circunstancias que conllevan que la escorrentía generada durante un evento pluvial permita problemas de inundación y anegamiento en la zona de estudio, el autor dedujo que, el 41.1% de conductos sobrepasa la velocidad máxima de seguridad, el 18.18% de conductos se sobrecargan, el 5.56% de los nodos poseen más de 200 m³ de volumen de inundación y un 8.33% entre 100 y 200 m³ llegando a la conclusión que existe un constante riesgo de inundación y anegamientos mientras no se controle la escorrentía superficial; sin haber existido un planeamiento de urbanización en la zona y con cambios de uso de suelo constantes, el problema ira incrementando, por lo que se realizó como aporte profesional un diseño para mitigar en gran porcentaje el riesgo de inundación y anegamientos durante eventos pluviales.

1.1.2. Bases Teóricas:

En esta investigación se ha considerado las siguientes bases teóricas:

1.1.2.1. Marco Conceptual

1.1.2.1.1. Drenaje pluvial en zonas urbanas

El drenaje pluvial que va a aportar a la habilitación urbana, no sobrepase la capacidad de la infraestructura de drenaje pluvial existente en las áreas aledañas hasta la salida del emisor principal; Para ello se pueden utilizar unidades de detención o retención (ponding) u otros procedimientos debidamente sustentados. La infraestructura de drenaje pluvial debe incluir soluciones técnicas para evitar que las aguas pluviales de escorrentía se mezclen con las aguas negras u otras fuentes de contaminación, causando inundaciones en el área de operación, así como en las áreas vecinas ubicadas en cotas inferiores o aguas abajo, con el fin de impedir amenazas en la salud de la población. (**Norma técnica CE. 040 drenaje pluvial del reglamento nacional de edificaciones, 2021**).

1.1.2.1.2. Tipos de sistemas de drenaje urbano

El drenaje urbano esta conformado por los sistemas de alcantarillado los cuales se clasifican según el tipo de agua que manejen; así tenemos:

a) Sistema de Alcantarillado Sanitario. Es un sistema de recogida diseñado exclusivamente para el transporte de aguas residuales domésticas industriales.

b) Sistema de Alcantarillado Pluvial. - Cuando llueve en la ciudad, el agua impenetrable circula desde las calles aguas abajo hacia el suelo natural, donde provisionalmente puede almacenarse o canalizarse hacia los cauces naturales, para prevenir que el agua se acumule y perjudique a los usuarios, por tal motivo se establecerá un sistema de

drenaje de aguas pluviales, a través del cual se canalizará el agua de lluvia a sitios de disposición más seguros.

c) Sistema de Alcantarillado Combinado.- Es un sistema de alcantarillado que traslada simultáneamente aguas residuales (domésticas e industriales) y pluviales al mismo tiempo. **(Norma técnica CE. 040 drenaje pluvial del reglamento nacional de edificaciones, 2021).**

Según **(Ozoriaga & Sanabria, 2017)**, dependiendo del tipo de sistema de drenaje pluvial, ya sea macro drenaje o micro drenaje, en la Tabla 1 se detallan las siguientes características.

Tabla 1

Características de los sistemas de drenaje pluvial.

| Sistema | Característica |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mayor o principal (macro drenaje) | <p>Cuencas regionales grandes. Aportes externos a las ciudades. Formado por cauces naturales importantes. Cuenca aportante exterior a la zona urbana. Grandes aportes en crecidas. Diseños para TR grandes (100, 1000, ..., años) Problemas mayores, ejemplos: Crecidas e inundaciones en ríos (ENSO), aluviones y huacos. Consecuencias de inundación: Pérdidas de vidas y bienes, relativamente pocos afectados.</p> |
| Menor o secundario (micro drenaje) | <p>Cuencas urbanas pequeñas. Aportes internos en las ciudades. Formato por cauces naturales menores y Artificiales. Cuenca aportante interior a la zona urbana. Aportes moderados en crecidas. Diseños para TR menores (2,5,10,..., años) Problemas menores, ejemplos: Inundaciones Frecuentes en calles y avenidas. Consecuencias de inundación: Pérdidas de bienes, tiempo, incomodidades y muchos afectados.</p> |

Fuente: Ozoriaga y Sanabria (2017).

<https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/274/OZORIAGA%20RIVERA%2c%20Angella%20Milagros - SANABRIA%20GARAY%2c%20Liz%20Angella..>

Según la norma técnica CE. 040. Los sistemas de drenaje pluvial se pueden clasificar en las siguientes categorías. (MVCS, 2014).

- Sistemas de drenaje urbano.
- Sistemas de drenaje de tierras agrícolas.
- Sistemas de drenaje para carreteras.
- Sistemas de drenaje de aeropuertos.

El drenaje urbano está diseñado para manejar las aguas pluviales en una ciudad de manera inteligente, previniendo daños, acumulación, que pueden conducir a fuentes de contaminación y propagación de enfermedades. (MVCS, 2014).

1.1.2.1.3. Evaluación del caudal de diseño

Se puede usar cualquier modelo de flujo de lluvia, para áreas menores a 3 km² se recomienda utilizar el método racional debido a su simplicidad, pero para áreas mayores a 3 km² se debe usar un modelo más apropiado a las características de la cuenca como por ejemplo el método del hidrograma unitario o los modelos de simulación. ((Norma técnica CE. 040 drenaje pluvial del reglamento nacional de edificaciones, 2021).

1.1.2.1.4. Método racional

Según (López, 2012), para poder hacer uso del método racional se debe tener en cuenta que la cuenca debe ser menor o igual a 3 km² . El área de drenaje, en zonas urbanas, está compuesto por subcuencas de diferentes características superficiales, siendo necesario para el cálculo del máximo caudal en colectores el uso de la siguiente expresión:

$$Q = 0.278 \times C \times I \times A \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

Q = Caudal superficial en (L/s).

C = Coeficiente de escorrentía (adimensional).

I = Intensidad promedio de la lluvia en (L/s. Ha).

A = Área de drenaje en (Ha).

1.1.2.1.5. Área de drenaje (A)

Las áreas dentro de la ciudad se pueden determinar trazando diagonales o bisectrices a través de las manzanas, y se hace la planimetría de las áreas aferentes a cada uno de los colectores (López, 2012).

1.1.2.1.6. Intensidad de la lluvia (I)

Se obtiene mediante un estudio hidrológico en la zona, donde se consiguen las curvas de intensidad, duración y frecuencia. Según las curvas, la intensidad es inversamente proporcional a la duración de la lluvia y directamente proporcional a la frecuencia de la lluvia (López, 2012).

➤ Frecuencia de la lluvia

Las frecuencias de lluvia varían entre 3 años y hasta valores de 100 años. Los valores dependen de varios criterios como zonas y área a drenar. Se han reportado algunos valores que pueden servir como guía según (López, 2012), en la Tabla 2 y la Tabla 3 se puede apreciar.

Tabla 2

Frecuencia de diseño según el tipo de zona

| Descripción de la zona | Frecuencia (años) |
|-----------------------------|-------------------|
| Zona residencial | 3 - 10 |
| Zona comercial e industrial | 10 - 50 |
| Colectores principales | 10 - 100 |

Fuente: Norma técnica CE.040 Drenaje pluvial del reglamento nacional de edificaciones (2021).

Tabla 3

Frecuencia de diseño según el área drenada

| Área drenada (Ha) | Frecuencia (años) |
|-------------------|-------------------|
| Menor de 3 Ha | 3 |
| Entre 3 y 10 Ha | 5 |
| Mayor de 10 Ha | 10 |

Fuente: Norma técnica CE.040 Drenaje pluvial del reglamento nacional de edificaciones (2021).

Las frecuencias para los canales pluviales según (**López, 2012**) son:

Canales drenantes a áreas menores a 1000 Ha:

- Sección revestida en concreto: 10 años.
- Capacidad total: 25 años.

Canales que drenen áreas mayores a 1000 hectáreas:

- Sección cubierta en concreto: 10 años.
- Capacidad total: 50 años.
- Borde libre: 100 años.

➤ **Periodo de retorno**

Es el tiempo promedio en años, en el que un determinado valor de caudal máximo de una creciente es igual o superior una vez "T" por año, a esto se le denomina periodo de retorno. Si asumimos que los eventos anuales son independientes, podemos calcular la probabilidad de falla para una vida útil de "n" años. Para calcular el período de retorno utilizado en el diseño de una obra, se debe considerar la relación entre la probabilidad de excedencia de un evento,

la vida útil de la estructura y el riesgo de falla admisible, el cual depende de factores económicos, sociales, técnicos y otros (MTC, 2014).

El criterio de riesgo es una fijación a priori del riesgo que se debe admitir si la obra falla durante su vida útil, es decir que no ocurra ningún evento de magnitud mayor a la utilizada en el diseño durante el primer año, segundo año y así sucesivamente por cada uno de los años de la vida de la obra. El riesgo de falla admisible en función del período de retorno y vida útil de la estructura de la obra está dado por:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

R: Riesgo de falla admisible.

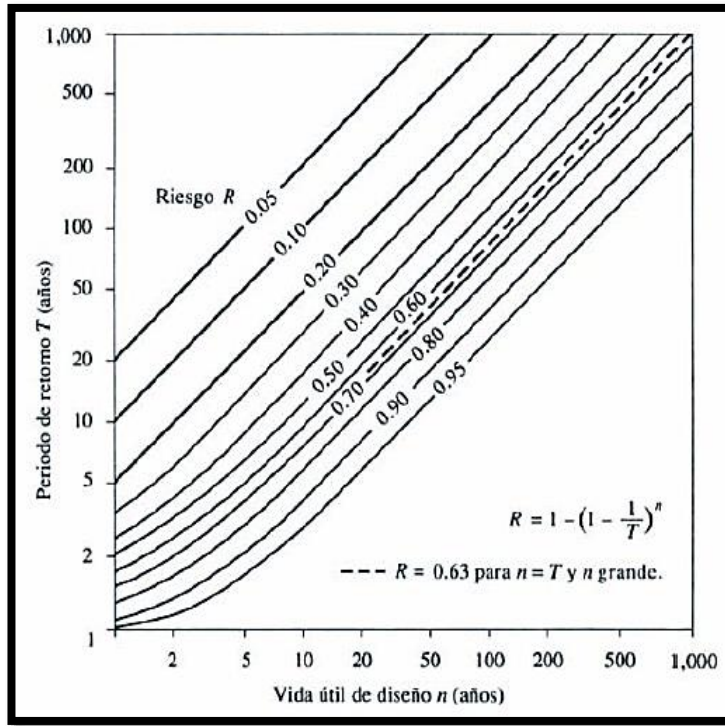
n: Vida útil (años).

T: Periodo de retorno (años).

Si la obra tiene una vida útil de “n” años, la Ecuación 2 nos permite calcular el período de retorno “T” años especificando el riesgo de falla admisible R en %, que viene hacer la probabilidad de suceso del pico de la creciente evaluada durante la vida útil de la obra.

Figura 1

Riesgo del evento de diseño durante la vida útil



Fuente: Manual de hidrología, hidráulica y drenaje del ministerio de transportes y comunicaciones (2014)

➤ **Duración de la lluvia**

El caudal formado es mayor cuando la precipitación es igual al tiempo de concentración del área drenada. El tiempo de concentración es el tiempo que tarda el agua en desplazarse desde la parte más alejada de la cuenca hasta el colector.

El tiempo de concentración se puede dividir en tiempo de concentración inicial y tiempo de recorrido en el colector. El tiempo de concentración depende de las características de la superficie, como la pendiente y el tipo de superficie.

Existen varias ecuaciones para determinar el tiempo de concentración, siendo la más importante la ecuación de Manning, el tiempo necesario para cruzar zanjas y depresiones, cuando no se encuentran en montañas, se estima de la siguiente manera: **(López, 2012)**.

$$T_d = \frac{L \times n}{60 \times R^{2/3} \times S^{1/2}} \dots \dots \dots (3)$$

Donde:

Td: Tiempo de recorrido en minutos.

L: Longitud de recorrido en metros.

n: Coeficiente de rugosidad de Manning.

R: Radio hidráulico de la sección del conducto natural en metros.

S: Pendiente de la línea de energía.

1.1.2.1.7. Coeficiente de escorrentía (c)

No toda el agua de precipitación ingresa al sistema de alcantarillado; algunos se pierden, por ejemplo, debido a la evaporación, detención superficial en cunetas, atrapamiento con vegetación, infiltración y zanjas o hundimiento. El factor más importante es la infiltración, que está en función de la impermeabilidad del terreno (**López, 2012**).

La Tabla 4 brinda pautas para seleccionar el coeficiente de escorrentía, según **López (2012)** son las siguientes:

Tabla 4

Coeficiente de escorrentía típicos

| Características de la superficie | Periodo de retorno (años) | | | |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------|------|------|------|
| | 2 | 5 | 10 | 25 |
| Áreas desarrolladas | | | | |
| Asfáltico | 0.73 | 0.77 | 0.81 | 0.86 |
| Concreto / techo | 0.75 | 0.80 | 0.83 | 0.88 |
| Zonas verdes (jardines, parques, etc). | | | | |
| Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área) | | | | |
| Plano 0 – 2% | 0.32 | 0.34 | 0.37 | 0.40 |
| Promedio 2 – 7% | 0.37 | 0.40 | 0.43 | 0.46 |
| Pendiente superior a 7% | 0.40 | 0.43 | 0.30 | 0.34 |
| Condición promedio (cubierta de pasto del 50 al 75% del área) | | | | |
| Plano 0 – 2% | 0.25 | 0.28 | 0.30 | 0.34 |
| Promedio 2 – 7% | 0.33 | 0.36 | 0.38 | 0.42 |
| Pendiente superior a 7% | 0.37 | 0.40 | 0.42 | 0.46 |

Condición buena (cubierta de pasto del 75% del área)

| | | | | |
|-------------------------|------|------|------|------|
| Plano 0 – 2% | 0.21 | 0.23 | 0.25 | 0.29 |
| Promedio 2 – 7% | 0.29 | 0.32 | 0.35 | 0.39 |
| Pendiente superior a 7% | 0.34 | 0.37 | 0.40 | 0.44 |

Áreas no desarrolladas

Áreas de cultivos

| | | | | |
|-------------------------|------|------|------|------|
| Plano 0 – 2% | 0.31 | 0.34 | 0.36 | 0.40 |
| Promedio 2 – 7% | 0.35 | 0.38 | 0.41 | 0.44 |
| Pendiente superior a 7% | 0.39 | 0.42 | 0.44 | 0.48 |

Pastizales

| | | | | |
|-------------------------|------|------|------|------|
| Plano 0 – 2% | 0.25 | 0.28 | 0.30 | 0.34 |
| Promedio 2 – 7% | 0.33 | 0.36 | 0.38 | 0.42 |
| Pendiente superior a 7% | 0.37 | 0.40 | 0.42 | 0.46 |

Bosques

| | | | | |
|-------------------------|------|------|------|------|
| Plano 0 – 2% | 0.22 | 0.25 | 0.28 | 0.31 |
| Promedio 2 – 7% | 0.31 | 0.34 | 0.36 | 0.40 |
| Pendiente superior a 7% | 0.35 | 0.39 | 0.41 | 0.45 |

Fuente: Hidrología Aplicada Ven Te Chow (1994).

1.1.2.1.8. Captación de zona vehicular

Según el (MVCS, 2010); para estimar las aguas pluviales se debe tener en cuenta la dirección del flujo de agua de lluvia donde:

- Las pendientes longitudinales (Sl) deben ser mayores a 0.5 %.
- Las pendientes transversales (St) debe estar entre 2 % y 4 %.

a) Cunetas

El agua de las lluvias se evacuan a través de cunetas hacia las zonas bajas en donde se encuentran los sumideros. Asimismo, según el (MVCS, 2010); estas pueden tener una sección transversal:

- Circular.
- Triangular.
- Trapezoidal.
- Compuesta o en V.

La sección transversal, la rugosidad y la pendiente se consideran al determinar la capacidad de carga.

b) Sumideros

El tipo de sumidero debe elegirse de acuerdo a las condiciones hidráulicas, económicas y de ubicación de la zona en estudio. (MVCS, 2010).

c) Sumideros Laterales en sardineles o solera

Es una abertura vertical del sardinel por la cual pasa el flujo o descarga de las cunetas; se utilizan en tramos pequeños donde la pendiente longitudinal es inferior al 3% (MVCS, 2010).

Según MVCS (2010), a continuación se muestran diferentes sumideros ya sea con depresión, sin depresión y con deflector.

Figura 2

Sumidero lateral de sardinel o solera



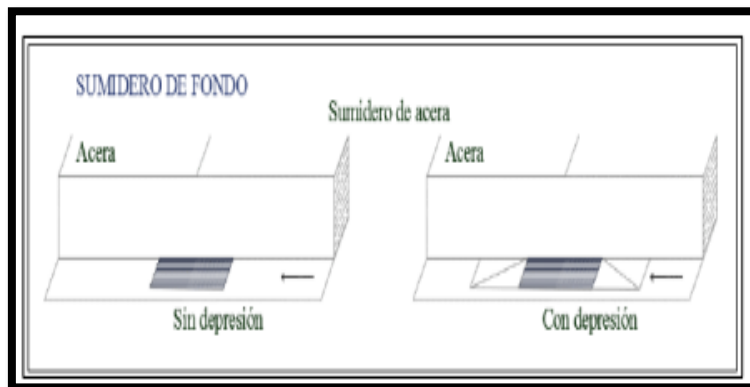
Fuente: Ozoriaga y Sanabria (2017).

d) Sumidero de fondo

Es una abertura en la cuneta que está cubierta por varios sumideros; se aplican en pendientes superiores al 3 %, en la Figura 3 se observa el sumidero con o sin depresión en la calzada.

Figura 3

Sumidero de fondo



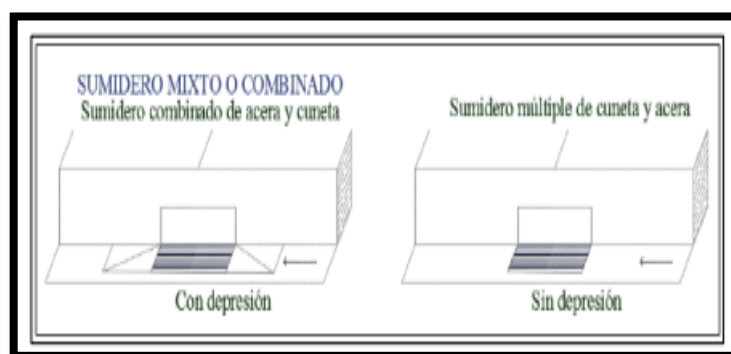
Fuente: Ozoriaga y Sanabria (2017).

e) Sumideros mixtos o combinados

Es un sumidero de fondo y un sumidero lateral de sardinel que actúa como uno solo trabajando en conjunto al mismo tiempo; debe tener al menos 10" de diámetro en los tubos de almacenamiento al buzón de acumulación.

Figura 4

Sumidero mixto o combinado



Fuente: Ozoriaga y Sanabria (2017).

f) Tipo de tuberías

Las tuberías para un sistema de drenaje pluvial que deben cumplir con los requisitos de la norma técnica peruana vigente se enumeran en la tabla 5, según el material a utilizar:

Tabla 5

Tipo de material de tubería para alcantarillado pluvial

Materiales para tubería

Asbesto cemento.
 Hierro fundido dúctil.
 Policloruro de vinilo (PVC).
 Poliéster reforzado con fibra de vidrio GRP.
 Concreto armado centrifugado.
 Concreto pretensado centrifugado.
 Concreto armado vibrado.
 Arcilla vinílica.

Fuente: Ozoriaga y Sanabria (2017).

g) Diámetro de tuberías de alcantarillado pluvial

Esta varía de acuerdo al tipo de colector y al material del cual están hechos; sin embargo, la norma técnica CE. 040 del Reglamento Nacional de Edificaciones establece parámetros y se detallan en la Tabla 6:

Tabla 6

Diámetro de tubería para alcantarillado pluvial

| <i>Tipo de colector</i> | <i>Diámetro mínimo</i> |
|--------------------------------|-------------------------------|
| Colector troncal | 0.5 |
| Lateral troncal | 0.4 |
| Conductor lateral | 0.4 |

Fuente: Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento (2010).

1.1.2.1.9. Expresión de Manning

El cálculo de la velocidad de flujo promedio del canal ha evolucionado con el tiempo con varias ecuaciones siempre basadas en un factor de rugosidad que depende del material del canal. Cuando se hace un análisis comparativo aplicando todas estas fórmulas, se encuentra

que los valores son similares. La expresión de Manning es la más utilizada en el Perú según (Rocha, 2014). También es utilizado por el software SWMM.

La ecuación de Manning define a la velocidad con la siguiente expresión:

$$V = \frac{R^{2/3} \cdot S^{1/2}}{n} \dots\dots\dots (4)$$

Para el caudal, llamado también gasto se utiliza la ecuación de continuidad:

$$Q = A \cdot V \dots\dots\dots (5)$$

Entonces reemplazando en la expresión de Manning se tiene:

$$Q = \frac{A \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}}{n} \dots\dots\dots (6)$$

Donde:

V: Velocidad del flujo (m/s).

R: Radio hidráulico Amojada/Pmojado (m).

S: Pendiente (m/m).

n: Coeficiente de rugosidad.

Q: Caudal (m³ /s).

A: Área del conducto (m²).

Tabla 7

n de Manning para cunetas de calles y calzadas

| Tipo de cuneta o calzada | n de Manning |
|-----------------------------------------|--------------|
| Cuneta de concreto con acabado paletado | 0.012 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Calzada de asfalto | |
| Textura suave (o liza) | 0.013 |
| Textura rugosa | 0.016 |
| Cuneta de concreto – calzada de asfalto | |
| Suave (o lizo) | 0.013 |
| Rugoso | 0.015 |
| Calzada de concreto | |
| Acabado | 0.014 |
| Acabado escobillado | 0.016 |
| Para cunetas con pendiente pequeña, donde el Sedimento puede acumularse, se incrementarán Los valores antes indicados de n, en: | 0.002 |

Fuente: Norma técnica CE.040 Drenaje pluvial del reglamento nacional de edificaciones (2021).

1.1.2.1.10. Storm Water Management Model

El Storm Water Management Model (SWMM), llamado en español Modelo de gestión de aguas pluviales y de alcantarillado, fue diseñado por la US EPA (en inglés United States Environmental Protection Agency, en español Agencia de Protección y conservación del Medio Ambiente) en 1971. Es un modelo de simulación de tormentas con varias aplicaciones en sistemas de redes sanitarias y pluviales. Su función más utilizada es el dimensionamiento y diseño de los componentes de la red de alcantarillado y estructuras de detención, para el control de inundaciones y protección de la calidad del agua (Rossman, 2015).

Comparando los resultados del modelo matemático con los resultados del método racional se observan valores muy similares, por lo que es importante y recomendable el uso de esta herramienta de cómputo en el diseño de sistemas pluviales, con la ventaja de monitorear rápidamente los resultados de perfiles y velocidades, su uso requiere un conocimiento previo

de la cuenca de estudio para obtener valores certeros para diseñar un buen sistema de drenaje pluvial (Ríos & Cruz, 2012).

➤ Descripción general

SWMM conceptualiza los elementos reales de una red de drenaje de alcantarillado pluvial urbana típica en unidades estándar de objetos agrupados en módulos que pueden ser físicos o virtuales. El módulo de hidrología es responsable de modelar el proceso de precipitación en el sistema. El objeto Pluviómetro proporciona información sobre la cantidad de precipitación que fluye sobre los objetos subcuenca (Subcatchment) conectándolos entre si. A cada subcuenca se le asigna un tipo de infiltración de acuerdo a los parámetros establecidos. El deshielo se modela con objetos de nieve (Snow Pack) colocados sobre las cuencas, mientras que el flujo de agua subterránea se modela con objetos del acuífero (Aquifer) ubicados debajo de las cuencas. Un primer objeto hidrográfico describe la cantidad de agua filtrada a lo largo del tiempo como una función, los objetos de drenaje de resistencia (LID Control) indican herramientas sostenibles para el sistema.

1.2. Formulación del problema

¿Cual será el comportamiento hidráulico del sistema de drenaje pluvial de la Av. San Martín de Porres, comprendida entre las intersecciones de la Av. Atahualpa y el Jr. Los Conquistadores, mediante el modelamiento hidráulico usando el software SWMM?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- ✓ Determinar el comportamiento hidráulico del sistema de drenaje pluvial de la Av. San Martín de Porres, comprendida entre las intersecciones de la Av. Atahualpa y el Jr. Los Conquistadores, mediante el modelamiento hidráulico usando el software SWMM.

1.3.2. Objetivos específicos

- ✓ Recopilar la información meteorológica y topográfica de la Av. San Martín de Porres, comprendida entre las intersecciones de la Av. Atahualpa y el Jr. Los Conquistadores de la ciudad de Cajamarca.
- ✓ Determinar los parámetros hidrológicos, geométricos y las propiedades de cada subcuenca urbana en la Av. San Martín de Porres, comprendida entre las intersecciones de la Av. Atahualpa y el Jr. Los Conquistadores de la ciudad de Cajamarca.
- ✓ Determinar el estado actual del drenaje existente de la Av. San Martín de Porres, comprendida entre las intersecciones de la Av. Atahualpa y el Jr. Los Conquistadores de la ciudad de Cajamarca.
- ✓ Modelar el sistema de drenaje pluvial con el software SWMM y obtener el mapa con los valores de inundación para los tiempos de retorno de 2, 5, 10 y 25 años en la Av. San Martín de Porres, comprendida entre las intersecciones de la Av. Atahualpa y el Jr. Los Conquistadores de la ciudad de Cajamarca.
- ✓ Analizar los parámetros como caudales, capacidades y puntos de inundación resultantes del modelamiento hidráulico.
- ✓ Plantear una propuesta que ayude a mejorar las condiciones actuales del drenaje pluvial de la Av. San Martín De Porres, comprendida entre las intersecciones de la Av. Atahualpa y el Jr. Los Conquistadores de la ciudad de Cajamarca.

1.4. Hipótesis

1.4.1 Hipótesis General

- ✓ El resultado del modelamiento hidráulico del sistema de drenaje pluvial usando el software SWMM de la Av. San Martín de Porres, comprendida entre las intersecciones de la Av.

Atahualpa y el Jr. Los Conquistadores, conlleva a que la capacidad hidráulica del sistema de drenaje pluvial solamente abastece a la demanda de retorno de hasta 10 años.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

La presente investigación contiene un enfoque cuantitativo, puesto que el investigador utiliza la recopilación de datos para responder preguntas de investigación y comprobar la hipótesis constituida anteriormente, cree en medidas numéricas, el conteo y usa la estadística repetidamente para modelar con precisión el comportamiento de la población en estudio. Según **(Hernández, 2003)**. Asimismo es de tipo aplicada, porque se basa en estudios de ingeniería civil con el único fin de aplicar en campo a los diversos proyectos de ingeniería, en este caso se efectuará para el modelamiento hidráulico del sistema de drenaje pluvial en la zona de la Av. San Martín de Porres, comprendida entre las intersecciones de la Av. Atahualpa y el Jr. Los Conquistadores. El presente estudio es de nivel descriptivo. Para **(Behar, 2008)**, el propósito de la investigación descriptiva es averiguar los aspectos esenciales de la realidad, para describir la características y propiedades de los fenómenos. Se basa principalmente en técnicas como encuestas, entrevistas, observaciones y revisiones documentales **(Rodríguez Moguel, 2005)**. Finalmente, el diseño de la investigación es no experimental de corte transversal, es decir no se cambiará ninguna variable. Según **(Behar, 2008)**, el investigador observa los fenómenos tal como ocurren en su medio natural, sin manipular su desarrollo y de corte trasversal, pues en este estudio se realizará en una sola medición cuyo esquema se muestra a continuación **(Castro, 2016)**.

M _____ O

Donde:

M: Es el lugar en el que se realizarán los estudios de la investigación y el conjunto de población que será favorecida.

O: Son los datos obtenidos de la referida zona urbana.

Operación de Variables:

Tabla 8

Variable dependiente.

| Variable | Definición Conceptual | Dimensiones | Indicadores |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Capacidad del sistema De drenaje pluvial | El sistema de drenaje pluvial es el sistema o red que captará y conducirá las aguas pluviales, disponiéndolas hasta los cuerpos receptores de agua, diseñados para tal efecto. La capacidad del sistema de drenaje pluvial se calcula mediante la fórmula de Manning. | - Caudales de diseño. - Velocidad Máxima. | - Área hidráulica. - Perímetro mojado - Radio hidráulico - Pendiente. |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 9

Variable independiente.

| Variable | Definición Conceptual | Dimensiones | Indicadores |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Altas precipitaciones | La intensidad de la precipitación se define como la cantidad de agua que cae en superficies durante un intervalo de tiempo determinado. Se suele medir en litros por metro cuadrado en una hora, o lo que es lo mismo, en milímetros por hora (mm/hr) y se acostumbra a expresarla con los términos débil, moderada, fuerte, muy fuerte y torrencial. Se consideran precipitaciones muy altas cuando superan los 15 mm/hr. | - Cambios climáticos. - Precipitaciones altas en los meses de invierno. | - Datos meteorológicos de la estación Augusto Weberbauer. - Distribución de Gumbel. - Curva IDF |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

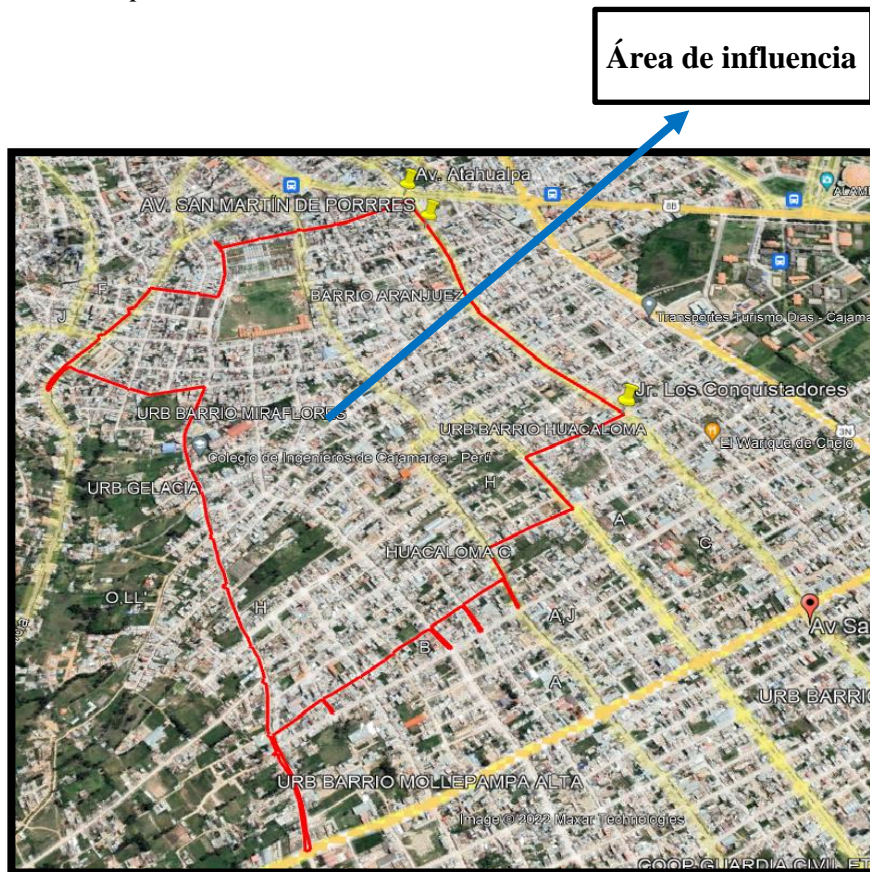
Población

Según (Salazar & Del Castillo, 2018). Es todo el conjunto en el que se quiere describir o establecer una conclusión. La población puede ser finita o infinita dependiendo del tamaño.

En esta investigación la población corresponde a todas las calles que transportan el flujo de aguas pluviales hacia la Av. San Martín de Porres, comprendida entre las intersecciones de la Av. Atahualpa y el Jr. Los Conquistadores (Zona en estudio). En la figura 5, se muestra la delimitación de la población.

Figura 5

Delimitación de la población



Fuente: Google Earth (2023).

Muestra

Para (Behar, 2015). Es un subconjunto de elementos que pertenecen a un conjunto llamado población, por lo que la muestra seleccionada es una representación precisa de la población.

En esta investigación la muestra corresponde a las calles del sector Aranjuez (Sector 18) y a las calles del sector Huacaloma (Sector 19); según el plano catastral de la ciudad de Cajamarca la zona en estudio esta conformado por 13 calles entre avenidas, jirones y pasajes que corresponden a la Av. San Martín de Porres, comprendida entre las intersecciones de la Av. Atahualpa y el Jr. Los Conquistadores.

Tabla 10

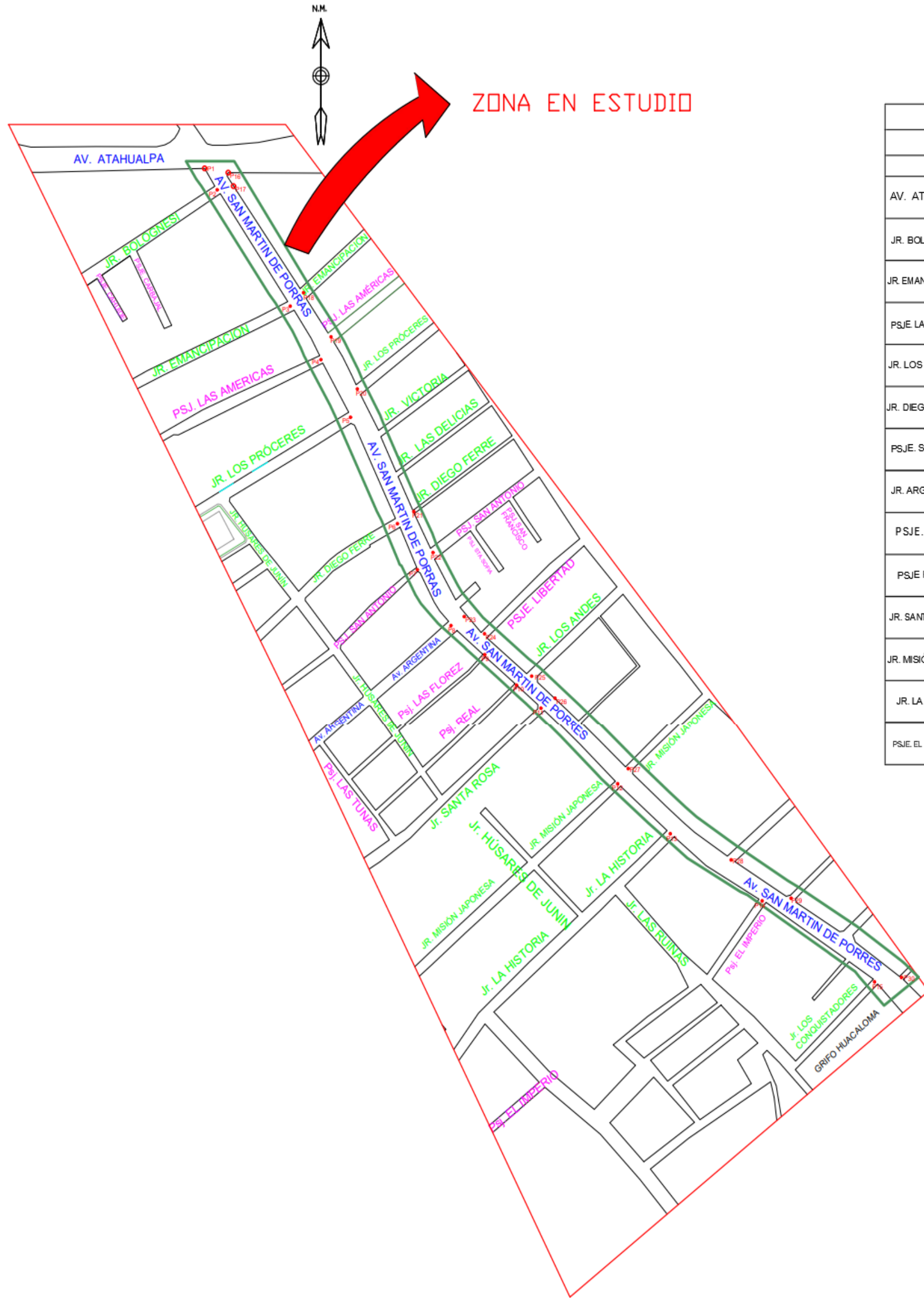
Tramos de calles a ser evaluadas para el comportamiento hidráulico del drenaje pluvial .

| TRAMO | TRAMOS PARA LA MUESTRA | CALLES |
|-------|------------------------|------------------------|
| 1 | Av. Atahualpa – | Jr. Bolognesi |
| 2 | Jr. Bolognesi – | Jr. Emancipación |
| 3 | Jr. Emancipación – | Psje. Las Américas |
| 4 | Psje. Las Américas – | Jr. Los Proceres |
| 5 | Jr. Los Proceres – | Jr. Diego Ferre |
| 6 | Jr. Diego Ferré – | Psje San Antonio |
| 7 | Psje. San Antonio – | Jr. Argentina |
| 8 | Jr. Argentina – | Jr. Santa Rosa |
| 9 | Jr. Santa Rosa – | Jr. Misión Japonesa |
| 10 | Jr. Misión Japonesa – | Jr. La Historia |
| 11 | Jr. La Historia – | Psje. El Imperio |
| 12 | Psje. El imperio – | Jr. Los Conquistadores |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 6

Croquis de la zona en estudio



| COORDENADAS UTM - Datum VGS 84 | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------|-------|------------|-------------|---------|-------------------------------------------|-------|-------------|-------------|---------|
| LADO DERECHO | | | | | LADO IZQUIERDO | | | | |
| TRAMO | PUNTO | ESTE | NORTE | COTA | TRAMO | PUNTO | ESTE | NORTE | COTA |
| AV. ATAHUALPA - JR. BOLOGNESI | P1 | 775473.121 | 9207175.165 | 2695.56 | AV. ATAHUALPA - JR. BOLOGNESI | P16 | 775490.220 | 9207167.492 | 2695.56 |
| | P2 | 775491.012 | 9207158.625 | 2694.95 | | P17 | 775498.500 | 9207155.541 | 2694.95 |
| JR. BOLOGNESI - JR. EMANCIPACIÓN | P2 | 775491.012 | 9207158.625 | 2694.95 | JR. BOLOGNESI - JR. EMANCIPACIÓN | P17 | 775498.500 | 9207155.541 | 2694.95 |
| | P3 | 775567.208 | 9207037.632 | 2694.60 | | P18 | 775569.919 | 9207044.279 | 2694.60 |
| JR. EMANCIPACIÓN - PSJE. LAS AMÉRICAS | P3 | 775567.208 | 9207037.632 | 2694.60 | JR. EMANCIPACIÓN - PSJE. LAS AMÉRICAS | P18 | 775569.919 | 9207044.279 | 2694.60 |
| | P4 | 775596.610 | 9206991.720 | 2694.33 | | P19 | 775594.930 | 9207018.090 | 2694.33 |
| PSJE. LAS AMÉRICAS - JR. LOS PROCERES | P4 | 775596.610 | 9206991.720 | 2694.33 | PSJE. LAS AMÉRICAS - JR. LOS PROCERES | P19 | 775594.930 | 9207018.090 | 2694.33 |
| | P5 | 775617.430 | 9206940.450 | 2694.02 | | P20 | 775630.230 | 9206971.110 | 2694.02 |
| JR. LOS PROCERES - JR. DIEGO FERRE | P5 | 775617.430 | 9206940.450 | 2694.02 | JR. LOS PROCERES - JR. DIEGO FERRE | P20 | 775630.230 | 9206971.110 | 2694.02 |
| | P6 | 775667.280 | 9206840.690 | 2693.84 | | P21 | 775683.290 | 9206853.650 | 2693.84 |
| JR. DIEGO FERRE - PSJE. SAN ANTONIO | P6 | 775667.280 | 9206840.690 | 2693.84 | JR. DIEGO FERRE - PSJE. SAN ANTONIO | P21 | 775683.290 | 9206853.650 | 2693.84 |
| | P7 | 775683.660 | 9206798.240 | 2693.64 | | P22 | 775701.900 | 9206813.310 | 2694.64 |
| PSJE. SAN ANTONIO - JR. ARGENTINA | P7 | 775683.660 | 9206798.240 | 2693.64 | PSJE. SAN ANTONIO - JR. ARGENTINA | P22 | 775701.900 | 9206813.310 | 2694.64 |
| | P8 | 775721.660 | 9206743.100 | 2693.39 | | P23 | 775764.620 | 9206749.040 | 2693.39 |
| JR. ARGENTINA - PSJE. LAS FLOREZ | P8 | 775721.660 | 9206743.100 | 2693.39 | JR. ARGENTINA - PSJE. LAS FLOREZ | P23 | 775764.620 | 9206749.040 | 2693.39 |
| | P9 | 775750.540 | 9206714.060 | 2693.57 | | P24 | 775753.290 | 9206739.420 | 2693.57 |
| PSJE. LAS FLOREZ - PSJE. REAL | P9 | 775750.540 | 9206714.060 | 2693.57 | PSJE. LAS FLOREZ - PSJE. REAL | P24 | 775753.290 | 9206739.420 | 2693.57 |
| | P10 | 775783.650 | 9206689.260 | 2693.72 | | P25 | 775798.850 | 9206697.830 | 2693.72 |
| PSJE. REAL - JR. SANTA ROSA | P10 | 775783.650 | 9206689.260 | 2693.72 | PSJE. REAL - JR. SANTA ROSA | P25 | 775798.850 | 9206697.830 | 2693.72 |
| | P11 | 775809.460 | 9206668.450 | 2693.76 | | P26 | 775799.640 | 9206700.120 | 2693.76 |
| JR. SANTA ROSA - JR. MISIÓN JAPONESA | P11 | 775809.460 | 9206668.450 | 2693.76 | JR. SANTA ROSA - JR. MISIÓN JAPONESA | P26 | 775799.640 | 9206700.120 | 2693.76 |
| | P12 | 775887.310 | 9206597.340 | 2693.45 | | P27 | 775897.230 | 9206611.080 | 2693.45 |
| JR. MISIÓN JAPONESA - JR. LA HISTORIA | P12 | 775887.310 | 9206597.340 | 2693.45 | JR. MISIÓN JAPONESA - JR. LA HISTORIA | P27 | 775897.230 | 9206611.080 | 2693.45 |
| | P13 | 775939.300 | 9206550.050 | 2693.08 | | P28 | 775953.530 | 9206560.520 | 2693.08 |
| JR. LA HISTORIA - PSJE. EL IMPERIO | P13 | 775939.300 | 9206550.050 | 2693.08 | JR. LA HISTORIA - PSJE. EL IMPERIO | P28 | 775953.530 | 9206560.520 | 2693.08 |
| | P14 | 776031.960 | 9206494.170 | 2692.45 | | P29 | 776061.530 | 9206495.760 | 2692.45 |
| PSJE. EL IMPERIO - JR. LOS CONQUISTADORES | P14 | 776031.960 | 9206494.170 | 2692.45 | PSJE. EL IMPERIO - JR. LOS CONQUISTADORES | P29 | 776061.530 | 9206495.760 | 2692.45 |
| | P15 | 776149.100 | 9206442.820 | 2692.03 | | P30 | 7761146.610 | 9206428.430 | 2691.80 |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Según (**Behar, 2008**). Las técnicas e instrumentos de recolección de datos nos llevan a la demostración del problema planteado anteriormente en el capítulo de la introducción. Según al tipo de investigación se definirá su técnica, así como las herramientas, instrumentos y materiales, los cuales se emplearán para la verificación del problema.

En el presente proyecto de investigación se utilizó la observación directa, el trabajo de campo, la toma de muestras del levantamiento topográfico y la recopilación de datos de la estación meteorológica Augusto Weberbauer ubicada en la ciudad de Cajamarca (Campus de la universidad nacional de Cajamarca) como técnica de recolección de datos.

Según la norma técnica CE.040 drenaje pluvial del reglamento nacional de edificaciones en el capítulo III lineamientos técnicos para el diseño de la infraestructura de drenaje pluvial, artículo 11.- Consideraciones del caudal de diseño, en el punto 11.2 nos dice que los caudales de diseño de la infraestructura para drenar la escorrentía de precipitaciones de moderada frecuencia, se diseñan con los periodos de retorno de 2, 5, 10 y 25 años; con el fin de prevenir inundaciones.

Para la obtención de los cálculos hidrológicos se realizaron los siguientes pasos:

- ✓ Las precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias.
- ✓ Las intensidades de lluvia para un periodo de retorno de 2, 5, 10 y 25 años.
- ✓ Los periodos de retorno para 2, 5, 10 y 25 años.
- ✓ Las curvas IDF para un periodo de retorno de 2, 5, 10 y 25 años.
- ✓ Los caudales de diseño para los periodos de retorno de 2, 5, 10 y 25 años.
- ✓ Los hietogramas de diseño para los periodos de retorno de 2, 5, 10 y 25 años.

Los instrumentos que se utilizó son la ficha técnica donde se recolectó los datos de campo, GPS, estación total, prismas y wincha; que se utilizaron con el objetivo de realizar el

plano topográfico para determinar las pendientes de las cuencas urbanas y el flujo de dirección de agua de lluvias, los cuales nos permitirán ejecutar el modelamiento hidráulico.

Técnicas e instrumentos de análisis de datos

La técnica del análisis de datos se realizó mediante la comparación de las dimensiones de los elementos de drenaje existentes (recogidos en la “Ficha de Recolección de dimensiones de elementos de drenaje”), con el procesamiento, modelamiento y análisis de los parámetros hidrológicos por muestreo de la Av. San Martín de Porres comprendida entre las intersecciones de la Av. Atahualpa y el Jr. Los Conquistadores; a través de un estudio hidrológico utilizando la norma técnica CE. 040 drenaje pluvial del reglamento nacional de edificaciones, para luego evaluar la capacidad hidráulica y su posterior análisis con el modelamiento hidráulico del sistema de drenaje pluvial utilizando el software SWMM.

Procedimiento

Figura 7

Procedimiento hidráulico del sistema de drenaje pluvial de la zona en estudio

“MODELAMIENTO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL USANDO EL SOFTWARE SWMM DE LA AV. SAN MARTÍN DE PORRES, COMPRENDIDA ENTRE LAS INTERSECCIONES DE LA AV. ATAHUALPA Y EL JR. LOS CONQUISTADORES, CAJAMARCA 2023”

INICIO

Revisión de la norma técnica CE. 040 drenaje pluvial del reglamento nacional de edificaciones.

Observación directa

Guía de observación

Determinar el estado actual de las calles en la zona urbana de la Av. San Martín de Porres, comprendida entre las intersecciones de la Av. Atahualpa y el Jr. Los Conquistadores.

Levantamiento Topográfico

- Planos de planta y perfil.
- Plano topográfico con curvas de nivel.
- Secciones transversales.

- Estación total.
- Prisma.
- GPS.
- Wincha.

Hidrología

- Datos de precipitaciones de la estación pluviométrica Augusto Weberbauer.
- Curva IDF para los tiempos de retorno de 2, 5, 10 y 25 años.
- Caudales de diseño para los tiempos de retorno de 2,5,10 y 25 años.

- Hojas de cálculo en Excel.
- Evaluación del drenaje pluvial existente

Modelamiento hidráulico

- Parámetros de diseño.
- Uso del programa Storm Water Management Model (SWMM).

- Tipos de conducción.
- Ubicación de buzones.
- Dimensiones de las subcuencas.
- Valores de inundación para cada tiempo de retorno.
- Valores de descarga en cada uno de los nodos de los colectores para cada tiempo de retorno.
- Perfil de lámina de agua en cada en cada uno de los márgenes para cada tiempo de retorno.

Análisis hidráulico

- Cálculo del caudal máximo soportado por el sistema de drenaje pluvial existente.
- Cálculo de la velocidad con lo que recorre el flujo pluvial en el sistema de drenaje.

Propuesta técnica de infraestructuras hidráulicas para la mejora de evacuación de aguas pluviales de acuerdo a los parámetros usados en la norma técnica CE. 040 drenaje pluvial del reglamento nacional de edificaciones.

FIN

Paso 1: Observación directa

Como primer paso se arribó a la Av. San Martín donde se verificó del tramo de la Av. Atahualpa hasta el Jr. Los Conquistadores ubicado en el sector N° 18 de la ciudad de Cajamarca con el fin de conocer el estado actual del área de trabajo, donde se pudo observar que existe deterioro de la vía San Martín de Porres a causa de las fuertes precipitaciones producto de la acumulación de agua en los desfuegos del drenaje pluvial, causando malestar en los pobladores de la zona, en épocas de lluvia el sistema de drenaje colapsa causando inundaciones y el agua contaminada llega a ingresar a sus viviendas generando perjuicio material y enfermedades lo que perjudica a la población al no contar con un sistema de drenaje pluvial adecuado.

Paso 2: Levantamiento Topográfico

Como segundo paso se realizó el levantamiento topográfico tomando como punto de partida el cruce de la Av. San Martín de Porres y la Av. Atahualpa culminando en el cruce de la Av. San Martín de Porres y el Jr. Los Conquistadores, haciendo uso de una estación total de marca leica, prismas, gps y wincha

El levantamiento topográfico del área en estudio se llevó a cabo con la finalidad de obtener las pendientes pertenientes a cada subcuenca urbana para nuestra investigación, utilizando puntos topográficos orientados a la formación de las curvas de nivel; así como el plano en planta a detalle con sus respectivas secciones transversales. La descripción de los puntos tomados en campo se realizó codificando cada detalle encontrado, también se tuvo en cuenta la colocación de los Bm.

Paso 3: Hidrología

Como tercer paso se utilizó la información que nos brinda la estación meteorológica que es monitoreada por el Servicio Meteorológico e Hidrológico Nacional del Perú (SENAMHI) y la estación meteorológica Augusto Weberbauer ubicada en la ciudad de Cajamarca (Campus de la Universidad Nacional de Cajamarca). Con estos datos se obtuvo las precipitaciones mensuales y anuales para determinar las precipitaciones máximas y mínimas para el área en estudio, los periodos de retorno para 2, 5, 10 y 25 años, las curvas IDF, a su vez se generó los caudales de diseño y los hietogramas de diseño para así poder realizar un adecuado modelamiento hidráulico.

Tabla 11

Ubicación de la Estación Metereológica Augusto Weberbauer .

| Estación Metereológica | | | |
|-------------------------------|-------------|--------------|----------------|
| Estación | Este | Norte | Altitud |
| Augusto Weberbauer | 776867.716E | 9206964.042N | 2691.0m |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Paso 4: Modelamiento hidráulico

El programa SWMM 5.0v es un modelo numérico desarrollado principalmente para el estudio, diseño, análisis y modelamiento de sistemas de drenaje urbanos. Este programa simula la formación de escorrentía producida por la lluvia que es transportada a través de la red de drenaje del medio urbano propuesto.

Para lograr un manejo eficiente de SWMM, es necesario comprender que parámetros y elementos considera el programa, como participan estos elementos en el sistema, y las relaciones entre ellos.

➤ **Nudos de conexión**

En el plano de perfil se hallaron los cambios de pendiente para cada uno de los tramos con el fin de identificar los nudos en cada una de las conexiones del sistema de drenaje donde se conectan líneas entre si.

Los parámetros principales de entrada de las conexiones introducidos al programa SWMM son los siguientes:

- Cota de fondo o fondo del pozo que puede encontrarse en cualquier conexión de la zona de estudio.
- Profundidad del pozo.
- Área superficial del área trabada cuando se produce un fenómeno de inundación.
- Datos de contribución externos de caudal. Este es también otro parámetro opcional.
- **Nudo de vértido**

En el plano del perfil se hallaron los nudos terminales del sistema de drenaje utilizados para definir las condiciones de contorno finales aguas abajo del sistema de drenaje pluvial.

Los parámetros de entrada principales de los Nudo de Vertido introducidos al programa SWMM son los siguientes:

- La cota de fondo.
- La descripción del tipo y estado de la condición de contorno.
- **Conductos**

Se hallaron los conductos (canales), estos permiten el desplazamiento del agua desde un nudo a otro del sistema de transporte. Asimismo, el programa también permitió determinar áreas con una sección transversal irregular, lo que le permite visualizar cauces naturales.

Los principales parámetros de entrada para las conducciones introducidos al programa SWMM son los siguientes:

- Nombres de los nudos de entrada y salida.

- Alturas del conducto respecto de la cota de fondo de los nudos inicial y final.
- Longitud del conducto.
- Coeficiente de Manning.
- Geometría de la sección transversal del conducto.
- Coeficiente de pérdidas tanto para la entrada como para la salida del conducto.
- Presencia de una válvula de compuerta para prevenir el flujo inverso.
- **Subcuencas**

En el plano topográfico se dividieron 13 subcuencas urbanas tomando como referencia el flujo del agua, la pendiente y el punto de salida de cada subcuenca. Los puntos de salida de descarga pueden ser nudos del sistema de drenaje u otras subcuencas.

Los principales parámetros de entrada para las subcuencas urbanas en el programa SWMM incluyen:

- Asignado pluviómetro
- Nodo de salida o subcuenca
- Usos del suelo asignados
- Área superficial tributaria
- Impermeabilidad
- Pendiente
- Ancho característico del flujo sobre tierra
- n de Manning para el flujo superficial en ambas áreas permeables e impermeables
- Almacenamiento de depresión en áreas tanto permeables como impermeables
- Porcentaje de área impermeable sin almacenamiento de depresión.
- **lluvia**

Con la ayuda de los datos de precipitaciones máximas en 24 horas de la estación Augusto Weberbauer se pudo hallar la hidrología como curvas IDF, caudales máximos de diseño y los hietogramas de diseño para periodos de retorno de 2,5,10 y 25 años en formatos de Excel.

Los principales parámetros de entrada de los pluviómetros al programa SWMM incluyen:

- Tipo de datos de lluvia (por ejemplo, intensidad, volumen o volumen acumulado).
- Intervalo de registro de tiempo (por ejemplo, cada hora, 15 minutos, etc.).
- Fuente de datos de lluvia (serie de tiempo de entrada o archivo externo).
- Nombre de la fuente de datos de lluvia.

Desarrollo del proyecto de investigación

➤ **Estudio topográfico**

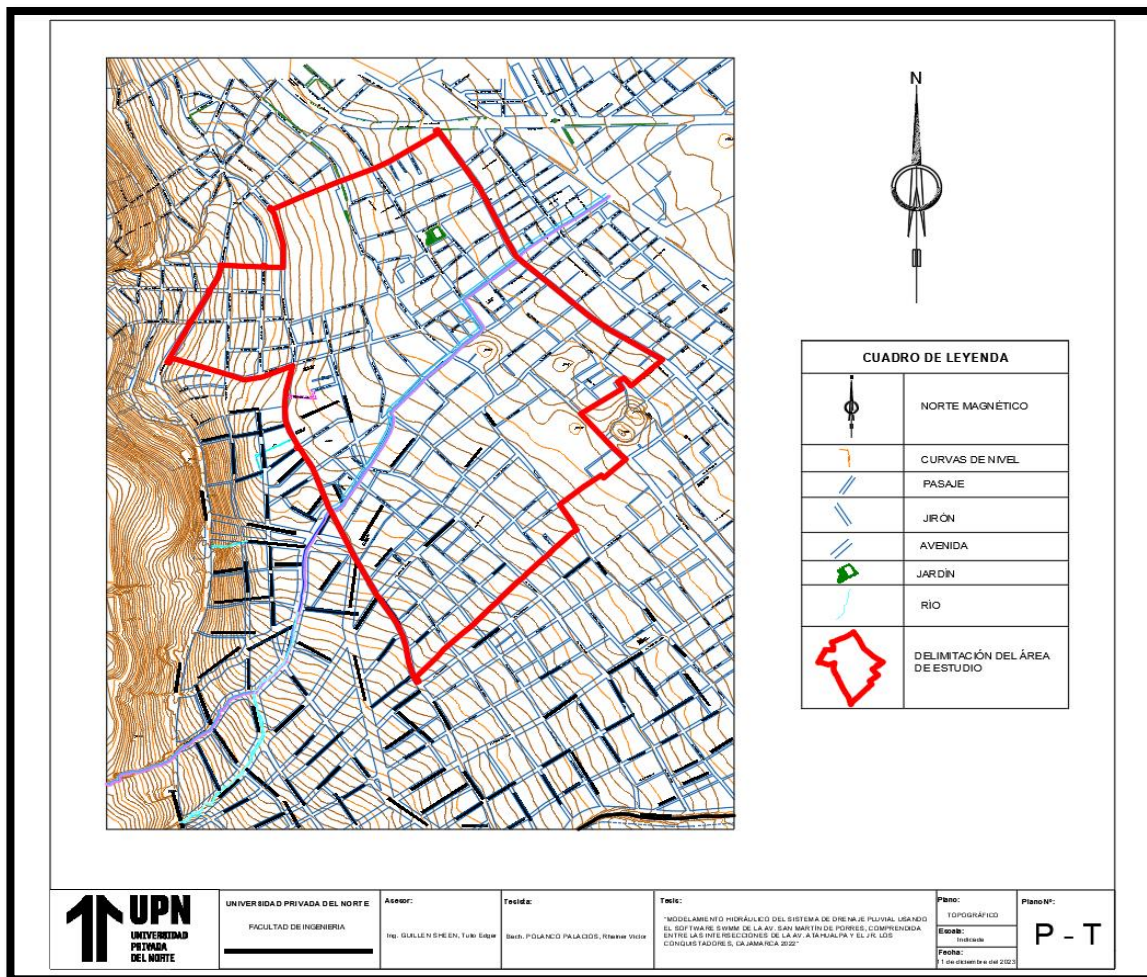
Es muy importante realizar el estudio topográfico de todo proyecto para poder conocer con exaxtitud ciertos detalles del terreno en estudio, para la obtención de datos nos dirigimos a la zona urbana de la Av. San Martín comprendida entre las intersecciones de la Av. Atahualpa y el Jr. Los Conquistadores, se realizaron mediciones de campo con el equipo topográfico adecuado para obtener la siguiente información pertinente:

- Ejes viales.
- Ángulos de intersección.
- Anchura de vía.
- Estructuras existentes.
- Coordenadas de cada punto de estación.

Esta información nos permitió obtener el área total de la zona de estudio, plano topográfico con sus respectivas curvas de nivel, pendientes; los cuales también fueron necesarios para realizar el modelamiento hidráulico en la zona urbana de la Av. San Martín comprendida entre las intersecciones de la Av. Atahualpa y el Jr. Los Conquistadores.

Figura 8

Área de estudio ubicada en la zona urbana de la Av. San Martín de Porres comprendida entre las intersecciones de la Av. Atahualpa y el Jr. Los Conquistadores.



Fuente: Elaboración propia (2022).

➤ **Estudios hidrológicos**

Para nuestra área de trabajo utilizemos los datos pluviométricos de la estación meteorológica Augusto Weberbauer ubicada en la ciudad de Cajamarca (Campus de la Universidad Nacional de Cajamarca), la cual nos permitió calcular las curvas IDF, el caudal de diseño (m³/s), la precipitación en (mm/hr), tiempo de duración, periodo de retorno en (mm/hr, min) y los hietogramas de diseño, para los cálculos de los datos pluviométricos de la Av. San Martín comprendida entre las intersecciones de la Av. Atahualpa y el Jr. Los Conquistadores, utilizemos hojas de cálculo de Excel.

Distribución Gumbel

Esta es una de las distribuciones más utilizadas, junto a las distribuciones Log normal y Log Pearson tipo III. Los pasos que se deben desarrollar son los siguientes:

- ✓ Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel.
- ✓ Cálculo de las precipitaciones diarias máximas probables para distintas frecuencias.
- ✓ Coeficientes de duración de lluvia entre 1 y 24 horas.
- ✓ Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias.
- ✓ Intensidades de lluvia a partir de Pd, según duración de precipitación y frecuencia de la misma.
- ✓ Síntesis numérica de la curva IDF para un periodo de retorno de 2 años.
- ✓ Síntesis numérica de la curva IDF para un periodo de retorno de 5 años.
- ✓ Síntesis numérica de la curva IDF para un periodo de retorno de 10 años.
- ✓ Síntesis numérica de la curva IDF para un periodo de retorno de 25 años.
- ✓ Regresión potencial.
- ✓ Regresión potencial de la curva de repartición de frecuencia Gumbel.
- ✓ Tabla de intensidades – tiempo de duración.
- ✓ Caudal de diseño para un periodo de retorno de 2 años.

- ✓ Caudal de diseño para un periodo de retorno de 5 años.
- ✓ Caudal de diseño para un periodo de retorno de 10 años.
- ✓ Caudal de diseño para un periodo de retorno de 25 años.
- ✓ Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 2 años.
- ✓ Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 5 años.
- ✓ Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 10 años.
- ✓ Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 25 años.

Tabla 12

Precipitaciones máximas en 24 horas de la Estación Augusto Weberbauer

| AÑO | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC | Pmáx |
|-------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| 1968 | 0.8 | 26.9 | 10.2 | 13.0 | S/D | 1.4 | 1.3 | 4.7 | 18.3 | 14.8 | 29.5 | 15.4 | 29.5 |
| 1969 | 13.1 | S/D | 10.8 | 21.8 | S/D | 6.3 | 0.3 | S/D | 9.2 | S/D | 17.9 | 42.4 | 42.4 |
| 1970 | 18.1 | 9.3 | 17.9 | 8.2 | 10.2 | 8.7 | 1.7 | 2.5 | 7.6 | 26 | 15.3 | 8.4 | 26 |
| 1971 | 10.7 | 29.6 | 27.8 | 12.1 | 3.4 | 3.2 | 6.6 | 3.3 | 9.5 | 19.7 | 6.0 | S/D | 29.6 |
| 1972 | 9.3 | 25.2 | 24.4 | S/D | S/D | 1.3 | 1.8 | S/D | S/D | 10.3 | 19.9 | 10.6 | 25.2 |
| 1973 | 22.9 | 16.2 | 11.2 | 15.0 | 10.7 | 5.4 | 3.3 | 5.2 | 20 | 9.8 | 11.7 | 12.9 | 22.9 |
| 1974 | 12.4 | 16.8 | 14.2 | 18.2 | 3.7 | 6.4 | 2.6 | 9.7 | 8.5 | 20.0 | 10.3 | 17.0 | 20 |
| 1975 | 20.4 | 20.8 | 37.7 | 30.1 | 9.9 | 3.5 | 3.9 | 5.6 | 10.9 | 14.6 | 18.4 | 0.3 | 37.7 |
| 1976 | 36.5 | 22.5 | 16.0 | 15.2 | 19.7 | 11.4 | 0.1 | 2.8 | 3.9 | 8.8 | 24.0 | 12.8 | 36.5 |
| 1977 | 40.5 | 20.1 | 29.0 | 22.9 | 11.6 | 2.4 | 7.1 | 0.1 | 6.6 | 10.6 | 12.0 | 11.3 | 40.5 |
| 1978 | 4.6 | 11.9 | 10.0 | 9.5 | 18.1 | 3.8 | 2.0 | 3.8 | 8.0 | 5.9 | 12.0 | 14.8 | 18.1 |
| 1979 | 20.6 | 10.5 | 28.0 | 5.8 | 5.2 | 1.8 | 3.9 | 7.3 | 9.4 | 10.0 | 7.5 | 17.2 | 28 |
| 1980 | 9.8 | 7.8 | 13.3 | 8.1 | 3 | 10.7 | 2.1 | 2.3 | 2.2 | 28.8 | 16.7 | 19.2 | 28.8 |
| 1981 | 21.4 | 23.1 | 39.3 | 12.2 | 4.9 | 2.3 | 2.6 | 4.8 | 8.0 | 15.2 | 11.9 | 29.5 | 39.3 |
| 1982 | 29.9 | 25.1 | S/D | 28.2 | 13.2 | 3.6 | 1.1 | 6.4 | 7.6 | 18.5 | 20.7 | 30.5 | 30.5 |
| 1983 | 19.4 | 28.0 | 28.1 | 16.8 | 8.2 | 4.7 | 6.5 | 1.2 | 8.9 | 18.9 | 6.8 | 29.8 | 29.8 |
| 1984 | 6.8 | 25.1 | 23.3 | 13.3 | 21.2 | 9.5 | 10.8 | 13.9 | 16.5 | 16.3 | 27.6 | 23.5 | 27.6 |
| 1985 | 7.7 | 7.0 | 11.2 | 11.9 | 19.8 | 0.4 | 3.4 | 5.9 | 13.3 | 16.2 | 5.4 | 8.3 | 19.8 |
| 1986 | 17.0 | 12.0 | 27.4 | 16.7 | 4.5 | 0.5 | 1.0 | 5.1 | 1.1 | 11.6 | 11.0 | 8.0 | 27.4 |
| 1987 | 12.5 | 14.9 | 9.6 | 17.2 | 2.8 | 2.6 | 4.0 | 10.1 | 9.8 | 12.8 | 24.3 | 18.2 | 24.3 |
| 1988 | 15.8 | 18.2 | 11.0 | 16.0 | 2.4 | 3.3 | 0.0 | 0.4 | 5.4 | 10.5 | 11.2 | 11.9 | 18.2 |
| 1989 | 14.7 | 30.0 | 13.5 | 16.6 | 15.5 | 4.8 | 1.4 | 2.8 | 11.5 | 20.0 | 16.3 | 1.1 | 30 |
| 1990 | 18.0 | 24.7 | 11.7 | 6.5 | 9.5 | 7.1 | 0.8 | 6.2 | 13.2 | 14.6 | 20.5 | 25.4 | 25.4 |
| 1991 | 10.4 | 29.7 | 20.5 | 19.4 | 7.1 | 0.3 | 0.4 | 0.3 | 3.7 | 9.7 | 9.3 | 18.7 | 29.7 |
| 1992 | 10.8 | 9.7 | 12.0 | 11.9 | 6.7 | 12.8 | 2.3 | 3.8 | 10.5 | 17.7 | 7.9 | 6.7 | 17.7 |
| 1993 | 9.2 | 12.5 | 20.6 | 12.8 | 8.0 | 1.5 | 3.3 | 1.9 | 22.5 | 17.0 | 20.2 | 13.9 | 22.5 |
| 1994 | 14.2 | 18.7 | 24.5 | 22.7 | 4.9 | 1.4 | 0.0 | 0.2 | 3.1 | 8.7 | 21.3 | 28.5 | 28.5 |
| 1995 | 8.3 | 19.3 | 16.4 | 20.6 | 3.9 | 1.3 | 7.8 | 6.1 | 3.1 | 16.1 | 19.5 | 16.0 | 20.6 |
| 1996 | 11.3 | 25.6 | 16.6 | 15.7 | 3.4 | 0.4 | 0.4 | 6.4 | 3.7 | 13.0 | 35.1 | 10.5 | 35.1 |
| 1997 | 16.3 | 16.3 | 7.1 | 8.3 | 7.5 | 6.6 | 0.2 | 0.0 | 7.6 | 10.2 | 27.6 | 23.8 | 27.6 |
| 1998 | 12.5 | 16.5 | 31.7 | 22.3 | 6.3 | 4.1 | 1.3 | 3.5 | 4.6 | 17.7 | 14.6 | 9.8 | 31.7 |
| 1999 | 15.9 | 38.8 | 13.5 | 10.4 | 13.9 | 6.4 | 11.6 | 0.5 | 21.8 | 14.3 | 18.6 | 13.1 | 38.8 |
| 2000 | 17.3 | 36.1 | 18.6 | 19.7 | 14.4 | 5.3 | 1.8 | 5.0 | 10.9 | 3.3 | 17.9 | 20.4 | 36.1 |
| 2001 | 27.6 | 17.7 | 28.2 | 14.3 | 14.7 | 1.0 | 6.9 | 0.0 | 5.7 | 14.7 | 20.3 | 15.9 | 28.2 |
| 2002 | 8.2 | 10.8 | 15.7 | 18.2 | 12.7 | 5.4 | 4.7 | 3.4 | 7.7 | 22.3 | 16.8 | 10.6 | 22.3 |
| 2003 | 18.7 | 18.4 | 20.1 | 8.8 | 6.7 | 7.0 | 1.6 | 6.1 | 8.9 | 19.2 | 17.1 | 20.8 | 20.8 |
| 2004 | 11.9 | 21.5 | 10.5 | 12.4 | 6.5 | 0.9 | 6.0 | 10.2 | 4.0 | 9.5 | 28.1 | 22.7 | 28.1 |
| 2005 | 20.2 | 10.0 | 19.7 | 10.8 | 3.6 | 3.5 | 0.3 | 3.5 | 14.3 | 9.3 | 11.6 | 15.3 | 20.2 |
| 2006 | 15.2 | 13.5 | 18.8 | 17.0 | 2.2 | 6.2 | 1.6 | 5.4 | 10.2 | 4.0 | 20.6 | 12.3 | 20.6 |
| 2007 | 15.6 | 6.8 | 25.4 | 21.0 | 5.2 | 1.4 | 3.0 | 4.0 | 10.2 | 19.0 | 15.7 | 16.7 | 25.4 |
| 2008 | 20.2 | 17.1 | 23.6 | 27.0 | 7.4 | 6.0 | 1.3 | 4.8 | 11.6 | 10.8 | 19.7 | S/D | 27 |
| 2009 | 21.9 | 16.4 | 20.5 | 17.8 | 18.2 | 9.1 | 5.3 | 0.9 | 5.2 | 18.1 | 22.2 | 12.6 | 22.2 |
| 2010 | 14.6 | 36.4 | 34.0 | 21.6 | 12.6 | 2.8 | 2.2 | 1.3 | 10.5 | 16.8 | 12.8 | 21.9 | 36.4 |
| 2011 | 14.9 | 16.4 | 25.5 | 22.4 | 9.7 | 0.4 | 5.1 | 0.0 | 12.7 | 9.3 | 5.2 | 27.7 | 27.7 |
| 2012 | 18.0 | 27.9 | 26.7 | 11.3 | 10.8 | 0.3 | 0.0 | 1.9 | 12.8 | 24.2 | 27.3 | 17.6 | 27.9 |
| 2013 | 11.7 | 13.1 | 35.3 | 15.9 | 10.2 | 4.5 | 2.5 | 5.7 | 1.9 | 19.4 | 6.1 | 9.6 | 35.3 |
| 2014 | 13.7 | 15.3 | 22.1 | 24.4 | 6.8 | 2.4 | 2.0 | 1.7 | 5.8 | 13.5 | 11.1 | 20.2 | 24.4 |
| 2015 | 23.3 | 14.0 | 25.4 | 11.9 | 19.5 | 2.3 | 3.2 | 0.1 | 25.2 | 4.6 | 20.5 | 10.7 | 25.4 |
| 2016 | 13.1 | 16.7 | 32.4 | 12.6 | 2.6 | 0.7 | 1.4 | 1.1 | 17.9 | 17.3 | 4.5 | 11.9 | 32.4 |
| 2017 | 12.9 | 11.6 | 14.3 | 14.1 | 9.6 | 6.3 | 2.3 | 8.2 | 10.4 | 21.7 | 18.2 | 51.8 | 51.8 |
| 2018 | 16.9 | 33.5 | 18.3 | 12.1 | 8.7 | 5.0 | 0.4 | 0.0 | 11.2 | 13.7 | 14.0 | 16.2 | 33.5 |
| 2019 | 14.6 | 14.8 | 25.5 | 12.9 | 8.5 | 4.9 | 4.4 | 0.0 | 2.2 | 19.0 | 15.7 | 20.2 | 25.5 |
| 2020 | 11.4 | 6.5 | 11.9 | S/D | S/D | S/D | 10.9 | 0.4 | 5.1 | 14.6 | 17.2 | 14.4 | 17.2 |
| 2021 | 8.5 | 12.4 | 13.5 | 14.2 | 12.3 | S/D | S/D | 3.5 | 5.2 | 2.4 | 3.7 | 8.9 | 14.2 |
| PROMEDIO | 15.6 | 18.9 | 20.3 | 15.8 | 9.2 | 4.1 | 3.1 | 3.7 | 9.4 | 14.4 | 16.2 | 17.1 | 28.0 |
| DESV. EST. | 7.1 | 8.4 | 8.5 | 6.2 | 5.6 | 3.1 | 2.9 | 3.2 | 5.6 | 6.0 | 7.1 | 9.6 | 7.3 |
| MÁXIMO | 40.5 | 38.8 | 39.3 | 30.1 | 21.2 | 12.8 | 11.6 | 13.9 | 25.2 | 28.8 | 35.1 | 51.8 | 51.8 |

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

Tabla 13

Distribución probabilística de Gumbel

| Nro | Año | Mes | Precipitación (mm) | |
|-----|------|--------------|--------------------|-----------|
| | | Máx. Precip. | Xi | (xi - x)2 |
| 1 | 1968 | 29.50 | 29.50 | 2.23 |
| 2 | 1969 | 42.40 | 42.40 | 207.20 |
| 3 | 1970 | 26.00 | 18.10 | 4.02 |
| 4 | 1971 | 29.60 | 29.60 | 2.54 |
| 5 | 1972 | 25.20 | 25.20 | 7.87 |
| 6 | 1973 | 22.90 | 22.90 | 26.07 |
| 7 | 1974 | 20.00 | 20.00 | 64.09 |
| 8 | 1975 | 37.70 | 37.70 | 93.98 |
| 9 | 1976 | 36.50 | 36.50 | 72.16 |
| 10 | 1977 | 40.50 | 40.50 | 156.11 |
| 11 | 1978 | 18.10 | 18.10 | 98.12 |
| 12 | 1979 | 28.00 | 28.00 | 0.00 |
| 13 | 1980 | 28.80 | 28.80 | 0.63 |
| 14 | 1981 | 39.30 | 39.30 | 127.56 |
| 15 | 1982 | 30.50 | 30.50 | 6.22 |
| 16 | 1983 | 29.80 | 29.80 | 3.22 |
| 17 | 1984 | 27.60 | 27.60 | 0.16 |
| 18 | 1985 | 19.80 | 19.80 | 67.33 |
| 19 | 1986 | 27.40 | 27.40 | 0.37 |
| 20 | 1987 | 24.30 | 24.30 | 13.73 |
| 21 | 1988 | 18.20 | 18.20 | 96.15 |
| 22 | 1989 | 30.00 | 30.00 | 3.98 |
| 23 | 1990 | 25.40 | 25.40 | 6.79 |
| 24 | 1991 | 29.70 | 29.70 | 2.87 |
| 25 | 1992 | 17.70 | 17.70 | 106.20 |
| 26 | 1993 | 22.50 | 22.50 | 30.31 |
| 27 | 1994 | 28.50 | 28.50 | 0.24 |
| 28 | 1995 | 20.60 | 20.60 | 54.84 |
| 29 | 1996 | 35.10 | 35.10 | 50.33 |
| 30 | 1997 | 27.60 | 27.60 | 0.16 |
| 31 | 1998 | 31.70 | 31.70 | 13.65 |
| 32 | 1999 | 38.80 | 38.80 | 116.52 |
| 33 | 2000 | 36.10 | 36.10 | 65.52 |
| 34 | 2001 | 28.20 | 28.20 | 0.04 |
| 35 | 2002 | 22.30 | 22.30 | 32.55 |
| 36 | 2003 | 20.80 | 20.80 | 51.92 |
| 37 | 2004 | 28.10 | 28.10 | 0.01 |
| 38 | 2005 | 20.20 | 20.20 | 60.93 |
| 39 | 2006 | 20.60 | 20.60 | 54.84 |
| 40 | 2007 | 25.40 | 25.40 | 6.79 |
| 41 | 2008 | 27.00 | 27.00 | 1.01 |
| 42 | 2009 | 22.20 | 22.20 | 33.70 |

| | | | | |
|-------------|-------------|-------|----------------|----------------|
| 43 | 2010 | 36.40 | 36.40 | 70.47 |
| 44 | 2011 | 27.70 | 27.70 | 0.09 |
| 45 | 2012 | 27.90 | 27.90 | 0.01 |
| 46 | 2013 | 35.30 | 35.30 | 53.21 |
| 47 | 2014 | 24.40 | 24.40 | 13.00 |
| 48 | 2015 | 25.40 | 25.40 | 6.79 |
| 49 | 2016 | 32.40 | 32.40 | 19.31 |
| 50 | 2017 | 51.80 | 51.80 | 566.18 |
| 51 | 2018 | 33.50 | 33.50 | 30.19 |
| 52 | 2019 | 25.50 | 25.50 | 6.28 |
| 53 | 2020 | 17.20 | 17.20 | 116.76 |
| 54 | 2021 | 14.20 | 14.20 | 190.59 |
| SUMA | | | 1512.30 | 2815.87 |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Para el modelo de probabilidad de ocurrencia y para el cálculo de las precipitaciones diarias máximas probables para distintos periodos de retorno, es necesario los siguientes cálculos:

La función del modelo de probabilidad se define de la siguiente manera.

$$F_x = e^{-e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)}} \dots\dots\dots(7)$$

Para el cálculo de dicha función, primero es necesario la obtención de los siguientes parámetros:

Media Aritmética.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \dots\dots\dots(8)$$

Desviación estándar.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(9)$$

2 constantes necesarias según el método de distribución probabilística de Gumbel.

$$\alpha = \frac{\sqrt{\sigma}}{\pi} \times S \dots\dots\dots(10)$$

$$u = \bar{x} - 0.5772 x \alpha \dots\dots\dots(11)$$

En la Tabla 14, se detallan los resultados de los cálculos utilizando las ecuaciones anteriormente mencionadas, tomando en cuenta los datos de la distribución probabilística de Gumbel de la Tabla 13.

Tabla 14

Datos para el cálculo de la función de probabilidad

| <i>DATOS ESTADÍSTICOS</i> | | <i>VALOR</i> |
|---------------------------|-----------|--------------|
| Media Aritmética | \bar{x} | 28.01 mm |
| Desviación Estandar | S | 7.29 mm |
| Constante 1 | α | 5.68 mm |
| Constante 2 | u | 24.73 mm |

Fuente: *Elaboración propia (2023).*

En la Tabla 15, se detallan las precipitaciones diarias máximas probables según Gumbel, para distintas frecuencias considerando 2, 5, 10 y 25 años respectivamente; hallando el periodo de retorno con un valor representativo de las lluvias máximas de la cuenca en estudio, las precipitaciones deben ser corregidas aumentándolas en un 13 %, esto para ajustarlo a un intervalo fijo y único de observación.

Tabla 15

Precipitaciones máximas diarias probables para distintas frecuencias.

| Periodo de Retorno | Variable Reducida | Precipitación (mm) | Probabilidad de ocurrencia | Corrección Intervalo fijo |
|---------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| Años | YT | YT'(mm) | F(xT) | XT (mm) |
| 2 | 0.3665 | 26.8082 | 0.5000 | 30.2932 |
| 5 | 1.4999 | 33.2497 | 0.8000 | 37.5721 |
| 10 | 2.2504 | 37.5145 | 0.9000 | 42.3914 |
| 25 | 3.1985 | 42.9032 | 0.9600 | 48.4806 |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Los datos en la elaboración de este análisis, nos brinda información de precipitaciones máximas diarias, pero para la obtención de la curva IDF necesitamos las precipitaciones máximas en diferentes horas del día, por ello se aplican estos factores normados por el MTC, los cuales se muestran a continuación en la Tabla 16.

Tabla 16

Coefficientes de duración de lluvias entre 1 y 24 horas.

| Duración de precipitación (horas) | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 12 | 18 | 24 |
| 0.30 | 0.39 | 0.46 | 0.52 | 0.57 | 0.61 | 0.68 | 0.80 | 0.91 | 1.00 |

Fuente: Manual de hidrología, hidráulica y drenaje del ministerio de transportes y comunicaciones (2016).

En la Tabla 17, se calcula la precipitación máxima horaria en un rango de 24 horas para los diferentes periodos de retorno, considerando los coeficientes de duración de lluvia entre 1 y 24 horas proporcionado por el MTC establecidos en la Tabla 16.

Tabla 17

Precipitaciones máximas probables para diferentes tiempos de duración de lluvias

| PRECIPITACIONES PARA DIFERENTES TIEMPOS DE RETORNO | | | | | |
|-----------------------------------------------------------|-------|---------|---------|---------|---------|
| Duración (hr) | coef. | 2 años | 5 años | 10 años | 25 años |
| 24 | 1.00 | 30.2932 | 37.5721 | 42.3914 | 48.4806 |
| 18 | 0.91 | 27.5668 | 34.1907 | 38.5762 | 44.1173 |
| 12 | 0.80 | 24.2346 | 30.0577 | 33.9131 | 38.7845 |
| 8 | 0.68 | 20.5994 | 25.5491 | 28.8262 | 32.9668 |
| 6 | 0.61 | 18.4789 | 22.9190 | 25.8588 | 29.5731 |
| 5 | 0.57 | 17.2671 | 21.4161 | 24.1631 | 27.6339 |
| 4 | 0.52 | 15.7525 | 19.5375 | 22.0435 | 25.2099 |
| 3 | 0.46 | 13.9349 | 17.2832 | 19.5000 | 22.3011 |
| 2 | 0.39 | 11.8144 | 14.6531 | 16.5327 | 18.9074 |
| 1 | 0.30 | 9.0880 | 11.2716 | 12.7174 | 14.5442 |

Fuente: *Elaboración propia (2023).*

En la Tabla 18, se calculan las intensidades de lluvia a partir de las precipitaciones máximas especificadas en la tabla anterior, la intensidad de lluvia se da en mm/hr (milímetros entre hora), con la siguiente fórmula propuesta por la Norma técnica CE.040 de Drenaje Pluvial del RNE.

$$i_{(t,T)} = \frac{P_{(t,T)}}{t} \dots\dots\dots(12)$$

Donde:

$i_{(t,T)}$: Intensidad de precipitación, de duración t y periodo de retorno T.

$P_{(t,T)}$: Profundidad de precipitación.

Tabla 18

Intensidad de lluvia para diferentes tiempos de retorno

| Tiempo de duración | | Intensidad de lluvia para diferentes tiempos de retorno (mm/hr) | | | |
|--------------------|------|-----------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|
| Hr | min | 2 años | 5 años | 10 años | 25 años |
| 24 | 1440 | 1.2622 | 1.5655 | 1.7663 | 2.0200 |
| 18 | 1080 | 1.5315 | 1.8995 | 2.1431 | 2.4510 |
| 12 | 720 | 2.0195 | 2.5048 | 2.8261 | 3.2320 |
| 8 | 480 | 2.5749 | 3.1936 | 3.6033 | 4.1208 |
| 6 | 360 | 3.0798 | 3.8198 | 4.3098 | 4.9289 |
| 5 | 300 | 3.4534 | 4.2832 | 4.8326 | 5.5268 |
| 4 | 240 | 3.9381 | 4.8844 | 5.5109 | 6.3025 |
| 3 | 180 | 4.6450 | 5.7611 | 6.5000 | 7.4337 |
| 2 | 120 | 5.9072 | 7.3266 | 8.2663 | 9.4537 |
| 1 | 60 | 9.0880 | 11.2716 | 12.7174 | 14.5442 |

Fuente: Elaboración propia (2023).

La presentación matemática de la curva IDF para diferentes tiempos de retorno (2, 5, 10 y 25 años), se halla utilizando la siguiente formula basada en lo establecido por Bernard.

$$I = \frac{K \cdot T^m}{t^n} \dots\dots\dots(13)$$

Donde:

I = Intensidad (mm/hr).

t = Duración de la lluvia (min.).

T = Periodo de retorno (años).

K,m,n = Parámetros de ajuste.

Realizando un cambio de variable obtenemos la siguiente expresión:

$$d = K \cdot T^m \dots\dots\dots(14)$$

Con lo que de la anterior expresión se obtiene:

$$I = \frac{d}{t^n} \Rightarrow I = d \cdot t^{-n} \dots\dots\dots(15)$$

Tabla 19

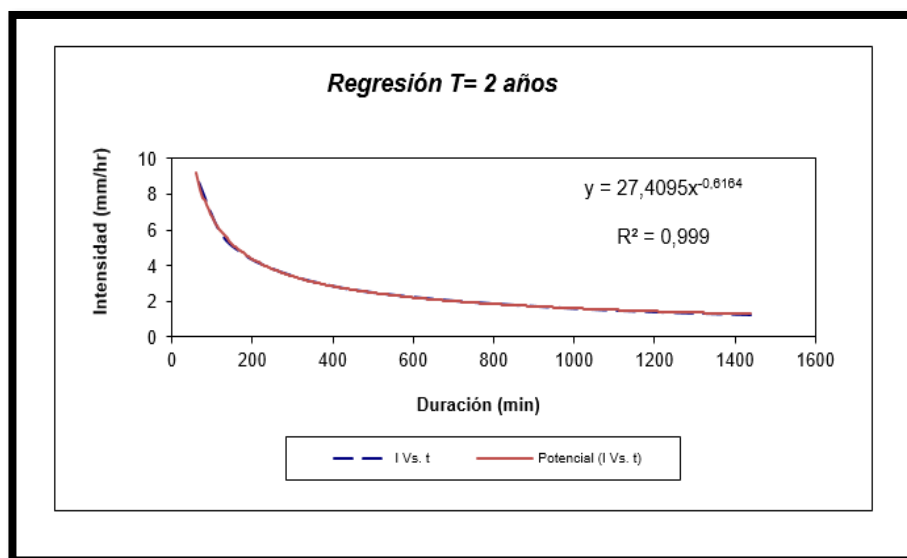
Síntesis numérica de la curva IDF para un periodo de retorno de 2 años.

| Periodo de retorno para T = 2 años | | | | | | |
|------------------------------------|-------------|---------------------|----------------|----------------|---------------------|-----------------|
| N° | x | y | ln x | ln y | ln x * ln y | (ln x) ^2 |
| 1 | 1440 | 1.2622 | 7.2724 | 0.2329 | 1.6935 | 52.8878 |
| 2 | 1080 | 1.5315 | 6.9847 | 0.4262 | 2.9772 | 48.7863 |
| 3 | 720 | 2.0195 | 6.5793 | 0.7029 | 4.6244 | 43.2865 |
| 4 | 480 | 2.5749 | 6.1738 | 0.9458 | 5.8393 | 38.1156 |
| 5 | 360 | 3.0798 | 5.8861 | 1.1249 | 6.6211 | 34.6462 |
| 6 | 300 | 3.4534 | 5.7038 | 1.2394 | 7.0691 | 32.5331 |
| 7 | 240 | 3.9381 | 5.4806 | 1.3707 | 7.5123 | 30.0374 |
| 8 | 180 | 4.6450 | 5.1930 | 1.5358 | 7.9753 | 26.9668 |
| 9 | 120 | 5.9072 | 4.7875 | 1.7762 | 8.5034 | 22.9201 |
| 10 | 60 | 9.0880 | 4.0943 | 2.2070 | 9.0360 | 16.7637 |
| Suma | 4980 | 37.4997 | 58.1555 | 11.5617 | 61.8516 | 346.9435 |
| Ln (d) = 4.7408 | | d = 114.5244 | | | n = - 0.6164 | |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 9

Regresión de la curva intensidad vs duración para un periodo de retorno de 2 años



Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 20

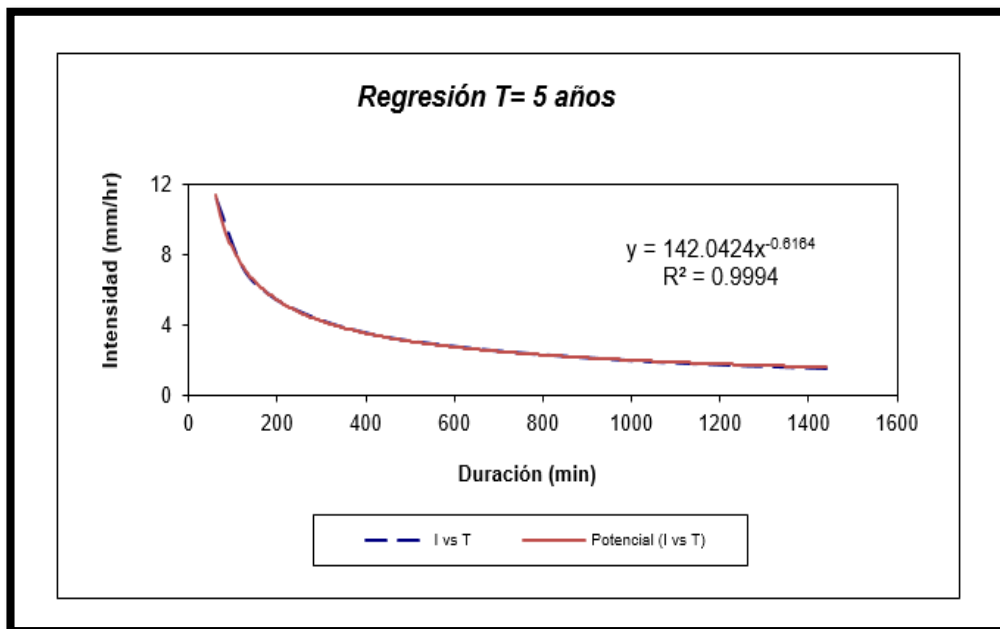
Síntesis numérica de la curva IDF para un periodo de retorno de 5 años.

| Periodo de retorno para T = 5 años | | | | | | |
|-------------------------------------------|-------------|---------------------|----------------|----------------|---------------------|-----------------|
| Nº | x | y | ln x | ln y | ln x * ln y | (ln x) ^2 |
| 1 | 1440 | 1.5655 | 7.2724 | 0.4482 | 3.2596 | 52.8878 |
| 2 | 1080 | 1.8995 | 6.9847 | 0.6416 | 4.4813 | 48.7863 |
| 3 | 720 | 2.5048 | 6.5793 | 0.9182 | 6.0412 | 43.2865 |
| 4 | 480 | 2.1936 | 6.1738 | 1.1612 | 7.1687 | 38.1156 |
| 5 | 360 | 3.8198 | 5.8861 | 1.3402 | 7.8886 | 34.6462 |
| 6 | 300 | 4.2832 | 5.7038 | 1.4547 | 8.2973 | 32.5331 |
| 7 | 240 | 4.8844 | 5.4806 | 1.5860 | 8.6925 | 30.0374 |
| 8 | 180 | 5.7611 | 5.1930 | 1.7511 | 9.0935 | 26.9668 |
| 9 | 120 | 7.3266 | 4.7875 | 1.9915 | 9.5343 | 22.9201 |
| 10 | 60 | 11.2716 | 4.0943 | 2.4223 | 9.9177 | 16.7637 |
| Suma | 4980 | 46.5101 | 58.1555 | 13.7150 | 74.3747 | 346.9435 |
| Ln (d) = 4.9561 | | d = 142.0424 | | | n = - 0.6164 | |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 10

Regresión de la curva intensidad vs duración para un periodo de retorno de 5 años



Fuente: Elaboración propia (2022).

Tabla 21

Síntesis numérica de la curva IDF para un periodo de retorno de 10 años.

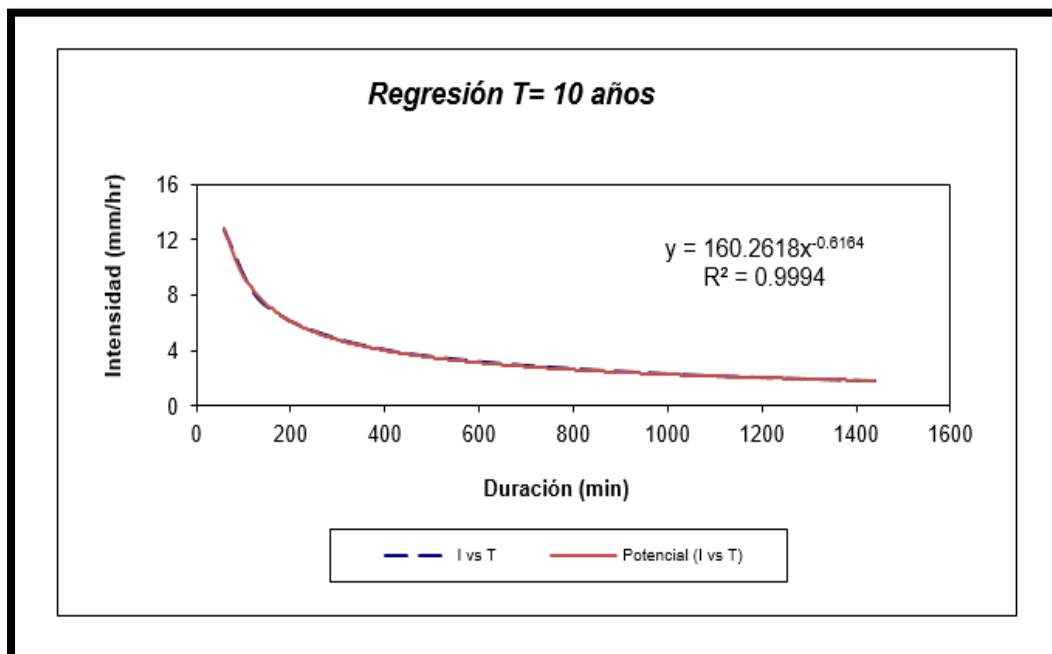
Periodo de retorno para T = 10 años

| Nº | x | y | ln x | ln y | ln x * ln y | (ln x) ^2 |
|------------------------|-------------|---------------------|----------------|----------------|---------------------|-----------------|
| 1 | 1440 | 1.7663 | 7.2724 | 0.4482 | 3.2596 | 52.8878 |
| 2 | 1080 | 2.1431 | 6.9847 | 0.6416 | 4.4813 | 48.7863 |
| 3 | 720 | 2.8261 | 6.5793 | 0.9182 | 6.0412 | 43.2865 |
| 4 | 480 | 2.1936 | 6.1738 | 1.1612 | 7.1687 | 38.1156 |
| 5 | 360 | 3.6033 | 5.8861 | 1.3402 | 7.8886 | 34.6462 |
| 6 | 300 | 4.3098 | 5.7038 | 1.4547 | 8.2973 | 32.5331 |
| 7 | 240 | 4.8326 | 5.4806 | 1.5860 | 8.6925 | 30.0374 |
| 8 | 180 | 5.5109 | 5.1930 | 1.7511 | 9.0935 | 26.9668 |
| 9 | 120 | 7.5000 | 4.7875 | 1.9915 | 9.5343 | 22.9201 |
| 10 | 60 | 8.2663 | 4.0943 | 2.4223 | 9.9177 | 16.7637 |
| Suma | 4980 | 52.4759 | 58.1555 | 14.9219 | 81.3930 | 346.9435 |
| Ln (d) = 5.0768 | | d = 160.2618 | | | n = - 0.6164 | |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 11

Regresión de la curva intensidad vs duración para un periodo de retorno de 10 años



Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 22

Síntesis numérica de la curva IDF para un periodo de retorno de 25 años.

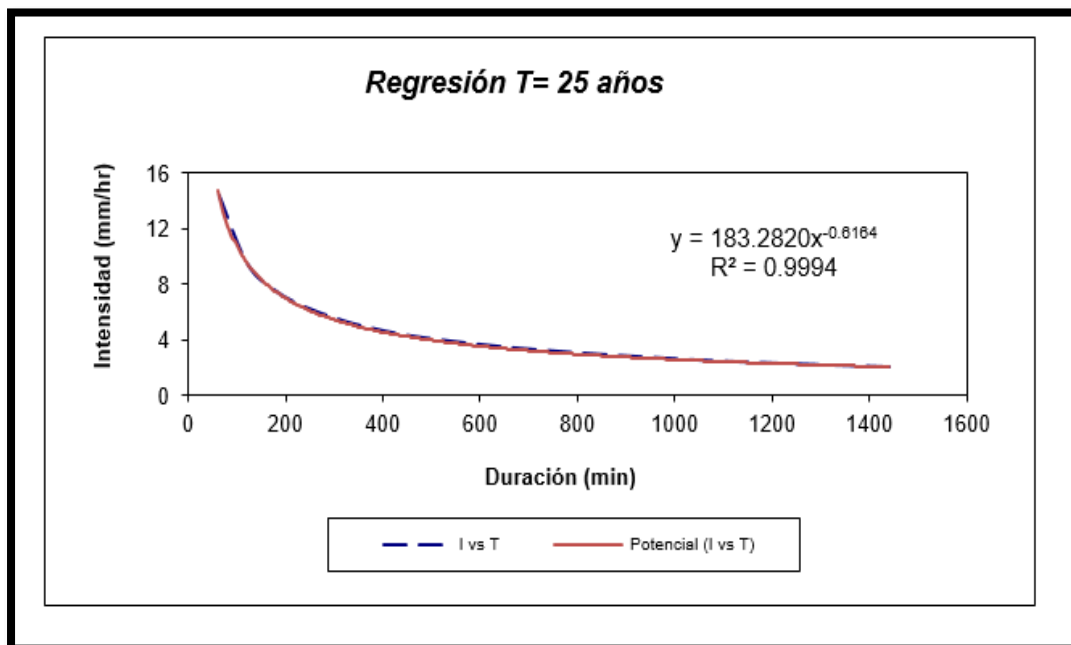
Periodo de retorno para T = 25 años

| Nº | x | y | ln x | ln y | ln x * ln y | (ln x) ^2 |
|------------------------|-------------|---------------------|----------------|----------------|---------------------|-----------------|
| 1 | 1440 | 2.0200 | 7.2724 | 0.7031 | 5.1113 | 52.8878 |
| 2 | 1080 | 2.4510 | 6.9847 | 0.8965 | 6.2617 | 48.7863 |
| 3 | 720 | 3.2320 | 6.5793 | 1.1731 | 7.7182 | 43.2865 |
| 4 | 480 | 4.1208 | 6.1738 | 1.4161 | 8.7424 | 38.1156 |
| 5 | 360 | 4.9289 | 5.8861 | 1.5951 | 9.3890 | 34.6462 |
| 6 | 300 | 5.5268 | 5.7038 | 1.7096 | 9.7512 | 32.5331 |
| 7 | 240 | 6.3025 | 5.4806 | 1.8409 | 10.0895 | 30.0374 |
| 8 | 180 | 7.4337 | 5.1930 | 2.0060 | 10.4172 | 26.9668 |
| 9 | 120 | 9.4537 | 4.7875 | 2.2464 | 10.7547 | 22.9201 |
| 10 | 60 | 14.5442 | 4.0943 | 2.6772 | 10.9613 | 16.7637 |
| Suma | 4980 | 60.0136 | 58.1555 | 16.2640 | 89.1985 | 346.9435 |
| Ln (d) = 5.2110 | | d = 183.2820 | | | n = - 0.6164 | |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 12

Regresión de la curva intensidad vs duración para un periodo de retorno de 25 años



Fuente: Elaboración propia (2023).

En la Tabla 23, detallamos el resumen de aplicación de regresión potencial en base a la constante de regresión, coeficiente de regresión y el periodo de retorno de 2, 5, 10 y 25 años respectivamente.

Tabla 23

Resumen de aplicación de regresión potencial

| Periodo de retorno (años) | Término constante de regresión (d) | Coefficiente de regresión (n) |
|---------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| 2 | 114.524353 | -0.616386 |
| 5 | 142.042435 | -0.616386 |
| 10 | 160.261800 | -0.616386 |
| 25 | 183.282014 | -0.616386 |
| Promedio | 150.0276503 | -0.616386 |

Fuente: Elaboración propia (2023).

En la Tabla 24 se detalla el resumen de la regresión potencial según la distribución de Gumbel.

Tabla 24

Resumen de la regresión potencial según la distribución de gumbel

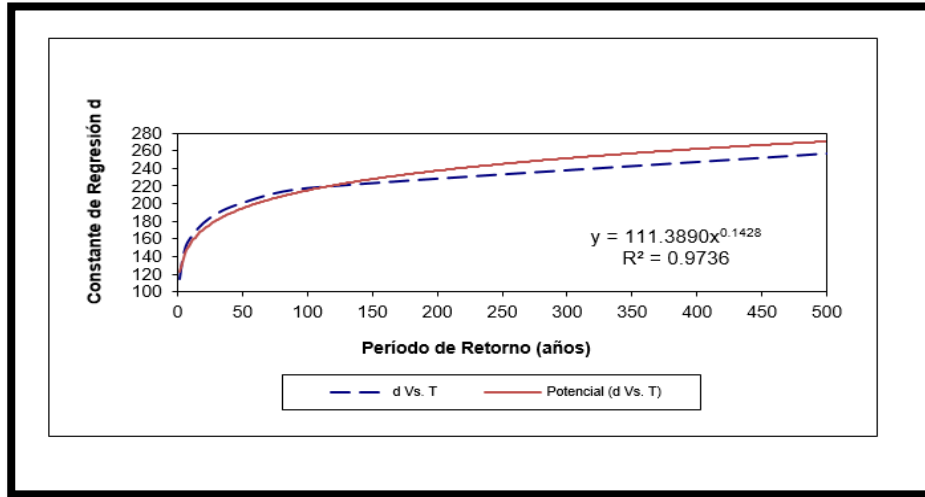
| Regresión Potencial | | | | | | |
|----------------------------|-----------------------|---------------------|---------------|----------------|-------------------|----------------|
| N° | x | y | ln x | ln y | ln x*ln | (lnx) ^2 |
| 1 | 2 | 114.5244 | 0.6931 | 4.7408 | 3.2861 | 0.4805 |
| 2 | 5 | 142.0424 | 1.6094 | 4.9561 | 7.9766 | 2.5903 |
| 3 | 10 | 160.2618 | 2.3026 | 5.0768 | 11.6898 | 5.3019 |
| 4 | 25 | 183.2820 | 3.2189 | 5.2110 | 16.7736 | 10.3612 |
| Suma | 42 | 600.1106 | 7.8240 | 19.9847 | 39.7261 | 18.7338 |
| | Ln(k) = 4.6337 | K = 102.8912 | | | m = 0.1853 | |

Fuente: Elaboración propia (2023).

En el siguiente gráfico se representa la curva de la regresión potencial para los diferentes periodos de retorno (2, 5, 10 y 25 años).

Figura 13

Constante de regresión d vs los periodos de retorno



Fuente: Elaboración propia (2023).

Al terminar el proceso de cálculo se puede obtener la ecuación general de la curva intensidad – duración - frecuencia (IDF), la cual es necesaria para la aplicación del software SWMM y continuar con el modelamiento del sistema de drenaje pluvial urbano de la Av. San Martín De Porres, comprendida entre las intersecciones de la Av. Atahualpa y el Jr. Los Conquistadores; que serán descritos a continuación en los siguientes ítems.

De la fórmula general de la curva IDF:

$$I = \frac{K \cdot T^m}{T^n} \dots\dots\dots(16)$$

Constante de regresión (K): 111.3890

Coefficiente de regresión (m): 0.142848

Parámetro de ajuste (n): 0.61639

$$I = \frac{111.3890 \cdot T^{0.142848}}{T^{0.61639}} \dots\dots\dots(17)$$

Donde:

I = Intensidad de precipitación en (mm/hr).

T = Periodo de retorno.

t = Tiempo de duración de precipitación en (min).

Tabla 25

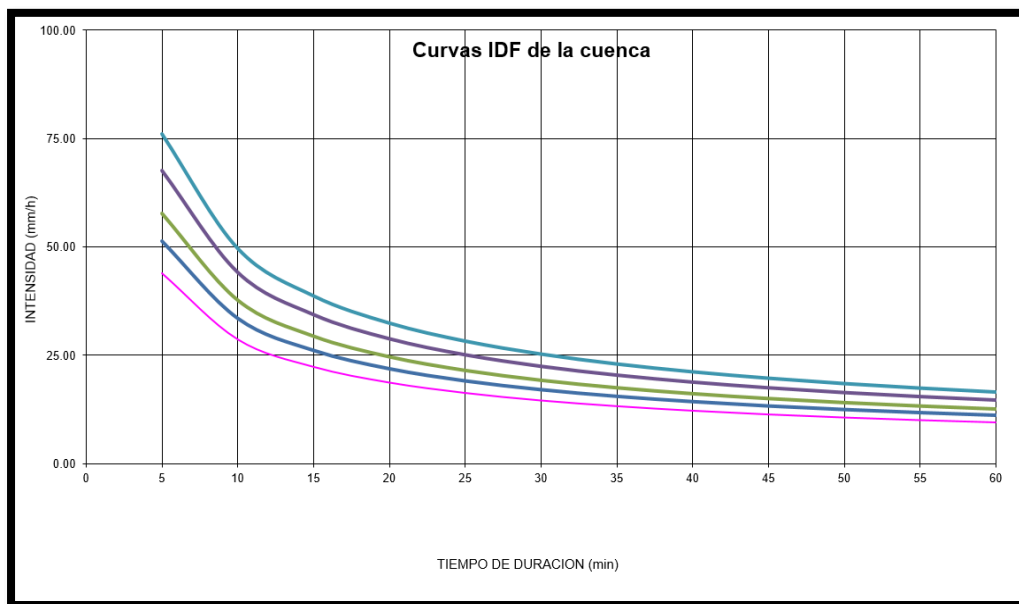
Tabla de intensidades – duración – frecuencia final requerida

| Tabla de intensidades – Tiempo de duración | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Frecuencia en años | Duración en minutos | | | | | | | | | | | |
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 |
| 2 | 45.60 | 29.75 | 23.17 | 19.40 | 16.91 | 15.11 | 13.74 | 12.66 | 11.77 | 11.03 | 10.40 | 9.86 |
| 5 | 51.98 | 33.91 | 26.41 | 22.12 | 19.28 | 17.23 | 15.67 | 14.43 | 13.42 | 12.57 | 11.86 | 11.24 |
| 10 | 57.39 | 37.44 | 29.16 | 24.42 | 21.28 | 19.02 | 17.30 | 15.93 | 14.81 | 13.88 | 13.09 | 12.41 |
| 25 | 65.42 | 42.67 | 33.24 | 27.84 | 24.26 | 21.68 | 19.71 | 18.16 | 16.89 | 15.82 | 14.92 | 14.14 |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 14

Curva IDF de la cuenca



Fuente: Elaboración propia (2023).

En la tabla 26 detallaremos el hietograma de diseño para el periodo de retorno de 2 años a partir de los datos de intensidad de precipitación.

Tabla 26

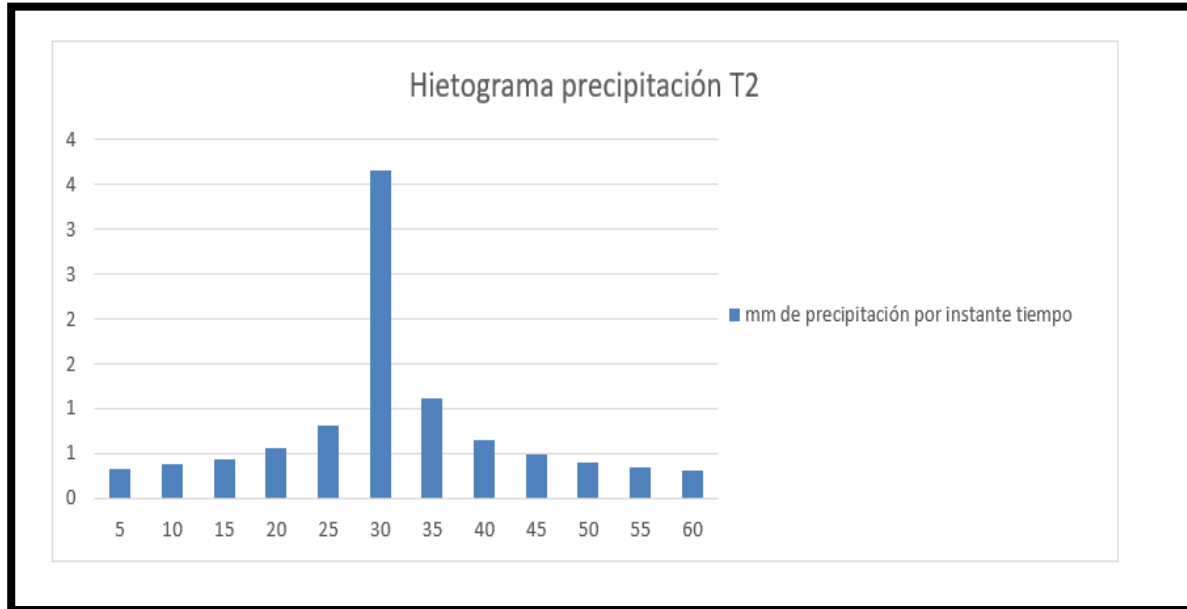
Hietograma de diseño PR = 2 años

| HIETOGRAMA PARA PERIODO DE RETORNO 2 AÑOS | | | | | | |
|--------------------------------------------------|--------------------|------------------------------|--------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------|
| Duración de la tormenta (h) | = | 0.1667 | | | | |
| Intensidad de lluvia (mm/h) | = | 9.49 | | | | |
| Precipitación en 24 horas (mm) | = | 1.58 | | | | |
| Intervalo de tiempo (min) | = | 5 | | | | |
| Instante (min) | Intensidad (mm/hr) | Precipitación Acumulada (mm) | Precipitación (mm) | Intensidad Parcial (mm/hr) | Precipitación Alternada (mm) | Int. Parc. alternada |
| 5 | 43.89 | 3.66 | 3.66 | 43.89 | 0.33 | 3.95 |
| 10 | 28.63 | 4.77 | 1.11 | 13.37 | 0.38 | 4.50 |
| 15 | 22.30 | 5.57 | 0.80 | 9.64 | 0.44 | 5.32 |
| 20 | 18.68 | 6.23 | 0.65 | 7.81 | 0.56 | 6.68 |
| 25 | 16.28 | 6.78 | 0.56 | 6.68 | 0.80 | 9.64 |
| 30 | 14.55 | 7.27 | 0.49 | 5.90 | 3.66 | 43.89 |
| 35 | 13.23 | 7.72 | 0.44 | 5.32 | 1.11 | 13.37 |
| 40 | 12.18 | 8.12 | 0.41 | 4.87 | 0.65 | 7.81 |
| 45 | 11.33 | 8.50 | 0.38 | 4.50 | 0.49 | 5.90 |
| 50 | 10.62 | 8.85 | 0.35 | 4.21 | 0.41 | 4.87 |
| 55 | 10.01 | 9.18 | 0.33 | 3.95 | 0.35 | 4.21 |
| 60 | 9.49 | 9.49 | 0.31 | 3.74 | 0.31 | 3.74 |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 15

Hietograma de diseño TR = 2 años.



Fuente: Elaboración propia (2023).

En la tabla 27 detallaremos el hietograma de diseño para el periodo de retorno de 5 años a partir de los datos de intensidad de precipitación.

Tabla 27

Hietograma de diseño PR = 5 años

HIETOGRAMA PARA PERIODO DE RETORNO 5 AÑOS

Duración de la tormenta (h) = 0.1667
 Intensidad de lluvia (mm/h) = 11.10
 Precipitación en 24 horas (mm) = 1.85
 Intervalo de tiempo (min) = 5

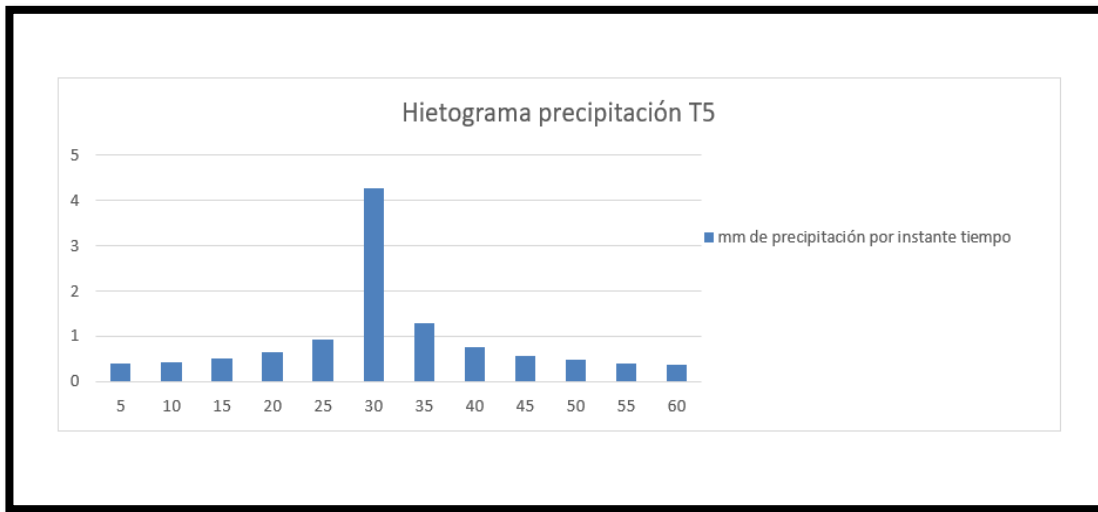
| Instante (min) | Intensidad (mm/hr) | Precipitación Acumulada (mm) | Precipitación (mm) | Intensidad Parcial (mm/hr) | Precipitación Alternada (mm) | Int. Parc. alternada |
|----------------|--------------------|------------------------------|--------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------|
| 5 | 51.35 | 4.28 | 4.28 | 51.35 | 0.39 | 4.63 |
| 10 | 33.49 | 5.58 | 1.30 | 15.64 | 0.44 | 5.27 |
| 15 | 26.09 | 6.52 | 0.94 | 11.27 | 0.52 | 6.22 |
| 20 | 21.85 | 7.28 | 0.76 | 9.13 | 0.65 | 7.81 |
| 25 | 19.04 | 7.93 | 0.65 | 7.81 | 0.94 | 11.27 |
| 30 | 17.02 | 8.51 | 0.57 | 6.90 | 4.28 | 51.35 |
| 35 | 15.47 | 9.03 | 0.52 | 6.22 | 1.30 | 15.64 |
| 40 | 14.25 | 9.50 | 0.47 | 5.69 | 0.76 | 9.13 |

| | | | | | | |
|----|-------|-------|------|------|------|------|
| 45 | 13.25 | 9.94 | 0.44 | 5.27 | 0.57 | 6.90 |
| 50 | 12.42 | 10.35 | 0.41 | 4.92 | 0.47 | 5.69 |
| 55 | 11.71 | 10.74 | 0.39 | 4.63 | 0.41 | 4.92 |
| 60 | 11.10 | 11.10 | 0.36 | 4.37 | 0.36 | 4.37 |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 16

Hietograma de diseño TR = 5 años.



Fuente: Elaboración propia (2023).

En la tabla 28 detallaremos el hietograma de diseño para el periodo de retorno de 10 años a partir de los datos de intensidad de precipitación.

Tabla 28

Hietograma de diseño PR = 10 años

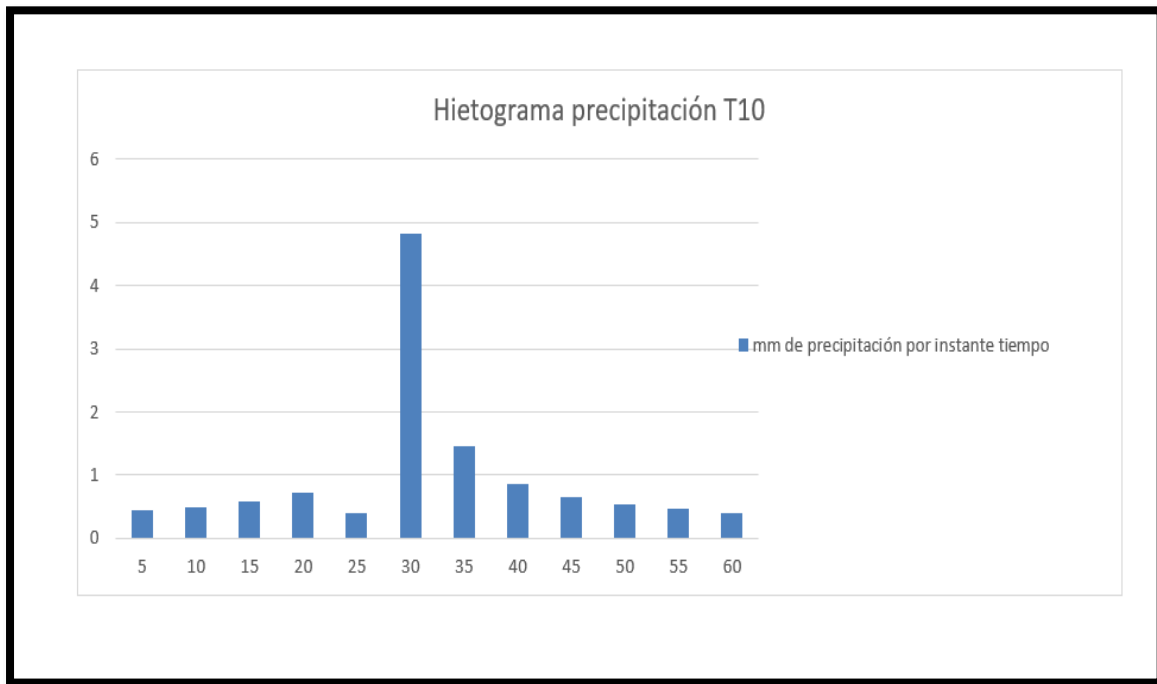
| HIETOGRAMA PARA PERIODO DE RETORNO 10 AÑOS | | | | | | |
|---------------------------------------------------|--------------------|------------------------------|--------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------|
| Duración de la tormenta (h) | = | 0.1667 | | | | |
| Intensidad de lluvia (mm/h) | = | 12.50 | | | | |
| Precipitación en 24 horas (mm) | = | 2.08 | | | | |
| Intervalo de tiempo (min) | = | 5 | | | | |
| Instante (min) | Intensidad (mm/hr) | Precipitación Acumulada (mm) | Precipitación (mm) | Intensidad Parcial (mm/hr) | Precipitación Alternada (mm) | Int. Parc. alternada |
| 5 | 57.82 | 4.82 | 4.82 | 57.82 | 0.43 | 5.21 |
| 10 | 37.71 | 6.29 | 1.47 | 17.61 | 0.49 | 5.93 |
| 15 | 29.37 | 7.34 | 1.06 | 12.69 | 0.58 | 7.00 |

| | | | | | | |
|----|-------|-------|------|-------|------|-------|
| 20 | 24.60 | 8.20 | 0.86 | 10.28 | 0.73 | 8.79 |
| 25 | 21.44 | 8.93 | 0.73 | 8.79 | 0.41 | 4.92 |
| 30 | 19.16 | 9.58 | 0.65 | 7.77 | 4.82 | 57.82 |
| 35 | 17.42 | 10.16 | 0.58 | 7.00 | 1.47 | 17.61 |
| 40 | 16.05 | 10.70 | 0.53 | 6.41 | 0.86 | 10.28 |
| 45 | 14.92 | 11.19 | 0.49 | 5.93 | 0.65 | 7.77 |
| 50 | 13.99 | 11.65 | 0.46 | 5.54 | 0.53 | 6.41 |
| 55 | 13.19 | 12.09 | 0.43 | 5.21 | 0.46 | 5.54 |
| 60 | 12.50 | 12.50 | 0.41 | 4.92 | 0.41 | 4.92 |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 17

Hietograma de diseño TR = 10 años.



Fuente: Elaboración propia (2022).

En la tabla 29 detallaremos el hietograma de diseño para el periodo de retorno de 25 años a partir de los datos de intensidad de precipitación.

Tabla 29

Hietograma de diseño PR = 25 años

HIETOGRAMA PARA PERIODO DE RETORNO 25 AÑOS

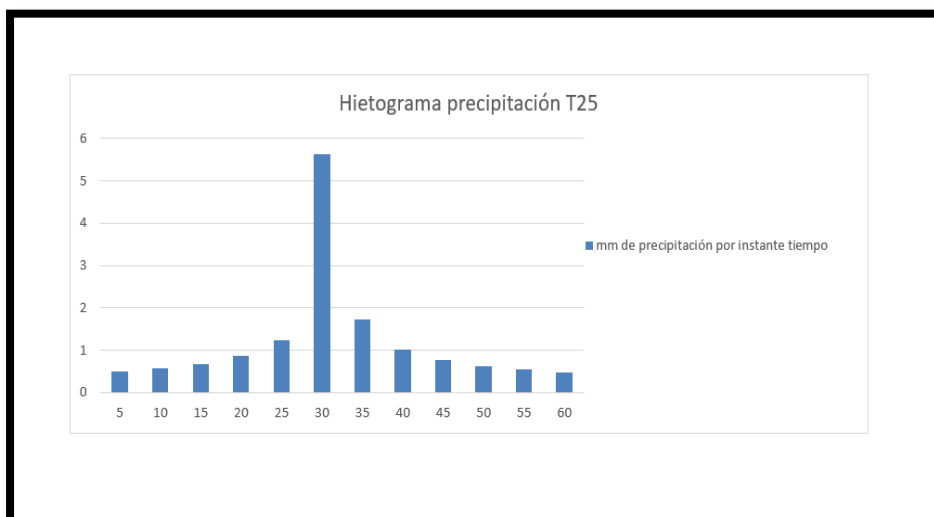
Duración de la tormenta (h) = 0.1667
 Intensidad de lluvia (mm/h) = 14.62
 Precipitación en 24 horas (mm) = 2.44
 Intervalo de tiempo (min) = 5

| Instante (min) | Intensidad (mm/hr) | Precipitación Acumulada (mm) | Precipitación (mm) | Intensidad Parcial (mm/hr) | Precipitación Alternada (mm) | Int. Parc. alternada |
|----------------|--------------------|------------------------------|--------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------|
| 5 | 67.64 | 5.64 | 5.64 | 67.64 | 0.51 | 6.09 |
| 10 | 44.12 | 7.35 | 1.72 | 20.60 | 0.58 | 6.94 |
| 15 | 34.36 | 8.59 | 1.24 | 14.85 | 0.68 | 8.19 |
| 20 | 28.78 | 9.59 | 1.00 | 12.03 | 0.86 | 10.29 |
| 25 | 25.08 | 10.45 | 0.86 | 10.29 | 1.24 | 14.85 |
| 30 | 22.42 | 11.21 | 0.76 | 9.09 | 5.64 | 67.64 |
| 35 | 20.38 | 11.89 | 0.68 | 8.19 | 1.72 | 20.60 |
| 40 | 18.77 | 12.52 | 0.62 | 7.50 | 1.00 | 12.03 |
| 45 | 17.46 | 13.09 | 0.58 | 6.94 | 0.76 | 9.09 |
| 50 | 16.36 | 13.63 | 0.54 | 6.48 | 0.62 | 7.50 |
| 55 | 15.43 | 14.14 | 0.51 | 6.09 | 0.54 | 6.48 |
| 60 | 14.62 | 14.62 | 0.48 | 5.76 | 0.48 | 5.76 |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 18

Hietograma de diseño TR = 25 años.



Fuente: Elaboración propia (2023).

En la tabla 30 hallaremos el caudal maximo para un periodo de retorno de 2 años.

Tabla 30

Caudal máximo para TR = 2 años.

| Uso de terreno | Área (m ²) | Área (km ²) | C | Int. (mm/hr) | Qunit (m ³ /s) |
|----------------|------------------------|-------------------------|------|--------------|-----------------------------|
| SUBC – 01 | 42363.229 | 0.04236323 | 0.75 | 28.631 | 0.55 |
| SUBC – 02 | 17442.646 | 0.01744265 | 0.75 | 28.631 | 0.60 |
| SUBC – 03 | 27648.204 | 0.0276482 | 0.75 | 28.631 | 0.64 |
| SUBC – 04 | 193219.91 | 0.19321991 | 0.75 | 28.631 | 0.52 |
| SUBC – 05 | 11955.312 | 0.01195531 | 0.75 | 28.631 | 0.49 |
| SUBC – 06 | 221683.59 | 0.22168359 | 0.75 | 28.631 | 0.39 |
| SUBC – 07 | 5049.2177 | 0.00504922 | 0.75 | 28.631 | 0.53 |
| SUBC – 08 | 12567.418 | 0.01256742 | 0.75 | 28.631 | 0.41 |
| SUBC – 09 | 22964.41 | 0.02296441 | 0.75 | 28.631 | 0.41 |
| SUBC – 10 | 196015.45 | 0.19601545 | 0.75 | 28.631 | 0.78 |
| SUBC – 11 | 186809.24 | 0.18680924 | 0.75 | 28.631 | 0.85 |
| SUBC – 12 | 289925.45 | 0.28992545 | 0.75 | 28.631 | 0.57 |
| SUBC – 13 | 8137.4681 | 0.00813747 | 0.75 | 28.631 | 1.02 |
| SUMA | | | | | 7.75 m³/s |

Fuente: Elaboración propia (2023).

En la tabla 31 hallaremos el caudal maximo para un periodo de retorno de 5 años.

Tabla 31

Caudal máximo para TR = 5 años.

| Uso de terreno | Área (m ²) | Área (km ²) | C | Int. (mm/hr) | Qunit (m ³ /s) |
|----------------|------------------------|-------------------------|------|--------------|-----------------------------|
| SUBC – 01 | 42363.229 | 0.04236323 | 0.80 | 33.494 | 0.69 |
| SUBC – 02 | 17442.646 | 0.01744265 | 0.80 | 33.494 | 0.74 |
| SUBC – 03 | 27648.204 | 0.0276482 | 0.80 | 33.494 | 0.80 |
| SUBC – 04 | 193219.91 | 0.19321991 | 0.80 | 33.494 | 0.64 |
| SUBC – 05 | 11955.312 | 0.01195531 | 0.80 | 33.494 | 0.62 |
| SUBC – 06 | 221683.59 | 0.22168359 | 0.80 | 33.494 | 0.49 |
| SUBC – 07 | 5049.2177 | 0.00504922 | 0.80 | 33.494 | 0.66 |
| SUBC – 08 | 12567.418 | 0.01256742 | 0.80 | 33.494 | 0.51 |
| SUBC – 09 | 22964.41 | 0.02296441 | 0.80 | 33.494 | 0.52 |
| SUBC – 10 | 196015.45 | 0.19601545 | 0.80 | 33.494 | 0.97 |
| SUBC – 11 | 186809.24 | 0.18680924 | 0.80 | 33.494 | 1.06 |
| SUBC – 12 | 289925.45 | 0.28992545 | 0.80 | 33.494 | 0.71 |
| SUBC – 13 | 8137.4681 | 0.00813747 | 0.80 | 33.494 | 1.27 |
| SUMA | | | | | 9.67 m³/s |

Fuente: Elaboración propia (2023).

En la tabla 32 hallaremos el caudal máximo para un periodo de retorno de 10 años.

Tabla 32

Caudal máximo para TR = 10 años.

| Uso de terreno | Área (m ²) | Área (km ²) | C | Int. (mm/hr) | Qunit (m ³ /s) |
|----------------|------------------------|-------------------------|------|--------------|------------------------------|
| SUBC – 01 | 42363.229 | 0.04236323 | 0.83 | 37.714 | 0.80 |
| SUBC – 02 | 17442.646 | 0.01744265 | 0.83 | 37.714 | 0.87 |
| SUBC – 03 | 27648.204 | 0.0276482 | 0.83 | 37.714 | 0.94 |
| SUBC – 04 | 193219.91 | 0.19321991 | 0.83 | 37.714 | 0.75 |
| SUBC – 05 | 11955.312 | 0.01195531 | 0.83 | 37.714 | 0.72 |
| SUBC – 06 | 221683.59 | 0.22168359 | 0.83 | 37.714 | 0.57 |
| SUBC – 07 | 5049.2177 | 0.00504922 | 0.83 | 37.714 | 0.77 |
| SUBC – 08 | 12567.418 | 0.01256742 | 0.83 | 37.714 | 0.60 |
| SUBC – 09 | 22964.41 | 0.02296441 | 0.83 | 37.714 | 0.60 |
| SUBC – 10 | 196015.45 | 0.19601545 | 0.83 | 37.714 | 1.13 |
| SUBC – 11 | 186809.24 | 0.18680924 | 0.83 | 37.714 | 1.24 |
| SUBC – 12 | 289925.45 | 0.28992545 | 0.83 | 37.714 | 0.83 |
| SUBC – 13 | 8137.4681 | 0.00813747 | 0.83 | 37.714 | 1.48 |
| SUMA | | | | | 11.30 m³/s |

Fuente: Elaboración propia (2023).

En la tabla 33 hallaremos el caudal máximo para un periodo de retorno de 25 años.

Tabla 33

Caudal máximo para TR = 25 años.

| Uso de terreno | Área (m ²) | Área (km ²) | C | Int. (mm/hr) | Qunit (m ³ /s) |
|----------------|------------------------|-------------------------|------|--------------|---------------------------|
| SUBC – 01 | 42363.229 | 0.04236323 | 0.88 | 44.120 | 1.00 |
| SUBC – 02 | 17442.646 | 0.01744265 | 0.88 | 44.120 | 1.08 |
| SUBC – 03 | 27648.204 | 0.0276482 | 0.88 | 44.120 | 1.16 |
| SUBC – 04 | 193219.91 | 0.19321991 | 0.88 | 44.120 | 0.93 |
| SUBC – 05 | 11955.312 | 0.01195531 | 0.88 | 44.120 | 0.89 |
| SUBC – 06 | 221683.59 | 0.22168359 | 0.88 | 44.120 | 0.71 |
| SUBC – 07 | 5049.2177 | 0.00504922 | 0.88 | 44.120 | 0.95 |
| SUBC – 08 | 12567.418 | 0.01256742 | 0.88 | 44.120 | 0.74 |
| SUBC – 09 | 22964.41 | 0.02296441 | 0.88 | 44.120 | 0.75 |

| | | | | | |
|-------------|-----------|------------|------|--------|--------------------|
| SUBC – 10 | 196015.45 | 0.19601545 | 0.88 | 44.120 | 1.40 |
| SUBC – 11 | 186809.24 | 0.18680924 | 0.88 | 44.120 | 1.54 |
| SUBC – 12 | 289925.45 | 0.28992545 | 0.88 | 44.120 | 1.02 |
| SUBC – 13 | 8137.4681 | 0.00813747 | 0.88 | 44.120 | 1.84 |
| SUMA | | | | | 14.012 m3/s |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Aspectos Éticos

Como se indica en el procedimiento los cálculos del caudal máximo que soporta las estructuras existentes, la velocidad del flujo de agua, las pendientes longitudinales y transversales; hacen referencia a la norma técnica CE. 040 para constatar si cumple o no para el buen funcionamiento del sistema de drenaje pluvial, las cuales fueron debidamente referenciadas como indica el código de ética del investigador científico UPN.

Esta investigación está hecha en base a estudios de campo y a la revisión de documentos, entonces garantizo la no manipulación de datos, que voy a respetar referenciando según las normas APA cada información que yo obtuve de las investigaciones, toda la información involucrada para llevar a cabo este trabajo de investigación estará mediada por la verdad, es por ello que no va ver plagios de otros trabajos de investigación.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Resultados de la evaluación del drenaje pluvial existente

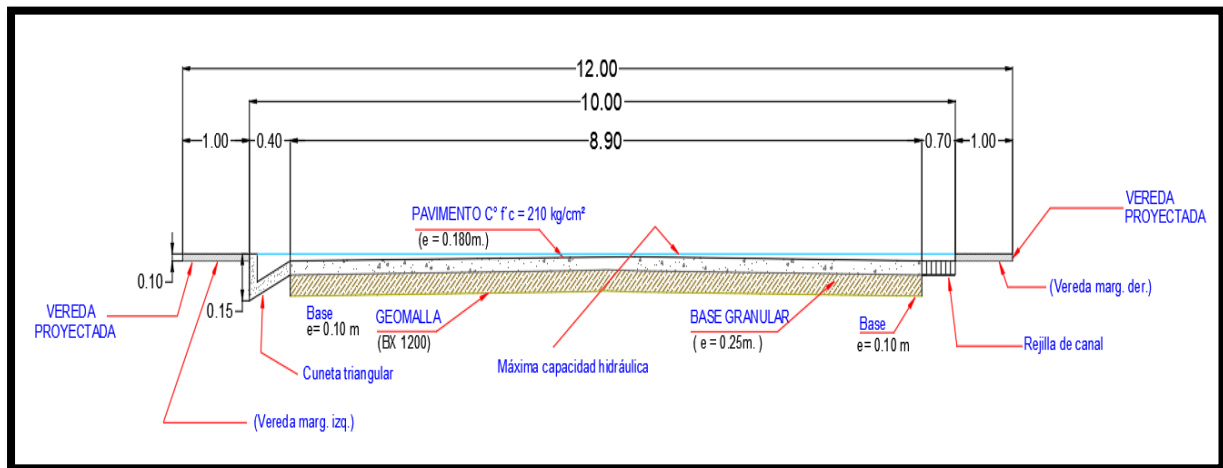
En primer lugar analizaremos los elementos estructurales existentes de la zona en estudio con ayuda del levantamiento topográfico que se realizó.

3.1.1. Capacidad hidráulica de la calzada

Tramo 1: Av. Atahualpa – Jr. Bolognesi (Av. San Martín de Porres cuadra 5)

Figura 19

Sección transversal típica de la Av. San Martín de Porres entre Av. Atahualpa y Jr. Bolognesi



Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 34

Características y cálculos lado derecho tramo Av. Atahualpa – Jr. Bolognesi

| <i>Canal de rejilla</i> | | |
|-------------------------------------|---------------|-------------------------------|
| Características típicas | | |
| Material | | Acera y pavimento de concreto |
| Características Geométricas | | |
| Párametro | Medida | Unidad |
| Ancho de calle o espejo del agua | 10.00 | m |
| Bombeo o pendiente transversal (Sx) | 0.01 | m/m |
| Z (1/ Sx) | 0.00 | 1/m |

| | | |
|-----------------------------------------|--------|----|
| Coeficiente de rugosidad de Manning (n) | 0.014 | -- |
| Pendiente longitudinal de la calle (So) | 0.0014 | |
| m/m | | |
| Profundidad de agua (Y) | 0.70 | m |
| Borde libre (Yd) | 0.25 | m |

Cálculos hidráulicos

$$Ah = B \cdot Y$$

| | | |
|-----------------------------------|------|----------------|
| Área hidráulica (m ²) | 7.00 | m ² |
|-----------------------------------|------|----------------|

$$Pm = B + 2Y$$

| | | |
|----------------------|-------|---|
| Perímetro mojado (m) | 11.40 | m |
|----------------------|-------|---|

$$Rh = \frac{B \cdot Y}{B + 2Y}$$

| | | |
|-----------------------|--------|---|
| Radio hidráulico (Rh) | 0.6140 | m |
|-----------------------|--------|---|

$$Q = \frac{Ah}{n} \times Rh^{2/3} S_0^{1/2}$$

| | | |
|---------------------------|--------|-------------------|
| Capacidad de la calle (Q) | 4.6116 | m ³ /s |
|---------------------------|--------|-------------------|

$$V = \frac{Q}{Ah}$$

| | | |
|-----------------------------|--------|-----|
| Velocidad de la calzada (V) | 1.9445 | m/s |
|-----------------------------|--------|-----|

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gY}}$$

| | | |
|----------------------|--------|----|
| Número de froude (F) | 0.7185 | -- |
|----------------------|--------|----|

| | | |
|---------------|------------|--|
| Tipo de flujo | Subcrítico | |
|---------------|------------|--|

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 35

Características y cálculos lado izquierdo tramo Av. Atahualpa – Jr. Bolognesi

Cuneta triangular

Características típicas

| | |
|----------|-------------------------------|
| Material | Acera y pavimento de concreto |
|----------|-------------------------------|

Características Geométricas

| Parámetro | Medida | Unidad |
|------------------------------------------------------|--------|--------|
| Ancho de calle o espejo del agua | 10.00 | m |
| Bombeo o pendiente transversal (S _x) | 0.01 | m/m |
| Z (1/ S _x) | 100 | 1/m |
| Coefficiente de rugosidad de Manning (n) | 0.014 | -- |
| Pendiente longitudinal de la calle (S _o) | 0.0014 | m/m |
| Profundidad de agua (Y) | 0.15 | m |
| Borde Libre (Y _d) | 0.10 | m |

Cálculos hidráulicos

$$Ah = Z \cdot Y^2$$

| | | |
|-----------------------------------|--------|----------------|
| Área hidráulica (m ²) | 2.2500 | m ² |
|-----------------------------------|--------|----------------|

$$Pm = 2Y\sqrt{1 + Z^2}$$

| | | |
|----------------------|---------|---|
| Perímetro mojado (m) | 30.0015 | m |
|----------------------|---------|---|

$$Rh = \frac{ZY}{2\sqrt{1 + Z^2}}$$

| | | |
|-----------------------|--------|---|
| Radio hidráulico (Rh) | 0.0750 | m |
|-----------------------|--------|---|

$$Q = \frac{Ah}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S_o^{1/2}$$

| | | |
|---------------------------|--------|-------------------|
| Capacidad de la calle (Q) | 1.0694 | m ³ /s |
|---------------------------|--------|-------------------|

$$V = \frac{Q}{Ah}$$

| | | |
|-----------------------------|--------|-----|
| Velocidad de la calzada (V) | 0.4753 | m/s |
|-----------------------------|--------|-----|

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gY}}$$

| | | |
|----------------------|--------|----|
| Número de froude (F) | 0.5541 | -- |
|----------------------|--------|----|

| | | |
|---------------|------------|--|
| Tipo de flujo | Subcrítico | |
|---------------|------------|--|

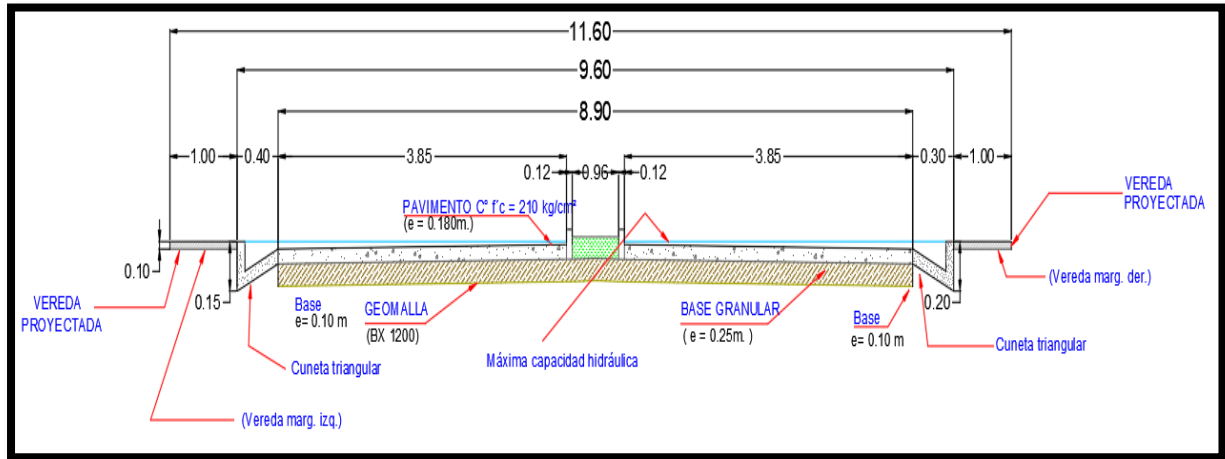
Fuente: Elaboración propia (2023).

Tramo 2: Jr. Bolognesi – Jr. Emancipación (Av. San Martín de Porres cuadra 5)

Figura 20

Sección transversal típica de la Av. San Martín de Porres entre Jr. Bolognesi y Jr.

Emancipación



Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 36

Características y cálculos lado derecho tramo Jr. Bolognesi - Jr. Emancipación

| Cuneta triangular | | |
|------------------------------------------|-------------------------------|---------------|
| Características típicas | | |
| Material | Acera y pavimento de concreto | |
| Características Geométricas | | |
| Párametro | Medida | Unidad |
| Ancho de calle o espejo del agua | 9.60 | m |
| Bombeo o pendiente transversal (Sx) | 0.01 | m/m |
| Z (1/ Sx) | 100 | 1/m |
| Coefficiente de rugosidad de Manning (n) | 0.014 | -- |
| Pendiente longitudinal de la calle (So) | 0.0013 | m/m |
| Profundidad de agua (Y) | 0.20 | m |
| Borde libre (Yd) | 0.15 | m |
| Cálculos hidráulicos | | |
| $Ah = Z \cdot Y^2$ | | |
| Área hidráulica (m2) | 4.0000 | m2 |

$$Pm = 2Y\sqrt{1 + Z^2}$$

Perímetro mojado (m) 40.0020 m

$$Rh = \frac{ZY}{2\sqrt{1 + Z^2}}$$

Radio hidráulico (Rh) 0.1000 m

$$Q = \frac{Ah}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S_o^{1/2}$$

Capacidad de la calle (Q) 2.2193 m³/s

$$V = \frac{Q}{Ah}$$

Velocidad de la calzada (V) 0.5548 m/s

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gY}}$$

Número de froude (F) 0.5602 --

Tipo de flujo Subcrítico

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 37

Características y cálculos lado izquierdo tramo Jr. Bolognesi - Jr. Emancipación

Cuneta triangular

Características típicas

Material Acera y pavimento de concreto

Características Geométricas

| Párametro | Medida | Unidad |
|------------------------------------------|--------|--------|
| Ancho de calle o espejo del agua | 9.60 | m |
| Bombeo o pendiente transversal (Sx) | 0.01 | m/m |
| Z (1/ Sx) | 100 | 1/m |
| Coefficiente de rugosidad de Manning (n) | 0.014 | -- |

| | | |
|-----------------------------------------|--------|-----|
| Pendiente longitudinal de la calle (So) | 0.0013 | m/m |
| Profundidad de agua (Y) | 0.15 | m |
| Borde libre (Yd) | 0.12 | m |

Cálculos hidráulicos

$$Ah = Z \cdot Y^2$$

| | | |
|-----------------------------------|--------|----------------|
| Área hidráulica (m ²) | 2.2500 | m ² |
|-----------------------------------|--------|----------------|

$$Pm = 2Y\sqrt{1 + Z^2}$$

| | | |
|----------------------|---------|---|
| Perímetro mojado (m) | 30.0015 | m |
|----------------------|---------|---|

$$Rh = \frac{ZY}{2\sqrt{1 + Z^2}}$$

| | | |
|-----------------------|--------|---|
| Radio hidráulico (Rh) | 0.0750 | m |
|-----------------------|--------|---|

$$Q = \frac{Ah}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S_o^{1/2}$$

| | | |
|---------------------------|--------|-------------------|
| Capacidad de la calle (Q) | 1.0305 | m ³ /s |
|---------------------------|--------|-------------------|

$$V = \frac{Q}{Ah}$$

| | | |
|-----------------------------|--------|-----|
| Velocidad de la calzada (V) | 0.4580 | m/s |
|-----------------------------|--------|-----|

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gY}}$$

| | | |
|----------------------|--------|----|
| Número de froude (F) | 0.5340 | -- |
|----------------------|--------|----|

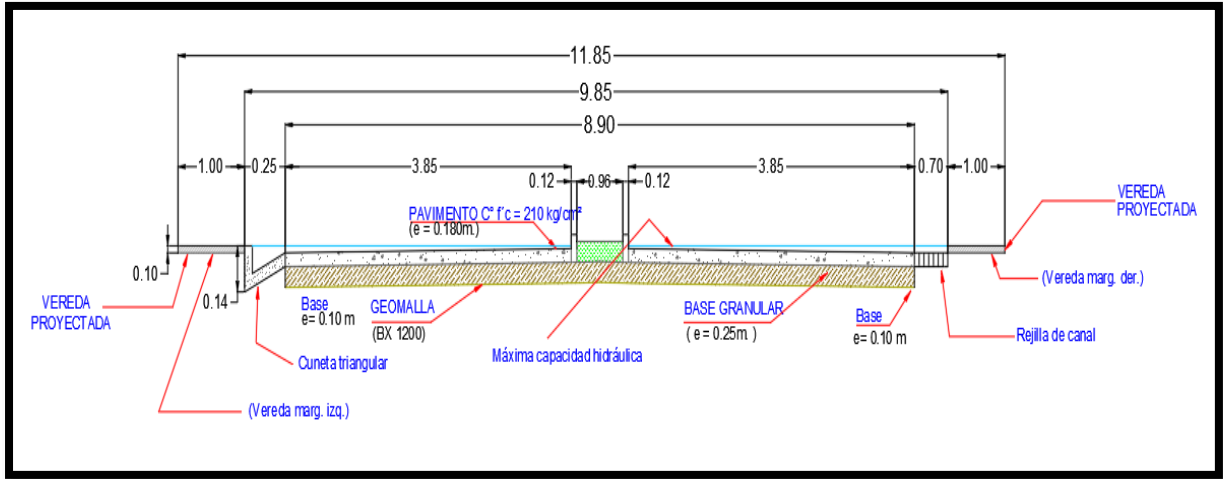
| | | |
|---------------|------------|--|
| Tipo de flujo | Subcrítico | |
|---------------|------------|--|

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tramo 3: Jr. Emancipación – Psje Las Américas (Av. San Martín de Porres cuadra 5)

Figura 21

Sección transversal típica de la Av. San Martín de Porres entre Jr. Emancipación y Psje. Las Américas



Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 38

Características y cálculos lado derecho tramo Jr. Emancipación – Psje. Las Américas

Canal de rejilla

Material **Características típicas** Acera y pavimento de concreto

Características Geométricas

| Párametro | Medida | Unidad |
|------------------------------------------|--------|--------|
| Ancho de calle o espejo del agua | 9.85 | m |
| Bombeo o pendiente transversal (Sx) | 0.01 | m/m |
| Z (1/ Sx) | 0.00 | 1/m |
| Coefficiente de rugosidad de Manning (n) | 0.014 | -- |
| Pendiente longitudinal de la calle (So) | 0.0020 | m/m |
| Profundidad de agua (Y) | 0.70 | m |
| Borde libre (Yd) | 0.25 | m |

Cálculos hidráulicos

$$Ah = B \cdot Y$$

Área hidráulica (m²) 6.8950 m²

$$Pm = B + 2Y$$

Perímetro mojado (m) 11.2500 m

$$Rh = \frac{B \cdot Y}{B + 2Y}$$

| | | |
|----------------------------------------------|------------|-------------------|
| Radio hidráulico (Rh) | 0.6129 | m |
| $Q = \frac{Ah}{n} \times Rh^{2/3} S_0^{1/2}$ | | |
| Capacidad de la calle (Q) | 5.8919 | m ³ /s |
| $V = \frac{Q}{Ah}$ | | |
| Velocidad de la calzada (V) | 2.3048 | m/s |
| $Fr = \frac{V}{\sqrt{gY}}$ | | |
| Número de froude (F) | 0.8795 | -- |
| Tipo de flujo | Subcrítico | |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 39

Características y cálculos lado izquierdo tramo Jr. Emancipación – Psje. Las Américas

Cuneta triangular

Características típicas

Material Acera y pavimento de concreto

Características Geométricas

| Párametro | Medida | Unidad |
|------------------------------------------|--------|--------|
| Ancho de calle o espejo del agua | 9.85 | m |
| Bombeo o pendiente transversal (Sx) | 0.01 | m/m |
| Z (1/ Sx) | 100 | 1/m |
| Coefficiente de rugosidad de Manning (n) | 0.014 | -- |
| Pendiente longitudinal de la calle (So) | 0.0020 | m/m |
| Profundidad de agua (Y) | 0.14 | m |
| Borde libre (Yd) | 0.10 | m |

Cálculos hidráulicos

$$Ah = Z \cdot Y^2$$

| | | |
|-----------------------------------|--------|----------------|
| Área hidráulica (m ²) | 1.9600 | m ² |
|-----------------------------------|--------|----------------|

$$Pm = 2Y\sqrt{1 + Z^2}$$

| | | |
|----------------------|---------|---|
| Perímetro mojado (m) | 28.0014 | m |
|----------------------|---------|---|

$$Rh = \frac{ZY}{2\sqrt{1 + Z^2}}$$

| | | |
|-----------------------|--------|---|
| Radio hidráulico (Rh) | 0.0700 | m |
|-----------------------|--------|---|

$$Q = \frac{Ah}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S_o^{1/2}$$

| | | |
|---------------------------|--------|-------------------|
| Capacidad de la calle (Q) | 1.0634 | m ³ /s |
|---------------------------|--------|-------------------|

$$V = \frac{Q}{Ah}$$

| | | |
|-----------------------------|--------|-----|
| Velocidad de la calzada (V) | 0.5425 | m/s |
|-----------------------------|--------|-----|

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gY}}$$

| | | |
|----------------------|--------|----|
| Número de froude (F) | 0.6547 | -- |
|----------------------|--------|----|

| | | |
|---------------|------------|--|
| Tipo de flujo | Subcrítico | |
|---------------|------------|--|

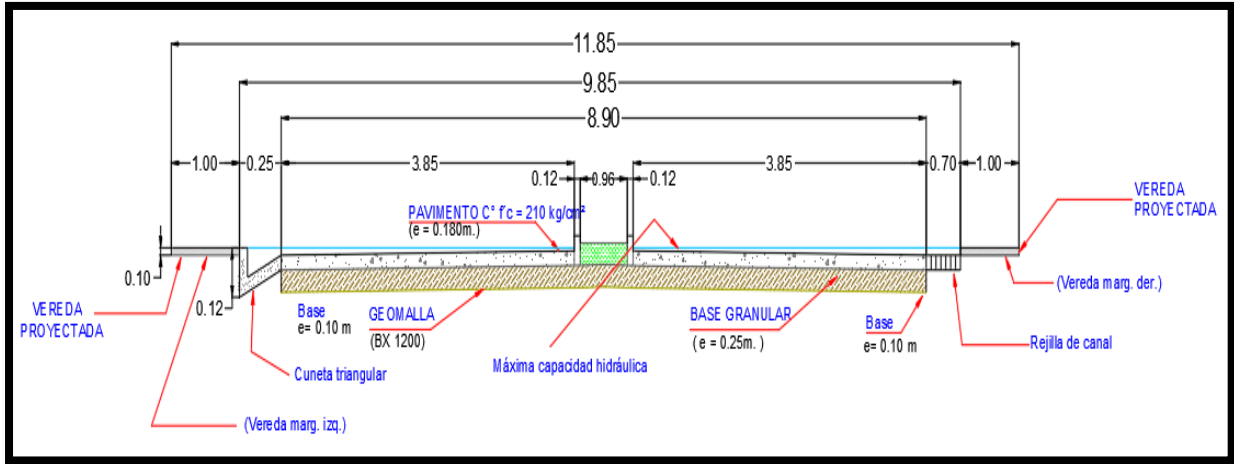
Fuente: Elaboración propia (2023).

Tramo 4: Psje Las Américas – Jr. Los Proceres (Av. San Martín de Porres cuadra 6)

Figura 22

Sección transversal típica de la Av. San Martín de Porres entre Psje. Las Américas – Jr. Los

Proceres



Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 40

Características y cálculos lado derecho tramo Jr. Emancipación – Psje. Las Américas

Canal de rejilla

Características típicas

Material

Acera y pavimento de concreto

Características Geométricas

| Párametro | Medida | Unidad |
|------------------------------------------------------|--------|--------|
| Ancho de calle o espejo del agua | 9.85 | m |
| Bombeo o pendiente transversal (S _x) | 0.01 | m/m |
| Z (1/ S _x) | 0.00 | 1/m |
| Coefficiente de rugosidad de Manning (n) | 0.014 | -- |
| Pendiente longitudinal de la calle (S _o) | 0.0019 | m/m |
| Profundidad de agua (Y) | 0.70 | m |
| Borde libre (Y _d) | 0.25 | m |

Cálculos hidráulicos

$$\text{Área hidráulica (m}^2\text{)} = \mathbf{Ah = B \cdot Y} = 6.8950 \quad \text{m}^2$$

$$\mathbf{Pm = B + 2Y}$$

$$\text{Perímetro mojado (m)} = 11.2500 \quad \text{m}$$

$$\mathbf{Rh = \frac{B \cdot Y}{B + 2Y}}$$

| | | |
|----------------------------------------------|------------|-------------------|
| Radio hidráulico (Rh) | 0.6129 | m |
| $Q = \frac{Ah}{n} \times Rh^{2/3} S_0^{1/2}$ | | |
| Capacidad de la calle (Q) | 5.4895 | m ³ /s |
| $V = \frac{Q}{Ah}$ | | |
| Velocidad de la calzada (V) | 2.2465 | m/s |
| $Fr = \frac{V}{\sqrt{gY}}$ | | |
| Número de froude (F) | 0.8573 | -- |
| Tipo de flujo | Subcrítico | |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 41

Características y cálculos lado izquierdo tramo Jr. Emancipación – Psje. Las Américas

Cuneta triangular

Características típicas

Material Acera y pavimento de concreto

Características Geométricas

| Parámetro | Medida | Unidad |
|------------------------------------------|--------|--------|
| Ancho de calle o espejo del agua | 9.85 | m |
| Bombeo o pendiente transversal (Sx) | 0.01 | m/m |
| Z (1/ Sx) | 100 | 1/m |
| Coefficiente de rugosidad de Manning (n) | 0.014 | -- |
| Pendiente longitudinal de la calle (So) | 0.0019 | m/m |
| Profundidad de agua (Y) | 0.12 | m |
| Borde libre (Yd) | 0.10 | m |

Cálculos hidráulicos

| | | |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------|
| | $Ah = Z \cdot Y^2$ | |
| Área hidráulica (m ²) | 1.4400 | m ² |
| | $Pm = 2Y\sqrt{1 + Z^2}$ | |
| Perímetro mojado (m) | 24.0012 | m |
| | $Rh = \frac{ZY}{2\sqrt{1 + Z^2}}$ | |
| Radio hidráulico (Rh) | 0.0600 | m |
| | $Q = \frac{Ah}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S_o^{1/2}$ | |
| Capacidad de la calle (Q) | 0.6871 | m ³ /s |
| | $V = \frac{Q}{Ah}$ | |
| Velocidad de la calzada (V) | 0.4772 | m/s |
| | $Fr = \frac{V}{\sqrt{gY}}$ | |
| Número de froude (F) | 0.6220 | -- |
| Tipo de flujo | Subcrítico | |

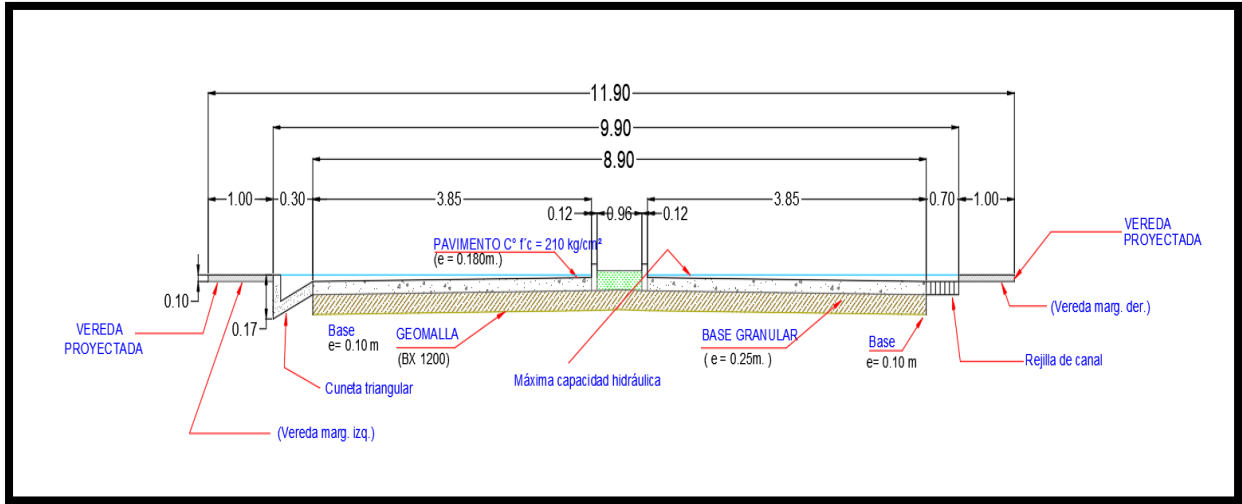
Fuente: Elaboración propia (2023).

Tramo 5: Jr. Los Proceres – Jr. Diego Ferre (Av. San Martín de Porres cuadra 6)

Figura 23

Sección transversal típica de la Av. San Martín de Porres entre Jr. Los Proceres – Jr. Diego

Ferre



Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 42

Características y cálculos lado derecho tramo Jr. Los Proceres – Jr. Diego Ferre

Canal de rejilla

Características típicas

Material Acera y pavimento de concreto

Características Geométricas

| Párametro | Medida | Unidad |
|------------------------------------------|--------|--------|
| Ancho de calle o espejo del agua | 9.90 | m |
| Bombeo o pendiente transversal (Sx) | 0.01 | m/m |
| Z (1/ Sx) | 0.00 | 1/m |
| Coefficiente de rugosidad de Manning (n) | 0.014 | -- |
| Pendiente longitudinal de la calle (So) | 0.0018 | m/m |
| Profundidad de agua (Y) | 0.70 | m |
| Borde libre (Yd) | 0.25 | m |

Cálculos hidráulicos

Área hidráulica (m²) $A_h = B \cdot Y$ 6.9300 m

$P_m = B + 2Y$

| | | |
|----------------------|---------|---|
| Perímetro mojado (m) | 11.3000 | m |
|----------------------|---------|---|

$$Rh = \frac{B \times Y}{B + 2Y}$$

Radio hidráulico (Rh) 0.6133 m

$$Q = \frac{Ah}{n} \times Rh^{2/3} S_0^{1/2}$$

Capacidad de la calle (Q) 5.1593 m³/s

$$V = \frac{Q}{Ah}$$

Velocidad de la calzada (V) 2.1875 m/s

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gY}}$$

Número de froude (F) 0.8348 --

Tipo de flujo Subcrítico

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 43

Características y cálculos lado izquierdo tramo Jr. Los Proceres – Jr. Diego Ferre

Cuneta triangular

Características típicas

Material Acera y pavimento de concreto

Características Geométricas

| Párametro | Medida | Unidad |
|------------------------------------------|--------|--------|
| Ancho de calle o espejo del agua | 9.90 | m |
| Bombeo o pendiente transversal (Sx) | 0.01 | m/m |
| Z (1/ Sx) | 100 | 1/m |
| Coefficiente de rugosidad de Manning (n) | 0.014 | -- |
| Pendiente longitudinal de la calle (So) | 0.0018 | m/m |
| Profundidad de agua (Y) | 0.17 | m |
| Borde Libre (Yd) | 0.10 | m |

Cálculos hidráulicos

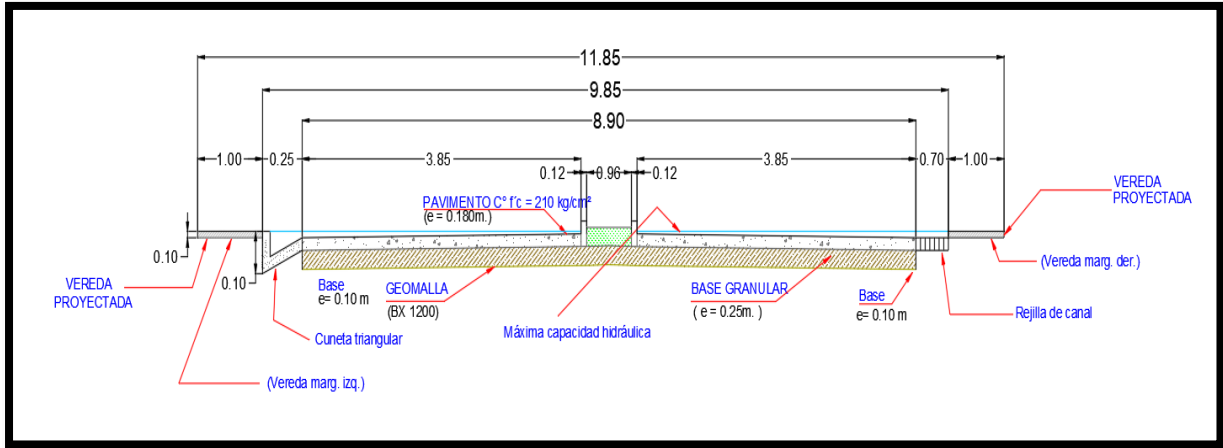
| | | | |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------|--|-------------------|
| | $Ah = Z \cdot Y^2$ | | |
| Área hidráulica (m ²) | 2.8900 | | m ² |
| | $Pm = 2Y\sqrt{1 + Z^2}$ | | |
| Perímetro mojado (m) | 34.0017 | | m |
| | $Rh = \frac{ZY}{2\sqrt{1 + Z^2}}$ | | |
| Radio hidráulico (Rh) | 0.0850 | | m |
| | $Q = \frac{Ah}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S_o^{1/2}$ | | |
| Capacidad de la calle (Q) | 1.6931 | | m ³ /s |
| | $V = \frac{Q}{Ah}$ | | |
| Velocidad de la calzada (V) | 0.5858 | | m/s |
| | $Fr = \frac{V}{\sqrt{gY}}$ | | |
| Número de froude (F) | 0.6415 | | -- |
| Tipo de flujo | Subcrítico | | |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tramo 6: Jr. Diego Ferre – Psje. San Antonio (Av. San Martín de Porres cuadra 6)

Figura 24

Sección transversal típica de la Av. San Martín de Porres entre Jr. Diego Ferre – Psje. San Antonio



Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 44

Características y cálculos lado derecho tramo Jr. Diego Ferre – Psje. San Antonio

Canal de rejilla

Características típicas

Material Acera y pavimento de concreto

Características Geométricas

| Párametro | Medida | Unidad |
|------------------------------------------|--------|--------|
| Ancho de calle o espejo del agua | 9.85 | m |
| Bombeo o pendiente transversal (Sx) | 0.01 | m/m |
| Z (1/ Sx) | 0.00 | 1/m |
| Coefficiente de rugosidad de Manning (n) | 0.014 | -- |
| Pendiente longitudinal de la calle (So) | 0.0020 | m/m |
| Profundidad de agua (Y) | 0.70 | m |
| Borde libre (Yd) | 0.25 | m |

Cálculos hidráulicos

$$Ah = B \cdot Y$$

Área hidráulica (m²) 6.8950 m²

$$Pm = B + 2Y$$

Perímetro mojado (m) 11.2500 m

$$Rh = \frac{B \times Y}{B + 2Y}$$

Radio hidráulico (Rh) 0.6129 m

$$Q = \frac{Ah}{n} \times Rh^{2/3} S_0^{1/2}$$

Capacidad de la calle (Q) 4.8919 m³/s

$$V = \frac{Q}{Ah}$$

Velocidad de la calzada (V) 2.3048 m/s

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gY}}$$

Número de froude (F) 0.8795 --

Tipo de flujo Subcrítico

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 45

Características y cálculos lado izquierdo tramo Jr. Diego Ferre – Psje. San Antonio

Cuneta triangular

Características típicas

Material Acera y pavimento de concreto

Características Geométricas

| Párametro | Medida | Unidad |
|------------------------------------------|--------|--------|
| Ancho de calle o espejo del agua | 9.85 | m |
| Bombeo o pendiente transversal (Sx) | 0.01 | m/m |
| Z (1/ Sx) | 100 | 1/m |
| Coefficiente de rugosidad de Manning (n) | 0.014 | -- |
| Pendiente longitudinal de la calle (So) | 0.0020 | m/m |
| Profundidad de agua (Y) | 0.10 | m |
| Borde Libre (Yd) | 0.12 | m |

Cálculos hidráulicos

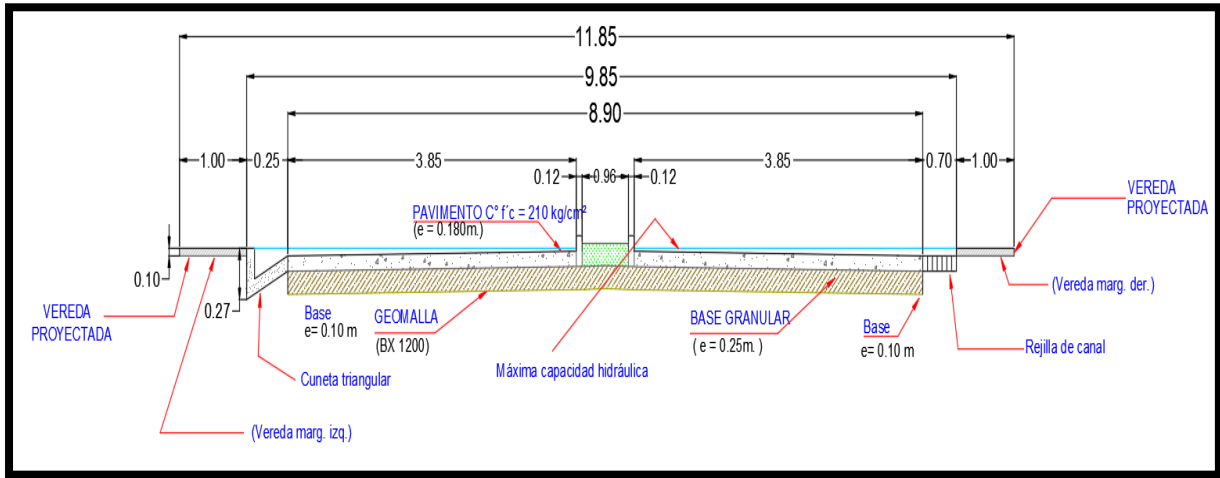
| | | |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------|
| | $Ah = Z \cdot Y^2$ | |
| Área hidráulica (m ²) | 1.0000 | m ² |
| | $Pm = 2Y\sqrt{1 + Z^2}$ | |
| Perímetro mojado (m) | 20.0010 | m |
| | $Rh = \frac{ZY}{2\sqrt{1 + Z^2}}$ | |
| Radio hidráulico (Rh) | 0.0500 | m |
| | $Q = \frac{Ah}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S_o^{1/2}$ | |
| Capacidad de la calle (Q) | 0.4335 | m ³ /s |
| | $V = \frac{Q}{Ah}$ | |
| Velocidad de la calzada (V) | 0.4335 | m/s |
| | $Fr = \frac{V}{\sqrt{gY}}$ | |
| Número de froude (F) | 0.6190 | -- |
| Tipo de flujo | Subcrítico | |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tramo 7: Psje San Antonio – Av. Argentina (Av. San Martín de Porres cuadra 7)

Figura 25

Sección transversal típica de la Av. San Martín de Porres entre Psje. San Antonio – Jr.



Argentina

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 46

Características y cálculos lado derecho tramo Psje. San Antonio – Jr. Argentina

Canal de rejilla

Características típicas

Material: Acera y pavimento de concreto

Características Geométricas

| Párametro | Medida | Unidad |
|------------------------------------------|--------|--------|
| Ancho de calle o espejo del agua | 9.85 | m |
| Bombeo o pendiente transversal (Sx) | 0.01 | m/m |
| Z (1/ Sx) | 0.00 | 1/m |
| Coefficiente de rugosidad de Manning (n) | 0.014 | -- |
| Pendiente longitudinal de la calle (So) | 0.0011 | m/m |
| Profundidad de agua (Y) | 0.70 | m |
| Borde libre (Yd) | 0.25 | m |

Cálculos hidráulicos

$$Ah = B \cdot Y$$

Área hidráulica (m²): 6.8950 m²

$$Pm = B + 2Y$$

| | | |
|----------------------------------------------|------------|-------------------|
| Perímetro mojado (m) | 11.2500 | m |
| $Rh = \frac{B \times Y}{B + 2Y}$ | | |
| Radio hidráulico (Rh) | 0.6129 | m |
| $Q = \frac{Ah}{n} \times Rh^{2/3} S_0^{1/2}$ | | |
| Capacidad de la calle (Q) | 2.7857 | m ³ /s |
| $V = \frac{Q}{Ah}$ | | |
| Velocidad de la calzada (V) | 1.7093 | m/s |
| $Fr = \frac{V}{\sqrt{gY}}$ | | |
| Número de froude (F) | 0.6523 | -- |
| Tipo de flujo | Subcrítico | |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 47

Características y cálculos lado izquierdo tramo Psje. San Antonio – Jr. Argentina

Cuneta triangular

Características típicas

Material Acera y pavimento de concreto

Características Geométricas

| Párametro | Medida | Unidad |
|------------------------------------------|---------------|---------------|
| Ancho de calle o espejo del agua | 9.85 | m |
| Bombeo o pendiente transversal (Sx) | 0.01 | m/m |
| Z (1/ Sx) | 100 | 1/m |
| Coefficiente de rugosidad de Manning (n) | 0.014 | -- |
| Pendiente longitudinal de la calle (So) | 0.0011 | m/m |
| Profundidad de agua (Y) | 0.27 | m |

Borde Libre (Yd) 0.15 m

Cálculos hidráulicos

$$Ah = Z \cdot Y^2$$

Área hidráulica (m2) 7.2900 m2

$$Pm = 2Y\sqrt{1 + Z^2}$$

Perímetro mojado (m) 54.0027 m

$$Rh = \frac{ZY}{2\sqrt{1 + Z^2}}$$

Radio hidráulico (Rh) 0.1350 m

$$Q = \frac{Ah}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S_o^{1/2}$$

Capacidad de la calle (Q) 1.5447 m3/s

$$V = \frac{Q}{Ah}$$

Velocidad de la calzada (V) 0.6234 m/s

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gY}}$$

Número de froude (F) 0.5417 --

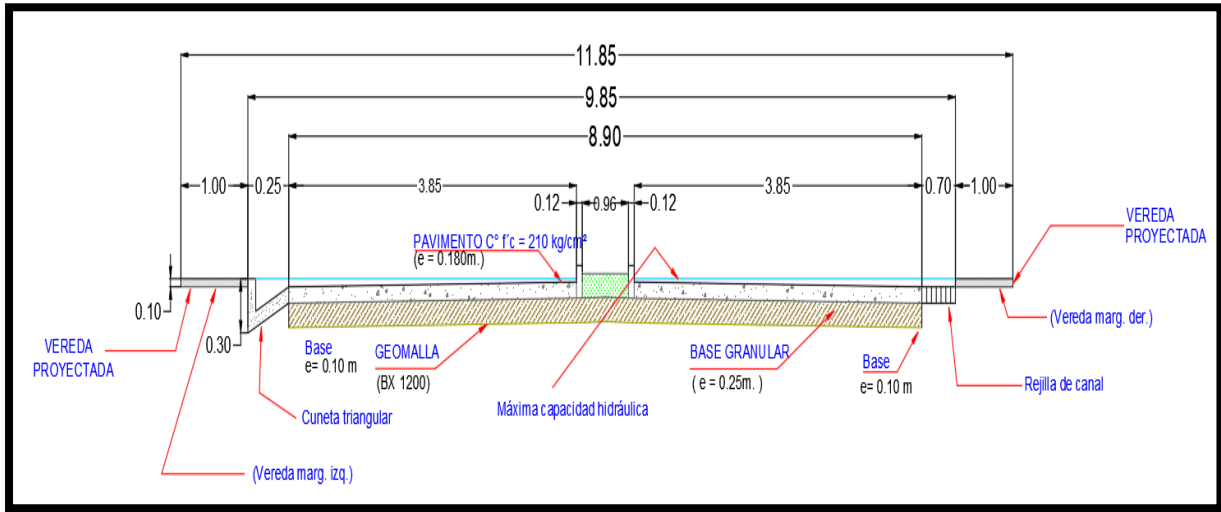
Tipo de flujo Subcrítico

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tramo 8: Av. Argentina – Jr. Santa Rosa (Av. San Martín de Porres cuadra 8)

Figura 26

Sección transversal típica de la Av. San Martín de Porres entre Psje. Real – Jr. Santa Rosa



Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 48

Características y cálculos lado derecho tramo Jr. Argentina – Jr. Santa Rosa

Canal de rejilla

Características típicas

Material

Acera y pavimento de concreto

Características Geométricas

| Párametro | Medida | Unidad |
|------------------------------------------|---------------|---------------|
| Ancho de calle o espejo del agua | 9.85 | m |
| Bombeo o pendiente transversal (Sx) | 0.01 | m/m |
| Z (1/ Sx) | 0.00 | 1/m |
| Coefficiente de rugosidad de Manning (n) | 0.014 | -- |
| Pendiente longitudinal de la calle (So) | 0.0012 | m/m |
| Profundidad de agua (Y) | 0.70 | m |
| Borde libre (Yd) | 0.25 | m |

Cálculos hidráulicos

$$Ah = B \times Y$$

| | | |
|-----------------------------------|--------|----------------|
| Área hidráulica (m ²) | 6.8950 | m ² |
|-----------------------------------|--------|----------------|

$$Pm = B + 2Y$$

| | | |
|----------------------|---------|---|
| Perímetro mojado (m) | 11.2500 | m |
|----------------------|---------|---|

$$R_h = \frac{B \times Y}{B + 2Y}$$

Radio hidráulico (Rh) 0.6129 m

$$Q = \frac{A_h}{n} \times R_h^{2/3} S_0^{1/2}$$

Capacidad de la calle (Q) 2.3098 m³/s

$$V = \frac{Q}{A_h}$$

Velocidad de la calzada (V) 1.7853 m/s

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gY}}$$

Número de froude (F) 0.6813 --

Tipo de flujo Subcrítico

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 49

Características y cálculos lado izquierdo tramo Jr. Argentina – Jr. Santa Rosa

Cuneta triangular

Características típicas

Material Acera y pavimento de concreto

Características Geométricas

| Párametro | Medida | Unidad |
|------------------------------------------|--------|--------|
| Ancho de calle o espejo del agua | 9.85 | m |
| Bombeo o pendiente transversal (Sx) | 0.01 | m/m |
| Z (1/ Sx) | 100 | 1/m |
| Coefficiente de rugosidad de Manning (n) | 0.014 | -- |
| Pendiente longitudinal de la calle (So) | 0.0012 | m/m |
| Profundidad de agua (Y) | 0.30 | m |
| Borde Libre (Yd) | 0.15 | m |

Cálculos hidráulicos

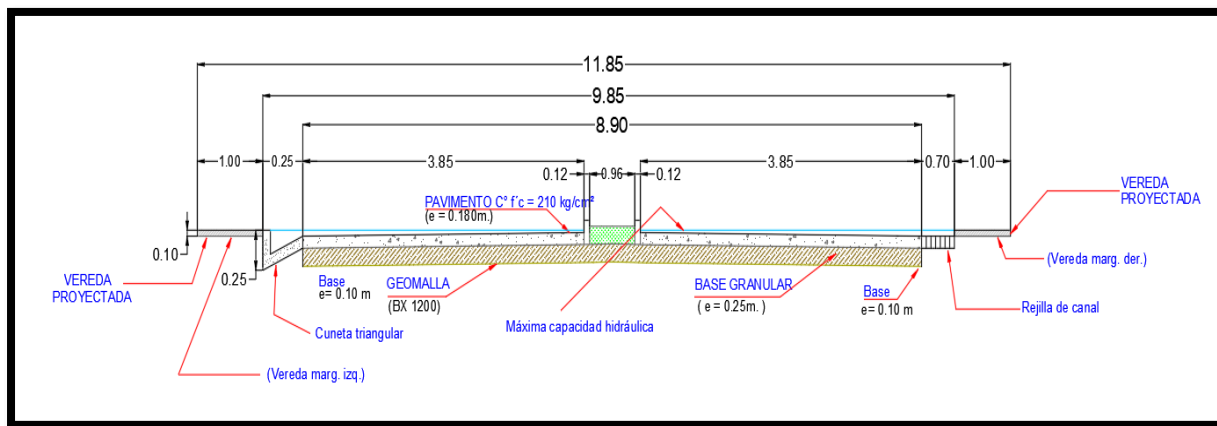
| | | |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------|
| | $Ah = Z \cdot Y^2$ | |
| Área hidráulica (m ²) | 9.0000 | m ² |
| | $Pm = 2Y\sqrt{1 + Z^2}$ | |
| Perímetro mojado (m) | 60.0030 | m |
| | $Rh = \frac{ZY}{2\sqrt{1 + Z^2}}$ | |
| Radio hidráulico (Rh) | 0.1500 | m |
| | $Q = \frac{Ah}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S_o^{1/2}$ | |
| Capacidad de la calle (Q) | 1.2866 | m ³ /s |
| | $V = \frac{Q}{Ah}$ | |
| Velocidad de la calzada (V) | 0.6985 | m/s |
| | $Fr = \frac{V}{\sqrt{gY}}$ | |
| Número de froude (F) | 0.5758 | -- |
| Tipo de flujo | Subcrítico | |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tramo 9: Jr. Santa Rosa – Jr. Misión Japonesa (Av. San Martín de Porres cuadra 8)

Figura 27

Sección transversal típica de la Av. San Martín de Porres entre Jr. Santa Rosa – Jr. Misión Japonesa



Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 50

Características y cálculos lado derecho tramo Jr. Santa Rosa – Jr. Misión Japonesa

Canal de rejilla

Características típicas

Material Acera y pavimento de concreto

Características Geométricas

| Párametro | Medida | Unidad |
|------------------------------------------|--------|--------|
| Ancho de calle o espejo del agua | 9.85 | m |
| Bombeo o pendiente transversal (Sx) | 0.01 | m/m |
| Z (1/ Sx) | 0.00 | 1/m |
| Coefficiente de rugosidad de Manning (n) | 0.014 | -- |
| Pendiente longitudinal de la calle (So) | 0.0015 | m/m |
| Profundidad de agua (Y) | 0.70 | m |
| Borde libre (Yd) | 0.25 | m |

Cálculos hidráulicos

$$Ah = B \times Y$$

Área hidráulica (m²) 6.8950 m²

$$Pm = B + 2Y$$

Perímetro mojado (m) 11.2500 m

$$Rh = \frac{B \times Y}{B + 2Y}$$

| | | |
|----------------------------------------------|------------|-------------------|
| Radio hidráulico (Rh) | 0.6129 | m |
| $Q = \frac{Ah}{n} \times Rh^{2/3} S_0^{1/2}$ | | |
| Capacidad de la calle (Q) | 3.7628 | m ³ /s |
| $V = \frac{Q}{Ah}$ | | |
| Velocidad de la calzada (V) | 1.9961 | m/s |
| $Fr = \frac{V}{\sqrt{gY}}$ | | |
| Número de froude (F) | 0.7617 | -- |
| Tipo de flujo | Subcrítico | |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 51

Características y cálculos lado izquierdo tramo Jr. Santa Rosa – Jr. Misión Japonesa

Cuneta triangular

Características típicas

Material Acera y pavimento de concreto

Características Geométricas

| Párametro | Medida | Unidad |
|------------------------------------------|--------|--------|
| Ancho de calle o espejo del agua | 9.85 | m |
| Bombeo o pendiente transversal (Sx) | 0.01 | m/m |
| Z (1/ Sx) | 100 | 1/m |
| Coefficiente de rugosidad de Manning (n) | 0.014 | -- |
| Pendiente longitudinal de la calle (So) | 0.0015 | m/m |
| Profundidad de agua (Y) | 0.25 | m |
| Borde Libre (Yd) | 0.12 | m |

Cálculos hidráulicos

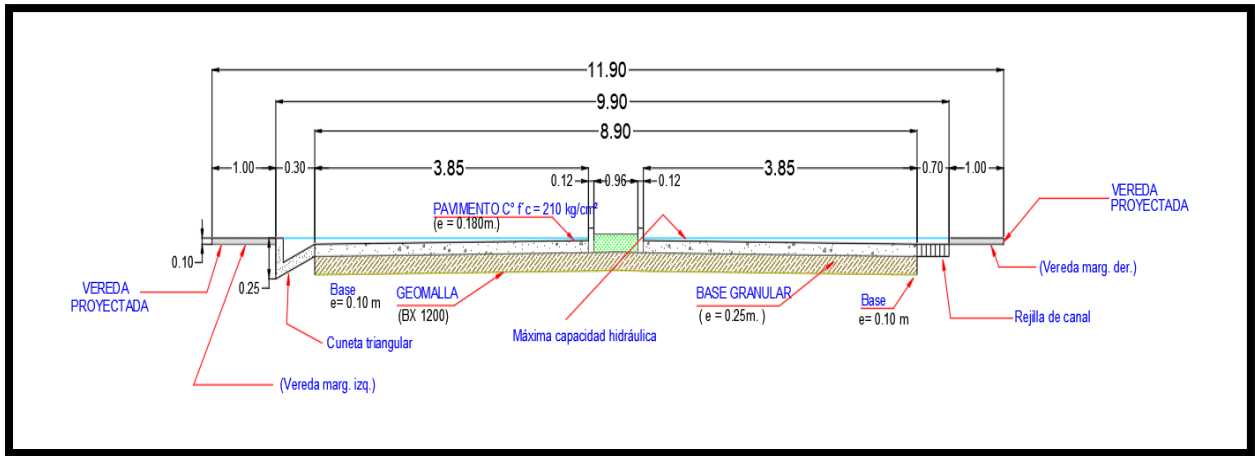
| | | |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------|
| | $Ah = Z \cdot Y^2$ | |
| Área hidráulica (m ²) | 1.4400 | m ² |
| | $Pm = 2Y\sqrt{1 + Z^2}$ | |
| Perímetro mojado (m) | 24.0012 | m |
| | $Rh = \frac{ZY}{2\sqrt{1 + Z^2}}$ | |
| Radio hidráulico (Rh) | 0.0600 | m |
| | $Q = \frac{Ah}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S_o^{1/2}$ | |
| Capacidad de la calle (Q) | 0.6105 | m ³ /s |
| | $V = \frac{Q}{Ah}$ | |
| Velocidad de la calzada (V) | 0.4240 | m/s |
| | $Fr = \frac{V}{\sqrt{gY}}$ | |
| Número de froude (F) | 0.5526 | -- |
| Tipo de flujo | Subcrítico | |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tramo 10: Jr. Misión Japonesa – Jr. La Historia (Av. San Martín de Porres cuadra 9)

Figura 28

Sección transversal típica de la Av. San Martín de Porres Jr. Misión Japonesa – Jr. La Historia



Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 52

Características y cálculos lado derecho tramo Jr. Misión Japonesa – Jr. La Historia

Canal de rejilla

Características típicas

Material Acera y pavimento de concreto

Características Geométricas

| Párametro | Medida | Unidad |
|------------------------------------------|--------|--------|
| Ancho de calle o espejo del agua | 9.90 | m |
| Bombeo o pendiente transversal (Sx) | 0.01 | m/m |
| Z (1/ Sx) | 0.00 | 1/m |
| Coefficiente de rugosidad de Manning (n) | 0.014 | -- |
| Pendiente longitudinal de la calle (So) | 0.0016 | m/m |
| Profundidad de agua (Y) | 0.70 | m |
| Borde libre (Yd) | 0.25 | m |

Cálculos hidráulicos

$$Ah = B \cdot Y$$

Área hidráulica (m²) 6.9300 m²

$$Pm = B + 2Y$$

| | | |
|------------------------------------------------|------------|-------------------|
| Perímetro mojado (m) | 11.3000 | m |
| $R_h = \frac{B \times Y}{B + 2Y}$ | | |
| Radio hidráulico (Rh) | 0.6133 | m |
| $Q = \frac{A_h}{n} \times R_h^{2/3} S_0^{1/2}$ | | |
| Capacidad de la calle (Q) | 4.2923 | m ³ /s |
| $V = \frac{Q}{A_h}$ | | |
| Velocidad de la calzada (V) | 2.0624 | m/s |
| $Fr = \frac{V}{\sqrt{gY}}$ | | |
| Número de froude (F) | 0.7185 | -- |
| Tipo de flujo | Subcrítico | |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 53

Características y cálculos lado izquierdo tramo Jr. Misión Japonesa – Jr. La Historia

Cuneta triangular

Características típicas

Material Acera y pavimento de concreto

Características Geométricas

| Párametro | Medida | Unidad |
|------------------------------------------|--------|--------|
| Ancho de calle o espejo del agua | 9.90 | m |
| Bombeo o pendiente transversal (Sx) | 0.01 | m/m |
| Z (1/ Sx) | 100 | 1/m |
| Coefficiente de rugosidad de Manning (n) | 0.014 | -- |
| Pendiente longitudinal de la calle (So) | 0.0016 | m/m |
| Profundidad de agua (Y) | 0.25 | m |
| Borde Libre (Yd) | 0.12 | m |

Cálculos hidráulicos

$$Ah = Z \cdot Y^2$$

Área hidráulica (m²) 6.2500 m²

$$Pm = 2Y\sqrt{1 + Z^2}$$

Perímetro mojado (m) 50.0025 m

$$Rh = \frac{ZY}{2\sqrt{1 + Z^2}}$$

Radio hidráulico (Rh) 0.1250 m

$$Q = \frac{Ah}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S_o^{1/2}$$

Capacidad de la calle (Q) 1.4641 m³/s

$$V = \frac{Q}{Ah}$$

Velocidad de la calzada (V) 0.7143 m/s

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gY}}$$

Número de froude (F) 0.6450 --

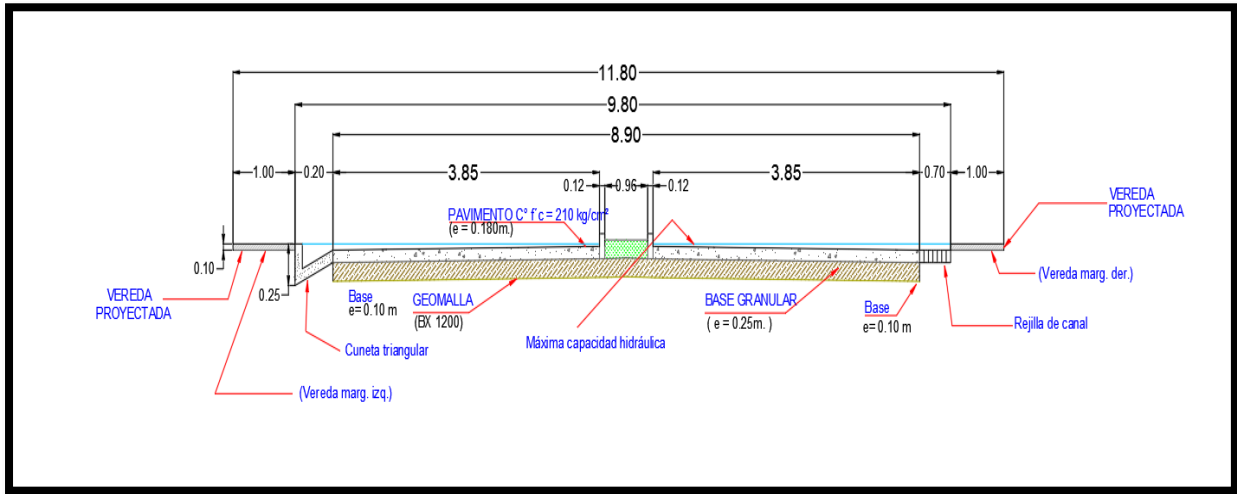
Tipo de flujo Subcrítico

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tramo 11: Jr. La Historia – Psje. El Imperio (Av. San Martín de Porres cuadra 10)

Figura 29

Sección transversal típica de la Av. San Martín de Porres Jr. La Historia – Psje. El Imperio



Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 54

Características y cálculos lado derecho tramo Jr. La Historia – Psje. El Imperio

Canal de rejilla

Características típicas

Material Acera y pavimento de concreto

Características Geométricas

| Parámetro | Medida | Unidad |
|------------------------------------------|---------------|---------------|
| Ancho de calle o espejo del agua | 9.80 | m |
| Bombeo o pendiente transversal (Sx) | 0.01 | m/m |
| Z (1/ Sx) | 0.00 | 1/m |
| Coefficiente de rugosidad de Manning (n) | 0.014 | -- |
| Pendiente longitudinal de la calle (So) | 0.0013 | m/m |
| Profundidad de agua (Y) | 0.70 | m |
| Borde libre (Yd) | 0.25 | m |

Cálculos hidráulicos

$$A_h = B \cdot Y$$

Área hidráulica (m²) 6.8600 m

$$P_m = B + 2Y$$

Perímetro mojado (m) 11.2000 m

| | | |
|----------------------------------------------|------------|-------------------|
| Radio hidráulico (Rh) | 0.6125 | m |
| $Q = \frac{Ah}{n} \times Rh^{2/3} S_0^{1/2}$ | | |
| Capacidad de la calle (Q) | 2.7420 | m ³ /s |
| $V = \frac{Q}{Ah}$ | | |
| Velocidad de la calzada (V) | 1.8574 | m/s |
| $Fr = \frac{V}{\sqrt{gY}}$ | | |
| Número de froude (F) | 0.7088 | -- |
| Tipo de flujo | Subcrítico | |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 55

Características y cálculos lado izquierdo tramo Jr. La Historia – Psje. El Imperio

Cuneta triangular

Características típicas

Material Acera y pavimento de concreto

Características Geométricas

| Párametro | Medida | Unidad |
|------------------------------------------|--------|--------|
| Ancho de calle o espejo del agua | 9.80 | m |
| Bombeo o pendiente transversal (Sx) | 0.01 | m/m |
| Z (1/ Sx) | 100 | 1/m |
| Coefficiente de rugosidad de Manning (n) | 0.014 | -- |
| Pendiente longitudinal de la calle (So) | 0.0013 | m/m |
| Profundidad de agua (Y) | 0.25 | m |
| Borde Libre (Yd) | 0.16 | m |

Cálculos hidráulicos

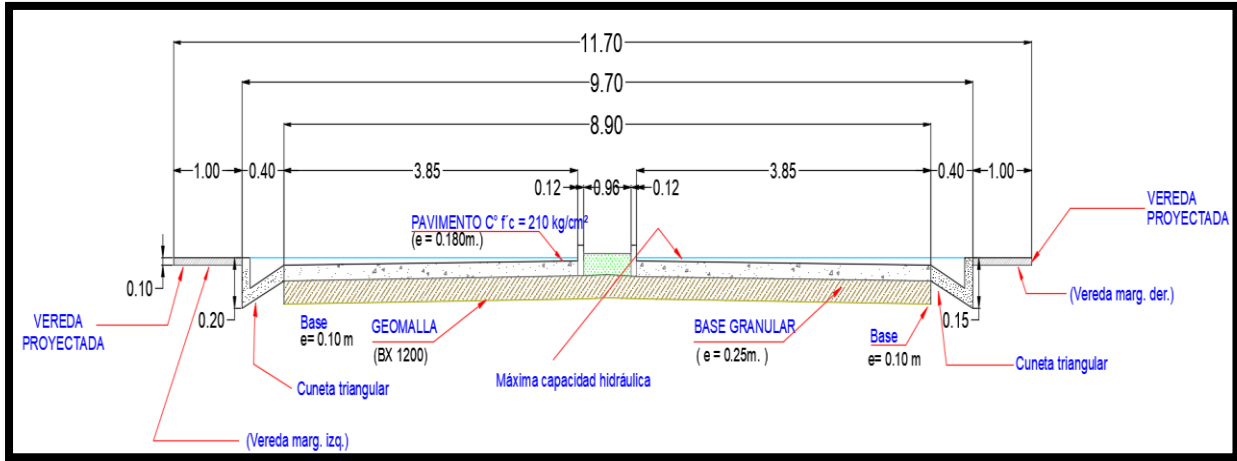
| | | |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------|
| | $Ah = Z \cdot Y^2$ | |
| Área hidráulica (m ²) | 6.2500 | m ² |
| | $Pm = 2Y\sqrt{1 + Z^2}$ | |
| Perímetro mojado (m) | 50.0025 | m |
| | $Rh = \frac{ZY}{2\sqrt{1 + Z^2}}$ | |
| Radio hidráulico (Rh) | 0.1250 | m |
| | $Q = \frac{Ah}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S_o^{1/2}$ | |
| Capacidad de la calle (Q) | 1.0239 | m ³ /s |
| | $V = \frac{Q}{Ah}$ | |
| Velocidad de la calzada (V) | 0.6438 | m/s |
| | $Fr = \frac{V}{\sqrt{gY}}$ | |
| Número de froude (F) | 0.5814 | -- |
| Tipo de flujo | Subcrítico | |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tramo 12: Psje. El Imperio – Jr. Los Conquistadores (Av. San Martín de Porres cuadra 11)

Figura 30

Sección transversal típica de la Av. San Martín de Porres Psje. El Imperio – Jr. Los Conquistadores



Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 56

Características y cálculos lado derecho tramo Psje. El Imperio – Jr. Los Conquistadores

Cuneta triangular

Características típicas

Material Acera y pavimento de concreto

Características Geométricas

| Párametro | Medida | Unidad |
|------------------------------------------|--------|--------|
| Ancho de calle o espejo del agua | 9.70 | m |
| Bombeo o pendiente transversal (Sx) | 0.01 | m/m |
| Z (1/ Sx) | 100 | 1/m |
| Coefficiente de rugosidad de Manning (n) | 0.014 | -- |
| Pendiente longitudinal de la calle (So) | 0.0015 | m/m |
| Profundidad de agua (Y) | 0.15 | m |
| Borde libre (Yd) | 0.12 | m |

Cálculos hidráulicos

$$Ah = B \cdot Y$$

Área hidráulica (m²) 2.2500 m²

$$Pm = B + 2Y$$

Perímetro mojado (m) 30.0015 m

$$R_h = \frac{B \times Y}{B + 2Y}$$

Radio hidráulico (Rh) 0.0750 m

$$Q = \frac{A_h}{n} \times R_h^{2/3} S_0^{1/2}$$

Capacidad de la calle (Q) 1.1069 m³/s

$$V = \frac{Q}{A_h}$$

Velocidad de la calzada (V) 0.4920 m/s

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gY}}$$

Número de froude (F) 0.5736 --

Tipo de flujo Subcrítico

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 57

Características y cálculos lado izquierdo tramo Psje. El Imperio – Jr. Los Conquistadores

Cuneta triangular

Material **Características típicas** Acera y pavimento de concreto

Características Geométricas

| Párametro | Medida | Unidad |
|------------------------------------------|---------------|---------------|
| Ancho de calle o espejo del agua | 9.70 | m |
| Bombeo o pendiente transversal (Sx) | 0.01 | m/m |
| Z (1/ Sx) | 100 | 1/m |
| Coefficiente de rugosidad de Manning (n) | 0.014 | -- |
| Pendiente longitudinal de la calle (So) | 0.0015 | m/m |
| Profundidad de agua (Y) | 0.20 | m |
| Borde Libre (Yd) | 0.12 | m |

Cálculos hidráulicos

$$Ah = Z \cdot Y^2$$

Área hidráulica (m²) 4.0000 m²

$$Pm = 2Y\sqrt{1 + Z^2}$$

Perímetro mojado (m) 40.0020 m

$$Rh = \frac{ZY}{2\sqrt{1 + Z^2}}$$

Radio hidráulico (Rh) 0.1000 m

$$Q = \frac{Ah}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S_o^{1/2}$$

Capacidad de la calle (Q) 1.3839 m³/s

$$V = \frac{Q}{Ah}$$

Velocidad de la calzada (V) 0.5960 m/s

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gY}}$$

Número de froude (F) 0.6017 --

Tipo de flujo Subcrítico

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 58

Evaluación de la capacidad hidráulica del sistema de drenaje pluvial lado derecho de la Av. San Martín de Porres.

| TRAMO | SUBCUENCAS URBANAS | CAPACIDAD HIDRÁULICA (m3/s) | TIEMPO DE RETORNO | | | |
|----------|--------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|
| | | | 2 años | 5 años | 10 años | 25 años |
| Tramo 1 | Subc: 01,02 | 4.6116 m3/s | 1.15 m3/s | 1.43 m3/s | 1.67 m3/s | 2.07 m3/s |
| Tramo 2 | Subc: 02,03 | 2.2193 m3/s | 1.24 m3/s | 1.55 m3/s | 1.81 m3/s | 2.24 m3/s |
| Tramo 3 | Subc: 03,04 | 5.8919 m3/s | 1.16 m3/s | 1.45 m3/s | 1.69 m3/s | 2.10 m3/s |
| Tramo 4 | Subc: 04,05 | 5.4895 m3/s | 1.01 m3/s | 1.26 m3/s | 1.47 m3/s | 1.83 m3 s |
| Tramo 5 | Subc: 05,06 | 5.1593 m3/s | 0.88 m3/s | 1.10 m3/s | 1.29 m3/s | 1.60 m3/s |
| Tramo 6 | Subc: 06,07 | 4.8919 m3/s | 0.92 m3/s | 1.14 m3/s | 1.34 m3/s | 1.66 m3/s |
| Tramo 7 | Subc: 07,08 | 2.7857 m3/s | 0.94 m3/s | 1.17 m3/s | 1.37 m3/s | 1.69 m3/s |
| Tramo 8 | Subc: 08,09 | 1.7853 m3/s | 0.82 m3/s | 1.03 m3/s | 1.20 m3/s | 1.49 m3/s |
| Tramo 9 | Subc: 09,10 | 3.7628 m3/s | 1.19 m3/s | 1.48 m3/s | 1.73 m3/s | 2.15 m3/s |
| Tramo 10 | Subc: 10,11 | 4.2923 m3/s | 1.63 m3/s | 2.03 m3/s | 2.37 m3/s | 2.94 m3/s |
| Tramo 11 | Subc: 11,12 | 2.7420 m3/s | 1.42 m3/s | 1.77 m3/s | 2.06 m3/s | 2.56 m3/s |
| Tramo 12 | Subc: 12,13 | 1.1069 m3/s | 1.58 m3/s | 1.97 m3/s | 2.31 m3/s | 2.86 m3/s |

Fuente: *Elaboración propia (2023).*

En la tabla 58 se puede apreciar lo siguiente:

- La capacidad hidráulica del sistema de drenaje del tramo 1 es suficiente para evacuar todo el caudal de escorrentía de los tiempos de retorno de 2,5,10 y 25 años.
- La capacidad hidráulica del sistema de drenaje del tramo 2 es suficiente para evacuar todo el caudal de escorrentía de los tiempos de retorno de 2,5 y 10; a excepción del tiempo de retorno de 25 años donde el caudal de diseño excede a la capacidad hidráulica del sistema de drenaje.
- La capacidad hidráulica del sistema de drenaje del tramo 3 es suficiente para evacuar todo el caudal de escorrentía de los tiempos de retorno de 2,5,10 y 25 años.
- La capacidad hidráulica del sistema de drenaje del tramo 4 es suficiente para evacuar todo el caudal de escorrentía de los tiempos de retorno de 2,5,10 y 25 años.
- La capacidad hidráulica del sistema de drenaje del tramo 5 es suficiente para evacuar todo el caudal de escorrentía de los tiempos de retorno de 2,5,10 y 25 años.
- La capacidad hidráulica del sistema de drenaje del tramo 6 es suficiente para evacuar todo el caudal de escorrentía de los tiempos de retorno de 2,5,10 y 25 años.
- La capacidad hidráulica del sistema de drenaje del tramo 7 es suficiente para evacuar todo el caudal de escorrentía de los tiempos de retorno de 2,5,10 y 25 años.
- La capacidad hidráulica del sistema de drenaje del tramo 8 es suficiente para evacuar todo el caudal de escorrentía de los tiempos de retorno de 2,5,10 y 25 años.
- La capacidad hidráulica del sistema de drenaje del tramo 9 es suficiente para evacuar todo el caudal de escorrentía de los tiempos de retorno de 2,5,10 y 25 años.
- La capacidad hidráulica del sistema de drenaje del tramo 10 es suficiente para evacuar todo el caudal de escorrentía de los tiempos de retorno de 2,5,10 y 25 años.
- La capacidad hidráulica del sistema de drenaje del tramo 11 es suficiente para evacuar todo el caudal de escorrentía de los tiempos de retorno de 2,5,10 y 25 años.
- La capacidad hidráulica del sistema de drenaje del tramo 12 no es suficiente para evacuar todo el caudal de escorrentía de los tiempos de retorno de 2,5,10 y 25 años.

Tabla 59

Evaluación de la capacidad hidráulica del sistema de drenaje pluvial lado izquierdo de la Av. San Martín de Porres.

| TRAMO | SUBCUENCAS URBANAS | CAPACIDAD HIDRÁULICA (m3/s) | TIEMPO DE RETORNO | | | |
|----------|--------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|
| | | | 2 años | 5 años | 10 años | 25 años |
| Tramo 1 | Subc: 01,02 | 1.0694 m3/s | 1.15 m3/s | 1.43 m3/s | 1.67 m3/s | 2.07 m3/s |
| Tramo 2 | Subc: 02,03 | 1.0305 m3/s | 1.24 m3/s | 1.55 m3/s | 1.81 m3/s | 2.24 m3/s |
| Tramo 3 | Subc: 03,04 | 1.0634 m3/s | 1.16 m3/s | 1.45 m3/s | 1.69 m3/s | 2.10 m3/s |
| Tramo 4 | Subc: 04,05 | 0.6871 m3/s | 1.01 m3/s | 1.26 m3/s | 1.47 m3/s | 1.83 m3 s |
| Tramo 5 | Subc: 05,06 | 1.6931 m3/s | 0.88 m3/s | 1.10 m3/s | 1.29 m3/s | 1.60 m3/s |
| Tramo 6 | Subc: 06,07 | 0.4335 m3/s | 0.92 m3/s | 1.14 m3/s | 1.34 m3/s | 1.66 m3/s |
| Tramo 7 | Subc: 07,08 | 1.5447 m3/s | 0.94 m3/s | 1.17 m3/s | 1.37 m3/s | 1.69 m3/s |
| Tramo 8 | Subc: 08,09 | 1.2866 m3/s | 0.82 m3/s | 1.03 m3/s | 1.20 m3/s | 1.49 m3/s |
| Tramo 9 | Subc: 09,10 | 0.6105 m3/s | 1.19 m3/s | 1.48 m3/s | 1.73 m3/s | 2.15 m3/s |
| Tramo 10 | Subc: 10,11 | 1.4641 m3/s | 1.63 m3/s | 2.03 m3/s | 2.37 m3/s | 2.94 m3/s |
| Tramo 11 | Subc: 11,12 | 1.0239 m3/s | 1.42 m3/s | 1.77 m3/s | 2.06 m3/s | 2.56 m3/s |
| Tramo 12 | Subc: 12,13 | 1.3839 m3/s | 1.58 m3/s | 1.97 m3/s | 2.31 m3/s | 2.86 m3/s |

Fuente: *Elaboración propia (2023).*

En la tabla 59 se puede apreciar lo siguiente:

- La capacidad hidráulica del sistema de drenaje del tramo 1 no es suficiente para evacuar todo el caudal de escorrentía de los tiempos de retorno de 2,5,10 y 25 años.
- La capacidad hidráulica del sistema de drenaje del tramo 2 no es suficiente para evacuar todo el caudal de escorrentía de los tiempos de retorno de 2,5,10 y 25 años.
- La capacidad hidráulica del sistema de drenaje del tramo 3 no es suficiente para evacuar todo el caudal de escorrentía de los tiempos de retorno de 2,5,10 y 25 años.
- La capacidad hidráulica del sistema de drenaje del tramo 4 no es suficiente para evacuar todo el caudal de escorrentía de los tiempos de retorno de 2,5,10 y 25 años.
- La capacidad hidráulica del sistema de drenaje del tramo 5 es suficiente para evacuar todo el caudal de escorrentía de los tiempos de retorno de 2,5,10 y 25 años.
- La capacidad hidráulica del sistema de drenaje del tramo 6 no es suficiente para evacuar todo el caudal de escorrentía de los tiempos de retorno de 2,5,10 y 25 años.
- La capacidad hidráulica del sistema de drenaje del tramo 7 es suficiente para evacuar todo el caudal de escorrentía de los tiempos de retorno de 2,5 y 10; a excepción del tiempo de retorno de 25 años donde el caudal de diseño excede a la capacidad hidráulica del sistema de drenaje.
- La capacidad hidráulica del sistema de drenaje del tramo 8 es suficiente para evacuar todo el caudal de escorrentía de los tiempos de retorno de 2,5 y 10; a excepción del tiempo de retorno de 25 años donde el caudal de diseño excede a la capacidad hidráulica del sistema de drenaje.
- La capacidad hidráulica del sistema de drenaje del tramo 9 no es suficiente para evacuar todo el caudal de escorrentía de los tiempos de retorno de 2,5,10 y 25 años.
- La capacidad hidráulica del sistema de drenaje del tramo 10 no es suficiente para evacuar todo el caudal de escorrentía de los tiempos de retorno de 2,5,10 y 25 años.
- La capacidad hidráulica del sistema de drenaje del tramo 11 no es suficiente para evacuar todo el caudal de escorrentía de los tiempos de retorno de 2,5,10 y 25 años.
- La capacidad hidráulica del sistema de drenaje del tramo 12 no es suficiente para evacuar todo el caudal de escorrentía de los tiempos de retorno de 2,5,10 y 25 años.

3.1.2. Evaluación con respecto a las pendientes y velocidades

Tabla 60

Pendientes y velocidades con respecto a los criterios de la norma técnica CE.040 lado derecho de la Av. San Martín de Porres

| Evaluación con respecto a los criterios de la norma Técnica CE.040 Drenaje Pluvial del reglamento nacional de edificaciones | | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------|-----------------------------------------------|-----------|----------------------------------------|-------------------|
| Tramo | Criterios | | | | | |
| | Pendiente Longitudinal ($S_l \geq 0.5\%$) | | Pendiente transversal ($S_t \geq 2.5\%$) | | Velocidad ($V < 2.5 \text{ m/s}$) | |
| | Valor (m/m) | Condición | Valor (m/m) | Condición | Valor (m/s) | Condición |
| Av. Atahualpa – Jr. Bolognesi | 0.0014 | No cumple | 0.01 | No cumple | 1.9445 | Veloc. no erosiva |
| Jr. Bolognesi – Jr. Emancipación | 0.0013 | No cumple | 0.01 | No cumple | 0.5548 | Veloc. no erosiva |
| Jr. Emancipación – Psje. Las Américas | 0.0020 | No cumple | 0.01 | No cumple | 2.3048 | Veloc. no erosiva |
| Psje. Las Américas – Jr. Los Proceres | 0.0019 | No cumple | 0.01 | No cumple | 2.2465 | Veloc. no erosiva |
| Jr. Los proceres – Jr. Diego Ferre | 0.0018 | No cumple | 0.01 | No cumple | 2.1875 | Veloc. no erosiva |
| Jr. Diego Ferré – Psje San Antonio | 0.0020 | No cumple | 0.01 | No cumple | 2.3048 | Veloc. no erosiva |
| Psje. San Antonio – Jr. Argentina | 0.0011 | No cumple | 0.01 | No cumple | 1.7093 | Veloc. no erosiva |
| Jr. Argentina – Jr. Santa Rosa | 0.0012 | No cumple | 0.01 | No cumple | 1.7853 | Veloc. no erosiva |
| Jr. Santa Rosa – Jr. Misión Japonesa | 0.0015 | No cumple | 0.01 | No cumple | 1.9961 | Veloc. no erosiva |
| Jr. Misión Japonesa – Jr. La Historia | 0.0016 | No cumple | 0.01 | No cumple | 2.0624 | Veloc. no erosiva |
| Jr. La Historia – Psje. El Imperio | 0.0013 | No cumple | 0.01 | No cumple | 1.8574 | Veloc. no erosiva |
| Psje. El imperio – Jr. Los Conquistadores | 0.0015 | No cumple | 0.01 | No cumple | 0.4920 | Veloc. no erosiva |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 61

Pendientes y velocidades con respecto a los criterios de la norma técnica CE.040 lado Izquierdo de la Av. San Martín de Porres

| Evaluación con respecto a los criterios de la norma Técnica CE.040 Drenaje Pluvial del reglamento nacional de edificaciones | | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------|-----------------------------------------------|-----------|----------------------------------------|-------------------|
| Tramo | Criterios | | | | | |
| | Pendiente Longitudinal ($S_l \geq 0.5\%$) | | Pendiente transversal ($S_t \geq 2.5\%$) | | Velocidad ($V < 2.5 \text{ m/s}$) | |
| | Valor (m/m) | Condición | Valor (m/m) | Condición | Valor (m/s) | Condición |
| Av. Atahualpa – Jr. Bolognesi | 0.0014 | No cumple | 0.01 | No cumple | 0.4753 | Veloc. no erosiva |
| Jr. Bolognesi – Jr. Emancipación | 0.0013 | No cumple | 0.01 | No cumple | 0.4580 | Veloc. no erosiva |
| Jr. Emancipación – Psje. Las Américas | 0.0020 | No cumple | 0.01 | No cumple | 0.5425 | Veloc. no erosiva |
| Psje. Las Américas – Jr. Los Proceres | 0.0019 | No cumple | 0.01 | No cumple | 0.4772 | Veloc. no erosiva |
| Jr. Los proceres – Jr. Diego Ferre | 0.0018 | No cumple | 0.01 | No cumple | 0.5858 | Veloc. no erosiva |
| Jr. Diego Ferré – Psje San Antonio | 0.0020 | No cumple | 0.01 | No cumple | 0.4335 | Veloc. no erosiva |
| Psje. San Antonio – Jr. Argentina | 0.0011 | No cumple | 0.01 | No cumple | 0.6234 | Veloc. no erosiva |
| Jr. Argentina – Jr. Santa Rosa | 0.0012 | No cumple | 0.01 | No cumple | 0.6985 | Veloc. no erosiva |
| Jr. Santa Rosa – Jr. Misión Japonesa | 0.0015 | No cumple | 0.01 | No cumple | 0.6105 | Veloc. no erosiva |
| Jr. Misión Japonesa – Jr. La Historia | 0.0016 | No cumple | 0.01 | No cumple | 0.7145 | Veloc. no erosiva |
| Jr. La Historia – Psje. El Imperio | 0.0013 | No cumple | 0.01 | No cumple | 0.6438 | Veloc. no erosiva |
| Psje. El imperio – Jr. Los Conquistadores | 0.0015 | No cumple | 0.01 | No cumple | 0.5960 | Veloc. no erosiva |

Fuente: Elaboración propia (2023).

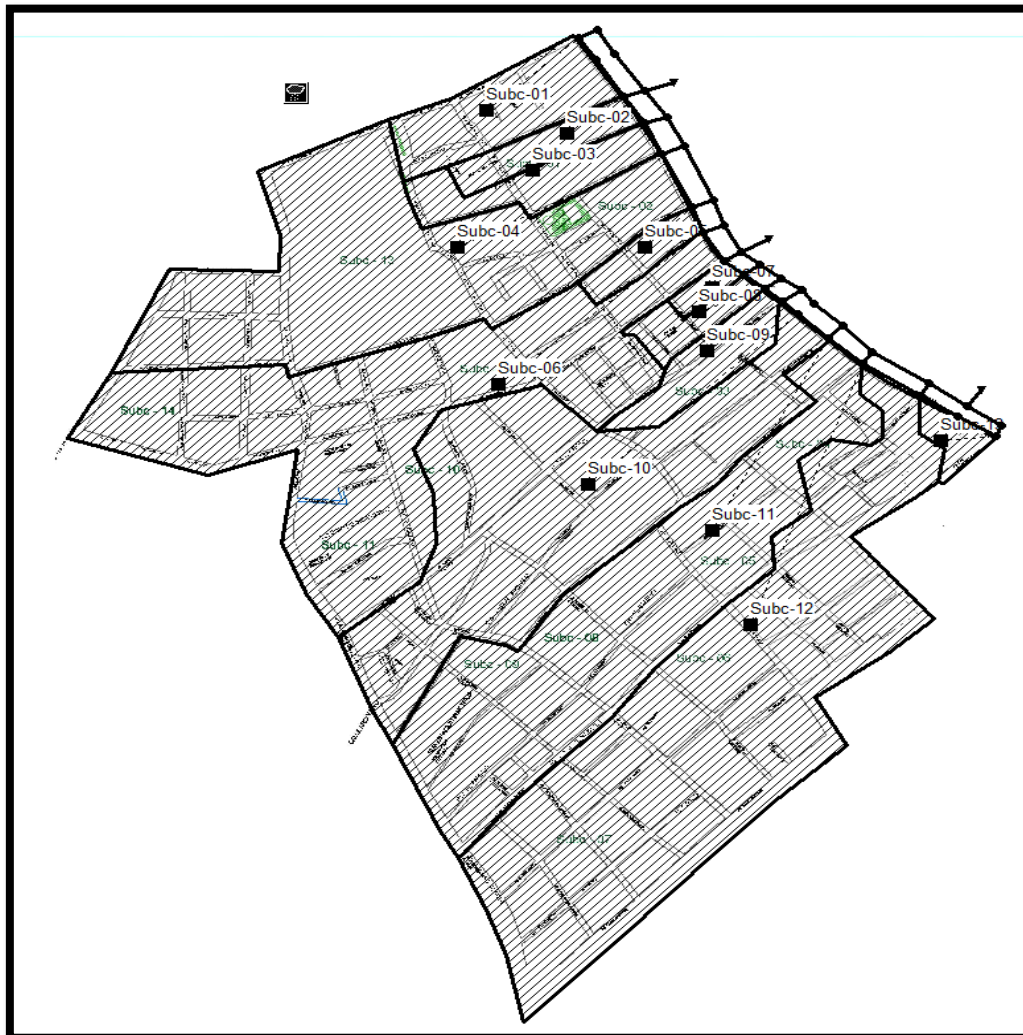
3.2. Resultados del modelamiento hidráulico con SWMM

Luego analizaremos los elementos del sistema de drenaje pluvial urbano (tipos de conducción, ubicación de buzones, dimensiones, subcuencas y pluviómetro), para lo cual se procedió a ingresar los datos y realizar la modelación en el software SWMM.

Ingreso de datos

Figura 31

Esquema del sistema de drenaje pluvial en SWMM de la Av. San Martín de Porres, comprendida entre las intersecciones de la Av. Atahualpa y el Jr. Los conquistadores.



Fuente: Elaboración propia (2023).

Para la esquematización de las alcantarillas y colectores de drenaje se tienen las siguientes tablas con los datos de la Av. San Martín de Porres en el margen derecho e izquierdo.

Tabla 62

Tramo lado derecho de la AV. San Martín de Porres

| Nudo | Calle | Cota de Tapa | H | Cota de Fondo | Pendiente | Tramo | Longitud |
|------|--------------------|--------------|------|---------------|-----------|-----------|----------|
| P01 | Bolognesi | 2695.56 | 0.45 | 2695.11 | 0.0488 | -P01 | 20.00 |
| P02 | | 2694.95 | 0.45 | 2694.50 | 0.0101 | P01 – P02 | 60.00 |
| P03 | Emancipación | 2694.60 | 0.45 | 2694.15 | 0.0051 | P02 – P03 | 70.00 |
| P04 | Las Américas | 2694.33 | 0.45 | 2693.88 | 0.0044 | P03 – P04 | 60.00 |
| P05 | Los proceres | 2694.02 | 0.45 | 2693.57 | 0.0044 | P04 – P05 | 70.00 |
| P06 | Diego Ferré | 2693.84 | 0.45 | 2693.39 | 0.0018 | P05 – P06 | 100.00 |
| P07 | San Antonio | 2693.64 | 0.45 | 2693.19 | 0.0041 | P06 – P07 | 50.00 |
| P08 | Argentina | 2693.39 | 0.45 | 2692.94 | 0.0041 | P07 – P08 | 60.00 |
| P09 | Psje Las Flores | 2693.57 | 0.45 | 2693.12 | -0.0036 | P08 – P09 | 50.00 |
| P10 | Psje Real | 2693.72 | 0.45 | 2693.27 | -0.0036 | P09 – P10 | 40.00 |
| P11 | Santa Rosa | 2693.76 | 0.45 | 2693.31 | -0.0015 | P10 – P11 | 30.00 |
| P12 | | 2693.82 | 0.45 | 2693.37 | -0.0015 | P11 – P12 | 40.00 |
| P13 | Misión Japonesa | 2693.45 | 0.45 | 2693.00 | 0.0053 | P12 – P13 | 70.00 |
| P14 | Historia | 2693.08 | 0.45 | 2692.63 | 0.0053 | P13 – P14 | 70.00 |
| P15 | El imperio | 2692.45 | 0.45 | 2692.00 | 0.0063 | P14 – P15 | 100.00 |
| P16 | | 2691.91 | 0.45 | 2691.46 | 0.0063 | P15 – P16 | 85.00 |
| P17 | Los Conquistadores | 2692.03 | 0.45 | 2691.58 | -0.0021 | P16 – P17 | 55.00 |

Fuente: *Elaboración propia (2023).*

La tabla 62 muestra cada uno de los nodos del lado derecho de la Av. San Martín de Porres, donde se descarga la escorrentía superficial, la cota de fondo de los nodos es la misma que de los conductos, y la altura se considera desde la cota de fondo hasta el nivel de la superficie por donde ingresan las precipitaciones.

Tabla 63

Tramo lado izquierdo de la AV. San Martín de Porres

| Nodo | Calle | Cota de Tapa | H | Cota de Fondo | Pendiente | Tramo | Longitud |
|------|--------------------|--------------|------|---------------|-----------|-----------|----------|
| P18 | Bolognesi | 2695.56 | 0.75 | 2694.81 | 0.0488 | -P18 | 20.00 |
| P19 | | 2694.95 | 0.75 | 2694.20 | 0.0101 | P18 – P19 | 60.00 |
| P20 | Emancipación | 2694.60 | 0.75 | 2693.85 | 0.0051 | P19 – P20 | 70.00 |
| P21 | Las Américas | 2694.33 | 0.75 | 2693.58 | 0.0044 | P20 – P21 | 60.00 |
| P22 | Los proceres | 2694.02 | 0.75 | 2693.27 | 0.0044 | P21 – P22 | 70.00 |
| P23 | Diego Ferré | 2693.84 | 0.75 | 2693.09 | 0.0018 | P22 – P23 | 100.00 |
| P24 | San Antonio | 2693.64 | 0.75 | 2692.89 | 0.0041 | P23 – P24 | 50.00 |
| P25 | Argentina | 2693.39 | 0.75 | 2692.64 | 0.0041 | P24 – P25 | 60.00 |
| P26 | Psje Las Florez | 2693.57 | 0.75 | 2692.82 | -0.0036 | P25 – P26 | 50.00 |
| P27 | Psje Real | 2693.72 | 0.75 | 2692.97 | -0.0036 | P26 – P27 | 40.00 |
| P28 | Santa Rosa | 2693.76 | 0.75 | 2693.01 | -0.0015 | P27 – P28 | 30.00 |
| P29 | | 2693.82 | 0.75 | 2693.07 | -0.0015 | P28 – P29 | 40.00 |
| P30 | Misión Japonesa | 2693.45 | 0.75 | 2692.70 | 0.0053 | P29 – P30 | 70.00 |
| P31 | Historia | 2693.08 | 0.75 | 2692.33 | 0.0053 | P30 – P31 | 70.00 |
| P32 | El imperio | 2692.45 | 0.75 | 2691.70 | 0.0063 | P31 – P32 | 100.00 |
| P33 | | 2691.91 | 0.75 | 2691.16 | 0.0063 | P32 – P33 | 85.00 |
| P34 | Los Conquistadores | 2691.80 | 0.75 | 2691.05 | 0.0021 | P33 – P34 | 55.00 |

Fuente: Elaboración propia (2023).

La tabla 63 muestra cada uno de los nodos del lado izquierdo de la Av. San Martín de Porres, donde se descarga la escorrentía superficial, la cota de fondo de los nodos es la misma que de los conductos, y la altura se considera desde la cota de fondo hasta el nivel de la superficie por donde ingresan las precipitaciones.

A continuación, en la tabla 64 se tienen los datos principales de las cuencas urbanas que serán introducidos en el software SWMM.

Tabla 64

Datos de las cuencas urbanas

| Nombre | Nodo de Salida de flujo | Área (Ha) | Ancho (m) | Longitud de flujo (m) | % área impermeab. | n Imperm. | n Permeab. |
|-----------|-------------------------|-----------|-----------|-----------------------|-------------------|-----------|------------|
| SUBC – 01 | P01 | 4.236 | 96.472 | 439.127 | 90 | 0.015 | 0.12 |
| SUBC – 02 | P03 | 1.744 | 53.458 | 326.288 | 92 | 0.015 | 0.14 |
| SUBC – 03 | P04 | 2.765 | 53.777 | 514.131 | 95 | 0.015 | 0.10 |
| SUBC – 04 | P05 | 19.322 | 249.630 | 774.025 | 92 | 0.013 | 0.10 |
| SUBC – 05 | P06 | 1.196 | 44.013 | 271.629 | 92 | 0.015 | 0.13 |
| SUBC – 06 | P07 | 22.168 | 285.500 | 776.475 | 92 | 0.012 | 0.10 |
| SUBC – 07 | P08 | 0.505 | 25.000 | 201.969 | 92 | 0.015 | 0.13 |
| SUBC – 08 | P10 | 1.257 | 41.115 | 305.663 | 92 | 0.015 | 0.10 |
| SUBC – 09 | P11 | 2.296 | 62.205 | 369.173 | 92 | 0.015 | 0.10 |
| SUBC – 10 | P12 | 19.602 | 298.450 | 656.778 | 92 | 0.015 | 0.10 |
| SUBC – 11 | P13 | 18.681 | 252.860 | 738.785 | 92 | 0.013 | 0.10 |
| SUBC – 12 | P14 | 28.993 | 326.360 | 888.361 | 96 | 0.012 | 0.10 |
| SUBC – 13 | P17 | 0.814 | 41.720 | 195.050 | 92 | 0.015 | 0.13 |

Fuente: *Elaboración propia (2023).*

En la tabla 65 tenemos los datos principales de los conductos que representan las alcantarillas y los colectores, los cuales serán introducidos en el software SWMM.

Tabla 65

Datos de los conductos que representan las alcantarillas y colectores

| Conducto | Entrada | Salida | n | Forma | h | b |
|----------|---------|--------|-------|-------------|------|------|
| Cond-01 | P01 | P02 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.45 | 0.30 |
| Cond-02 | P02 | P03 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.45 | 0.30 |
| Cond-03 | P03 | P04 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.45 | 0.30 |
| Cond-04 | P04 | P05 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.45 | 0.30 |
| Cond-05 | P05 | P06 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.45 | 0.30 |
| Cond-06 | P06 | P07 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.45 | 0.30 |
| Cond-07 | P07 | P08 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.45 | 0.30 |
| Cond-08 | P08 | P09 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.45 | 0.30 |
| Cond-09 | P09 | P10 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.45 | 0.30 |
| Cond-10 | P10 | P11 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.45 | 0.30 |
| Cond-11 | P11 | P12 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.45 | 0.30 |
| Cond-12 | P12 | P13 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.45 | 0.30 |
| Cond-13 | P13 | P14 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.45 | 0.30 |
| Cond-14 | P14 | P15 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.45 | 0.30 |
| Cond-15 | P15 | P16 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.45 | 0.30 |
| Cond-16 | P16 | P17 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.45 | 0.30 |

| | | | | | | |
|---------|-----|-----|-------|-------------|------|------|
| Cond-17 | P18 | P19 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.75 | 0.50 |
| Cond-18 | P19 | P20 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.75 | 0.50 |
| Cond-19 | P20 | P21 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.75 | 0.50 |
| Cond-20 | P21 | P22 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.75 | 0.50 |
| Cond-21 | P22 | P23 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.75 | 0.50 |
| Cond-22 | P23 | P24 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.75 | 0.50 |
| Cond-23 | P24 | P25 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.75 | 0.50 |
| Cond-24 | P25 | P26 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.75 | 0.50 |
| Cond-25 | P26 | P27 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.75 | 0.50 |
| Cond-26 | P27 | P28 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.75 | 0.50 |
| Cond-27 | P28 | P29 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.75 | 0.50 |
| Cond-28 | P29 | P30 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.75 | 0.50 |
| Cond-29 | P30 | P31 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.75 | 0.50 |
| Cond-30 | P31 | P32 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.75 | 0.50 |
| Cond-31 | P32 | P33 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.75 | 0.50 |
| Cond-32 | P33 | P34 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.75 | 0.50 |
| Cond-33 | P01 | P18 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.75 | 0.50 |
| Cond-34 | P03 | P20 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.75 | 0.50 |
| Cond-35 | P04 | P21 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.75 | 0.50 |
| Cond-36 | P05 | P22 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.75 | 0.50 |
| Cond-37 | P06 | P23 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.75 | 0.50 |
| Cond-38 | P07 | P24 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.75 | 0.50 |
| Cond-39 | P08 | P25 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.75 | 0.50 |
| Cond-40 | P09 | P26 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.75 | 0.50 |
| Cond-41 | P10 | P27 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.75 | 0.50 |
| Cond-42 | P11 | P28 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.75 | 0.50 |
| Cond-43 | P13 | P30 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.75 | 0.50 |
| Cond-44 | P14 | P31 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.75 | 0.50 |
| Cond-45 | P15 | P32 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.75 | 0.50 |
| Cond-46 | P17 | P34 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.75 | 0.50 |
| Cond-47 | P20 | V-1 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.90 | 0.90 |
| Cond-48 | P25 | V-2 | 0.014 | RECT_CLOSED | 1.50 | 1.50 |
| Cond-49 | P33 | V-3 | 0.014 | RECT_CLOSED | 0.60 | 0.60 |

Fuente: *Elaboración propia (2023).*

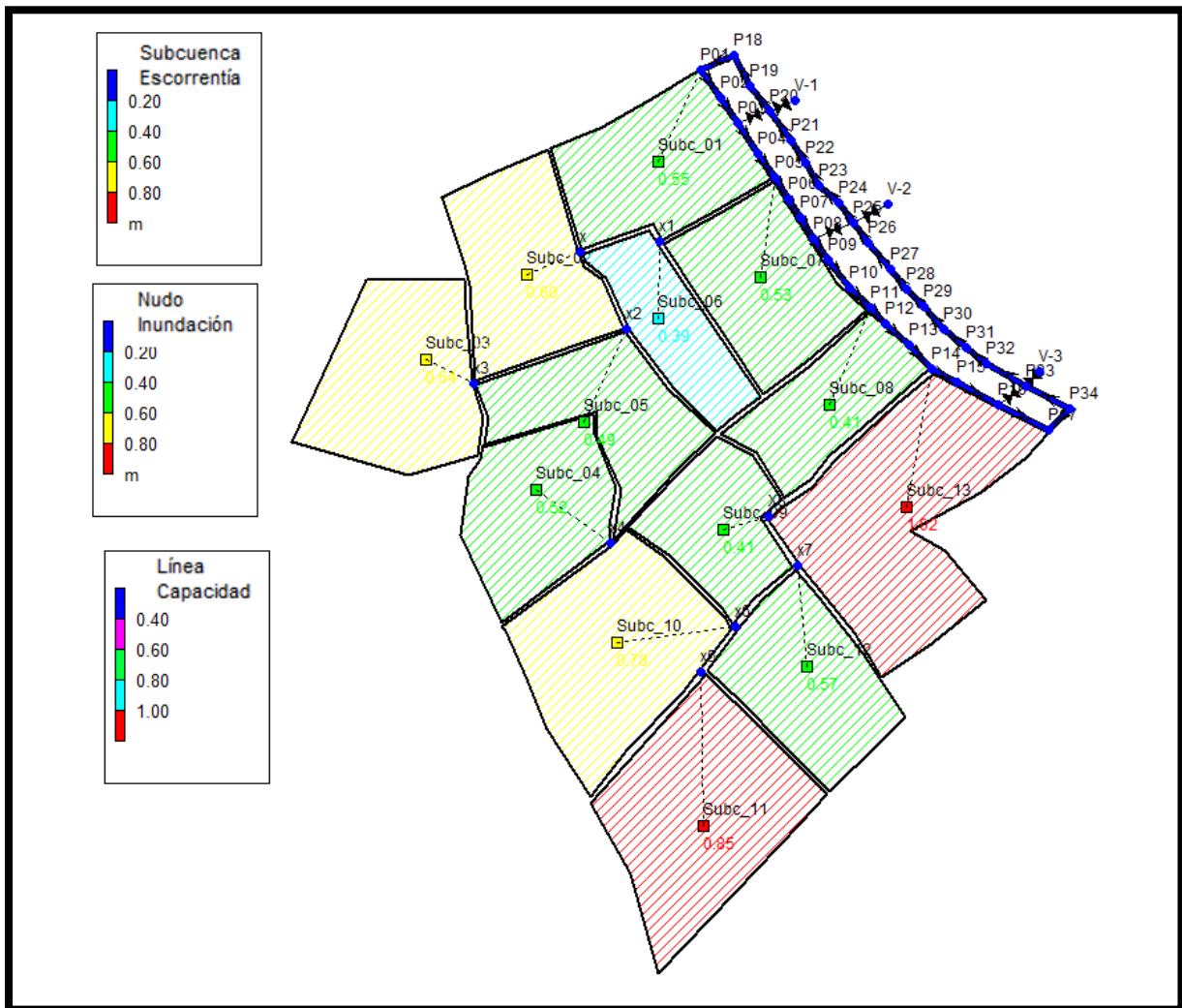
La tabla 65 muestra los conductos, los cuales están identificados por el nudo de entrada y el nudo de salida, con un coeficiente de Manning de 0.014, los conductos tienen sección rectangular cerrada (RECT _ CLOSED) de base y altura variable.

Resultados del software SWMM para un tiempo de retorno de 2 años

Vista en planta del área urbana en el tiempo de valores máximos, donde para las subcuencas los valores son de la escorrentía y de los nodos su capacidad hidráulica.

Figura 32

Valores de inundación para cada nudo en m³/s – SWMM para un TR = 2 años



Fuente: *Elaboración propia (2023).*

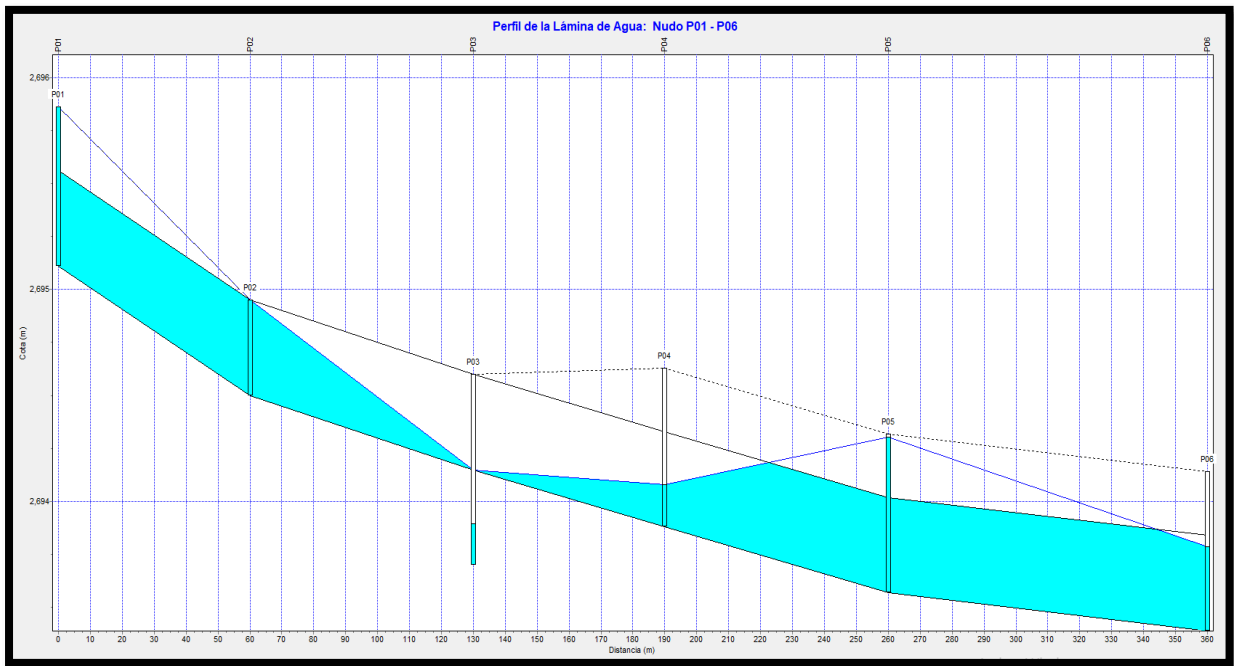
De la figura 33 a la figura 62, con respecto a los perfiles de lámina de agua en cada dren del sistema, muestran la variación de profundidad del agua a lo largo de la trayectoria de cada dren y nudo en un determinado tiempo. Creado el diagrama es posible actualizar el tiempo cada vez que se desee observar el resultado de la simulación en un tiempo determinado. Para las

siguientes gráficas se seleccionó el tiempo de 02:00 horas en donde la profundidad del agua se encuentra en su punto máximo.

A continuación se muestra los perfiles de flujo para un tiempo de retorno de 2 años.

Figura 33

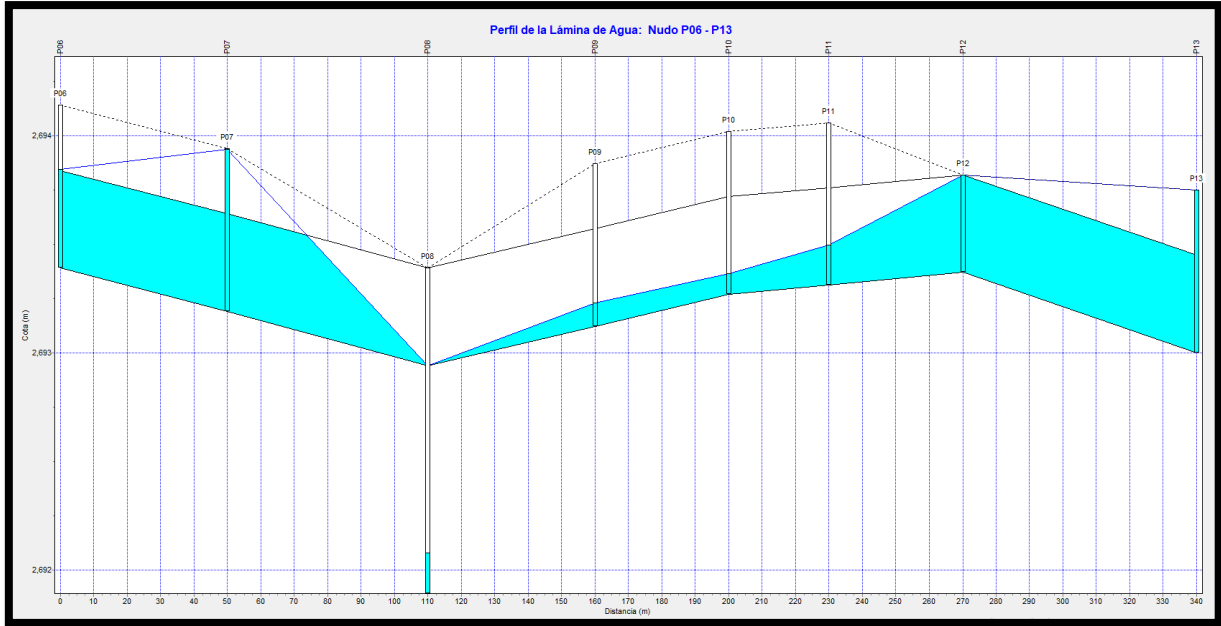
Perfil de lámina de agua margen derecho del nudo P01 al nudo P06, TR = 2 años



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 34

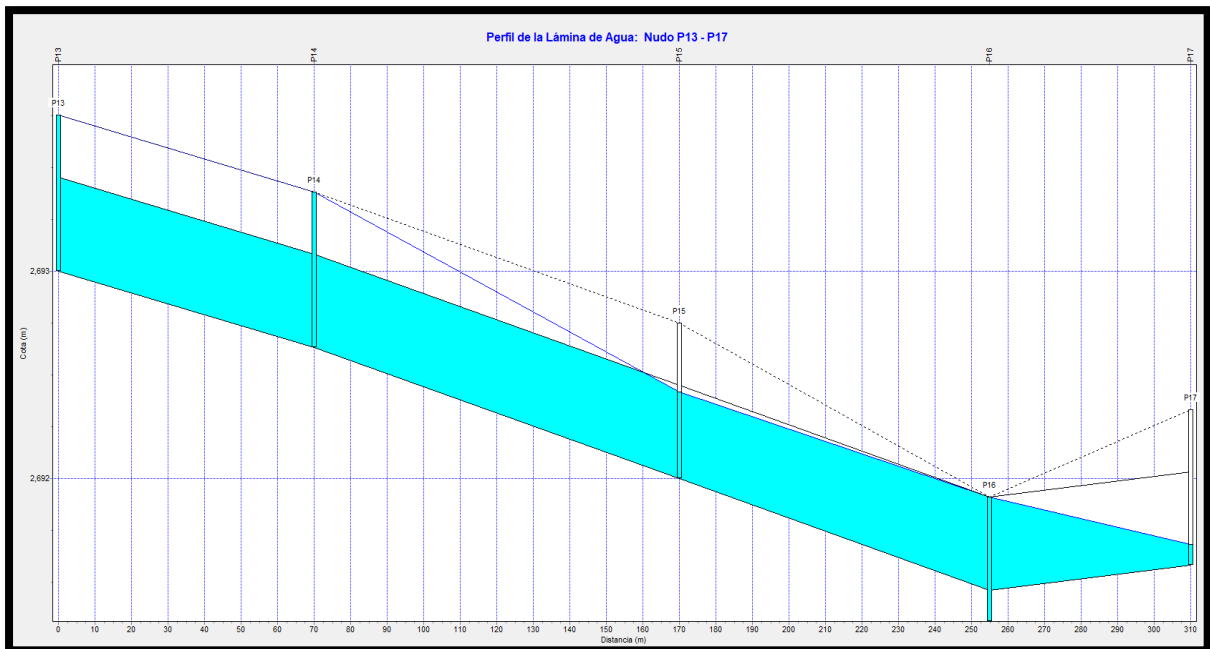
Perfil de lámina de agua margen derecho del nudo P06 al nudo P13, TR = 2 años



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 35

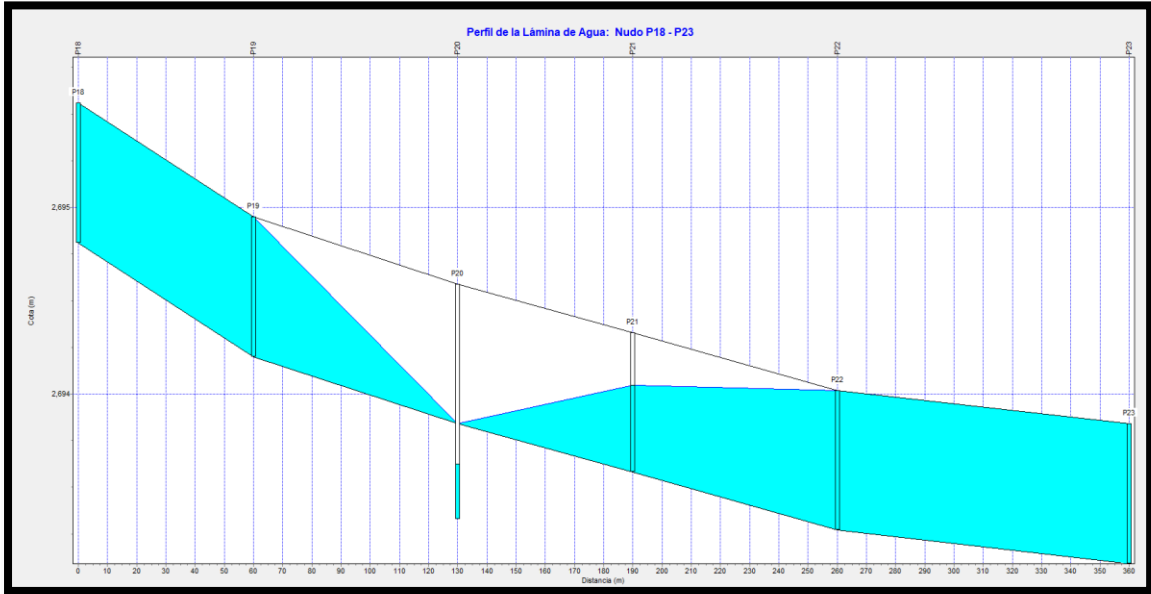
Perfil de lámina de agua margen derecho del nudo P13 al nudo P17, TR = 2 años



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 36

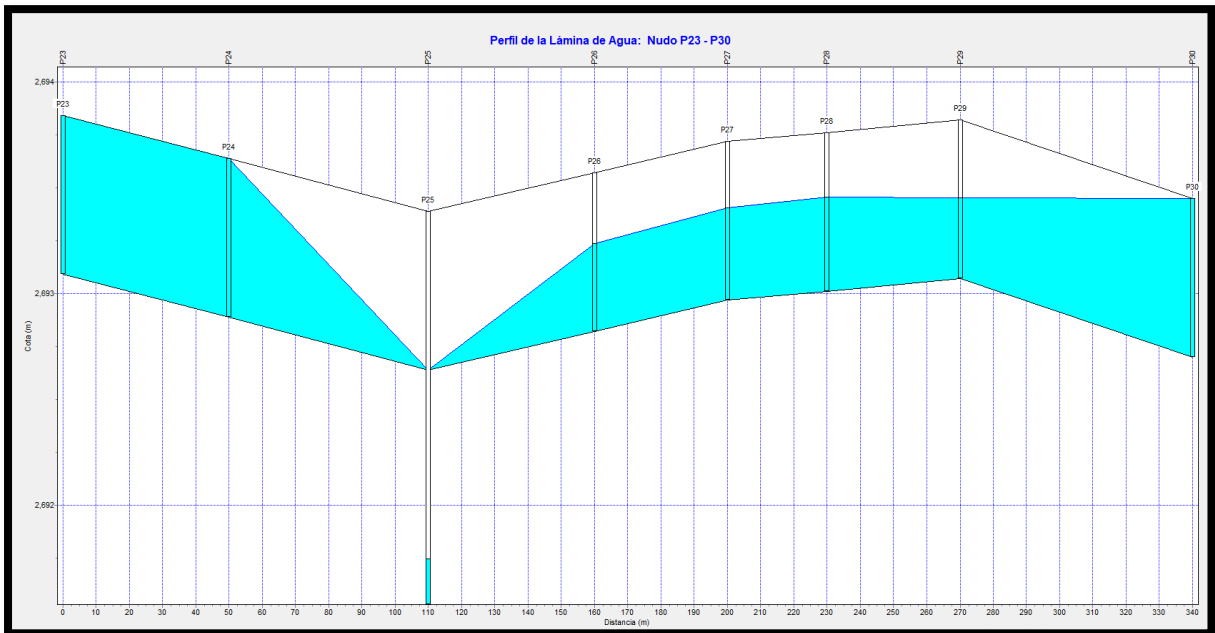
Perfil de lámina de agua margen izquierdo del nudo P18 al nudo P23, TR = 2 años



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 37

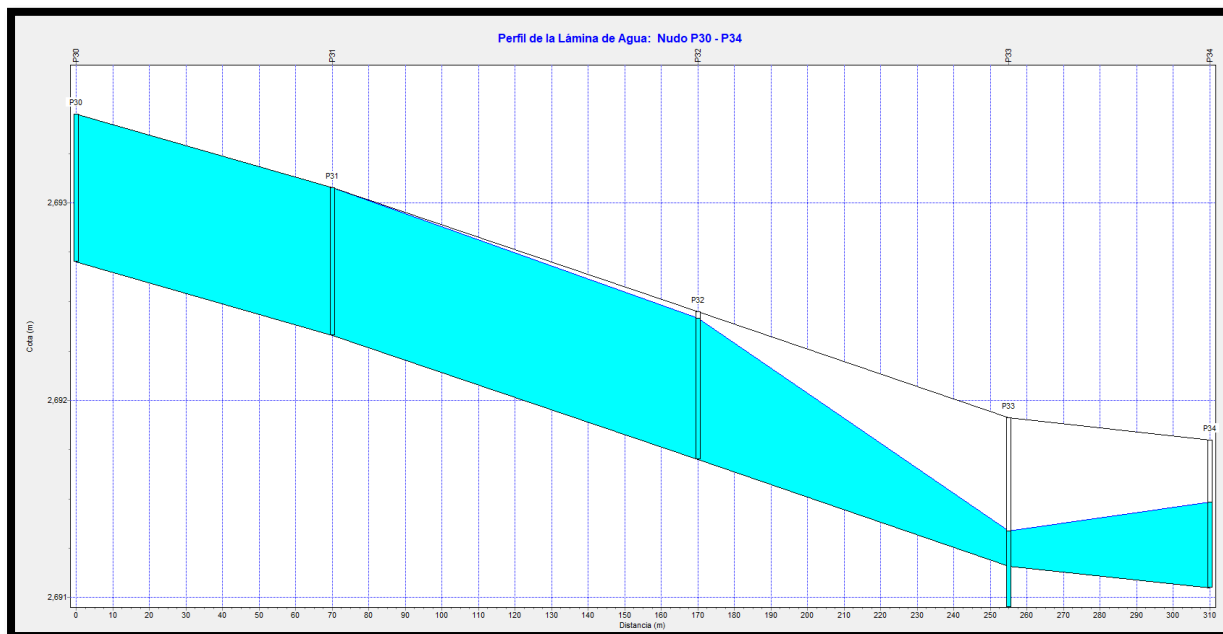
Perfil de lámina de agua margen izquierdo del nudo P23 al nudo P30, TR = 2 años



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 38

Perfil de lámina de agua margen izquierdo del nudo P30 al nudo P34, TR = 2 años



Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 66

Valores de inundación para cada nudo en m³/s

| Nudo/hora | 00:10 | 00:20 | 00:30 | 00:40 | 00:50 | 01:00 | 01:10 | 01:20 | 01:30 | 01:40 | 01:50 | 02:00 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| P01 | 0.00 | 0.00 | 0.26 | 0.49 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P02 | 0.00 | 0.06 | 0.09 | 0.09 | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P03 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P05 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P06 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P07 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.19 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P08 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P09 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P12 | 0.05 | 0.19 | 0.56 | 1.30 | 1.14 | 0.90 | 0.60 | 0.35 | 0.21 | 0.16 | 0.12 | 0.10 |
| P13 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.19 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P14 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.97 | 0.74 | 0.43 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P15 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P16 | 0.09 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| P17 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P18 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P19 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

| | | | | | | | | | | | | |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| P21 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P22 | 0.00 | 0.00 | 0.22 | 0.00 | 0.85 | 0.60 | 0.29 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P23 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.23 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P24 | 0.00 | 0.11 | 0.58 | 0.97 | 0.97 | 0.81 | 0.59 | 0.40 | 0.22 | 0.09 | 0.00 | 0.00 |
| P25 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P26 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P27 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P28 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P29 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P30 | 0.00 | 0.00 | 0.12 | 0.58 | 0.56 | 0.42 | 0.17 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P31 | 0.06 | 0.39 | 0.94 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.73 | 0.49 | 0.35 | 0.25 | 0.19 |
| P32 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P33 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P34 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Fuente: Elaboración propia (2022).

Tabla 67

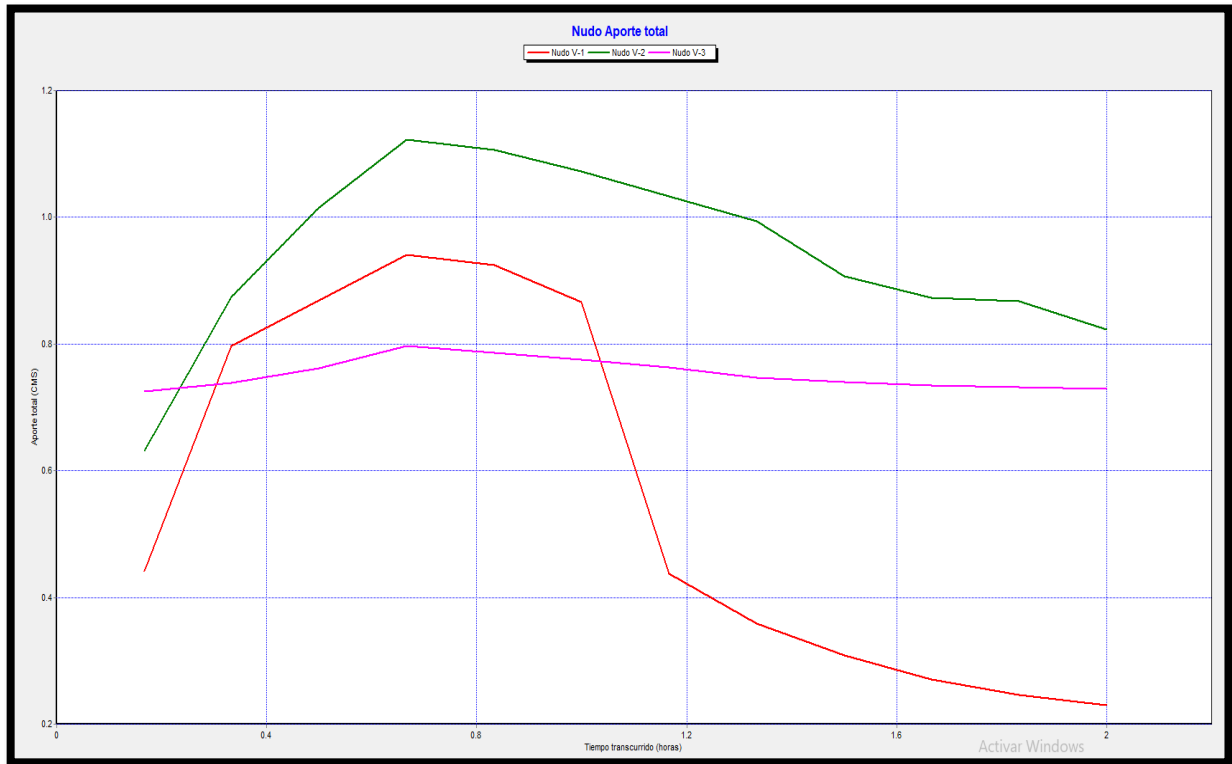
Valores de descarga en cada uno de los nudos de los colectores en m³/s

| Nudo/hora | 00:10 | 00:20 | 00:30 | 00:40 | 00:50 | 01:00 | 01:10 | 01:20 | 01:30 | 01:40 | 01:50 | 02:00 |
|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| V-1 | 0.44 | 0.80 | 0.87 | 0.94 | 0.93 | 0.87 | 0.44 | 0.36 | 0.31 | 0.27 | 0.25 | 0.23 |
| V-2 | 0.63 | 0.87 | 1.02 | 1.12 | 1.11 | 1.07 | 1.03 | 0.99 | 0.91 | 0.87 | 0.87 | 0.82 |
| V-3 | 0.72 | 0.74 | 0.76 | 0.80 | 0.79 | 0.78 | 0.76 | 0.75 | 0.74 | 0.73 | 0.73 | 0.73 |

Fuente: Elaboración propia (2022).

Figura 39

Descargas en cada uno de los nudos para un TR = 2 años



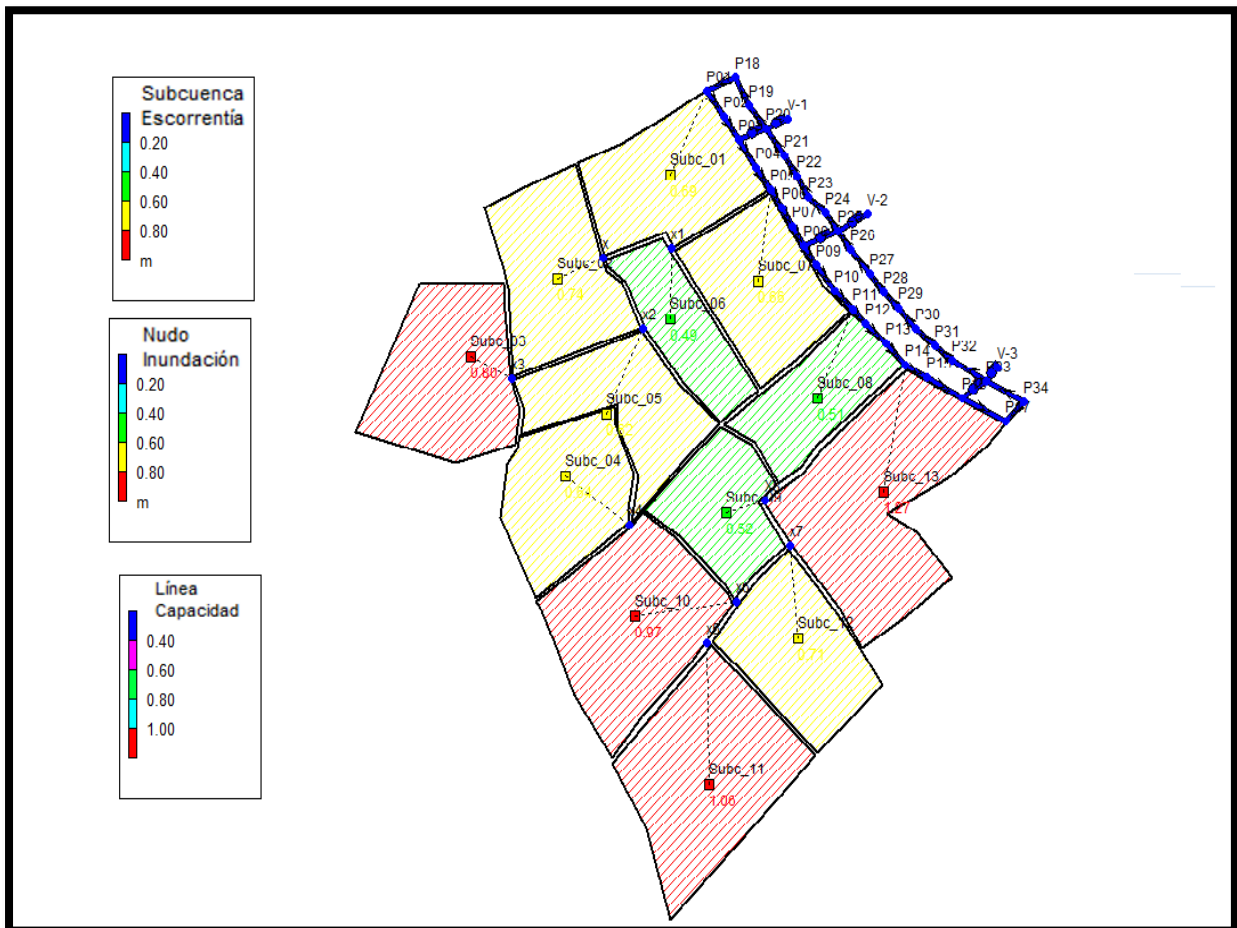
Fuente: Elaboración propia (2023).

Resultados del software SWMM para un tiempo de retorno de 5 años

Vista en planta del área urbana en el tiempo de valores máximos, donde para las subcuencas los valores son de la escorrentía y de los nodos su capacidad hidráulica.

Figura 40

Valores de inundación para cada nudo en m³/s – SWMM para un TR = 5 años

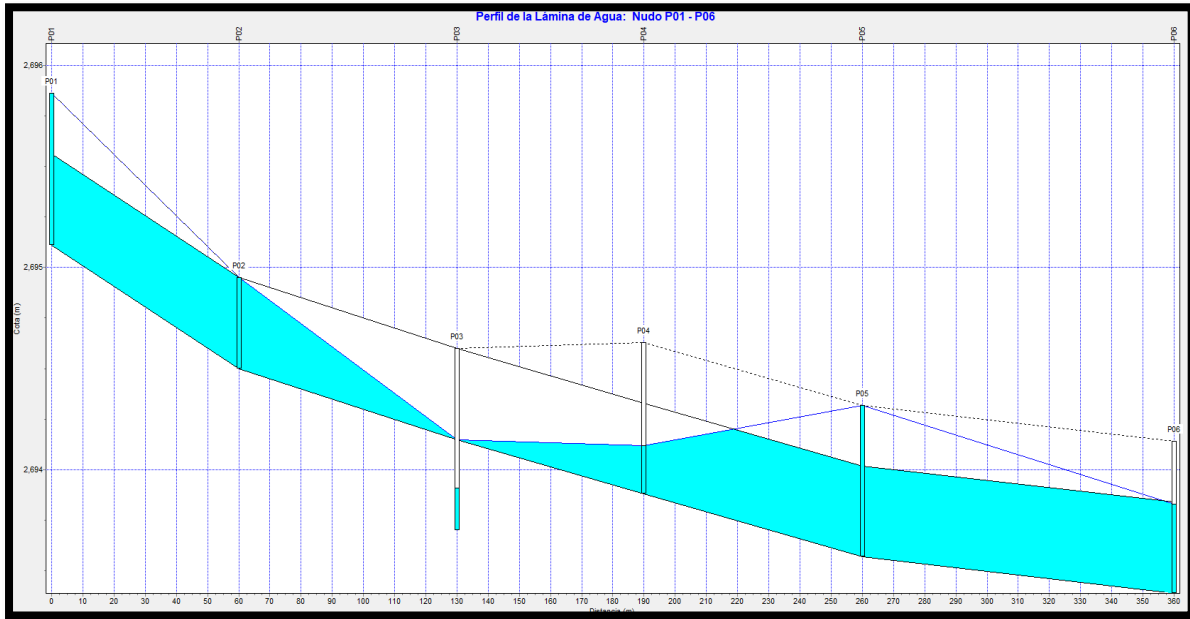


Fuente: Elaboración propia (2023).

A continuación se muestra los perfiles de flujo para un tiempo de retorno de 5 años.

Figura 41

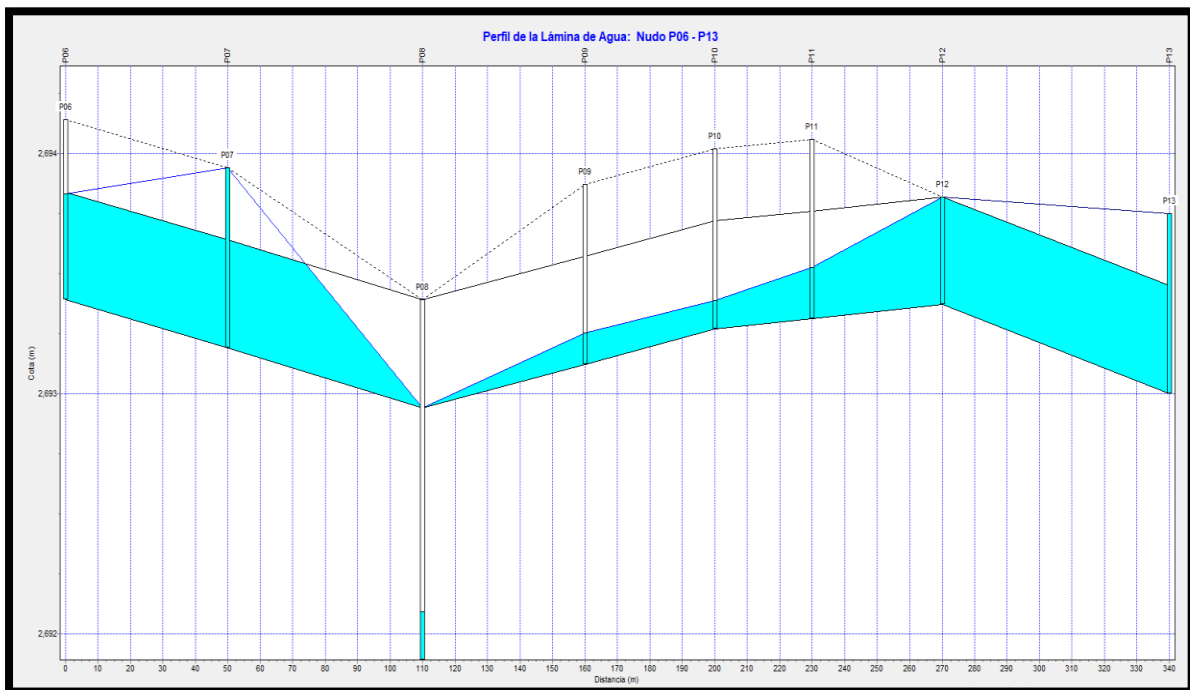
Perfil de lámina de agua margen derecho del nudo P01 al nudo P06, TR = 5 años



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 42

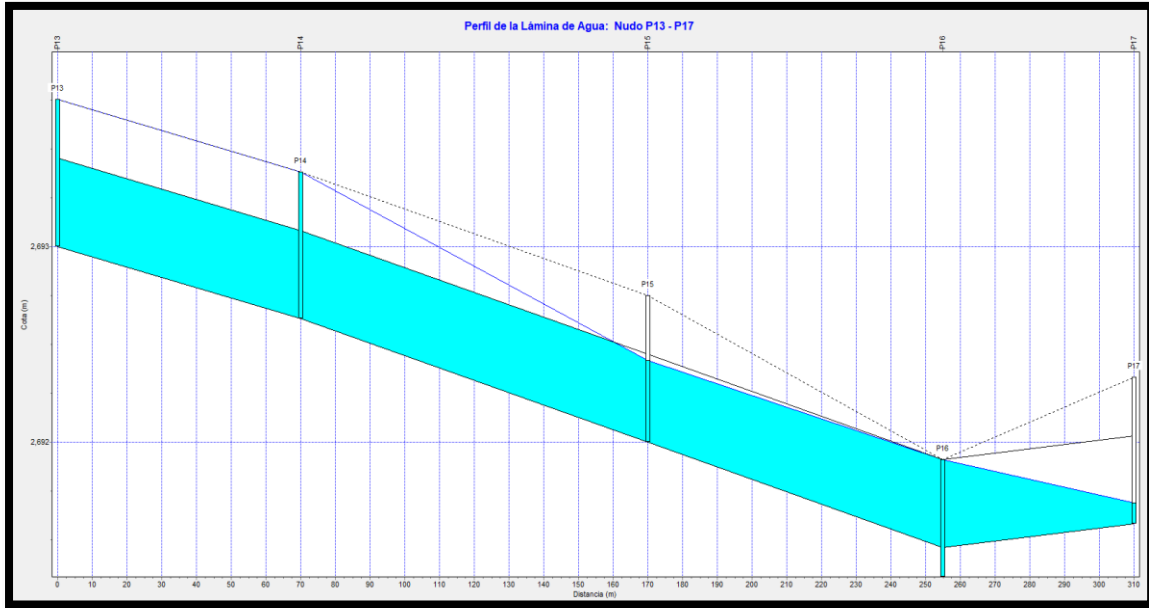
Perfil de lámina de agua margen derecho del nudo P06 al nudo P13, TR = 5 años



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 43

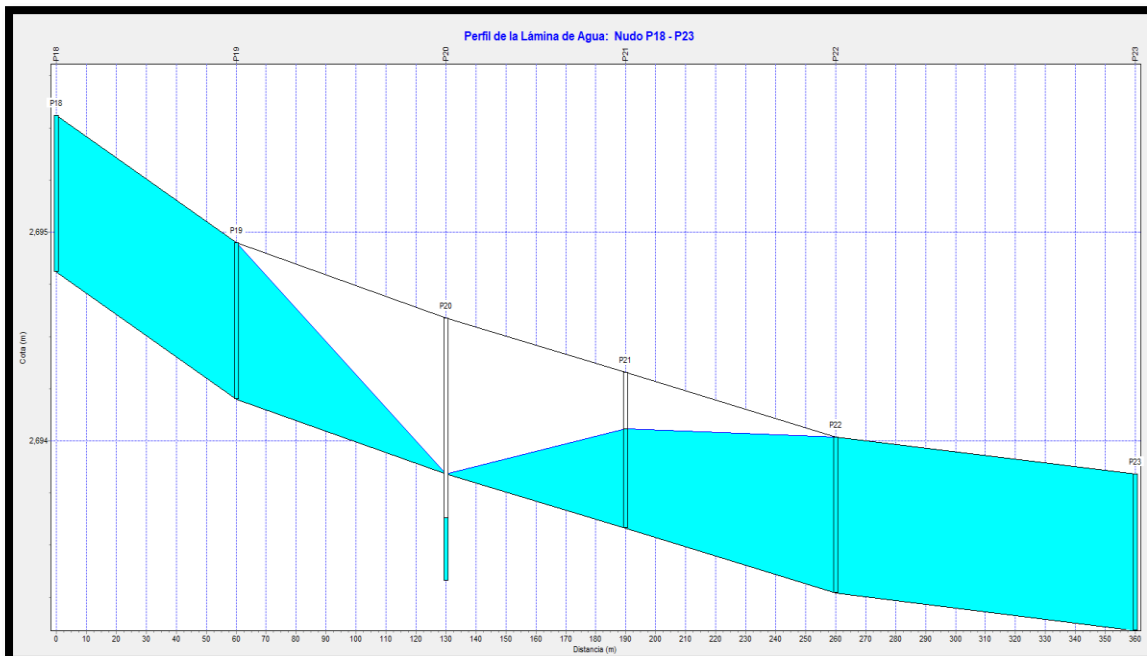
Perfil de lámina de agua margen derecho del nudo P13 al nudo P17, TR = 5 años



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 44

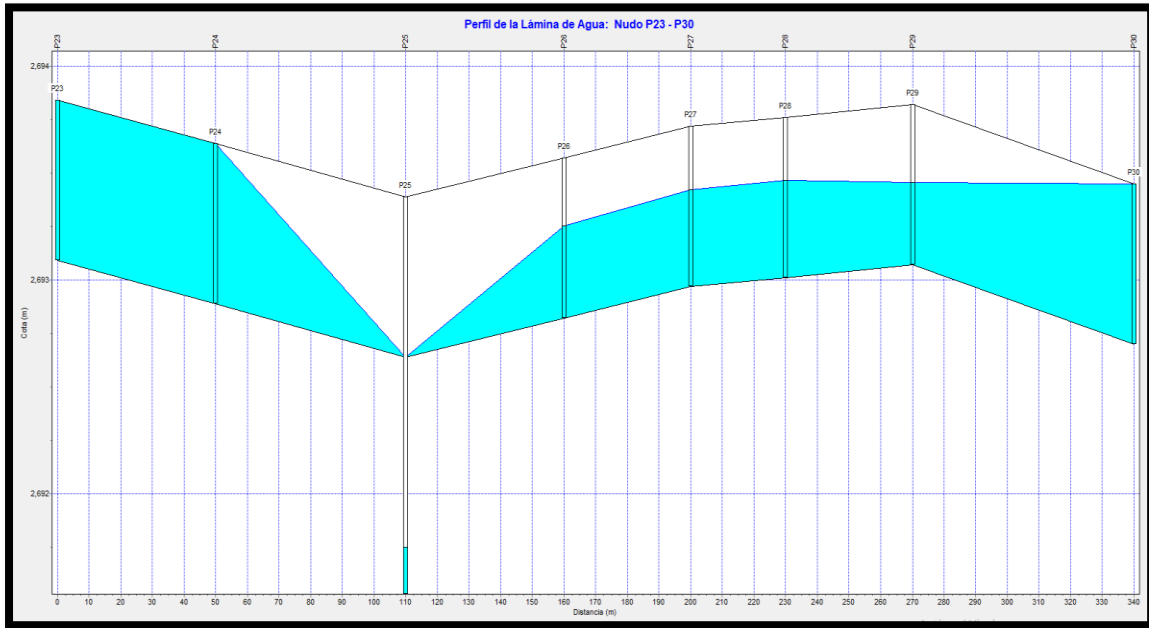
Perfil de lámina de agua margen izquierdo del nudo P18 al nudo P23, TR = 5 años



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 45

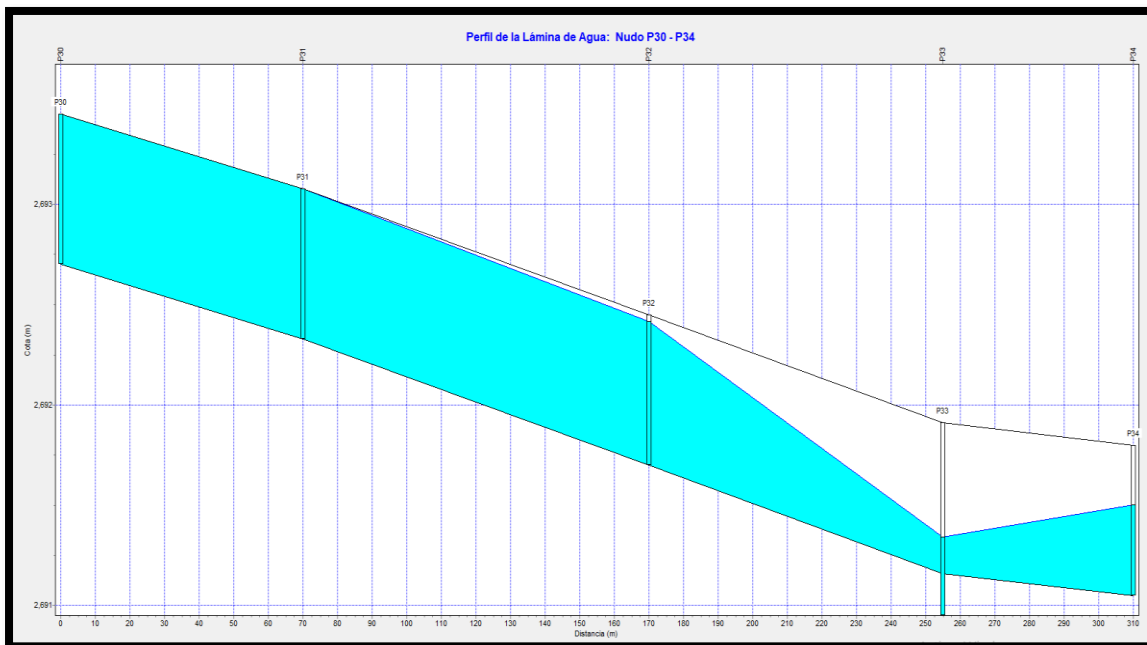
Perfil de lámina de agua margen izquierdo del nudo P23 al nudo P30, TR = 5 años



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 46

Perfil de lámina de agua margen izquierdo del nudo P30 al nudo P34, TR = 5 años



Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 68

Valores de inundación para cada nodo en m³/s

| Nodo/hora | 00:10 | 00:20 | 00:30 | 00:40 | 00:50 | 01:00 | 01:10 | 01:20 | 01:30 | 01:40 | 01:50 | 02:00 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| P01 | 0.00 | 0.00 | 0.28 | 0.54 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P02 | 0.00 | 0.06 | 0.09 | 0.09 | 0.08 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P03 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P05 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.35 | 0.12 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P06 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P07 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.50 | 0.22 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P08 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P09 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P12 | 0.05 | 0.24 | 0.70 | 1.57 | 1.33 | 1.05 | 0.68 | 0.39 | 0.23 | 0.17 | 0.13 | 0.10 |
| P13 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.45 | 0.22 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P14 | 0.00 | 0.00 | 0.13 | 1.36 | 1.03 | 0.64 | 0.13 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P15 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P16 | 0.09 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| P17 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P18 | 0.00 | 0.00 | 0.53 | 0.53 | 0.28 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P19 | 0.00 | 0.20 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P21 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P22 | 0.00 | 0.00 | 0.37 | 0.96 | 0.94 | 0.78 | 0.43 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P23 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.25 | 0.16 | 0.27 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P24 | 0.00 | 0.19 | 0.70 | 0.97 | 0.97 | 0.96 | 0.62 | 0.42 | 0.25 | 0.11 | 0.03 | 0.00 |
| P25 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P26 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P27 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P28 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P29 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P30 | 0.00 | 0.00 | 0.24 | 0.60 | 0.58 | 0.55 | 0.24 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P31 | 0.08 | 0.49 | 1.00 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.76 | 0.54 | 0.38 | 0.27 | 0.20 |
| P32 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P33 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P34 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Fuente: Elaboración propia (2022).

Tabla 69

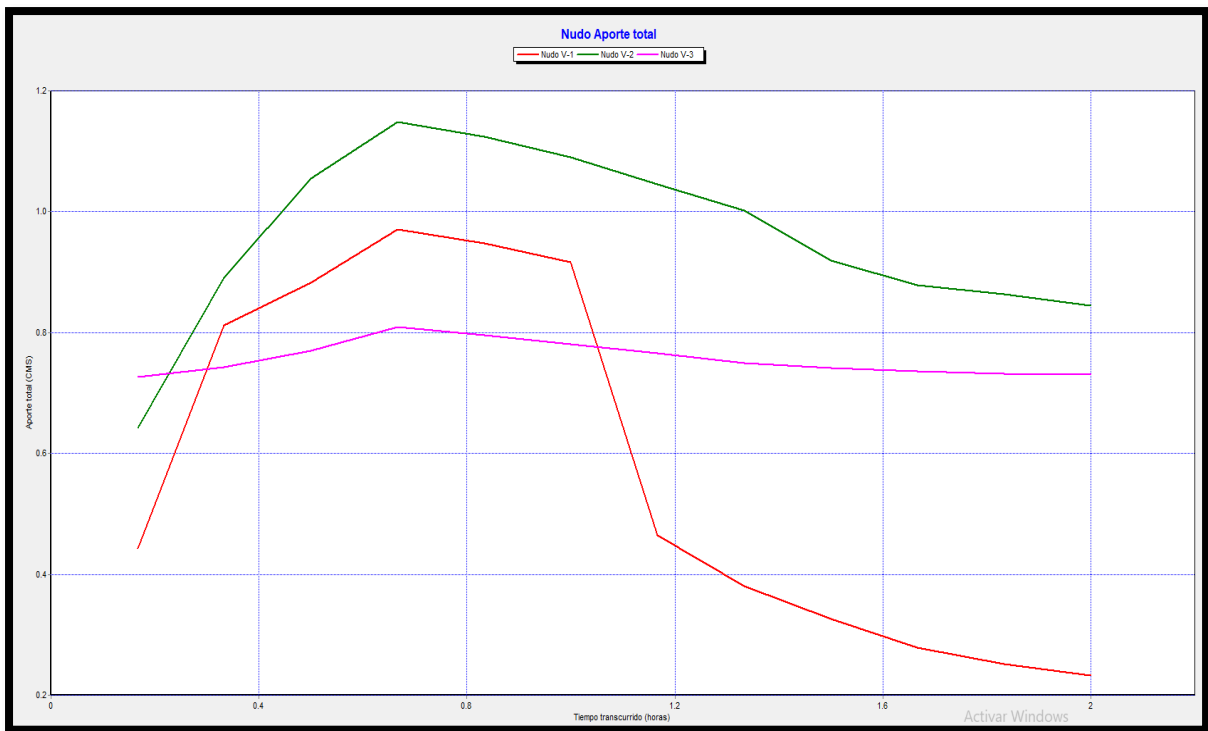
Valores de descarga en cada uno de los nudos de los colectores en m³/s

| Nudo/hora | 00:10 | 00:20 | 00:30 | 00:40 | 00:50 | 01:00 | 01:10 | 01:20 | 01:30 | 01:40 | 01:50 | 02:00 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| V-1 | 0.44 | 0.81 | 0.88 | 0.97 | 0.95 | 0.92 | 0.46 | 0.38 | 0.33 | 0.28 | 0.25 | 0.23 |
| V-2 | 0.64 | 0.89 | 1.06 | 1.15 | 1.12 | 1.09 | 1.05 | 1.00 | 0.92 | 0.88 | 0.86 | 0.84 |
| V-3 | 0.73 | 0.74 | 0.77 | 0.81 | 0.80 | 0.78 | 0.77 | 0.75 | 0.74 | 0.74 | 0.73 | 0.73 |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 47

Descargas en cada uno de los nudos para un TR = 5 años



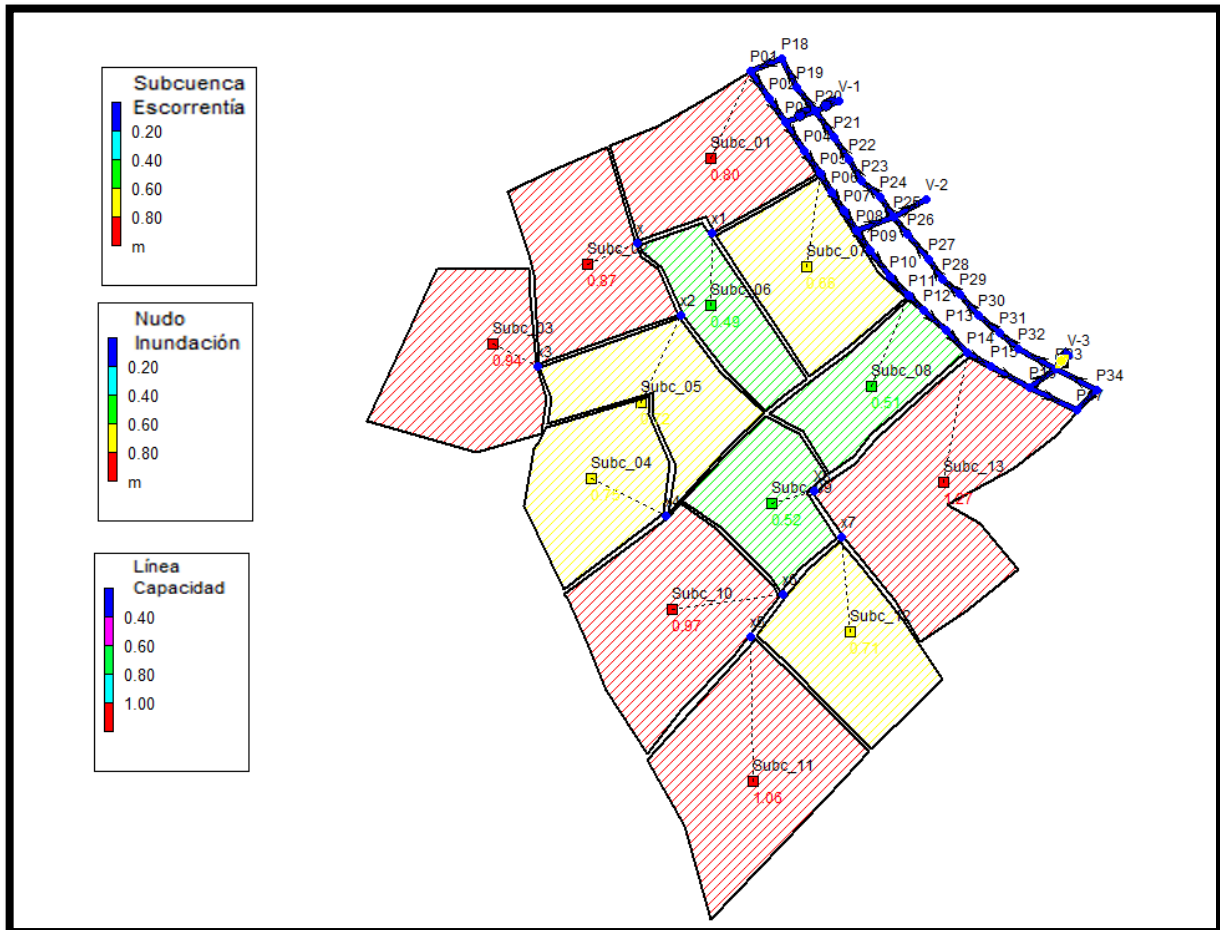
Fuente: Elaboración propia (2023).

Resultados del software SWMM para un tiempo de retorno de 10 años

Vista en planta del área urbana en el tiempo de valores máximos, donde para las subcuencas los valores son de la escorrentía y de los nodos su capacidad hidráulica.

Figura 48

Valores de inundación para cada nudo en m³/s – SWMM para un TR = 10 años

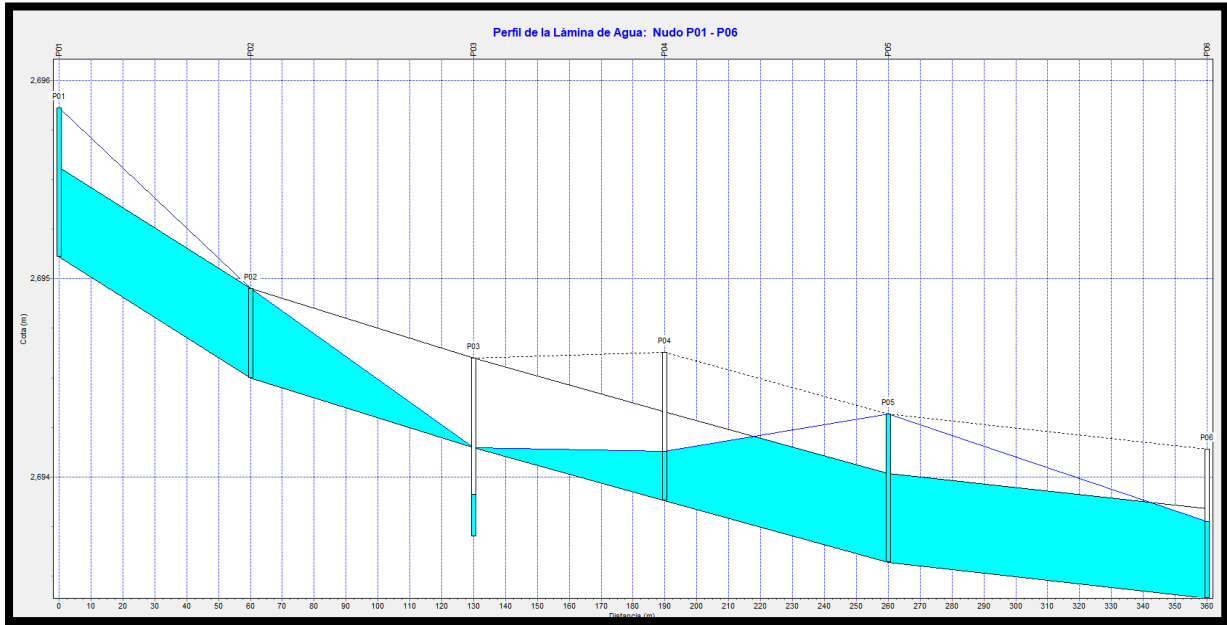


Fuente: Elaboración propia (2023).

A continuación se muestra los perfiles de flujo para un tiempo de retorno de 10 años.

Figura 49

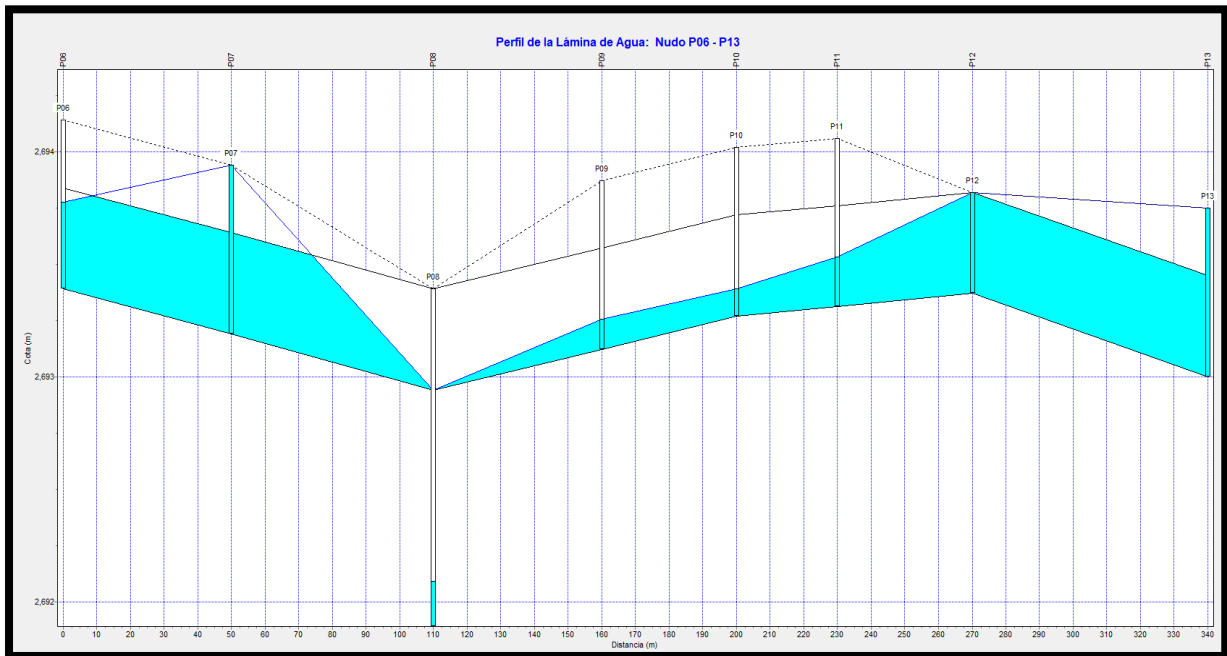
Perfil de lámina de agua margen derecho del nudo P01 al nudo P06, TR = 10 años



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 50

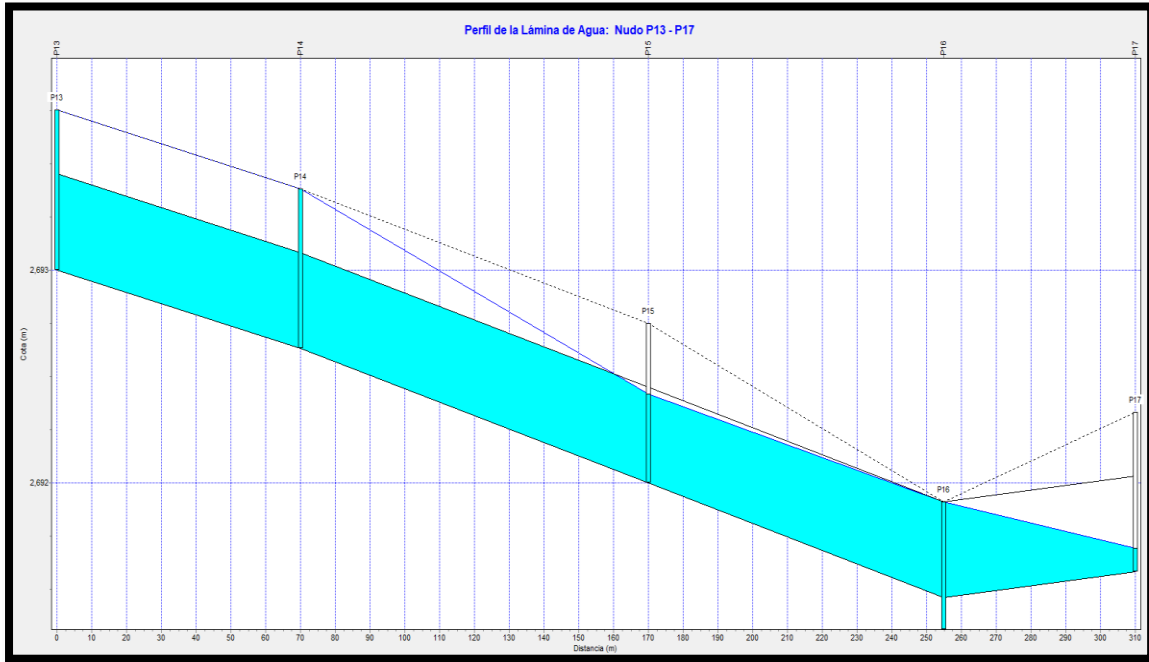
Perfil de lámina de agua margen derecho del nudo P06 al nudo P13, TR = 10 años



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 51

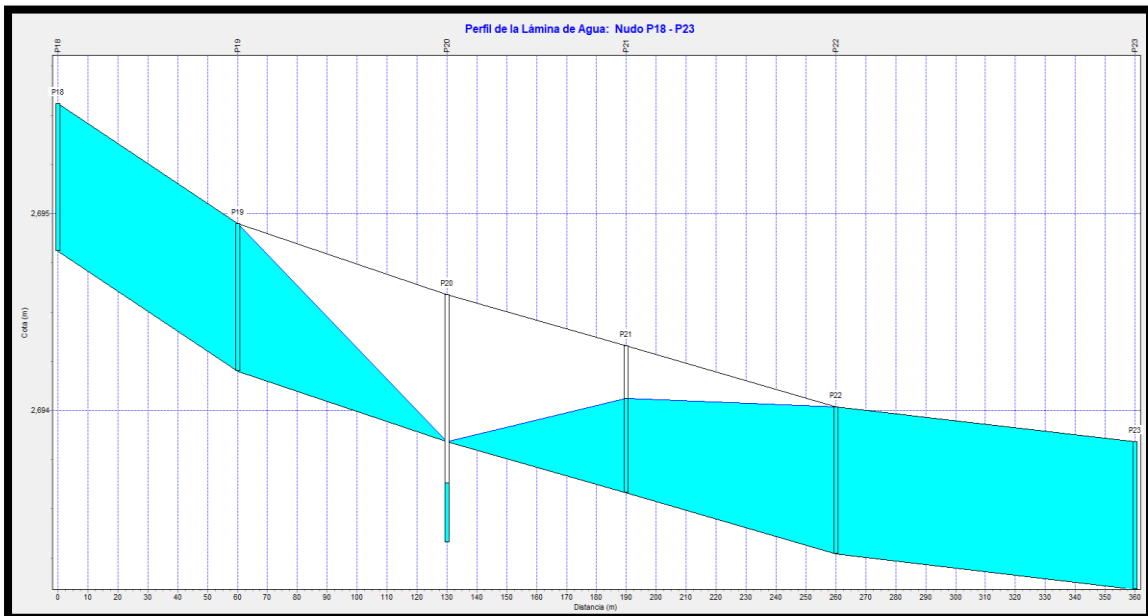
Perfil de lámina de agua margen derecho del nudo P13 al nudo P17, TR = 10 años



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 52

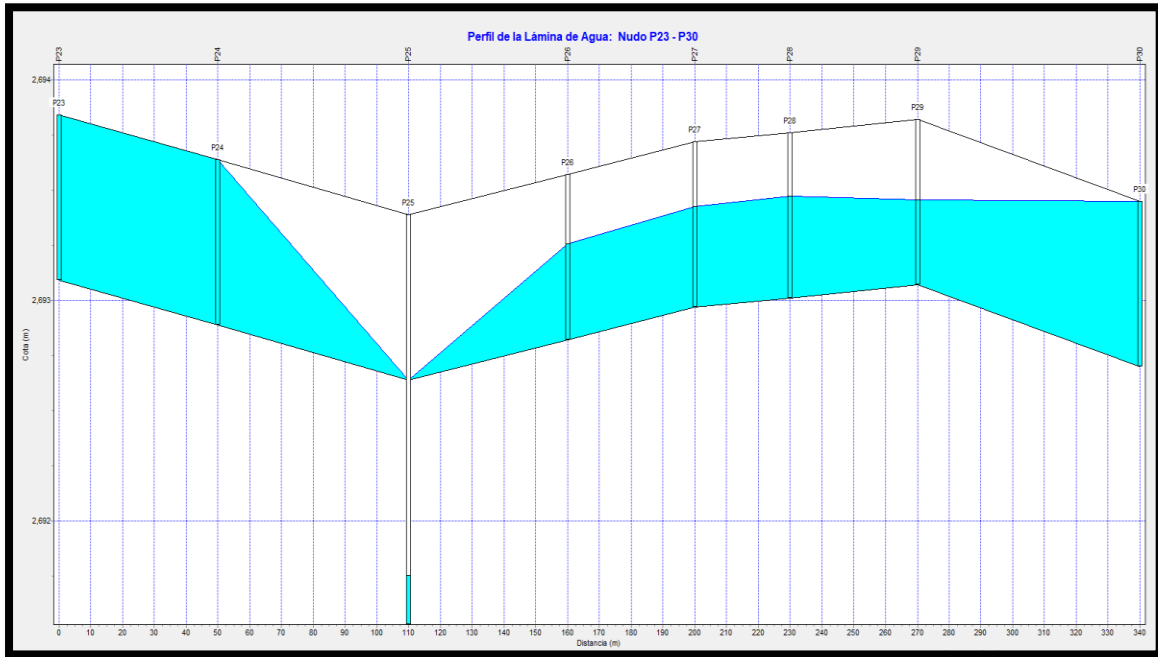
Perfil de lámina de agua margen izquierdo del nudo P18 al nudo P23, TR = 10 años



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 53

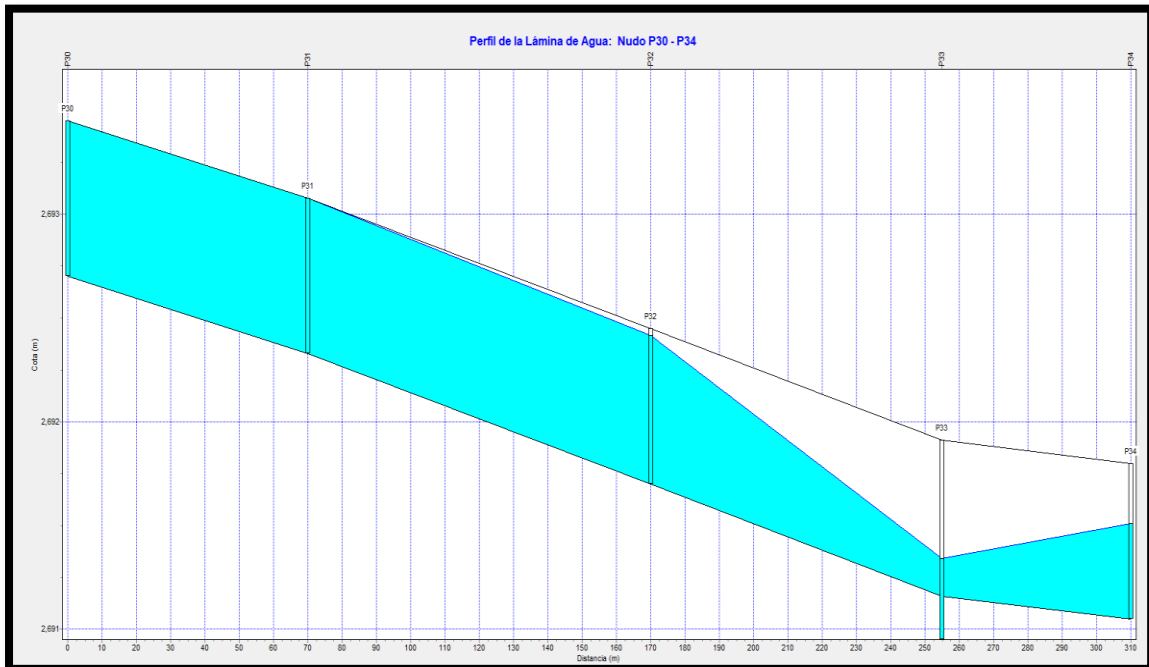
Perfil de lámina de agua margen izquierdo del nudo P23 al nudo P30, TR = 10 años



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 54

Perfil de lámina de agua margen izquierdo del nudo P30 al nudo P34, TR = 10 años



Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 70

Valores de inundación para cada nudo en m³/s

| Nudo/hora | 00:10 | 00:20 | 00:30 | 00:40 | 00:50 | 01:00 | 01:10 | 01:20 | 01:30 | 01:40 | 01:50 | 02:00 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| P01 | 0.00 | 0.00 | 0.26 | 0.56 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P02 | 0.00 | 0.06 | 0.09 | 0.09 | 0.08 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P03 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P05 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.42 | 0.22 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P06 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P07 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.57 | 0.33 | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P08 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P09 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P12 | 0.06 | 0.28 | 0.57 | 1.65 | 1.44 | 1.16 | 0.74 | 0.42 | 0.25 | 0.17 | 0.13 | 0.10 |
| P13 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.53 | 0.32 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P14 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.48 | 1.18 | 0.78 | 0.21 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P15 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P16 | 0.09 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| P17 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P18 | 0.00 | 0.08 | 0.53 | 0.53 | 0.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P19 | 0.00 | 0.16 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P21 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P22 | 0.00 | 0.00 | 0.23 | 0.97 | 0.95 | 0.89 | 0.49 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P23 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.22 | 0.09 | 0.28 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P24 | 0.00 | 0.27 | 0.59 | 0.97 | 0.97 | 0.97 | 0.71 | 0.47 | 0.28 | 0.13 | 0.02 | 0.00 |
| P25 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P26 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P27 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P28 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P29 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P30 | 0.00 | 0.00 | 0.14 | 0.61 | 0.58 | 0.56 | 0.28 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P31 | 0.09 | 0.58 | 0.95 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.79 | 0.57 | 0.39 | 0.28 | 0.21 |
| P32 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P33 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P34 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 71

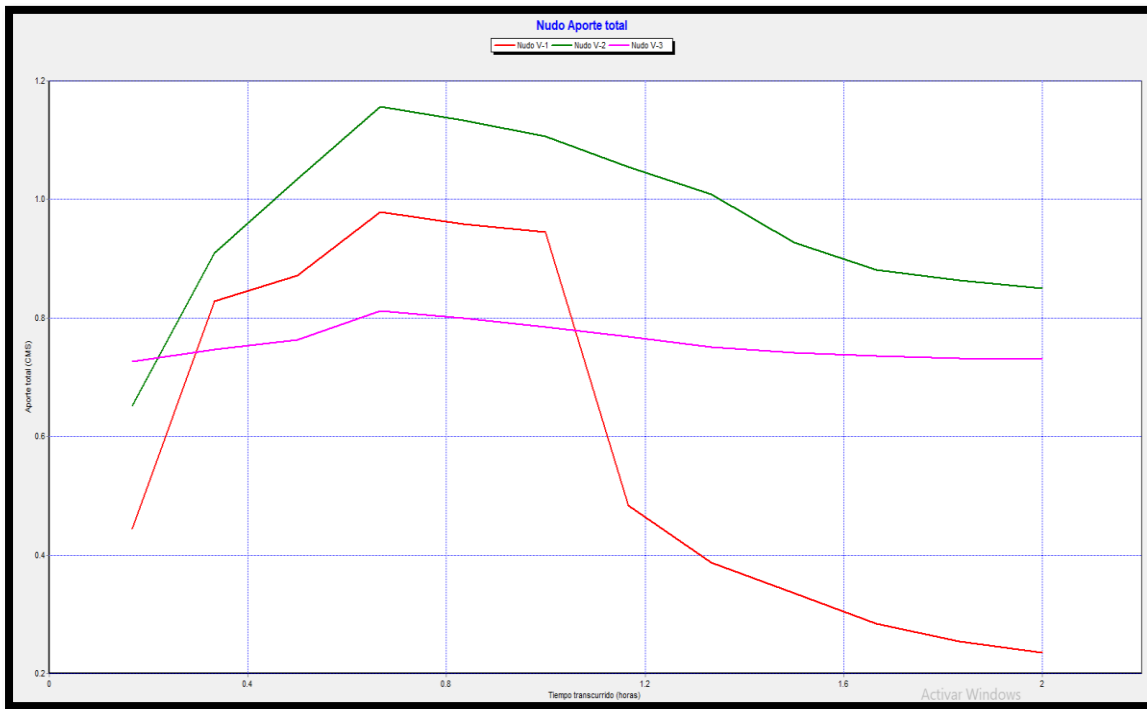
Valores de descarga en cada uno de los nudos de los colectores en m³/s

| Nudo/hora | 00:10 | 00:20 | 00:30 | 00:40 | 00:50 | 01:00 | 01:10 | 01:20 | 01:30 | 01:40 | 01:50 | 02:00 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| V-1 | 0.44 | 0.83 | 0.87 | 0.98 | 0.96 | 0.94 | 0.48 | 0.39 | 0.34 | 0.28 | 0.25 | 0.24 |
| V-2 | 0.65 | 0.91 | 1.03 | 1.16 | 1.13 | 1.11 | 1.05 | 1.01 | 0.93 | 0.88 | 0.86 | 0.85 |
| V-3 | 0.73 | 0.75 | 0.76 | 0.81 | 0.80 | 0.79 | 0.77 | 0.75 | 0.74 | 0.74 | 0.73 | 0.73 |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 55

Descargas en cada uno de los nudos para un TR = 10 años



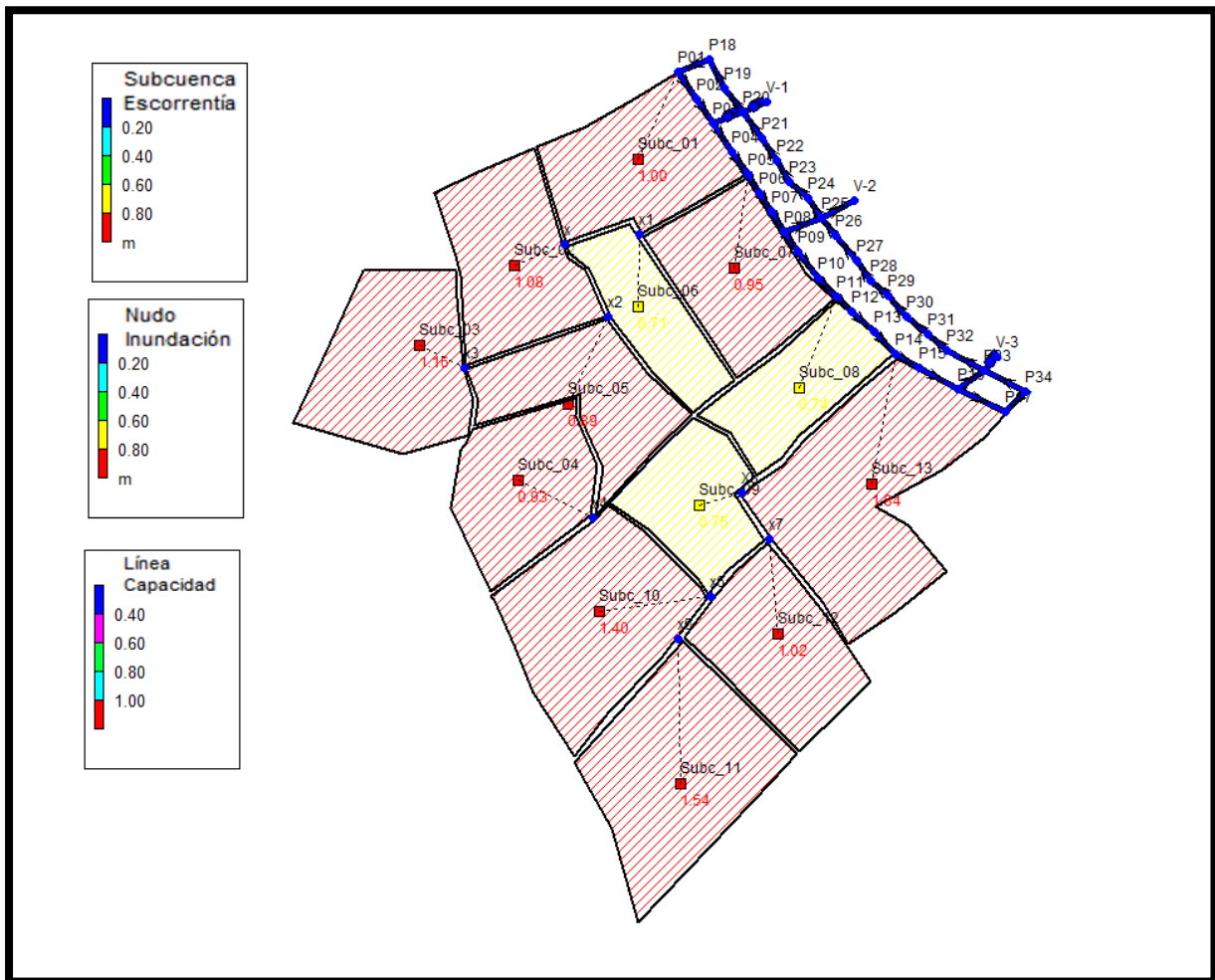
Fuente: Elaboración propia (2023).

Resultados del software SWMM para un tiempo de retorno de 25 años

Vista en planta del área urbana en el tiempo de valores máximos, donde para las subcuencas los valores son de la escorrentía y de los nodos su capacidad hidráulica.

Figura 56

Valores de inundación para cada nudo en m³/s – SWMM para un TR = 25 años

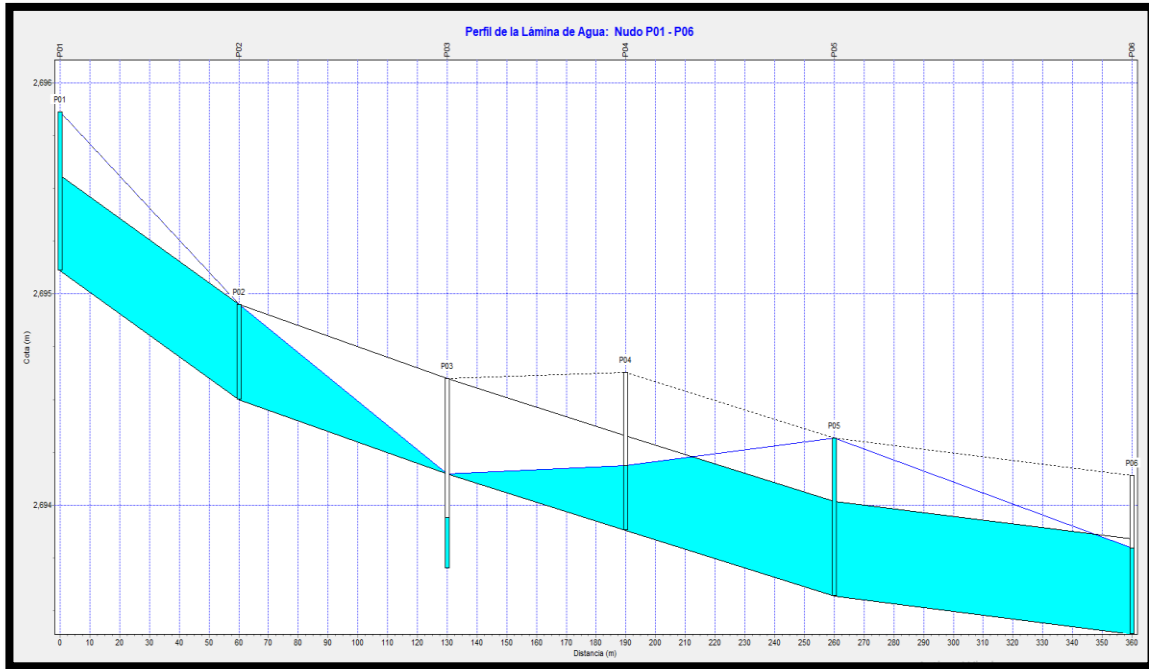


Fuente: Elaboración propia (2023).

A continuación se muestra los perfiles de flujo para un tiempo de retorno de 25 años.

Figura 57

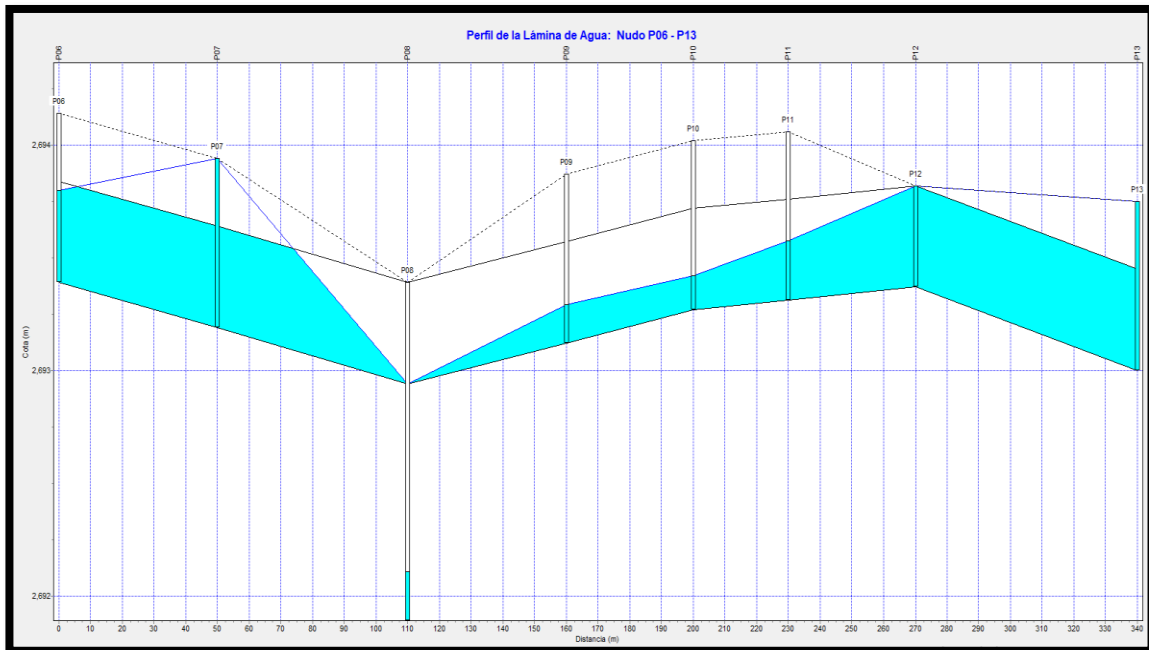
Perfil de lámina de agua margen derecho del nudo P01 al nudo P06 , TR = 25 años



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 58

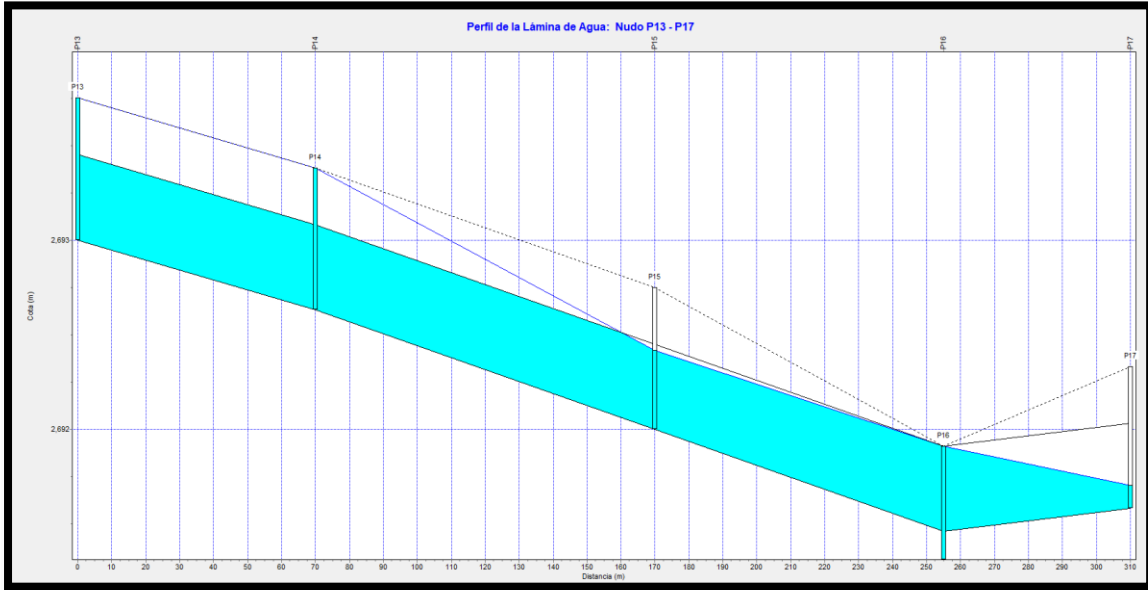
Perfil de lámina de agua margen derecho del nudo P06 al nudo P13, TR = 25 años



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 59

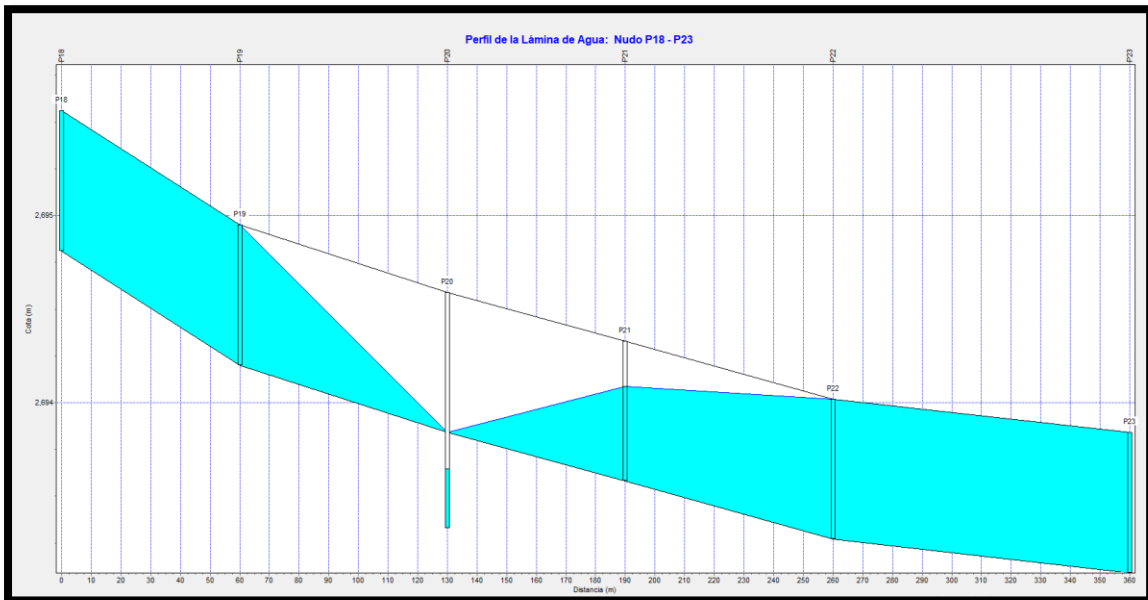
Perfil de lámina de agua margen derecho del nudo P13 al nudo P17, TR = 25 años



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 60

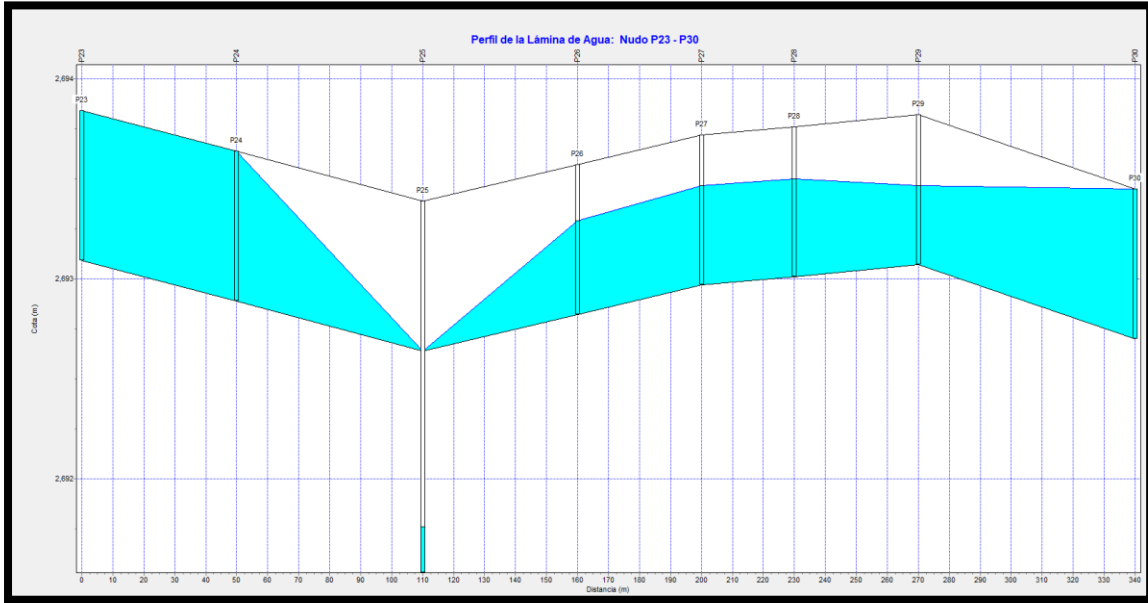
Perfil de lámina de agua margen izquierdo del nudo P18 al nudo P23, TR = 25 años



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 61

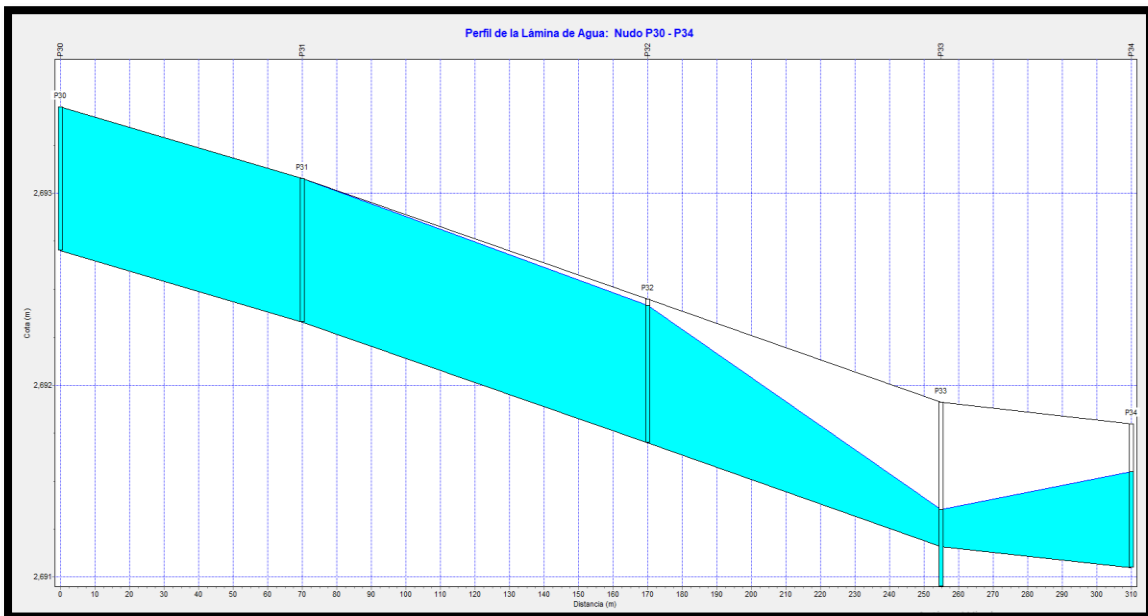
Perfil de lámina de agua margen izquierdo del nudo P23 al nudo P30, TR = 25 años



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 62

Perfil de lámina de agua margen izquierdo del nudo P30 al nudo P34, TR = 25 años



Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 72

Valores de inundación para cada nudo en m³/s

| Nudo/hora | 00:10 | 00:20 | 00:30 | 00:40 | 00:50 | 01:00 | 01:10 | 01:20 | 01:30 | 01:40 | 01:50 | 02:00 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| P01 | 0.00 | 0.00 | 0.35 | 0.67 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P02 | 0.00 | 0.06 | 0.09 | 0.09 | 0.08 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P03 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P05 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.94 | 0.52 | 0.14 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P06 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P07 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.16 | 0.68 | 0.25 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P08 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P09 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P12 | 0.07 | 0.38 | 1.03 | 2.18 | 1.75 | 1.36 | 0.85 | 0.47 | 0.28 | 0.19 | 0.14 | 0.11 |
| P13 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.03 | 0.61 | 0.24 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P14 | 0.00 | 0.00 | 0.59 | 2.25 | 1.65 | 1.08 | 0.37 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P15 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P16 | 0.09 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| P17 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P18 | 0.00 | 0.10 | 0.53 | 0.53 | 0.36 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P19 | 0.00 | 0.15 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P21 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P22 | 0.00 | 0.03 | 0.74 | 1.03 | 0.99 | 0.95 | 0.61 | 0.17 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P23 | 0.00 | 0.00 | 0.09 | 0.23 | 0.20 | 0.18 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P24 | 0.00 | 0.39 | 0.92 | 0.97 | 0.97 | 0.97 | 0.76 | 0.52 | 0.33 | 0.16 | 0.05 | 0.00 |
| P25 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P26 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P27 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P28 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P29 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P30 | 0.00 | 0.00 | 0.53 | 0.66 | 0.62 | 0.58 | 0.38 | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P31 | 0.12 | 0.71 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.86 | 0.61 | 0.42 | 0.30 | 0.22 |
| P32 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P33 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P34 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 73

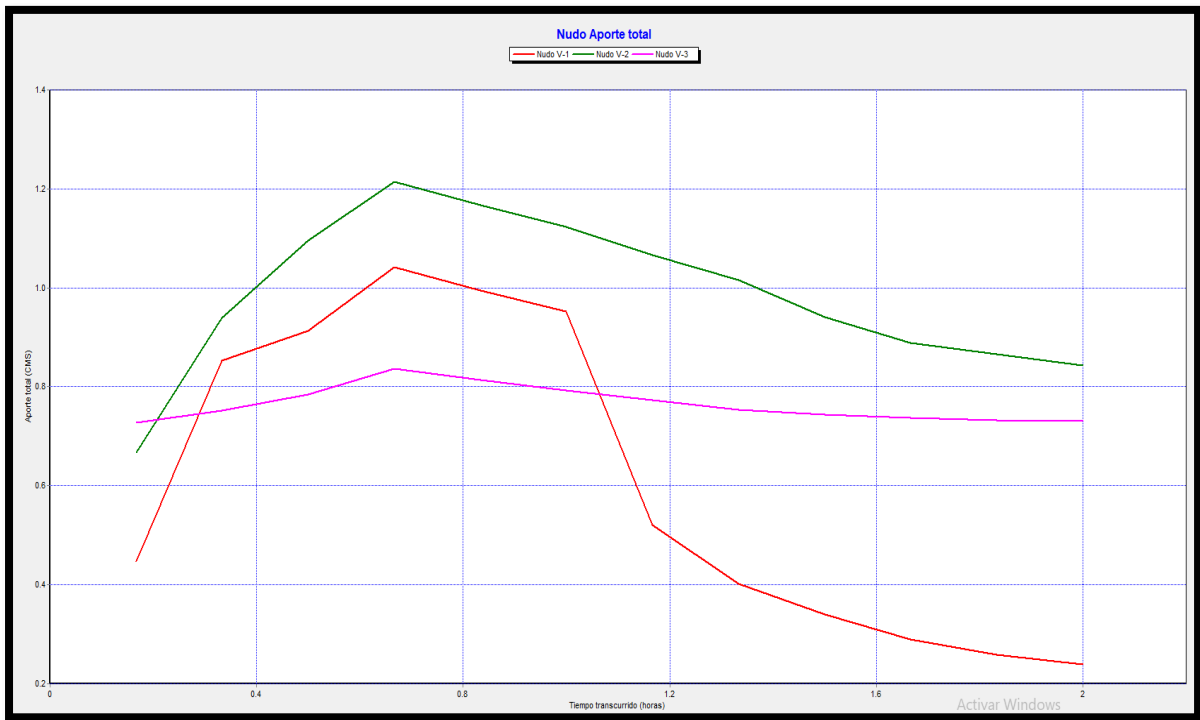
Valores de descarga en cada uno de los nudos de los colectores en m³/s

| Nudo/hora | 00:10 | 00:20 | 00:30 | 00:40 | 00:50 | 01:00 | 01:10 | 01:20 | 01:30 | 01:40 | 01:50 | 02:00 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| V-1 | 0.45 | 0.85 | 0.91 | 1.04 | 0.99 | 0.95 | 0.52 | 0.40 | 0.34 | 0.29 | 0.26 | 0.24 |
| V-2 | 0.67 | 0.94 | 1.09 | 1.21 | 1.17 | 1.12 | 1.07 | 1.02 | 0.94 | 0.89 | 0.87 | 0.84 |
| V-3 | 0.73 | 0.75 | 0.79 | 0.84 | 0.81 | 0.79 | 0.77 | 0.75 | 0.74 | 0.74 | 0.73 | 0.73 |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 63

Descargas en cada uno de los nudos para un TR = 25 años



Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 74

Abastecimiento de la capacidad hidráulica del sistema de drenaje ante el caudal de escorrentia

| TRAMO | LADO DERECHO | | LADO IZQUIERDO | |
|-------------------------------------------|--------------|---------------|----------------|---------------|
| | ABASTECE% | NO ABASTECE % | ABASTECE % | NO ABASTECE % |
| Av. Atahualpa – Jr. Bolognesi | 100% | 0% | 0% | 100% |
| Jr. Bolognesi – Jr. Emancipación | 75% | 25% | 0% | 100 % |
| Jr. Emancipación – Psje. Las Américas | 100 % | 0% | 0% | 100 % |
| Psje. Las Américas – Jr. Los Proceres | 100% | 0% | 0% | 100% |
| Jr. Los proceres – Jr. Diego Ferre | 100% | 0% | 0% | 100 % |
| Jr. Diego Ferré – Psje San Antonio | 100 % | 0% | 0% | 100% |
| Psje. San Antonio – Jr. Argentina | 100 % | 0% | 75% | 25% |
| Jr. Argentina – Jr. Santa Rosa | 100% | 0% | 75% | 25% |
| Jr. Santa Rosa – Jr. Misión Japonesa | 100% | 0% | 100% | 0% |
| Jr. Misión Japonesa – Jr. La Historia | 100% | 0% | 0% | 100% |
| Jr. La Historia – Psje. El Imperio | 100% | 0% | 0% | 100% |
| Psje. El imperio – Jr. Los Conquistadores | 0% | 0% | 0% | 100% |

Fuente: *Elaboración propia (2023).*

Propuesta profesional de mejora al drenaje pluvial de la Av. San Martín de Porres, comprendida entre las intersecciones de la Av. Atahualpa y el Jr. Los Conquistadores de la ciudad de Cajamarca.

La propuesta de solución que ayude a mejorar las condiciones actuales del drenaje pluvial de la zona en estudio está basado en aumentar la sección de cunetas y de los canales con rejilla; así como la ubicación y ejecución de canales colectores aumentando la sección para que puedan conducir la escorrentía de manera satisfactoria y así de este modo tratar de mitigar el colpaso de aguas pluviales en los sistemas de drenaje.

Lado Derecho de la Av. San Martín de Porres

Tabla 75

Dimensionamiento del drenaje en zonas crítica del tramo 2: Jr. Bolognesi – Jr. Emancipación

Para el caudal de diseño $Q = 2.24 \text{ m}^3/\text{s}$

| Datos | Valores |
|----------------------|------------------------|
| Caudal (Q) | 2.24 m ³ /s |
| Talud (Z) | 100 |
| Rugosidad (n) | 0.014 |
| Pendiente (Z) | 0.0013 m/m |
| Resultados | |
| Tirante normal (y) | 0.2007 m |
| Area hidráulica (A) | 4.0279 m ² |
| Espejo de agua (T) | 40.1393 m |
| Numero de froude (F) | 0.5605 |
| Perímetro (p) | 40.1413 m |
| Radio hidráulico (R) | 0.1003 m |
| Velocidad (v) | 0.5561 m/s |
| Tipo de flujo | Subcrítico |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 76

Dimensionamiento del drenaje en zona crítica del tramo 12: Psje. El Imperio – Jr. Los Conquistadores

Para el caudal de diseño $Q = 2.86 \text{ m}^3/\text{s}$

| Datos | Valores |
|----------------------|------------------------|
| Caudal (Q) | 2.86 m ³ /s |
| Talud (Z) | 100 |
| Rugosidad (n) | 0.014 |
| Pendiente (Z) | 0.0015 m/m |
| Resultados | |
| Tirante normal (y) | 0.2141 m |
| Area hidráulica (A) | 4.5862 m ² |
| Espejo de agua (T) | 42.8264 m |
| Numero de froude (F) | 0.6086 |
| Perímetro (p) | 42.8285 m |
| Radio hidráulico (R) | 0.1071 m |
| Velocidad (v) | 0.6237 m/s |
| Tipo de flujo | Subcrítico |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Lado Izquierdo de la Av. San Martín de Porres

Tabla 77

Dimensionamiento del drenaje en zonas crítica del tramo 1: Av. Atahualpa - Jr. Bolognesi

Para el caudal de diseño $Q = 2.07 \text{ m}^3/\text{s}$

| Datos | Valores |
|---------------------|------------------------|
| Caudal (Q) | 2.07 m ³ /s |
| Talud (Z) | 100 |
| Rugosidad (n) | 0.014 |
| Pendiente (Z) | 0.0014 m/m |
| Resultados | |
| Tirante normal (y) | 0.1922 m |
| Area hidráulica (A) | 3.6923 m ² |

| | |
|----------------------|------------|
| Espejo de agua (T) | 38.4309 m |
| Numero de froude (F) | 0.5775 |
| Perímetro (p) | 38.4328 m |
| Radio hidráulico (R) | 0.0961 m |
| Velocidad (v) | 0.5606 m/s |
| Tipo de flujo | Subcrítico |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 78

Dimensionamiento del drenaje en zonas crítica del tramo 2: Jr. Bolognesi - Jr. Emancipación

Para el caudal de diseño $Q = 2.24 \text{ m}^3/\text{s}$

| Datos | Valores |
|---------------|------------------------|
| Caudal (Q) | 2.24 m ³ /s |
| Talud (Z) | 100 |
| Rugosidad (n) | 0.014 |
| Pendiente (Z) | 0.0013 m/m |

Resultados

| | |
|----------------------|-----------------------|
| Tirante normal (y) | 0.2007 m |
| Area hidráulica (A) | 4.0279 m ² |
| Espejo de agua (T) | 40.1393 m |
| Numero de froude (F) | 0.5605 |
| Perímetro (p) | 40.1413 m |
| Radio hidráulico (R) | 0.1003 m |
| Velocidad (v) | 0.5561 m/s |
| Tipo de flujo | Subcrítico |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 79

Dimensionamiento del drenaje en zonas crítica del tramo 3: Jr. Emancipación – Psje. Las Américas

Para el caudal de diseño $Q = 2.10 \text{ m}^3/\text{s}$

| Datos | Valores |
|------------|------------------------|
| Caudal (Q) | 2.10 m ³ /s |
| Talud (Z) | 100 |

| | |
|---------------|------------|
| Rugosidad (n) | 0.014 |
| Pendiente (Z) | 0.0020 m/m |

Resultados

| | |
|----------------------|-----------------------|
| Tirante normal (y) | 0.1807 m |
| Area hidráulica (A) | 3.2651 m ² |
| Espejo de agua (T) | 36.1393 m |
| Numero de froude (F) | 0.6832 |
| Perímetro (p) | 36.1411 m |
| Radio hidráulico (R) | 0.0903 m |
| Velocidad (v) | 0.6432 m/s |
| Tipo de flujo | Subcrítico |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 80

Dimensionamiento del drenaje en zonas crítica del tramo 4: Psje. Las Américas – Jr. Los

Proceres

Para el caudal de diseño $Q = 1.83 \text{ m}^3/\text{s}$

| Datos | Valores |
|---------------|------------------------|
| Caudal (Q) | 1.83 m ³ /s |
| Talud (Z) | 100 |
| Rugosidad (n) | 0.014 |
| Pendiente (Z) | 0.0019 m/m |

Resultados

| | |
|----------------------|-----------------------|
| Tirante normal (y) | 0.1733 m |
| Area hidráulica (A) | 3.0021 m ² |
| Espejo de agua (T) | 34.6532 m |
| Numero de froude (F) | 0.6612 |
| Perímetro (p) | 36.6550 m |
| Radio hidráulico (R) | 0.0866 m |
| Velocidad (v) | 0.6096 m/s |
| Tipo de flujo | Subcrítico |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 81

Dimensionamiento del drenaje en zonas crítica del tramo 6: Jr. Diego Ferre – Psaje. San Antonio

Para el caudal de diseño $Q = 1.66 \text{ m}^3/\text{s}$

| Datos | Valores |
|----------------------|------------------------|
| Caudal (Q) | 1.66 m ³ /s |
| Talud (Z) | 100 |
| Rugosidad (n) | 0.014 |
| Pendiente (Z) | 0.0020 m/m |
| Resultados | |
| Tirante normal (y) | 0.1670 m |
| Area hidráulica (A) | 2.7904 m ² |
| Espejo de agua (T) | 33.4091 m |
| Numero de froude (F) | 0.6572 |
| Perímetro (p) | 33.4108 m |
| Radio hidráulico (R) | 0.0835 m |
| Velocidad (v) | 0.5949 m/s |
| Tipo de flujo | Subcrítico |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 82

Dimensionamiento del drenaje en zonas crítica del tramo 7: Psaje. San Antonio – Av. Argentina

Para el caudal de diseño $Q = 1.69 \text{ m}^3/\text{s}$

| Datos | Valores |
|---------------------|------------------------|
| Caudal (Q) | 1.69 m ³ /s |
| Talud (Z) | 100 |
| Rugosidad (n) | 0.014 |
| Pendiente (Z) | 0.0011 m/m |
| Resultados | |
| Tirante normal (y) | 0.1863 m |
| Area hidráulica (A) | 3.4715 m ² |

| | |
|----------------------|------------|
| Espejo de agua (T) | 37.2638 m |
| Numero de froude (F) | 0.5092 |
| Perímetro (p) | 37.2657 m |
| Radio hidráulico (R) | 0.0932 m |
| Velocidad (v) | 0.4868 m/s |
| Tipo de flujo | Subcrítico |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 83

Dimensionamiento del drenaje en zonas crítica del tramo 8: Av. Argentina – Jr. Santa Rosa

Para el caudal de diseño $Q = 1.49 \text{ m}^3/\text{s}$

| Datos | Valores |
|---------------|------------------------|
| Caudal (Q) | 1.49 m ³ /s |
| Talud (Z) | 100 |
| Rugosidad (n) | 0.014 |
| Pendiente (Z) | 0.0012 m/m |

Resultados

| | |
|----------------------|-----------------------|
| Tirante normal (y) | 0.1748 m |
| Area hidráulica (A) | 3.0572 m ² |
| Espejo de agua (T) | 34.9695 m |
| Numero de froude (F) | 0.5263 |
| Perímetro (p) | 34.9712 m |
| Radio hidráulico (R) | 0.0874 m |
| Velocidad (v) | 0.1870 m/s |
| Tipo de flujo | Subcrítico |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 84

Dimensionamiento del drenaje en zonas crítica del tramo 9: Jr. Santa Rosa – Jr. Misión

Japonesa

Para el caudal de diseño $Q = 2.15 \text{ m}^3/\text{s}$

| Datos | Valores |
|------------|------------------------|
| Caudal (Q) | 1.49 m ³ /s |
| Talud (Z) | 100 |

| | |
|---------------|------------|
| Rugosidad (n) | 0.014 |
| Pendiente (Z) | 0.0015 m/m |

Resultados

| | |
|----------------------|-----------------------|
| Tirante normal (y) | 0.1924 m |
| Area hidráulica (A) | 3.7018 m ² |
| Espejo de agua (T) | 38.4803 m |
| Numero de froude (F) | 0.5949 |
| Perímetro (p) | 38.4822 m |
| Radio hidráulico (R) | 0.0962 m |
| Velocidad (v) | 0.5808 m/s |
| Tipo de flujo | Subcrítico |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 85

Dimensionamiento del drenaje en zonas crítica del tramo 10: Jr. Misión Japonesa – Jr. La

Historia

Para el caudal de diseño $Q = 2.94 \text{ m}^3/\text{s}$

| Datos | Valores |
|---------------|------------------------|
| Caudal (Q) | 2.94 m ³ /s |
| Talud (Z) | 100 |
| Rugosidad (n) | 0.014 |
| Pendiente (Z) | 0.0016 m/m |

Resultados

| | |
|----------------------|-----------------------|
| Tirante normal (y) | 0.2138 m |
| Area hidráulica (A) | 4.5962 m ² |
| Espejo de agua (T) | 42.7512 m |
| Numero de froude (F) | 0.6284 |
| Perímetro (p) | 42.7534 m |
| Radio hidráulico (R) | 0.1069 m |
| Velocidad (v) | 0.6434 m/s |
| Tipo de flujo | Subcrítico |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 86

Dimensionamiento del drenaje en zonas crítica del tramo 11: Jr. La Historia – Psje. El Imperio

Para el caudal de diseño $Q = 2.56 \text{ m}^3/\text{s}$

| Datos | Valores |
|----------------------|------------------------|
| Caudal (Q) | 2.56 m ³ /s |
| Talud (Z) | 100 |
| Rugosidad (n) | 0.014 |
| Pendiente (Z) | 0.0013 m/m |
| Resultados | |
| Tirante normal (y) | 0.2110 m |
| Area hidráulica (A) | 4.4522 m ² |
| Espejo de agua (T) | 42.2004 m |
| Numero de froude (F) | 0.5652 |
| Perímetro (p) | 42.2025 m |
| Radio hidráulico (R) | 0.1055 m |
| Velocidad (v) | 0.5750 m/s |
| Tipo de flujo | Subcrítico |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 87

Dimensionamiento del drenaje en zonas crítica del tramo 12: Psje. El Imperio – Jr. Los Conquistadores

Para el caudal de diseño $Q = 2.86 \text{ m}^3/\text{s}$

| Datos | Valores |
|----------------------|------------------------|
| Caudal (Q) | 2.86 m ³ /s |
| Talud (Z) | 100 |
| Rugosidad (n) | 0.014 |
| Pendiente (Z) | 0.0015 m/m |
| Resultados | |
| Tirante normal (y) | 0.2141 m |
| Area hidráulica (A) | 4.5852 m ² |
| Espejo de agua (T) | 42.8264 m |
| Numero de froude (F) | 0.6086 |

| | |
|----------------------|------------|
| Perímetro (p) | 42.8285 m |
| Radio hidráulico (R) | 0.1071 m |
| Velocidad (v) | 0.6237 m/s |
| Tipo de flujo | Subcrítico |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 88

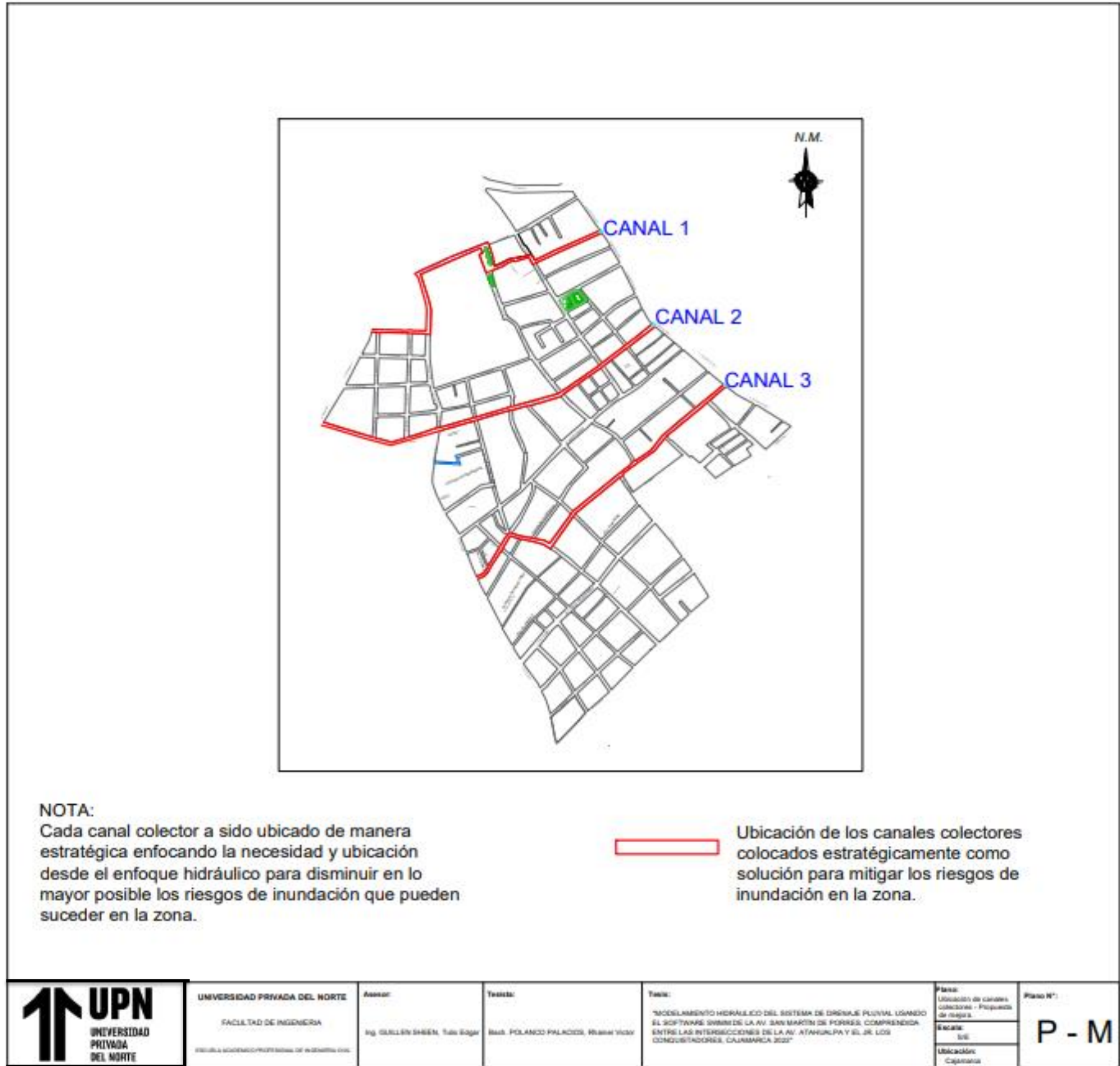
Diseño hidráulico de canales colectores

| Colector | n | y (m) | b (m) | p (m) | A (m ²) | Rh (m) | S (m/m) | Q (m ³ /s) | V (m ² /s) |
|----------|-------|----------|----------|----------|------------------------|-----------|------------|--------------------------|--------------------------|
| Canal 1 | 0.014 | 0.75 | 0.50 | 2.0000 | 0.3750 | 0.1875 | 0.0020 | 3.9242 | 10.4646 |
| Canal 2 | 0.014 | 0.75 | 0.50 | 2.0000 | 0.3750 | 0.1875 | 0.0018 | 3.7228 | 9.9276 |
| Canal 3 | 0.014 | 0.70 | 0.50 | 1.9000 | 0.3500 | 0.1842 | 0.0015 | 3.1347 | 8.9563 |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 64

Ubicación de los canales colectores propuestos



Fuente: Elaboración propia (2023).

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Discusión

Con respecto a la evaluación del drenaje pluvial existente de la figura 19 a la figura 30 se puede observar las secciones transversales de las calles con sus dimensiones constatadas en campo.

De la tabla 34 a la tabla 56 se detallan las características típicas, características geométricas y los cálculos hidráulicos para la cual se ha empleado la fórmula de Manning con el fin de calcular la capacidad de la calle y la velocidad de la calzada; se realizó el análisis para el lado derecho y lado izquierdo de la Av. San Martín de Porres comprendida entre las intersecciones de la Av. Atahualpa y el Jr. Los Conquistadores, obteniéndose un $Q_{\max} = 5.8919 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{\min} = 0.4335 \text{ m}^3/\text{s}$, $V_{\max} = 2.3048 \text{ m/s}$ y $V_{\min} = 0.4335 \text{ m/s}$.

En la tabla 58 se realizó la evaluación de la capacidad hidráulica del lado derecho de cada uno de los tramos de las calles con respecto al caudal de diseño de los periodos de retorno de 2,5,10 y 25 años respectivamente; observando que en el tramo del Jr. Bolognesi – Jr. Emancipación la capacidad hidráulica no es suficiente para evacuar el caudal de escorrentía para un periodo de retorno de 25 años y en el tramo del Psje. El Imperio – Jr. Los Conquistadores la capacidad hidráulica no es suficiente para evacuar el caudal de escorrentía para los periodos de retorno de 2,5,10 y 25 años respectivamente.

En la tabla 59 se realizó la evaluación de la capacidad hidráulica del lado izquierdo de cada uno de los tramos de las calles con respecto al caudal de diseño de los tiempos de retorno de 2,5,10 y 25 años respectivamente; observando que en los tramos de la Av. Atahualpa – Jr. Bolognesi, Jr. Bolognesi – Jr. Emancipación, Jr. Emancipación – Psje Las Américas, Psje. Las Américas – Jr. Los Proceres, Jr. Diego Ferre – Psje. San Antonio, Jr. Santa Rosa – Jr. Misión

Japonesa, Jr. Misión Japonesa – Jr. La Historia, Jr. La Historia – Psje El Imperio y Psje El Imperio – Jr. Los Conquistadores la capacidad hidráulica no es suficiente para evacuar el caudal de escorrentía para un periodo de retorno de 2, 5, 10 y 25 años y en el tramo del Psje. El Imperio – Jr. Los Conquistadores la capacidad hidráulica no es suficiente para evacuar el caudal de escorrentía para los periodos de retorno de 2,5,10 y 25 años; el tramo Psje San Antonio – Jr. Argentina y Jr. Argentina – Jr. Santa Rosa la capacidad hidráulica no es suficiente para evacuar el caudal de escorrentía para un periodo de retorno de 25 años.

En la tabla 60 se realizó la evaluación de las pendientes y velocidades del lado derecho con respecto a los parámetros estipulados por la norma CE. 040 observándose que tanto la pendiente longitudinal como la pendiente transversal no cumple para ninguno de los tramos; por otro lado la velocidad es no erosiva para todos los tramos por lo tanto si cumple de acuerdo al rango estipulado por la norma CE. 040.

En la tabla 61 se realizó la evaluación de las pendientes y velocidades del lado izquierdo con respecto a los parámetros estipulados por la norma CE. 040 observándose que tanto la pendiente longitudinal como la pendiente transversal no cumple para ninguno de los tramos; por otro lado la velocidad es no erosiva para todos los tramos por lo tanto si cumple de acuerdo al rango estipulado por la norma CE. 040.

La verificación del sistema de drenaje pluvial con el modelamiento hidráulico en SWMM se realizó bajo las consideraciones técnicas de la Norma CE.040; por lo cual para determinar los caudales para el modelamiento se tomo los periodos de retorno de 2, 5, 10 y 25 años mencionado en el artículo 11.2 de la Norma CE 040 con el fin de prevenir zonas inundables en la cuenca urbana de estudio. La formula a aplicar para determinar caudales fue la del Método Racional la cual según la norma nos indica que es aplicable para cuencas iguales o menores a 3 Km², en el coeficiente de escorrentía se consideró los valores de 0.75 para un

Tiempo de Retorno igual a 2 años, 0.80 para un Tiempo de retorno igual a 5 años, 0.83 para un Tiempo de retorno igual a 10 años y 0.88 para un tiempo de retorno igual a 25 años, tomados de la tabla 1.a de la norma CE 040 del artículo 1.2.4.; para el modelo en SWMM el porcentaje del área impermeable de cada subcuenca se ha obtenido valores entre 90% y 96% comprendidos dentro de estas áreas impermeables las vías, veredas, techos de las viviendas entre otros como se puede visualizar en la tabla 64.

La investigación comprende el área urbana de la ciudad de Cajamarca de la Av. San Martín de Porres comprendida entre las intersecciones de la Av Atahualpa y el Jr. Los conquistadores, obteniendo para el presente estudio 13 Subcuencas urbanas aportantes a la avenida principal de estudio e ingresadas al modelo en SWMM, en el modelo hidrológico se tomaron los datos de las Pmax en 24Horas de la estación Augusto Weberbauer.

Para la simulación en SWMM, se realizó el dibujo de las 13 subcuencas urbanas, así como el ingreso de las características geométricas e hidrológicas de estas como se puede observar en la tabla 34, para el ingreso de los colectores se ingresaron sus datos de la geometría, pendiente y características de material en función a la rugosidad como se indica en la tabla 62, tabla 63 y tabla 65.

En la visualización de los resultados para el Tiempo de Retorno de 2, 5, 10 y 25 años, como se aprecia de la figura 39 a la figura 63, se dedujo que el tiempo más crítico del comportamiento hidráulico se da en las subcuencas como en los colectores, así mismo podemos apreciar que en el mismo instante crítico los perfiles de flujo de la AV San Martín de Porres para los diferentes escenarios donde se visualiza una condición no óptima en un deficiente comportamiento del drenaje de estos colectores, llegando en muchos de ellos a su máxima capacidad de los conductos, donde mayor incidencia se puede observar para el TR de 5 años, TR de 10 años y TR de 25 años.

En la evacuación de los 3 colectores que derivan las aguas pluviales dentro de la Av. San Martín de Porres, observándose en la Tabla 67 para un tiempo de retorno igual a 2 años, Tabla 69 para un Tiempo de retorno igual a 5 años, Tabla 71 para un tiempo de retorno igual a 10 años y Tabla 73 para un tiempo de retorno igual a 25 años, en los cuales se tiene caudales máximos acumulados en el tiempo de simulación 02:00 horas drenados para los tiempos de retorno de 2, 5, 10 y 25 años obteniéndose valores de 2.86 m³/s, 2.93 m³/s, 2.95 m³/s y 3.09 m³/s respectivamente.

Las zonas de inundación como se visualiza en la Tabla 66 para un tiempo de retorno igual a 2 años, Tabla 68 para un tiempo de retorno igual a 5 años, Tabla 70 para un tiempo de retorno igual a 10 años y Tabla 72 para un tiempo de retorno igual a 25 años; podemos observar en el instante más crítico siendo en el tiempo de simulación de 02:00 horas lo siguiente:

- Para el TR de 2 años hay nodos con valores de inundación de 0.09 m³/s a 0.23 m³/s, pero también podemos verificar los puntos más críticos están en los nodos P01, P12, P14, P18, P22, P24, P30 y P31 teniendo valores de 0.49 m³/s hasta 1.30 m³/s.
- Para el TR de 5 años hay nodos con valores de inundación de 0.09 m³/s a 0.35 m³/s, pero también podemos verificar los puntos más críticos están en los nodos P01, P07, P12, P13, P14, P18, P22, P24, P30 y P31 teniendo valores de 0.50 m³/s hasta 1.57 m³/s.
- Para el TR de 10 años hay nodos con valores de inundación de 0.09 m³/s a 0.42 m³/s, pero también podemos verificar los puntos más críticos están en los nodos P01, P07, P12, P13, P14, P18, P22, P24, P30 y P31 teniendo valores de 0.53 m³/s hasta 1.65 m³/s.
- Para el TR de 25 años hay nodos con valores de inundación de 0.09 m³/s a 0.53 m³/s, pero también podemos verificar los puntos más críticos están en los nodos P01, P05, P07, P12, P13, P14, P18, P22, P24, P30 y P31 teniendo valores de 0.53 m³/s hasta 2.18 m³/s.

Así mismo comparando los antecedentes con nuestros resultados tenemos que:

Tabla 89

Comparación de datos obtenidos vs antecedente 01

| Antecedente | Parámetro | Resultados del Antecedente | Resultados Obtenidos |
|-------------|--------------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| 01 | Intensidad de lluvia (I) | 92.76 mm/hr | 12.50 mm/hr |
| | Caudal Máximo (Q) | 0.036 m ³ /s | 11.30 m ³ /s |
| | Coefficiente de escorrentia (C) | 0.85 | 0.83 |
| | Pendiente | 1% a 5% | 1% |
| | Coefficiente de rugosidad (n) | 0.01 | 0.014 |
| | Velocidad máxima (V _{máx}) | 4.25 m/s | 2.30 m/s |
| | Velocidad mínima (V _{mín}) | 0.95 m/s | 0.43 m/s |

Fuente: Elaboración propia (2023).

En la tabla 89 se aprecia que para un tiempo de retorno de 10 años en el antecedente 01, la intensidad de lluvia es muy torrencial a comparación del resultado obtenido que es una lluvia moderada, se obtuvo un caudal de diseño de 0.036 m³/s para un periodo de retorno de 10 años con pendientes de la zona que varían entre 1% a 5%, las velocidades del flujo fueron de V_{min}= 0,95 m/s y V_{max}= 4,25 m/s; en esta investigación se obtuvo un caudal de diseño total de 11.30m³/s para un periodo de retorno de 10 años con pendiente transversal de 1% que de acuerdo a la norma CE. 040 no cumplen, ya que el rango estipulado por la norma técnica CE. 040 es: $S_t \geq 2.5\%$, con velocidades no erosivas donde el flujo transcurre con normalidad, dichos valores se encuentran dentro del rango $V < 2.5 \text{ m/s}$ estipulado por la norma técnica CE.040.

Tabla 90

Comparación de datos obtenidos vs antecedente 02

| Antecedente | Parámetro | Resultados del Antecedente | Resultados Obtenidos |
|-------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------|
| 02 | Caudal Máximo (Q) | 0.075 m ³ /s | 11.30 m ³ /s |
| | Canales de tipo trapecoidal | 0.90m x 0.45m x 0.60m | -- |

Canales tipo triangular

0.25m x 0.50m

0.30m x 0.45m

Fuente: *Elaboración propia (2023).*

En la tabla 90 se aprecia los resultados obtenidos vs los resultados del antecedente 02, en la tesis denominado “Modelamiento hidráulico del sistema de drenaje pluvial en la zona urbana del distrito de Poroto, Trujillo – La Libertad, 2020” realizaron el modelamiento hidráulico para los periodos de retono de 2,5,10,25 y 50 años, donde la capacidad hidráulica de las estructuras existentes cumplen para la evacuación de la escorrentia de los periodos de retorno antes mencionados, los autores plantearon el uso de canales de tipo trapezoidal de 0.90 x 0.45m x 0.60m y canales de tipo triangular de 0.25m x 0.50m, para un caudal de 0.075 m³/s; en comparación con esta investigación la capacidad hidráulica en la mayoría de los tramos solo abastece para un periodo de retono de 10 años por lo que se planteó reestructurar el dimensionamiento de algunas cunetas de tipo triangular a 0.30 m x 0.45 m, al igual que el de los colectores a 0.75 m x 0.50 m, para dar una mejor funcionamiento al sistema de drenaje en estudio.

Tabla 91

Comparación de datos obtenidos vs antecedente 03

| Antecedente | Parámetro | Resultados del Antecedente | Resultados Obtenidos |
|-------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------|
| 03 | Conductos que sobrepasa la velocidad | 41.1% | 32.5% |
| | Conductos que se sobrecargan | 18.18% | 65.0% |
| | Nodos que poseen mas de 200 m ³ de inundación | 5.56% | 8.0% |
| | Nodos que poseen entre 100 y 200 m ³ de inundación | 8.33% | 12.25% |

Fuente: *Elaboración propia (2023).*

De la tabla 91 se puede concluir que, el 41.1% de conductos sobrepasa la velocidad máxima de seguridad, el 18.18% de conductos se sobrecargan, el 5.56% de los nodos poseen más de 200 m³ de volumen de inundación y un 8.33% entre 100 y 200 m³ llegando a la conclusión

que existe un constante riesgo de inundación y anegamientos mientras no se controle la escorrentía superficial; sin haber existido un planeamiento de urbanización en la zona y con cambios de uso de suelo constantes, el problema ira incrementando, por lo que se realizó como aporte profesional un diseño para mitigar en gran porcentaje el riesgo de inundación y anegamientos durante eventos pluviales; al igual que en este trabajo de investigación cuando realizamos el modelamiento hidráulico en el software SWMM se pudo observar que los conductos que sobrepasan la velocidad es de un 32.5%, los conductos que se sobrecargan es de un 65%; esto quiere decir que en la mayor parte de los tramos se presenta inundaciones, nodos que poseen mas de 200 m³ de inundación es de 8.0% y nodos que poseen entre 100 y 200 m³ de inundación es de 12.25 % tal como se puede apreciar en los perfiles de agua, la eventualidad se realizó para un tiempo de 2 horas donde a lo largo de todos los tramos se observa que el sistema de drenaje pluvial llega a colapsar.

En la presente investigación se tuvo algunas limitaciones que son las siguientes:

- Al momento de realizar el levantamiento topográfico no se podía tomar los datos de campo con precisión por ser una zona urbana muy transitada había mucha congestión de vehículos y personas.
- Las estructuras hidráulicas de drenaje no cuentan con un mantenimiento apropiado, dejando que se obstruyan con desechos de basura formando barro eso dificultaba al momento de las mediciones con wincha.

La implicancia de la presente investigación radica en la comprobación de que los sistemas de drenaje de agua pluvial no abastecen en su totalidad al caudal de escorrentía generado por las lluvias, al punto de colapsar las estructuras en algunos tramos.

Con respecto a la hipótesis plantada la cual es: El resultado del modelamiento hidráulico del sistema de drenaje pluvial usando el software SWMM de la Av. San Martín de Porres,

comprendida entre las intersecciones de la Av. Atahualpa y el Jr. Los Conquistadores, conlleva a que la capacidad hidráulica del sistema de drenaje pluvial solamente abastece a la demanda de retorno de hasta 10 años.

Es aceptable para los tramos del 1 al 11 de lado derecho y para los tramos 5,7,8 del lado izquierdo ya que la capacidad hidráulica es suficiente para evacuar el caudal de escorrentía.

Conclusiones

Al evaluar el comportamiento del sistema de drenaje de los 12 tramos seleccionados en la muestra se concluyó que:

- La capacidad hidráulica de las cunetas triangulares que conforman el lado derecho de la Av. San Martín de Porres abastece a 10 tramos al 100%, 1 tramo al 75% y 1 tramo no abastece en su totalidad como se observa en la tabla 74.
- La capacidad hidráulica de los canales con rejilla y cunetas triangulares que conforman el lado izquierdo de la Av. San Martín de Porres abastece a un tramo al 100%, 2 tramos al 75% y 9 tramos no abastecen en su totalidad como se observa en la tabla 74.

Luego de realizar la verificación del modelamiento hidráulico en el software SWMM del sistema de drenaje pluvial en la Av. San Martín de Porres comprendida entre las intersecciones de la Av. Atahualpa y el Jr. Los Conquistadores se concluye lo siguiente:

- Realizado el modelamiento en el software SWMM para los diferentes escenarios (2 años, 5 años, 10 años y 25 años), podemos determinar parcialmente la aceptación de nuestra hipótesis ya que es aceptable para los tramos del 1 al 11, siendo el tramo 12 rechazado ya que la capacidad hidráulica no es suficiente para evacuar la escorrentía de lado derecho y para los tramos 5,7,8 es aceptable y rechazado para los tramos 1,2,3,4,6,9,10,11,12 ya que su capacidad hidráulica no es suficiente para evacuar la escorrentía del lado izquierdo.

- Se realizó la verificación del modelamiento hidráulico del sistema de drenaje pluvial de la Av. San Martín de Porres, comprendida entre las intersecciones de la Av. Atahualpa y el Jr. Los Conquistadores. Para ello se empleó el programa de modelamiento Storm Water Management Model (SWMM), obteniendo así un deficiente funcionamiento del sistema de drenaje pluvial donde en la mayoría de los nudos para los diferentes tiempos de retorno hay inundaciones.
- Se ejecutó el levantamiento topográfico satisfactoriamente de la Av. San Martín de Porres, comprendida entre las intersecciones de la Av. Atahualpa y el Jr. Los Conquistadores con una estación total para poder realizar el modelamiento hidráulico; la información meteorológica fue tomada de la estación Augusto Weberbauer ubicada en el campus de la universidad nacional de Cajamarca, la información se obtuvo mediante el Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú (SENAMHI), que nos permitió obtener las precipitaciones máximas entre 1 y 24 horas en mm para la Av. San Martín de Porres, comprendida entre las intersecciones de la Av. Atahualpa y Jr. Los Conquistadores, obteniendo así los periodos de retorno para 2, 5, 10 y 25 años.
- Se determinó los parámetros hidrológicos mediante hojas de cálculo de Excel para periodos de retorno de 2, 5, 10 y 25 años obteniendo la curva IDF, los hietogramas de diseño y los caudales máximos de diseño.
- Del modelamiento realizado podemos concluir que, en los diferentes escenarios la capacidad hidráulica de los conductos se encuentran la mayoría en colapso, esto tomando como referencia que para nuestra investigación el sistema trabaja limpio, constatando en campo en la actualidad la Av. San Martín de Porres es colapsado por sedimentación y basura en los colectores por falta de mantenimiento lo cual aumentaría

de gran manera las inundaciones en las vías y afectación a las casas de este sector con respecto al modelamiento en el software SWMM.

- Se planteo una propuesta de solución que ayude a mejorar el sistema de drenaje pluvial actual aumentando las secciones de los canales con rejilla del lado derecho tramo 2 y tramo 12 para abastecer a un $Q = 2.24 \text{ m}^3/\text{s}$ y $2.86 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente; al igual que también aumentando las secciones de las cunetas triangulares del lado izquierdo tramo 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 para abastecer a un $Q = 2.07 \text{ m}^3/\text{s}$, $2.24 \text{ m}^3/\text{s}$, $2.10 \text{ m}^3/\text{s}$, $1.85 \text{ m}^3/\text{s}$, $1.66 \text{ m}^3/\text{s}$, $1.69 \text{ m}^3/\text{s}$, $1.49 \text{ m}^3/\text{s}$, $2.15 \text{ m}^3/\text{s}$, $2.94 \text{ m}^3/\text{s}$, $2.56 \text{ m}^3/\text{s}$, $2.86 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente y colocando de manera estratégica los colectores para abastecer a un $Q = 3.92 \text{ m}^3/\text{s}$, $3.72 \text{ m}^3/\text{s}$ y $3.13 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente.

REFERENCIAS

Rojas Naira, P. y Humpiri Pari, V. (2017). Evaluación, diseño y modelación del sistema de aguas pluviales de la ciudad de Juliaca utilizando el software SWMM.

[file:///C:/Users/profe/Downloads/Rojas_Naira_Paolo_Cesar_Humpiri_Pari_Vladimir_Humberto%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/profe/Downloads/Rojas_Naira_Paolo_Cesar_Humpiri_Pari_Vladimir_Humberto%20(2).pdf).

Benito Pérez, K. (2019). Aplicación del software SWMM de un sistema de drenaje pluvial urbano en la ciudad de Tayacaja. http://www.repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/1301/T037_48189922_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

García Castillo, Y. & Miranda Requena, D. (2021). Diseño de drenaje pluvial en la cuenca Poder Judicial de la ciudad de Sullana usando el programa SWMM. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/5335/ICI_2123.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Victoria Narro, P. (2021). Diseño de un sistema de drenaje pluvial urbano en la ciudad de Otuzco, la libertad utilizando como herramienta el modelo matemático SWMM. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/21652/LUNA%20VICTORIA%20NARRO%20PEDRO%20DIEGO.pdf?sequence=5&isAllowed=y>.

Domingos Da Silva, D. (2016). La modelación matemática como estrategia en el diseño de redes de drenaje pluvial urbano. Revista de ingeniería hidráulica y ambiental. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/74087/Alvarez_EG-Usquiano_PEE-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Ranald Giles, V; Jack Evett, B & Cheng Liu (2012). Análisis dimensional y semejanza hidráulica: Mecánica de los fluidos e hidráulica. 4ta edición. España. file:///C:/Users/user/Downloads/Mecanica_de_los_Fluidos_e_Hidraulica_Ter.pdf.

Ley N° 1356. Ley general de drenaje pluvial. Diario oficial el peruano, Lima, Perú, sábado 1 de diciembre del 2018. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/per182802.pdf>.

Ley N° 17532 Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), diario el peruano, lima, Perú, 25 de octubre de 1999. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/00701SENA-155.pdf>.

ROSALES, Martha. Drenaje Pluvial: Manejo del drenaje pluvial mediante control de la fuente de escurrimientos superficiales. Cultura Ciencia y Tecnología. Mayo – Agosto 2015. (Fecha de consulta: 20 noviembre del 2019). <https://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/686/665>.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Reglamento Nacional de Edificaciones. NTP: obras de saneamiento - CE. 040 Drenaje pluvial, Lima 23 de abril del 2021. https://cdn-web.construccion.org/normas/files/vivienda/RM_126-2021-Vivienda.pdf.