



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS HIDROLÓGICO PARA EL DISEÑO DEL
SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN EL
SECTOR PARCO CHICO, CIUDAD DE POMABAMBA,
ÁNCASH - PERÚ**

PRESENTADA POR

CLORINDA STEPPANY ESCUDERO CUEVA

GIANCARLO JOSE PEREZ TAYPE

ASESORES

GERARDO ENRIQUE CANCHO ZUÑIGA

RODOLFO RICARDO MARQUINA CALLACNA

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

LIMA – PERÚ

2019



CC BY-NC-ND

Reconocimiento – No comercial – Sin obra derivada

La autora sólo permite que se pueda descargar esta obra y compartirla con otras personas, siempre que se reconozca su autoría, pero no se puede cambiar de ninguna manera ni se puede utilizar comercialmente.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



USMP | FACULTAD DE
UNIVERSIDAD DE SAN MARTÍN DE PORRES | INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS HIDROLÓGICO PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE
DRENAJE PLUVIAL URBANO EN EL SECTOR PARCO CHICO,
CIUDAD DE POMABAMBA, ÁNCASH - PERÚ**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR

**ESCUADERO CUEVA, CLORINDA STEPPANY
PEREZ TAYPE, GIANCARLO JOSE**

ASESORES

**DR. GERARDO ENRIQUE, CANCHO ZUÑIGA
MG. RODOLFO RICARDO, MARQUINA CALLACNA**

LIMA – PERÚ

2019

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres Jose Perez y Mercedes Taype, por mostrarme el camino hacia la superación. Muchos de mis logros se los debo a ustedes y a mis hermanos, Cristhian y Pamela, por estar siempre a mi lado.

Giancarlo Perez

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres Fredy y Marli, por su constante apoyo y aliento de superación, por contribuir a mi desarrollo personal y profesional. A mi abuela, Clorinda Vega y a mi tía, Ada Cueva por su apoyo incondicional y a mis hermanas, Flormely y Jisella por estar siempre presentes en cada momento importante de mi vida.

Steppany Escudero

AGRADECIMIENTO

Agradecer, principalmente, a las personas que influyeron de manera importante en el desarrollo de la presente tesis, como lo fueron nuestros padres porque sin su constante apoyo, el camino hubiese sido más largo y difícil. También agradecer al ingeniero Renzo Espinoza y al ingeniero Pedro Muñoz por su aporte y aliento constante. A nuestros asesores el Dr. Gerardo Cancho y el Mg. Rodolfo Marquina, quienes nos guiaron de manera constante para el desarrollo de la tesis.

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Descripción de la realidad problemática	1
1.2 Justificación e importancia	4
1.3 Viabilidad	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	6
2.1 Antecedentes de la investigación	6
2.2 Bases teóricas	9
2.3 Definiciones de términos básicos	17
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	22
3.1 Diseño metodológico	22
3.2 Variables	22
3.3 Descripción y características de la zona de estudio	25
3.4 Técnicas de recolección de datos	26
3.5 Recopilación de información existente	26
3.6 Trabajos de campo	27

3.7 Trabajos de gabinete	27
CAPÍTULO IV. DESARROLLO	29
4.1 Análisis hidrológico	29
4.2 Sistema de drenaje pluvial urbano para un tiempo de retorno de 10 años	46
4.3 Sistema de drenaje pluvial urbano para un tiempo de retorno de 25 años	70
4.4 Costo de sumideros para tiempos de retorno de 10 y 25 años	93
CAPÍTULO V. RESULTADOS	101
CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN	104
6.1 Hipótesis general	104
6.2 Hipótesis específicas	104
CONCLUSIONES	106
RECOMENDACIONES	108
FUENTES INFORMACIÓN	109
ANEXOS	111

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Calles de Parco Chico, inundadas impidiendo el tránsito	2
Figura 2. Calle de Parco Chico con materiales arrastrados por la lluvia y agua empozada	3
Figura 3. Coeficiente de rugosidad “n”	11
Figura 4. Sumidero lateral de sardinel o solera	15
Figura 5. Sumidero de fondo	16
Figura 6. Sumidero mixto o combinado	16
Figura 7. Cálculo de Rf	17
Figura 8. Matriz de consistencia	23
Figura 9. Operacionalización de variables	24
Figura 10. Ubicación de la zona de estudio	26
Figura 11. Regresión de la curva intensidad vs duración para periodo de retorno 2 años	36
Figura 12. Regresión de la curva intensidad vs duración para periodo de retorno 5 años	37
Figura 13. Regresión de la curva intensidad vs duración para periodo de retorno 10 años	38
Figura 14. Regresión de la curva intensidad vs duración para periodo de retorno 25 años	39
Figura 15. Regresión de la curva intensidad vs duración para periodo de retorno 50 años	40
Figura 16. Regresión de la curva intensidad vs duración para periodo de retorno 75 años	41
Figura 17. Regresión de la curva intensidad vs duración para periodo de retorno 100 años	42
Figura 18. Regresión de la curva intensidad vs duración para periodo de retorno 500 años	43
Figura 19. Constante de regresión d vs los periodos de retorno	45
Figura 20. Representación gráfica de la curva IDF en el software sewergems, utilizando la ecuación general según Bernard, utilizando para $T_r = 10$ años	47
Figura 21. Modelamiento del sistema de alcantarillado, tres líneas de colectoras centrales con sus salidas de evacuación (Outfall), $T_r = 10$ años, software sewergems	48

Figura 22. Flex Table: Conduit Table, tuberías del alcantarillado pluvial, Tr = 10 años	49
Figura 23. Flex Table: Outfall Table, evacuación de las aguas de lluvia, Tr = 10 años	49
Figura 24. Flex Table: Manhole Table, pozos de registro de todo el sistema de drenaje pluvial, Tr = 10 años	50
Figura 25. Flex Table: Catchment Table, caudal de escorrentía (l/s) que desemboca en los diferentes pozos de registro, Tr = 10 años	50
Figura 26. Calculo de velocidad y tirante para el colector ALL-14 para un diámetro de 0.540 m, Tr = 10 años, software Hcanales	54
Figura 27. Calculo de velocidad y tirante para el colector ALL-12 para un diámetro de 0.540 m, Tr = 10 años, software Hcanales	54
Figura 28. Gráfico para hallar el valor de Rf, utilizando para Tr = 10 años	67
Figura 29. Representación gráfica de la curva IDF en el software sewergems, utilizando la ecuación general según Bernard, utilizando para Tr = 25 años	71
Figura 30. Modelamiento del sistema de alcantarillado, tres líneas de colectoras centrales con sus salidas de evacuación (Outfall), Tr = 10 años, software sewergems	72
Figura 31. Flex Table: Conduit Table, tuberías del alcantarillado pluvial, Tr = 25 años	73
Figura 32. Flex Table: Outfall Table, evacuación de las aguas de lluvia, Tr = 25 años	73
Figura 33. Flex Table: Manhole Table, pozos de registro de todo el sistema de drenaje pluvial, Tr = 25 años	74
Figura 34. Flex Table: Catchment Table, caudal de escorrentía (l/s) que desemboca en los diferentes pozos de registro, Tr = 25 años	74
Figura 35. Calculo de velocidad y tirante para el colector ALL-14 para un diámetro de 0.540 m, Tr = 25 años, software Hcanales	77
Figura 36. Calculo de velocidad y tirante para el colector ALL-12 para un diámetro de 0.540 m, Tr = 25 años, software Hcanales	78
Figura 37. Gráfico para hallar el valor de Rf, utilizando para Tr = 25 años	90

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Acceso a la provincia de Pomabamba	25
Tabla 2. Ubicación de la estación meteorológica Pomabamba	29
Tabla 3. Máxima precipitación mensual de la estación meteorológica Pomabamba	30
Tabla 4. Distribución probabilística de Gumbel	31
Tabla 5. Datos para el cálculo de la función de probabilidad	33
Tabla 6. Precipitaciones máximas diarias probables para distintos periodos de retorno	33
Tabla 7. Coeficientes de duración de lluvias entre 1 y 24 horas	34
Tabla 8. Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias	34
Tabla 9. Intensidad de lluvia para diferentes tiempos de retorno	35
Tabla 10. Representación matemática de la curva IDF, periodo de retorno 2 años (Bernard)	36
Tabla 11. Representación matemática de la curva IDF, periodo de retorno 5 años (Bernard)	37
Tabla 12. Representación matemática de la curva IDF, periodo de retorno 10 años (Bernard)	38
Tabla 13. Representación matemática de la curva IDF, periodo de retorno 25 años (Bernard)	39
Tabla 14. Representación matemática de la curva IDF, periodo de retorno 50 años (Bernard)	40
Tabla 15. Representación matemática de la curva IDF, periodo de retorno 75 años (Bernard)	41
Tabla 16. Representación matemática de la curva IDF, periodo de retorno 100 años (Bernard)	42
Tabla 17. Representación matemática de la curva IDF, periodo de retorno 500 años (Bernard)	43
Tabla 18. Resumen de aplicación de regresión potencial	44
Tabla 19. Resume de la regresión potencial según la distribución de Gumbel	44
Tabla 20. Características de los colectores de la red de alcantarillado, Tr 10 años	51
Tabla 21. Caudales para cada tramo de colector, Tr. 10 año	52
Tabla 22. Cumplimiento del parámetro de velocidad critica, Tr. 10 años	53
Tabla 23. Corrección del diámetro para el colector ALL-12 y ALL-14, Tr. 10 años	55

Tabla 24. Dimensiones y características finales para cada tramo de colector, Tr. 10 años	55
Tabla 25. Características de Outfall, Tr. 10 años	56
Tabla 26. Características de los pozos de registro, Tr. 10 años	56
Tabla 27. Características de los sectores de área Catchment, Tr. 10 años	57
Tabla 28. Área tributaria de los sectores, para cada lado de vía (sumidero), Tr. 10 años	58
Tabla 29. Porcentaje del caudal de escorrentía para cada sumidero, Tr. 10 años	58
Tabla 30. Caudal de escorrentía para cada sumidero, Tr. 10 años	59
Tabla 31. Longitud transversal de la calzada de cada tramo de vía, Tr. 10 años	60
Tabla 32. Ancho de la superficie de agua “T” en calzada según OS.060, Tr. 10 años	61
Tabla 33. Pendiente longitudinal para cada Catchment (izquierda), Tr. 10 años	61
Tabla 34. Pendiente longitudinal para cada Catchment (centro), Tr. 10 años	62
Tabla 35. Pendiente longitudinal para cada Catchment (derecha), Tr. 10 años	63
Tabla 36. Tirante de agua “Y” formado en la viabilidad de la calzada, Tr. 10 años	64
Tabla 37. Cumplimiento de la superficie de agua “T” máxima, Tr. 10 años	65
Tabla 38. Eficiencia de los sumideros, Tr. 10 años	67
Tabla 39. Caudal remanente de cada sumidero, Tr. 10 años	68
Tabla 40. Características de los colectores de la red de alcantarillado, Tr 25 años	75
Tabla 41. Caudales para cada tramo de colector, Tr. 25 año	76
Tabla 42. Cumplimiento del parámetro de velocidad crítica, Tr. 25 años	76
Tabla 43. Corrección del diámetro para el colector ALL-12 y ALL-14, Tr. 25 años	78
Tabla 44. Dimensiones y características finales para cada tramo de colector, Tr. 25 años	79
Tabla 45. Características de Outfall, Tr. 25 años	79
Tabla 46. Características de los pozos de registro, Tr. 25 años	80
Tabla 47. Características de los sectores de área Catchment, Tr. 25 años	81
Tabla 48. Área tributaria de los sectores, para cada lado de vía (sumidero), Tr. 25 años	81
Tabla 49. Porcentaje del caudal de escorrentía para cada sumidero, Tr. 25 años	82
Tabla 50. Caudal de escorrentía para cada sumidero, Tr. 25 años	83
Tabla 51. Longitud transversal de la calzada de cada tramo de vía, Tr. 25 años	84
Tabla 52. Ancho de la superficie de agua “T” en calzada según OS.060, Tr. 25 años	84
Tabla 53. Pendiente longitudinal para cada Catchment (izquierda), Tr. 25 años	85
Tabla 54. Pendiente longitudinal para cada Catchment (centro), Tr. 25 años	86

Tabla 55. Pendiente longitudinal para cada Catchment (derecha), Tr. 25 años	86
Tabla 56. Tirante de agua “Y” formado en la viabilidad de la calzada, Tr. 25 años	87
Tabla 57. Cumplimiento de la superficie de agua “T” máxima, Tr. 25 años	88
Tabla 58. Eficiencia de los sumideros, Tr. 25 años	90
Tabla 59. Caudal remanente de cada sumidero, Tr. 25 años	91
Tabla 60. Volumen de concreto F`c 175 kg/cm2, sumidero tipo 1	93
Tabla 61. Volumen de concreto F`c 175 kg/cm2, sumidero tipo 2	94
Tabla 62. Cantidad de acero corrugado 3/8”, sumidero tipo 1	94
Tabla 63. Cantidad de alambre recocido N° 16, sumidero tipo 1	94
Tabla 64. Cantidad de acero corrugado 3/8”, sumidero tipo 2	95
Tabla 65. Cantidad de alambre recocido N° 16, sumidero tipo 2	95
Tabla 66. Costo de materiales, sumidero tipo 1	95
Tabla 67. Costo de materiales, sumidero tipo 2	96
Tabla 68. Costo total de materiales para los sumideros, Tr. 10 años	96
Tabla 69. Volumen de concreto F`c 175 kg/cm2, sumidero tipo 3	97
Tabla 70. Volumen de concreto F`c 175 kg/cm2, sumidero tipo 4	97
Tabla 71. Cantidad de acero corrugado 3/8”, sumidero tipo 3	98
Tabla 72. Cantidad de alambre recocido N° 16, sumidero tipo 3	98
Tabla 73. Cantidad de acero corrugado 3/8”, sumidero tipo 4	98
Tabla 74. Cantidad de alambre recocido N° 16, sumidero tipo 4	99
Tabla 75. Costo de materiales, sumidero tipo 3	99
Tabla 76. Costo de materiales, sumidero tipo 4	99
Tabla 77. Costo total de materiales para los sumideros, Tr. 25 años	100
Tabla 78. Dimensión de los colectores para un Tr 25 años y Tr 10 años	101
Tabla 79. Dimensión de los pozos de registro para un Tr 25 años y Tr 10 años	102
Tabla 80. Profundidad de los puntos de salida (Outfall) para un Tr 25 años y Tr 10 años	103
Tabla 81. Dimensión de los sumideros para un Tr 25 años y Tr 10 años	103
Tabla 82. Diferencia de costo de materiales para un Tr 25 años y Tr 10 años	103

RESUMEN

En el departamento de Ancash, provincia de Pomabamba, el sector Parco Chico carece de un sistema de drenaje pluvial urbano que garantice la adecuada recolección, transporte y evacuación de las aguas de lluvia, que protejan las obras públicas y privadas de la zona, con el fin de que se eviten los problemas de salud causados por enfermedades gastrointestinales y epidemias, todos ellos por un foco de infección debido a la proliferación de bacterias y por la acumulación de aguas pluviales. En la investigación, se realizó el análisis hidrológico para el diseño de dos sistemas de drenaje pluvial urbano, con tiempos de retorno de 10 y 25 años, con el fin de identificar cuál de los dos sistemas es el recomendable teniendo en consideración la avenida de lluvias máximas que afectan la provincia. También se busca confirmar si el análisis hidrológico influye en el diseño de las obras superficiales (recolección) y subterráneas (transporte y evacuación) del sistema en dicho sector. De igual forma, se determinó la variación de costos de materiales entre los sistemas de drenaje con un tiempo de retorno de 10 años y con el de un tiempo de retorno de 25 años. Los resultados de la presente tesis son que el diseño del sistema para un tiempo de retorno de 25 años, es el más recomendable para cuando se planifique la elaboración de un proyecto de inversión pública en la zona de estudio.

Palabras Clave: Análisis hidrológico, drenaje pluvial.

ABSTRACT

In the department of Ancash, Pomabamba province, the Parco Chico sector lacks an urban storm drainage system that guarantees adequate collection, transport and evacuation of rainwater, which protects public and private works in the area, with the in order to avoid health problems caused by gastrointestinal diseases and epidemics, all of them due to an infection due to the proliferation of bacteria and the accumulation of rainwater. In the investigation, the hydrological analysis was carried out for the design of two urban storm drainage systems, with return times of 10 and 25 years, in order to identify which of the two systems is recommended considering the rain avenue highs that affect the province. It also seeks to confirm whether the hydrological analysis influences the design of the surface (collection) and underground (transport and evacuation) works of the system in that sector. Similarly, the variation in material costs between the drainage systems was determined with a return time of 10 years and a return time of 25 years. The results of this thesis are that the design of the system for a return time of 25 years is the most recommended when planning the development of a public investment project in the study area.

Keywords: Hydrological analysis, storm drain.

INTRODUCCIÓN

Las intensas precipitaciones pluviales acontecidas, en el presente año, en la ciudad de Pomabamba, las que ocasionaron desbordes de ríos, inundaciones y huaycos, motivo por el cual, la provincia fue declarada en estado de emergencia, en dos ocasiones, debido a las intensas precipitaciones ocurrida en la primera mitad del presente año, evidencian que la falta de estructuras que evacuen las aguas de lluvia que se presentan anualmente en la región de Ancash.

La tesis contiene seis capítulos. En el primero se aborda el planteamiento del problema, justificación e importancia de la investigación. En el segundo capítulo, se establecen los fundamentos teóricos donde se consideran los parámetros necesarios para el desarrollo de la presente investigación. En el tercer capítulo se desarrolló la metodología de la investigación, el programa utilizado para diseñar las alcantarillas pluviales, sumideros y demás componentes del sistema de drenaje pluvial planteado. En el cuarto capítulo se desarrolló los cálculos necesarios para obtener el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano para un tiempo de retorno de 10 años y 25 años. En el capítulo cinco se muestran los resultados obtenido del desarrollo de la investigación y en el capítulo seis la discusión, conclusiones y recomendaciones de la misma.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

Constantemente la naturaleza nos recuerda que tan vulnerable somos ante los diferentes fenómenos climáticos que permanentemente acontecen a nivel mundial. Las lluvias, huaycos y sequias son parte de nuestra realidad estacional; todos los años principalmente entre los meses de diciembre hasta abril, en nuestro país como en muchos otros, estos eventos impactan dramáticamente en nuestra diversa geografía convirtiéndose incluso en una amenaza de muerte para los que habitan en ella, sumado esto a la falta de planes de prevención y mitigación de riesgos, nos coloca en una posición de fragilidad frente a estos eventos climatológicos que son inevitables en nuestro país.

Tal es la magnitud de estos eventos de las lluvias estacionales en el Perú, por lo cual solo hasta el 21 de febrero del presente año fueron declarados en estado de emergencia por peligro inminente ante el periodo de lluvias, 6 Departamentos, 37 Provincial y 130 Distritos del Perú (Decreto Supremo N°035-2019-PCM, 2019).

Los desbordes de los ríos, las constantes inundaciones en las diferentes zonas de las ciudades ocasionan un foco de infección por la proliferación de bacterias debido a la acumulación de aguas pluviales que causan enfermedades y epidemias, muchas veces mortales; por lo antes mencionado, queda claro que en los últimos años debido a las intensas precipitaciones pluviales las obras de arte han quedado desfasadas.



Figura 1. Calles de Parco Chico, inundadas impidiendo el tránsito

Fuente: Municipalidad Provincial de Pomabamba, 2019

Quedando esto evidente en la ciudad de Pomabamba en Ancash, que producto de estas lluvias, se desbordó el río Pomabamba; además, en la ciudad sus principales calles estuvieron inundadas impidiendo el libre tránsito peatonal y vehicular, esto fue en muchas zonas debido a la falta de un sistema de drenaje pluvial y en muchas otras zonas por el desfasado sistema antes mencionado.

Debido a esto se reconoce la vulnerabilidad ante posibles inundaciones en la que vive la Provincia de Pomabamba debido a la falta de estos sistemas de drenaje pluvial el cual ayudaría a disminuir los efectos de las precipitaciones pluviales que se presentan anualmente en esta región.

El objetivo de la investigación debido a los últimos eventos producido por la naturaleza es plantear un diseño de un sistema de drenaje pluvial en la zona de Parco Chico en la ciudad de Pomabamba, esto basado en un estudio de las precipitaciones del área que nos permitirá diseñar y/o plantear las posibles soluciones, con el fin de brindar alternativas idóneas para este sector en la provincia de Pomabamba.



Figura 2. Calle de Parco Chico con materiales arrastrados por la lluvia y agua empozada

Fuente: Municipalidad Provincial de Pomabamba, 2019

El diseño planteado está bajo los parámetros y recomendaciones mencionados en la norma OS.060; no obstante, se presenta dos diseños para diferentes periodos de retorno, para con esto optar por el que más se acomode a la realidad de la zona.

1.1.1 Formulación del problema

1.1.1.1 Problema general:

¿De qué manera el análisis hidrológico influye en el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano, en el sector Parco Chico en la ciudad de Pomabamba, distrito y provincia de Pomabamba, en el departamento de Ancash?

1.1.1.2 Problemas específicos:

- ¿De qué manera el análisis hidrológico influye en el diseño de las obras superficiales de captación del sistema de drenaje pluvial urbano?
- ¿De qué manera el análisis hidrológico influye en el diseño del alcantarillado pluvial utilizando el software sewergems?
- ¿Cuál es la variación de costos de materiales entre el sistema de drenaje pluvial urbano con un tiempo de retorno de diseño de 10 años y el sistema de drenaje pluvial urbano con un tiempo de retorno de diseño de 25 años?

1.1.2 Objetivos de la investigación

1.1.2.1 Objetivo general:

Analizar la hidrología para el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano, en el sector Parco Chico en la ciudad de Pomabamba, distrito y provincia de Pomabamba, en el departamento de Ancash.

1.1.2.2 Objetivos específicos:

- Analizar la hidrología del sector para el diseño de las obras superficiales de captación del sistema de drenaje pluvial urbano.
- Analizar la hidrología del sector para diseñar el alcantarillado pluvial utilizando el software sewergems.
- Determinar la variación de costos de materiales entre el sistema de drenaje pluvial urbano con un tiempo de retorno de diseño de 10 años y el sistema de drenaje pluvial urbano con un tiempo de retorno de diseño de 25 años.

1.1.3 Hipótesis de la investigación

1.1.3.1 Hipótesis general:

El análisis hidrológico influye en el diseño del sistema de drenaje pluvial, en el sector Parco Chico en la ciudad de Pomabamba, distrito y provincia de Pomabamba, en el departamento de Ancash.

1.1.3.2 Hipótesis específicas:

- El análisis hidrológico influye en el diseño de las obras superficiales de captación del sistema de drenaje pluvial urbano.
- El análisis hidrológico influye en el diseño del alcantarillado pluvial utilizando el software sewergems.
- Existe variación de costos de materiales entre el sistema de drenaje pluvial urbano con un tiempo de retorno de diseño de 10 años y el sistema de drenaje pluvial urbano con un tiempo de retorno de diseño de 25 años.

1.2 Justificación e importancia

La propuesta de diseño de un sistema de Drenaje Pluvial para la zona de Parco Chico en la Ciudad de Pomabamba – Ancash, se da debido a una insuficiente y/o nula existencia de un sistema de evacuación de las aguas pluviales en toda la ciudad de Pomabamba; por ello, para el

desarrollo de la presente, se limitó el diseño del sistema a la zona de Parco Chico, el cual corresponde al área urbana de la Provincia.

Los eventos más recientes que resaltan con más claridad la fragilidad ante lluvias torrenciales es lo ocurrido entre los meses de febrero y marzo del 2019, debido a que afectó los diferentes departamentos del Perú, los cuales como ya se mencionó fueron declarados en estado de emergencia por el gobierno peruano, la provincia de Pomabamba fue una de las más perjudicadas, por lo cual sus distritos, centros poblados que la conforman fueron afectadas producto de las fuertes lluvias.

Las calles de la ciudad de Pomabamba se inundaron dificultando la fluidez del tránsito peatonal y vehicular, las viviendas de adobe que aún existen en la zona urbana fueron afectadas presentando rajaduras en sus muros y problemas en sus cimientos producto del emposamiento e infiltración de las aguas pluviales. Asimismo, como otra de las consecuencias de este fenómeno natural, ocurrió con el desborde del Rio Pomabamba, aumentando su caudal a un nivel superior no presenciado en la Provincia hace más de 15 años, el cual arrasó consigo sembríos, terrenos, viviendas construidas en los perímetros de este, entre otros.

La pérdida más lamentable ocurrido en la Provincia además de bienes materiales, ganado y animales domésticos fue la trágica pérdida de la vida de un padre de familia, esto ocurrió en el centro poblado de Viñauya, quedando evidente la necesidad de un sistema de drenaje pluvial no solo en la zona urbana de la ciudad de Pomabamba, sino en toda la provincia. Es por ello que se plantea realizar el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano para la zona de Parco Chico en la provincia de Pomabamba, sistema que garantice el funcionamiento adecuado de recolección, transporte y evacuación de tan importante recurso hídrico.

1.3 Viabilidad

Facilidad para la obtención de datos que fueron proporcionados por la municipalidad provincial, datos como el plano topográfico y el plano catastral de la zona urbana de la provincia, el área al cual corresponde el sector de Parco Chico; cabe mencionar que todos los gastos que corresponden a la investigación fueron costeados por los tesisistas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes nacionales

Hernández (2018). Con su tesis “Diseño del drenaje pluvial y evaluación de impacto ambiental en Urb. El Chilcal de la ciudad de Piura”. El estudio tuvo como objetivo plantear una red de drenaje pluvial ubicado en la urbanización el Chilcal en la ciudad de Piura, la zona fue elegida por presentar una topografía en depresión, en el cual se analiza el posible impacto ambiental que se originaría durante la instalación del sistema de drenaje pluvial culminando con la presentación del costo que representaría la ejecución y mantenimiento de un proyecto de tal envergadura. Una de las conclusiones de la investigación es que los conductos de sección transversal circular utilizados han sido definidos debido a sus características de forma, para asegurar una velocidad de flujo adecuada, de tal manera que se permita un correcto arrastre partículas en suspensión, evitando su sedimentación aún ante caudales menores, es decir para los casos en donde las precipitaciones no sean de la intensidad de fenómenos El Niño. La investigación demuestra que existe un beneficio para los habitantes de la zona, siendo este estar exentos de todo tipo de enfermedades por transmisión de mosquitos originadas por la acumulación de agua de lluvia y por la putrefacción de materia orgánica que se encuentra presente en estas mismas.

Rojas & Humpiri (2016). La tesis “Evaluación, diseño y modelamiento del sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Juliaca con la aplicación del software SWMM”. Presenta la necesidad de la población de Juliaca de contar con una infraestructura urbana para dotar del servicio de drenaje de aguas pluviales con la ejecución del proyecto llamado “DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE JULIACA” que quedó estancado por encontrarse irregularidades en el proceso de aprobación del expediente técnico. Por esa razón en la

investigación se evalúa los componentes primordiales del expediente técnico; como son, estudio de topografía e hidrología para analizar la realidad existente y diagnosticar la problemática. No obstante, los resultados obtenidos determinaron que los estudios realizados en la elaboración del expediente técnico fueron realizados con un sustento técnico insuficiente, el análisis hidrológico fue desarrollado para un periodo de retorno de 10 años mediante el método racional, el cual tiene ciertas limitaciones con el resultado de su diseño a comparación del software SWMM. Como resultado del análisis se obtuvo un diseño del proyecto mediante el modelamiento digital con el software SWMM, realizando la verificación con las normas y reglamentos que se debe regir para el diseño de un proyecto de tal envergadura.

Yañez (2014). En la investigación “Eficiencia del Sistema de Drenaje Pluvial en la Av. Angamos y Jr. Santa Rosa”. Se determinó el estado presente del sistema hidráulico y la capacidad con respecto al mantenimiento y operación del sistema en la Av. Angamos y el Jr. Santa Rosa, para determinar las causas de la ineficiencia del sistema; debido a que en temporadas donde las precipitaciones pluviales son altas, las estructuras del sistema llegan al 100% de su capacidad, ocasionando problemas e incomodidad para la población de Cajamarca. Las zonas que se encuentran topográficamente bajas son las más perjudicadas ante este tipo de eventos climatológicos, sumado esto a la ineficiente del sistema antes mencionado favorece a que ocurran inundaciones, erosiones en el curso del agua por el acrecentamiento de la velocidad de escorrentía, perjudicando de manera desfavorable en las áreas expuestas de viviendas y estructuras. Condición crítica, visto que a causa de la acumulación de las aguas pluviales y la insuficiente capacidad de drenaje se origina la alteración de la capa asfáltica; por ello, es necesario analizar el comportamiento hidráulico de las precipitaciones pluviales para un periodo de retorno de 2 años y de 10 años, para con los resultados definir el diseño más óptimo que se acomode a nuestra realidad. En este panorama, la actual investigación tiene como objetivo la determinación de la eficiencia del sistema de drenaje pluvial en la zona geográfica seleccionada para la investigación.

Pesantes (2017). La presente investigación “Análisis del comportamiento hidráulico del sistema de drenaje fluvial en la carretera central KM 473.50 al KM 486.70 Junín 2017”. Expone la problemática que muestra el departamento de Junín. En los distritos de Mazamari a San Martín de Pangoa; ya que, debido a la frecuente presencia de grandes presipitaciones torrenciales, esto habitualmente perjudica hacia la carretera, siendo un problema

para el flujo adecuado de vehiculos que transitan por la vía; por esto, es de menester establecer un adecuado y conveniente sistema de drenaje, buscando con esto disminuir el caudal asignándole una salida rápida para prevenir que pueda llegar hasta la carretera, plantear que se realice un adecuado mantenimiento para la infraestructura que corresponderia al control y operación de un correcto diseño. El poco o nulo interés que se le ha dado para un adecuado mantenimiento de la infraestructura; teniendo en cuenta, que estas presentan fallas y en efecto generan molestia e incomodidad en los usuarios en su trayecto por esta carretera; por lo antes mencionado la mayoría de estos sistemas de drenaje han perdido su capacidad de duracion. Esperando que en el fututo se realice parte del sistema de drenaje pluvial en las zonas mas criticas e importante, y además, se pueda reducir el congestionamiento vehicular en ese tramo de la via y con esto poder obtener resultados favorables para la satisfaccion de los usuarios, del mismo modo creando oportunidades de puestos de trabajo que se requiere para una adecuada operación y funcionamiento de un proyecto tan importante.

2.1.2 Antecedentes internacionales

Rivadeneira (2012). La investigación “Diseño del sistema de Alcantarillado Pluvial del barrio “La Campiña del Inca” Canton Quito, Provincia de Pichincha”.Plantea la necesidad de contar con infraestructuras de servicios básicos en la Parroquia San Isidro del Inca en el barrio la Campiña del Inca, y con esto la falta de un sistema de alcantarillado pluvial que reduzca los problemas de acumulación y estancamiento de estas aguas, mejorando la calidad de vida de la población de la zona de estudio, reduciendo de esta manera los problemas de enfermedades gastrointestinales como diarrea, paludismo, cólera, tifus, entre otras que son causados por la concentración de las aguas pluviales. Por lo expuesto, se analizaron diferentes aspectos como los naturales, físicos y espacios económicos de la Parroquia; realizando además estudios de topografía y análisis de suelo para con la información y data necesaria posteriormente elaborar el diseño del alcantarillado pluvial para la Parroquia San Isidro del Inca.

Gálvez (2004). La presente investigación “Planificación y Diseño de los Sistemas de Drenaje Sanitario y Pluvial de la Cabecera Municipal de Pasaco, Jutiapa”.Fue realizada en el pueblo de Pasaco, del municipio de Pasaco en Jutiapa; desde los últimos años el pueblo de Pasaco se encuentra con un mayor crecimiento de población, pero lamentablemente carecen de mucho servicio de infraestructura básica; por ello se eligió el estudio de la investigación en la zona antes mencionada, el desarrollo de la presente se empezó analizando la

realidad actual y determinando el problema que aqueja a la población, brindando como resultado del estudio, el proyecto de sistemas de drenaje sanitario y pluvial que por los diferentes factores contemplados se diseñó el alcantarillado con tubería de concreto, siendo esta una de las más económicas. Cabe indicar que se efectuó la investigación considerando las normas y especificaciones para realizar los cálculos que se debe contemplar en un proyecto de tal envergadura, considerando que la ejecución del proyecto ofrecerá la oportunidad de trabajo para los habitantes de la región; asimismo, se incorpora una pequeña historia y los actuales detalles del municipio de Pasaco, del mismo modo los planos que se elaboró para este proyecto del diseño de los sistemas de drenaje sanitario y pluvial.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Análisis hidrológico

Este análisis es esencial para poder determinar los caudales máximos para ciertos periodos de retorno, la información pluviométrica es fundamental para el análisis, se debe conocer las características de la superficie, la longitud y pendiente, en este procedimiento se determina su coeficiente de escorrentía y también el tiempo de concentración.

2.2.2 Diseño de Redes de Alcantarillado Pluvial

Cuando ocurren los fenómenos naturales en un lugar, como son las precipitaciones pluviales, el agua que no llega a infiltrar escurre por las calles, avenidas y por el terreno natural en dirección a las partes más bajas, ocurriendo entonces que estas aguas puedan almacenarse o ser evacuadas a los arroyos naturales que haya alrededor, con la finalidad de evitar la acumulación de estas aguas evitando incomodidad a los pobladores; para esto se construye el sistema de alcantarillado pluvial por el cual se conducirá las aguas de escorrentía pluvial hasta desembocar en un lugar adecuado para ser vertido.

Iniciando por el diseño y la ejecución de una red de alcantarillado estos son un trabajo de ingeniería, donde se busca en este proceso la eficiencia del sistema el cual sea económicamente viable que permita un adecuado mantenimiento y por ende la conservación de la red de tuberías, a continuación, se describen las estructuras que componen el sistema de drenaje pluvial, en base al cuál se realizó el diseño de la presente.

2.2.2.1 Estructuras de captación

Estas estructuras recogen las aguas de escorrentía utilizando sumideros o coladeras pluviales (boca de tormenta), del mismo modo hay conexiones

domiciliarias donde se vierte el agua de las precipitaciones pluviales que cae en los techos y patios, haciendo posible que estas sean captadas por cunetas además de las bocas de tormenta para posteriormente ser encausadas hacia el sistema de drenaje.

2.2.2.2 Estructuras de conducción

La finalidad de estas estructuras es de trasladar las aguas de escorrentía pluvial almacenadas por las estructuras de captación hasta ser evacuadas, estos representan la parte medular del sistema de alcantarillado que por su naturaleza están formados por conductos cerrados como tuberías y abiertos como canales.

2.2.2.3 Estructuras de conexión y mantenimiento

Estas estructuras permiten la conexión que de igual manera hace posible el mantenimiento de los conductos que conforman el sistema de alcantarillado, siendo posible la conexión de varias tuberías con diferentes diámetros o que incluso pueden ser de material diferente, asimismo dispone de un espacio suficiente para que un hombre pueda bajar hasta el nivel de tuberías para llevar a cabo la inspección y/o limpieza de estos conductos, las estructuras mencionadas son conocidas como pozos de visita.

2.2.2.4 Estructuras de descarga

Estas son estructuras terminales que como finalidad principal es la de proteger y mantener libre de obstáculos la descarga final del sistema de alcantarillado, siendo estas las que evitan posibles daños que pueda ocurrir en el último tramo de la tubería, siendo estos causados por la corriente a donde descarga el sistema.

2.2.2.5 Disposición final

Esta etapa contempla la disposición última de las aguas que son captadas por un sistema de alcantarillado, esta no forma parte de la estructura del sistema; no obstante, representa una parte importante del sistema de alcantarillado, el valor fundamental que se le otorga a esta es que, si no fue definida en la etapa de diseño o ejecución del proyecto, el destino de las aguas pluviales podría ocasionar graves daños al ambiente, considerando también la población a la que se pretende servir.

2.2.3 Colectores de aguas pluviales

El sistema de alcantarillado de aguas pluviales la conforman un conjunto de colectores que pueden ser subterráneos y superficiales como los canales para transportar el agua de lluvias, ésta es captada mediante los sumideros que están ubicados estratégicamente en las

calles y las conexiones domiciliarias y conducir las a una red de conductos subterráneos las cuales aumentan la dimensión de su diámetro a medida que se incrementa el área de drenaje y descargan al punto más cercano de un curso de agua; siendo por ello, que los colectores pluviales no requieren tuberías de gran longitud.

2.2.4 Tubería doble pared de pvc – sistema TDP

Nicoll Perú S.A (2014). Ha desarrollado esta tubería que tiene una pared interior lisa y una pared exterior corrugada la cual le atribuye un alto valor de rigidez anular con bajo peso, es resistente a la corrosión química y electroquímica, tiene un excelente comportamiento mecánico, mayor capacidad hidráulica, resistente a la abrasión, al rayado y al punzonamiento y es de rápida instalación.

2.2.5 Selección del tipo de tubería

“Tener las consideraciones especificadas en las Normas Técnicas Peruanas vigentes. Los materiales de las tuberías comúnmente utilizadas en alcantarillados pluviales son; asbesto cemento, hierro fundido dúctil, poly (cloruro de vinilo) PVC, poliéster reforzado con fibra vidrio, Concreto armado centrifugado”. (Norma OS.060, 2006, p.27).

2.2.6 Diseño hidráulico

“En el diseño hidráulico de colectores de agua de lluvia, utilizarán los criterios de diseño de conductos cerrados. Para calcular caudales se usará la fórmula de Manning con coeficientes de rugosidad para cada tipo de material, según el cuadro”. (Norma OS.060, 2006, p.27).

Tubería	Coefficiente de Rugosidad "n" de Manning
Asbesto Cemento	0.010
Hierro Fundido Dúctil	0,010
Cloruro de Polivinilo	0,010
Poliéster Reforzado con fibra de vidrio	0,010
Concreto Armado liso	0,013
Concreto Armado con revestimiento de PVC	0,010
Arcilla Vitrificada	0,010

Figura 3. Coeficiente de rugosidad “n”

Fuente: Norma OS.060, 2006

2.2.7 Suelos

Braja. Das. Cengage learning (2014). El suelo es un sistema biológico, igualmente se puede detallar como el agregado no cementado de granos minerales y material orgánico, formada en la superficie de la tierra producida por la disgregación de las rocas, el cual también la componen la presencia de agua y aire que están presente en los poros de las partículas; de igual manera se puede definir que el suelo es el elemento de construcción que más abunda en el mundo y por ende el más utilizado en los proyectos de construcción civil.

2.2.8 Consistencia del suelo

Braja. Das. Cengage learning (2014). El suelo tiene la capacidad de removerse bajo la presencia de humedad, esto es cuando en un suelo de grano fino está presente los minerales, este fenómeno de cohesión es gracias al agua infiltrada que rodea a las partículas de arcilla.

Atterberg en 1900 desarrolló el método para describir la estabilidad de los suelos de grano fino, para clasificarlo según los diferentes contenidos de humedad que posea, se puede clasificar en cuatro estados básico que son el sólido, semisólido, plástico y líquido, desarrollándose el procedimiento para la clasificación de suelos según el Sistema Unificado (p.1).

2.2.9 Sistema unificado de clasificación de suelos (s.u.c.s)

Braja. Das. Cengage learning (2014). El ensayo comprende el proceso de selección de suelos de grano grueso como la grava y arena que comprenda menos del 50% que pase por el tamiz número 200, los símbolos correspondientes de grupo comienzan con el prefijo G para suelos compuesto por grava o S para suelos arenosos; del mismo modo, los suelos finos que pasen por el tamiz número 200 que representen al 50% o más, su símbolo de grupo empiezan con el prefijo M que representa a limo orgánico, C que corresponde a las arcillas inorgánicas y O para limos orgánicos y arcillas (p.82).

2.2.9.1 Limite líquido (LL)

Corresponde al contenido de humedad de un suelo que se encuentra entre el estado semi-líquido y plástico.

2.2.9.2 Limite plástico (PL)

Corresponde al contenido de humedad de un suelo que se encuentra entre el estado semi-sólido y plástico.

2.2.9.3 Índice de plasticidad

Representa la resta entre el límite líquido con el límite plástico, esto es, el rango de la humedad que comprende que el suelo se mantenga plástico.

$$IP = LL - LP$$

2.2.10 Bernard

El modelo que fue propuesto por Bernard en 1932 para la construcción de las curvas IDF el cual relaciona conjuntamente la intensidad, duración y la frecuencia, este se realiza con los datos proporcionados por los pluviómetros que se ubican en determinadas estaciones del país para la recolección de datos (Bernard, 2008, p.6).

$$I = KT^m/D^n$$

I: Intensidad de precipitación

D: Duración

K: Constante a calcular mediante regresión múltiple

T: Periodo de retorno

2.2.11 Izzard

El nomograma de Izzard es usado para calcular la altura del agua en el borde de la acera, esta altura se debe tener en cuenta para el cálculo de la cuneta el cual garantice un flujo uniforme, este nomograma permite el cálculo de cunetas o canales triangulares (Izzard, 2008, p.20).

$$Q = 0.00175 * \frac{Z}{n} * Y^{\frac{8}{3}} * S^{1/2}$$

Q: Caudal de drenaje de la cuneta en l/s

Y: Profundidad máxima en cm

Z: Inverso de la pendiente transversal

n: Coeficiente de manning

S: Pendiente longitudinal

2.2.12 Velocidad mínima

“La velocidad mínima de 0,90 m/s fluyendo las aguas a tubo lleno es requerida para evitar la sedimentación de las partículas que como las arenas y gravas acarrea el agua de lluvia” (Norma OS.060, 2006, p.31).

2.2.13 Velocidad máxima

“La velocidad máxima en los colectores con cantidades no significativas de sedimentos en suspensión es función del material del que están hechas las tuberías, no debiendo exceder los valores indicados para evitar la erosión estas paredes”. (Norma OS.060, 2006, p.31).

2.2.14 Velocidad crítica

Velocidad que no deberá ser superada por el flujo, para evitar que ocurra la acción abrasiva de las partículas sólidas transportadas por el agua dentro de la tubería. Solo podrá ser superada si se cumplen el parámetro que la mayor altura de lámina de agua admisible debe ser de 50 % de diámetro de la tubería (colector) y que los diámetros nominales de la tubería no deben ser inferiores de 100 mm. Esto aplica solo para las tuberías doble pared de la marca Nicoll, dicha información se encuentra en el manual técnico “Sistema de tubería doble pared de PVC con unión flexible” de dicha marca.

$$Vc = 6 * \sqrt{g * Rh}$$

Vc: Velocidad crítica (m/s)

g: Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

Rh: Radio hidráulico (m)

$$Vc = 6 * \sqrt{g * Rh}$$

$$\theta = 2\pi - 2 \cos^{-1} \left(\left(2 * \frac{Yn}{Di} \right) - 1 \right)$$

Di: Diámetro interno (m)

Yn: Altura de tirante de agua (m)

En la investigación se utilizó la velocidad crítica como la velocidad máxima debido a criterios de diseño (Dn 500 mm: 6.16 m/s y Dn 630 mm: 6.89 m/s, la cual se ingresó en el software que será utilizado, esto descrito en capítulos más adelante.

2.2.15 Pendiente mínima

“Las pendientes mínimas de diseño de acuerdo a diámetros, serán las que satisfagan la velocidad mínima 0,90m/s fluyendo a tubo lleno. Por este propósito, la pendiente de la tubería a veces excede la pendiente de la superficie del terreno” (Norma OS.060, 2006, p.31).

2.2.16 Sistema de evacuación por gravedad

“En el caso de descarga a un río, el nivel de agua en la descarga (tubería o canal) deberá estar por lo menos a 1,00m sobre el máximo nivel del agua esperado para un periodo de retorno de 50 años”. (Norma OS.060, 2006, p.34).

“En el caso de un lago, el nivel de evacuación del pelo de agua del evacuador o dren principal estará a 1.00 m, por encima del nivel del agua que alcanzará el lago para un periodo de 50 años.” (Norma OS.060, 2006, p.34).

“En general el sistema de evacuación debe descargar libremente (> de 1.00 m sobre los máximos niveles esperados), para evitar la obstrucción y destrucción del sistema de drenaje pluvial.” (Norma OS.060, 2006, p.34).

2.2.17 Altura de relleno

“La profundidad mínima a la clave de la tubería desde la rasante de la calzada debe ser de 1m. Serán aplicables las recomendaciones establecidas en la Normas Técnicas Peruanas NTP o las establecidas en las normas ASTM o DIN”. (Norma OS.060, 2006, p.27).

2.2.18 Sumidero

Esta estructura está destinada en especial a la captación de las aguas pluviales, estas generalmente están ubicados antes de las esquinas con el objetivo de interceptar las aguas antes de la zona de tránsito de los peatones, se pueden encontrar los siguientes tipos de sumideros.

2.2.18.1 Sumideros laterales en sardinel o solera

“Este ingreso consiste en una abertura vertical del sardinel a través del cual pasa el flujo de las cunetas, su utilización se limita a aquellos tramos donde se tenga pendientes longitudinales menores de 3%.” (Norma OS.060, 2006, p.11).

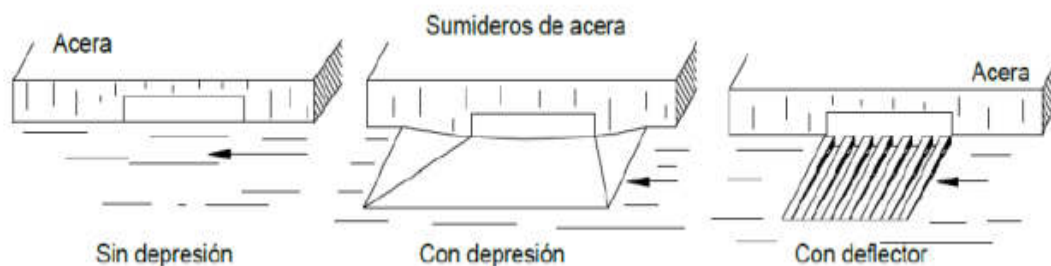


Figura 4. Sumidero lateral de sardinel o solera

Fuente: Norma OS.060, 2006

2.2.18.2 Sumideros de fondo

“Este ingreso consiste en una abertura en la cuneta cubierta por uno o más sumideros. Se utilizarán cuando las pendientes longitudinales de las cunetas sean mayores del 3%, las rejillas serán de barras paralelas a la cuneta” (Norma OS.060, 2006, p.11).

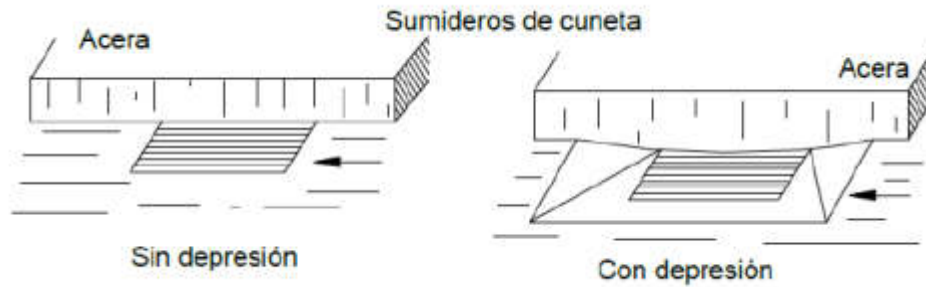


Figura 5. Sumidero de fondo

Fuente: Norma OS.060, 2006

2.2.18.3 Sumideros mixtos o combinados

“Estas unidades consisten en un Sumidero Lateral de Sardinel y un Sumidero de Fondo actuando como una unidad., el diámetro mínimo de los tubos de descarga al buzón de reunión será de 10”(Norma OS.060, 2006, p.12).

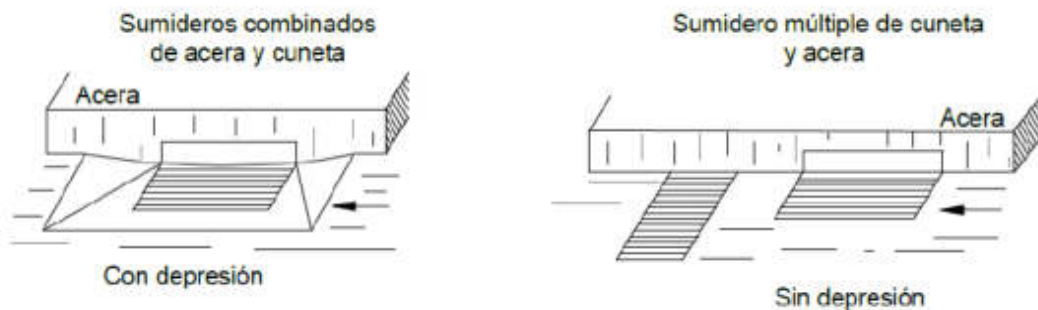


Figura 6. Sumidero mixto o combinado

Fuente: Norma OS.060, 2006

2.2.19 Cálculo de la eficiencia de sumideros

$$E = \frac{Q_i}{Q} = R_f \cdot E_o + R_s \cdot (1 - E_o)$$

Siendo R_f la relación entre el caudal interceptado por el sumidero y el flujo total frontal a él.

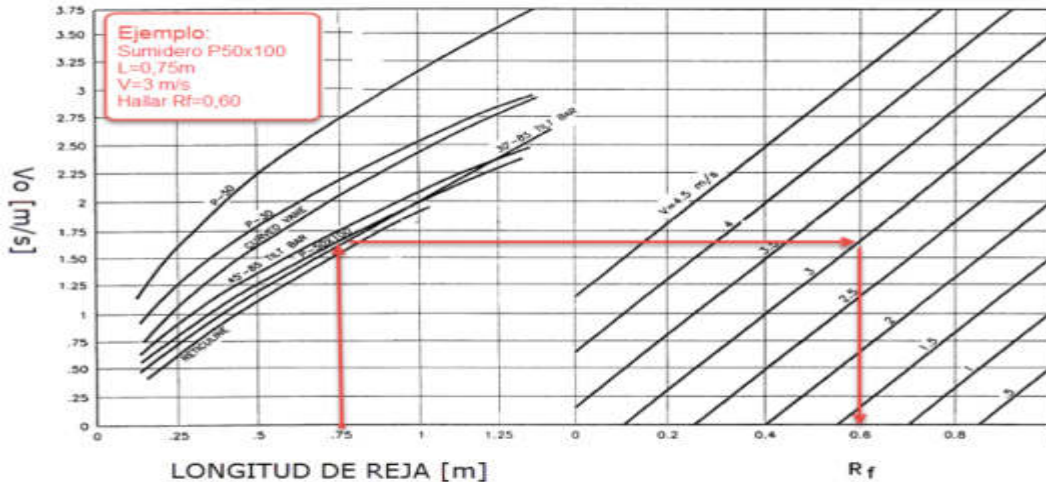


Figura 7. Cálculo de Rf

Fuente: Urban drainage design manual, 2001

Eo = es la relación entre el caudal frontal al sumidero (Qw) y el total (Q) en el ancho de inundación de la calle (T), para bombeo constante en la calzada se determina con la expresión en la que W es el ancho del sumidero en metros.

$$Eo = \frac{Qw}{Q} = 1 - \left(1 - \frac{W}{T}\right)^{2.67}$$

Rs = es la relación entre el caudal lateralmente interceptado y el caudal lateral total del sumidero, es la eficiencia del sumidero relacionada con el flujo lateral a él, se determina mediante la expresión.

$$Eo = \frac{Qw}{Q} = 1 - \left(1 - \frac{W}{T}\right)^{2.67}$$

V = Es la velocidad media del flujo de aproximación en m/s

Sx = Pendiente de la sección transversal de la calzada o bombeo en m/m

L = Longitud del sumidero en metros

2.3 Definiciones de términos básicos

Alcantarilla: Conducto subterráneo para conducir agua de lluvia, aguas servidas o una combinación de ellas.

Alcantarillado pluvial: Conjunto de alcantarillas que transportan aguas de lluvia.

Base: Capa de suelo compactado, debajo de la superficie de rodadura de un pavimento.

Berma: Zona lateral pavimentada o no de las pistas o calzadas, utilizadas para realizar paradas de emergencia y no causar interrupción del tránsito en la vía.

Bombeo de la pista: Pendiente transversal contada a partir del eje de la pista con que termina una superficie de rodadura vehicular, se expresa en porcentaje.

Buzón: Estructura de forma cilíndrica generalmente de 1.20 m de diámetro. Son construidos en mampostería o con elementos de concreto, prefabricados o construidos en el sitio, puede tener recubrimiento de material plástico o no, en la base del cilindro se hace una sección semicircular la cual es encargada de hacer la transición entre un colector y otro. Se usan al inicio de la red, en las intersecciones, cambios de dirección, cambios de diámetro, cambios de pendiente, su separación es función del diámetro de los conductos y tiene la finalidad de facilitar las labores de inspección, limpieza y mantenimiento general de las tuberías, así como proveer una adecuada ventilación. En la superficie tiene una tapa de 60 cm de diámetro con orificios de ventilación.

Canal: Conducto abierto o cerrado que transporta agua de lluvia.

Captación: Estructura que permite la entrada de las aguas hacia el sistema pluvial.

Coefficiente de escorrentía: Coeficiente que indica la parte de la lluvia que escurre superficialmente.

Coefficiente de fricción: Coeficiente de rugosidad de Manning. Parámetro que mide la resistencia al flujo en las canalizaciones.

Cuenca: Es el área de terreno sobre la que actúan las precipitaciones pluviométricas y en las que las aguas drenan hacia una corriente en un lugar dado.

Diseño hidráulico de los sumideros: Se deberá tener en cuenta el perfil de la pendiente, la pendiente transversal de cunetas con solera, depresiones locales, retención de residuos sólidos, altura de diseño de la superficie de aguas dentro del sumidero, pendiente de los sumideros, coeficiente de rugosidad de la superficie de las cunetas.

Dren: Zanja o tubería con que se efectúa el drenaje.

Drenaje: Retirar del terreno el exceso de agua no utilizable.

Drenaje urbano: Drenaje de poblados y ciudades siguiendo criterios urbanísticos.

Drenaje urbano menor: Sistema de alcantarillado pluvial que evacua caudales que se presentan con una frecuencia de 2 a 10 años.

Duración de la lluvia: Es el intervalo de tiempo que media entre el principio y el final de la lluvia y se expresa en minutos.

Frecuencia de lluvias: Es el número de veces que se repite una precipitación de intensidad dada en un período de tiempo determinado, es decir el grado de ocurrencia de una lluvia.

Flujo uniforme: Flujo en equilibrio dinámico, es aquel en que la altura del agua es la misma a lo largo del conducto y por tanto la pendiente de la superficie del agua es igual a la pendiente del fondo del conducto.

Intensidad de la lluvia: Es el caudal de la precipitación pluvial en una superficie por unidad de tiempo. Se mide en milímetros por hora (mm/hora) y también en litros por segundo por hectárea (l/s/Ha).

Montante: Tubería vertical por medio de la cual se evacua las aguas pluviales de los niveles superiores a inferiores.

Orientación del flujo: En el diseño de pistas, se deberá prever pendientes longitudinales (S1) y transversales (St) a fin de facilitar la concentración del agua que incide sobre el pavimento hacia los extremos o bordes de la cabeza, las pendientes a considerar son la pendiente longitudinal (S1) $> 0,5\%$ y la pendiente transversal (S1) de 2% a 4% .

Pavimento: Conjunto de capas superpuestas de diversos materiales para soportar el tránsito vehicular.

Pendiente longitudinal: Es la inclinación que tiene el conducto con respecto a su eje longitudinal.

Pendiente transversal: Es la inclinación que tiene el conducto en un plano perpendicular a su eje longitudinal.

Periodo de retorno: Periodo de retomo de un evento con una magnitud dada es el intervalo de recurrencia promedio entre eventos que igualan o exceden una magnitud especificada.

Precipitación: Fenómeno atmosférico que consiste en el aporte de agua a la tierra en forma de lluvia, llovizna, nieve o granizo.

Rasante: Nivel del fondo terminado de un conducto del sistema de drenaje.

Rejilla: Estructura de metal con aberturas generalmente de tamaño uniforme utilizadas para retener sólidos suspendidos o flotantes en aguas de lluvia o aguas residuales y no permitir que tales sólidos ingresen al sistema. Estas son clasificadas bajo dos consideraciones. Por el material del que están hechas, pueden ser, de fierro fundido y de fierro laminado. Por su posición en relación con el sentido de desplazamiento principal de flujo, pueden ser, de rejilla horizontal, de rejilla vertical, de rejilla horizontal t vertical. Las rejillas se adaptan a la geometría y pueden ser enmarcadas en figuras rectangulares, cuadradas y circulares, generalmente se adoptan rejillas de dimensiones rectangulares y por proceso de fabricación industrial se fabrican en dimensiones

de 60 mm x 100 mm y 45 mm x 100 mm, la separación de las barras en las rejillas varía entre 20 mm – 35 mm – 50 mm, dependiendo si los sumideros se van a utilizar en zonas urbanas o en carreteras.

Registro: Estructura subterránea que permite el acceso desde la superficie a un conducto subterráneo continuo con el objeto de revisarlo, conservarlo o repararlo. Los registros instalados tendrán la capacidad suficiente para permitir el acceso de un hombre y la instalación de una chimenea. El diámetro mínimo de registros para colectores será de 1,20 m. Si el conducto es de dimensiones suficientes para el desplazamiento de un operario no será necesario instalar un registro, en este caso se deberá tener en cuenta los criterios de espaciamiento. Los registros deberán ubicarse fuera de la calzada, excepto cuando se instalen en caminos de servicio o en calles, en este caso se evitará ubicarlos en las intersecciones. Los registros deberán estar ubicados en:

Convergencia de dos o más drenes.

Puntos intermedios de tuberías muy largas.

En zonas donde se presente cambios de diámetro de los conductos.

En curvas o deflexiones de alineamiento (no es necesario colocar registros en cada curva o deflexión).

En puntos donde se produce una brusca disminución de la pendiente.

Revestimiento: Recubrimiento de espesor variable que se coloca en la superficie interior de un conducto para resistir la acción abrasiva de los materiales sólidos arrastrados por el agua y/o neutralizar las acciones químicas de los ácidos y grasas que pueden contener los desechos acarreados por el agua.

Tiempo de concentración: Es definido como el tiempo requerido para que una gota de agua caída en el extremo más alejado de la cuenca, fluya hasta los primeros sumideros y de allí a través de los conductos hasta el punto considerado.

El tiempo de concentración se divide en dos partes: el tiempo de entrada y el tiempo de fluencia.

El tiempo de entrada es el tiempo necesario para que comience el flujo de agua de lluvia sobre el terreno desde el punto más alejado hasta los sitios de admisión, sean ellos sumideros o bocas de torrente.

El tiempo de fluencia es el tiempo necesario para que el agua recorra los conductos desde el sitio de admisión hasta la sección considerada.

Ubicación de los sumideros: La ubicación de los sumideros dependerá del caudal, pendiente, la ubicación y geometría de enlaces e intersecciones, ancho de flujo permisible del sumidero, volumen de residuos sólidos, acceso vehicular y de peatones. En general los sumideros deben ponerse en los puntos, su ubicación normal es en las esquinas de cruce de calles, pero al fin de entorpecer el tráfico de las mismas, deben empezar retrasadas con respecto a las alineaciones de las fachadas, cuando las manzanas tienen grandes dimensiones se colocarán sumideros intermedios.

Cuando el flujo de la cuneta es pequeño y el tránsito de vehículos y de peatones es de poca consideración, la corriente puede conducirse a través de la intersección mediante una cuneta, hasta un sumidero ubicado aguas abajo del cruce, por razones de economía se recomienda ubicar los sumideros en la cercanía de alcantarillas y conductos de desagüe del sistema de drenaje pluvial.

Velocidad de autolimpieza: Velocidad de flujo mínima requerida que garantiza el arrastre hidráulico de los materiales sólidos en los conductos evitando su sedimentación.

Vereda: Senda cuyo nivel está encima de la calzada y se usa para el tránsito de peatones. Se le denomina también como acera.

Vías calle: Cuando toda la calzada limitada por los sardineles se convierte en un canal que se utiliza para evacuar las aguas pluviales. Excepcionalmente puede incluir las veredas.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1 Diseño metodológico

Enfoque cuantitativo

La investigación analiza la hidrología de las precipitaciones pluviales en la provincia de Pomabamba, para diseñar el sistema de drenaje pluvial urbano, según lo indicado en la norma OS. 060 del reglamento nacional de edificaciones.

Enfoque experimental

Las variables que se utilizan pueden ser variables dependientes que son objeto de la investigación que en este caso es el “diseño del sistema de drenaje pluvial urbano” y las variables independientes es el “análisis hidrológico” la cuál fue manipulada para ver la relación con la dependiente.

3.2 Variables

Variable independiente

Análisis hidrológico

Variable dependiente

Diseño del sistema de drenaje pluvial urbano

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES
<p>Problema General</p> <p>¿De qué manera el análisis hidrológico influye en el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano, en el sector Parco Chico en la ciudad de Pomabamba, distrito y provincia de Pomabamba, en el departamento de Ancash?</p> <p>Problemas Especificos</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿De que manera el análisis hidrológico influye en el diseño de las obras superficiales de captación del sistema de drenaje pluvial urbano? • ¿De qué manera el análisis hidrológico influye en el diseño del alcantarillado pluvial utilizando el software sewergems? • ¿Cuál es la variación de costos de materiales entre el sistema de drenaje pluvial urbano con un tiempo de retorno de diseño de 10 años y el sistema de drenaje pluvial urbano con un tiempo de retorno de diseño de 25 años? 	<p>Objetivo General</p> <p>Analizar la hidrología para el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano, en el sector Parco Chico en la ciudad de Pomabamba, distrito y provincia de Pomabamba, en el departamento de Ancash.</p> <p>Objetivo Especificos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analizar la hidrología del sector para el diseño de las obras superficiales de captación del sistema de drenaje pluvial urbano. • Analizar la hidrología del sector para diseñar el alcantarillado pluvial utilizando el software sewergems. • Determinar la variación de costos de materiales entre el sistema de drenaje pluvial urbano con un tiempo de retorno de diseño de 10 años y el sistema de drenaje pluvial urbano con un tiempo de retorno de diseño de 25 años 	<p>Hipotesis General</p> <p>El análisis hidrológico influye en el diseño del sistema de drenaje pluvial, en el sector Parco Chico en la ciudad de Pomabamba, distrito y provincia de Pomabamba, en el departamento de Ancash.</p> <p>Hipotesis Especificas</p> <ul style="list-style-type: none"> • El análisis hidrológico influye en el diseño de las obras superficiales de captación del sistema de drenaje pluvial urbano • El análisis hidrológico influye en el diseño del alcantarillado pluvial utilizando el software sewergems. • Existe variación de costos de materiales entre el sistema de drenaje pluvial urbano con un tiempo de retorno de diseño de 10 años y el sistema de drenaje pluvial urbano con un tiempo de retorno de diseño de 25 años. 	<p>Variable Independiente</p> <p>Analisis hidrológico</p> <p>Variable Dependiente</p> <p>Diseño del Sistema de Drenaje Pluvial Urbano</p>	<p>Cantidad de presipitacion por dia</p> <p>Tiempo de Retorno</p> <p>Caudal de Diseño</p> <p>Intensidad de Presipitacion</p> <p>Topografia del Terreno</p>

Figura 8. Matriz de consistencia

Elaboración: Los autores, 2019

Variable Independiente	Definicion Conceptual	Dimensiones	Indicaciones
Análisis Hidrológico	Este análisis es esencial para poder determinar los caudales máximos para ciertos periodos de retorno, la información pluviométrica es fundamental para el análisis, se debe conocer las características de la superficie, la longitud y pendiente, en este procedimiento se determina su coeficiente de escorrentía y también el tiempo de concentración.	Cantidad de precipitación por día	Ubicación geográfica de la cuenca
	Definicion Operacional		Ubicación geográfica del pluviómetro
	Poder procesar la información hidrológica de los cambios que experimenta el agua en su estado sólido, líquido o gaseoso para obtener resultados necesarios.	Tiempo de Retorno	Norma OS.060 tipo de Estudio
Variable Dependiente	Definicion Conceptual	Dimensiones	Indicadores
Diseño del sistema de Drenaje Pluvial Urbano	"Tiene por objetivo el manejo racional del agua de lluvia en las ciudades, para evitar daños en las edificaciones y obras públicas (pistas, redes de agua, redes eléctricas, etc.), así como la acumulación del agua que pueda constituir focos de contaminación y/o transmisión de enfermedades." Norma OS.060, 8 de junio (2006)	Caudal de Diseño	Condición de filtración del suelo
	Definicion Operacional	Intensidad de Precipitación	Cantidad de data según la estación de estudio
	"Comprenden la recolección, transporte y evacuación a un cuerpo receptor de las aguas pluviales que se precipitan sobre un área urbana." Norma OS.060, 8 de junio (2006).	Topografía del Terreno	Ubicación Geofísica

Figura 9. Operacionalización de variables

Elaboración: Los autores, 2019

3.3 Descripción y características de la zona de estudio

3.3.1 Provincia de Pomabamba

Pomabamba es una de las 20 provincias que constituyen el departamento de Ancash, se encuentra a una altura de 2950 metros sobre el nivel del mar, con una extensión superficial de 2974 km², su idioma oficial es el español y el idioma co-oficial es el quechua siendo este último el más hablado en las zonas rurales de la Provincia.

Tabla 1

Acceso a la provincia de Pomabamba

Ruta	Km	Horas (vehículo)	Tipo Vía	Condiciones
Lima – Pativilca – Huaraz	404	8h	Asfaltada	Buena
Huaraz – Carhuaz	30	00h 35 min.	Asfaltada	Buena
Carhuaz – San Luis	210	03h 30 min.	Asfaltado/Afirmado	Buena /Regular
San Luis – Pomabamba	140	03h 20 min.	Afirmado/Trocha	Regular
Total	784	15h 45 min.		

Elaboración: Los autores, 2019

3.3.2 Ubicación de la zona de estudio

3.3.2.1 Ubicación geográfica

Región Geográfica	:	Sierra
Departamento	:	Ancash
Provincia	:	Pomabamba
Distrito	:	Pomabamba
Sector	:	Parco Chico



Figura 10. Ubicación de la zona de estudio

Fuente: Mapas del Perú, 2002

3.3.3 Limitaciones

Para obtener los datos e información necesaria para la investigación, se viajó a la provincia de Pomabamba dónde se obtuvo las muestras de suelo de dos calicatas, cabe mencionar que los viajes que se realizó a la provincia fue en época de lluvias, donde las vías de acceso a la provincia estuvieron interrumpidas constantemente por derrumbes y huaycos el cuál dificultó los viajes posteriores por el mal estado de la carretera. La condición para el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano se desarrollará bajo los parámetros del sistema de evacuación por gravedad, considerando que estos descargan libremente al depósito de drenaje, ya sea natural o artificial.

3.4 Técnicas de recolección de datos

Se describen las técnicas para la recolección de datos e información necesaria para el desarrollo.

3.5 Recopilación de información existente

Información proporcionada por el área de infraestructura de la municipalidad provincial de Pomabamba, plano topográfico y plano catastral, los datos pluviométricos fueron descargados de la página web de SENAMHI.

3.6 Trabajos de campo

Reconocimiento de los puntos dónde se obtuvo las muestras de suelo de las calicatas realizadas dentro del área de Parco Chico, para posteriormente llevar a cabo los ensayos de laboratorio necesarios para el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano, cabe mencionar que para el ensayo de suelos se siguió los parámetros indicados en norma técnica peruana NTP 339.128 y NTP 339.129.

3.7 Trabajos de gabinete

Con la información proporcionada por la municipalidad provincial, los resultados del ensayo de laboratorio de suelos, los datos pluviométricos y demás información se procesó la información para posteriormente obtener el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano.

La información pluviométrica se procesó en la hoja de cálculo de Excel, el cual se detalla a continuación, mencionando los datos más importantes del programa y su rol en el proceso de diseño.

3.7.1 Excel

Es un programa que permite realizar hojas de cálculo, el cuál sirve para trabajar con números de forma más sencilla, la hoja contiene celdas en la que se introducen números con las cuales podremos realizar las operaciones necesarias para obtener los resultados, así como también obtendremos gráficos si así lo requerimos, en este caso para la investigación este programa se utilizó para el cálculo del análisis hidrológico utilizando el método probabilístico de Gumbel para posteriormente obtener la curva IDF, además de ésta, la hoja de cálculo se empleó para otros procesos como el cálculo de los sumideros y otros que se detallarán en el capítulo de procedimiento. El plano topográfico y el plano catastral fueron proporcionados en forma digital en el programa de AutoCAD, dónde se realizó las modificaciones necesarias como el pre diseño de las líneas de alcantarillado para después exportar esta información al software sewergems, a continuación, la información y su función desempeñada en el proceso de la investigación.

3.7.2 AutoCAD

Es un software para dibujo, permite ingresar datos, modificación de datos, ingresar imágenes, es un programa muy completo que se utiliza a nivel mundial, el cual también nos permitirá realizar recreación de las imágenes en 3D, se puede importar y exportar la información guardada en esta, en la actualidad el software presenta diferentes versiones cada vez más actualizadas que facilitan y agilizan el trabajo a realizar en esta, los planos a trabajar

fueron modificados en el software el cual posteriormente se exportó al software sewergems, para diseñar las alcantarillas del sistema.

3.7.3 Sewergems

(Bentley communities, 2019). El software se caracteriza por ser un modelo plenamente dinámico y de flujo no permanente (resolución de las ecuaciones de St Venant), esto es para el análisis de sistemas de drenaje urbano considerando que éstas podrían ser pluviales, sanitarios y/o combinados, al igual que Sewergems existen diferentes opciones de softwares como el Sewercad, Sewergems es un modelo multiplataforma con capacidad de soportar plataformas como stand alones, Autocad, Microstation y solo Sewergems la plataforma como el Arcgis.

Una de las características que diferencian a Sewergems de otras plataformas, es que ofrece dos motores de cálculo; un motor nativo denominado *Dynamic Wave* y el motor de cálculo EPA-SWWM, el motor nativo que fue desarrollado por el Centro de soluciones Haestad, está basado en una solución implícita que en el tiempo ha demostrado mayor estabilidad numéricas en algunas circunstancias como alivios y estructuras de control, condiciones forzadas, flujo inverso, etc.

Es importante mencionar que, si Sewergems admite ingresar modelos que fueron antes creados en Sewercad, cabe resaltar que se trata de dos análisis numéricos diferentes, lo cual no sucede en Watercad y Watergems teniendo estas un mismo motor numérico.

En el camino para el diseño de las alcantarillas con el software antes mencionado, se tuvo que hacer uso de otra herramienta como el programa de H canales para realizar correcciones de velocidad en el sistema (párr.3-5).

3.7.4 Hcanales

(programas.net. 2019). Es una práctica herramienta que nos permite calcular y determinar las características hidráulicas y geométricas de canales, se puede verificar si el diseño del canal que se construirá es aceptable para el volumen de agua que espera contener. El software es fácil de manejar gracias a su sencilla e intuitiva interfaz gráfica, Hcanales permite registrar todos los valores y realizar los cálculos requeridos en cuestión de segundos; por ello, este software simplifica al máximo cálculos laboriosos, calculando volumen de caudal, el tirante crítico o normal, la curva de remanso o el resalto hidráulico (párr.3).

CAPÍTULO IV DESARROLLO

4.1 Análisis hidrológico

4.1.1 Recopilación de datos

Al no contar con datos de tormentas en la zona de estudio, se recolectaron los datos de precipitaciones máximas mensuales de la estación meteorológica Pomabamba, en el departamento de Ancash, provincia de Pomabamba, distrito de Pomabamba.

En la Tabla 2, se detalla la ubicación (latitud, longitud y altitud) de la estación meteorológica de Pomabamba.

Tabla 2

Ubicación de la estación meteorológica Pomabamba

Latitud	8° 49' 18.13"
Longitud	77° 27' 26.4"
Altitud	2985

Fuente: SENAMHI, 2019

La data utilizada para el presente estudio es de 40 años de información, el cual comprende desde el mes de enero del año 1980 hasta el mes de marzo del año 2019.

En la Tabla 3, se mencionan las precipitaciones máximas mensuales de los 40 años de data de la estación meteorológica Pomabamba.

Tabla 3

Máxima precipitación mensual de la estación meteorológica Pomabamba

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1980	11.63	14.40	8.29	3.03	2.84	14.73	0.98	1.74	11.33	2.37	26.52	0.65
1981	21.83	11.99	12.73	6.89	5.72	12.03	3.19	1.68	8.48	4.17	13.49	15.18
1982	11.06	20.56	20.94	23.75	8.23	2.21	0.00	2.39	18.44	117.23	12.01	31.80
1983	17.45	5.22	26.24	20.85	18.51	5.40	1.48	0.94	4.44	1.41	16.05	12.71
1984	9.68	19.33	13.77	7.90	8.89	10.41	1.41	2.03	26.82	29.68	10.74	4.59
1985	2.72	26.66	8.41	3.12	14.80	7.35	4.03	5.05	11.73	7.06	4.47	6.25
1986	9.33	10.84	29.98	3.16	13.26	0.30	0.54	4.25	4.56	4.50	28.45	3.44
1987	14.83	39.46	7.26	4.78	7.32	0.27	0.84	5.30	8.47	14.99	3.69	2.05
1988	28.90	7.24	18.16	12.89	8.14	0.81	0.03	0.42	7.99	2.10	24.46	3.80
1989	59.56	30.44	10.38	11.12	9.37	5.78	1.24	4.31	0.00	3.72	1.52	2.58
1990	11.93	6.51	7.99	5.19	30.46	7.88	2.16	1.62	12.01	4.88	14.92	12.12
1991	17.79	14.82	21.72	28.62	17.03	0.00	0.00	1.04	3.64	0.64	38.20	17.23
1992	12.23	3.55	16.16	17.72	0.58	1.79	0.00	7.14	11.46	1.20	19.33	12.60
1993	9.19	10.27	20.34	29.09	64.93	3.13	7.13	8.35	16.03	1.72	23.55	2.49
1994	7.10	21.60	16.71	22.30	12.40	1.20	0.61	2.28	10.79	3.31	4.16	4.50
1995	1.37	27.05	23.88	13.60	12.60	0.60	2.45	5.01	7.85	3.99	13.54	2.27
1996	12.17	11.07	11.00	4.36	3.73	10.49	1.19	4.51	11.34	16.46	31.04	4.33
1997	6.63	4.02	6.78	12.37	38.83	0.06	0.25	1.06	5.17	136.57	13.66	13.23
1998	34.88	13.34	57.36	11.51	2.61	0.00	0.25	3.79	21.43	3.63	13.33	2.55
1999	62.90	139.61	15.25	13.33	4.67	1.23	4.50	1.32	17.71	7.61	11.33	13.12
2000	6.80	218.85	46.60	22.45	2.12	8.35	2.40	4.27	23.56	7.88	30.26	14.64
2001	28.60	64.42	49.12	2.21	8.30	1.96	2.07	2.51	34.89	8.90	19.01	9.22
2002	7.58	36.95	40.40	78.68	1.56	3.15	0.15	3.09	7.28	7.89	18.48	13.10
2003	85.93	25.69	80.72	9.35	1.04	4.22	0.22	3.40	22.74	12.67	19.85	15.15
2004	13.06	85.57	20.02	11.19	0.33	1.00	2.83	2.68	30.76	11.28	12.60	16.74
2005	23.74	15.88	59.87	22.68	3.87	1.45	0.66	0.07	8.69	4.61	25.53	14.73
2006	23.47	62.48	68.91	38.38	3.71	2.81	0.62	12.67	8.24	33.40	13.16	11.17
2007	7.72	9.54	34.05	20.30	3.91	0.17	0.59	2.44	3.29	10.27	9.29	14.01
2008	7.88	107.32	49.84	11.62	24.39	5.23	0.06	0.79	3.61	15.01	12.43	10.12
2009	15.49	55.30	54.72	37.74	7.39	1.00	0.49	0.00	5.05	4.32	7.63	14.03
2010	12.87	41.82	36.55	19.13	0.87	1.57	0.40	5.37	18.02	10.55	19.19	16.01
2011	14.37	83.65	29.48	23.13	0.73	1.43	1.78	0.84	12.10	8.89	13.53	15.79
2012	38.18	35.80	94.93	27.64	2.50	3.47	0.10	0.54	6.72	19.15	10.90	8.35
2013	9.01	44.29	54.46	9.90	1.91	2.68	1.22	4.35	5.76	9.58	19.76	25.72
2014	12.58	103.91	27.20	30.20	24.20	0.00	6.20	0.00	13.30	17.20	12.50	37.50
2015	22.80	34.80	24.00	19.30	26.40	3.00	2.50	8.20	12.20	22.60	19.60	39.00
2016	35.50	57.60	20.70	29.00	4.20	4.50	0.00	0.00	15.50	33.10	36.80	28.00
2017	21.70	21.40	19.70	23.50	26.50	24.50	5.00	10.20	11.60	17.00	19.10	29.00
2018	22.50	24.50	24.00	13.00	16.20	6.60	5.50	9.00	18.90	23.00	21.80	27.60
2019	25.20	38.50	55.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: SENAMHI, 2019

4.1.2 Distribución Gumbel

Con el fin de determinar la distribución de frecuencias probabilísticas, en base a la data de precipitaciones máximas anuales y teniendo en consideración el Anexo N°01 (HIDROLOGIA) en el ítem 2.5 (Información Pluviométrica) de la NORMA OS.060 (DRENAJE PLUVIAL URBANO) del Reglamento Nacional de Edificaciones,

En la Tabla 4, se aprecia la distribución probabilística de Gumbel de los 40 años de data recolectada de SENAMHI.

Tabla 4

Distribución probabilística de Gumbel

Nro.	Año	Max. Precip.	Precipitación (mm)	
		Anuales	xi	(xi - x)^2
1	1980	26.52	26.52	1154.12
2	1981	21.83	21.83	1494.63
3	1982	117.23	117.23	3220.06
4	1983	26.24	26.24	1172.82
5	1984	29.68	29.68	949.10
6	1985	26.66	26.66	1144.23
7	1986	29.98	29.98	930.95
8	1987	39.46	39.46	442.24
9	1988	28.90	28.90	997.95
10	1989	59.56	59.56	0.86
11	1990	30.46	30.46	901.95
12	1991	38.20	38.20	496.86
13	1992	19.33	19.33	1694.01
14	1993	64.93	64.93	19.70
15	1994	22.30	22.30	1458.58
16	1995	27.05	27.05	1118.19
17	1996	31.04	31.04	867.44
18	1997	136.57	136.57	5788.41
19	1998	57.36	57.36	9.79
20	1999	139.61	139.61	6259.91
21	2000	218.85	218.85	25079.35
22	2001	64.42	64.42	15.43
23	2002	78.68	78.68	330.75
24	2003	85.93	85.93	647.22
25	2004	85.57	85.57	628.84
26	2005	59.87	59.87	0.38
27	2006	68.91	68.91	70.86
28	2007	34.05	34.05	698.78
29	2008	107.32	107.32	2192.73
30	2009	55.30	55.30	26.91
31	2010	41.82	41.82	348.58

32	2011	83.65	83.65	536.23
33	2012	94.93	94.93	1185.95
34	2013	54.46	54.46	36.33
35	2014	103.91	103.91	1885.44
36	2015	39.00	39.00	461.75
37	2016	57.60	57.60	8.34
38	2017	29.00	29.00	991.52
39	2018	27.60	27.60	1081.65
40	2019	55.80	55.80	21.98
Suma			2419.54	66370.81

Elaboración: Los autores, 2019

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. Función del modelo de probabilidad.

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

Para el cálculo de dicha función, primero es necesario la obtención de los siguientes parámetros (Media aritmética, desviación estándar, 2 constantes necesarias según el método de distribución probabilística de Gumbel).

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

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

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s$$

$$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha$$

En la Tabla 5, se detallan los resultados de los cálculos utilizando las ecuaciones anteriormente mencionadas tomando en cuenta los datos de la distribución de probabilística de Gumbel de la Tabla 4.

Tabla 5

Datos para el cálculo de la función de probabilidad

Media Aritmética	\bar{x}	60.99 mm
Desviación Estándar	s	41.25 mm
Constante 1	α	32.16 mm
Constante 2	u	41.92 mm

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 6, se detallan las precipitaciones diarias máximas probables según Gumbel, para distintas frecuencias considerando 2, 5, 10, 25, 50, 75, 100 y 500 años el periodo de retorno, según el estudio de miles de estaciones para optar 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 6

Precipitaciones máximas diarias probables para distintos periodos de retorno

Periodo de Retorno	Variable Reducida	Precipitación (mm)	Probabilidad de Ocurrencia	Corrección Intervalo Fijo
Años	YT	YT'(mm)	F(xT)	XT (mm)
2	0.3665	53.7117	0.5000	60.694
5	1.4999	90.1682	0.8000	101.890
10	2.2504	114.3056	0.9000	129.165
25	3.1985	144.8033	0.9600	163.628
50	3.9019	167.4282	0.9800	189.194
75	4.3108	180.5787	0.9867	204.054
100	4.6001	189.8861	0.9900	214.571
500	6.2136	241.7828	0.9980	273.215

Elaboración: Los autores, 2019

La data para 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, en la Tabla 7.

Tabla 7

Coefficientes de duración de lluvias entre 1 y 24 horas

Duración de Precipitación (horas)														
1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
0.25	0.31	0.38	0.44	0.5	0.56	0.64	0.73	0.79	0.83	0.87	0.9	0.93	0.97	1

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016

En la Tabla 8, 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 7.

Tabla 8

Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias

Durac. (hr)	Coef.	Precipitaciones para Diferentes Tiempos de Retorno							
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	75 años	100 años	500 años
24	1	60.694	101.890	129.165	163.628	189.194	204.054	214.571	273.215
22	0.97	58.873	98.833	125.290	158.719	183.518	197.932	208.134	265.018
20	0.93	56.446	94.758	120.124	152.174	175.950	189.770	199.551	254.090
18	0.9	54.625	91.701	116.249	147.265	170.275	183.649	193.114	245.893
16	0.87	52.804	88.644	112.374	142.356	164.599	177.527	186.677	237.697
14	0.83	50.376	84.569	107.207	135.811	157.031	169.365	178.094	226.768
12	0.79	47.948	80.493	102.041	129.266	149.463	161.203	169.511	215.840
10	0.73	44.307	74.380	94.291	119.448	138.112	148.959	156.637	199.447
8	0.64	38.844	65.210	82.666	104.722	121.084	130.595	137.326	174.857
6	0.56	33.989	57.058	72.333	91.632	105.949	114.270	120.160	153.000
5	0.5	30.347	50.945	64.583	81.814	94.597	102.027	107.286	136.607
4	0.44	26.705	44.832	56.833	71.996	83.245	89.784	94.411	120.214
3	0.38	23.064	38.718	49.083	62.179	71.894	77.540	81.537	103.822
2	0.31	18.815	31.586	40.041	50.725	58.650	63.257	66.517	84.697
1	0.25	15.174	25.473	32.291	40.907	47.298	51.013	53.643	68.304

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 9, 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 de la Norma OS.060 Drenaje Pluvial Urbano.

$$i_{(t,T)} = \frac{P_{(t,T)}}{t} ; \quad \begin{array}{l} i_{(t,T)} : \text{Intensidad de precipitación, de duración } t \text{ y periodo de retorno } T \\ P_{(t,T)} : \text{Profundidad de precipitación} \end{array}$$

Tabla 9

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	50 años	75 años	100 años	500 años
24	1440	2.5289	4.2454	5.3819	6.8178	7.8831	8.5022	8.9405	11.3839
22	1320	2.6761	4.4924	5.6950	7.2145	8.3417	8.9969	9.4606	12.0463
20	1200	2.8223	4.7379	6.0062	7.6087	8.7975	9.4885	9.9776	12.7045
18	1080	3.0347	5.0945	6.4583	8.1814	9.4597	10.2027	10.7286	13.6607
16	960	3.3002	5.5403	7.0234	8.8973	10.2874	11.0954	11.6673	14.8560
14	840	3.5983	6.0406	7.6577	9.7008	11.2165	12.0975	12.7210	16.1977
12	720	3.9957	6.7078	8.5034	10.7722	12.4553	13.4336	14.1259	17.9866
10	600	4.4307	7.4380	9.4291	11.9448	13.8112	14.8959	15.6637	19.9447
8	480	4.8555	8.1512	10.3332	13.0902	15.1355	16.3243	17.1657	21.8572
6	360	5.6648	9.5097	12.0554	15.2719	17.6581	19.0450	20.0267	25.5000
5	300	6.0694	10.1890	12.9165	16.3628	18.9194	20.4054	21.4571	27.3215
4	240	6.6764	11.2079	14.2082	17.9991	20.8113	22.4459	23.6028	30.0536
3	180	7.6879	12.9061	16.3609	20.7262	23.9646	25.8468	27.1790	34.6072
2	120	9.4076	15.7930	20.0206	25.3623	29.3251	31.6284	33.2586	42.3483
1	60	15.1735	25.4725	32.2913	40.9069	47.2985	51.0135	53.6428	68.3036

Elaboración: Los autores, 2019

La presentación matemática de la curva IDF para diferentes tiempos de retorno (2, 5, 10, 25, 50, 75, 100, 500 años), utilizando la siguiente formula basada en lo establecido por Bernard.

$$I = \frac{a * T^b}{t^c} ;$$

I : Intensidad (mm/hr)
 t : Duración de la lluvia (min)
 T : Período de retorno (años)
 a, b, c : Parámetros de ajuste

Las siguientes tablas se calculan las representaciones matemáticas de las curvas IDF, y se presentan las curvas de intensidad vs duración de las mismas.

Tabla 10

Representación matemática de la curva IDF, periodo de retorno 2 años (Bernard)

Tiempo de Retorno 2 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	2.5289	7.2724	0.9278	6.7473	52.8878
2	1320	2.6761	7.1854	0.9843	7.0729	51.6298
3	1200	2.8223	7.0901	1.0375	7.3563	50.2692
4	1080	3.0347	6.9847	1.1101	7.7538	48.7863
5	960	3.3002	6.8669	1.1940	8.1991	47.1548
6	840	3.5983	6.7334	1.2805	8.6219	45.3387
7	720	3.9957	6.5793	1.3852	9.1137	43.2865
8	600	4.4307	6.3969	1.4886	9.5222	40.9207
9	480	4.8555	6.1738	1.5801	9.7553	38.1156
10	360	5.6648	5.8861	1.7343	10.2081	34.6462
11	300	6.0694	5.7038	1.8033	10.2854	32.5331
12	240	6.6764	5.4806	1.8986	10.4054	30.0374
13	180	7.6879	5.1930	2.0397	10.5918	26.9668
14	120	9.4076	4.7875	2.2415	10.7312	22.9201
15	60	15.1735	4.0943	2.7196	11.1348	16.7637
15	9900	81.9221	92.4282	23.4250	137.4992	582.2567
$Ln(A) =$		4.8751	$A =$	130.9836	$B =$	-0.5377

Elaboración: Los autores, 2019

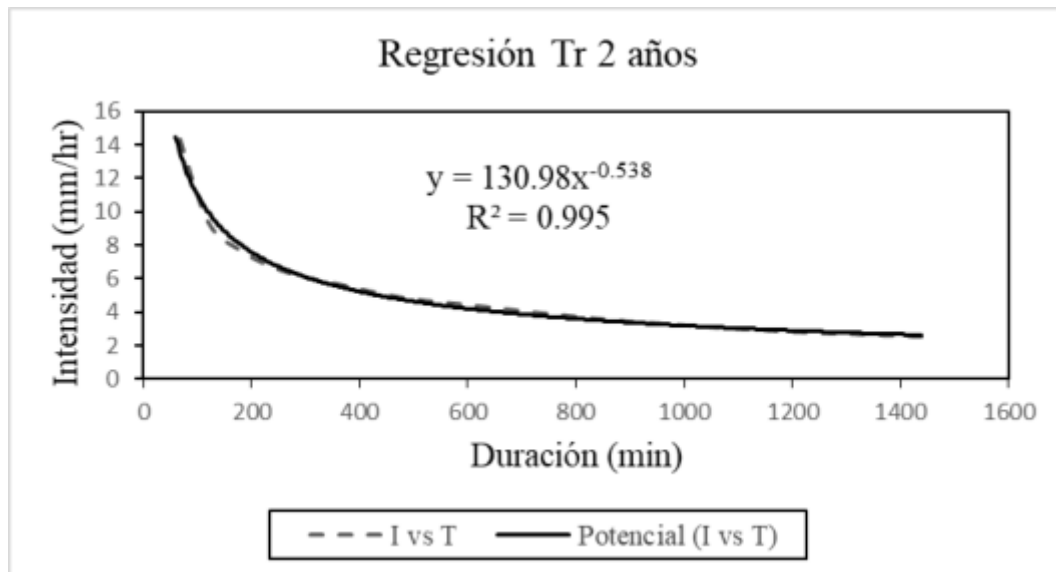


Figura 11. Regresión de la curva intensidad vs duración para periodo de retorno 2 años

Elaboración: Los autores, 2019

Tabla 11

Representación matemática de la curva IDF, periodo de retorno 5 años (Bernard)

Tiempo de Retorno 5 años							
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2	
1	1440	4.2454	7.2724	1.4458	10.5147	52.8878	
2	1320	4.4924	7.1854	1.5024	10.7953	51.6298	
3	1200	4.7379	7.0901	1.5556	11.0293	50.2692	
4	1080	5.0945	6.9847	1.6282	11.3723	48.7863	
5	960	5.5403	6.8669	1.7120	11.7565	47.1548	
6	840	6.0406	6.7334	1.7985	12.1101	45.3387	
7	720	6.7078	6.5793	1.9033	12.5221	43.2865	
8	600	7.4380	6.3969	2.0066	12.8361	40.9207	
9	480	8.1512	6.1738	2.0982	12.9536	38.1156	
10	360	9.5097	5.8861	2.2523	13.2574	34.6462	
11	300	10.1890	5.7038	2.3213	13.2402	32.5331	
12	240	11.2079	5.4806	2.4166	13.2446	30.0374	
13	180	12.9061	5.1930	2.5577	13.2820	26.9668	
14	120	15.7930	4.7875	2.7596	13.2114	22.9201	
15	60	25.4725	4.0943	3.2376	13.2559	16.7637	
15	9900	137.5263	92.4282	31.1957	185.3814	582.2567	
$Ln(A) =$		5.3931	$A =$		219.8882	$B =$	-0.5377

Elaboración: Los autores, 2019

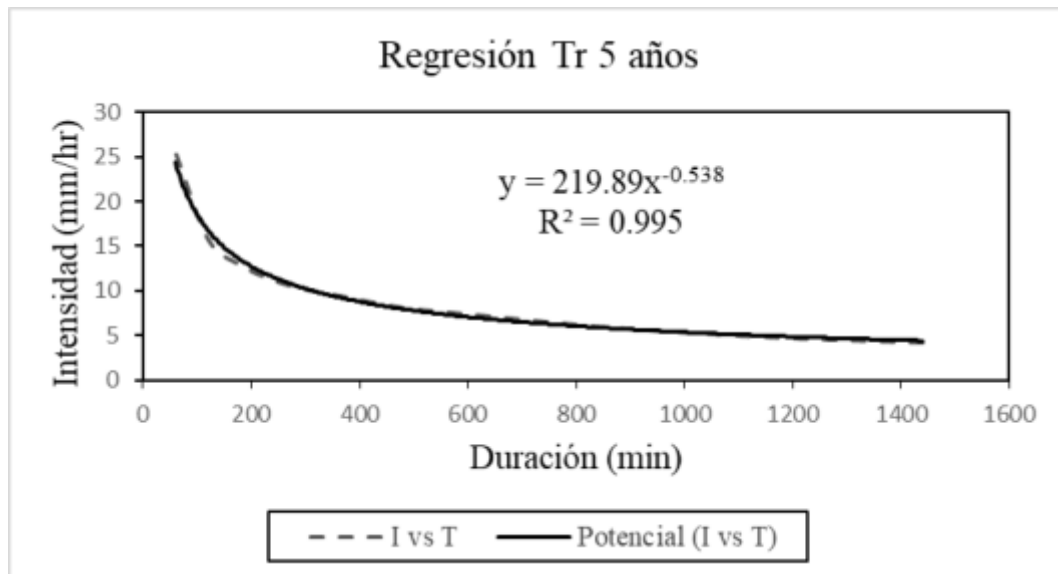


Figura 12. Regresión de la curva intensidad vs duración para periodo de retorno 5 años

Elaboración: Los autores, 2019

Tabla 12

Representación matemática de la curva IDF, periodo de retorno 10 años (Bernard)

Tiempo de Retorno 10 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	5.3819	7.2724	1.6830	12.2397	52.8878
2	1320	5.6950	7.1854	1.7396	12.4996	51.6298
3	1200	6.0062	7.0901	1.7928	12.7110	50.2692
4	1080	6.4583	6.9847	1.8654	13.0290	48.7863
5	960	7.0234	6.8669	1.9492	13.3853	47.1548
6	840	7.6577	6.7334	2.0357	13.7072	45.3387
7	720	8.5034	6.5793	2.1405	14.0827	43.2865
8	600	9.4291	6.3969	2.2438	14.3534	40.9207
9	480	10.3332	6.1738	2.3354	14.4180	38.1156
10	360	12.0554	5.8861	2.4895	14.6535	34.6462
11	300	12.9165	5.7038	2.5585	14.5932	32.5331
12	240	14.2082	5.4806	2.6538	14.5446	30.0374
13	180	16.3609	5.1930	2.7949	14.5138	26.9668
14	120	20.0206	4.7875	2.9968	14.3470	22.9201
15	60	32.2913	4.0943	3.4748	14.2270	16.7637
15	9900	174.3412	92.4282	34.7537	207.3052	582.2567
$Ln(A) =$		5.6303	$A =$	278.7507	$B =$	-0.5377

Elaboración: Los autores, 2019

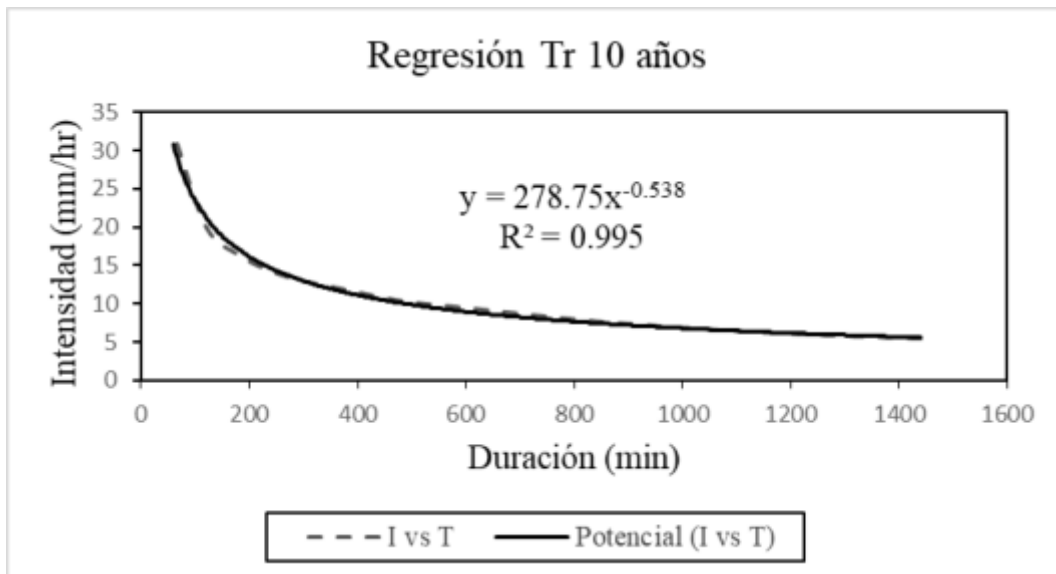


Figura 13. Regresión de la curva intensidad vs duración para periodo de retorno 10 años

Elaboración: Los autores, 2019

Tabla 13

Representación matemática de la curva IDF, periodo de retorno 25 años (Bernard)

Tiempo de Retorno 25 años							
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2	
1	1440	6.8178	7.2724	1.9195	13.9597	52.8878	
2	1320	7.2145	7.1854	1.9761	14.1990	51.6298	
3	1200	7.6087	7.0901	2.0293	14.3878	50.2692	
4	1080	8.1814	6.9847	2.1019	14.6809	48.7863	
5	960	8.8973	6.8669	2.1857	15.0094	47.1548	
6	840	9.7008	6.7334	2.2722	15.2997	45.3387	
7	720	10.7722	6.5793	2.3770	15.6387	43.2865	
8	600	11.9448	6.3969	2.4803	15.8663	40.9207	
9	480	13.0902	6.1738	2.5719	15.8781	38.1156	
10	360	15.2719	5.8861	2.7260	16.0456	34.6462	
11	300	16.3628	5.7038	2.7950	15.9421	32.5331	
12	240	17.9991	5.4806	2.8903	15.8408	30.0374	
13	180	20.7262	5.1930	3.0314	15.7419	26.9668	
14	120	25.3623	4.7875	3.2333	15.4792	22.9201	
15	60	40.9069	4.0943	3.7113	15.1953	16.7637	
15	9900	220.8568	92.4282	38.3012	229.1645	582.2567	
$Ln(A) =$		5.8668	$A =$		353.1237	$B =$	-0.5377

Elaboración: Los autores, 2019

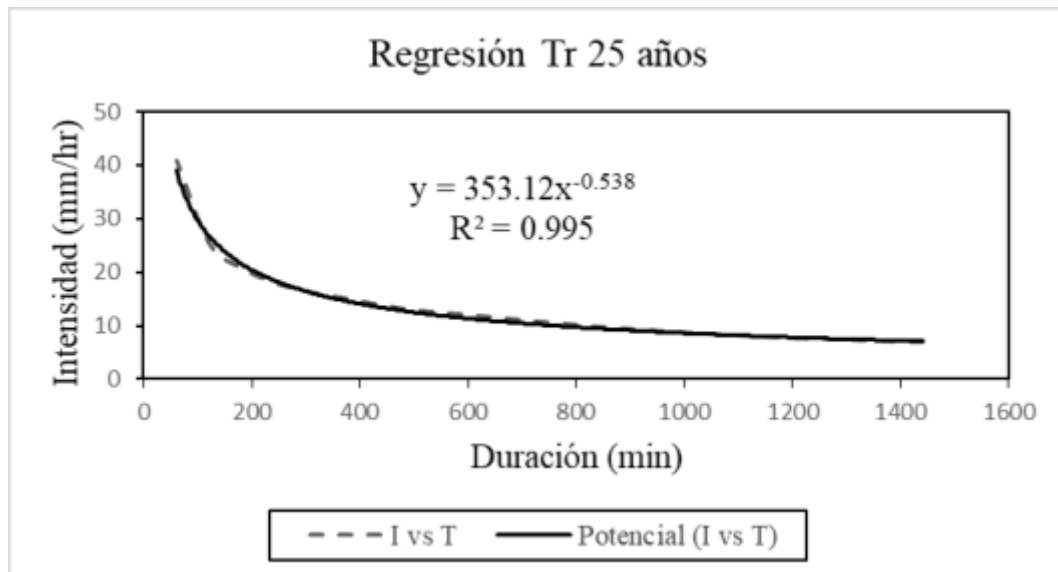


Figura 14. Regresión de la curva intensidad vs duración para periodo de retorno 25 años

Elaboración: Los autores, 2019

Tabla 14

Representación matemática de la curva IDF, periodo de retorno 50 años (Bernard)

Tiempo de Retorno 50 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	7.8831	7.2724	2.0647	15.0155	52.8878
2	1320	8.3417	7.1854	2.1213	15.2422	51.6298
3	1200	8.7975	7.0901	2.1745	15.4172	50.2692
4	1080	9.4597	6.9847	2.2470	15.6949	48.7863
5	960	10.2874	6.8669	2.3309	16.0063	47.1548
6	840	11.2165	6.7334	2.4174	16.2772	45.3387
7	720	12.4553	6.5793	2.5221	16.5938	43.2865
8	600	13.8112	6.3969	2.6255	16.7950	40.9207
9	480	15.1355	6.1738	2.7170	16.7744	38.1156
10	360	17.6581	5.8861	2.8712	16.9001	34.6462
11	300	18.9194	5.7038	2.9402	16.7702	32.5331
12	240	20.8113	5.4806	3.0355	16.6365	30.0374
13	180	23.9646	5.1930	3.1766	16.4958	26.9668
14	120	29.3251	4.7875	3.3784	16.1743	22.9201
15	60	47.2985	4.0943	3.8565	15.7898	16.7637
15	9900	255.3648	92.4282	40.4788	242.5831	582.2567
$Ln(A) =$		6.0120	$A =$	408.2978	$B =$	-0.5377

Elaboración: Los autores, 2019

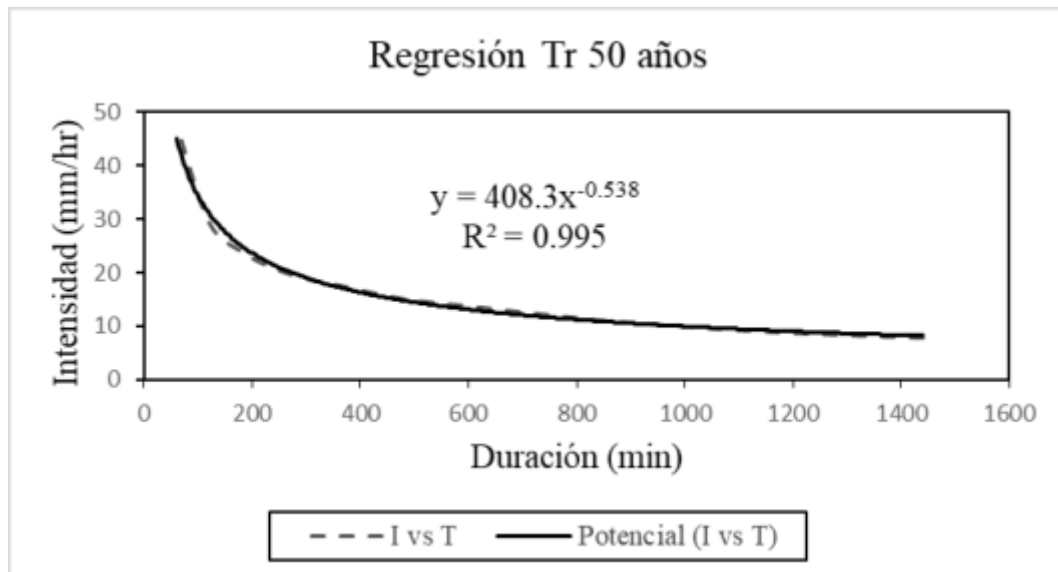


Figura 15. Regresión de la curva intensidad vs duración para periodo de retorno 50 años

Elaboración: Los autores, 2019

Tabla 15

Representación matemática de la curva IDF, periodo de retorno 75 años (Bernard)

Tiempo de Retorno 75 años							
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2	
1	1440	8.5022	7.2724	2.1403	15.5653	52.8878	
2	1320	8.9969	7.1854	2.1969	15.7855	51.6298	
3	1200	9.4885	7.0901	2.2501	15.9533	50.2692	
4	1080	10.2027	6.9847	2.3227	16.2231	48.7863	
5	960	11.0954	6.8669	2.4065	16.5255	47.1548	
6	840	12.0975	6.7334	2.4930	16.7864	45.3387	
7	720	13.4336	6.5793	2.5978	17.0913	43.2865	
8	600	14.8959	6.3969	2.7011	17.2787	40.9207	
9	480	16.3243	6.1738	2.7927	17.2413	38.1156	
10	360	19.0450	5.8861	2.9468	17.3452	34.6462	
11	300	20.4054	5.7038	3.0158	17.2015	32.5331	
12	240	22.4459	5.4806	3.1111	17.0509	30.0374	
13	180	25.8468	5.1930	3.2522	16.8885	26.9668	
14	120	31.6284	4.7875	3.4541	16.5363	22.9201	
15	60	51.0135	4.0943	3.9321	16.0993	16.7637	
15	9900	275.4221	92.4282	41.6130	249.5718	582.2567	
$Ln(A) =$		6.0876	$A =$		440.3671	$B =$	-0.5377

Elaboración: Los autores, 2019

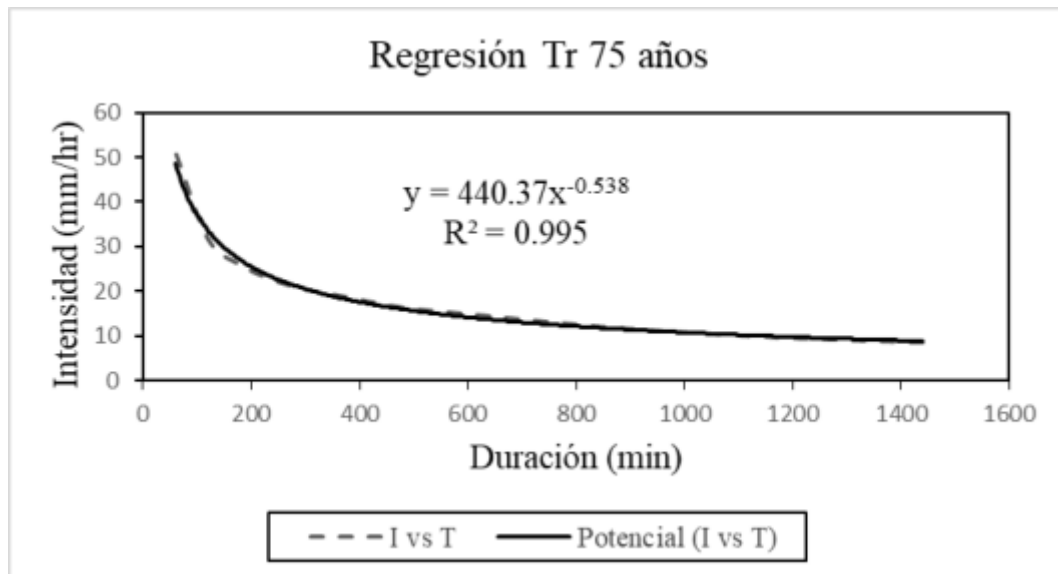


Figura 16. Regresión de la curva intensidad vs duración para periodo de retorno 75 años

Elaboración: Los autores, 2019

Tabla 16

Representación matemática de la curva IDF, periodo de retorno 100 años (Bernard)

Tiempo de Retorno 100 años							
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2	
1	1440	8.9405	7.2724	2.1906	15.9308	52.8878	
2	1320	9.4606	7.1854	2.2471	16.1466	51.6298	
3	1200	9.9776	7.0901	2.3003	16.3096	50.2692	
4	1080	10.7286	6.9847	2.3729	16.5741	48.7863	
5	960	11.6673	6.8669	2.4568	16.8706	47.1548	
6	840	12.7210	6.7334	2.5433	17.1248	45.3387	
7	720	14.1259	6.5793	2.6480	17.4219	43.2865	
8	600	15.6637	6.3969	2.7513	17.6002	40.9207	
9	480	17.1657	6.1738	2.8429	17.5515	38.1156	
10	360	20.0267	5.8861	2.9971	17.6410	34.6462	
11	300	21.4571	5.7038	3.0661	17.4881	32.5331	
12	240	23.6028	5.4806	3.1614	17.3263	30.0374	
13	180	27.1790	5.1930	3.3024	17.1495	26.9668	
14	120	33.2586	4.7875	3.5043	16.7769	22.9201	
15	60	53.6428	4.0943	3.9823	16.3051	16.7637	
15	9900	289.6180	92.4282	42.3669	254.2170	582.2567	
$Ln(A) =$		6.1379	$A =$		463.0645	$B =$	-0.5377

Elaboración: Los autores, 2019

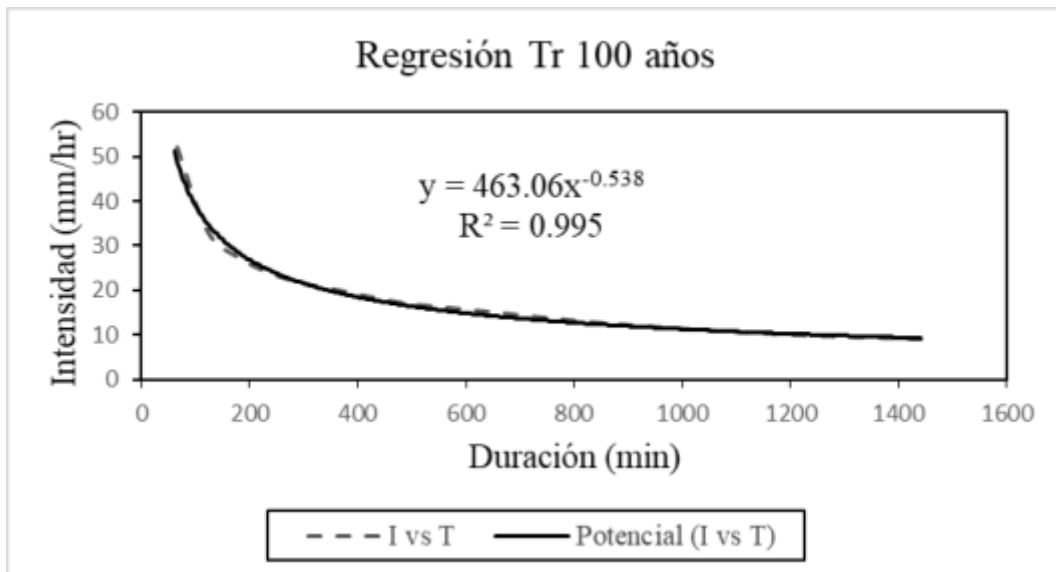


Figura 17. Regresión de la curva intensidad vs duración para periodo de retorno 100 años

Elaboración: Los autores, 2019

Tabla 17

Representación matemática de la curva IDF, periodo de retorno 500 años (Bernard)

Tiempo de Retorno 500 años							
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2	
1	1440	11.3839	7.2724	2.4322	17.6880	52.8878	
2	1320	12.0463	7.1854	2.4888	17.8827	51.6298	
3	1200	12.7045	7.0901	2.5420	18.0227	50.2692	
4	1080	13.6607	6.9847	2.6145	18.2617	48.7863	
5	960	14.8560	6.8669	2.6984	18.5298	47.1548	
6	840	16.1977	6.7334	2.7849	18.7517	45.3387	
7	720	17.9866	6.5793	2.8896	19.0116	43.2865	
8	600	19.9447	6.3969	2.9930	19.1458	40.9207	
9	480	21.8572	6.1738	3.0845	19.0432	38.1156	
10	360	25.5000	5.8861	3.2387	19.0632	34.6462	
11	300	27.3215	5.7038	3.3077	18.8662	32.5331	
12	240	30.0536	5.4806	3.4030	18.6505	30.0374	
13	180	34.6072	5.1930	3.5441	18.4042	26.9668	
14	120	42.3483	4.7875	3.7459	17.9336	22.9201	
15	60	68.3036	4.0943	4.2240	17.2944	16.7637	
15	9900	368.7718	92.4282	45.9911	276.5491	582.2567	
$Ln(A) =$		6.3795	$A =$		589.6220	$B =$	-0.5377

Elaboración: Los autores, 2019

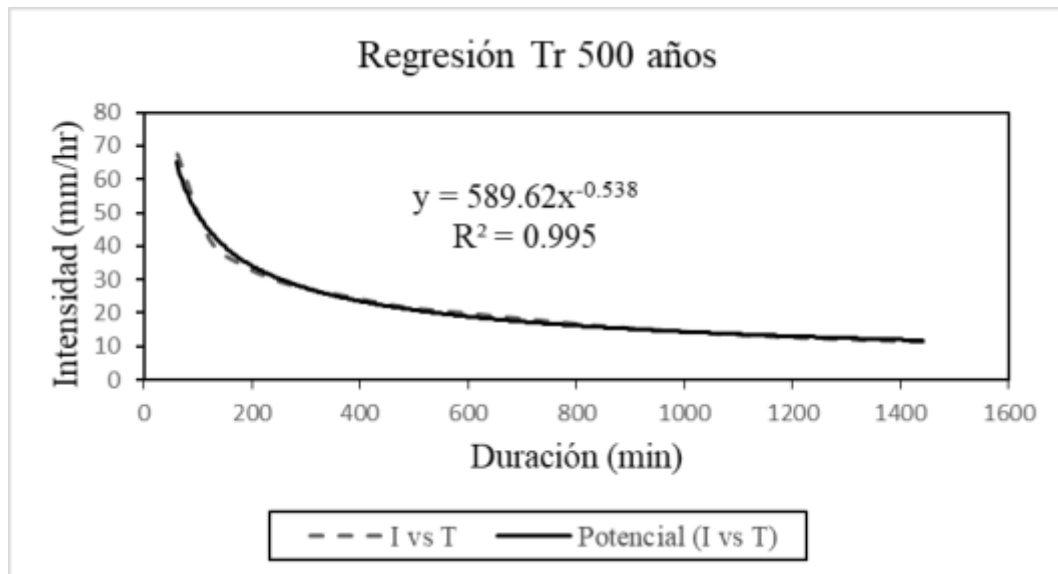


Figura 18. Regresión de la curva intensidad vs duración para periodo de retorno 500 años

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 18, se destalla el resumen de aplicación de regresión potencial en base a la constante de regresión, coeficiente de regresión y el periodo de retorno 2, 5, 10, 25, 50, 75, 100 y 500 años.

Tabla 18

Resumen de aplicación de regresión potencial

Periodo de Retorno (años)	Término Constante de Regresión [d]	Coeficiente de Regresión [c]
2	130.983624	-0.537727
5	219.888159	-0.537727
10	278.750697	-0.537727
25	353.123669	-0.537727
50	408.297789	-0.537727
75	440.367091	-0.537727
100	463.064511	-0.537727
500	589.622047	-0.537727
Promedio	360.512198	-0.537727

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 19 se detalla el resumen de la regresión potencial según la distribución de Gumbel.

Tabla 19

Resume de la regresión potencial según la distribución de Gumbel

Regresión Potencial						
N°	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	2	130.9836	0.6931	4.8751	3.3791	0.4805
2	5	219.8882	1.6094	5.3931	8.6799	2.5903
3	10	278.7507	2.3026	5.6303	12.9643	5.3019
4	25	353.1237	3.2189	5.8668	18.8846	10.3612
5	50	408.2978	3.9120	6.0120	23.5191	15.3039
6	75	440.3671	4.3175	6.0876	26.2832	18.6407
7	100	463.0645	4.6052	6.1379	28.2659	21.2076
8	500	589.6220	6.2146	6.3795	39.6460	38.6214
8	767	2884.0976	26.8733	46.3823	161.6220	112.5074
$Ln(A) =$		4.9191	$A =$	136.8812	$B =$	0.2616

Elaboración: Los autores, 2019

En el siguiente grafico se representa la curva de la regresión potencial para los diferentes periodos de retorno (2, 5, 10, 25, 50, 75, 100, 500 años).

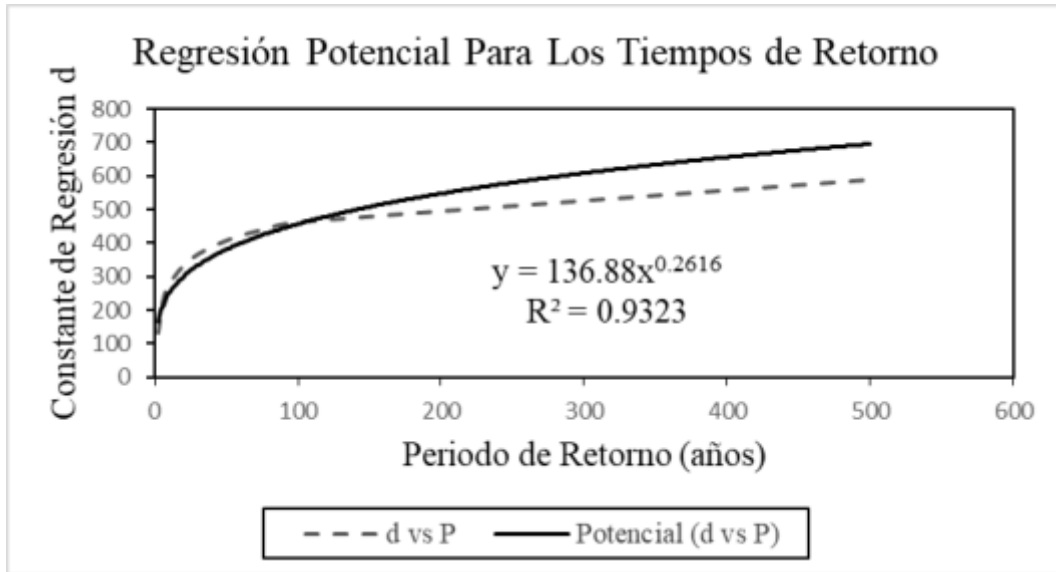


Figura 19. Constante de regresión d vs los periodos de retorno

Elaboración: Los autores, 2019

Finalmente, 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 SEWERGEMS y continuar con el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano que serán descritos a continuación en los siguientes ítems.

De la formula general de la curva IDF:

$$I = \frac{a * T^b}{t^c}$$

Contante de regresión (a): 136.8812

Coeficiente de regresión (b): 0.2616

Parámetro de ajuste (c): 0.5377

$$I = \frac{136.8812 * T^{0.2616}}{t^{0.5377}}$$

4.2 Sistema de drenaje pluvial urbano para un tiempo de retorno de 10 años

Para comenzar con el inicio del diseño del alcantarillado pluvial utilizando en software sewergems, en primer lugar, se tuvo que insertar algunos parámetros e indicaciones necesarias para que el software pueda procesar y realizar el diseño de los colectores pluviales.

Como primer paso se tuvo que asignar lo que esperaba del software y con qué método tendría que trabajar para el cálculo de los caudales de escorrentía, entonces para colocar estos parámetros estando ya dentro del software se tuvo que ir a la pestaña “Home” entrar a “Options” seguir a “Base Calculation Options”, aquí se escogió que el software tendría que realizar el diseño utilizando el método Racional (GVF-Rational-StromCAD).

El segundo paso fue colocar las restricciones de diseño, se va a la pestaña “Analysis” entrar a “Design Constraints”, en el cual se ingresan los parámetros de velocidad (velocity), profundidad de cobertura (cover) y pendiente (slope), entonces se colocaron los siguientes parámetros.

Velocity	Minimum	0.90	m/s
	Maximum	6.16	m/s
Cover	Minimum	1.00	m
	Maximum	3000.00	m
Slope	Minimum	1.00	%
	Maximum	17.00	%

Como tercer paso se tuvo que añadir las dimensiones y el material con la que se diseñaran las alcantarillas, para ello se fue a la pestaña “Components” entrar a “Catalog”, es aquí donde escogimos el material de PVC y colocamos las dimensiones disponibles proporcionadas por la empresa fabricante de tubos de doble pared Nicoll, de las cuales por especificaciones de la Norma OS.060 el diámetro mínimo para colectores centrales es 500 mm, en la misma pestaña se entró a “Prototypes”, se escogió desde que diámetro se desea iniciar el diseño de las alcantarillas (500 mm) y que será de sección circular.

En el cuarto paso aun en la pestaña “Components” se seleccionó “Storm Data”, en el cual se ingresa la ecuación general de la curva IDF calculada anteriormente en el ítem 4.1, obteniendo la siguiente gráfica de curvas IDF para diferentes tiempos de retorno.

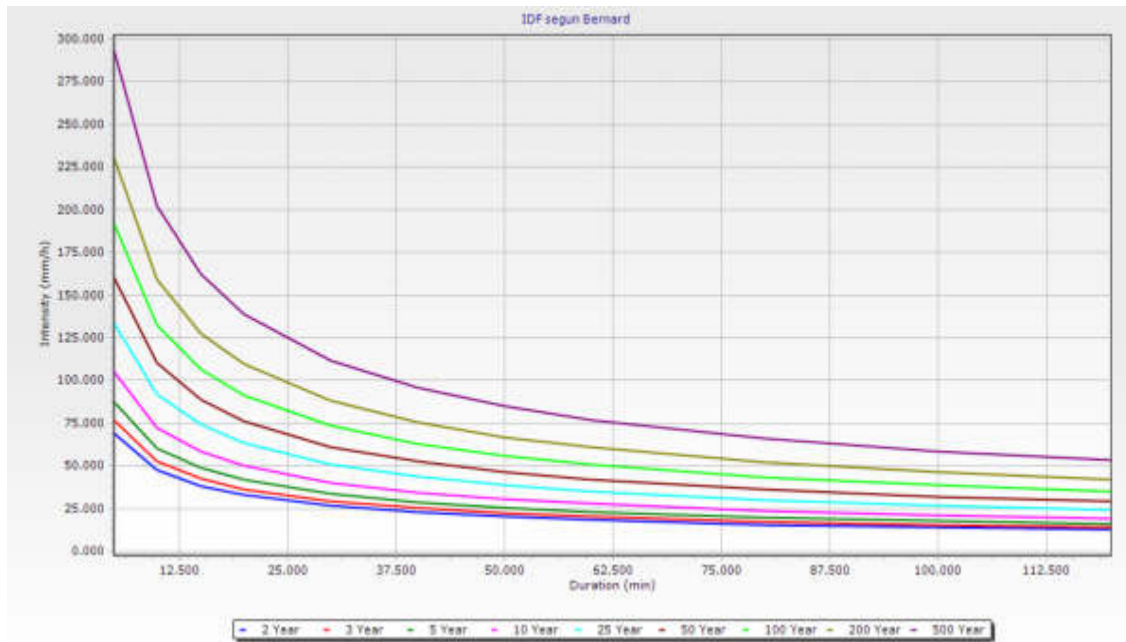


Figura 20. Representación gráfica de la curva IDF en el software sewergems, utilizando la ecuación general según Bernard, utilizando para $Tr = 10$ años

Elaboración: Los autores, 2019

En la misma pestaña, se seleccionó “Global Storm Events”, es aquí donde se escoge para este diseño, el tiempo de retorno de 10 años con una duración para tiempo de concentración de 10 min como mínimo como lo estipula la Norma OS.060.

El quinto paso consistió en construir el modelo de alcantarillado, para lo cual previamente se realizó un prediseño en el programa de AutoCAD, donde se realizaron los trazos por el cual pasará los colectores principales para el alcantarillado, también se necesitó de las curvas de nivel y el urbanismo de la zona de estudio también en AutoCAD, estos archivos guardados en formato dxf, posteriormente se importaron los tres archivos al software sewergems, con la opción “Back ground Layers – New - File”, luego se seleccionó la opción “ModelBuilder” con el cual se realiza el diseño de las alcantarillas siguiendo el gráfico de la red prediseñada en AutoCAD, para poder darle altura a los colectores y buzones creados por sewergems, se selecciona la opción “TRex” es aquí donde se vuelve a seleccionar el archivo de las curvas de nivel en formato dxf, se selecciona las unidades (m) y el modelo (elevación), se sigue con la opción siguiente, y ya las alturas (msnm) quedas añadidas para los colectores y los buzones.

Como último paso antes de correr el software se tuvo que identificar los puntos donde se realizara la descarga de todas las aguas de lluvia (Outfall) y agregar las áreas tributarias

para poder identificar cuanto caudal deberá ser captado por los sumideros, buzones de registro y posterior a ellos los colectores, para ello se necesitó ir a la pestaña “Layout” y elegir la opción “Outfall”, con esta opción se procedió a seleccionar las salidas del sistema para que estas se transformen en los puntos donde desembocara el caudal de lluvia que fluye por el sistema de drenaje pluvial, como último paso se seleccionó la opción “Catchment”, con esta se dio forma a las áreas tributarias en la cual caerá la lluvia y se formara el caudal de escorrentía, esta será dirigida y captada por los sumideros y empezara así su recorrido por el sistema de drenaje pluvial urbano, aquí es donde se asignara el valor del coeficiente de fricción (Manning) en un 0.010 y el coeficiente de escorrentía para el Método Racional (Tr. 10 años: 0.83) como lo señala la Norma OS.060

Al finalizar todos los pasos descritos anteriormente, para que el programa pueda iniciar con el diseño del sistema de drenaje pluvial se tuvo que seleccionar la pestaña “Analysis” y seleccionar la opción “Validate” en la cual se validaran todos los datos que se introdujo al software, saldrá una ventana que detallara si los datos son los adecuados para que el sistema corra el programa, por último se selecciona la opción “Compute” la cual da inicio al diseño del sistema de drenaje pluvial, también se desplegara una ventana en la cual señala si el diseño cumple o no con las restricciones anteriormente añadidas al software, el modelamiento del sistema tiene la siguiente vista en planta la cual se observara a continuación.



Figura 21. Modelamiento del sistema de alcantarillado, tres líneas de colectoras centrales con sus salidas de evacuación (Outfall), Tr = 10 años, software sewergems

Elaboración: Los autores, 2019

Continuando con el diseño, al correr el software para poder apreciar los resultados se necesitó ir a la pestaña “Analysis”, a la opción “Flex Table”, con esto se abrió una ventana que indica las tablas de resultados disponibles que nos da el software, de la cual nosotros para este diseño solo utilizamos cuatro, con estas continuaremos con el diseño de las obras de captación y conducción de todo el sistema de drenaje pluvial urbano, nos da como resultado las siguientes tablas (Flex Table).

Label	Start Node	Invert Elev. (ft)	Pipe Note	Invert Elev. (ft)	Slope Calculated (%)	Velocity (ft/s)	Length (Feet)	Capacity (Design) (cfs)	System Rational Flow (cfs)	Flow / Capacity (Design) (%)	Diameter (in)	Notes		
01-ALL-01	ALL-13	991-0	D-1	2,916.989	9.127	8.44	9.38	1,026.99	281.31	27.82	401.0			
02-ALL-11	ALL-11	991-3	D-1	2,930.048	17.000	8.27	9.31	1,468.74	86.87	5.90	401.0			
03-ALL-02	ALL-03	991-8	D-1	2,927.139	10.0	2,936.383	1.461	4.64	9.77	838.29	231.89	401.0		
04-ALL-13	ALL-1	991-7	MH-6	2,942.779	1.000	1.98	28.68	194.28	11.46	5.73	401.0			
05-ALL-03	ALL-12	991-6	D-1	2,923.336	19.91	2,929.424	17.000	7.18	35.88	1,468.74	280.31	401.0		
06-ALL-9	ALL-9	991-20	MH-11	2,936.384	MH-11	2,942.681	4.704	3.60	36.12	1,049.81	69.91	4.66	401.0	
07-ALL-7	ALL-7	991-12	MH-6	2,929.628	MH-6	2,935.636	8.833	3.87	45.42	1,031.87	25.28	3.38	401.0	
08-ALL-2	ALL-2	991-9	MH-6	2,947.679	MH-12	2,936.436	18.156	3.96	32.26	1,421.81	18.76	1.81	401.0	
09-ALL-16	ALL-14	991-14	MH-14	2,939.677	MH-6	2,927.279	14.674	6.28	57.61	1,387.13	193.96	14.29	401.0	
10-ALL-5	ALL-5	991-24	MH-15	2,935.773	MH-15	2,945.383	-17.000	5.86	52.76	1,468.74	72.80	5.13	401.0	
11-ALL-9	ALL-9	991-24	MH-14	2,931.773	MH-14	2,936.892	-1.644	1.86	45.63	494.23	80.88	11.22	401.0	
12-ALL-6	ALL-6	991-23	MH-17	2,943.683	MH-17	2,947.400	-1.834	2.80	67.37	375.83	35.36	6.15	401.0	
13-ALL-10	ALL-10	991-9	MH-9	2,923.638	MH-16	2,938.413	-1.804	2.29	71.56	706.42	16.36	3.64	401.0	
14-ALL-8	ALL-8	991-8	MH-8	2,939.651	MH-10	2,935.284	17.000	9.11	74.23	1,468.74	91.43	6.28	401.0	
15-ALL-3	ALL-3	991-2	MH-12	2,936.336	MH-12	2,930.740	9.882	3.71	36.96	1,112.42	52.04	4.60	401.0	

Figura 22. Flex Table: Conduit Table, tuberías del alcantarillado pluvial, Tr = 10 años

Elaboración: Los autores, 2019

Label	Elevation (ft)	Elevation (ft)	Hydraulic Grade (ft)	System Rational Flow (cfs)	Notes
01-D-1	D-1	2,930.463	2,929.031	2,928.111	88.74
02-D-2	D-2	2,928.025	2,926.583	2,926.776	231.38
03-D-3	D-3	2,920.080	2,918.188	2,918.767	280.63

Message ID	Severity	Element Type	Element ID	Label	Time (sec)	Message
44041	Error	Conduit	42	ALL-12	(6/1)	Conduit does not meet maximum velocity
44041	Error	Conduit	94	ALL-14	(6/1)	Conduit does not meet maximum velocity

Figura 23. Flex Table: Outfall Table, evacuación de las aguas de lluvia, Tr = 10 años

Elaboración: Los autores, 2019

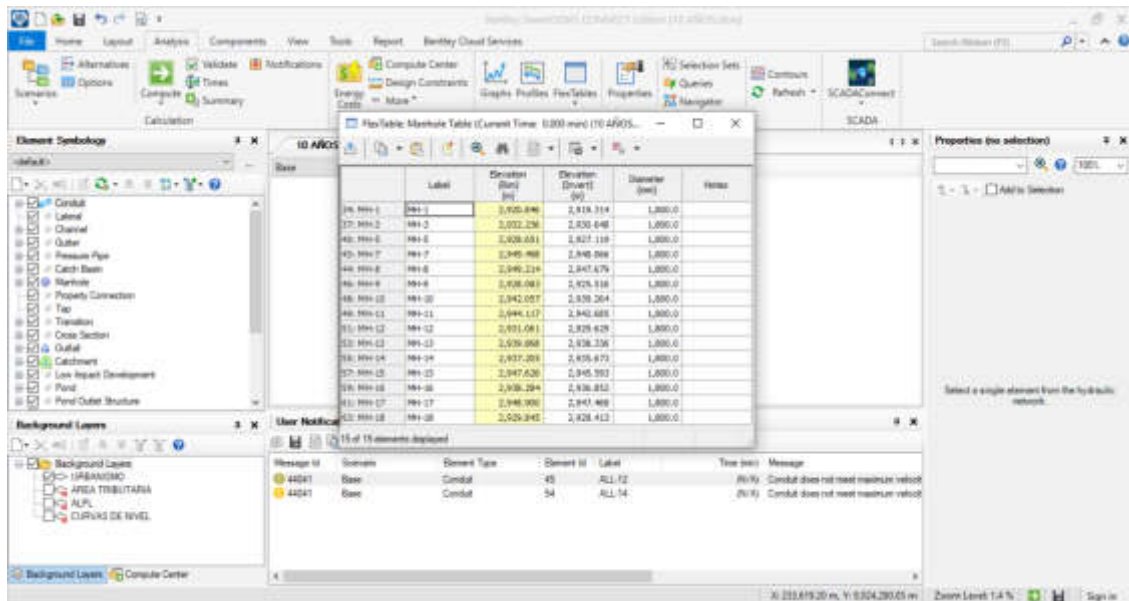


Figura 24. Flex Table: Manhole Table, pozos de registro de todo el sistema de drenaje pluvial, $Tr = 10$ años
Elaboración: Los autores, 2019

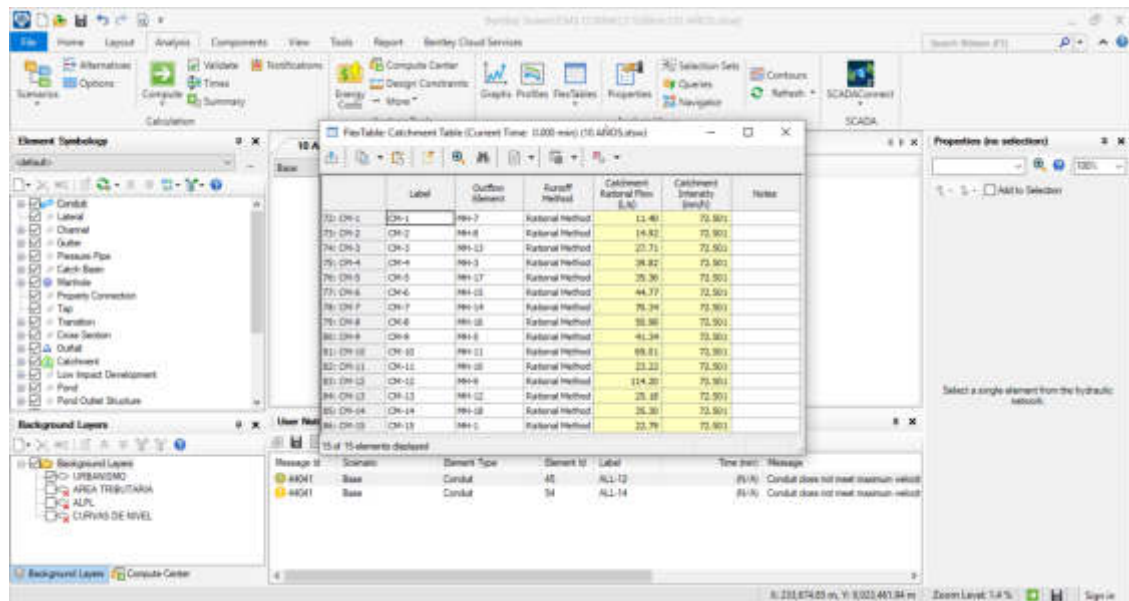


Figura 25. Flex Table: Catchment Table, caudal de escorrentía (l/s) que desemboca en los diferentes pozos de registro, $Tr = 10$ años
Elaboración: Los autores, 2019

A continuación, se detallan y describen los resultados obtenidos, y presentados en los gráficos anteriores.

En la Tabla 20 se describen características, ubicación y punto de partida de los colectores pluviales, cada uno identificado por un nombre, con respecto a metros sobre el nivel del mar (msnm).

Tabla 20

Características de los colectores de la red de alcantarillado, Tr 10 años

Nombre de la Tubería	Inicio de Tubería	Cota de Fondo Inicio	Fin de Tubería	Cota de Fondo Fin (msnm)
ALL-13	MH-1	2,919.314	O-3	2,918.568
ALL-11	MH-3	2,930.648	O-1	2,929.031
ALL-15	MH-5	2,927.119	O-2	2,926.583
ALL-1	MH-7	2,948.066	MH-8	2,947.779
ALL-12	MH-9	2,925.516	MH-1	2,919.414
ALL-9	MH-10	2,939.364	MH-11	2,942.685
ALL-7	MH-12	2,929.629	MH-9	2,925.616
ALL-2	MH-8	2,947.679	MH-13	2,938.436
ALL-14	MH-14	2,935.673	MH-5	2,927.219
ALL-5	MH-14	2,935.773	MH-15	2,945.593
ALL-4	MH-14	2,935.773	MH-16	2,936.852
ALL-6	MH-15	2,945.693	MH-17	2,947.468
ALL-10	MH-9	2,925.616	MH-18	2,928.413
ALL-8	MH-9	2,926.651	MH-10	2,939.264
ALL-3	MH-13	2,938.336	MH-3	2,930.748

Elaboración: Los autores, 2019

Del cuadro anterior, las abreviaturas significan, MH (Manhole – pozo de registro) y O (Outfall – punto de evacuación de las aguas pluviales).

En la Tabla 21, se detalla los caudales (l/s) que pasan por cada tramo de colectores; tales como el caudal a sección llena, el caudal y la capacidad (%) que está siendo usada del colector al poner en marcha el diseño en el software sewergems.

Tabla 21

Caudales para cada tramo de colector, Tr. 10 año

Nombre de la Tubería	Caudal Sección Llena (l/s)	Caudal Calculado (l/s)	Capacidad de la Tubería (%)
ALL-13	1,009.99	281.01	27.82
ALL-11	1,460.74	88.87	6.08
ALL-15	830.29	231.99	27.94
ALL-1	354.28	11.40	3.22
ALL-12	1,460.74	260.01	17.80
ALL-9	1,045.52	69.01	6.60
ALL-7	1,052.97	25.18	2.39
ALL-2	1,421.81	25.70	1.81
ALL-14	1,357.13	193.96	14.29
ALL-5	1,460.74	77.90	5.33
ALL-4	454.20	50.98	11.22
ALL-6	575.03	35.36	6.15
ALL-10	700.42	35.30	5.04
ALL-8	1,460.74	91.42	6.26
ALL-3	1,112.45	52.04	4.68

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 22, se presentan los parámetros, pendiente (%), velocidad (m/s), longitud (m), diámetro (mm) y velocidad crítica (m/s), que presentan los diferentes tramos de colectores del sistema, de los cuales se comprobaron las velocidades del sistema con la velocidad máxima de cada tramo, la cual no debe ser superada para evitar acciones abrasivas sobre la tubería.

Tabla 22

Cumplimiento del parámetro de velocidad crítica, Tr. 10 años

Nombre de la Tubería	Pendiente (%)	Velocidad (m/s)	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Velocidad Máxima (m/s)	Cumple la Especificación
ALL-13	8.127	5.64	9.18	432	6.16	Si
ALL-11	17.000	5.27	9.51	432	6.16	Si
ALL-15	5.492	4.64	9.77	432	6.16	Si
ALL-1	1.000	1.06	28.69	432	6.16	Si
ALL-12	17.000	7.19	35.89	432	6.16	No
ALL-9	-8.709	3.86	38.13	432	6.16	Si
ALL-7	8.833	2.87	45.43	432	6.16	Si
ALL-2	16.106	3.56	57.39	432	6.16	Si
ALL-14	14.674	6.28	57.61	432	6.16	No
ALL-5	-17.000	5.06	57.76	432	6.16	Si
ALL-4	-1.644	1.96	65.65	432	6.16	Si
ALL-6	-2.634	2.08	67.37	432	6.16	Si
ALL-10	-3.909	2.39	71.56	432	6.16	Si
ALL-8	-17.000	5.31	74.20	432	6.16	Si
ALL-3	9.860	3.71	76.96	432	6.16	Si

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 23, se realiza la corrección de las tuberías ALL-12 y All-14 que superan la velocidad máxima (m/s), por lo tanto, se tuvo que aumentar su diámetro y calcular nuevamente los parámetros para saber si con esta nueva sección si cumplen las especificaciones descritas.

Con los nuevos diámetros se calculó las nuevas velocidades y tirantes, con el software HCANALES, en la cual la tubería ALL-14 con la nueva velocidad cumple el parámetro de velocidad crítica, por otro lado, la tubería ALL-12 cumple con el parámetro de tirante admisible ($0.5 \cdot \text{diámetro}$) propuesta por el fabricante de la tubería (Tuberías Nicoll).

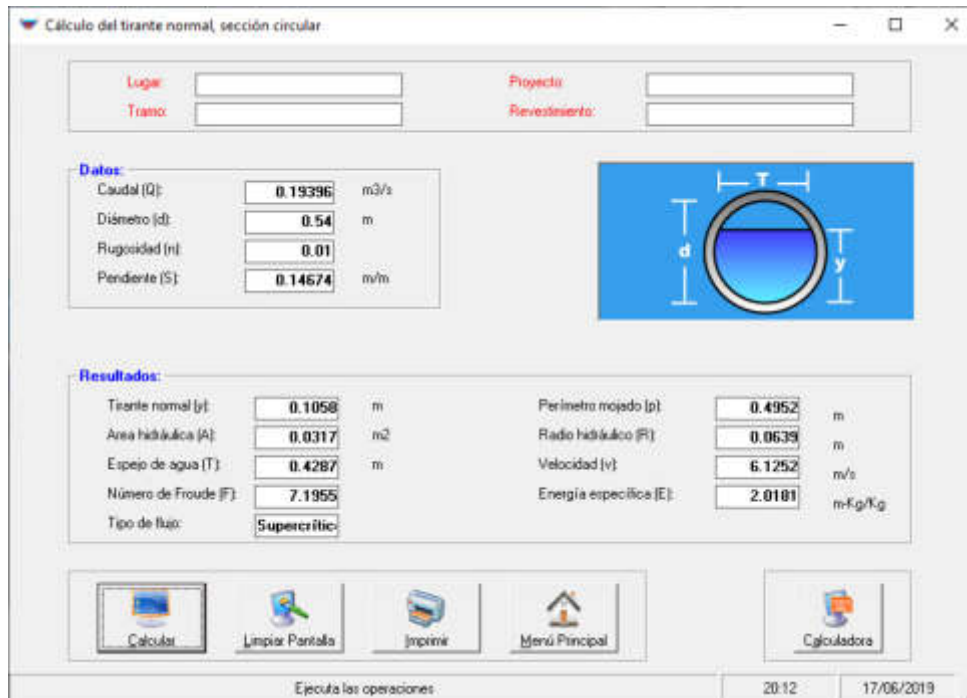


Figura 26. Calculo de velocidad y tirante para el colector ALL-14 para un diámetro de 0.540 m, $T_r = 10$ años, software Hcanales

Elaboración: Los autores, 2019

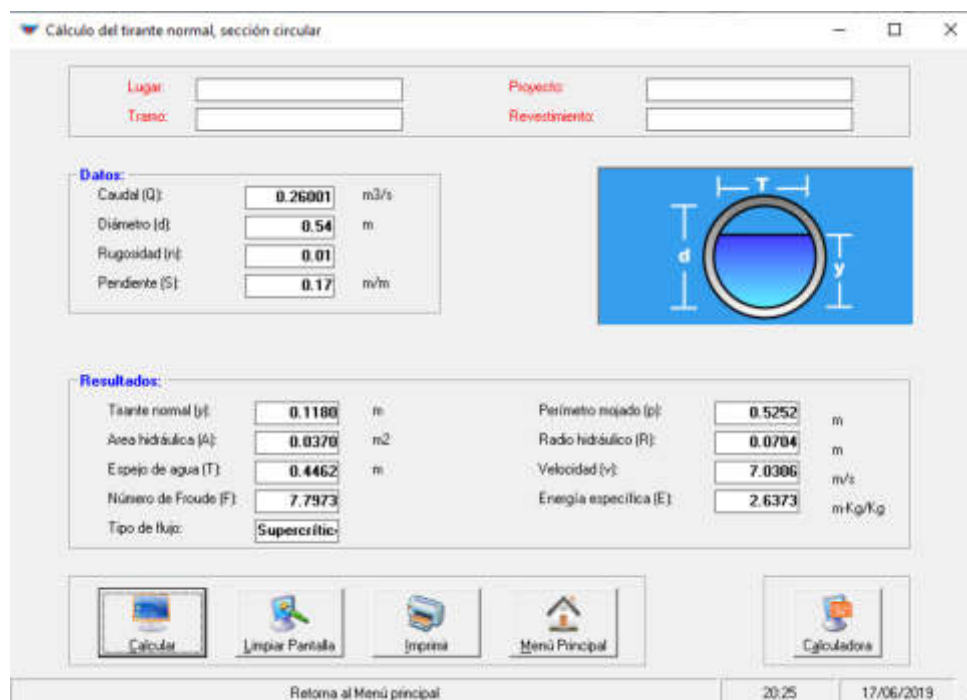


Figura 27. Calculo de velocidad y tirante para el colector ALL-12 para un diámetro de 0.540 m, $T_r = 10$ años, software Hcanales

Elaboración: Los autores, 2019

Tabla 23

Corrección del diámetro para el colector ALL-12 y ALL-14, Tr. 10 años

Nombre de la Tubería	Nuevo Diámetro (mm)	Nueva Velocidad (m/s)	Tirante (m)	Velocidad Máxima (m/s)	Tirante Admisible (m)	Cumple la Especificación
ALL-12	540	7.03	0.118	6.89	0.270	Si
ALL-14	540	6.13	0.106	6.89	0.270	Si

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 24, se detallan las dimensiones y características finales para cada tramo de tubería (colector) de alcantarillado, la cual sirvió para la elaboración de los planos que presentaran en la presente tesis.

Tabla 24

Dimensiones y características finales para cada tramo de colector, Tr. 10 años

Nombre de la Tubería	Pendiente (%)	Longitud (m)	Diámetro Interno (mm)	Diámetro Externo (mm)
ALL-13	8.127	9.18	432	500
ALL-11	17.000	9.51	432	500
ALL-15	5.492	9.77	432	500
ALL-1	1.000	28.69	432	500
ALL-12	17.000	35.89	540	630
ALL-9	-8.709	38.13	432	500
ALL-7	8.833	45.43	432	500
ALL-2	16.106	57.39	432	500
ALL-14	14.674	57.61	540	630
ALL-5	-17.000	57.76	432	500
ALL-4	-1.644	65.65	432	500
ALL-6	-2.634	67.37	432	500
ALL-10	-3.909	71.56	432	500
ALL-8	-17.000	74.2	432	500
ALL-3	9.860	76.96	432	500

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 25, se describe los puntos de evacuación de las aguas de lluvia del sistema de alcantarillado (Outfall), las cotas de fondo y superficiales (msnm), profundidad (m) y el caudal (l/s) total que será evacuado por el sistema.

Tabla 25

Características de Outfall, Tr. 10 años

Nombre de Outfall	Cota Superficial (msnm)	Cota de Fondo (msnm)	Profundidad (m)	Caudal Calculado (l/s)
O-1	2,930.463	2,929.031	1.432	88.74
O-2	2,928.015	2,926.583	1.432	231.58
O-3	2,920.000	2,918.568	1.432	280.63

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 26, se describen las características de los pozos de registro que se utilizarán en el sistema de drenaje pluvial urbano, iniciando con los nombres de cada pozo, el cual está ubicado en el plano, así como la cota superficial y de fondo (msnm), profundidad (m) y el diámetro externo (mm).

Tabla 26

Características de los pozos de registro, Tr. 10 años

Nombre Pozo de Registro	Cota Superficial (msnm)	Cota de Fondo (msnm)	Profundidad (m)	Diámetro (mm)
MH-1	2920.846	2919.314	1.532	1800
MH-3	2932.236	2930.648	1.588	1800
MH-5	2928.651	2927.119	1.532	1800
MH-7	2949.498	2948.066	1.432	1800
MH-8	2949.214	2947.679	1.535	1800
MH-9	2928.083	2925.516	2.567	1800
MH-10	2942.057	2939.264	2.793	1800
MH-11	2944.117	2942.685	1.432	1800
MH-12	2931.061	2929.629	1.432	1800
MH-13	2939.868	2938.336	1.532	1800
MH-14	2937.205	2935.673	1.532	1800
MH-15	2947.626	2945.593	2.033	1800
MH-16	2938.284	2936.852	1.432	1800
MH-17	2948.900	2947.468	1.432	1800
MH-18	2929.845	2928.413	1.432	1800

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 27, se describen los sectores en donde se precipitarán las lluvias (Catchment) los cuales también están identificados en los planos que se adjuntaron a la presente tesis, el nombre que identifica a cada sector, el método utilizado para el cálculo de los caudales de escorrentía (método racional), la intensidad (mm/h) necesaria para el cálculo proporcionada por la curva IDF, el nombre del elemento de salida y por último el caudal (l/s), con el software sewergems.

Tabla 27

Características de los sectores de área Catchment, Tr. 10 años

Nombre Catchment	Elemento de Salida	Método de Escorrentía	Caudal Calculado (l/s)	Intensidad (mm/h)
CM-1	MH-7	Rational Method	11.4	72.501
CM-2	MH-8	Rational Method	14.92	72.501
CM-3	MH-13	Rational Method	27.71	72.501
CM-4	MH-3	Rational Method	39.82	72.501
CM-5	MH-17	Rational Method	35.36	72.501
CM-6	MH-15	Rational Method	44.77	72.501
CM-7	MH-14	Rational Method	70.34	72.501
CM-8	MH-16	Rational Method	50.98	72.501
CM-9	MH-5	Rational Method	41.34	72.501
CM-10	MH-11	Rational Method	69.01	72.501
CM-11	MH-10	Rational Method	23.22	72.501
CM-12	MH-9	Rational Method	114.2	72.501
CM-13	MH-12	Rational Method	25.18	72.501
CM-14	MH-18	Rational Method	35.3	72.501
CM-15	MH-1	Rational Method	22.79	72.501

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 28, se especifica el área tributaria de cada sector que será para ambos lados de la vía, es decir para cada sumidero que se colocara en ambos lados de la vía, teniendo en cuenta la forma más eficiente para la captación de las aguas de lluvia, estas áreas se pueden calcular exportando el archivo de los sectores de sewergems en formato dxf, al software AutoCAD con el cual se pudieron realizar las siguientes medias tomando como límites los sectores y el eje longitudinal de la vía, detallada en el presente cuadro.

Tabla 28

Área tributaria de los sectores, para cada lado de vía (sumidero), Tr. 10 años

Nombre Catchment	Izquierda (m2)		Centro (m2)		Derecha (m2)		Total (m2)
	Sii	Sid	Sci	Scd	Sdi	Sdd	
CM-1	0.000	0.000	171.397	487.165	0.000	0.000	658.562
CM-2	0.000	0.000	484.376	358.453	0.000	0.000	842.829
CM-3	196.228	181.607	539.525	680.351	0.000	0.000	1597.711
CM-4	0.000	0.000	1220.277	1055.245	0.000	0.000	2275.522
CM-5	0.000	0.000	1148.279	850.403	0.000	0.000	1998.682
CM-6	0.000	0.000	1486.498	1114.456	0.000	0.000	2600.954
CM-7	1100.470	1521.421	699.063	597.281	0.000	0.000	3918.235
CM-8	0.000	0.000	1266.679	1631.167	0.000	0.000	2897.846
CM-9	0.000	0.000	2004.424	432.422	0.000	0.000	2436.846
CM-10	0.000	0.000	1959.333	1882.088	0.000	0.000	3841.421
CM-11	0.000	0.000	635.950	679.892	0.000	0.000	1315.842
CM-12	445.884	1371.255	925.120	1003.369	1016.641	1713.690	6475.959
CM-13	0.000	0.000	451.959	976.970	0.000	0.000	1428.929
CM-14	0.000	0.000	878.726	1098.653	0.000	0.000	1977.379
CM-15	0.000	0.000	255.226	1066.483	0.000	0.000	1321.709

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 29, se calculó el porcentaje de caudal de escorrentía que deberá ser captado por cada sumidero en ambos lados de la vía, esto se logró al dividir el área tributaria de cada lado de la vía para cada sector, entre el área total tributaria de cada sector que da a su elemento de salida.

Tabla 29

Porcentaje del caudal de escorrentía para cada sumidero, Tr. 10 años

Nombre Catchment	Izquierda (%)		Centro (%)		Derecha (%)		Total (%)
	Sii	Sid	Sci	Scd	Sdi	Sdd	
CM-1	0.00	0.00	26.03	73.97	0.00	0.00	100
CM-2	0.00	0.00	57.47	42.53	0.00	0.00	100
CM-3	12.28	11.37	33.77	42.58	0.00	0.00	100
CM-4	0.00	0.00	53.63	46.37	0.00	0.00	100
CM-5	0.00	0.00	57.45	42.55	0.00	0.00	100
CM-6	0.00	0.00	57.15	42.85	0.00	0.00	100
CM-7	28.09	38.83	17.84	15.24	0.00	0.00	100
CM-8	0.00	0.00	43.71	56.29	0.00	0.00	100
CM-9	0.00	0.00	82.25	17.75	0.00	0.00	100
CM-10	0.00	0.00	51.01	48.99	0.00	0.00	100
CM-11	0.00	0.00	48.33	51.67	0.00	0.00	100

CM-12	6.89	21.17	14.29	15.49	15.70	26.46	100
CM-13	0.00	0.00	31.63	68.37	0.00	0.00	100
CM-14	0.00	0.00	44.44	55.56	0.00	0.00	100
CM-15	0.00	0.00	19.31	80.69	0.00	0.00	100

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 30, se calculó el caudal de escorrentía que deberá ser captado por cada sumidero en ambos lados de la vía, esto se logró al multiplicar el porcentaje de caudal que deberá captar cada sumidero detallada en la Tabla 29, por el caudal de escorrentía total calculado en el software.

Tabla 30

Caudal de escorrentía para cada sumidero, Tr. 10 años

Nombre Catchment	Caudal de Escorrentía	Izquierda (l/s)		Centro (l/s)		Derecha (l/s)	
		Sii	Sid	Sci	Scd	Sdi	Sdd
CM-1	11.4	0.00	0.00	2.97	8.43	0.00	0.00
CM-2	14.92	0.00	0.00	8.57	6.35	0.00	0.00
CM-3	27.71	3.40	3.15	9.36	11.80	0.00	0.00
CM-4	39.82	0.00	0.00	21.35	18.47	0.00	0.00
CM-5	35.36	0.00	0.00	20.31	15.05	0.00	0.00
CM-6	44.77	0.00	0.00	25.59	19.18	0.00	0.00
CM-7	70.34	19.76	27.31	12.55	10.72	0.00	0.00
CM-8	50.98	0.00	0.00	22.28	28.70	0.00	0.00
CM-9	41.34	0.00	0.00	34.00	7.34	0.00	0.00
CM-10	69.01	0.00	0.00	35.20	33.81	0.00	0.00
CM-11	23.22	0.00	0.00	11.22	12.00	0.00	0.00
CM-12	114.2	7.86	24.18	16.31	17.69	17.93	30.22
CM-13	25.18	0.00	0.00	7.96	17.22	0.00	0.00
CM-14	35.3	0.00	0.00	15.69	19.61	0.00	0.00
CM-15	22.79	0.00	0.00	4.40	18.39	0.00	0.00

Elaboración: Los autores, 2019

Se detallan las siguientes abreviaturas utilizadas anteriormente.

Sii = Sumidero, izquierda, izquierda.

Sid = Sumidero, izquierda, derecha.

Sci = Sumidero, centro, izquierda.

Scd = Sumidero, centro, derecha.

Sdi = Sumidero, derecha, izquierda.

Sdd = Sumidero, derecha, derecha.

En la Tabla 31, se calculó la longitud transversal promedio para cada sector (Catchment), al cual le corresponde un tramo de la pista que está dividida por los pozos de registro, por ende, cada tramo tiene una pendiente diferente, esta medida se calculó el software AutoCAD con el archivo en formato dxf que fue exportado de sewergems.

Tabla 31

Longitud transversal de la calzada de cada tramo de vía, Tr. 10 años

Nombre Catchment	Longitud Transversal Promedio de la Calzada (m)		
	Izquierda	Centro	Derecha
CM-1	-	7.06	-
CM-2	-	7.51	-
CM-3	10.66	8.10	-
CM-4	-	8.90	-
CM-5	-	8.41	-
CM-6	-	8.61	-
CM-7	10.78	8.34	-
CM-8	-	11.87	-
CM-9	-	7.52	-
CM-10	-	8.07	-
CM-11	-	9.78	-
CM-12	9.74	5.48	8.41
CM-13	-	9.59	-
CM-14	-	8.92	-
CM-15	-	10.22	-

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 32, se calculó el ancho de la superficie de agua “T” para la calzada, siguiendo lo especificado en la norma OS.060, la cual detalla que el ancho de superficie de agua “T” en avenidas secundarias es la mitad de la calzada que le corresponde a cada sentido de la vía, esto se calculó al dividir la longitud transversal promedio de la calzada entre cuatro.

Tabla 32

Ancho de la superficie de agua "T" en calzada según OS.060, Tr. 10 años

Nombre Catchment	Ancho "T" Superficie de Agua en Calzada Para Cada Sentido de la Vía		
	Izquierda	Centro	Derecha
CM-1	-	1.76	-
CM-2	-	1.88	-
CM-3	2.66	2.03	-
CM-4	-	2.23	-
CM-5	-	2.10	-
CM-6	-	2.15	-
CM-7	2.69	2.09	-
CM-8	-	2.97	-
CM-9	-	1.88	-
CM-10	-	2.02	-
CM-11	-	2.44	-
CM-12	2.44	1.37	2.10
CM-13	-	2.40	-
CM-14	-	2.23	-
CM-15	-	2.56	-

Elaboración: Los autores, 2019

En las Tablas 33, 34 y 35 se calcularon las pendientes longitudinales para cada sector, donde el agua de lluvia se acumula generando el caudal de escorrentía, algunos sectores (Catchment) cuentan con más subsectores, por ejemplo, el Catchment CM-12, cuenta con 3 subsectores, por ende, este tiene pendiente al lado izquierdo, centro y derecha.

Tabla 33

Pendiente longitudinal para cada Catchment (izquierda), Tr. 10 años

Nombre Catchment	Elemento de Salida	Izquierda			Longitud (m)	Pendiente de la Vía (%)
		Cota Inicial (msnm)	Cota Final (msnm)	Diferencia (m)		
CM-1	MH-7	-	-	-	-	-
CM-2	MH-8	-	-	-	-	-
CM-3	MH-13	2942.40	2939.87	2.53	22.81	11.10
CM-4	MH-3	-	-	-	-	-
CM-5	MH-17	-	-	-	-	-
CM-6	MH-15	-	-	-	-	-
CM-7	MH-14	2938.28	2937.21	1.08	65.65	1.64

CM-8	MH-16	-	-	-	-	-
CM-9	MH-5	-	-	-	-	-
CM-10	MH-11	-	-	-	-	-
CM-11	MH-10	-	-	-	-	-
CM-12	MH-9	2931.06	2928.08	2.98	45.43	6.56
CM-13	MH-12	-	-	-	-	-
CM-14	MH-18	-	-	-	-	-
CM-15	MH-1	-	-	-	-	-

Elaboración: Los autores, 2019

Tabla 34

Pendiente longitudinal para cada Catchment (centro), Tr. 10 años

Nombre Catchment	Elemento de Salida	Centro			Longitud (m)	Pendiente de la Vía (%)
		Cota Inicial (msnm)	Cota Final (msnm)	Diferencia (m)		
CM-1	MH-7	2950.600	2949.498	1.102	34.889	3.16
CM-2	MH-8	2949.498	2949.214	0.284	28.690	0.99
CM-3	MH-13	2949.214	2939.868	9.346	57.390	16.29
CM-4	MH-3	2939.868	2932.236	7.632	76.960	9.92
CM-5	MH-17	2949.214	2948.900	0.314	53.555	0.59
CM-6	MH-15	2948.900	2947.626	1.274	67.370	1.89
CM-7	MH-14	2947.626	2937.205	10.421	57.760	18.04
CM-8	MH-16	2939.868	2938.284	1.584	66.415	2.39
CM-9	MH-5	2937.205	2928.651	8.554	57.610	14.85
CM-10	MH-11	2947.626	2944.117	3.509	78.004	4.50
CM-11	MH-10	2944.117	2942.057	2.060	38.130	5.40
CM-12	MH-9	2942.057	2928.083	13.974	74.200	18.83
CM-13	MH-12	2937.205	2931.061	6.144	42.025	14.62
CM-14	MH-18	2940.300	2929.845	10.455	55.559	18.82
CM-15	MH-1	2928.083	2920.846	7.237	35.890	20.16

Elaboración: Los autores, 2019

Tabla 35

Pendiente longitudinal para cada Catchment (derecha), Tr. 10 años

Nombre Catchment	Elemento de Salida	Derecha			Longitud (m)	Pendiente de la Vía (%)
		Cota Inicial (msnm)	Cota Final (msnm)	Diferencia (m)		
CM-1	MH-7	-	-	-	-	-
CM-2	MH-8	-	-	-	-	-
CM-3	MH-13	-	-	-	-	-
CM-4	MH-3	-	-	-	-	-
CM-5	MH-17	-	-	-	-	-
CM-6	MH-15	-	-	-	-	-
CM-7	MH-14	-	-	-	-	-
CM-8	MH-16	-	-	-	-	-
CM-9	MH-5	-	-	-	-	-
CM-10	MH-11	-	-	-	-	-
CM-11	MH-10	-	-	-	-	-
CM-12	MH-9	2929.845	2928.083	1.762	71.560	2.46
CM-13	MH-12	-	-	-	-	-
CM-14	MH-18	-	-	-	-	-
CM-15	MH-1	-	-	-	-	-

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 36, se calculó el tirante de agua que se forma en la calzada; por la cual, la viabilidad de la calzada se comportara como un canal a sección abierta, utilizando el monograma de Izzard.

$$Q = 0.00175 * \frac{Z}{n} * Y^{\frac{8}{3}} * S^{1/2}$$

En el cual “Q”, es el caudal que le corresponde a cada lado de la vía y que cada sumidero debería captar en su totalidad, “Z” es la inversa de la pendiente transversal (3%), “n” es el coeficiente de Manning que corresponde a concreto (0.016), “S” es la pendiente longitudinal de cada tramo de la vía que esta detallada en las Tablas 32, 33 y 34, “Y” es el tirante de agua que se calculó para ambos lodos de la vía.

Tabla 36

Tirante de agua "Y" formado en la viabilidad de la calzada, Tr. 10 años

Nombre Catchment	Nombre Sumidero	Q (l/s)	Z	n	S (%)	Y (cm)
CM-1	S1	2.97	33.33	0.016	3.16	1.77
	S2	8.43	33.33	0.016	3.16	2.62
CM-2	S3	8.57	33.33	0.016	0.99	3.27
	S4	6.35	33.33	0.016	0.99	2.92
	S5	3.40	33.33	0.016	11.10	1.47
CM-3	S6	3.15	33.33	0.016	11.10	1.43
	S7	9.36	33.33	0.016	16.29	2.00
	S8	11.80	33.33	0.016	16.29	2.18
CM-4	S9	21.35	33.33	0.016	9.92	2.99
	S10	18.47	33.33	0.016	9.92	2.83
CM-5	S11	20.31	33.33	0.016	0.59	4.99
	S12	15.05	33.33	0.016	0.59	4.46
CM-6	S13	25.59	33.33	0.016	1.89	4.37
	S14	19.18	33.33	0.016	1.89	3.92
	S15	19.76	33.33	0.016	1.64	4.07
CM-7	S16	27.31	33.33	0.016	1.64	4.60
	S17	12.55	33.33	0.016	18.04	2.19
CM-8	S18	10.72	33.33	0.016	18.04	2.07
	S19	22.28	33.33	0.016	2.39	3.97
	S20	28.70	33.33	0.016	2.39	4.37
CM-9	S21	34.00	33.33	0.016	14.85	3.30
	S22	7.34	33.33	0.016	14.85	1.86
CM-10	S23	35.20	33.33	0.016	4.50	4.19
	S24	33.81	33.33	0.016	4.50	4.12
CM-11	S25	11.22	33.33	0.016	5.40	2.63
	S26	12.00	33.33	0.016	5.40	2.70
	S27	7.86	33.33	0.016	6.56	2.22
CM-12	S28	24.18	33.33	0.016	6.56	3.39
	S29	16.31	33.33	0.016	18.83	2.40
	S30	17.69	33.33	0.016	18.83	2.47
	S31	17.93	33.33	0.016	2.46	3.64
	S32	30.22	33.33	0.016	2.46	4.43
CM-13	S33	7.96	33.33	0.016	14.62	1.92
	S34	17.22	33.33	0.016	14.62	2.57

CM-14	S35	15.69	33.33	0.016	18.82	2.36
	S36	19.61	33.33	0.016	18.82	2.57
CM-15	S37	4.40	33.33	0.016	20.16	1.45
	S38	18.39	33.33	0.016	20.16	2.48

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 37, se comprueba si el ancho “T” calculado no supera lo estipulado en la norma OS.060, descrito también en la explicación de la Tabla 32, lo cual se calculó al multiplicar el valor “Z” con el tirante de agua “Y” formada en la calzada, especificada en la Tabla 36.

Tabla 37

Cumplimiento de la superficie de agua “T” máxima, Tr. 10 años

Nombre Catchment	Nombre Sumidero	"T" Calculada	"T" Maxima Norma (m)	Diferencia "T" (m)	Velocidad (m/s)	Cumple la Norma
CM-1	S1	0.59	1.76	1.17	0.57	Si
	S2	0.87	1.76	0.89	0.74	Si
CM-2	S3	1.09	1.88	0.79	0.48	Si
	S4	0.97	1.88	0.90	0.45	Si
	S5	0.49	2.66	2.17	0.94	Si
CM-3	S6	0.48	2.66	2.19	0.92	Si
	S7	0.67	2.03	1.36	1.40	Si
	S8	0.73	2.03	1.30	1.49	Si
CM-4	S9	1.00	2.23	1.23	1.43	Si
	S10	0.94	2.23	1.28	1.38	Si
CM-5	S11	1.66	2.10	0.44	0.49	Si
	S12	1.49	2.10	0.62	0.45	Si
CM-6	S13	1.46	2.15	0.70	0.80	Si
	S14	1.31	2.15	0.84	0.75	Si
	S15	1.36	2.69	1.34	0.72	Si
CM-7	S16	1.53	2.69	1.16	0.78	Si
	S17	0.73	2.09	1.35	1.57	Si
	S18	0.69	2.09	1.40	1.51	Si
CM-8	S19	1.32	2.97	1.64	0.85	Si
	S20	1.46	2.97	1.51	0.90	Si
CM-9	S21	1.10	1.88	0.78	1.87	Si
	S22	0.62	1.88	1.26	1.27	Si

CM-10	S23	1.40	2.02	0.62	1.21	Si
	S24	1.37	2.02	0.64	1.19	Si
CM-11	S25	0.88	2.44	1.57	0.97	Si
	S26	0.90	2.44	1.54	0.99	Si
	S27	0.74	2.44	1.69	0.95	Si
CM-12	S28	1.13	2.44	1.31	1.26	Si
	S29	0.80	1.37	0.57	1.70	Si
	S30	0.82	1.37	0.54	1.74	Si
	S31	1.21	2.10	0.89	0.81	Si
	S32	1.48	2.10	0.63	0.93	Si
CM-13	S33	0.64	2.40	1.76	1.29	Si
	S34	0.86	2.40	1.54	1.57	Si
CM-14	S35	0.79	2.23	1.44	1.68	Si
	S36	0.86	2.23	1.37	1.78	Si
CM-15	S37	0.48	2.56	2.07	1.26	Si
	S38	0.83	2.56	1.73	1.80	Si

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 38, se calculó la eficiencia de los sumideros al momento de captar el caudal de escorrentía, se utilizaron las siguientes ecuaciones según el Urban Drainage Design Manual, Hydraulic Engineering Circular 22, Second Edition.

Cálculo de eficiencia.

$$E = \frac{Q_i}{Q} = R_f \cdot E_o + R_s \cdot (1 - E_o)$$

$$E_o = \frac{Q_w}{Q} = 1 - \left(1 - \frac{W}{T}\right)^{2.67}$$

$$R_s = \frac{1}{\left(1 + \frac{0.0828 \cdot V^{1.8}}{S_x \cdot L^{2.3}}\right)}$$

El valor R_f se calculó con el siguiente gráfico.

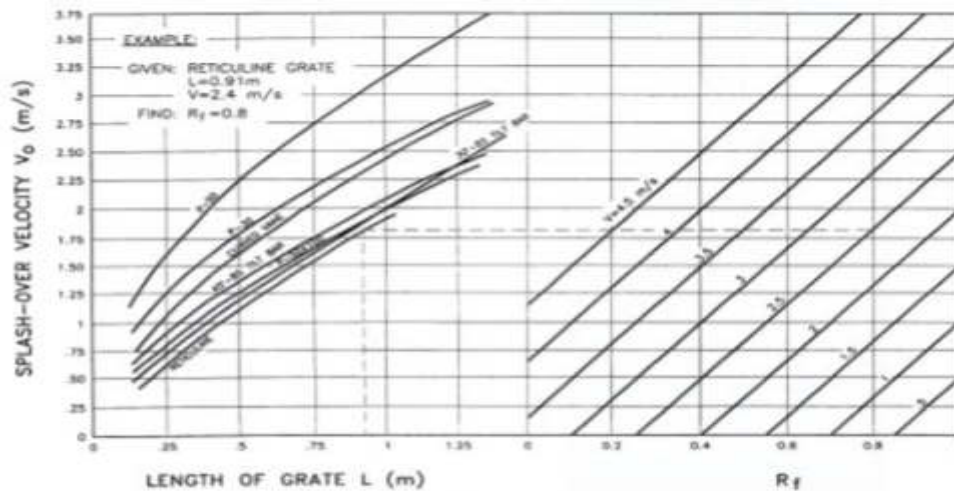


Figura 28. Gráfico para hallar el valor de R_f , utilizando para $Tr = 10$ años

Fuente. Urban Drainage Design Manual, Hydraulic Engineering Circular 22, Second Edition, 2001

Las dimensiones de las rejillas para cada sumidero son las siguientes:

Para el sumidero S21 en ancho de rejilla es 0.75 m y el largo es 1.00 m.

El resto de sumideros tienen la misma dimensión, ancho 0.65 m y largo de 0.80 m.

Tabla 38

Eficiencia de los sumideros, $Tr. 10$ años

Nombre Catchment	Nombre Sumidero	E_o	R_s	R_f	E
CM-1	S1	1.00	0.37	1.34	1.30
	S2	0.97	0.27	1.28	1.30
CM-2	S3	0.91	0.45	1.36	1.30
	S4	0.95	0.48	1.40	1.40
	S5	1.00	0.19	1.23	1.20
CM-3	S6	1.00	0.20	1.24	1.20
	S7	1.00	0.11	1.09	1.10
	S8	1.00	0.10	1.05	1.00
CM-4	S9	0.94	0.10	1.08	1.00
	S10	0.96	0.11	1.12	1.10
CM-5	S11	0.73	0.44	1.35	1.10
	S12	0.78	0.47	1.41	1.20
CM-6	S13	0.79	0.24	1.25	1.00
	S14	0.84	0.27	1.27	1.10
	S15	0.82	0.28	1.30	1.10
CM-7	S16	0.77	0.26	1.32	1.10
	S17	1.00	0.09	1.01	1.00

	S18	1.00	0.09	1.03	1.00
CM-8	S19	0.84	0.23	1.28	1.10
	S20	0.79	0.21	1.25	1.00
	S21	0.95	0.11	1.00	1.00
CM-9	S22	1.00	0.12	1.14	1.10
	S23	0.81	0.13	1.15	1.00
CM-10	S24	0.82	0.14	1.16	1.00
	S25	0.97	0.19	1.22	1.20
CM-11	S26	0.97	0.18	1.21	1.20
	S27	1.00	0.19	1.23	1.20
	S28	0.90	0.12	1.14	1.00
CM-12	S29	0.99	0.08	1.00	1.00
	S30	0.98	0.07	1.00	1.00
	S31	0.87	0.24	1.25	1.10
CM-13	S32	0.79	0.20	1.24	1.00
	S33	1.00	0.12	1.13	1.10
	S34	0.98	0.09	1.01	1.00
CM-14	S35	0.99	0.08	1.00	1.00
	S36	0.98	0.07	0.99	1.00
CM-15	S37	1.00	0.13	1.14	1.10
	S38	0.98	0.07	0.99	1.00

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 39, se calculó el caudal remanente que sobrepasaría cada sumidero, teniendo que ser captado por la siguiente, aguas abajo, pero para este diseño con un tiempo de retorno de 10 años no se obtuvo caudales remanentes, por lo cual el sistema de sumideros está trabajando de manera eficaz.

Tabla 39

Caudal remanente de cada sumidero, Tr. 10 años

Nombre Catchment	Nombre Sumidero	Caudal Total (l/s)	Caudal Captado	Caudal Remanente
CM-1	S1	2.97	3.86	0.00
	S2	8.43	10.96	0.00
CM-2	S3	8.57	11.15	0.00
	S4	6.35	8.88	0.00
	S5	3.40	4.08	0.00
CM-3	S6	3.15	3.78	0.00
	S7	9.36	10.29	0.00
	S8	11.80	11.80	0.00

CM-4	S9	21.35	21.35	0.00
	S10	18.47	20.31	0.00
CM-5	S11	20.31	22.35	0.00
	S12	15.05	18.05	0.00
CM-6	S13	25.59	25.59	0.00
	S14	19.18	21.10	0.00
	S15	19.76	21.73	0.00
CM-7	S16	27.31	30.04	0.00
	S17	12.55	12.55	0.00
	S18	10.72	10.72	0.00
CM-8	S19	22.28	24.51	0.00
	S20	28.70	28.70	0.00
CM-9	S21	34.00	34.00	0.00
	S22	7.34	8.07	0.00
CM-10	S23	35.20	35.20	0.00
	S24	33.81	33.81	0.00
CM-11	S25	11.22	13.47	0.00
	S26	12.00	14.40	0.00
	S27	7.86	9.44	0.00
	S28	24.18	24.18	0.00
CM-12	S29	16.31	16.31	0.00
	S30	17.69	17.69	0.00
	S31	17.93	19.72	0.00
	S32	30.22	30.22	0.00
CM-13	S33	7.96	8.76	0.00
	S34	17.22	17.22	0.00
CM-14	S35	15.69	15.69	0.00
	S36	19.61	19.61	0.00
CM-15	S37	4.40	4.84	0.00
	S38	18.39	18.39	0.00

Elaboración: Los autores, 2019

De esta manera se concluye con el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano para un tiempo de retorno de 10 años en el sector Parco Chico de la ciudad de Pomabamba, la cual cumple los parámetros estipulados en la normativa vigente (OS.060) y además estaba acorde con la realidad de la zona, es decir que los materiales que se utilizaron para este diseño son los que predominan en la economía de la ciudad.

4.3 Sistema de drenaje pluvial urbano para un tiempo de retorno de 25 años

De la misma manera que se realizó el diseño para un periodo de retorno de 10 años, se llevaron a cabo los mismos pasos y se insertaron en el software las mismas condiciones.

Para que así ambos diseños estén desarrollados bajo las mismas limitaciones, que la zona de estudio proporcione en los eventos climatológicos.

Para comenzar con el inicio del diseño del alcantarillado pluvial utilizando en software sewergems, en primer lugar, se tuvo que insertar algunos parámetros e indicaciones necesarias para que el software pueda procesar y realizar el diseño de los colectores pluviales.

Como primer paso se tuvo que asignar lo que esperaba del software y con qué método tendría que trabajar para el cálculo de los caudales de escorrentía, entonces para colocar estos parámetros estando ya dentro del software se tuvo que ir a la pestaña “Home” entrar a “Options” seguir a “Base Calculation Options”, aquí se escogió que el software tendría que realizar el diseño utilizando el método Racional (GVF-Rational-StromCAD). El segundo paso fue colocar las restricciones de diseño, se va a la pestaña “Analysis” entrar a “Design Constraints”, en el cual se ingresan los parámetros de velocidad (velocity), profundidad de cobertura (cover) y pendiente (slope), entonces se colocaron los siguientes parámetros.

Velocity	Minimum	0.90	m/s
	Maximum	6.16	m/s
Cover	Minimum	1.00	m
	Maximum	3000.00	m
Slope	Minimum	1.00	%
	Maximum	17.00	%

Como tercer paso se tuvo que añadir las dimensiones y el material con la que se diseñaran las alcantarillas, para ello se fue a la pestaña “Components” entrar a “Catalog”, es aquí donde escogimos el material de PVC y colocamos las dimensiones disponibles proporcionadas por la empresa fabricante de tubos de doble pared Nicoll, de las cuales por especificaciones de la Norma OS.060 el diámetro mínimo para colectores centrales es 500 mm, en la misma pestaña se entró a “Prototypes”, se escogió desde que diámetro se desea iniciar el diseño de las alcantarillas (500 mm) y que es de sección circular.

En el cuarto paso, aun en la pestaña “Components” se seleccionó “Storm Data”, en el cual se ingresa la ecuación general de la curva IDF calculada anteriormente en el ítem 4.1, obteniendo la siguiente gráfica de curvas IDF para diferentes tiempos de retorno.

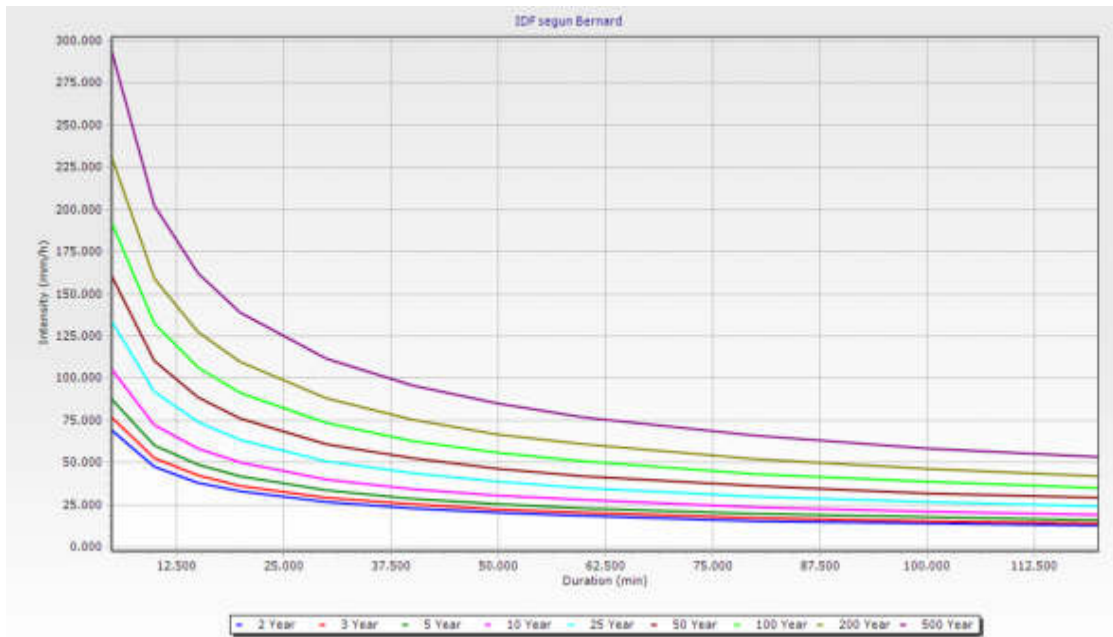


Figura 29. Representación gráfica de la curva IDF en el software sewergems, utilizando la ecuación general según

Bernard, utilizando para $T_r = 25$ años

Elaboración: Los autores, 2019

En la misma pestaña se seleccionó “Global Storm Events”, es aquí que se escoge para este diseño el tiempo de retorno de 25 años con una duración para tiempo de concentración de 10 min como mínimo, como lo estipula la Norma OS.060.

El quinto paso consistió en construir el modelo de alcantarillado, para lo cual previamente se realizó un prediseño en el programa de AutoCAD, donde se realizó los trazos por el cual pasará los colectores principales para el alcantarillado, también se necesitó de las curvas de nivel y el urbanismo de la zona de estudio también en AutoCAD, estos archivos guardados en formato dxf, posteriormente, se importaron los tres archivos al software sewergems, con la opción “Back ground Layers – New - File”.

Luego se seleccionó la opción “ModelBuilder” con el cual se realiza el diseño de las alcantarillas siguiendo el gráfico de la red prediseñada en AutoCAD, para poder darle altura a los colectores y buzones creados por sewergems, se selecciona la opción “TRex” es aquí donde se vuelve a seleccionar el archivo de las curvas de nivel en formato dxf, se selecciona las unidades (m) y el modelo (elevación), se sigue con la opción siguiente, y ya las alturas (msnm) quedan añadidas para los colectores y los buzones. Como último paso antes de correr el software se tuvo que identificar los puntos donde se realizara la descarga de todas las aguas de lluvia

(Outfall) y agregar las áreas tributarias para poder identificar cuanto caudal deberá ser captado por los sumideros, buzones de registro y posterior a ellos los colectores, para ello se necesitó ir a la pestaña “Layout” y elegir la opción “Outfall”, con esta opción se procedió a seleccionar las salidas del sistema para que estas se transformen en los puntos donde desembocara el caudal de lluvia que fluye por el sistema de drenaje pluvial.

En el siguiente paso se seleccionó la opción “Catchment”, con esta se dio forma a las áreas tributarias en la cual caerá la lluvia y se formara el caudal de escorrentía, esta será dirigida y captada por los sumideros y empezara así su recorrido por el sistema de drenaje pluvial urbano, aquí es donde se asignará el valor del coeficiente de fricción (Manning) en un 0.010 y el coeficiente de escorrentía para el Método Racional (Tr. 25 años: 0.88) como lo especifica la Norma OS.060

Al finalizar todos los pasos descritos anteriormente, para que el programa pueda iniciar con el diseño del sistema de drenaje pluvial se tuvo que seleccionar la pestaña “Analysis” y seleccionar la opción “Validate” en la cual se validaran todos los datos que se introdujo al software, saldrá una ventana que detallara si los datos son los adecuados para que el sistema corra el programa, por último se selecciona la opción “Compute” la cual da inicio al diseño del sistema de drenaje pluvial, también se desplegara una ventana en la cual señala si el diseño cumple o no con las restricciones anteriormente añadidas al software, el modelamiento del sistema tiene la siguiente vista en planta la cual se observara a continuación.



Figura 30. Modelamiento del sistema de alcantarillado, tres líneas de colectoras centrales con sus salidas de evacuación (Outfall), Tr = 10 años, software sewergems

Elaboración: Los autores, 2019

Continuando con el diseño, al correr el software para poder apreciar los resultados se necesitó ir a la pestaña “Analysis”, a la opción “Flex Table”, con esto se abrió una ventana que indica las tablas de resultados disponibles que nos da el software, de la cual nosotros para este diseño solo utilizamos cuatro, con estas continuaremos con el diseño de las obras de captación y conducción de todo el sistema de drenaje pluvial urbano, nos da como resultado las siguientes tablas (Flex Table).

Label	Start Node	Invert (Start) (m)	Stop Node	Invert (Stop) (m)	Slope (Calculated) (%)	Velocity (m/s)	Length (Calculated) (m)	Capacity (Design) (L/s)	System Rational Flow (L/s)	Flow / Capacity (Design) (%)	Diameter (mm)	Notes
48-ALL-13	ALL-12	2,919.314	O-5	2,916.968	8.127	6.02	9.38	1,008.99	257.99	25.44	452.8	
50-ALL-12	ALL-11	2,930.648	O-1	2,929.321	0.700	3.06	9.51	1,466.74	113.38	7.75	432.8	
51-ALL-15	ALL-15	2,927.119	O-2	2,926.383	6.461	4.95	6.77	836.29	295.81	35.83	452.8	
42-ALL-1	ALL-1	2,946.386	PH-6	2,947.779	1.000	1.13	28.49	254.28	14.49	6.09	432.8	
44-ALL-12	ALL-12	2,925.516	PH-1	2,919.414	0.700	7.30	35.89	1,466.74	311.19	21.27	432.8	
47-ALL-9	ALL-9	2,919.364	PH-11	2,944.689	8.799	4.14	38.13	1,944.62	87.74	4.59	432.8	
52-ALL-7	ALL-7	2,925.029	PH-8	2,923.010	8.827	3.09	46.43	1,872.87	12.02	0.64	432.8	
53-ALL-2	ALL-2	2,947.679	PH-13	2,936.436	38.159	3.83	37.39	1,421.81	12.71	0.90	452.8	
54-ALL-14	ALL-14	2,935.473	PH-5	2,927.219	14.479	6.73	37.61	1,397.13	247.21	18.22	432.8	
55-ALL-6	ALL-6	2,935.773	PH-15	2,945.382	-0.680	3.44	37.76	1,466.74	69.22	4.75	432.8	
56-ALL-4	ALL-4	2,936.770	PH-16	2,936.352	-1.444	3.10	65.65	494.20	64.81	14.27	432.8	
57-ALL-8	ALL-8	2,945.683	PH-17	2,947.968	-2.634	3.23	67.37	576.03	44.96	7.82	432.8	
58-ALL-18	ALL-18	2,925.616	PH-18	2,928.413	-1.909	3.96	71.56	796.42	44.88	6.40	432.8	
59-ALL-9	ALL-9	2,939.451	PH-10	2,939.284	-0.000	3.75	74.20	1,466.74	138.30	9.56	452.8	
60-ALL-3	ALL-3	2,938.336	PH-3	2,930.740	9.860	3.09	76.96	1,122.40	86.33	8.56	432.8	

Figura 31. Flex Table: Conduit Table, tuberías del alcantarillado pluvial, $T_r = 25$ años

Elaboración: Los autores, 2019

Label	Elevation (mm)	Elevation (Ground) (m)	Hydraulic Grade (m)	System Rational Flow (L/s)	Notes
57-O-1	O-1	2,936.463	2,929.031	2,929.034	113.23
58-O-2	O-2	2,928.015	2,926.383	2,926.388	295.33
59-O-3	O-3	2,925.000	2,918.368	2,918.363	317.83

Figura 32. Flex Table: Outfall Table, evacuación de las aguas de lluvia, $T_r = 25$ años

Elaboración: Los autores, 2019

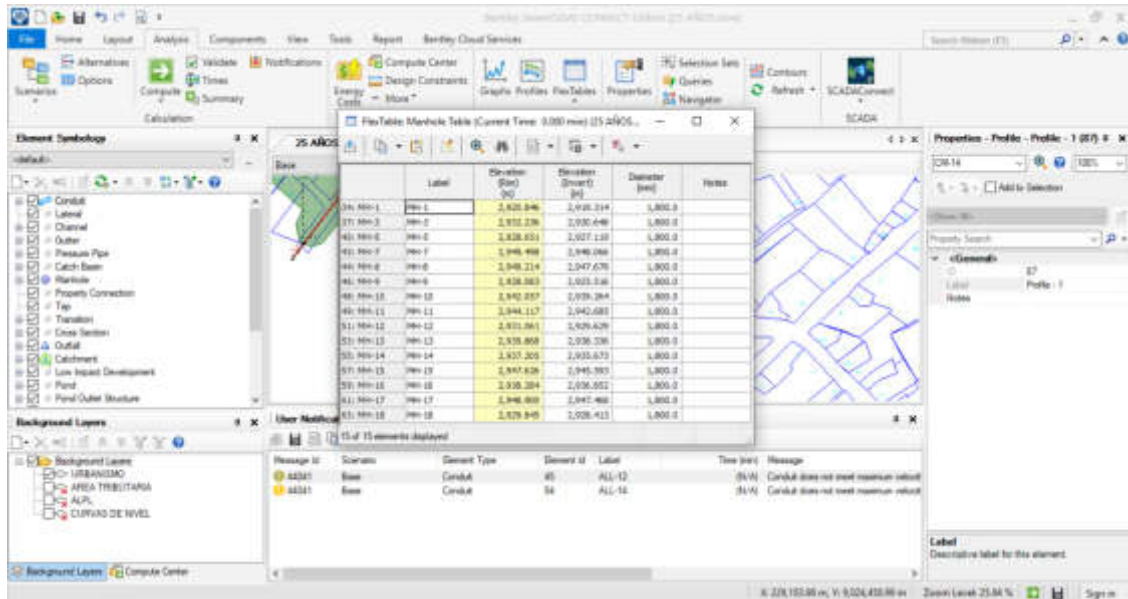


Figura 33. Flex Table: Manhole Table, pozos de registro de todo el sistema de drenaje pluvial, $Tr = 25$ años
Elaboración: Los autores, 2019

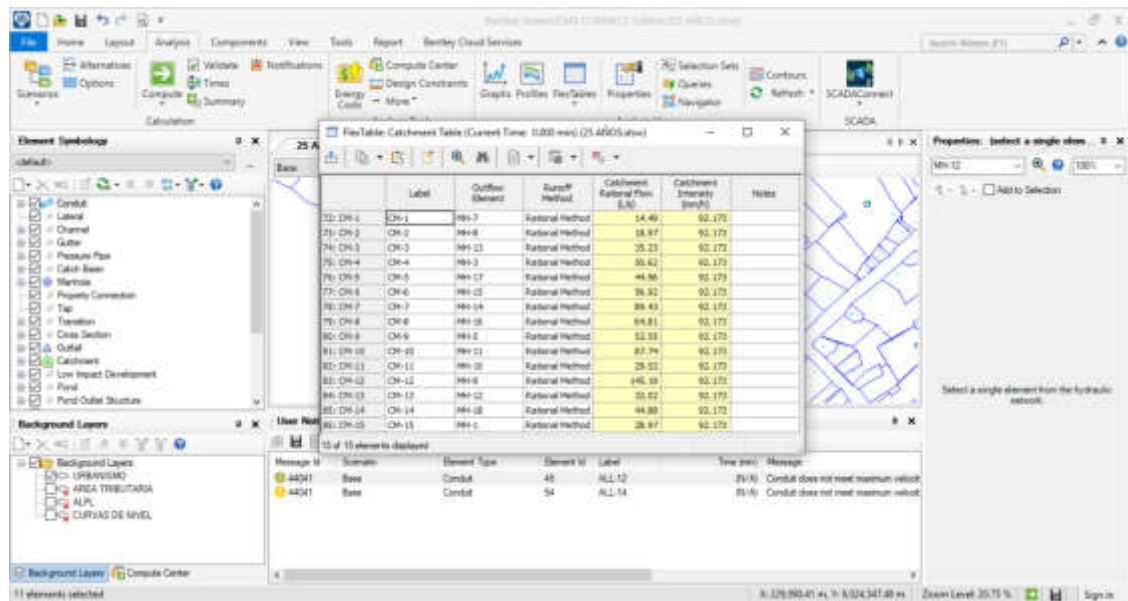


Figura 34. Flex Table: Catchment Table, caudal de escorrentía (l/s) que desemboca en los diferentes pozos de registro, $Tr = 25$ años
Elaboración: Los autores, 2019

A continuación, se detallaron y describieron los resultados presentados en los gráficos anteriores.

En la Tabla 40 se describen características, ubicación y punto de partida de los colectores pluviales, cada uno identificado por un nombre, con respecto a metros sobre el nivel del mar (msnm).

Tabla 40

Características de los colectores de la red de alcantarillado, Tr 25 años

Nombre de la Tubería	Inicio de Tubería	Cota de Fondo Inicio	Fin de Tubería	Cota de Fondo Fin (msnm)
ALL-13	MH-1	2,919.314	O-3	2,918.568
ALL-11	MH-3	2,930.648	O-1	2,929.031
ALL-15	MH-5	2,927.119	O-2	2,926.583
ALL-1	MH-7	2,948.066	MH-8	2,947.779
ALL-12	MH-9	2,925.516	MH-1	2,919.414
ALL-9	MH-10	2,939.364	MH-11	2,942.685
ALL-7	MH-12	2,929.629	MH-9	2,925.616
ALL-2	MH-8	2,947.679	MH-13	2,938.436
ALL-14	MH-14	2,935.673	MH-5	2,927.219
ALL-5	MH-14	2,935.773	MH-15	2,945.593
ALL-4	MH-14	2,935.773	MH-16	2,936.852
ALL-6	MH-15	2,945.693	MH-17	2,947.468
ALL-10	MH-9	2,925.616	MH-18	2,928.413
ALL-8	MH-9	2,926.651	MH-10	2,939.264
ALL-3	MH-13	2,938.336	MH-3	2,930.748

Elaboración: Los autores, 2019

Del cuadro anterior las abreviaturas significan, MH (Manhole – pozo de registro) y O (Outfall – punto de evacuación de las aguas pluviales).

En la Tabla 41, se detallan los caudales (l/s) que pasan por cada tramo de colectores; tales como el caudal a sección llena, el caudal y la capacidad (%) que está siendo usada del colector al poner en marcha el diseño en el software sewergems.

Tabla 41

Caudales para cada tramo de colector, Tr. 25 año

Nombre de la Tubería	Caudal Sección Llena (l/s)	Caudal Calculado (l/s)	Capacidad de la Tubería (%)
ALL-13	1,009.99	357.99	35.44
ALL-11	1,460.74	113.38	7.76
ALL-15	830.29	295.81	35.63
ALL-1	354.28	14.49	4.09
ALL-12	1,460.74	331.14	22.67
ALL-9	1,045.52	87.74	8.39
ALL-7	1,052.97	32.02	3.04
ALL-2	1,421.81	32.73	2.30
ALL-14	1,357.13	247.21	18.22
ALL-5	1,460.74	99.22	6.79
ALL-4	454.20	64.81	14.27
ALL-6	575.03	44.96	7.82
ALL-10	700.42	44.88	6.41
ALL-8	1,460.74	116.30	7.96
ALL-3	1,112.45	66.33	5.96

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 42, se presentan los parámetros, pendiente (%), velocidad (m/s), longitud (m), diámetro (mm) y velocidad crítica (m/s), que presentan los diferentes tramos de colectores del sistema, de los cuales se comprobaron las velocidades del sistema con la velocidad máxima de cada tramo, la cual no debe ser superada para evitar acciones abrasivas sobre la tubería.

Tabla 42

Cumplimiento del parámetro de velocidad crítica, Tr. 25 años

Nombre de la Tubería	Pendiente (%)	Velocidad (m/s)	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Velocidad Máxima (m/s)	Cumple la Especificación
ALL-13	8.127	6.02	9.18	432	6.16	Si
ALL-11	17.000	5.66	9.51	432	6.16	Si
ALL-15	5.492	4.95	9.77	432	6.16	Si
ALL-1	1.000	1.13	28.69	432	6.16	Si
ALL-12	17.000	7.70	35.89	432	6.16	No
ALL-9	-8.709	4.14	38.13	432	6.16	Si
ALL-7	8.833	3.09	45.43	432	6.16	Si

ALL-2	16.106	3.83	57.39	432	6.16	Si
ALL-14	14.674	6.73	57.61	432	6.16	No
ALL-5	-17.000	5.44	57.76	432	6.16	Si
ALL-4	-1.644	2.10	65.65	432	6.16	Si
ALL-6	-2.634	2.23	67.37	432	6.16	Si
ALL-10	-3.909	2.56	71.56	432	6.16	Si
ALL-8	-17.000	5.70	74.20	432	6.16	Si
ALL-3	9.860	3.99	76.96	432	6.16	Si

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 43, se realiza la corrección de las tuberías ALL-12 y All-14 que superan la velocidad máxima (m/s), por lo tanto, se tuvo que aumentar su diámetro y calcular nuevamente los parámetros para saber si con esta nueva sección si cumplen las especificaciones descritas.

Con los nuevos diámetros, se calcularon las nuevas velocidades y tirantes, con el software HCANALES, en la cual la tubería ALL-14 con la nueva velocidad cumple el parámetro de velocidad crítica, por otro lado, la tubería ALL-12 cumple con el parámetro de tirante admisible ($0.5 \cdot \text{diámetro}$) propuesta por el fabricante de la tubería (Tuberías Nicoll).

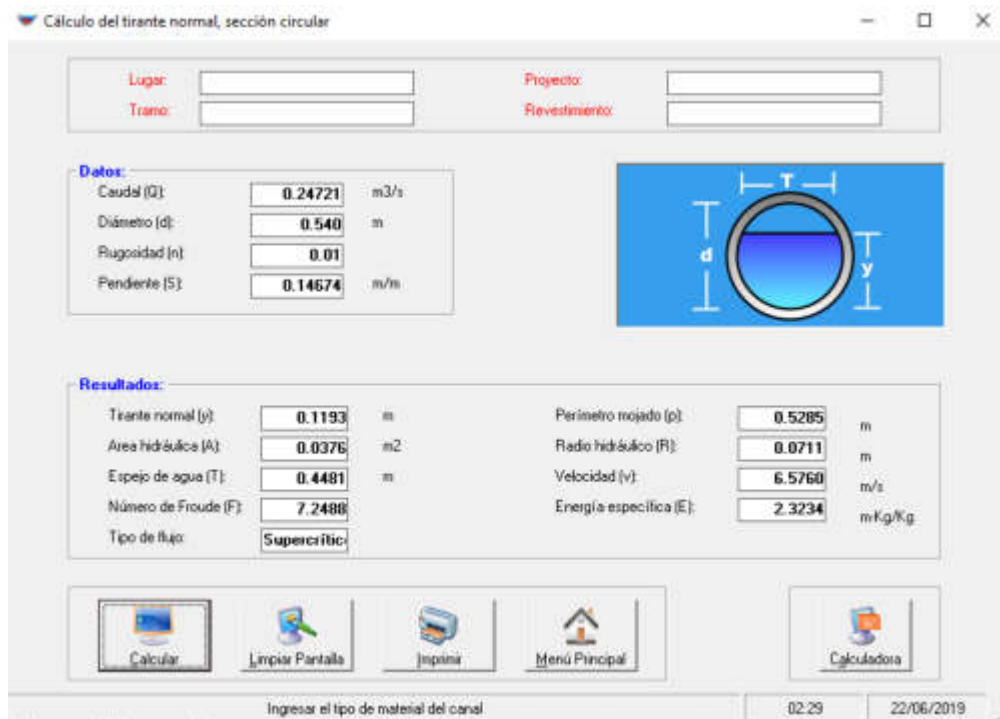


Figura 35. Calculo de velocidad y tirante para el colector ALL-14 para un diámetro de 0.540 m, $Tr = 25$ años, software Hcanales

Elaboración: Los autores, 2019

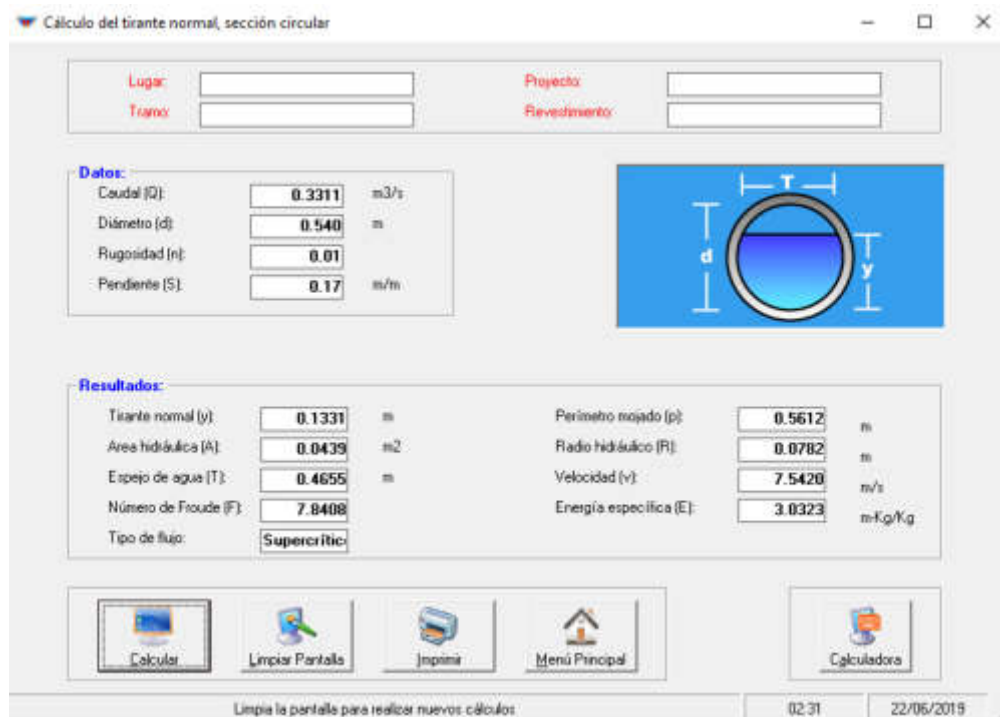


Figura 36. *Calculo de velocidad y tirante para el colector ALL-12 para un diámetro de 0.540 m, Tr = 25 años, software Hcanales*

Elaboración: Los autores, 2019

Tabla 43

Corrección del diámetro para el colector ALL-12 y ALL-14, Tr. 25 años

Nombre de la Tubería	Nuevo Diámetro (mm)	Nueva Velocidad (m/s)	Tirante (m)	Velocidad Máxima (m/s)	Tirante Admisible (m)	Cumple la Especificación
ALL-12	540	7.54	0.133	6.89	0.270	Si
ALL-14	540	6.58	0.119	6.89	0.270	Si

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 44, se detallan las dimensiones y características finales para cada tramo de tubería (colector) de alcantarillado, la cual sirvió para la elaboración de los planos que presentaran en la presente tesis.

Tabla 44

Dimensiones y características finales para cada tramo de colector, Tr. 25 años

Nombre de la Tubería	Pendiente (%)	Longitud (m)	Diámetro Interno (mm)	Diámetro Externo (mm)
ALL-13	8.127	9.18	432	500
ALL-11	17.000	9.51	432	500
ALL-15	5.492	9.77	432	500
ALL-1	1.000	28.69	432	500
ALL-12	17.000	35.89	540	630
ALL-9	-8.709	38.13	432	500
ALL-7	8.833	45.43	432	500
ALL-2	16.106	57.39	432	500
ALL-14	14.674	57.61	540	630
ALL-5	-17.000	57.76	432	500
ALL-4	-1.644	65.65	432	500
ALL-6	-2.634	67.37	432	500
ALL-10	-3.909	71.56	432	500
ALL-8	-17.000	74.2	432	500
ALL-3	9.860	76.96	432	500

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 45, se describen los puntos de evacuación de las aguas de lluvia del sistema de alcantarillado (Outfall), las cotas de fondo y superficiales (msnm), profundidad (m) y el caudal (l/s) total que será evacuado por el sistema.

Tabla 45

Características de Outfall, Tr. 25 años

Nombre de Outfall	Cota Superficial (msnm)	Cota de Fondo (msnm)	Profundidad (m)	Caudal Calculado (l/s)
O-1	2,930.463	2,929.031	1.432	113.23
O-2	2,928.015	2,926.583	1.432	295.33
O-3	2,920.000	2,918.568	1.432	357.53

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 46, se describen las características de los pozos de registro que se utilizarán en el sistema de drenaje pluvial urbano, iniciando con los nombres de cada pozo, el cual está ubicado en el plano, así como la cota superficial y de fondo (msnm), profundidad (m) y el diámetro externo (mm).

Tabla 46

Características de los pozos de registro, Tr. 25 años

Nombre Pozo de Registro	Cota Superficial (msnm)	Cota de Fondo (msnm)	Profundidad (m)	Diámetro (mm)
MH-1	2920.846	2919.314	1.532	1800
MH-3	2932.236	2930.648	1.588	1800
MH-5	2928.651	2927.119	1.532	1800
MH-7	2949.498	2948.066	1.432	1800
MH-8	2949.214	2947.679	1.535	1800
MH-9	2928.083	2925.516	2.567	1800
MH-10	2942.057	2939.264	2.793	1800
MH-11	2944.117	2942.685	1.432	1800
MH-12	2931.061	2929.629	1.432	1800
MH-13	2939.868	2938.336	1.532	1800
MH-14	2937.205	2935.673	1.532	1800
MH-15	2947.626	2945.593	2.033	1800
MH-16	2938.284	2936.852	1.432	1800
MH-17	2948.900	2947.468	1.432	1800
MH-18	2929.845	2928.413	1.432	1800

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 47, se describen los sectores en donde se precipitarán las lluvias (Catchment) los cuales también están identificados en los planos que se adjuntarán a la presente tesis, el nombre que identifica a cada sector, el método utilizado para el cálculo de los caudales de escorrentía (método racional), la intensidad (mm/h) necesaria para el cálculo proporcionada por la curva IDF, el nombre del elemento de salida y por último el caudal (l/s), calculado por el software sewergems.

Tabla 47

Características de los sectores de área Catchment, Tr. 25 años

Nombre Catchment	Elemento de Salida	Método de Escorrentía	Caudal Calculado (l/s)	Intensidad (mm/h)
CM-1	MH-7	Rational Method	14.49	92.173
CM-2	MH-8	Rational Method	18.97	92.173
CM-3	MH-13	Rational Method	35.23	92.173
CM-4	MH-3	Rational Method	50.62	92.173
CM-5	MH-17	Rational Method	44.96	92.173
CM-6	MH-15	Rational Method	56.92	92.173
CM-7	MH-14	Rational Method	89.43	92.173
CM-8	MH-16	Rational Method	64.81	92.173
CM-9	MH-5	Rational Method	52.55	92.173
CM-10	MH-11	Rational Method	87.74	92.173
CM-11	MH-10	Rational Method	29.52	92.173
CM-12	MH-9	Rational Method	145.19	92.173
CM-13	MH-12	Rational Method	32.02	92.173
CM-14	MH-18	Rational Method	44.88	92.173
CM-15	MH-1	Rational Method	28.97	92.173

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 48, se especifica el área tributaria de cada sector que será para ambos lados de la vía, es decir para cada sumidero que se colocara en ambos lados de la vía, teniendo en cuenta la forma más eficiente para la captación de las aguas de lluvia, estas áreas se pueden calcular exportando el archivo de los sectores de sewergems en formato dxf, al software AutoCAD con el cual se pudieron realizar las siguientes medidas tomando como límites los sectores y el eje longitudinal de la vía, detallada en el presente cuadro.

Tabla 48

Área tributaria de los sectores, para cada lado de vía (sumidero), Tr. 25 años

Nombre Catchment	Izquierda (m ²)		Centro (m ²)		Derecha (m ²)		Total (m ²)
	Sii	Sid	Sci	Scd	Sdi	Sdd	
CM-1	0.000	0.000	171.397	487.165	0.000	0.000	658.562
CM-2	0.000	0.000	484.376	358.453	0.000	0.000	842.829
CM-3	196.228	181.607	539.525	680.351	0.000	0.000	1597.711
CM-4	0.000	0.000	1220.277	1055.245	0.000	0.000	2275.522
CM-5	0.000	0.000	1148.279	850.403	0.000	0.000	1998.682
CM-6	0.000	0.000	1486.498	1114.456	0.000	0.000	2600.954

CM-7	1100.470	1521.421	699.063	597.281	0.000	0.000	3918.235
CM-8	0.000	0.000	1266.679	1631.167	0.000	0.000	2897.846
CM-9	0.000	0.000	2004.424	432.422	0.000	0.000	2436.846
CM-10	0.000	0.000	1959.333	1882.088	0.000	0.000	3841.421
CM-11	0.000	0.000	635.950	679.892	0.000	0.000	1315.842
CM-12	445.884	1371.255	925.120	1003.369	1016.641	1713.690	6475.959
CM-13	0.000	0.000	451.959	976.970	0.000	0.000	1428.929
CM-14	0.000	0.000	878.726	1098.653	0.000	0.000	1977.379
CM-15	0.000	0.000	255.226	1066.483	0.000	0.000	1321.709

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 49, se calculó el porcentaje de caudal de escorrentía que deberá ser captado por cada sumidero en ambos lados de la vía, esto se logró al dividir el área tributaria de cada lado de la vía para cada sector, entre el área total tributaria de cada sector que da a su elemento de salida.

Tabla 49

Porcentaje del caudal de escorrentía para cada sumidero, Tr. 25 años

Nombre Catchment	Izquierda (%)		Centro (%)		Derecha (%)		Total (%)
	Sii	Sid	Sci	Scd	Sdi	Sdd	
CM-1	0.00	0.00	26.03	73.97	0.00	0.00	100
CM-2	0.00	0.00	57.47	42.53	0.00	0.00	100
CM-3	12.28	11.37	33.77	42.58	0.00	0.00	100
CM-4	0.00	0.00	53.63	46.37	0.00	0.00	100
CM-5	0.00	0.00	57.45	42.55	0.00	0.00	100
CM-6	0.00	0.00	57.15	42.85	0.00	0.00	100
CM-7	28.09	38.83	17.84	15.24	0.00	0.00	100
CM-8	0.00	0.00	43.71	56.29	0.00	0.00	100
CM-9	0.00	0.00	82.25	17.75	0.00	0.00	100
CM-10	0.00	0.00	51.01	48.99	0.00	0.00	100
CM-11	0.00	0.00	48.33	51.67	0.00	0.00	100
CM-12	6.89	21.17	14.29	15.49	15.70	26.46	100
CM-13	0.00	0.00	31.63	68.37	0.00	0.00	100
CM-14	0.00	0.00	44.44	55.56	0.00	0.00	100
CM-15	0.00	0.00	19.31	80.69	0.00	0.00	100

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 50, se calculó el caudal de escorrentía que deberá ser captado por cada sumidero en ambos lados de la vía, esto se logró al multiplicar el porcentaje de caudal que deberá

captar cada sumidero detallada en la Tabla 49, por el caudal de escorrentía total calculado en el software.

Tabla 50

Caudal de escorrentía para cada sumidero, Tr. 25 años

Nombre Catchment	Caudal de Escorrentía	Izquierda (l/s)		Centro (l/s)		Derecha (l/s)	
		Sii	Sid	Sci	Scd	Sdi	Sdd
CM-1	14.49	0.00	0.00	3.77	10.72	0.00	0.00
CM-2	18.97	0.00	0.00	10.90	8.07	0.00	0.00
CM-3	35.23	4.33	4.00	11.90	15.00	0.00	0.00
CM-4	50.62	0.00	0.00	27.15	23.47	0.00	0.00
CM-5	44.96	0.00	0.00	25.83	19.13	0.00	0.00
CM-6	56.92	0.00	0.00	32.53	24.39	0.00	0.00
CM-7	89.43	25.12	34.72	15.96	13.63	0.00	0.00
CM-8	64.81	0.00	0.00	28.33	36.48	0.00	0.00
CM-9	52.55	0.00	0.00	43.22	9.33	0.00	0.00
CM-10	87.74	0.00	0.00	44.75	42.99	0.00	0.00
CM-11	29.52	0.00	0.00	14.27	15.25	0.00	0.00
CM-12	145.19	10.00	30.74	20.74	22.50	22.79	38.42
CM-13	32.02	0.00	0.00	10.13	21.89	0.00	0.00
CM-14	44.88	0.00	0.00	19.94	24.94	0.00	0.00
CM-15	28.97	0.00	0.00	5.59	23.38	0.00	0.00

Elaboración: Los autores, 2019

Se detallan las siguientes abreviaturas utilizadas en los cuadros descritos anteriormente.

Sii = Sumidero, izquierda, izquierda.

Sid = Sumidero, izquierda, derecha.

Sci = Sumidero, centro, izquierda.

Scd = Sumidero, centro, derecha.

Sdi = Sumidero, derecha, izquierda.

Sdd = Sumidero, derecha, derecha.

En la Tabla 51, se calculó la longitud transversal promedio para cada sector (Catchment), al cual le corresponde un tramo de la pista que está dividida por los pozos de registro, por ende, cada tramo tiene una pendiente diferente, esta medida se calculó el software AutoCAD con el archivo en formato dxl que fue exportado de sewergems.

Tabla 51

Longitud transversal de la calzada de cada tramo de vía, Tr. 25 años

Nombre Catchment	Longitud Transversal Promedio de la Calzada (m)		
	Izquierda	Centro	Derecha
CM-1	-	7.06	-
CM-2	-	7.51	-
CM-3	10.66	8.10	-
CM-4	-	8.90	-
CM-5	-	8.41	-
CM-6	-	8.61	-
CM-7	10.78	8.34	-
CM-8	-	11.87	-
CM-9	-	7.52	-
CM-10	-	8.07	-
CM-11	-	9.78	-
CM-12	9.74	5.48	8.41
CM-13	-	9.59	-
CM-14	-	8.92	-
CM-15	-	10.22	-

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 52, se calculó el ancho de la superficie de agua “T” para la calzada, siguiendo lo especificado en la norma OS.060, la cual detalla que el ancho de superficie de agua “T” en avenidas secundarias es la mitad de la calzada que le corresponde a cada sentido de la vía, esto se calculó al dividir la longitud transversal promedio de la calzada entre cuatro.

Tabla 52

Ancho de la superficie de agua “T” en calzada según OS.060, Tr. 25 años

Nombre Catchment	Ancho "T" Superficie de Agua en Calzada Para Cada Sentido de la Vía		
	Izquierda	Centro	Derecha
CM-1	-	1.76	-
CM-2	-	1.88	-
CM-3	2.66	2.03	-
CM-4	-	2.23	-
CM-5	-	2.10	-
CM-6	-	2.15	-
CM-7	2.69	2.09	-
CM-8	-	2.97	-

CM-9	-	1.88	-
CM-10	-	2.02	-
CM-11	-	2.44	-
CM-12	2.44	1.37	2.10
CM-13	-	2.40	-
CM-14	-	2.23	-
CM-15	-	2.56	-

Elaboración: Los autores, 2019

En las Tablas 53, 54 y 55 se calcularon las pendientes longitudinales para cada sector, donde el agua de lluvia se acumula generando el caudal de escorrentía, algunos sectores (Catchment) cuentan con más subsectores, por ejemplo, el Catchment CM-12, cuenta con 3 subsectores, por ende, este tiene pendiente al lado izquierdo, centro y derecha.

Tabla 53

Pendiente longitudinal para cada Catchment (izquierda), Tr. 25 años

Nombre Catchment	Elemento de Salida	Izquierda			Longitud (m)	Pendiente de la Vía (%)
		Cota Inicial (msnm)	Cota Final (msnm)	Diferencia (m)		
CM-1	MH-7	-	-	-	-	-
CM-2	MH-8	-	-	-	-	-
CM-3	MH-13	2942.40	2939.87	2.53	22.81	11.10
CM-4	MH-3	-	-	-	-	-
CM-5	MH-17	-	-	-	-	-
CM-6	MH-15	-	-	-	-	-
CM-7	MH-14	2938.28	2937.21	1.08	65.65	1.64
CM-8	MH-16	-	-	-	-	-
CM-9	MH-5	-	-	-	-	-
CM-10	MH-11	-	-	-	-	-
CM-11	MH-10	-	-	-	-	-
CM-12	MH-9	2931.06	2928.08	2.98	45.43	6.56
CM-13	MH-12	-	-	-	-	-
CM-14	MH-18	-	-	-	-	-
CM-15	MH-1	-	-	-	-	-

Elaboración: Los autores, 2019

Tabla 54

Pendiente longitudinal para cada Catchment (centro), Tr. 25 años

Nombre Catchment	Elemento de Salida	Centro			Longitud (m)	Pendiente de la Vía (%)
		Cota Inicial (msnm)	Cota Final (msnm)	Diferencia (m)		
CM-1	MH-7	2950.600	2949.498	1.102	34.889	3.16
CM-2	MH-8	2949.498	2949.214	0.284	28.690	0.99
CM-3	MH-13	2949.214	2939.868	9.346	57.390	16.29
CM-4	MH-3	2939.868	2932.236	7.632	76.960	9.92
CM-5	MH-17	2949.214	2948.900	0.314	53.555	0.59
CM-6	MH-15	2948.900	2947.626	1.274	67.370	1.89
CM-7	MH-14	2947.626	2937.205	10.421	57.760	18.04
CM-8	MH-16	2939.868	2938.284	1.584	66.415	2.39
CM-9	MH-5	2937.205	2928.651	8.554	57.610	14.85
CM-10	MH-11	2947.626	2944.117	3.509	78.004	4.50
CM-11	MH-10	2944.117	2942.057	2.060	38.130	5.40
CM-12	MH-9	2942.057	2928.083	13.974	74.200	18.83
CM-13	MH-12	2937.205	2931.061	6.144	42.025	14.62
CM-14	MH-18	2940.300	2929.845	10.455	55.559	18.82
CM-15	MH-1	2928.083	2920.846	7.237	35.890	20.16

Elaboración: Los autores, 2019

Tabla 55

Pendiente longitudinal para cada Catchment (derecha), Tr. 25 años

Nombre Catchment	Elemento de Salida	Derecha			Longitud (m)	Pendiente de la Vía (%)
		Cota Inicial (msnm)	Cota Final (msnm)	Diferencia (m)		
CM-1	MH-7	-	-	-	-	-
CM-2	MH-8	-	-	-	-	-
CM-3	MH-13	-	-	-	-	-
CM-4	MH-3	-	-	-	-	-
CM-5	MH-17	-	-	-	-	-
CM-6	MH-15	-	-	-	-	-
CM-7	MH-14	-	-	-	-	-
CM-8	MH-16	-	-	-	-	-
CM-9	MH-5	-	-	-	-	-
CM-10	MH-11	-	-	-	-	-
CM-11	MH-10	-	-	-	-	-
CM-12	MH-9	2929.845	2928.083	1.762	71.560	2.46

CM-13	MH-12	-	-	-	-	-
CM-14	MH-18	-	-	-	-	-
CM-15	MH-1	-	-	-	-	-

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 56, se calculó el tirante de agua que se forma en la calzada; por la cual, la viabilidad de la calzada se comportara como un canal a sección abierta, utilizando el monograma de Izzard.

$$Q = 0.00175 * \frac{Z}{n} * Y^{\frac{8}{3}} * S^{1/2}$$

En el cual “Q”, es el caudal que le corresponde a cada lado de la vía y que cada sumidero debería captar en su totalidad, “Z” es la inversa de la pendiente transversal (3%), “n” es el coeficiente de Manning que corresponde a concreto (0.016), “S” es la pendiente longitudinal de cada tramo de la vía que esta detallada en las Tablas 53, 54 y 55, “Y” es el tirante de agua que se calculó para ambos lodos de la vía.

Tabla 56

Tirante de agua “Y” formado en la viabilidad de la calzada, Tr. 25 años

Nombre Catchment	Nombre Sumidero	Q (l/s)	Z	n	S (%)	Y (cm)
CM-1	S1	3.77	33.33	0.016	3.16	1.94
	S2	10.72	33.33	0.016	3.16	2.86
CM-2	S3	10.90	33.33	0.016	0.99	3.58
	S4	8.07	33.33	0.016	0.99	3.20
	S5	4.33	33.33	0.016	11.10	1.61
CM-3	S6	4.00	33.33	0.016	11.10	1.56
	S7	11.90	33.33	0.016	16.29	2.19
	S8	15.00	33.33	0.016	16.29	2.39
CM-4	S9	27.15	33.33	0.016	9.92	3.27
	S10	23.47	33.33	0.016	9.92	3.10
CM-5	S11	25.83	33.33	0.016	0.59	5.46
	S12	19.13	33.33	0.016	0.59	4.88
CM-6	S13	32.53	33.33	0.016	1.89	4.78
	S14	24.39	33.33	0.016	1.89	4.29
	S15	25.12	33.33	0.016	1.64	4.46
CM-7	S16	34.72	33.33	0.016	1.64	5.03
	S17	15.96	33.33	0.016	18.04	2.40
	S18	13.63	33.33	0.016	18.04	2.26

CM-8	S19	28.33	33.33	0.016	2.39	4.35
	S20	36.48	33.33	0.016	2.39	4.78
CM-9	S21	43.22	33.33	0.016	14.85	3.61
	S22	9.33	33.33	0.016	14.85	2.03
CM-10	S23	44.75	33.33	0.016	4.50	4.58
	S24	42.99	33.33	0.016	4.50	4.51
CM-11	S25	14.27	33.33	0.016	5.40	2.88
	S26	15.25	33.33	0.016	5.40	2.96
	S27	10.00	33.33	0.016	6.56	2.43
CM-12	S28	30.74	33.33	0.016	6.56	3.71
	S29	20.74	33.33	0.016	18.83	2.62
	S30	22.50	33.33	0.016	18.83	2.71
	S31	22.79	33.33	0.016	2.46	3.98
CM-13	S32	38.42	33.33	0.016	2.46	4.84
	S33	10.13	33.33	0.016	14.62	2.10
CM-14	S34	21.89	33.33	0.016	14.62	2.81
	S35	19.94	33.33	0.016	18.82	2.59
CM-15	S36	24.94	33.33	0.016	18.82	2.81
	S37	5.59	33.33	0.016	20.16	1.59
	S38	23.38	33.33	0.016	20.16	2.71

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 57, se comprueba si el ancho “T” calculado no supera lo estipulado en la norma OS.060, descrito también en la explicación de la Tabla 52, lo cual se calculó al multiplicar el valor “Z” con el tirante de agua “Y” formada en la calzada, especificada en la Tabla 56.

Tabla 57

Cumplimiento de la superficie de agua “T” máxima, Tr. 25 años

Nombre Catchment	Nombre Sumidero	"T" Calculada	"T" Maxima Norma (m)	Diferencia "T" (m)	Velocidad (m/s)	Cumple la Norma
CM-1	S1	0.65	1.76	1.12	0.60	Si
	S2	0.95	1.76	0.81	0.78	Si
CM-2	S3	1.19	1.88	0.68	0.51	Si
	S4	1.07	1.88	0.81	0.47	Si
CM-3	S5	0.54	2.66	2.13	1.00	Si
	S6	0.52	2.66	2.14	0.98	Si
	S7	0.73	2.03	1.30	1.49	Si
	S8	0.80	2.03	1.23	1.58	Si

CM-4	S9	1.09	2.23	1.13	1.52	Si
	S10	1.03	2.23	1.19	1.46	Si
CM-5	S11	1.82	2.10	0.28	0.52	Si
	S12	1.63	2.10	0.47	0.48	Si
CM-6	S13	1.59	2.15	0.56	0.85	Si
	S14	1.43	2.15	0.72	0.79	Si
	S15	1.49	2.69	1.21	0.76	Si
CM-7	S16	1.68	2.69	1.02	0.82	Si
	S17	0.80	2.09	1.29	1.66	Si
	S18	0.75	2.09	1.33	1.60	Si
CM-8	S19	1.45	2.97	1.52	0.90	Si
	S20	1.59	2.97	1.38	0.96	Si
CM-9	S21	1.20	1.88	0.68	1.99	Si
	S22	0.68	1.88	1.20	1.35	Si
CM-10	S23	1.53	2.02	0.49	1.28	Si
	S24	1.50	2.02	0.51	1.27	Si
CM-11	S25	0.96	2.44	1.48	1.03	Si
	S26	0.99	2.44	1.46	1.05	Si
	S27	0.81	2.44	1.62	1.01	Si
	S28	1.24	2.44	1.20	1.34	Si
CM-12	S29	0.87	1.37	0.49	1.81	Si
	S30	0.90	1.37	0.47	1.84	Si
	S31	1.33	2.10	0.78	0.86	Si
	S32	1.61	2.10	0.49	0.98	Si
CM-13	S33	0.70	2.40	1.70	1.37	Si
	S34	0.94	2.40	1.46	1.67	Si
CM-14	S35	0.86	2.23	1.37	1.79	Si
	S36	0.94	2.23	1.29	1.89	Si
CM-15	S37	0.53	2.56	2.03	1.34	Si
	S38	0.90	2.56	1.65	1.91	Si

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 58, se calculó la eficiencia de los sumideros al momento de captar el caudal de escorrentía, se utilizaron las siguientes ecuaciones según el Urban Drainage Design Manual, Hydraulic Engineering Circular 22, Second Edition.

Cálculo de eficiencia.

$$E = \frac{Q_i}{Q} = R_f \cdot E_o + R_s \cdot (1 - E_o) \qquad E_o = \frac{Q_w}{Q} = 1 - \left(1 - \frac{W}{T}\right)^{2.67}$$

$$R_s = \frac{1}{\left(1 + \frac{0.0828 \cdot V^{1.8}}{S_x \cdot L^{2.3}}\right)}$$

El valor R_f se calculó con el siguiente gráfico.

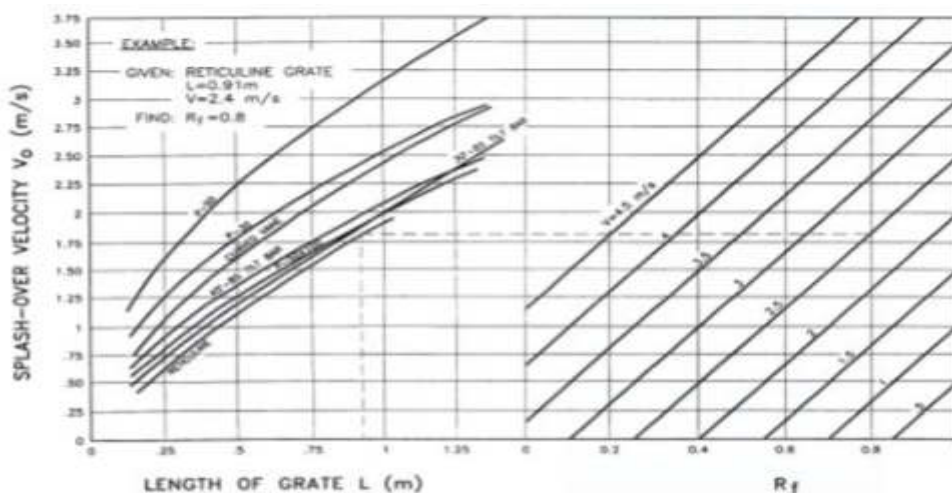


Figura 37. Gráfico para hallar el valor de R_f , utilizando para $Tr = 25$ años

Fuente. Urban Drainage Design Manual, Hydraulic Engineering Circular 22, Second Edition, 2001

Las dimensiones de las rejillas para cada sumidero son las siguientes:

Para el sumidero S21 en ancho de rejilla es 0.80 m y el largo es 1.00 m.

El resto de sumideros tienen una misma dimensión, ancho 0.70 m y largo de 0.80 m.

Tabla 58

Eficiencia de los sumideros, Tr . 25 años

Nombre Catchment	Nombre Sumidero	E_o	R_s	R_f	E
CM-1	S1	1.00	0.35	1.34	1.30
	S2	0.97	0.25	1.28	1.20
CM-2	S3	0.91	0.42	1.36	1.30
	S4	0.94	0.46	1.40	1.30
	S5	1.00	0.18	1.23	1.20
CM-3	S6	1.00	0.18	1.24	1.20
	S7	1.00	0.10	1.09	1.10
	S8	1.00	0.09	1.05	1.00
CM-4	S9	0.94	0.09	1.08	1.00
	S10	0.95	0.10	1.12	1.10
CM-5	S11	0.73	0.41	1.35	1.10
	S12	0.78	0.45	1.41	1.20
CM-6	S13	0.79	0.22	1.25	1.00
	S14	0.83	0.25	1.27	1.10
	S15	0.82	0.26	1.30	1.10
CM-7	S16	0.76	0.24	1.32	1.10
	S17	1.00	0.08	1.01	1.00

	S18	1.00	0.09	1.03	1.00
CM-8	S19	0.83	0.21	1.28	1.10
	S20	0.79	0.19	1.25	1.00
	S21	0.95	0.10	1.00	1.00
CM-9	S22	1.00	0.11	1.14	1.10
	S23	0.81	0.12	1.15	1.00
CM-10	S24	0.81	0.12	1.16	1.00
	S25	0.97	0.17	1.22	1.20
CM-11	S26	0.96	0.17	1.21	1.20
	S27	1.00	0.17	1.23	1.20
	S28	0.89	0.11	1.14	1.00
CM-12	S29	0.99	0.07	1.00	1.00
	S30	0.98	0.07	1.00	1.00
	S31	0.86	0.22	1.25	1.10
CM-13	S32	0.78	0.18	1.24	1.00
	S33	1.00	0.11	1.13	1.10
	S34	0.97	0.08	1.01	1.00
CM-14	S35	0.99	0.07	1.00	1.00
	S36	0.97	0.06	0.99	1.00
CM-15	S37	1.00	0.11	1.14	1.10
	S38	0.98	0.06	0.99	1.00

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 59, se calculó el caudal remanente que sobrepasaría cada sumidero, teniendo que ser captado por la siguiente, aguas abajo, pero para este diseño con un tiempo de retorno de 25 años no se obtuvieron caudales remanentes, por lo cual el sistema de sumideros está trabajando de manera eficaz.

Tabla 59

Caudal remanente de cada sumidero, Tr. 25 años

Nombre Catchment	Nombre Sumidero	Caudal Total (l/s)	Caudal Captado	Caudal Remanente
CM-1	S1	3.77	4.90	0.00
	S2	10.72	12.86	0.00
CM-2	S3	10.90	14.17	0.00
	S4	8.07	10.49	0.00
	S5	4.33	5.19	0.00
CM-3	S6	4.00	4.81	0.00
	S7	11.90	13.09	0.00
	S8	15.00	15.00	0.00

CM-4	S9	27.15	27.15	0.00
	S10	23.47	25.82	0.00
CM-5	S11	25.83	28.41	0.00
	S12	19.13	22.96	0.00
CM-6	S13	32.53	32.53	0.00
	S14	24.39	26.83	0.00
	S15	25.12	27.63	0.00
CM-7	S16	34.72	38.20	0.00
	S17	15.96	15.96	0.00
	S18	13.63	13.63	0.00
CM-8	S19	28.33	31.16	0.00
	S20	36.48	36.48	0.00
CM-9	S21	43.22	43.22	0.00
	S22	9.33	10.26	0.00
CM-10	S23	44.75	44.75	0.00
	S24	42.99	42.99	0.00
CM-11	S25	14.27	17.12	0.00
	S26	15.25	18.30	0.00
	S27	10.00	12.00	0.00
	S28	30.74	30.74	0.00
CM-12	S29	20.74	20.74	0.00
	S30	22.50	22.50	0.00
	S31	22.79	25.07	0.00
	S32	38.42	38.42	0.00
CM-13	S33	10.13	11.14	0.00
	S34	21.89	21.89	0.00
CM-14	S35	19.94	19.94	0.00
	S36	24.94	24.94	0.00
CM-15	S37	5.59	6.15	0.00
	S38	23.38	23.38	0.00

Elaboración: Los autores, 2019

De esta manera, se concluye con el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano para un tiempo de retorno de 25 años en el sector Parco Chico de la ciudad de Pomabamba, la cual cumple los parámetros estipulados en la normativa vigente (OS.060) y además estaba con acorde con la realidad de la zona, es decir que los materiales que se utilizaron para este diseño son los que predominan en la economía de la ciudad.

4.4 Costo de sumideros para tiempos de retorno de 10 y 25 años

La única diferencia en entre los diseños de drenaje pluvial para un tiempo de retorno de 10 años y 25 años, son las dimensiones de las rejillas de los sumideros, por ende, estos tendrán diferentes medidas y costos de materiales, por lo cual se analiza lo siguiente.

Para el tiempo de retorno de 10 años, Sumidero tipo 1, con dimensiones de 0.75 m de ancho, 0.90 m de largo y 1.35 m de alto, Sumidero tipo 2, con dimensiones de 0.85 m de ancho, 1.10 m de largo y 1.35 m de alto. Para el tiempo de retorno de 25 años, Sumidero tipo 3, con dimensiones de 0.80 m de ancho, 0.90 m de largo y 1.35 m de alto, Sumidero tipo 4, con dimensiones de 0.90 m de ancho. 1.10 m de largo y 1.35 m de alto. En este ítem de la tesis se detallan los costos para cada tipo de sumidero y el costo total para cada tiempo de retorno, las dimensiones y detalles de los sumideros están adjuntos en los planos de la presente tesis.

4.4.1 Tiempo de retorno 10 años

En primer lugar, se hizo el cálculo del volumen del concreto de los planos adjuntos a la tesis de los tipos de sumideros 1 y 2.

En la Tabla 60, se calcula el volumen de concreto que será necesario para la caja del sumidero tipo 1 con 0.75 m de ancho, 0.90 m de largo y 1.35 m de alto, y además de un solado de 0.75 m de ancho, 0.90 m de largo y 0.05 m de alto ubicado en la base del sumidero.

Tabla 60

Volumen de concreto F^c 175 kg/cm², sumidero tipo 1

Sumidero Tipo 1					
Estructura	Cantidad	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Volumen (m ³)
Solado	1.000	0.750	0.900	0.050	0.034
Base	1.000	0.550	0.700	0.100	0.039
Paredes	2.000	0.900	0.100	1.350	0.243
	2.000	0.750	0.100	1.350	0.203
Apoyo reja	1.000	2.700	0.050	0.102	-0.014
Tubería	1.000	1.000	0.126	0.100	-0.013
Total					0.491

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 61, se calcula el volumen de concreto que será necesario para la caja del sumidero tipo 2 con 0.85 m de ancho, 1.10 m de largo y 1.35 m de alto, y además de un solado de 0.85 m de ancho, 1.10 m de largo y 0.05 m de alto ubicado en la base del sumidero.

Tabla 61

Volumen de concreto F`c 175 kg/cm2, sumidero tipo 2

Sumidero Tipo 2					
Estructura	Cantidad	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Volumen (m3)
Solado	1.000	0.850	1.100	0.050	0.047
Base	1.000	0.650	0.900	0.100	0.059
Paredes	2.000	1.100	0.100	1.350	0.297
	2.000	0.850	0.100	1.350	0.230
Apoyo reja	1.000	3.300	0.050	0.102	-0.017
Tubería	1.000	1.000	0.126	0.100	-0.013
Total					0.602

Elaboración: Los autores, 2019

El siguiente paso consistió en el cálculo del acero y el alambre necesario que se utilizaran en los diferentes tipos de sumideros, detallados a continuación.

En la Tabla 62, se detalla el cálculo del acero corrugado de 3/8" de diámetro en kilogramos, que se utilizara en el sumidero tipo 1.

Tabla 62

Cantidad de acero corrugado 3/8", sumidero tipo 1

Sumidero Tipo 1	Cantidad	Horizontal		Vertical		Total (m)	Total (kg)
		Piezas (und)	Longitud (m)	Piezas (und)	Longitud (m)		
Paredes	2	8	0.650	5	1.333	23.730	29.415
(3/8")	2	8	0.800	6	1.333	28.796	

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 63, se calculó la cantidad de alambre recocado N° 16 en kilogramos, que será necesario por punto amarre del acero corrugado para el sumidero tipo 1.

Tabla 63

Cantidad de alambre recocado N° 16, sumidero tipo 1

Sumidero Tipo 1	Cantidad	Puntos (und)	Longitud (m)	Total (m)	Total (kg)
Alambre	2	40	0.300	24.000	0.871
(N° 16)	2	48	0.300	28.800	

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 64, se detalla el cálculo del acero corrugado de 3/8" de diámetro en kilogramos, que se utiliza en el sumidero tipo 2.

Tabla 64

Cantidad de acero corrugado 3/8", sumidero tipo 2

Sumidero Tipo 2	Cantidad	Horizontal		Vertical		Total (m)	Total (kg)
		Piezas (und)	Longitud (m)	Piezas (und)	Longitud (m)		
Paredes	2	8	0.750	5	1.333	25.330	33.596
(3/8")	2	8	1.000	7	1.333	34.662	

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 65, se calculó la cantidad de alambre recocido N° 16 en kilogramos, que será necesario por punto amarre del acero corrugado para el sumidero tipo 2.

Tabla 65

Cantidad de alambre recocido N° 16, sumidero tipo 2

Sumidero Tipo 2	Cantidad	Puntos (und)	Longitud (m)	Total (m)	Total (kg)
Alambre	2	40	0.300	24.000	0.950
(N° 16)	2	56	0.300	33.600	

Elaboración: Los autores, 2019

A continuación, se calcularon los costos de materiales utilizados para cada tipo de sumidero, teniendo en cuenta los precios que se comercializan en la provincia de la zona de estudio.

En la Tabla 66, se detalla el cálculo de los costos de materiales que serán necesarios para el sumidero tipo 1 con precios referenciales de la provincia.

Tabla 66

Costo de materiales, sumidero tipo 1

Sumidero Tipo 1	Und	Factor Desperdicio	Metrado	Precio Unitario	Precio Total
Concreto F`c 175 kg/cm2	m3	1.050	0.491	303.880	S/156.80
Acero corrugado 3/8"	kg	1.030	29.415	3.080	S/93.31
Alambre recocido N° 16	kg	1.030	0.871	4.120	S/3.70
Reja 0.65x0.80	und	1.000	1.000	180.000	S/180.00
Precio total para sumidero					S/433.81

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 67, se detalla el cálculo de los costos de materiales que serán necesarios para el sumidero tipo 2 con precios referenciales de la provincia.

Tabla 67

Costo de materiales, sumidero tipo 2

Sumidero Tipo 2	Und	Factor Desperdicio	Metrado	Precio Unitario	Precio Total
Concreto F`c 175 kg/cm2	m3	1.050	0.602	303.880	S/192.20
Acero corrugado 3/8"	kg	1.030	33.596	3.080	S/106.58
Alambre recocido N° 16	kg	1.030	0.950	4.120	S/4.03
Reja 0.75x1.00	und	1.000	1.000	230.000	S/230.00
Precio total para sumidero					S/532.81

Elaboración: Los autores, 2019

Como último paso, con los precios de materiales calculados para cada tipo de sumidero, se realizó el cálculo del costo total de los materiales que se necesitara para la cantidad total de sumideros (38 unidades) del diseño de drenaje pluvial urbano en el sector Parco Chico que pertenece a la provincia de Pomabamba.

En la Tabla 68, se detalla el precio total de materiales que será necesario para 37 sumideros del tipo 1 y un sumidero del tipo 2, para el tiempo de retorno de 10 años.

Tabla 68

Costo total de materiales para los sumideros, Tr. 10 años

Tiempo de Retorno 10 años			
Sumidero	Cantidad (und)	Precio Unitario	Precio Total
Tipo 1	37	S/433.81	S/16,050.94
Tipo 2	1	S/532.81	S/532.81
			S/16,583.74

Elaboración: Los autores, 2019

4.4.2 Tiempo de retorno 25 años

Siguiendo el mismo procedimiento que el ítem 4.6.1. en primer lugar, se hizo el cálculo del volumen del concreto de los planos adjuntos a la tesis de los tipos de sumideros 3 y 4.

En la Tabla 69, se calcula el volumen de concreto que será necesario para la caja del sumidero tipo 3 con 0.80 m de ancho, 0.90 m de largo y 1.35 m de alto, y además de un solado de 0.80 m de ancho, 0.90 m de largo y 0.05 m de alto ubicado en la base del sumidero.

Tabla 69

Volumen de concreto F`c 175 kg/cm2, sumidero tipo 3

Sumidero Tipo 3					
Estructura	Cantidad	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Volumen (m3)
Solado	1.000	0.800	0.900	0.050	0.036
Base	1.000	0.600	0.700	0.100	0.042
Paredes	2.000	0.900	0.100	1.350	0.243
	2.000	0.800	0.100	1.350	0.216
Apoyo reja	1.000	2.800	0.050	0.102	-0.014
Tubería	1.000	1.000	0.126	0.100	-0.013
Total					0.510

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 70, se calcula el volumen de concreto que será necesario para la caja del sumidero tipo 4 con 0.90 m de ancho, 1.10 m de largo y 1.35 m de alto, y además de un solado de 0.90 m de ancho, 1.10 m de largo y 0.05 m de alto ubicado en la base del sumidero.

Tabla 70

Volumen de concreto F`c 175 kg/cm2, sumidero tipo 4

Sumidero Tipo 4					
Estructura	Cantidad	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Volumen (m3)
Solado	1.000	0.900	1.100	0.050	0.050
Base	1.000	0.700	0.900	0.100	0.063
Paredes	2.000	1.100	0.100	1.350	0.297
	2.000	0.900	0.100	1.350	0.243
Apoyo reja	1.000	3.400	0.050	0.102	-0.017
Tubería	1.000	1.000	0.126	0.100	-0.013
Total					0.623

Elaboración: Los autores, 2019

El siguiente paso consistió en el cálculo del acero y el alambre necesario que se utilizaran en los diferentes tipos de sumideros, detallados a continuación.

En la Tabla 71, se detalla el cálculo del acero corrugado de 3/8" de diámetro en kilogramos, que se utilizara en el sumidero tipo 3.

Tabla 71

Cantidad de acero corrugado 3/8", sumidero tipo 3

Sumidero Tipo 3	Cantidad	Horizontal		Vertical		Total (m)	Total (kg)
		Piezas (und)	Longitud (m)	Piezas (und)	Longitud (m)		
Paredes	2	8	0.700	5	1.333	24.530	29.863
(3/8")	2	8	0.800	6	1.333	28.796	

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 72, se calculó la cantidad de alambre recocido N° 16 en kilogramos, que será necesario por punto amarre del acero corrugado para el sumidero tipo 3.

Tabla 72

Cantidad de alambre recocido N° 16, sumidero tipo 3

Sumidero Tipo 3	Cantidad	Puntos (und)	Longitud (m)	Total (m)	Total (kg)
Alambre	2	40	0.300	24.000	0.871
(N° 16)	2	48	0.300	28.800	

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 73, se detalla el cálculo del acero corrugado de 3/8" de diámetro en kilogramos, que se utiliza en el sumidero tipo 4.

Tabla 73

Cantidad de acero corrugado 3/8", sumidero tipo 4

Sumidero Tipo 4	Cantidad	Horizontal		Vertical		Total (m)	Total (kg)
		Piezas (und)	Longitud (m)	Piezas (und)	Longitud (m)		
Paredes	2	8	0.800	6	1.333	28.796	35.536
(3/8")	2	8	1.000	7	1.333	34.662	

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 74, se calculó la cantidad de alambre recocido N° 16 en kilogramos, que será necesario por punto amarre del acero corrugado para el sumidero tipo 4.

Tabla 74

Cantidad de alambre recocido N° 16, sumidero tipo 4

Sumidero Tipo 4	Cantidad	Puntos (und)	Longitud (m)	Total (m)	Total (kg)
Alambre	2	48	0.300	28.800	1.030
(N° 16)	2	56	0.300	33.600	

Elaboración: Los autores, 2019

A continuación, se calcularon los costos de materiales utilizados para cada tipo de sumidero, teniendo en cuenta los precios que se comercializan en la provincia de la zona de estudio.

En la Tabla 75, se detalla el cálculo de los costos de materiales que serán necesarios para el sumidero tipo 3 con precios referenciales de la provincia.

Tabla 75

Costo de materiales, sumidero tipo 3

Sumidero Tipo 3	Und	Factor Desperdicio	Metrado	Precio Unitario	Precio Total
Concreto F`c 175 kg/cm2	m3	1.050	0.510	303.880	S/162.78
Acero corrugado 3/8"	kg	1.030	29.863	3.080	S/94.74
Alambre recocido N° 16	kg	1.030	0.871	4.120	S/3.70
Reja 0.70x0.80	und	1.000	1.000	200.000	S/200.00
Precio total para sumidero					S/461.21

Elaboración: Los autores, 2019

En la Tabla 76, se detalla el cálculo de los costos de materiales que serán necesarios para el sumidero tipo 4 con precios referenciales de la provincia.

Tabla 76

Costo de materiales, sumidero tipo 4

Sumidero Tipo 4	Und	Factor Desperdicio	Metrado	Precio Unitario	Precio Total
Concreto F`c 175 kg/cm2	m3	1.050	0.623	303.880	S/198.65
Acero corrugado 3/8"	kg	1.030	35.536	3.080	S/112.74
Alambre recocido N° 16	kg	1.030	1.030	4.120	S/4.37
Reja 0.80x1.00	und	1.000	1.000	250.000	S/250.00
Precio total para sumidero					S/565.76

Elaboración: Los autores, 2019

Como último paso, con los precios de materiales calculados para cada tipo de sumidero, se realizó el cálculo del costo total de los materiales que se necesitara para la cantidad total de sumideros (38 unidades) del diseño de drenaje pluvial urbano en el sector Parco Chico que pertenece a la provincia de Pomabamba.

En la Tabla 77, se detalla el precio total de materiales que será necesario para 37 sumideros del tipo 3 y un sumidero del tipo 4, para el tiempo de retorno de 25 años.

Tabla 77

Costo total de materiales para los sumideros, Tr. 25 años

Tiempo de Retorno 25 años			
Sumidero	Cantidad (und)	Precio Unitario	Precio Total
Tipo 3	37	S/461.21	S/17,064.76
Tipo 4	1	S/565.76	S/565.76
			S/17,630.52

Elaboración: Los autores, 2019

CAPÍTULO V

RESULTADOS

El suelo de la primera calicata se clasifica como arcilla mal gradada gravosa y de la segunda calicata como arcilla magra gravosa con arena, del mismo grupo (CL) según SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).

Por ello, para el relleno de la zanga del tendido de los colectores, la cama será de material granular 1/4" a 1 1/2", el acostillado y el relleno inicial de material de cascajo con tamaño de piedras no mayores a 2.5 cm, y el relleno final será del suelo excavado en sitio con tamaño de piedras no mayores a 10 cm. Los colectores para ambos diseños son de iguales dimensiones, con diferencia en las cantidades de caudales que pasaran por ellas, por ende, también difiere la capacidad del uso de tubería.

Tabla 78

Dimensión de los colectores para un Tr 25 años y Tr 10 años

Nombre de la Tubería	Diámetro Externo (mm)	Longitud (m)	Tr 25 años		Tr 10 años	
			Caudal Calculado (l/s)	Capacidad de la Tubería (%)	Caudal Calculado (l/s)	Capacidad de la Tubería (%)
ALL-13	500	9.18	357.99	35.44	281.01	27.82
ALL-11	500	9.51	113.38	7.76	88.87	6.08
ALL-15	500	9.77	295.81	35.63	231.99	27.94
ALL-1	500	28.69	14.49	4.09	11.40	3.22
ALL-12	630	35.89	331.14	12.50	260.01	9.82
ALL-9	500	38.13	87.74	8.39	69.01	6.60
ALL-7	500	45.43	32.02	3.04	25.18	2.39
ALL-2	500	57.39	32.73	2.30	25.70	1.81
ALL-14	630	57.61	247.21	10.05	193.96	7.88
ALL-5	500	57.76	99.22	6.79	77.90	5.33
ALL-4	500	65.65	64.81	14.27	50.98	11.22

ALL-6	500	67.37	44.96	7.82	35.36	6.15
ALL-10	500	71.56	44.88	6.41	35.30	5.04
ALL-8	500	74.20	116.30	7.96	91.42	6.26
ALL-3	500	76.96	66.33	5.96	52.04	4.68

Elaboración: Los autores, 2019

La profundidad y diámetro para cada pozo de registro de ambos diseños son los mismos.

Tabla 79

Dimensión de los pozos de registro para un Tr 25 años y Tr 10 años

Nombre Pozo de Registro	Diámetro Externo (mm)	Profundidad (m)	
		Tr 25 años	Tr 10 años
MH-1	1800	1.532	1.532
MH-3	1800	1.588	1.588
MH-5	1800	1.532	1.532
MH-7	1800	1.432	1.432
MH-8	1800	1.535	1.535
MH-9	1800	2.567	2.567
MH-10	1800	2.793	2.793
MH-11	1800	1.432	1.432
MH-12	1800	1.432	1.432
MH-13	1800	1.532	1.532
MH-14	1800	1.532	1.532
MH-15	1800	2.033	2.033
MH-16	1800	1.432	1.432
MH-17	1800	1.432	1.432
MH-18	1800	1.432	1.432

Elaboración: Los autores, 2019

Los puntos de evacuación de las aguas (Outfall) para ambos diseños tendrán la misma cota de fondo y la misma profundidad, solo se diferenciarán en la cantidad de caudal de escorrentía que liberan de ambos sistemas en el punto destinado a desembocar las aguas producida por las lluvias, en este caso al río adyacente.

Tabla 80

Profundidad de los puntos de salida (Outfall) para un Tr 25 años y Tr 10 años

Nombre de Outfall (salida)	Cota de Fondo (msnm)	Profundidad (m)	Caudal Calculado (l/s)	
			25 años	10 años
O-1	2,929.031	1.432	113.23	88.74
O-2	2,926.583	1.432	295.33	231.58
O-3	2,918.568	1.432	357.53	280.63

Elaboración: Los autores, 2019

En los diseños, no será necesario la implementación de las cunetas de concreto, debido a que la viabilidad de la calzada; que trabaja como conducto a sección libre bajo criterios de inundación; es la suficiente ya que cumple los parámetros estipulados en la normativa vigente OS.060

La única diferencia son las medidas de los sumideros, debido a que captan diferentes cantidades de caudal de escorrentía, los sumideros del S1 al S20 y S22 al S38 tienen las mismas medidas, solo el sumidero S21 es diferente a los demás, esto para el diseño en ambos tiempos de retorno.

Tabla 81

Dimensión de los sumideros para un Tr 25 años y Tr 10 años

Nombre Sumidero	Tr 25 años			Tr 10 años		
	Ancho (m)	Largo (m)	Alto (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Alto (m)
S1 al S20	0.80	0.90	1.35	0.75	0.90	1.35
S21	0.90	1.10	1.35	0.85	1.10	1.35
S22 al S38	0.80	0.90	1.35	0.75	0.90	1.35

Elaboración: Los autores, 2019

Debido a que la única variante entre ambos diseños son los sumideros, la diferencia de costos de materiales será únicamente por estas.

Tabla 82

Diferencia de costo de materiales para un Tr 25 años y Tr 10 años

	Tr 25 años		Tr 10 años		Diferencia costos de materiales
S/	17,630.52	S/	16,583.74	S/	1,046.78

Elaboración: Los autores, 2019

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN

6.1 Hipótesis general

A partir de los resultados obtenidos es aceptable la hipótesis general que establece que “El análisis hidrológico influye para el diseño del sistema de drenaje pluvial, en la zona Parco Chico en la ciudad de Pomabamba, distrito y provincia de Pomabamba, en el departamento de Ancash”.

Estos resultados guardan relación con lo que sostiene Yañez (2014) en que los resultados obtenidos del análisis hidráulico para los periodos de retorno analizados difieren de la capacidad actual de las obras de drenaje pluvial existente en la zona; es por esto que se define la relación con la presente; ya que en el análisis del comportamiento hidráulico para un periodo de retorno de 10 años nos da un caudal de diseño de 0.600 m³/s y para un periodo de retorno de 25 años nos da un caudal de diseño de 0.766 m³/s, siendo evidente la diferencia de caudales existente entre ambos diseños para la elección de un diseño que garantice una adecuada funcionalidad del sistema en la zona de Parco Chico.

6.2 Hipótesis específicas

A partir de los resultados obtenidos es aceptable la hipótesis específica que establece que “El análisis hidrológico influye para el diseño de las obras superficiales de captación del sistema de drenaje pluvial urbano”. Estos resultados guardan relación con lo que sostiene Rojas & Humpiri (2016), en el cual el análisis realizado comparando el resultado del expediente técnico para el diseño de las obras superficiales con un periodo de retorno de 10 años queda desfasado por no cumplir con los parámetros básicos necesarios, siendo por ello que los autores realizan el análisis hidráulico para un periodo de retorno de 25 años, el cual cumple con los parámetros de diseño según lo indicado en la investigación; por lo señalado, la relación que existe con la presente; ya que, el caudal de diseño de 0.766 m³/s para un periodo de retorno de

25 años cumple con los parámetros básicos para el diseño de las obras superficiales del sistema de drenaje pluvial urbano, el cual se confirma con el resultado obtenido del caudal de diseño para un periodo de retorno 10 años.

A partir de los resultados obtenidos es aceptable la hipótesis específica que establece que “El análisis hidrológico influye para el diseño del alcantarillado pluvial utilizando el software sewergems. Estos resultados guardan relación con lo sostenido por Rojas & Humpiri (2016), en el cual el análisis realizado comparando los resultados de diseño del expediente técnico por el método racional tiene ciertas limitaciones que el software cubre para proporcionar un diseño más real; por consiguiente, el análisis del comportamiento hidráulico para el diseño de alcantarillado pluvial con el software sewergems nos dio los resultados de diseño de las alcantarillas con un periodo de retorno de 10 años y otro diseño con un periodo de retorno de 25 años.

CONCLUSIONES

1. No son necesarias las cunetas para ambos diseños debido a la viabilidad de la calzada, la variación que existe entre ellas son las medidas de los sumideros, teniendo que en el diseño de Tr 25 años la dimensión máxima es de 0.90x1.10x1.35 m la cual capta 43.22 l/s con una velocidad de 1.99 m/s, y en el Tr 10 años con un máximo de 0.85x1.10x1.35 m captando 34.00 l/s con una velocidad de 1.87 m/s; por ende se concluye; que a mayor caudal de escorrentía captado, las dimensiones de los sumideros deberán ser mayores, siendo que el análisis hidrológico influye en el diseño de las obras superficiales de captación del sistema de drenaje pluvial urbano.
2. A mayor caudal de escorrentía que se capte en la superficie, la dimensión de los diámetros de los colectores irán incrementándose debido a la acumulación consecutiva de dicho caudal, esto confirma que el análisis del hidrológico influye en el diseño del alcantarillado pluvial del sistema, por otra parte la norma vigente nos limita a la utilización de diámetros mínimos, por lo cual se obtuvo que el alcantarillado para ambos diseños son iguales, con un diámetro externo mínimo de 500 mm y un máximo de 630 mm en los mismos tramos en toda la red de colectores.
3. Al comparar los diseños, se concluyó que ambos son similares en infraestructura, con la única diferencia en las dimensiones de los sumideros, el cual que pertenece a las obras superficiales de captación, teniendo un mayor costo el de un Tr 25 años con un total de S/. 17,630.52 soles, que para el Tr 10 años con un total de S/. 16,583.74 soles en los materiales de las estructuras de los sumideros, es decir que se confirma que existe la variación de costos de materiales entre los dos diseños de sistema de drenaje pluvial urbano con una diferencia total de S/. 1,046.78 soles.
4. Al momento que se realice el expediente técnico de este sistema de drenaje pluvial urbano para la zona de estudio, se considere en su análisis hidrológico de un Tr 25 años, ya que,

la norma vigente al estimar como máximo un Tr 10 años, se considere insuficiente por la realidad y la experiencia dejada por las lluvias en los últimos años en la provincia, evidenciando de esta manera que las obras de drenaje pluvial han quedado desfasadas en la actualidad en la zona de estudio, además que al diseñar con un tiempo de retorno mayor se protege las obras publicas y privadas en un rango mayor de las avenidas de lluvias máximas, asimismo ya que la variación de costos de materiales entre ambos diseños son muy bajos y difieren en S/. 1,046.78 soles.

RECOMENDACIONES

1. En la elaboración del expediente técnico del diseño de drenaje pluvial urbano para la zona de estudio, se consideren los resultados alcanzados en la presente tesis.
2. Profundizar en la elaboración de la ecuación generas de la curva IDF, para un mejor cálculo de la intensidad de lluvia, con ello la obtención más precisa del caudal de esorrentía necesaria para el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano.
3. Tener consideración en el uso del software sewergems para este tipo de cálculos de alcantarillado, ya que es una herramienta que con los conocimientos adecuados se puede ahorrar tiempo en el momento de diseñar, además que brinda la facilidad de exportar los resultados en formato dxf y este puede ser abierto en el software AutoCAD, el cual es el programa usualmente utilizado por ingenieros y arquitectos.
4. El mantenimiento periódico de las estructuras que componen el sistema de drenaje pluvial urbano, con ello se pueda garantizar el funcionamiento óptimo del sistema ante eventos pluviales extraordinarios.

FUENTES INFORMACIÓN

Bibliográficas:

Braja M. Das (2014). *Fundamentos de ingeniería geotécnica* (4th edición). México: Cengage learning.

Gálvez, H. (2004). *Planificación y Diseño de los Sistemas de Drenaje Sanitario y Pluvial de la Cabecera Municipal de Pasaco, Jutiapa* (Tesis de Pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Hernández, M., & Jiménez (2018). *Diseño del drenaje pluvial y evaluación de impacto ambiental en urb. el Chilcal de la ciudad de Piura* (Tesis de Pregrado). Universidad de Piura, Perú.

Hospital de apoyo de Pomabamba” Antonio caldas Domínguez”, información estadística sobre enfermedades gastrointestinales.

Municipalidad provincial de Pomabamba, plano topografico y catastral de la zona urbana.

Pesantes, G. (2017). *Análisis del comportamiento hidráulico del sistema de drenaje fluvial en la carretera central KM 473.50 al KM 486.70 Junín 2017* (Tesis de Pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Perú.

Reglamento Nacional de Edificaciones (Norma OS.060, 8 de junio 2006) DO: El Peruano.

Rivadeneira, J. (2012). *Diseño del sistema de Alcantarillado Pluvial del barrio “La Campiña del Inca” Canton Quito, Provincia de Pichincha* (Tesis de Pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Rojas, P., & Humpiri, V. (2016). *Evaluación, diseño y modelamiento del sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Juliaca con la aplicación del software SWMM* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Perú.

U.s. department of transportation (2001). Urban drainage design manual (2th edition), eficiencia de sumideros.

Yañez, E. (2014). *Eficiencia del Sistema de Drenaje Pluvial en la Av. Angamos y Jr. Santa Rosa* (Tesis de Pregrado). Universidad Privada del Norte, Perú

ANEXOS

1. Panel fotográfico.
2. Ensayo de suelos.
3. Enfermedades transmitidas sujetas a vigilancia.
4. Planos.

ANEXO 1. Panel fotográfico.

Calicata N° 1 y Calicata N° 2



Ensayo granulométrico y límite de Atterberg



ANEXO 2. Ensayo de suelos

ANEXO 3. Enfermedades transmitidas sujetas a vigilancia

ANEXO 4. Planos