

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN
LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS,
HUÁNUCO - 2019”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR: Ramos Vigilio, John Williams

ASESOR: Narro Jara, Luis Fernando

HUÁNUCO – PERÚ

2021

U

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional ()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Análisis estructural, hidráulica y sanitaria

AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2018-2019)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería Civil

Disciplina: Ingeniería Civil

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título Profesional de Ingeniero Civil

Código del Programa: P07

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 72245845

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 18206328

Grado/Título: Maestro en ingeniería con mención en gestión ambiental y desarrollo sostenible

Código ORCID: 0000-0003-4008-7633

DATOS DE LOS JURADOS:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Jacha Rojas, Johnny Prudencio	Maestro en ingeniería de sistemas e informática con mención en: gerencia de sistemas y tecnologías de información	40895876	0000-0001-7920-1304
2	Lambruschini Espinoza, Reyder Alexander	Título oficial de máster universitario en ingeniería hidráulica y medio ambiente	45250659	0000-0003-0701-2621
3	Portocarrero Durand, Fernando Freddy	Ingeniero geógrafo	41682788	0000-0002-5037-6167

D

H

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO(A) CIVIL**

En la ciudad de Huánuco, siendo las 20:00 horas del día **miércoles 08 de setiembre de 2021**, mediante la plataforma Google Meet, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron los **Jurados Calificadores** integrado por los docentes:

- MG. JOHNNY PRUDENCIO JACHA ROJAS - PRESIDENTE
- MG. REYDER ALEXANDER LAMBRUSCHINI ESPINOZA - SECRETARIO
- ING. FERNANDO FREDDY PORTOCARRERO DURAND - VOCAL

Nombrados mediante la RESOLUCIÓN N° 1047-2021-D-FI-UDH, para evaluar la Tesis intitulada: “**DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO - 2019**”, presentado por el (la) Bachiller. RAMOS VIGILIO, JOHN WILLIAMS, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) APROBADO por UNANIMIDAD con el calificativo cuantitativo de 16 y cualitativo de BUENO (Art. 47).

Siendo las 21:02 horas del día miércoles 08 del mes de setiembre del año 2021, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.



Presidente



Secretario



Vocal

DEDICATORIA

A Dios y a mi familia.

A Dios, por su infinita bondad y misericordia, por ser mi guía en cada paso que doy, brindándome paciencia y sabiduría para cumplir con todas mis metas trazadas.

A mi familia, por su íntegro amor, por el apoyo incondicional de cada uno de ellos y por ser el motor de mi esfuerzo y dedicación.

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia agradecer a Dios, por los días de vida, los alimentos, la salud y las oportunidades brindadas en el día a día.

Agradecer a mi alma mater, la Universidad de Huánuco, por la oportunidad de formarme ética y profesionalmente. Al Programa Académico de Ingeniería Civil y en especial a sus docentes, por las enseñanzas brindadas durante el tiempo de mi formación profesional.

Agradecer a la Municipalidad Distrital de Amarilis, por la información requerida remitida y el apoyo en los trabajos de campo.

Agradecer también de manera especial a los siguientes profesionales:

- Al Ing. Percy Mello Dávila Herrera, por su tiempo, dedicación y sobre todo por las orientaciones brindadas para hacer posible la presente investigación.
- Al Ing. Juan Alex Alvarado Romero, por sus aportes contribuidos en cuanto a la discusión metodológica de la presente Tesis.
- Al C. Msc. Ing. Clifton Paucar Y Montenegro, por sus alcances técnicos en cuanto a la Ingeniería Hidráulica.
- Al Mg. Ing. Luis Fernando Narro Jara, por su tiempo y dedicación brindada en la asesoría de la presente Tesis.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE CUADROS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XIV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	XVIII
RESUMEN	XXIV
ABSTRACT.....	XXV
INTRODUCCIÓN	XXVI
CAPÍTULO I.....	28
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	28
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	28
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	30
1.2.1. Problema General.....	30
1.2.2. Problemas Específicos	30
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	30
1.3.1. Objetivo General.....	30
1.3.2. Objetivos Específicos.....	30
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	31
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	32
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	32
1.6.1. Recursos Humanos	32
1.6.2. Recursos Financieros	32

1.6.3. Recursos de Tiempo.....	32
1.6.4. Recursos Bibliográficos	33
1.6.5. Recursos Tecnológicos.....	33
CAPÍTULO II.....	34
MARCO TEÓRICO	34
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	34
2.1.1. Ámbito Internacional	34
2.1.2. Ámbito Nacional.....	38
2.1.3. Ámbito Local	42
2.2. BASES TEÓRICAS	43
2.2.1. Aspectos Hidrológicos	43
2.2.2. Sedimentación de Sólidos	73
2.2.3. Drenaje Urbano.....	85
2.2.4. Norma OS.060 Drenaje Pluvial Urbano	88
2.2.5. Modelamiento Hidrológico	107
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	116
2.4. HIPÓTESIS	121
2.4.1. Hipótesis General	121
2.4.2. Hipótesis Específicas.....	121
2.5. VARIABLES	122
2.5.1. Variable Independiente.....	122
2.5.2. Variable Dependiente	122
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	123
CAPÍTULO III.....	124
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	124
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	124

3.1.1. Enfoque	124
3.1.2. Alcance o Nivel	124
3.1.3. Diseño.....	125
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	125
3.2.1. Población	125
3.2.2. Muestra.....	125
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS..	125
3.3.1. Para la Recolección de Datos.....	125
3.3.2. Para la Presentación de Datos	126
3.3.3. Para el Análisis e Interpretación de los Datos	126
CAPÍTULO IV.....	128
RESULTADOS.....	128
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS	128
4.1.1. Evaluación del Estado Actual de las Estructuras de Drenaje Pluvial	128
4.1.2. Análisis Hidrológico de la Zona de Estudio.....	129
4.1.3. Propuesta de Diseño del Sistema de Drenaje Pluvial.....	137
4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS ...	175
4.2.1. Contrastación de Hipótesis Específicas.....	175
4.2.2. Contrastación de Hipótesis General	182
CAPÍTULO V.....	183
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	183
5.1. CONTRASTACIÓN DE RESULTADOS.....	183
CONCLUSIONES	192
RECOMENDACIONES.....	195
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	196

ANEXOS..... 203

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Ficha de evaluación física de estructuras existentes N°01.	219
Cuadro 2. Ficha de evaluación física de estructuras existentes N°02.	220
Cuadro 3. Ficha de evaluación física de estructuras existentes N°03.	221
Cuadro 4. Ficha de evaluación física de estructuras existentes N°04.	222
Cuadro 5. Ficha de evaluación física de estructuras existentes N°05.	223
Cuadro 6. Ficha de evaluación física de estructuras existentes N°06.	224
Cuadro 7. Ficha de evaluación física de estructuras existentes N°07.	225
Cuadro 8. Ficha de evaluación física de estructuras existentes N°08.	226
Cuadro 9. Ficha de evaluación física de estructuras existentes N°09.	227
Cuadro 10. Ficha de evaluación física de estructuras existentes N°10.	228
Cuadro 11. Ficha de evaluación física de estructuras existentes N°11.	229
Cuadro 12. Precipitaciones mensuales máximas en 24 horas de un registro histórico de 25 años (1994-2018) – Estación “Huánuco”.	232
Cuadro 13. Toma de datos para el análisis granulométrico de suelos por tamizado.	243
Cuadro 14. Toma de datos para para la gravedad específica de los sólidos del suelo – Muestra N°01.	253
Cuadro 15. Toma de datos para para la gravedad específica de los sólidos del suelo – Muestra N°02.	254
Cuadro 16. Ficha de evaluación física de estructuras existentes.	255
Cuadro 17. Formato de recolección de datos pluviométricos.	256
Cuadro 18. Formato de toma de datos para el análisis granulométrico de suelos por tamizado.	257
Cuadro 19. Formato de toma de datos para para la gravedad específica de los sólidos.	258
Cuadro 20. Área y perímetro de la cuenca de estudio.	262
Cuadro 21. Valores topográficos para determinar la pendiente del cauce – Vía izquierda.	264
Cuadro 22. Valores topográficos para determinar la pendiente del cauce – Vía derecha.	264
Cuadro 23. Resumen obtenido de las fórmulas empíricas del tiempo de concentración.	267

Cuadro 24. Precipitaciones máximas anuales obtenidas de la Estación Meteorológica "Huánuco".....	268
Cuadro 25. Distribución Normal.....	274
Cuadro 26. Distribución Log Normal 2 parámetros.....	275
Cuadro 27. Distribución Log Normal 3 parámetros.....	276
Cuadro 28. Distribución Gamma 2 parámetros.....	277
Cuadro 29. Distribución Gamma 3 parámetros.....	278
Cuadro 30. Distribución Log Pearson Tipo III.	279
Cuadro 31. Fórmulas de ajuste - Distribución Log Pearson Tipo III.....	280
Cuadro 32. Distribución Gumbel.....	282
Cuadro 33. Distribución Log Gumbel.....	283
Cuadro 34. Resultado de la Prueba de Bondad de Ajuste de Kolmogorov - Smirnov.....	284
Cuadro 35. Precipitaciones máximas según la distribución Log Normal 3 parámetros.....	289
Cuadro 36. Probabilidad de ocurrencia de las precipitaciones máximas según la distribución Log Normal 3 parámetros.	290
Cuadro 37. Periodo de retorno para distintos tipos de estructuras.	290
Cuadro 38. Precipitaciones máximas para diferentes duraciones y periodos de retorno.	293
Cuadro 39. Intensidades máximas para diferentes duraciones y periodos de retorno.	293
Cuadro 40. Parámetros estadísticos de intensidades en diferentes duraciones y periodos de retorno.....	294
Cuadro 41. Distribución de intensidades máximas para las curvas IDT. ...	296
Cuadro 42. Parámetros de zona.....	300
Cuadro 43. Precipitaciones máximas anuales según el estudio IILA.....	300
Cuadro 44. Distribución de intensidades máximas para las curvas IDT según el estudio IILA.....	301
Cuadro 45. Precipitaciones máximas según distribución Log Normal 3 parámetros y estudio IILA.....	302
Cuadro 46. Valores del Hietograma – T = 10 años.....	305
Cuadro 47. Análisis granulométrico de suelos por tamizado para la Muestra N°01.....	308

Cuadro 48. Análisis granulométrico de suelos por tamizado para la Muestra N°02.....	311
Cuadro 49. Datos de calibración – Muestra N°01.....	316
Cuadro 50. Datos de calibración – Muestra N°01.....	317
Cuadro 51. Datos de ensayo “Gs” – Muestra N°01.....	318
Cuadro 52. Datos de ensayo “Gs” – Muestra N°02.....	320
Cuadro 53. Resultados del cálculo de la gravedad específica de los sólidos del suelo (picnómetro).	322
Cuadro 54. Datos de diseño – Sedimentador N°01.	327
Cuadro 55. Relación entre el diámetro de las partículas y la velocidad de sedimentación.....	328
Cuadro 56. Número de Hazen ($V's/V_o$).....	332
Cuadro 57. Datos de diseño – Sedimentador N°02.	342
Cuadro 58. Datos de diseño – Sedimentador N°03.	348
Cuadro 59. Datos de diseño – Sedimentador N°04.	357
Cuadro 60. Parámetros de longitud y ancho característico de flujo en subcuencas.....	368
Cuadro 61. Características de áreas permeables e impermeables en subcuencas.....	371
Cuadro 62. Características de áreas para el cálculo de porcentaje de áreas impermeables sin almacenamiento en depresión en subcuencas.	374
Cuadro 63. Coeficiente n de Manning para escorrentía superficial.....	375
Cuadro 64. Valores típicos de almacenamiento en Depresión.	376
Cuadro 65. Número de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana.	378
Cuadro 66. Cálculo del número de curva CN para la subcuenca N°01.	378
Cuadro 67. Parámetros de entrada para el cálculo del número de curva CN en subcuencas.....	379
Cuadro 68. Cálculo del número de curva CN en subcuencas.	380
Cuadro 69. Características de Subcuencas en la zona de estudio – Parte N°01.....	383
Cuadro 70. Características de Subcuencas en la zona de estudio – Parte N°02.....	385

Cuadro 71. Características de Subcuencas en la zona de estudio – Parte N°03.....	386
Cuadro 72. Características de los Nudos.	387
Cuadro 73. Características de los depósitos de almacenamiento.	389
Cuadro 74. Características de los nudos de vertido.	389
Cuadro 75. Características de los Conductos.....	390
Cuadro 76. Características de las Secciones de conductos.	392
Cuadro 77. Características de curvas de los depósitos de almacenamiento (sedimentadores).....	393
Cuadro 78. Características de la Serie Temporal de lluvia.	394

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Identificación de la lluvia según su intensidad.	51
Tabla 2. Periodos de retorno para distintos tipos de estructuras.	57
Tabla 3. Fórmulas para el cálculo del tiempo de concentración.	59
Tabla 4. Coeficientes de escorrentía utilizados en el Método Racional.	60
Tabla 5. Número de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana.	61
Tabla 6. Valores de ajuste para la prueba de Kolmogorov – Smirnov.	68
Tabla 7. Características de la Rejilla Tipo R-121.	98
Tabla 8. Diámetros de tuberías para alcantarillado pluvial.	99
Tabla 9. Tipos de materiales para tubería en alcantarillado pluvial.	100
Tabla 10. Coeficiente de rugosidad de Manning para tuberías.	101
Tabla 11. Velocidad máxima para tuberías de alcantarillado (m/s).	101
Tabla 12. Operacionalización de variables.	123
Tabla 13. Resumen de evaluación de estructuras existentes en la Av. 28 de agosto.	129
Tabla 14. Área y perímetro de la cuenca urbana.	130
Tabla 15. Índice de compacidad de la cuenca urbana.	130
Tabla 16. Pendientes del cauce.	130
Tabla 17. Tiempos de concentración.	130
Tabla 18. Precipitaciones máximas anuales obtenidas de la Estación Meteorológica "Huánuco"	131
Tabla 19. Resultado de la Prueba de Bondad de Ajuste de Kolmogorov - Smirnov.	131
Tabla 20. Precipitaciones máximas según la distribución Log Normal 3 parámetros.	132
Tabla 21. Probabilidad de ocurrencia de las precipitaciones máximas según la distribución Log Normal 3 parámetros.	132
Tabla 22. Ecuaciones de intensidad máxima según Frederich Bell y el estudio IILA.	133
Tabla 23. Distribución de intensidades máximas para las curvas IDT según Frederich Bell.	133

Tabla 24. Distribución de intensidades máximas para las curvas IDT según el estudio IILA.	134
Tabla 25. Precipitaciones máximas según distribución Log Normal 3 parámetros y estudio IILA.	135
Tabla 26. Valores del Hietograma – T = 10 años.....	136
Tabla 27. Resultados de cálculo en el Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado – Muestra N°01.	137
Tabla 28. Resultados de cálculo en el Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado – Muestra N°02.	138
Tabla 29. Resultados de la gravedad específica de los sólidos.....	139
Tabla 30. Resultados del diseño de sedimentadores.	140
Tabla 31. Resultados de la escorrentía superficial.	143
Tabla 32. Resultados del cálculo hidráulico.....	143
Tabla 33. Resultados del resumen de la escorrentía en subcuencas.....	143
Tabla 34. Resultados del resumen de nivel en nudos.	145
Tabla 35. Resultados del resumen de aporte en nudos.....	147
Tabla 36. Resultados del resumen de sobrecarga en nudos.....	148
Tabla 37. Resultados del resumen de inundación en nudos.	149
Tabla 38. Resultados del resumen de volumen almacenado.	149
Tabla 39. Resultados del resumen de vertidos.....	149
Tabla 40. Resultados del resumen de caudal en líneas.	150
Tabla 41. Resultados del resumen de sobrecarga de conductos.	151
Tabla 42. Características geométricas en Sumideros.....	174
Tabla 43. Características geométricas en colectores.	174
Tabla 44. Características geométricas en Buzones de registro.....	174
Tabla 45. Características geométricas en sedimentadores.	175
Tabla 46. Características geométricas en estructuras de vertido.	175
Tabla 47. Resultados de las condiciones del sistema.....	176
Tabla 48. Valores críticos “Dt” para la prueba de Kolmogorov – Smirnov.	178
Tabla 49. Resultado de la Prueba de Bondad de Ajuste.	179
Tabla 50. Resultado de precipitaciones máximas.....	180

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Evaluación cualitativa de estructuras existentes en la Av. 28 de agosto.	128
Gráfico 2. Evaluación cualitativa porcentual de estructuras existentes en la Av. 28 de agosto.	129
Gráfico 3. Curvas IDT según Frederich Bell - Estación "Huánuco".	134
Gráfico 4. Curvas IDT según el estudio IILA.	135
Gráfico 5. Hietograma de diseño - Precipitaciones.	136
Gráfico 6. Hietograma de diseño - Intensidades.	137
Gráfico 7. Gráfico comparativo de las condiciones del sistema.	176

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo hidrológico.	44
Figura 2. Tipos de cuencas.....	45
Figura 3. Características de una cuenca hidrológica.	47
Figura 4. Por el tiempo en que transportan agua.....	48
Figura 5. Por su posición topográfica o edad geológica.	48
Figura 6. Esquema representativo de los tipos de precipitación.	52
Figura 7. Pluviómetro.....	53
Figura 8. Pluviógrafo.....	54
Figura 9. Curva Intensidad, Duración y Frecuencia.	70
Figura 10. Hidrograma.....	72
Figura 11. Hietograma de precipitación.	73
Figura 12. Proceso de sedimentación de partículas.	75
Figura 13. Tanque de sedimentación independiente.	78
Figura 14. Sedimentador convencional (planta y corte longitudinal).....	81
Figura 15. Sistema de drenaje pluvial.....	87
Figura 16. Sumidero lateral de sardinel o solera.....	90
Figura 17. Sumidero de fondo.....	90
Figura 18. Sumidero mixto o combinado.	91
Figura 19. Sumidero tipo grande conectado a cámara – S1.....	92
Figura 20. Sumidero tipo grande conectado a tubería – S2.....	93
Figura 21. Sumidero tipo chico conectado a cámara – S3.....	94
Figura 22. Sumidero tipo chico conectado a tubería – S4.	95
Figura 23. Ubicación de sumideros en intersección de las calles.	96
Figura 24. Rejilla de fierro fundido para sumidero.	97
Figura 25. Rejilla de fierro laminado.	98
Figura 26. Dimensiones de Rejilla Tipo R-121.....	98
Figura 27. Zonas y subzonas pluviométricas.....	105
Figura 28. Valores de los parámetros de K'g y Eg.....	106
Figura 29. Valores de los parámetros de “a” y “n”.....	106
Figura 30. Componentes físicos del modelo del sistema de drenaje.	111
Figura 31. Simbología de suelos.....	139
Figura 32. Planteamiento inicial del Sistema de Drenaje Pluvial.	141

Figura 33. Proceso de simulación del sistema.....	142
Figura 34. Simulación finalizada del sistema.	142
Figura 35. Planteamiento final en planta del Sistema de Drenaje Pluvial. .	152
Figura 36. Configuración de las Redes de Drenaje Pluvial – N°01.....	152
Figura 37. Configuración de las Redes de Drenaje Pluvial – N°02.....	153
Figura 38. Configuración de las Redes de Drenaje Pluvial – N°03.....	153
Figura 39. Configuración de las Redes de Drenaje Pluvial – N°04.....	154
Figura 40. Configuración de las Redes de Drenaje Pluvial – N°05.....	154
Figura 41. Configuración de las Redes de Drenaje Pluvial – N°06.....	155
Figura 42. Configuración de las Redes de Drenaje Pluvial – N°07.....	155
Figura 43. Distribución en planta de las Subcuencas urbanas.	156
Figura 44. Distribución en planta de las Redes de Drenaje Pluvial.....	156
Figura 45. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-1 al N-5.	157
Figura 46. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-6 al N-7.	158
Figura 47. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-8 al N-11.	158
Figura 48. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-12 al N-17.	159
Figura 49. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-13 al N-11.	159
Figura 50. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-16 al N-17.	160
Figura 51. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-18 al N-17.	160
Figura 52. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-17 al N-23.	161
Figura 53. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-23 al N-27.	161
Figura 54. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-27 al N-30.	162
Figura 55. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-31 al N-30.	162
Figura 56. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-30 al N-35.	163
Figura 57. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-36 al N-38.	163
Figura 58. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-39 al N-43.	164
Figura 59. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-44 al N-47.	164
Figura 60. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-48 al N-49.	165
Figura 61. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-49 al N-50.	165
Figura 62. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-49 al N-43.	166
Figura 63. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-43 al vertido D-1.....	166
Figura 64. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-54 al N-58.	167
Figura 65. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-58 al N-59.	167
Figura 66. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-59 al N-63.	168

Figura 67. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-63 al N-65.	168
Figura 68. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-66 al N-69.	169
Figura 69. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-70 al N-71.	169
Figura 70. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-72 al N-74.	170
Figura 71. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-75 al N-65.	170
Figura 72. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-77 al N-80.	171
Figura 73. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-80 al N-65.	171
Figura 74. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-65 al N-87.	172
Figura 75. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-87 al N-90.	172
Figura 76. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-91 al N-90.	173
Figura 77. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-90 al vertido D-2.....	173
Figura 78. Planteamiento del Sistema de Drenaje Pluvial Urbano con el software SWMM 5 vE.	181

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Avenida 28 de agosto – Tramo inicial.....	207
Ilustración 2. Avenida 28 de agosto (Vía de Evitamiento Los Héroes del Cenepa) – Tramo intermedio.	208
Ilustración 3. Avenida 28 de agosto – Tramo final.	208
Ilustración 4. Afluente de llegada en la intersección de la Av. Esteban Pavletich y la Av. 28 de agosto.	209
Ilustración 5. Comportamiento de la escorrentía superficial en el tramo inicial de la avenida.....	209
Ilustración 6. Cambio de dirección de la escorrentía superficial entre la Av. 28 de agosto y la Av. Túpac Amaru.	210
Ilustración 7. Llegada y concentración de la escorrentía superficial entre la Av. 28 de agosto y el Jr. José Carlos Mariátegui.	210
Ilustración 8. Afluentes provenientes de viviendas que descargan en aceras y calzadas de la vía.	211
Ilustración 9. Recorrido de la escorrentía superficial aguas abajo de la avenida.	211
Ilustración 10. Colapso de cunetas en ambos márgenes de la vía.	212
Ilustración 11. Llegada y almacenamiento de la escorrentía superficial que da origen al colapso total de la calzada y las cunetas.	212
Ilustración 12. Afluente de llegada de la Av. Micaela Bastidas a la Av. 28 de agosto.	213
Ilustración 13. Concentración excesiva de la escorrentía superficial entre la Av. 28 de agosto y la Av. Micaela Bastidas.	213
Ilustración 14. Concentración de la escorrentía superficial entre la Av. 28 de agosto y la Av. Micaela Bastidas (vista de noche).	214
Ilustración 15. Comportamiento de la escorrentía superficial a lo largo la vía de evitamiento “Los Héroes del Cenepa” (vista de noche).	214
Ilustración 16. Recorrido de la escorrentía superficial aguas abajo de la vía de evitamiento “Los Héroes del Cenepa” (vista de noche).	215
Ilustración 17. Llegada y concentración de la escorrentía superficial entre la Av. 28 de agosto y la Av. Los Girasoles (vista de noche).	215

Ilustración 18. Presencia de salpicones intensos en aceras producto del transporte vehicular a lo largo de la vía.	216
Ilustración 19. Recorrido del volumen de escorrentía superficial aguas abajo de la vía.	216
Ilustración 20. Afluente que llega del Jr. Las Orquídeas a la Av. 28 de agosto.	217
Ilustración 21. Fin del tramo ubicado entre la Av. 28 de agosto y la Av. Los Laureles (Paucarbambilla – Amarilis).	217
Ilustración 22. Vista del tesista realizando la visita e inspección en campo de las estructuras existentes.	218
Ilustración 23. Vista de la cota base (BM) cercana al área de estudio.....	230
Ilustración 24. Vista del tesista iniciando el trabajo de lectura en la cota base (BM).	230
Ilustración 25. Vista del tesista realizando el levantamiento y toma de lectura de puntos topográficos entre la Av. Los Laureles y la Av. 28 de agosto....	231
Ilustración 26. Vista del tesista realizando el levantamiento y toma de lectura de puntos topográficos en el inicio de la Av. 28 de agosto.	231
Ilustración 27. Ubicación de la cámara de recolección de aguas pluviales.	234
Ilustración 28. Cámara de recolección de aguas pluviales descubierta.	234
Ilustración 29. Extracción de una porción de material para la muestra N°01 en bolsa de plástico.	235
Ilustración 30. Cámara de recolección de aguas pluviales limpia.	235
Ilustración 31. Ubicación de la cámara de recolección de aguas pluviales.	236
Ilustración 32. Cámara de recolección de aguas pluviales descubierta.	236
Ilustración 33. Extracción de una porción de material para la muestra N°02 en bolsa de plástico.	237
Ilustración 34. Cámara de recolección de aguas pluviales limpia.	237
Ilustración 35. Vista del tesista presentando las muestras para el análisis granulométrico por tamizado.....	238
Ilustración 36. Vista del tesista con los equipos y materiales para el análisis granulométrico por tamizado.....	239
Ilustración 37. Vista del tesista presentando el cuarteo de las muestras... ..	239
Ilustración 38. Secado de las muestras húmedas en el horno.....	240
Ilustración 39. Preparación de las muestras para su posterior lavado.....	240

Ilustración 40. Secado de las muestras lavadas en el horno.	241
Ilustración 41. Retiro de las muestras secas calientes para su posterior enfriamiento.	241
Ilustración 42. Trabajo de tamizado de cada muestra en las mallas correspondientes.	242
Ilustración 43. Grupo de partículas pesadas de cada tamiz para ambas muestras.	242
Ilustración 44. Vista del tesista presentando las muestras para el ensayo de gravedad específica de los sólidos del suelo (picnómetro).	244
Ilustración 45. Peso del frasco volumétrico (picnómetro).	245
Ilustración 46. Vertido y nivelación de agua destilada en el picnómetro. ...	245
Ilustración 47. Secado de paredes internas del picnómetro y la toma de su peso.	246
Ilustración 48. Toma de lectura de temperatura dentro del picnómetro más agua.	246
Ilustración 49. Calentamiento del picnómetro más agua en el baño maría.	247
Ilustración 50. Extracción de agua excedente y secado de las paredes internas del picnómetro.	247
Ilustración 51. Toma de lectura de peso y temperatura del picnómetro más agua.	248
Ilustración 52. Preparado y tamizado de la muestra sobre la malla N°04. .	248
Ilustración 53. Lectura de peso del material más el vaso precipitado.	249
Ilustración 54. Colocación del material y vertido de agua destilada en el picnómetro.	249
Ilustración 55. Calentamiento del picnómetro más agua más suelo para la extracción del aire atrapado.	250
Ilustración 56. Secado de paredes internas del picnómetro más agua más suelo para que quede listo.	250
Ilustración 57. Lectura de peso y temperatura del picnómetro más agua más suelo.	251
Ilustración 58. Vertido de agua más suelo en recipientes metálicos.	251
Ilustración 59. Colocación de muestras saturadas en el horno eléctrico. ..	252
Ilustración 60. Retiro de muestras secas y listas para ser pesadas.	252
Ilustración 61. Cuenca urbana de la zona de estudio.	262

Ilustración 62. Resultado de ajuste de datos - Distribución Normal.	269
Ilustración 63. Resultado de ajuste de datos - Distribución Log Normal 2 parámetros.....	270
Ilustración 64. Resultado de ajuste de datos - Distribución Log Normal 3 parámetros.....	270
Ilustración 65. Resultado de ajuste de datos - Distribución Gamma 2 parámetros.....	271
Ilustración 66. Resultado de ajuste de datos - Distribución Gamma 3 parámetros.....	271
Ilustración 67. Resultado de ajuste de datos - Distribución Log Pearson Tipo III.....	272
Ilustración 68. Resultado de ajuste de datos - Distribución Gumbel.	273
Ilustración 69. Resultado de ajuste de datos - Distribución Log Gumbel. ...	273
Ilustración 70. Comportamiento de gráfica - Distribución Normal.	275
Ilustración 71. Comportamiento de gráfica - Distribución Log Normal 2 parámetros.....	276
Ilustración 72. Comportamiento de gráfica - Distribución Log Normal 3 parámetros.....	277
Ilustración 73. Comportamiento de gráfica - Distribución Gamma 2 parámetros.....	278
Ilustración 74. Comportamiento de gráfica - Distribución Gamma 3 parámetros.....	279
Ilustración 75. Comportamiento de gráfica - Distribución Gumbel.	283
Ilustración 76. Comportamiento de gráfica - Distribución Log Gumbel.	284
Ilustración 77. Resultado - Precipitación máxima anual y su probabilidad de ocurrencia para T = 2 años.	285
Ilustración 78. Resultado - Precipitación máxima anual y su probabilidad de ocurrencia para T = 5 años.	286
Ilustración 79. Resultado - Precipitación máxima anual y su probabilidad de ocurrencia para T = 10 años.	286
Ilustración 80. Resultado - Precipitación máxima anual y su probabilidad de ocurrencia para T = 25 años.	287
Ilustración 81. Resultado - Precipitación máxima anual y su probabilidad de ocurrencia para T = 50 años.	287

Ilustración 82. Resultado - Precipitación máxima anual y su probabilidad de ocurrencia para T = 75 años.....	288
Ilustración 83. Resultado - Precipitación máxima anual y su probabilidad de ocurrencia para T = 100 años.....	288
Ilustración 84. Resultado - Precipitación máxima anual y su probabilidad de ocurrencia para T = 500 años.....	289
Ilustración 85. Resultado de análisis de la ecuación de intensidad máxima según el método de Frederich Bell.	292
Ilustración 86. Curvas IDT - Estación "Huánuco".....	296
Ilustración 87. Localización de la zona de estudio según el estudio IILA...	297
Ilustración 88. Identificación de las elevaciones promedias en la zona de estudio.	299
Ilustración 89. Curvas IDT - Estudio IILA.	301
Ilustración 90. Curvas IDT - T = 10 años.	303
Ilustración 91. Hietograma de diseño - Precipitaciones.	306
Ilustración 92. Hietograma de diseño - Intensidades.	306
Ilustración 93. Curva granulométrica – Muestra N°01.....	309
Ilustración 94. Curva granulométrica – Muestra N°02.....	312
Ilustración 95. Calibración del frasco volumétrico (Picnómetro) – Muestra N°01.....	316
Ilustración 96. Calibración del frasco volumétrico (Picnómetro) – Muestra N°02.....	317
Ilustración 97. Peso específico (G) del agua y factor de corrección (K).....	319
Ilustración 98. Símbolos de grupo para suelos arenosos, según el SUCS.	325
Ilustración 99. Diagrama de flujo para nombres de grupo de suelos tipo grava y arenosos.	325
Ilustración 100. Simbología de suelos.	326
Ilustración 101. Valores de sedimentación – Sedimentador N°01.	329
Ilustración 102. Configuración en el análisis del sedimentador ideal.	339
Ilustración 103. Valores de sedimentación – Sedimentador N°03.	349
Ilustración 104. Cuenca hidrológica urbana.....	364
Ilustración 105. Distribución de subcuencas.....	364
Ilustración 106. Valores por defecto del proyecto.	365
Ilustración 107. Mapa del área de estudio con SWMM 5 vE.....	366

Ilustración 108. Subcuenca N°14.....	367
Ilustración 109. Plano en planta de la Subcuenca N°01.	369
Ilustración 110. Plano en planta de la Subcuenca N°05.	373
Ilustración 111. Opciones de simulación N°01.....	382
Ilustración 112. Opciones de simulación N°02.....	382
Ilustración 113. Uso de sumideros en intersecciones típicas de calles.....	395
Ilustración 114. Localización típica de sumideros I.	396
Ilustración 115. Localización típica de sumideros II.	397

RESUMEN

La presente Tesis busca realizar el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano, implementando sedimentadores en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis, en la ciudad de Huánuco. Según la metodología de la investigación, el estudio tuvo un enfoque cuantitativo, de nivel descriptivo – explicativo, con un diseño no experimental de orden transversal y descriptivo; y una muestra no probabilística desarrollada por conveniencia, el cual fue la Avenida 28 de agosto y tramos adyacentes a esta. Además, para determinar el diseño propuesto, previamente se hizo la inspección minuciosa del comportamiento lluvia – escorrentía y la evaluación del estado situacional del sistema de drenaje existente, a través de la observación en campo. Se realizaron también los trabajos específicos como el topográfico, hidrológico, de suelos e hidráulico; con la finalidad de determinar los parámetros requeridos para el diseño, teniendo en cuenta para este último lo estipulado en la norma OS.060 (Drenaje Pluvial Urbano) del Reglamento Nacional de Edificaciones y demás estimaciones afines. Los frutos del diseño final, fueron obtenidos del modelado y ajuste de todos los componentes involucrados en el sistema de drenaje pluvial, mediante el software SWMM 5 vE, cuyos resultados propuestos fueron tuberías PVC con diámetros nominales de 500 mm, 600 mm y 700 mm. Sumideros con profundidad de hasta 2.00 m, buzones de registro con profundidad de hasta 1.90 m, sedimentadores con profundidad de hasta 3.45 m, incluyendo las alturas de relleno; y estructuras de vertido con diámetros de salida de hasta 700 mm, este último presentando un caudal de descarga de hasta 4,274 m³ para un periodo de retorno de 10 años. Por lo tanto, se concluye que la simulación se realizó con éxito una vez definida todos los componentes finales del sistema, para una precipitación con duración de 6 horas, aproximadamente. Es así que, realizada la simulación final, el software arrojó un error de continuidad de - 0.07 % para la escorrentía superficial y de 0.07 % para el cálculo hidráulico, estando dentro de los límites recomendados por el Manual del software SWMM.

Palabras clave: Aguas pluviales, sistema de drenaje, sedimentadores.

ABSTRACT

This Thesis seeks to carry out the design of the urban storm drainage system, implementing settlers on Avenue 28 de Agosto in the Amarilis district, in the city of Huánuco. According to the research methodology, the study had a quantitative, descriptive – explanatory level approach, with a non-experimental, cross-sectional and descriptive design; and a non-probability sample developed for convenience, which was Avenue August 28 and sections adjacent to it. In addition, to determine the proposed design, a thorough inspection of the rain-runoff behavior and the evaluation of the situational status of the existing drainage system were previously carried out, through field observation. Specific works such as topographic, hydrological, soil and hydraulic were also carried out; in order to determine the parameters required for the design, taking into account for the latter what is stipulated in standard OS.060 (Urban Storm Drainage) of the National Building Regulations and other related estimates. The fruits of the final design were obtained from the modeling and adjustment of all the components involved in the storm drainage system, using SWMM 5 vE software, the proposed results of which were PVC pipes with nominal diameters of 500 mm, 600 mm and 700 mm. Sumps with depths of up to 2.00 m, manholes with depths of up to 1.90 m, settlers with depths of up to 3.45 m, including fill heights; and discharge structures with outlet diameters of up to 700 mm, the latter presenting a discharge flow of up to 4 274 m³ for a return period of 10 years. Therefore, it is concluded that the simulation was carried out successfully once all the final components of the system were defined, for a precipitation lasting approximately 6 hours. Thus, when the final simulation was performed, the software gave a continuity error of - 0.07% for surface runoff and 0.07% for hydraulic calculation, being within the limits recommended by the SWMM Software Manual.

Keywords: Rainwater, drainage system, settlers.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación está orientada al diseño del sistema de drenaje pluvial urbano en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis, Huánuco – 2019; ya que, en la actualidad la Avenida 28 de agosto presenta en su parte baja un sistema de drenaje pluvial con características deficientes y poco funcionales, propiamente por la falta de operación y mantenimiento de parte de las autoridades locales. Es así que en el momento de iniciada la precipitación, es posible presenciar una gran cantidad de volumen de escorrentía superficial a lo largo del tramo; no obstante, el incremento del volumen de escorrentía también se ve reflejado por el ingreso del caudal pluvial en las instalaciones domiciliarias del desagüe residual, por la impermeabilización de la superficie y las lluvias intensas de cortas duraciones.

A consecuencia de lo anunciado, surgen los problemas de inundación que afectan a infraestructuras, vehículos y peatones. Es por ello que se propuso mejorar el encauzamiento de las aguas pluviales con el objetivo de diseñar un sistema de drenaje pluvial, y así poder evitar los daños que puedan ocasionar los problemas de inundación en la Avenida 28 de agosto.

El diseño propuesto tiene en cuenta los criterios contemplados por la norma OS.060 (Drenaje Pluvial Urbano) del Reglamento Nacional de Edificaciones y demás criterios de autores incluidos en el presente trabajo de investigación. A su vez, se propuso implementar sedimentadores frente a un diseño convencional. La investigación comprende la evaluación física del sistema de drenaje pluvial existente mediante las fichas de evaluación anotadas en campo, comprende también la obtención de los parámetros hidrológicos y el modelamiento y diseño final del sistema de drenaje pluvial, estos dos últimos con el software computacional SWMM 5 vE.

La presente Tesis está estructurada de la siguiente manera:

En el Capítulo I se presenta el problema de investigación, en la cual se verá la descripción del problema con su respectiva formulación, los objetivos de la investigación, la justificación, las limitaciones y la viabilidad de la investigación.

En el Capítulo II se presenta el marco teórico, incluido en este los antecedentes de la investigación, las bases teóricas de distintas fuentes, las definiciones conceptuales de los términos utilizados, las hipótesis de la investigación, las variables definidas y la operacionalización de estas mismas.

En el Capítulo III se presenta la metodología de la investigación, en ella el tipo de investigación considerada, en cuanto al enfoque, alcance o nivel y el diseño de la investigación. Se encuentra también dentro de la metodología de la investigación la población y muestra considerada, y las técnicas e instrumentos de recolección de datos.

En el Capítulo IV se presenta a detalle los resultados de la investigación en gráficos, tablas y figuras con sus respectivos análisis.

En el Capítulo V se presenta la discusión de los resultados obtenidos y la comparación de estos con algunas investigaciones de otros autores de Tesis. Se presentan también las conclusiones finales, las recomendaciones de la investigación y las referencias bibliográficas que apoyaron a realizar la presente Tesis.

Por último, se presentan los anexos que incluyen la resolución de aprobación del Proyecto de Investigación, la resolución de nombramiento de Asesor de Tesis, la Matriz de Consistencia y los Apéndices; estos últimos con los procedimientos de los trabajos realizados para cumplir con los objetivos de la investigación, tales como la evaluación de las estructuras de drenaje pluvial existente, el trabajo topográfico, hidrológico, de suelos e hidráulico; y el procesamiento de los datos con el software computacional SWMM 5 vE. Así también, se presentan otros datos adjuntos.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El crecimiento de las ciudades exige notables inversiones en distintas infraestructuras, siendo la mayoría de ellas utilizadas diariamente por el ciudadano. No obstante, el uso de las infraestructuras y el normal desarrollo de la actividad ciudadana, están en ciertos momentos condicionados por el correcto funcionamiento de otra infraestructura que es la red de drenaje de aguas pluviales (López, 2016).

En América Latina, el aumento en la frecuencia de precipitaciones de gran intensidad produce inundaciones urbanas que recurrentemente generan pérdidas materiales y humanas, así como cuantiosos daños a la infraestructura de las ciudades que afectan notablemente a las economías nacionales. La frecuente ocurrencia de lluvias convectivas intensas en las distintas ciudades, convierte a las calles centrales en una especie de ríos urbanos, con elevadas alturas de agua y potentes velocidades de flujo. Estas inundaciones ocurren por una densa concentración urbana que ha desatendido la conservación del drenaje natural y la protección ambiental de los arroyos que atraviesan las ciudades, además de desaciertos en las regulaciones de uso del suelo urbano (Arroyo, 2016).

En el Perú, la temporada de lluvias ocurre entre la primavera y el verano de todos los años, generalmente dura a partir del mes de septiembre hasta el mes de abril. Asimismo, la intensidad máxima de lluvias que alcanza el territorio peruano, es el comprendido entre el mes de diciembre hasta el mes de marzo (Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI], 2018).

En la ciudad de Huánuco, los meses vulnerables a sufrir intensidades de lluvias máximas son los comprendidos entre octubre y marzo. El mes que llueve con mayor intensidad es el mes de marzo, teniendo una precipitación promedio de 76 mm/mes; y el de menor intensidad sucede en el mes de julio con una precipitación mediana de 4 mm/mes. (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [SENAMHI], 2019).

Actualmente nuestra ciudad requiere de una planificación adecuada y cuidadosa en el ámbito urbano. Sin embargo, nos hemos preocupado más en el alcance de una ciudad próxima en desarrollo, sin haber considerado los distintos servicios básicos que la población requiere y que están siendo obviados permanentemente, es decir, uno de los servicios básicos que se encuentra en estado de descuido, es el sistema de drenaje (alcantarillado pluvial).

En el distrito de Amarilis en épocas de lluvia, nos vemos afectados hacia un evento natural exógeno (inundación) en zonas urbanas pavimentadas, producto a superficies impermeables, pendientes medias, desagües obsoletos, fenómenos climáticos y por contar con sistemas de drenaje pluvial deficientes, vale decir, las calles y avenidas cuentan con sistemas que están sin mantenimiento y fuera de uso, especialmente en la Avenida 28 de agosto. Esto se debe a factores desfavorables que alteran a los sistemas de drenaje pluvial, en particular por la acumulación de residuos sólidos y sedimentos, que provocan la obstrucción y el correcto funcionamiento de las estructuras de drenaje pluvial para lo cual fueron diseñados. Asimismo, se presenta el flujo de la escorrentía superficial de aguas de lluvia que buscan conducirse y evacuarse sobre las áreas de aceras, calzadas y sistemas de alcantarillado sanitario a lo largo de la Avenida 28 de agosto.

Las combinaciones fatales mencionadas anteriormente, están perjudicando a la infraestructura vial, por otra parte, se generan problemas tales como accidentes de tránsito, olores nauseabundos, tránsito mojado en personas y la aparición de distintas enfermedades infecciosas que afectan especialmente a niños y ancianos.

Por lo mencionado a la situación actual en la que se encuentra la Avenida 28 de agosto, se tomó como propuesta a disminuir la escorrentía superficial de aguas pluviales, planteando un nuevo sistema de drenaje pluvial urbano implementando sedimentadores a lo largo de la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis - Huánuco, teniendo en cuenta también el lugar de disposición final de las aguas pluviales, mediante estudios previos y la recopilación de datos que llevó a obtener los resultados necesarios y de buen alcance.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema General

¿Se podrá diseñar el sistema de drenaje pluvial urbano, de manera que permita solucionar los problemas de inundación en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis?

1.2.2. Problemas Específicos

- a) ¿El estado actual del sistema drenaje pluvial, se encontrará en condiciones deficientes y que debido a ello se plantee el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis?
- b) ¿La precipitación permitirá determinar los parámetros hidrológicos para el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis?
- c) ¿Fijando los componentes que se ajustan en el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano, se mejorará el encauzamiento de las aguas pluviales en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo General

Diseñar el sistema de drenaje pluvial urbano, para evitar daños que puedan ocasionar los problemas de inundación en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis.

1.3.2. Objetivos Específicos

- a) Diagnosticar el estado actual del sistema de drenaje pluvial, para plantear el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis.
- b) Determinar los aspectos hidrológicos para el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis.
- c) Establecer los componentes que se ajustan en el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano, para mejorar el encauzamiento de las aguas pluviales en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación surge a consecuencia del interés de mejorar el libre tránsito vehicular y peatonal frente a eventos de precipitación en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis en la ciudad de Huánuco, cuya precipitación hace que el volumen de escorrentía superficial aumente en todo el tramo de la avenida.

Si bien es cierto, en tiempos de lluvia es posible presenciar un gran volumen de aguas pluviales que afectan a la infraestructura vial, vehículos y en especial a las personas que transitan. Por tanto, es necesario buscar una solución óptima que permita evitar la concentración masiva de aguas pluviales en aceras, calzadas, alcantarillado residual; y que estos mismos no se vean involucrados en su periodo de vida útil a largo plazo. Para lo cual, se realizará el planteamiento de diseño del sistema de drenaje pluvial urbano, implementando sedimentadores en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis en la ciudad de Huánuco, con la finalidad de obtener algunos beneficios sociales, tales como: El de mejorar el tránsito vehicular y peatonal para reducir la posibilidad de futuros accidentes de tránsito, evitando daños materiales y pérdidas de vidas humanas. Asimismo, mejorar la calidad de vida frente a enfermedades infecciosas especialmente en niños y ancianos; es decir, las personas que transitan, ya no estarán propensas a alterar su salud.

Además, es posible obtener algunos beneficios metodológicos partiendo de ubicar de manera estratégica el nuevo sistema de drenaje pluvial urbano, orientado en llevar el manejo adecuado de control, estimar la reducción del volumen de caudal de aguas pluviales en aceras, calzadas y en el alcantarillado residual. Así también, considerar la disposición final de las aguas pluviales hacia un medio natural (río Huallaga).

En lo referente al ámbito económico, se podrá disminuir el tránsito mojado en vehículos y peatones, de esta manera se puede reducir el mantenimiento de los vehículos de transporte, como también los cambios inoportunos de prendas de vestir en las personas.

Desde el punto de vista ambiental, se podrá reducir la carga contaminante que lleva consigo las aguas de lluvia frente al vertido en el cuerpo receptor.

Por último, el presente informe de investigación servirá como referencia para brindar la información necesaria en futuras y similares investigaciones de un sistema de drenaje pluvial urbano.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

El trabajo de investigación presentó las siguientes limitaciones:

- La investigación quedó limitada a la información de ubicación del sistema de drenaje pluvial existente en la parte baja de la Avenida 28 de agosto, en la ciudad de Huánuco.
- Durante la investigación se trabajó con la información hidrológica procesada de la Estación Meteorológica “Huánuco”, que brinda el SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología).
- La investigación se limitó a la aplicación del software computacional SWMM (Storm Water Management Model), únicamente para el diseño.
- Para la investigación solo se planteó el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano, implementando sedimentadores en la Avenida 28 de agosto, en la ciudad de Huánuco.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

El presente estudio fue considerado viable por contar con los siguientes recursos necesarios:

1.6.1. Recursos Humanos

Se contó con la participación del investigador y con dos profesionales responsables conocedores del tema; para el ámbito de la Ingeniería Hidráulica y para la Metodología de la Investigación.

1.6.2. Recursos Financieros

En el contorno económico la investigación se consideró viable, ya que, para dar cumplimiento a los objetivos del estudio, se proyectó estimar los costos necesarios que se requiere para los estudios y la obtención de los resultados, respectivamente.

1.6.3. Recursos de Tiempo

Con referencia al factor tiempo, la presente investigación fue viable, puesto que se contó con la disponibilidad necesaria del investigador, por lo que la investigación no sufrió retrasos y se realizó en un tiempo determinado.

1.6.4. Recursos Bibliográficos

Se consideró viable la investigación, gracias al alcance de las fuentes de información y la bibliografía de autores presente en los equipos tecnológicos de la red (Internet). Así como también, por las notas relevantes de materiales físicos obtenidos de distintos centros de información, de esta manera se contó con toda la información necesaria y se pudo cumplir con los objetivos del estudio.

1.6.5. Recursos Tecnológicos

La facilidad tecnológica presente en estos tiempos, nos lleva a utilizar distintos programas de diseño en el ámbito de la Ingeniería Hidráulica, que nos permiten reducir los tiempos en el procesamiento de datos y la obtención de los resultados. Las herramientas computacionales que se utilizaron para para la investigación fueron el software Google Earth Pro, Hidroesta 2, AutoCAD, AutoCAD Civil 3D, SWMM 5 vE, etc.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Después de haber recopilado la información elemental a través de los repositorios de las universidades, del RENATI (Registro Nacional de Trabajos de Investigación) y de otras fuentes bibliográficas. Se llegó a estimar los siguientes temas de tesis como antecedentes para la investigación.

2.1.1. **Ámbito Internacional**

Domingos (2015), presentó su investigación, *“ESTRATEGIA PARA EL DISEÑO DE REDES DE DRENAJE PLUVIAL, EMPLEANDO LA MODELACIÓN MATEMÁTICA, PARA SU APLICACIÓN EN LA CIUDAD DE LUANDA”*, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría, Cuba. Teniendo como objetivo, elaborar una estrategia para el diseño y verificación de redes de drenaje pluvial empleando modelación matemática para su aplicación en la ciudad de Luanda, y aplicarla al barrio Marçal como caso de estudio. Asimismo, el autor concluye con lo siguiente: Se pasó a elaborar una estrategia para el diagnóstico, diseño y verificación de redes de drenaje pluvial, basada en el uso de modelos del terreno y aplicando herramientas de modelación matemática, apta para su aplicación en la ciudad de Luanda. Así mismo, se construyó el Modelo Digital del Terreno (MDT) del barrio Marçal, que cumple con los requisitos de resolución exigidos por su condición de área urbana, y con la aplicación de todos los criterios que aseguran la compatibilidad de los datos provenientes de todas las fuentes, la obtención de un modelo interpolado geoestadísticamente óptimo (kriging), y con una calidad del modelo final suficiente para su utilización en la simulación de los procesos de escurrimiento.

Por una parte, la elaboración del modelo digital del terreno para el barrio Marçal a partir de datos de diferentes fuentes, combinados con las herramientas de modelación espaciales, permitió simular los escurrimientos en la cuenca urbana del mismo barrio y conducirlos de forma segura por los cauces naturales. Por otra parte, se aplicó la estrategia propuesta en la zona seleccionada como caso de estudio, lo que permitió establecer criterios sobre

los peligros de inundación ante intensas lluvias, como etapa de diagnóstico de la situación actual del barrio. Para este diagnóstico se adoptó la estrategia de calibración basada en los caudales máximos para las dos vertientes de la cuenca correspondiente al barrio Marçal.

En lo referente al diseño con SewerUp de la red de drenaje pluvial para el caso de estudio se arribó a resultados económicos más racionales en términos de diámetros y precios, en comparación con la propuesta previa presentada por la Unidad Técnica de Gestión y Saneamiento de Luanda (UTGSL), ya que se obtuvo la reducción de 65 diámetros en conductos de varios tramos de la red, que representa un 74 % del total. Además, respecto a la propuesta de UTGSL se reportó un incremento en diámetro en solamente 7 conductos, mientras que en otros 16 se mantuvieron las especificaciones preestablecidas. Así también, la verificación del diseño efectuado en SewerUp para $T_r = 10$ años permitió comprobar que cuando se alcanzan los niveles de descarga máximos en la red de drenaje pluvial ($t = 3$ horas), no se detectan inundaciones hacia las calles desde los registros de la red identificados por los nodos establecidos en SWMM.

Por último, la evaluación económica del costo de la red de drenaje pluvial se realizó teniendo en cuenta los resultados del diseño con la aplicación de SewerUp bajo las mismas condiciones que las empleadas por UTGSL, resultando un 20 % más económico que el presupuesto de la propuesta original.

Así mismo, de la Paz (2016), presentó su investigación "*DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA RED DE DRENAJE PLUVIAL EN LA ZONA CENTRO – OESTE DE TRINIDAD*", Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba. Teniendo como objetivo, efectuar el diseño hidráulico de una infraestructura viable de alcantarillado pluvial que permita evacuar la escorrentía superficial y posibilite evitar inundaciones en zonas bajas de la cuenca norte de Trinidad, utilizando un modelo matemático para la simulación del proceso lluvia – escurrimiento en esta zona urbana. Asimismo, el autor concluye con lo siguiente: La optimización del diseño mediante el software ROKO permite obtener a partir de un trazado de red de alcantarillado pluvial,

los diferentes parámetros hidráulicos que producen un mínimo costo, garantizando que no halla desbordes ni sobrecargas en la red.

Por una parte, el cálculo del tiempo de concentración influirá en la intensidad de lluvia a ser empleada, a menor tiempo de concentración mayor es la intensidad de la lluvia a emplear, lo que incide en las dimensiones de los diámetros de las tuberías de la red; por otra parte, las visitas a terreno permitieron definir claramente las vías de escurrimiento, y cauces existentes, así como los puntos en que éstos se indefinen, generando zonas de inundación en la cuenca urbana. Así también, se desarrolló un modelo de simulación basado en el software SWMM 5.0 vE, con las especificaciones necesarias para representar la esorrentía de la cuenca, para escenarios futuros, permitiendo evaluar la implicación de las obras, vías de escurrimiento, urbanizaciones, entre otros, en los caudales generados en toda la cuenca.

En lo que respecta al haber considerado la modelación, además de las visitas al terreno, se puede concluir, que las causas principales de las inundaciones en la zona, se deben a la falta de continuidad de los cauces naturales, así como las construcciones estructurales, sirviendo estas de obstáculo para impedir el paso del cauce natural.

Finalmente, se pudo comprobar que el hidrograma de salida obtenido en la simulación arrojó un caudal máximo de 3,246.72 l/s, y que este se logra evacuar sin dificultad por la red de alcantarillado diseñada con anterioridad por el ROKO.

Así también, Orozco y Tapia (2017), realizaron su investigación "*DISEÑO DE UN ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLUVIAL PARA EL CENTRO PARROQUIAL QUIMIAG*", Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador. Teniendo como objetivo, diseñar el Sistema de alcantarillado Sanitario, Pluvial para el centro parroquial Quimiag, teniendo en cuenta aspectos técnicos, económicos y ambientales, teniendo como siguientes conclusiones que: Después de haber analizado las encuestas para conocer la situación actual de la población se puede concluir que un 25 % no cuenta con un sistema de alcantarillado y un 75 % evacua las aguas residuales al alcantarillado actual, el mismo que cumplió con su periodo de vida útil; razón por la cual se vio la

necesidad de realizar los estudios y diseños de alcantarillados sanitario y pluvial. Asimismo, a partir de los parámetros planteados por la norma Ex - IEOS se definieron los siguientes datos de diseño: período de diseño de 25 años, dotación media futura de 120 lt/hab/día, y una tasa de crecimiento poblacional del 1 %, obteniendo una población de diseño (futura) correspondiente a 875 habitantes.

Con respecto al diseño de las redes de alcantarillado, este se realizó en base a las especificaciones de la normativa vigente, y fue desarrollado de tal forma que trabajen a gravedad, obteniendo como resultados: un caudal de diseño sanitario de 4.5 lt/s y un caudal de diseño pluvial para el centro parroquial de 64.52 lt/s; además se propuso un sistema de alcantarillado combinado desde el Centro parroquial Quimiag hasta la planta de tratamiento con un caudal combinado de 72.33 lt/s. Asimismo, el material empleado para el diseño del alcantarillado es PVC, en el caso de la red principal obtuvimos como resultados: tubería de 200 mm de diámetro en el tramo comprendido entre el pozo de cabecera (No. 47) hasta el pozo del parque del centro parroquial (No.17) y 300 mm de diámetro, debido al incremento del caudal pluvial correspondiente al centro parroquial Quimiag y redes secundarias en el tramo comprendido entre el pozo de la salida del centro parroquial (No.16) al pozo de cabecera del barrio Cachipata (No. 1) donde culmina el sistema de alcantarillado.

Por una parte, en base a los resultados obtenidos en los análisis físico, químico y bacteriológico del agua, se estableció que el tratamiento de las aguas residuales será por medio de una planta convencional, que contempla: un proceso de pre-tratamiento, mediante un sistema de rejas y filtro desarenador; seguido de un tratamiento primario por medio de un decantador circular de 17.36 m de diámetro y 3.30 m de altura; para finalmente concluir con un tratamiento secundario que incorpora un sistema de filtro percolador o filtro biológico, con un material plástico de polietileno denominado BIO LAM G70 que producirá un 95 % de remoción de la biomasa del agua, para luego poder ser vertida al río. Así también, el presupuesto referencial de la obra asciende a 478,951.57 dólares, resultado de todos los rubros que se consideraron necesarios para la ejecución del proyecto e incluye un 20 % de

costos indirectos. El rubro más incidente es el BIO-LAM con 101,992.74 dólares. El tiempo estimado de ejecución es de 6 meses.

Por otra parte, el estudio de Impacto Ambiental detallado en la matriz causa-efecto indicó que existen 10 impactos positivos que generarán un mejoramiento en la salud y el desarrollo social del sector, 43 impactos negativos que pueden ser corregidos con acciones que se detallan en el Plan de Manejo Ambiental. Como medidas mitigatorias dentro el mismo se propuso: un cronograma de entrada de volquetes y maquinaria, un horario de operación de la maquinaria que origina ruido, el uso de lonas sobre los volquetes de transporte de material. Reducir el impacto en el medio ambiente mediante excavaciones, movimientos y la migración de especies arbóreas únicas en el suelo.

Por último, se realizó un análisis comparativo de un sistema de alcantarillado combinado mediante la simulación hidráulica en SewerCAD V8i y Excel, obteniendo datos como: diámetro de tuberías, tensión tractiva, velocidades y caudal de diseño. Los mismos que nos dieron un resultado de 73.77 lt/s en SewerCAD V8i y un caudal de 72.34 lt/s en Excel lo que indica que la variación de cálculo entre los dos programas no es excesiva.

2.1.2. Ámbito Nacional

Ozoriaga y Sanabria (2017), realizaron su investigación *“DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL EN EL JIRÓN LORETO TRAMO AMAZONAS – CALLE REAL DISTRITO DE HUANCAYO, PROVINCIA HUANCAYO – REGIÓN JUNÍN 2016”*, Universidad Peruana Los Andes, Perú. Teniendo como objetivo, diseñar el sistema de alcantarillado pluvial del Jr. Loreto tramo Amazonas – Calle Real, distrito y provincia de Huancayo, teniendo como siguientes conclusiones que: Se ha determinado el diseño de la red pluvial considerando una tormenta que puede acumular aproximadamente 13,184.00 m³ de agua pluvial, siendo así que se contará con tuberías de diámetros de 600 mm, 700 mm y 1200 mm, unidos mediante buzones de 1.90 m de altura en los cuales se regula el caudal y evita el aniego de las intersecciones del Jr. Áncash y el Jr. Loreto y el cruce de la Av. Real y el Jr. Loreto, zonas que en la actualidad se ven afectadas cuando hay precipitaciones moderadas e intensas. Asimismo, se ha estimado el costo de

la implantación del sistema de alcantarillado pluvial para el Jr. Loreto, siendo este de S/. 1,102,052.00, el cual considera la instalación de 2,571.58 m de tuberías de diámetros que varían entre 600 mm y 1,200 mm, con los que se asegura el correcto drenaje de las aguas pluviales provenientes de la escorrentía de 28 manzanas comprendidas entre el Jr. Amazonas y la Av. Huancavelica, beneficiando así a la población de Huancayo, por lo que, el monto es una inversión necesaria y viable por parte del gobierno local.

Por último, se ha analizado la calidad del agua pluvial tanto con mezcla del alcantarillado sanitario especialmente en las intersecciones del Jr. Loreto con la Av. Real y el Jr. Áncash, resultando que esta sobrepasa los límites máximos permisibles convirtiéndose en posibles focos de infección; esta contaminación se debe en su mayor parte a que las aguas pluviales se mezclan con las aguas residuales en una sola red de alcantarillado las cuales desembocan en el río Mantaro, aumentando así la contaminación de este río. Asimismo, se ha determinado la calidad del agua pluvial sin la mezcla de aguas residuales, y estos estudios demuestran que el agua de lluvia cumple los parámetros establecidos por el ministerio del ambiente y que, mediante la implementación de un sistema de drenaje pluvial separado del sistema de alcantarillado mejorarán la calidad del agua vertida a los ríos.

Así mismo, Cuti (2018), presentó su investigación, *“DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA LOCALIDAD DE ESPINAR, REGIÓN CUSCO”*, Universidad Nacional de San Agustín, Perú. Teniendo como objetivo, optimizar el manejo racional del agua de lluvia en la ciudad de Espinar para evitar daños en las edificaciones y obras públicas, tales como pistas, redes de agua y desagüe, redes eléctricas, entre otras, así como la acumulación del agua que pueda constituir focos de contaminación y/o transmisión de enfermedades para lo cual se implementará un sistema de obras de infraestructura hidráulica para la evacuación de las aguas pluviales hacia los Cuerpos Receptores de Agua. Asimismo, el autor concluye con lo siguiente: La información de un pluviómetro en una estación solo nos permite conocer la intensidad media en 24 horas, esta información puede inducir a grandes errores, por cuanto las lluvias de corta duración son generalmente las más intensas, es conveniente entonces que las determinaciones de intensidades de lluvia se hagan a partir

de los registros proporcionados por pluviógrafos. Asimismo, la función que mejor describe la serie de precipitaciones máximas de 24 horas es la Log Normal de tres parámetros, determinados de acuerdo a las pruebas de bondad de ajuste (Chi Cuadrado, Smirnov-Kolmogorov) y el método del error cuadrático mínimo. Además, al no contar con información pluviográfica, la metodología de Dick Peachke proporcionan datos coherentes y pueden ser utilizados en la determinación de la lluvia de diseño en los cuales no exista mucha variación en el registro de sus datos, tal es el caso de este proyecto.

Por una parte, se determina la lluvia de diseño mediante el método de bloques alternados para una duración de tormenta de 3 horas; con un periodo de retorno de 10 años para el diseño de tuberías e imbornales y 100 años para la determinación de máximas avenidas de los cuerpos receptores de agua. Asimismo, los criterios de riesgo adoptados de velocidad, tirante, deslizamiento y vuelco, puestos en evaluación en el ámbito de estudio, restringen el espaciamiento de rejillas a colocar en una calle, debido a los caudales admisibles de ingreso. Además, de acuerdo a los resultados obtenidos, teniendo en cuenta la lluvia de diseño del presente proyecto, considerando un ancho de mitad de vía de 4 m y el tipo de rejilla a colocar (R-121); a menor pendiente de las calles mayor espaciamiento y a mayor pendiente de las calles menor espaciamiento entre rejillas de captación. Así mismo, se propone una distribución de rejillas en las calles principales de la Ciudad de Espinar de acuerdo al análisis de criterios de riesgo.

Por otra parte, el presente proyecto de drenaje pluvial urbano, se considera como preliminar, ya que la topografía a detalle es indispensable para evaluar los criterios de riesgo, espaciamiento de rejillas, diseño de colectores y determinación de las cotas de descarga. Además, de acuerdo a los resultados obtenidos del programa de simulación SWMM, en general el comportamiento de los colectores es óptimo, solo en algunos casos se puede observar que llegamos a valores límites de diseño como velocidad máxima, relación tirante diámetro. Se puede justificar estos casos considerando que nos encontramos frente a un terreno que no presenta las mejores condiciones de relieve.

Se determinan como cuerpos receptores al río Ccañipia y río Tucsamayo,

descargando 5 colectores en el río Ccañipia (Calle Pacifico, Calle Magma Tintaya, Calle Cusco, Calle San Martin y Calle Pichigua) y 2 colectores al río Tucsamayo (Calle la Paz y Calle Caylloma). Además, la caracterización geomorfológica de las subcuencas de los cuerpos receptores es desarrollada en el programa QGIS, que es un Sistema de Información Geográfica (SIG), y con la ayuda del Hydrologic Modeling System (HEC-HMS), que tiene implementado algunas funciones hidrológicas, se determina las máximas avenidas de los cuerpos receptores de agua. Asimismo, las determinaciones de las cotas de descarga son de vital importancia, la mala ubicación de este punto supondría la obstrucción y/o destrucción del colector, para lo cual se realiza un estudio hidrológico de las sub cuencas Ccañipia y Tucsamayo. Así también, los caudales máximos obtenidos son de 16.95 m³/s para la sub cuenca Tucsamayo y 245 m³/s para la sub cuenca Ccañipia para un periodo de retorno de 100 años.

Finalmente, el esquema de la infraestructura hidráulica está definido por elementos de captación, conexión, mantenimiento y conducción hasta su entrega final, tales como: colectores, buzones de inspección, sumideros o rejillas de captación, así mismo no se considera la construcción de canaletas, la conducción de la escorrentía se dará por la vía, considerando a la mitad de la vía como sección triangular con una pendiente transversal de 2 %.

Así también, García y Gonzáles (2018), realizaron su investigación *“DISEÑO DEL DRENAJE PLUVIAL EN LA LOCALIDAD DE PARCO DISTRITO DE PARCO PROVINCIA DE BAGUA REGIÓN AMAZONAS”*, Universidad Nacional de San Martín, Perú. Teniendo como objetivo, proponer y desarrollar una alternativa técnica de diseño del sistema de drenaje pluvial en la Localidad de Parco que permita evitar los daños ocasionados por las precipitaciones pluviales y su posterior empleo en la elaboración del PIP del proyecto por parte de las autoridades locales, teniendo como siguientes conclusiones: El área en la cual se ha proyectado las obras de drenaje, se encuentra ubicada en la Localidad de Parco, Distrito de Parco, Provincia de Bagua, Región Amazonas.

Por una parte, el diseño hidráulico estructural del sistema de drenaje pluvial de la Localidad de Parco servirá como parte fundamental de un futuro

expediente técnico en favor a su drenaje, asegurando de esta manera la Salubridad y seguridad pública. Por otra parte, para el cálculo de caudales existen una variedad de fórmulas empíricas, en nuestro caso utilizamos dos métodos: Método Racional y Método Mac Math.

En lo que respecta al diseño de los Drenes, tanto principales como secundarios, se ha tomado el coeficiente del valor de rugosidad como $n = 0.017$ (para cunetas revestidas), pudiendo decir que este valor resulta bastante conservado para dar mayor eficiencia y seguridad al momento de realizar los cálculos.

Por último, la topografía del lugar ha sido un factor importante para el dimensionamiento hidráulico y el diseño estructural de las obras proyectadas.

2.1.3. Ámbito Local

En el ámbito local, sólo se cuenta como antecedente el proyecto desarrollado por el Consorcio Aguas (2008) *“CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE DE LA CIUDAD DE HUÁNUCO”*, Municipalidad Provincial de Huánuco, Perú. Teniendo como objetivo, mejorar el nivel de vida de los pobladores de la ciudad de Huánuco eliminando la interrupción de las actividades económicas y comerciales y reduciendo el índice de morbilidad por enfermedades respiratorias, parasitarias e infecciones, causadas por las inundaciones y aniegos producidos por las precipitaciones pluviales en la ciudad de Huánuco. Asimismo, según las variaciones con respecto a las obras consideradas en el perfil aprobado, se llegaron a las siguientes conclusiones: El sistema planteado, coincide con el planteamiento general plasmado en el Perfil del proyecto *“CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE DE LA CIUDAD DE HUÁNUCO”*, aprobado por la OPI de la Municipalidad Provincial de Huánuco, no existiendo ninguna variación de concepto, planteamiento o zona/pobladores beneficiarios. Además, se ha optimizado el planteamiento de disipadores de energía tipo poza de disipación (planteado en las Quebradas Las Moras, Puelles y Jactay), reemplazándolas por una estructura mucho más eficiente para dichos fines, y con la ventaja que también servirán como estructuras de retención de sólidos y estabilización de quebradas. Las estructuras planteadas en el perfil son muy ineficientes en la retención de

sólidos, lo cual es un problema crítico en las quebradas indicadas por ser las más activas, en cuanto a transporte de sedimentos.

En lo referente al Expediente Técnico, se han tenido que considerar estructuras, no consideradas en el perfil aprobado como son: Cinco (05) Badenes carrozables, en las quebradas Las Moras y Jactay, un Puente peatonal adicional (Las Moras), para mitigar el problema de interrupción de tránsito peatonal en el Badén del Jr. Huallayco – Las Moras, ante la ocurrencia de precipitaciones pluviales y nueve (09) estructuras de entrega al río Huallaga y una (01) al río Higueiras, para cada uno de los conductos planteados en el proyecto. Asimismo, se ha modificado el trazo del Canal Jactay, mediante un trazo más eficiente y directo hacia el río Huallaga.

Por último, los colectores pluviales considerados en la zona urbana, tienen dimensiones mayores a los estimados en el estudio de preinversión, considerándose tuberías de hasta 1100 mm de diámetro, frente a los 750 mm, considerado como máximo en el perfil.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Aspectos Hidrológicos

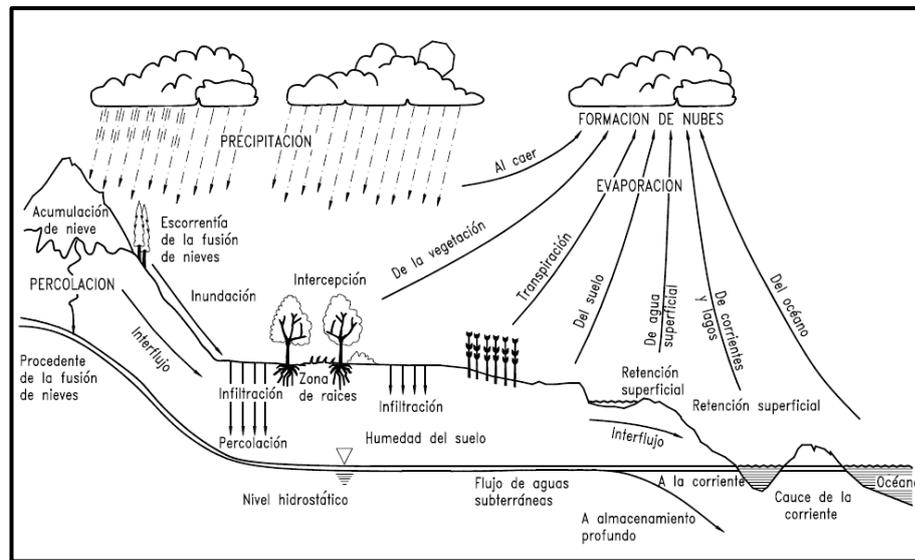
Hidrología

La hidrología es la ciencia natural que estudia al agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos (Aparicio, 1992).

El Ciclo Hidrológico

El ciclo hidrológico como todo ciclo, no tiene principio ni fin. La explicación podría empezar en todo punto, tal cual está reflejado en la Figura 1. El agua en territorio terrestre o muy cercanos de la tierra se evaporará bajo la influencia de la radiación solar y el viento. El vapor de agua así formado se eleva en forma de nubes y es trasladado a la atmósfera hasta que se condensa y cae hacia la tierra en forma de precipitación. En el proceso de llegar al territorio terrestre, el agua depositada puede evaporarse nuevamente o ser intervenida por plantas o construcciones, y luego fluir e infiltrarse a la superficie de la tierra o llegar hasta las corrientes.

El agua interceptada, parte del agua infiltrada y el agua que fluye por la superficie se evaporan de nuevo. Parte de la precipitación que llega a la corriente se filtra y otra parte alcanza al océano y otras grandes áreas de agua, como lagos y presas. Una porción del agua infiltrada es absorbida por las plantas y luego casi todo es transpirado hacia la atmósfera, mientras que otra porción se infiltra por debajo del territorio terrestre hacia las corrientes oceánicas, mares u otros cuerpos de agua, o hacia áreas profundas del suelo (percolación), de esta forma, se almacenará como agua subterránea, para luego emerger en manantiales, ríos u océanos (Aparicio, 1992).



FUENTE: Elaboración propia en base a Rocha (Recursos hidráulicos), 1993.

Figura 1. Ciclo hidrológico.

Importancia de la Hidrología

En este tiempo actual, la hidrología ha obtenido mayores ventajas durante la planificación de Recursos Hidráulicos y se ha convertido en un componente básico de los proyectos de ingeniería relacionados con el suministro de agua, disposición de aguas servidas, el drenaje, el resguardo de ríos y las actividades recreativas. Para prever o estimar la aparición de eventos futuros vinculados con el agua, la hidrología se ha integrado con la geografía y las matemáticas mediante un sistema de información geográfica.

De esta manera, el uso de la Hidrología en la Ingeniería Civil es vital para la planificación, diseño y operación de proyectos hidráulicos. Pero, dada la dependencia de la ciencia de la meteorología y el medio ambiente, en muchos

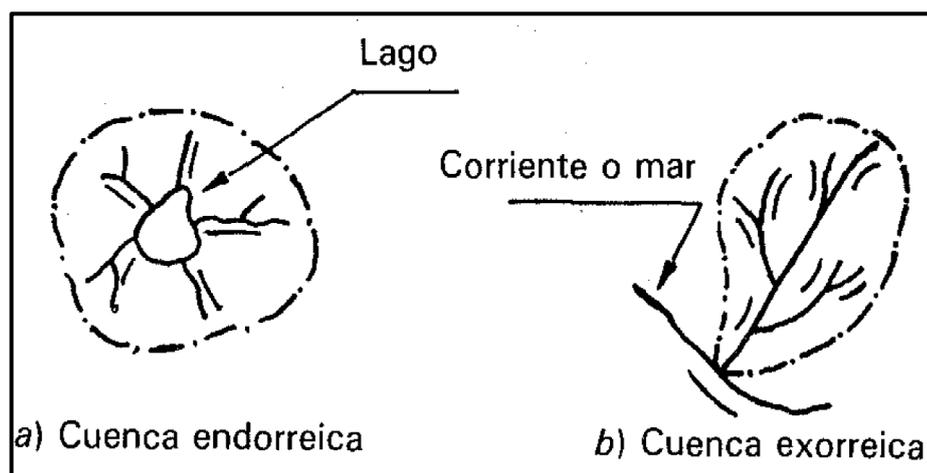
casos los resultados deben considerarse como estimaciones, por lo que es necesario complementar la incertidumbre con métodos probabilísticos.

Según Chow (1994), hoy en día se utilizan teorías complejas para describir procesos hidrológicos, utilizando simulaciones por computadora y simplificando un gran número de observaciones en resúmenes estadísticos para comprender mejor los fenómenos hidrológicos y para establecer niveles de diseño en hidrología. La evolución del conocimiento y los métodos hidrológicos han mejorado el alcance y la exactitud de la solución a problemas hidrológicos.

Cuenca Hidrológica

Aparicio (1992), define a la cuenca como una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida.

El significado previo es referente a la cuenca superficial vinculada a cada cuenca. Como se refleja en la Figura 2, existen básicamente dos tipos de cuencas: endorreicas y exorreicas. Asimismo, existe una cuenca subterránea, denominada arreica, cuál forma en planta es similar a una cuenca superficial. Por lo tanto, si la superficie es impermeable, la definición es válida.



FUENTE: Elaboración propia en base a Aparicio (Fundamentos de hidrología de superficie), 1992.

Figura 2. Tipos de cuencas.

Características de la Cuenca y los Cauces

Según Aparicio (1992), las características de las cuencas y cauces se dividen en dos categorías, según cómo controlan los fenómenos mencionados: las que supeditan la cuantía de escurrimiento, como el tipo de suelo y el área de la cuenca, y las que supeditan la rapidez de reacción, como la pendiente de los cauces y el orden de corrientes, etc.

A continuación, se describen las características de la cuenca y los cauces más importantes en la relación precipitación - escurrimiento.

Características Geomorfológicas de la Cuenca

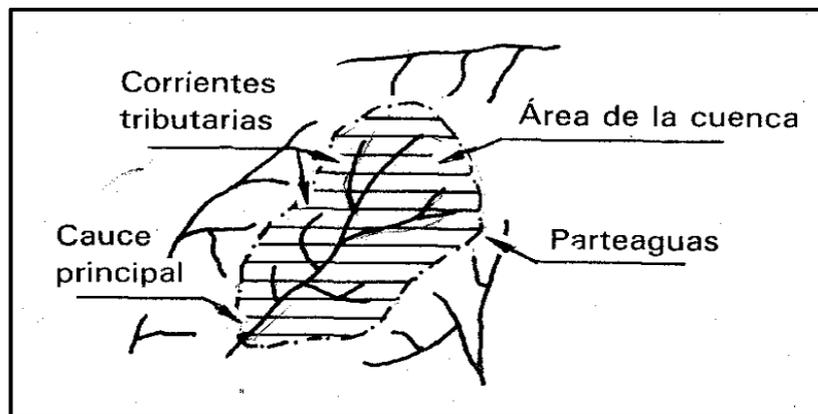
Según Villón (2002), las cuencas se pueden dividir en cuencas grandes y cuencas pequeñas según su tamaño.

- **Cuenca Grande:** Es aquella que presenta sus características fisiográficas (elevación, pendiente, área, cauce). Asimismo, cuando el área es mayor a 250 km², la cuenca práctica se considera grande.
- **Cuenca pequeña:** Es aquella que corresponde a las lluvias intensas y de corta duración, y sus características físicas (suelo, tipo de vegetación) tienen mayor relevancia que los cauces. Las pequeñas cuencas se consideran cuencas con una superficie que va desde unas pocas hectáreas hasta el límite y, desde un punto de vista práctico, la superficie es de 250 km².

No necesariamente se analiza con el mismo criterio una cuenca pequeña que una grande. Para una cuenca pequeña, la forma y la cantidad de escurrimiento están influenciadas principalmente por las condiciones físicas del suelo; por lo tanto, el estudio hidrológico debe enfocarse con más atención a la cuenca misma, para una cuenca muy grande el efecto de almacenaje del cauce es muy importante, por lo cual deberá dársele también atención a las características de este último.

Por otra parte, según Aparicio (1992), la cuenca presenta las características siguientes:

- **Parteaguas:** Es una línea imaginaria compuesta por puntos con el nivel de suelo más alto, que aparta la cuenca de las cuencas vecinas, tal como se muestra en la Figura 3.
- **Área de la Cuenca:** Definida como la superficie, en proyección horizontal, delimitada por el parteaguas.
- **Corriente Principal:** Es la corriente que fluye por la salida de la misma. Teniendo en cuenta que este concepto solo es aplicable a las cuencas de tipo exorreicas. Otras corrientes de la cuenca se llaman corrientes tributarias. Cada punto de cualquier corriente tiene una cuenca de aportación y cada cuenca tiene una corriente principal. Las cuencas pertinentes a corrientes tributarias o puntos de salida se denominan cuencas tributarias o subcuencas.



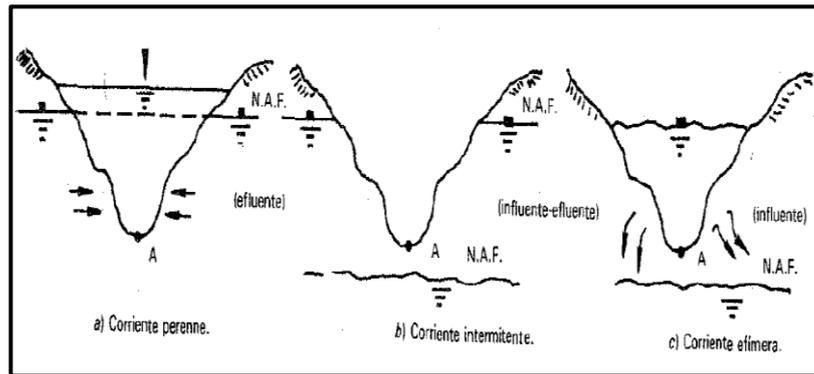
FUENTE: Elaboración propia en base a Aparicio (Fundamentos de hidrología de superficie), 1992.

Figura 3. Características de una cuenca hidrológica.

De igual forma, existen muchas formas de clasificar las corrientes, sin embargo, las más interesantes en la Ingeniería Hidrológica pueden ser las siguientes:

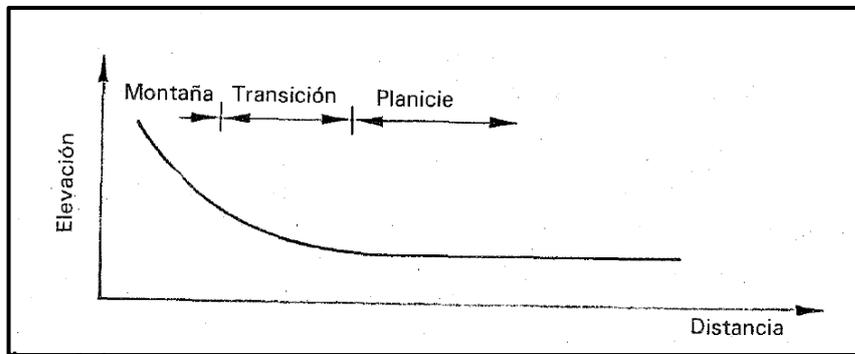
- Por el tiempo en que transportan agua:** Según esta clasificación, el flujo de agua (corriente) puede ser perenne, intermitente o de corta duración (efímera), tal como se muestra en la Figura 4.
- Por su posición topográfica o edad geológica:** En conformidad con esta clasificación, los ríos podrían ser ríos de montaña o ríos jóvenes, ríos de transición o maduros, ríos de llanura (planicie) o ríos viejos, tal como se muestra en la Figura 5.

La representación gráfica de la clasificación actual es la siguiente:



FUENTE: Elaboración propia en base a Aparicio (Fundamentos de hidrología de superficie), 1992.

Figura 4. Por el tiempo en que transportan agua.



FUENTE: Elaboración propia en base a Aparicio (Fundamentos de hidrología de superficie), 1992.

Figura 5. Por su posición topográfica o edad geológica.

Además, según Villón (2002) la cuenca presenta otra característica, la cual es:

- **Índice de compacidad (Índice de Gravelious):** El índice de compacidad de la cuenca definido por Gravelious, representa la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área que la cuenca, entonces, se representa de esta manera:

$$K = \frac{\text{Perímetro de la cuenca}}{\text{Perímetro de un círculo de igual área}}$$

Para conocer la representación de la fórmula, esta se deduce mediante los valores de la ecuación llegando a lo siguiente:

$$K = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

P : Perímetro de la cuenca (m).

A : Área de la cuenca (m²).

El índice de compacidad intenta exponer la influencia del perímetro y el área de la cuenca en la escurrentía, especialmente en términos de características del hidrograma. Si $K = 1$, la cuenca será circular, generalmente para cuencas más alargadas se espera obtener un $K > 1$. Las cuencas alargadas reducen la posibilidad de ser completamente cubiertas por las tormentas, lo que afectará el tipo de respuesta del río.

Características Geomorfológicas del Cauce

Se puede llegar a clasificar, según el cauce principal, longitud y la pendiente, tal como se detalla a continuación:

- **Cauce Principal:** Es aquella corriente que fluye a través de la salida de la cuenca y es la corriente de mayor orden.
- **Longitud:** Es la distancia horizontal de la corriente principal entre un punto aguas abajo (estación de aforo) y otro punto aguas arriba, el cual corta la línea del contorno de la cuenca.
- **Pendiente:** Es uno de los indicadores con mayor relevancia de cómo responde la cuenca a las tormentas. La pendiente tiene variaciones en lo extenso del cauce, entonces es indispensable conceptualizar la pendiente media.

Además, según Villón (2002), comprender la pendiente del cauce principal en una cuenca, es estudiar el comportamiento de los recursos hídricos, cómo determinar las mejores características óptimas del aprovechamiento hidroeléctrico o un parámetro importante para resolver problemas de inundaciones.

Generalmente, la pendiente del tramo del cauce del río se podría establecer como el cociente, que se obtiene dividiendo el desnivel del extremo del tramo por la longitud horizontal del tramo mencionado.

Hay varias formas de obtener la pendiente del cauce. Para esta investigación, considerando que en la práctica los tramos sean de distintas longitudes, se utilizarán las ecuaciones de Taylor y Schwarz para determinar la pendiente del cauce. Seguidamente, Taylor y Schwarz sugirieron la siguiente fórmula:

$$S = \left(\frac{\sum_{i=1}^n L_i}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{S_i^{1/2}}} \right)^2$$

Donde:

S : Pendiente media del cauce (m/m).

L_i : Longitud del tramo i (m).

S_i : Pendiente del tramo i (m/m).

Precipitación

La precipitación es toda forma de humedad que, originándose en las nubes llega hasta la superficie del suelo (Villón, 2002).

La precipitación se refiere al agua líquida (llovizna y lluvia) o sólida (escarcha, nieve, granizo) que cae sobre la superficie de la tierra y procede de la humedad de la atmosfera. La precipitación es uno de los procedimientos meteorológicos de mayor relevancia en la Hidrología y, junto con la evaporación, incorporan la forma en que la atmósfera y el agua superficial interactúan en el ciclo hidrológico del agua. [Universidad de Piura (UDEP), 2019].

La precipitación es el inicio de todas las corrientes superficiales y profundas, por lo que la cuantificación del agua y la distribución del conocimiento en el tiempo y el espacio constituyen el problema básico de la hidrología (Segeber y Villodas, 2006).

Según la definición anterior y según Chereque (1989), la lluvia, el granizo, la garúa y la nieve son formas diferentes de un mismo fenómeno de precipitación. En los Estados Unidos, se califica la magnitud de estas lluvias como, ligera, moderada y fuerte (ver Tabla 1).

Tabla 1. Identificación de la lluvia según su intensidad.

Intensidad	(mm/h)	Observaciones
Ligera	<2.5	Las gotas se pueden identificar fácilmente unas de otras. Cuando existe una superficie expuesta seca, esta tarda más de dos minutos en mojarse completamente.
Moderada	2.5-7.5	No se pueden identificar gotas individuales, se forman charcos con gran rapidez. Las salpicaduras de la precipitación se observan hasta cierta altura del suelo.
Fuerte	>7.5	La visibilidad es escasa y las gotas que salpican sobre la superficie se levantan varios centímetros.

FUENTE: Elaboración propia en base a la Universidad de Piura (Precipitación), 2019.

Formas de Precipitación

Según Villón (2002), la precipitación puede ser en forma de:

- **Llovizna:** Son pequeñas gotitas de agua con un diámetro entre 0.1 y 0.5 mm, y la velocidad de caída es muy baja.
- **Lluvia:** Son gotitas de agua con un diámetro superior a 0.5 mm.
- **Escarcha:** Es una capa de hielo, generalmente transparente y lisa, que por lo general contiene bolsas de aire.
- **Nieve:** Está conformado por cristales de hielo blancos translúcidos con formas complejas.
- **Granizo:** Es la precipitación en forma de hielo esférico o irregular producido por nubes convectivas, su forma puede ser esférica, cónica o irregular, con diámetros que van desde los 5 a los 125 mm.

Clasificación de la Precipitación

De acuerdo con Chereque (1989), la lluvia se puede clasificar en convectiva, ciclónica y orográfica, tal como se describe a continuación:

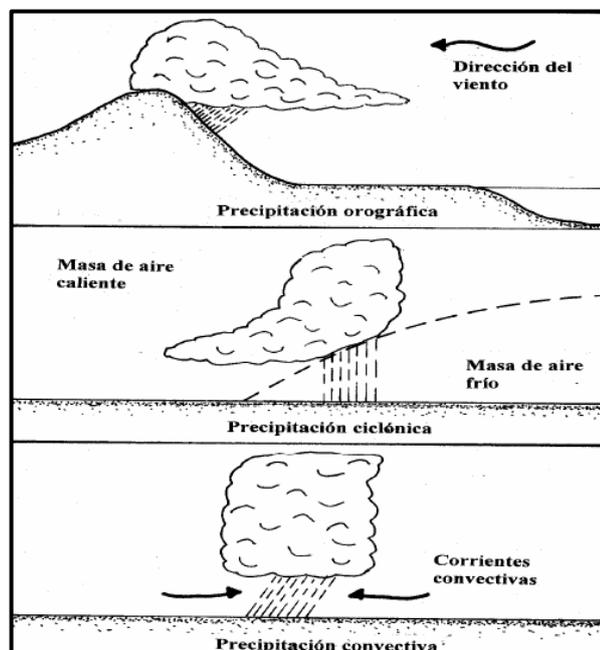
- **Precipitación Convectiva**
Tienen su origen en el hecho de que el aire caliente es más ligero que el aire frío circundante. La diferencia de temperatura puede deberse principalmente a la diferencia de calor diferencial en el territorio o en la capa superior de la capa de aire. La precipitación convectiva es puntual y su intensidad varía entre lluvia ligera y aguacero.

- **Precipitación Ciclónica**

Ocurren cuando se encuentran con nubes de diversas temperaturas: las nubes de una mayor temperatura son conducidas a los lugares más altos y se asientan allí.

- **Precipitación Orográfica**

Son el resultado de la elevación del aire caliente hacia un conjunto de montañas. Las zonas del otro lado de la montaña pueden tener la carencia de lluvia, porque todas las nubes son impedidas y precipitadas en la parte de donde tiene su origen. Esta es la situación en las zonas lluviosas de la selva alta en nuestro país. En el cual las nubes vienen de la selva baja.



FUENTE: Elaboración propia en base a Breña y Jacobo (Principios y fundamentos de la hidrología superficial), 2006.

Figura 6. Esquema representativo de los tipos de precipitación.

Medida de la Precipitación

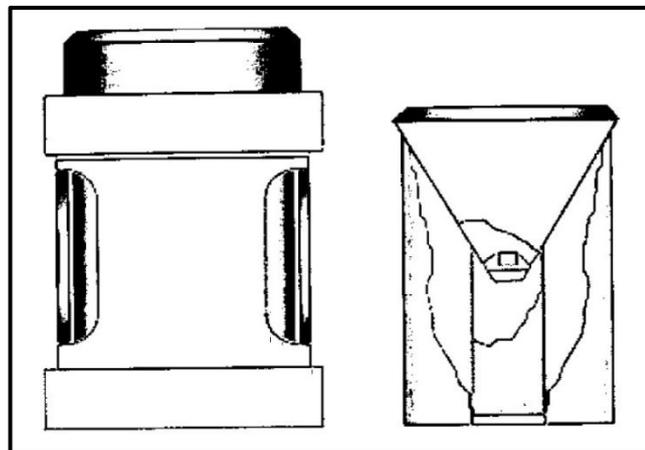
La precipitación es medida en modos de la altura de lámina de aguas (hp), generalmente está expresado en milímetros. La altura de lámina del agua precisa que la altura se almacenaría en una superficie horizontal, si la precipitación se quedara en el lugar que se cayó.

Los aparatos de medición, están basados en las condiciones climáticas expuestas al recipiente cilíndrico con una abertura en su parte superior, y recopila el agua de lluvia u otros tipos de precipitación en el recipiente y registra su altura. Estos aparatos de medición, están clasificados en conformidad con el registro de las precipitaciones (Villón, 2002).

- **Pluviómetro**

Es un recipiente de forma cilíndrica de lámina, con un diámetro de unos 20 cm y una altura de 60 cm. La tapa cilíndrica es un embudo receptor, que se informa con una probeta de sección, y la cual es diez veces más pequeña que la tapa, tal como se muestra en la Figura 7.

Ello otorga la medición de la altura de la lluvia en la probeta, hasta aproximadamente una décima de milímetro, porque cada centímetro medido en la muestra responde a una altura de lluvia de 1 mm. Para tomar una medida, se retira la probeta y se inserta la regla graduada para tomar una lectura, que suele leerse cada 24 horas.



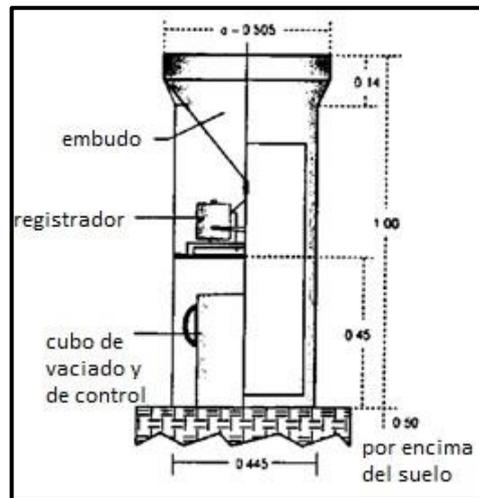
FUENTE: Elaboración propia en base a Villón (Hidrología), 2002.

Figura 7. Pluviómetro.

- **Pluviógrafo**

Es un instrumento en el cual se consigna la altura de lluvia en función del tiempo y ello posibilita establecer la magnitud de la precipitación. El pluviógrafo más común es cilíndrico y el embudo receptor está conectado a un método flotante que mueve la aguja

al papel registrador, montado en el sistema del reloj, tal como se muestra en la Figura 8. Como el papel registrador posee un determinado rango respecto de la altura del registro, cuando la aguja llega al borde superior, de manera automática vuelve al borde inferior y continúa registrando.



FUENTE: Elaboración propia en base a Villón (Hidrología), 2002.

Figura 8. Pluviógrafo.

Escurrimiento

El escurrimiento está definido como las aguas que provienen de las precipitaciones y que circulan sobre o bajo el territorio terrestre, llegando a la corriente, para finalizar con la descarga en la salida de la cuenca, es decir, una vez que el agua precipitada llega a la superficie terrestre (parte de ella es interceptada y evaporada), entonces fluirá por varios caminos hasta conseguir alcanzar a la salida de la cuenca.

Es conveniente la división de los caminos en tres categorías: escurrimiento superficial, escurrimiento subsuperficial y escurrimiento subterráneo (Aparicio, 1992).

- **Escurrimiento Superficial:** Proveniente de la precipitación no infiltrada, el cual es drenado sobre la superficie terrestre. El impacto en el escurrimiento total es directo y existirá inmediatamente luego de que termine.

La porción de la precipitación total que provoca el escurrimiento, es denominada precipitación en exceso. (Villón, 2002).

- **Escurrimiento Subsuperficial:** Proviene de una parte de la precipitación infiltrada. El efecto sobre el escurrimiento total, puede ser inmediato o retardado. Si es inmediato se le da el mismo tratamiento que al escurrimiento superficial, en caso contrario, como escurrimiento subterráneo (Villón, 2002).
- **Escurrimiento Subterráneo:** Tienen su origen desde las aguas subterráneas. El cual es cargado por la porción de la precipitación infiltrada, cuando el suelo llega a saturarse. (Villón, 2002).

Medición del Escurrimiento

Ninguna investigación de suministro de aguas superficiales, sistemas de alcantarillado residuales y pluviales, así como la disposición de aguas residuales, podría avanzar ante la fase de diseño, sin una total examinación del escurrimiento permanente, su intensidad y variación.

La medición de corriente en sí se basa en la comprensión del flujo de canal abierto. Hay varios aparatos de medida: flotadores, medidores de corriente, canales e instrumentos para levantamientos: las técnicas de medición incorporan trazadores radiactivos, materiales químicos, y tintes persistentes. Todo dispositivo y técnica posee sus ventajas y desventajas específicas, así como su rango particular de utilidad. Cuando se establece en una sección transversal estable y se calibra a través de un método apropiado, es requerido que la altura del calibrador se considere como la única medición del registro, preparándose los registros automáticos a través de los movimientos verticales de un flotador puesto en un pozo amortiguador. Las comprobaciones iniciales del escurrimiento real afianzan la veracidad de la curva de calibración que se vincula con la descarga medida a la altura establecida del medidor (Flores, 2016).

Estudio de una Tormenta

Una tormenta o borrasca se entiende como una serie de lluvias que siguen a la misma perturbación meteorológica y tiene índoles claramente establecidas. Según este concepto, las tormentas se pueden prolongar desde unos minutos hasta horas o incluso días, y pueden cubrir grandes extensiones de tierras muy variables. (Villón, 2002).

Importancia del Análisis de las Tormentas

Según Villón (2002), el análisis de las tormentas está íntimamente relacionado con los cálculos o estudios previos al diseño de obras de Ingeniería Hidráulica, como son:

- Estudio de drenaje.
- Determinación de caudales máximos, que deben pasar por el aliviadero de una respuesta, o que deben encausarse, para impedir las inundaciones.
- Determinación de la luz de un puente.
- Conservación de suelos.
- Cálculo del diámetro de alcantarillas.

La dimensión de estos proyectos depende fundamentalmente de la intensidad de las tormentas, la concurrencia y período de retorno, que a su vez establece el factor de seguridad dado al proyecto o la posible vida del proyecto.

Comprensiblemente, la mejor manera es diseñar obras para tormentas con la mayor magnitud y duración incierta, es decir, grandes dimensiones de la misma y por lógica hay una limitación. Después de eso, el gasto ya no compensará el riesgo que se piensa cubrir. Por tanto, en lo práctico, no se trata de buscar una protección absoluta, sino de defenderse de tormentas con características claras o una cierta probabilidad de ocurrencia.

Elementos del Análisis de las Tormentas

▪ La Intensidad

Es el volumen del agua que cae por unidad de tiempo. Lo realmente interesante de toda tormenta, es la magnitud máxima presentada, en otras palabras, es la altura máxima de agua caída por unidad de tiempo. Por tanto, la magnitud se expresa como:

$$i_{max} = \frac{P}{t}$$

Donde:

i_{max} : Intensidad máxima (mm/hora).

P : Precipitación en altura de agua (mm).

t : Tiempo (horas).

▪ **La Duración**

Es el lapso temporal transcurrido entre el inicio y el final de la tormenta. Es conveniente establecer un período de duración, el cual es un lapso temporal específico dentro de la duración total de la tormenta, tomado en minutos u horas. Es muy relevante al momento de determinar la intensidad máxima.

▪ **La Frecuencia**

Es la cantidad de veces que se repite la tormenta, y tiene la característica de que la intensidad o duración es en promedio prolongada, considerado normalmente en años.

▪ **Periodo de retorno**

Es el correspondiente a un lapso temporal promedio, en el cual un evento de magnitud x , puede ser igualado o sobrepasado, en promedio al menos una vez. Está representado por el inverso de la frecuencia, es decir:

$$T = \frac{1}{f}$$

Donde:

T : Periodo de retorno.

f : Frecuencia.

Además, según Villón (2002), si un intervalo igual o mayor a x ocurre una vez en T años, su probabilidad de ocurrencia P , es igual a 1 en T años”, es decir:

$$P = \frac{1}{T} \quad \text{ó} \quad T = \frac{1}{P}$$

Donde:

P : Probabilidad de ocurrencia.

T : Periodo de retorno.

Tabla 2. Periodos de retorno para distintos tipos de estructuras.

TIPO DE ESTRUCTURA	PERIODO DE RETORNO (Años)
Puente sobre carretera importante.	50 – 100
Puente sobre carretera menos importante o alcantarillas sobre carretera importante.	25

Alcantarillas sobre camino secundario.	5 – 10
Drenaje lateral de los pavimentos, donde puede tolerarse encharcamiento con lluvia de corta duración.	1 – 2
Drenaje de aeropuertos.	5
Drenaje urbano.	2 – 10
Drenaje agrícola.	5 – 10
Muros de encauzamiento.	2 – 50
Nota: Puede aumentar si estas obras protegen poblados de importancia.	

FUENTE: Elaboración propia en base a Villón (Hidrología), 2002.

En la Tabla 2 se puede apreciar los valores de los periodos de retorno para distintas estructuras de obras hidráulicas, el cual una vez definido el tipo de obra a considerar, es posible determinar la probabilidad de ocurrencia con las fórmulas descritas anteriormente.

- **Tiempo de Concentración**

Este es lapso temporal que tarda una gota de agua en llegar desde el punto hidráulicamente más lejano hasta la salida de la cuenca.

Después del tiempo de concentración, se podría tener en consideración que toda la cuenca aporta a la salida. Dado que hay una vinculación contraria entre la duración de la tormenta y su magnitud (cuanto mayor sea la duración, la intensidad disminuirá), se supone que la duración crítica es igual al tiempo de concentración t_c . El tiempo de concentración verdadero cuenta de varios aspectos, incluida la geometría del plano de la cuenca (una cuenca alargada tendrá un tiempo de concentración más largo), de la pendiente, porque una pendiente más grande producirá un flujo más rápido y menos tiempo de concentración de la zona, cobertura vegetal, las características del suelo, entre otros. Las fórmulas más recurrentes solo incorporan la pendiente, lo largo del cauce mayor desde la divisoria y el área (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2011).

Además, según la norma OS.060 de RNE (Drenaje Pluvial Urbano), establece que el tiempo de concentración no tiene que ser menor a 10 minutos bajo ninguna circunstancia.

La Tabla 3, da algunas ecuaciones para calcular el tiempo de concentración de este estudio, en base a las características de la cuenca urbana, cuya tabla es la siguiente:

Tabla 3. Fórmulas para el cálculo del tiempo de concentración.

MÉTODO Y FECHA	FÓRMULA PARA t_c (minutos)	OBSERVACIONES
Kirpich (1940)	$t_c = 0.01947 \cdot L^{0.77} \cdot S^{-0.385}$ <p>Donde: L: Longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida, m. S: Pendiente promedio de la cuenca, m/m.</p>	Desarrollada a partir de información del SCS en siete cuencas rurales de Tennessee con canales bien definidos y pendientes empinadas (3 a 10%); para flujo superficial en superficies de concreto o asfalto se debe multiplicar t_c por 0.4; para canales de concreto se debe multiplicar por 0.2; no se debe hacer ningún ajuste para flujo superficial en suelo descubierto o para flujo en cunetas.
Federal Aviation Administration (1970)	$t_c = 0.7035 \cdot \frac{(1.1 - C) \cdot L^{0.50}}{S^{0.333}}$ <p>Donde: C: Coeficiente de escorrentía del método racional. L: Longitud del flujo superficial, m. S: Pendiente de la superficie, m/m.</p>	Desarrollada de información sobre el drenaje de aeropuertos recopilada por el Corps of Engineers: el método tiene como finalidad el ser usado en problemas de drenaje de aeropuertos, pero ha sido frecuentemente usado para flujo superficial en cuencas urbanas.
Ecuación de retardo SCS (1973)	$t_c = \frac{0.0136 \cdot L^{0.80} \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0.70}}{S^{0.50}}$ <p>Donde: L: Longitud hidráulica de la cuenca (mayor trayectoria del flujo), m. CN: Número de curva SCS S: Pendiente promedio de la cuenca, m/m.</p>	Ecuación desarrollada por el SCS a partir de información de cuencas de uso agrícola; ha sido adaptada a pequeñas cuencas urbanas con áreas inferiores a 810 has; se ha encontrado que generalmente es buena cuando el área se encuentra completamente pavimentada; para áreas mixtas tiene tendencia a la sobreestimación; se aplican factores de ajuste para corregir efectos de mejoras en canales e impermeabilización de superficies; la ecuación supone que $t_c = 1.67$ veces el retardo de la cuenca.

FUENTE: Elaboración propia en base al Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Manual de hidrología, hidráulica y drenaje), 2011.

Los métodos descritos en la Tabla 3 requieren para su determinación, los datos de longitud hidráulica de la cuenca o del cauce principal, con su respectiva pendiente, que gracias a la información topográfica es posible determinarlos. Así también, requieren los valores del coeficiente de escorrentía “C” del método racional, y los valores del número de curva “CN” del SCS (Soil Conservation Service).

Seguidamente, se describen la manera de determinar los coeficientes de escorrentía y el número de curva:

Determinación del Coeficiente de Escorrentía

La escorrentía, es decir, el agua que llega al cauce de evacuación, representa una fracción de la precipitación total. A esa fracción se le denomina coeficiente de escorrentía, que no tiene dimensiones y se representa con la letra C (Villón, 2002).

$$C = \frac{V \text{ escorrentía superficial total}}{V \text{ precipitado total}}$$

El valor de C depende de factores topográficos, edafológicos, cobertura vegetal, etc.

Según Martínez de Azagra (2006), el coeficiente de escorrentía está condicionado a muchos factores: el tipo de precipitación (lluvia, nieve o granizo), el volumen, la intensidad y distribución temporal; de la humedad inicial en el suelo; el tipo del suelo (granulometría, pendiente, grado de compactación, textura, estructura, materia orgánica, microrrelieve, rugosidad), el tipo de vegetación existente; de la intercepción causada; el período de tiempo que consideramos (minutos, duración de la fuga, horas, días, meses, un año), entre otros.

En la siguiente tabla, se muestra los coeficientes de escorrentía para ser utilizados en el Método Racional.

Tabla 4. Coeficientes de escorrentía utilizados en el Método Racional.

CARACTERÍSTICAS DE LA SUPERFICIE	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)						
	2	5	10	25	50	100	500
ÁREAS URBANAS							
Asfalto	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto/Techos	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (jardines, parques, etc.)							
Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área)							
Plano 0 – 2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio 2 – 7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente Superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Condición promedio (cubierta de pasto menor del 50% al 75% del área)							
Plano 0 – 2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio 2 – 7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente Superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75% del área)							
Plano 0 – 2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio 2 – 7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente Superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58

ÁREAS NO DESARROLLADAS							
Área de Cultivos							
Plano 0 – 2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio 2 – 7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente Superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales							
Plano 0 – 2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio 2 – 7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente Superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Bosques							
Plano 0 – 2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio 2 – 7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente Superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

FUENTE: Elaboración propia en base al Reglamento Nacional de Edificaciones (OS.060), 2019

Determinación del Número de Curva CN

Según Quispe y Rojas (2015), los números de curva han sido tabulados por el SCS (Soil Conservation Service) con base al tipo de suelo y uso de la tierra. Se definen cuatro grupos:

- **Grupo A:** Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.
- **Grupo B:** Suelos poco profundos depositados por el viento, marga arenosa.
- **Grupo C:** Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.
- **Grupo D:** Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

En la Tabla 5 se describen los valores de CN para varios tipos de uso de suelo. Además, Chow (1994) recomienda que para una cuenca hecha de varios tipos de suelos y con diferentes usos de la tierra, es posible calcular un CN compuesto.

Tabla 5. Número de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana.

DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA	GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO			
	A	B	C	D
Tierra cultivada:				
- Sin tratamientos de conservación.	72	81	88	91
- Con tratamientos de conservación.	62	71	78	81
Pastizales:				

- Condiciones pobres.	68	79	86	89
- Condiciones óptimas.	39	61	74	80
Vegas de ríos: Condiciones óptimas.	30	58	71	78
Bosques:				
- Troncos delgados, cubierta pobre, sin hierba.	45	66	77	83
- Cubierta buena.	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.				
- Óptimas condiciones: Cubierta de pasto en el 75% o más.	39	61	74	80
- Condiciones aceptables: Cubierta de pasto entre el 50 al 75%.	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables).	89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables).	81	88	91	93
Residencial:				
Tamaño promedio del lote Porcentaje promedio impermeable				
1/8 acre o menos 65	77	85	90	92
1/4 acre 38	61	75	83	87
1/3 acre 30	57	72	81	86
1/2 acre 25	54	70	80	85
1 acre 20	51	68	79	84
Parqueadores pavimentados, techos, accesos, etc.	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
- Pavimentados con cunetas y alcantarillados.	98	98	98	98
- Grava.	76	85	89	91
- Tierra.	72	82	87	89

FUENTE: Elaboración propia en base a Chow (Hidrología aplicada), 1994.

Determinación de la Tormenta de Diseño

Uno de los primordiales escalones en varios proyectos de diseño es determinar qué evento de lluvia usar.

Las tormentas de diseño son patrones de precipitación definidos que se utilizan en el diseño de sistemas hidrológicos. Normalmente, las tormentas están diseñadas para formar la entrada al sistema, y los caudales resultantes mediante éste, se realiza el cálculo empleando procesos de lluvia-escorrentía y tránsito de caudales. La tormenta de diseño se puede definir por el valor de la intensidad de precipitación en un punto y el hietograma de diseño que explique la difusión del tiempo de precipitación a lo largo de la tormenta.

Las tormentas de diseño podrían estar basados en los datos históricos de precipitación en una región, o podrían construirse usando elementos genéricos de precipitación en zonas adyacentes.

Con el fin de determinar la tormenta de diseño, se sugiere obtener los datos mediante el pluviógrafo, ya que el dispositivo puede proporcionar información inmediata. Pero, gran parte de los pluviómetros en las estaciones de medición

solo proporcionan valores promedio (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC]), 2011).

Para la presente investigación sólo se cuenta con información pluviométrica obtenida del SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología) perteneciente a la Estación Meteorológica de Huánuco, para un registro histórico de 25 años (1994 – 2018).

Análisis Estadístico de Datos Hidrológicos

El análisis estadístico implica la parametrización de conjuntos de datos (precipitaciones o caudales) para inferir y comprender los próximos eventos.

Para seleccionar la precipitación de diseño, primero se debe revisar los registros pluviográficos conseguidos de la estación meteorológica cercana al departamento de investigación.

Modelos de Distribución para la Determinación de Intensidades Máximas de Precipitación

Según el MTC (2011), el análisis de frecuencias tiene la finalidad de estimar precipitaciones, intensidades o caudales máximos, según sea el caso, para diferentes períodos de retorno, mediante la aplicación de modelos probabilísticos, los cuales pueden ser discretos o continuos.

En estadística, hay varias funciones de distribución de probabilidad teóricas. Se recomienda el uso de las siguientes funciones:

- **Distribución Normal**

La función de densidad de probabilidad normal se define como:

$$f(x) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{S}\right)^2} \dots (\alpha)$$

Donde:

$f(x)$: Función densidad normal de la variable x .

x : Variable independiente.

μ : Parámetro de localización, igual a la media aritmética de x .

S : Parámetro de escala, igual a la desviación estándar de x .

- **Distribución Log Normal 2 Parámetros**

La función de distribución de probabilidad es:

$$P(x \leq x_i) = \frac{1}{S\sqrt{(2\pi)}} \cdot \int_{-\infty}^{x_i} e^{\left(-\frac{(x-\bar{X})^2}{2S^2}\right)} \cdot dx$$

Donde \bar{X} y S son los parámetros de la distribución.

Si la variable x de la ecuación (α) se reemplaza por una función $y = f(x)$, tal que $y = \log x$, la función puede normalizarse, transformándose en una ley de probabilidades denominada *log-normal*, $N(Y, S_y)$. Los valores originales de la variable aleatoria x , deben ser transformados a $y = \log x$, de tal manera que:

$$\bar{Y} = \sum_{i=1}^n \log \frac{x_i}{n}$$

Donde \bar{Y} es la media de los datos de la muestra transformada.

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}{n - 1}}$$

Donde S_y es la desviación estándar de los datos de la muestra transformada.

Asimismo; se tiene las siguientes relaciones:

$$Cs = \frac{a}{S^3 y}$$

$$a = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^3$$

Donde Cs es el coeficiente de oblicuidad de los datos de la muestra transformada.

- **Distribución Log Normal 3 Parámetros**

La función de densidad de x es:

$$f(x) = \frac{1}{(x - x_0)\sqrt{(2\pi)S_y}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x-x_0)-u_y}{s_y}\right)^2}$$

Para $x > x_0$

Donde:

x_0 : Parámetro de posición.

U_y : Parámetro de escala o media.

S_y^2 : Parámetro de forma o varianza.

▪ **Distribución Gamma 2 Parámetros**

La función de densidad es:

$$f(x) = \frac{x^{\gamma-1} \cdot e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \cdot \Gamma(\gamma)}$$

Válido para:

$$0 \leq x < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

Donde:

γ : Parámetro de forma.

β : Parámetro de escala.

▪ **Distribución Gamma 3 Parámetros**

La función de densidad es:

$$f(x) = \frac{(x - x_0)^{\gamma-1} \cdot e^{-\frac{(x-x_0)}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \cdot \Gamma(\gamma)}$$

Válido para:

$$x_0 \leq x < \infty$$

$$-\infty < x_0 < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

Donde:

x_0 : Origen de la variable x, parámetro de posición.

γ : Parámetro de forma.

β : Parámetro de escala.

▪ **Distribución Log Pearson Tipo III**

La función de densidad es:

$$f(x) = \frac{(\ln x - x_0)^{\gamma-1} \cdot e^{-\frac{(\ln x - x_0)}{\beta}}}{x \beta^{\gamma} \cdot \Gamma(\gamma)}$$

Válido para:

$$x_0 \leq x < \infty$$

$$-\infty < x_0 < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

Donde:

x_0 : Parámetro de posición.

γ : Parámetro de forma.

β : Parámetro de escala.

▪ **Distribución Gumbel**

La distribución de Valores Tipo I conocida como Distribución Gumbel o Doble Exponencial, tiene como función de distribución de probabilidades la siguiente expresión:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$$

Utilizando el método de momentos, se obtienen las siguientes relaciones:

$$\alpha = \frac{1.2825}{\sigma}$$

$$\beta = \mu - 0.45\sigma$$

Donde:

α : Parámetro de concentración.

β : Parámetro de localización.

Además, la distribución puede expresarse de la siguiente forma:

$$x = \bar{x} + k \cdot \sigma_x$$

Donde:

k : Valor con una probabilidad dada.

\bar{x} : Media de la serie.

k : Factor de frecuencia.

▪ **Distribución Log Gumbel**

La variable aleatoria reducida log gumbel, se define como:

$$y = \frac{\ln x - \mu}{\alpha}$$

Con lo cual, la función acumulada reducida log gumbel es:

$$G(y) = e^{-e^{-y}}$$

Según Flores (2016), el procedimiento para la distribución de Gumbel se realiza de la siguiente manera.

- a) Se selecciona todas las precipitaciones máximas diarias (24h) y mensuales, se ordenan de forma ascendente.
- b) Se obtienen los parámetros estadísticos, tales como la media y la desviación estándar.
- c) Se ajusta a una distribución de probabilidades para el caso de Gumbel.
- d) Se obtienen los parámetros de la distribución.
- e) Se convertirán los datos de precipitaciones máximas de las series a intensidades máximas.
- f) Se realiza el cálculo de las intensidades máximas para cada período de retorno y duración.

Para el presente estudio, el análisis de distribuciones se realizará con el software computacional HIDROESTA 2, el cual presenta los ocho modelos de distribución probabilística descritos anteriormente; por consiguiente, fue necesario conocer las fórmulas que lo definen.

Prueba de Bondad de Ajuste

Es una prueba de hipótesis que se utiliza para evaluar si un conjunto de datos es una muestra independiente de la distribución elegida (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2011).

Prueba de Kolmogorov – Smirnov

Esta es una forma de comprobar la bondad de ajuste de la distribución, y además posibilita la elección más representativa, es decir, la más adecuada.

Esta prueba implica comparar el valor absoluto máximo de la diferencia "D" entre la función de distribución de probabilidad observada $F_0(x_m)$ y la estimada $F(x_m)$.

$$D = \max |F_0(x_m) - F(x_m)|$$

Tal como se muestra en la Tabla 6, el valor crítico "d" depende de la cantidad de datos y el nivel de significancia seleccionados. Si $D < d$, se acepta la hipótesis nula. Además, en teoría estadística, el valor del nivel de significancia α , es la probabilidad de rechazar la hipótesis nula.

H_0 = La función de distribución de probabilidad es $D(\alpha, \beta, \dots)$, cuando en realidad es cierta.

La función de distribución de probabilidad observada se calcula como:

$$F_0(x_m) = 1 - \frac{m}{n + 1}$$

Donde "m" es el número de orden del dato x_m en una lista de mayor a menor y "n" es el número total de datos (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2011).

Tabla 6. Valores de ajuste para la prueba de Kolmogorov – Smirnov.

α n	0.01	0.05	0.10	0.15	0.20
1	0.995	0.975	0.950	0.925	0.900
2	0.929	0.842	0.776	0.726	0.684
3	0.828	0.708	0.642	0.597	0.565
4	0.733	0.624	0.564	0.525	0.494
5	0.669	0.565	0.510	0.474	0.446
6	0.618	0.521	0.470	0.436	0.410
7	0.577	0.486	0.438	0.405	0.381
8	0.543	0.457	0.411	0.381	0.358
9	0.514	0.432	0.388	0.360	0.339
10	0.490	0.410	0.368	0.342	0.322
11	0.468	0.391	0.352	0.326	0.307
12	0.450	0.375	0.338	0.313	0.295
13	0.433	0.361	0.325	0.302	0.284
14	0.418	0.349	0.314	0.292	0.274
15	0.404	0.338	0.304	0.283	0.266
16	0.392	0.328	0.295	0.274	0.258
17	0.381	0.318	0.286	0.266	0.250
18	0.371	0.309	0.278	0.259	0.244
19	0.363	0.301	0.272	0.252	0.237
20	0.356	0.294	0.264	0.246	0.231
25	0.320	0.270	0.240	0.220	0.210
30	0.290	0.240	0.220	0.200	0.190
35	0.270	0.230	0.210	0.190	0.180
40	0.250	0.210	0.190	0.180	0.170
45	0.240	0.200	0.180	0.170	0.160
50	0.230	0.190	0.170	0.160	0.150
OVER 50	1.63 $\frac{1.63}{\sqrt{n}}$	1.36 $\frac{1.36}{\sqrt{n}}$	1.22 $\frac{1.22}{\sqrt{n}}$	1.14 $\frac{1.14}{\sqrt{n}}$	1.07 $\frac{1.07}{\sqrt{n}}$

FUENTE: Elaboración propia en base al Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Manual de hidrología, hidráulica y drenaje), 2011.

Así también, para el presente estudio, la prueba de bondad de ajuste se determina también mediante el software computacional HIDROESTA 2, lo cual simplifica los cálculos y el proceso de análisis de la información.

Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia

La intensidad es la tasa de precipitación instantánea, que es la profundidad por unidad de tiempo (mm/h). Puede ser la intensidad instantánea o la intensidad media durante la lluvia. Se suele utilizar la intensidad media, que se puede expresar como:

$$i = \frac{P}{T_d}$$

Donde:

i : Intensidad de lluvia de diseño (mm/h).

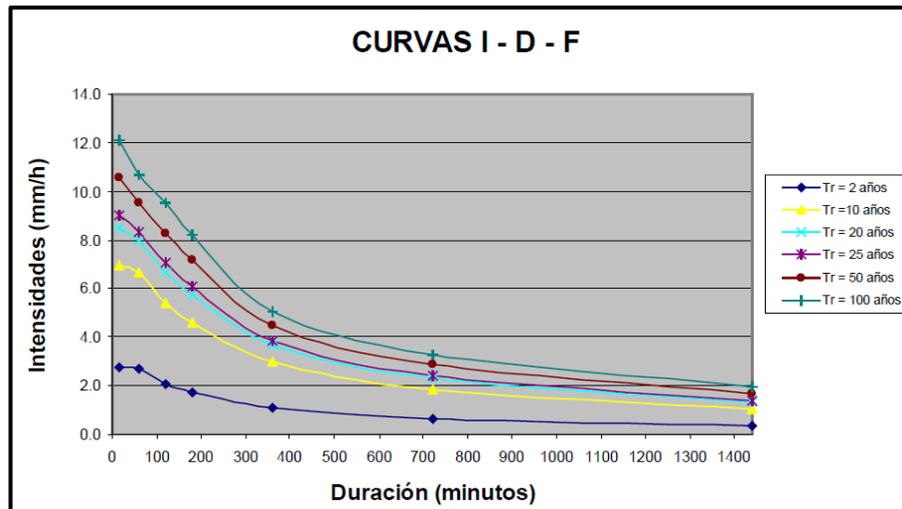
P : Precipitación (mm).

T_d : Duración (horas).

La frecuencia se expresa en función del período de retorno, T , que es el intervalo de tiempo promedio entre eventos de precipitación que igualan o exceden la magnitud de diseño (Chow, 1994).

El valor de frecuencia nos proporciona una base de juicio para el cálculo antes del diseño de obras de Ingeniería. Por tanto, es conveniente expresar estos valores de otras formas que sean más fáciles de administrar y más fáciles de leer, para que puedan insertar valores que no estén incluidos en la tabla.

Tal como se refleja en la Figura 9, un conjunto de curvas de duración-intensidad-frecuencia, nos permiten conocer el valor de la intensidad máxima en un área determinada y el tiempo de referencia que ocurrió en un período de tiempo determinado.



FUENTE: Elaboración propia en base al Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Manual de hidrología, hidráulica y drenaje), 2011.

Figura 9. Curva Intensidad, Duración y Frecuencia.

Modelo de Frederich Bell

Según Paredes (2015), el modelo de Frederich Bell permite calcular la lluvia máxima en función del periodo de retorno, la duración de la tormenta en minutos y la precipitación máxima de una hora de duración y periodo de retorno de 10 años.

La expresión es la siguiente:

$$P_D^T = (0.21 * \ln T + 0.52) * (0.54D^{0.25} - 0.50) * P_{60}^{10}$$

Siendo:

$$P_{60}^{10} = P_{24h} * \left(\frac{D}{1440} \right)^{0.25}$$

Donde:

P_D^T : Precipitación en t minutos con periodo de retorno de T años (mm).

T : Periodo de retorno (años).

D : Duración para 01 hora (min).

P_{60}^{10} : Precipitación caída en 60 minutos con T=10 años (mm).

P_{24h} : Precipitación máxima en 24 horas para T=10 años (mm).

Ecuación que relaciona las Curvas IDF

Según Aparicio (2003), Existe una forma de correlacionar una familia de curvas al mismo tiempo, la ecuación es la siguiente:

$$I = \frac{KT^m}{(D + C)^n}$$

Donde:

I : Intensidad (mm/hr).

K, m, n y C: Constantes que se calculan mediante un análisis de correlación lineal múltiple.

T : Periodo de retorno (años).

D : Tiempo de duración (min).

Según Paredes (2015), si los datos se agrupan lo suficiente en torno a líneas rectas, el valor de C puede tomarse como cero. Entonces la ecuación descrita anterior queda expresa de la siguiente manera:

$$I = \frac{KT^m}{D^n}$$

Tomando logaritmos, se tiene:

$$\log I = \log K + m \log T - n \log D$$

O bien:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2$$

Donde:

$$y = \log I, a_0 = \log K, a_1 = m, x_1 = \log T, a_2 = -n, x_2 = D$$

Al realizar un ajuste de correlación lineal múltiple en un conjunto de tres tipos de datos, se pueden obtener las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned}\sum y &= a_0N + a_1\sum x_1 + a_2\sum x_2 \\ \sum(x_1 \cdot y) &= a_0\sum x_1 + a_1\sum(x_1)^2 + a_2\sum(x_1 \cdot x_2) \\ \sum(x_2 \cdot y) &= a_0\sum x_2 + a_1\sum(x_1 \cdot x_2) + a_2\sum(x_2)^2\end{aligned}$$

Donde:

x_1, x_2, y : Logaritmos del periodo de retorno.

N : Número de datos.

a_0 : Representa el valor del $\text{Log}(K)$.

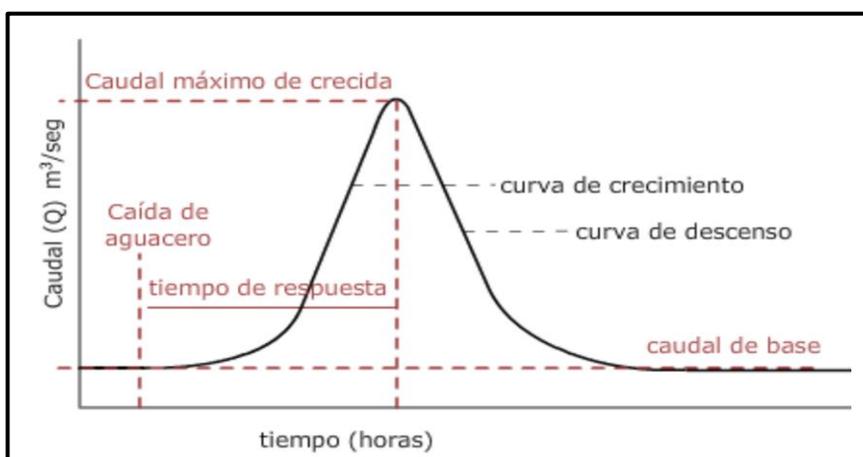
a_1 : Representa el valor de m .

a_2 : Representa el valor de $-n$.

Hidrograma

Según Cardenas (2006), un hidrograma de escorrentía o caudal es una representación gráfica o tabular, que muestra los cambios de flujo en función del tiempo en un lugar dado de un cauce. En consecuencia, el hidrograma es una expresión integral de las características fisiográficas y climáticas que rigen las relaciones entre la lluvia y la escorrentía de una cuenca en particular.

La siguiente figura muestra los componentes del diagrama de flujo hidrológico durante una tormenta.



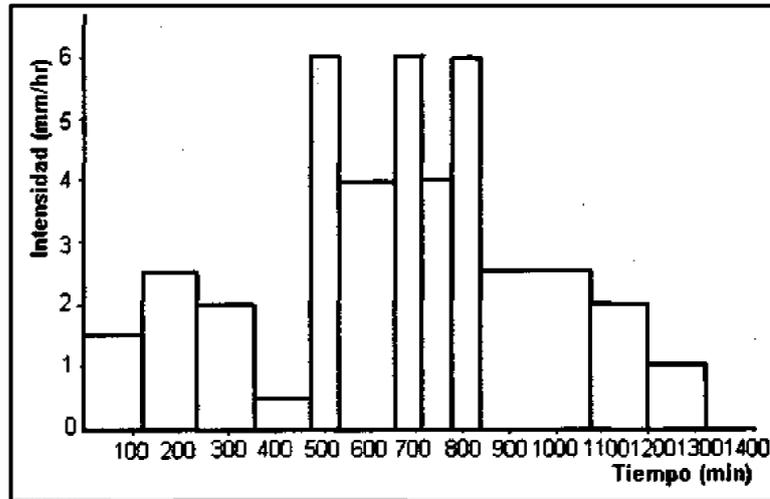
FUENTE: Elaboración propia en base al Centro Aragonés de Tecnologías para la Educación (Parámetros que definen los cursos fluviales), 2019.

Figura 10. Hidrograma.

Hietograma de diseño

Según Villón (2002), es un diagrama de forma escalonada a un histograma, que equivale el cambio en la intensidad de la tormenta, expresado en milímetros por hora y en minutos u horas durante la tormenta. En la siguiente

imagen, se visualiza esta conexión correspondiente a la tormenta registrada en el pluviograma.



FUENTE: Elaboración propia en base a Villón (Hidrología), 2002.

Figura 11. Hietograma de precipitación.

Además, matemáticamente el gráfico representa la siguiente relación:

$$i = \frac{dP}{dt}$$

Donde:

i : Intensidad (mm/h).

P : Precipitación (mm).

t : Tiempo (min).

2.2.2. Sedimentación de Sólidos

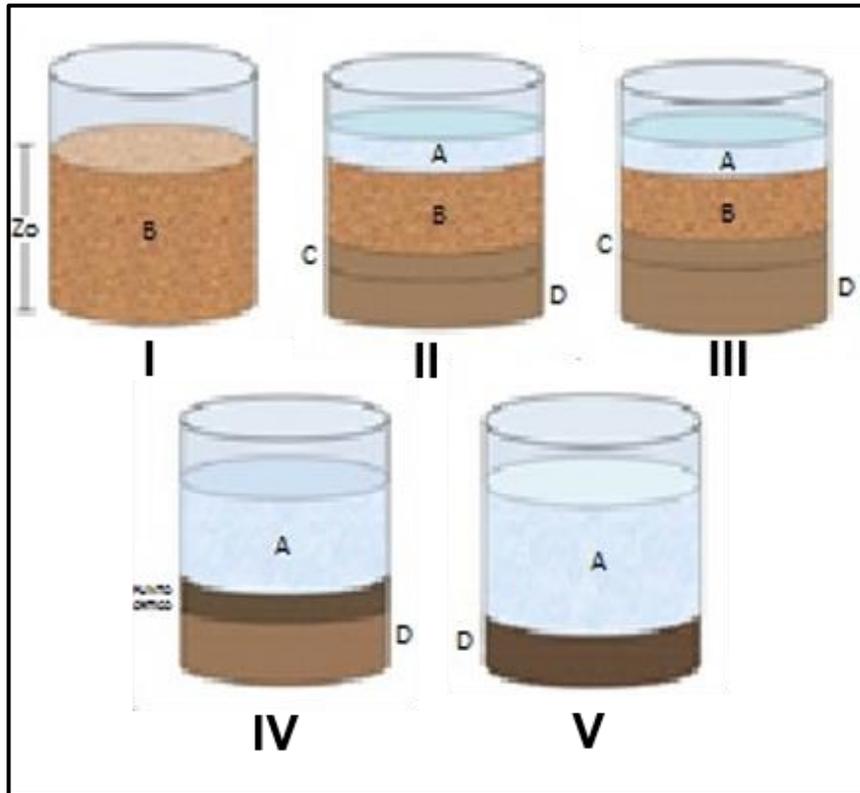
La sedimentación es una actividad unitaria que implica la eliminación por gravedad de partículas en suspensión que son más pesadas que un fluido. Dichas partículas pueden ser gotas sólidas o líquidas, y el fluido puede ser líquido o gaseoso y estar en un estado estático o en traslado.

En el momento de que se genera la sedimentación de la suspensión de partículas, el resultado siempre será un líquido transparente y una suspensión más concentrada. Los términos "clarificación" y "espesamiento" se utilizan a menudo para indicar la sedimentación. Es mencionado la clarificación en el momento que hay un especial interés en el fluido clarificado, y de

espesamiento en el momento que se muestra el interés en la suspensión concentrada.

Generalmente, el proceso de sedimentación es el siguiente:

- Primero, dispersaremos uniformemente la suspensión en el líquido y la prepararemos para que se sedimente, llamada B (Figura 12-I). La profundidad total de la suspensión es Z_0 .
- La primera aparición de sólidos sedimentados se observa en la capa inferior del recipiente, lo llamamos D. En la parte superior de la capa D se forma una región C, que es una capa de transición, cuyo contenido de sólidos varía desde el de la pulpa original hasta el de la zona D. La capa superior del área B es el área A, que es un líquido transparente (Figura 12-II).
- A medida que avanza la deposición, el grosor de las regiones D y A aumenta, el grosor de la región C permanece constante y el grosor de la región B disminuye (Figura 12-III).
- Luego, las áreas B y C desaparecen, y todos los sólidos quedan en el área D, por lo que comienza un novedoso efecto denominado compresión. El momento en que ocurre la compresión por primera vez se llama punto crítico. Durante el proceso de compresión, parte del líquido contenido en los flóculos será expulsado de la zona D, formando un pequeño chorro, y el espesor de la zona disminuirá (Figura 12-IV).
- Finalmente, cuando el peso sólido alcanza el equilibrio mecánico de la resistencia a la compresión del flóculo, el proceso de sedimentación se detiene. En este punto, el limo alcanza su altura final (Figura 12-V).



FUENTE: Elaboración propia en base al Instituto Tecnológico de Veracruz (Proceso de separación I - Sedimentadores), 2012.

Figura 12. Proceso de sedimentación de partículas.

Las partículas en suspensión se depositan de diferentes formas, según las clases de las partículas y su concentración. Por lo tanto, podríamos aludir a la sedimentación de partículas discretas, la sedimentación de partículas floculentas y la sedimentación de caída libre e interferida.

- a) **Sedimentación de partículas discretas:** Son aquellas que no hay variaciones en sus cualidades (forma, tamaño, densidad) durante la caída. El proceso de depósito de partículas discretas se denominan sedimentación o sedimentación simple. Este tipo de partículas y este tipo de sedimentación ocurre en los desarenadores, sedimentadores y pre-sedimentadores, como una etapa antes de la acumulación en el equipo de filtración rápida, y además pasa en los sedimentadores como una fase que antecede a la filtración lenta.

b) Sedimentación de partículas floculentas: Se denomina sedimentación floculenta o decantación al proceso de depósito de partículas floculentas.

Si las partículas son muy pequeñas aparece el movimiento browniano, que es un movimiento al azar debido a las colisiones de la partícula con las moléculas de fluido que la rodean. Este efecto se aprecia para tamaños de partícula del orden de 2 a 3, μm . El movimiento al azar de la partícula tiende a suprimir el efecto de la fuerza de la gravedad de forma que no se produce la sedimentación.

Para separar partículas finas de diámetros de unos pocos micrómetros o inferiores, las velocidades de sedimentación resultan demasiado bajas y para que la operación pueda realizarse, es preciso aglomerar o flocular las partículas para formar partículas grandes que posean una velocidad de sedimentación razonable.

Partículas floculentas son aquellas producidas por la aglomeración de partículas coloides desestabilizadas a consecuencia de la aplicación de agentes químicos. A diferencia de las partículas discretas, las características de este tipo de partículas, según su forma, tamaño, densidad, sí cambian durante la caída.

Muchos limos constan de partículas con cargas eléctricas, positivas o negativas, y debido a la repulsión de cargas iguales, las partículas tienden a dispersarse. Si se añade un electrólito, los iones que se forman en la disolución neutralizan las cargas de las partículas, que pueden entonces aglomerarse y formar flóculos de mayor tamaño. Cuando las partículas originales están cargadas negativamente será efectivo el catión del electrólito, mientras que cuando la carga es positiva el activo será el anión. En cualquier caso, cuanto mayor es la valencia del ion, más eficaz es el ion como agente de floculación. Otros métodos de floculación incluyen el uso de agentes superficialmente activos y la adición de materiales tales como la cola, caliza, alúmina o silicato sódico, que arrastran con

ellos las partículas. En un limo convenientemente tratado los flóculos son visibles a simple vista.

Las partículas floculadas poseen dos importantes características de sedimentación: la primera de ellas es la complicada estructura de los flóculos. Los agregados poseen débiles enlaces entre las partículas y retienen una considerable cantidad de agua en sus estructuras, que acompaña a los flóculos en la sedimentación.

Aunque inicialmente los flóculos sedimentan de forma libre o impedida, y por tanto son aplicables en principio las ecuaciones habituales, no resulta práctico utilizar cuantitativamente las leyes de la sedimentación debido a que el diámetro y la forma de un flóculo no se pueden definir fácilmente.

Este tipo de sedimentación se presenta en la clarificación de aguas, como proceso intermedio entre la coagulación – floculación y la filtración rápida.

- c) Sedimentación por caída libre e interferida:** Cuando la concentración de partículas en el agua es baja y las partículas están lo suficientemente lejos del límite entre el recipiente y otras partículas, de modo que no afecten su caída y sedimentación sin ser perturbadas, este proceso se denomina sedimentación libre.

Por otro lado, si el movimiento de las partículas es obstruido por otras partículas (este también es el caso cuando las partículas están cerca unas de otras o incluso no están en contacto), el proceso se denomina sedimentación impedida, y cuando ocurren altas concentraciones de partículas, causarán colisiones, manteniendo una posición fija y sucede un depósito masivo en lugar de individual.

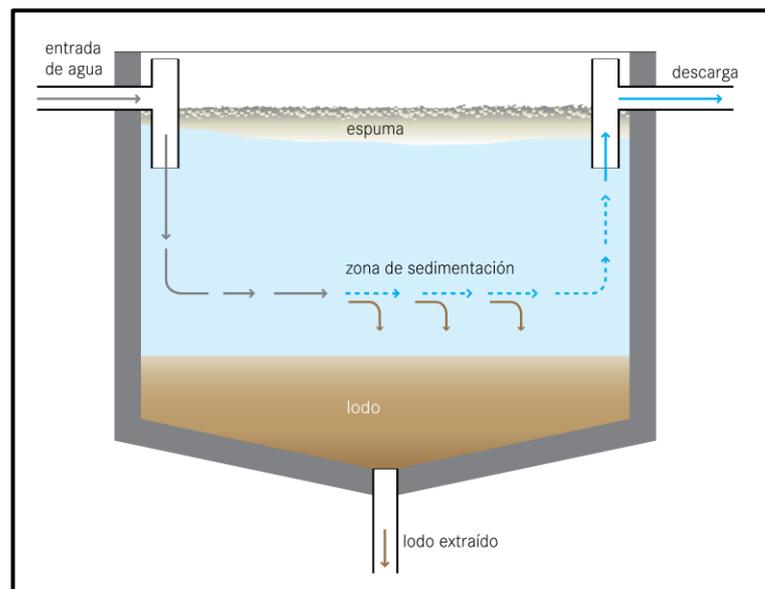
El propósito de este método es sacar partículas de una corriente de fluidez para suprimir contaminantes del fluido o recuperar partículas, por ejemplo, para eliminar el polvo y los gases de humos de aire o los gases de combustión, o para eliminar los sólidos de

líquido residual. En otros casos, las partículas cesan intencionalmente en el fluido para separarlas en partes de las diversas densidades. Luego, el fluido se podría recuperar de las partículas fraccionadas.

Sedimentadores

Según la Organización Panamericana de la Salud (2005), un sedimentador es similar objeto al desarenador, pero correspondiente a la remoción de partículas inferiores a 0.20 mm y superiores a 0.05 mm.

Además, según Tilley (2018), el sedimentador es una tecnología diseñada para suprimir sólidos cesados mediante sedimentación. Además, es llamado decantador, tanque de sedimentación o tanque de asentamiento. El bajo caudal en el sedimentador hace que las partículas sedimentadas se asienten, por lo tanto, los componentes menos pesados que el agua flotan hacia la superficie. La siguiente figura muestra el tanque de sedimentación mencionado.



FUENTE: Elaboración propia en base a Tilley (Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento), 2018.

Figura 13. Tanque de sedimentación independiente.

El sedimentador puede reducir significativamente los sólidos suspendidos (eliminación del 50 % al 70 %) y la materia orgánica (eliminación del 20 % al 40 %), y puede ser un tanque de agua separado o integrado en una unidad de tratamiento combinado.

El propósito principal del sedimentador es promover la sedimentación reduciendo la turbulencia y la velocidad. El tanque de almacenamiento debe estar diseñado para asegurar un desempeño satisfactorio al flujo máximo. Para evitar cortocircuitos y corrientes inducidas, además de preservar la espuma en la laguna, es relevante crear una salida y una entrada, y estar equipado con un eficaz sistema de difusión y recolección (divisor, vertedero o tubo en T).

Los sedimentadores también se pueden instalar como depósitos de agua de lluvia para eliminar algunos sólidos orgánicos, de lo contrario, estos sólidos orgánicos se descargarán directamente al medio ambiente.

Generalmente, hay sedimentadores circulares y rectangulares. El primero es más adecuado para plantas pequeñas porque el sistema de eliminación de lodos es más sencillo y necesita un menor cuidado. El segundo, son más adecuados para entornos urbanos, porque son más estables hidráulicamente y más fáciles de controlar el flujo de grandes cantidades de agua.

Aspectos de salud y aceptación

Para evitar la liberación de gases fétidos, el lodo debe retirarse con frecuencia. El lodo y la espuma tienen que manipularse con precaución porque limitan los altos niveles de patógenos y necesitan tratamiento adicional y eliminación correcta. Los trabajadores expuestos al efluente, espuma o lodo deben usar ropa protectora adecuada. Si la tecnología funciona bien, no habrá problemas de olores desagradables. Pero, en muchos casos, el sedimentador no operará de acuerdo con las características de diseño de cambios en el flujo y la carga orgánica. También puede ocurrir un mantenimiento inadecuado del equipo de sedimentación, lo que lleva a la acumulación de sólidos en suspensión, el bloqueo del sistema de distribución y el consiguiente mal olor. Debido a estas circunstancias, la construcción de esta tecnología puede provocar el rechazo entre la multitud, especialmente cuando se encuentra cerca de una casa.

Operación y mantenimiento

En sedimentadores que no están diseñados para procesos anaerobios, los lodos deben ser removidos regularmente para evitar el estado de la fosa

séptica, la acumulación y liberación de gases, estos gases se suspenderán algunos sólidos re-degradados y dificultarán el difícil proceso de análisis. El lodo traído al territorio por las burbujas de gas es complicado de eliminar y podría pasar al posterior nivel. Según el diseño del decantador, se podría utilizar una bomba manual, una bomba de suspensión, una bomba de vacío o una bomba de gravedad para lograr la sublimación a través de la salida baja. Si el fondo del tanque está lo suficientemente inclinado, es más fácil eliminar el lodo. Los grandes sedimentadores primarios suelen estar equipados con colectores mecánicos, que arrastran continuamente los sólidos sedimentados hacia la tolva de lodos en el fondo del tanque de agua y luego los bombean desde la tolva de lodos a la instalación de tratamiento de lodos (tanque de espesamiento o digestor). La eliminación frecuente de espuma y su adecuado tratamiento/ disposición final, ya sea con el lodo o por separado, también es muy importante; puede realizarse manualmente o mediante equipos mecánicos de recolección para su tratamiento y disposición adecuada.

Pros y contras

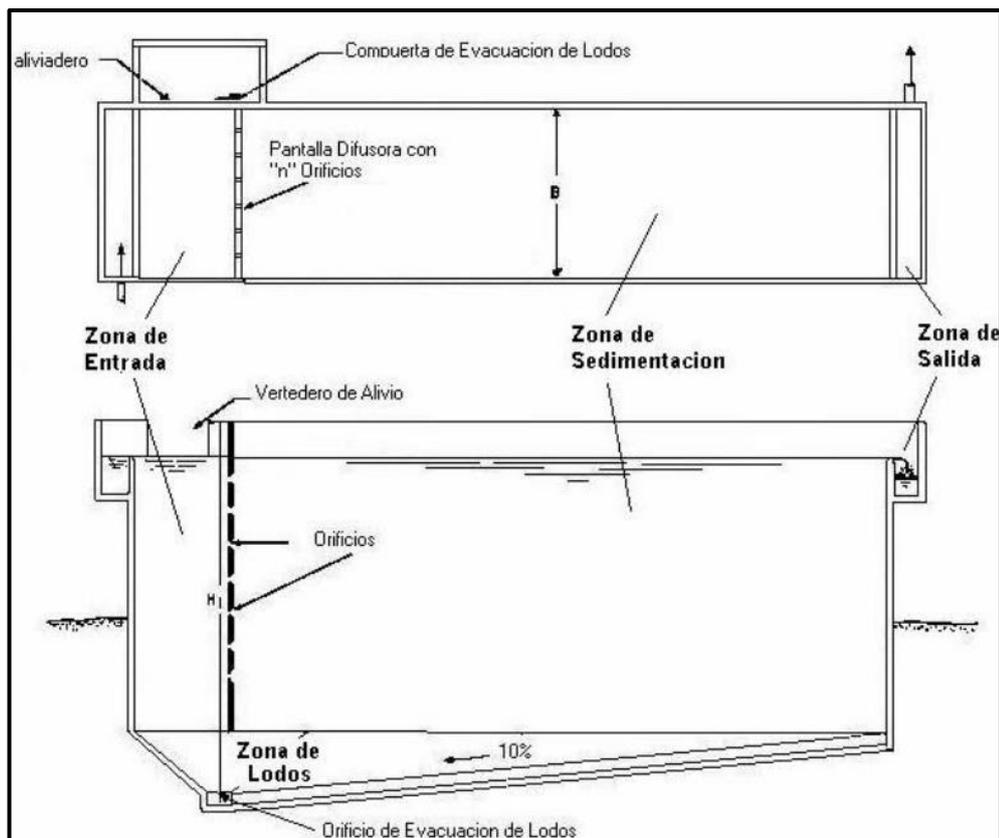
- Tecnología sencilla y fuerte.
- Remoción eficiente de sólidos suspendidos.
- Costos de operación y capital relativamente bajos.
- Frecuente remoción de lodos.
- El efluente, el lodo y la espuma requieren tratamiento adicional.

Los sedimentadores a proponer en la investigación serán establecidos de acuerdo con Tilley en su texto “Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento” y según la “Guía para el Diseño de Desarenadores y Sedimentadores” de la Organización Panamericana de la Salud, este último determina lo siguiente:

Componentes

Los sedimentadores convencionales poseen cuatro zonas características, tal como se aprecia en la Figura 14 y se describen de la siguiente manera:

- **Zona de entrada:** Es una estructura hidráulica de transición, que permite una distribución uniforme del flujo dentro del sedimentador.
- **Zona de sedimentación:** Consta de un canal rectangular con volumen, longitud y condiciones de flujo adecuados para que sedimenten las partículas. La dirección del flujo es horizontal y la velocidad es la misma en todos los puntos, flujo pistón.
- **Zona de salida:** Constituida por un vertedero, canaletas o tubos con perforaciones que tienen la finalidad de recolectar el efluente sin perturbar la sedimentación de las partículas depositadas.
- **Zona de recolección de lodos:** Constituida por una tolva con capacidad para depositar los lodos sedimentados, y una tubería y válvula para su evacuación periódica.



FUENTE: Organización Panamericana de la salud (Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores), 2005.

Figura 14. Sedimentador convencional (planta y corte longitudinal).

Algunos criterios de diseño

- El periodo de diseño, teniendo en cuenta criterios económicos y técnicos es de 8 a 16 años.
- El periodo de operación es de 24 horas por día.
- El tiempo de retención será entre 2 – 6 horas.
- La profundidad del sedimentador (Altura de la pantalla difusora) será entre 1.50 a 2.50 m.
- La relación de las dimensiones de largo y ancho (L/B) será entre los valores de 3 – 6.
- La relación de las dimensiones de largo y profundidad (L/H) será entre los valores de 5 – 20.
- La descarga de lodos se debe ubicar en el primer tercio de la unidad, pues el 80% del volumen de los lodos se deposita en esa zona.
- Se debe efectuar experimentalmente la determinación del volumen máximo que se va a producir.
- Se debe guardar la relación de las velocidades de flujo y las dimensiones de largo y altura.

$$\frac{L}{H} = \frac{V_H}{V_S}$$

Donde:

L : Longitud de la estructura (m).

H : Altura de diseño [altura de la pantalla difusora] (m).

V_H : Velocidad horizontal del flujo (cm/s).

V_S : Velocidad de sedimentación teórica o de ascenso, según la OPS (cm/s).

Dimensionamiento

- Se determina el área superficial de la unidad (área superficial de la zona de sedimentación) de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$A_S = \frac{Q}{V_S}$$

Donde:

A_S : Área superficial de la unidad (m²).

Q : Caudal de diseño (m³/s).

V_S : Velocidad de sedimentación teórica (m/s).

- Se determinan las dimensiones de largo (L), ancho (B) y altura (H); de tal manera que se cumplan las relaciones y/o criterios mencionados anteriormente.
- Se determina la velocidad horizontal de la unidad, mediante la siguiente ecuación:

$$V_H = \frac{100 \cdot Q}{B \cdot H}$$

Donde:

V_H : Velocidad horizontal (cm/s).

Q : Caudal de diseño (m³/s).

B : Ancho de la estructura (m).

H : Altura de diseño (m).

- Se determina el tiempo de retención, mediante la siguiente ecuación:

$$T_o = \frac{A_S \cdot H}{3600 \cdot Q}$$

Donde:

T_o : Tiempo de retención (h).

A_S : Área superficial de la unidad (m²).

H : Altura de diseño (m).

Q : Caudal de diseño (m³/s).

Alcantarillado

Según la investigación de Yáñez (2014), para el abastecimiento de agua a los habitantes, existen algunas tecnologías de recolección, almacenamiento, procesamiento y difusión de agua a través de mecanismos de conducción, etc. Pero, una vez que el agua del suministro de agua se utilice para diversas actividades humanas, estará contaminada con desechos orgánicos e inorgánicos y bacterias patógenas. Luego de un determinado período temporal, la materia orgánica del agua se descompone y producen gases con olores desagradables. También, las bacterias en el agua también pueden causar las enfermedades. Entonces, es necesario un tratamiento o eliminación adecuados de las aguas residuales para no tener inconvenientes de higiene.

En gran parte de las ciudades, es necesario drenar el agua de lluvia para evitar inundaciones en casas, negocios, industrias y otras áreas de interés. Además, las personas deben desechar el agua que utilizaron en su aseo y consumo.

Por otro lado, la creación de edificios, viviendas, calles, aparcamiento y otras edificaciones cambia el contexto natural en el que viven los humanos, y como parte de sus múltiples efectos, conduce a la producción de superficies poco permeables y la remoción de cauces de corrientes naturales (para reducir la aptitud de evacuación de tormentas y aguas residuales). Entonces, debido a la impermeabilidad del territorio y el pavimento, la urbanización aumenta la cantidad de agua de lluvia perdida del suelo. Por ello, la capacidad de la conducción artificial diseñada para el drenaje es mayor que la capacidad que tienen las corrientes naturales existentes. El sistema de alcantarillado se encarga del tratamiento de estas aguas de desecho y pluviales recolectadas en los asentamientos humanos para su tratamiento final.

Tipos de Sistemas de Alcantarillado

Los sistemas de alcantarillado modernos son clasificados como sanitarios, pluviales y combinados.

- **Sanitarios.** Cuando conducen solo aguas residuales.

- **Pluviales.** Cuando transportan únicamente aguas producto del escurrimiento superficial del agua de lluvia.
- **Combinados.** Cuando llevan los dos tipos de aguas.

2.2.3. Drenaje Urbano

El sistema de drenaje urbano se entiende como un conjunto de acciones encaminadas a evitar que el agua de lluvia cause daños a las personas o los bienes de la ciudad o también dificulte el desarrollo con normalidad de la vida cotidiana, es decir, es lograr los objetivos marcados (Bolinaga y Franceschi, 1979, p. 7).

Según Henríquez (2005), un sistema de drenaje urbano debe estar dirigido al logro de unos objetos, es decir, los fines o intenciones hacia las cuales se dirigen las acciones a llevar a cabo. Son 2 objetivos: uno es el objetivo básico y el otro es complementario, tal como se describe a continuación:

- **Básico.** Tratar de evitar en la medida de lo posible que las aguas de lluvia puedan dañar a las personas y la propiedad de la ciudad.
- **Complementario.** Asegurar el normal desarrollo de la vida cotidiana de la población y permitir el paso adecuado de personas y vehículos a lo largo de la ocurrencia de precipitaciones cuando llueve.

Funciones Básicas y Complementarias

La función básica del sistema de drenaje, está definida como una serie de medidas preliminares y correctivas destinadas a lograr los objetivos básicos del sistema de drenaje. Asimismo, las funciones complementarias son una serie de medidas preventivas y correctivas diseñadas para cumplir con los objetivos complementarios del sistema de drenaje. Esto significa que estos dos se fusionan para formar el sistema de drenaje urbano, porque otorga lograr los dos objetivos planteados (Henríquez, 2005).

Drenaje Superficial (secundario y primario)

Según Henríquez (2005), el drenaje superficial incluye medidas correctivas consistentes en una serie de facilidades naturales y artificiales que pueden ocasionar escorrentías superficiales, desde donde cae el agua de lluvia hasta

su entrada a canales naturales o ductos artificiales, reduciendo las molestias de la gente y de los vehículos.

El drenaje secundario es una serie de medidas correctoras compuesta por personas, que pueden garantizar que el agua no obstaculice el normal tránsito de la población urbana y de vehículos.

El drenaje primario es una serie de medidas correctivas, que incluyen cauces naturales y tuberías artificiales y proyectos relacionados, diseñados para proteger la vida de las personas y prevenir pérdidas de propiedad.

Por lo tanto, los drenajes superficial y secundario, son ejercidas con funciones complementarias, y el primero con funciones básicas. Pero, de hecho, los dos primeros también ayudan a lograr los objetivos básicos, mientras que el primero también ayuda con los objetivos complementarios. En la práctica, esto significa que el diseño del sistema de drenaje principal debe combinarse con medidas preventivas para lograr las metas básicas y verificar si se pueden alcanzar las metas complementarias; por el contrario, para el caso de drenaje superficial y drenaje secundario; es decir, para lograr los objetivos complementarios y comprobar los objetivos básicos.

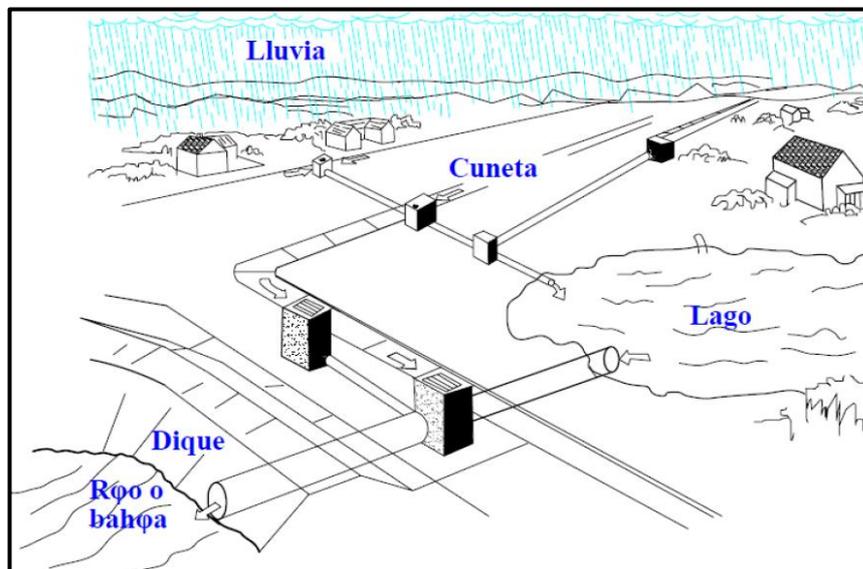
Las siguientes son reglas generales para distinguir entre drenaje primario y secundario, las cuales son que, se aplican al equipo artificial más normal. Si el tamaño del conducto determinado en conformidad con la función suplementario permanece inalterado para asegurar el nivel de resguardo necesario por las funciones elementales, el conducto es drenaje secundario; de otro modo, si estos tamaños necesitan ser aumentados para brindar la garantía necesaria, el conducto es la salida de drenaje principal.

Cabe señalar que, a diferencia de los otros dos lugares, las características y dimensiones del drenaje superficial se determinan principalmente por razones distintas al drenaje urbano, como tipo de uso del suelo, viales, paisajismo o consideraciones generales de urbanización. De manera similar, la secuencia de escorrentía no proviene necesariamente del drenaje superficial, ya que es posible que no sea necesario parte o todo el drenaje secundario.

Drenaje Pluvial Urbano

El sistema de drenaje urbano, se entiende como una serie de obras (canales, sumideros, colectores, etc.), cuya labor es impedir y dirigir hacia un sitio de disposición con previa selección de las aguas de lluvia, de modo que no se produzcan inundaciones durante el proceso de urbanización, tal como se muestra en la Figura 15.

El drenaje en el proyecto de urbanización general ocupa un lugar central por su alto costo, y es el determinante de primer orden de los proyectos de vialidad, y de la topografía modificada. Por lo tanto, es de relevancia que los Ingenieros Hidráulicos realicen buenos proyectos y que tengan todos los datos elementales requeridos (Yañez, 2014).



FUENTE: Elaboración propia en base a la Comisión Nacional del Agua (Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento), 2019.

Figura 15. Sistema de drenaje pluvial.

Además, según la norma OS.060 (Drenaje Pluvial Urbano – RNE), un sistema de drenaje puede ser clasificado de acuerdo a las siguientes categorías:

- a) Sistemas de Drenaje Urbano.
- b) Sistemas de Drenaje de Terrenos Agrícolas.
- c) Sistemas de Drenaje de Carreteras.
- d) Sistemas de Drenaje de Aeropuertos.

El drenaje urbano, tiene como finalidad la gestión sensata de las aguas pluviales en zonas urbanas, para prever daños en edificios y obras públicas, así como también, evitar el acopio de agua que podría representar una fuente de contaminación y/o emisión de enfermedades.

2.2.4. Norma OS.060 Drenaje Pluvial Urbano

Estudios Básicos

En conformidad con la norma OS.060, en todo proyecto de drenaje urbano se requiere de estudios sin restricciones. A su vez, para la investigación se ha contemplado realizar los estudios de:

- Topografía.
- Hidrología.
- Suelos (Ensayos de partículas de sedimentos).
- Hidráulica.

Información Básica

Cada proyecto de alcantarillado pluvial debe disponer de la siguiente información elemental. Asimismo, se debe obtener de algunos organismos oficiales (SENAMHI, Municipios, [Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento]):

- Información Meteorológica.
- Planos Catastrales.
- Planos de Usos de Suelo.

Obligatoriedad del Sistema de Alcantarillado Pluvial

Todas las nuevas instalaciones urbanas, ubicadas en lugares con lluvias frecuentes y lluvias similares o superiores a 10 mm dentro de las 24 horas, tienen que tener un sistema obligatorio de un mecanismo de alcantarillado pluvial.

Además, debido a cuestiones técnicas específicas y con base en las situaciones existentes, la entidad proveedora de servicios puede exigir el drenaje pluvial en lugares que no cumplan con los requisitos de precipitación descritos en el párrafo anterior.

Caudal de Diseño

Los caudales para sistemas de drenaje urbano menor deberán ser calculados:

- Si el área de la cuenca es igual o menor a 13 Km², utilice el Método Racional.
- Para cuencas mayores a 13 Km², se utiliza el Método de Hidrograma Unitario o Modelos de Simulación.
- Del mismo modo, el período de retorno debe considerarse de 2 a 10 años.

En el presente estudio de investigación, los caudales serán determinados en función a los parámetros de cálculo que establece el software SWMM 5 vE, considerando que es un sistema de drenaje urbano menor por las características propias de la cuenca urbana.

Captación en Zona Vehicular – Pista

Para evacuar el agua de lluvia proveniente de calzadas, aceras y de las viviendas, se tomarán en cuenta las consideraciones siguientes:

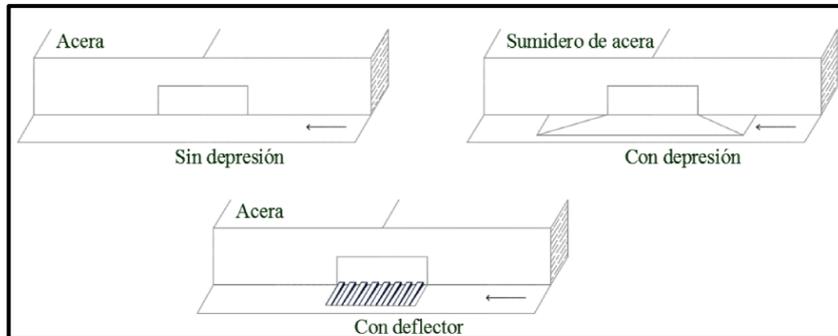
- **Orientación del flujo.** Las pendientes a considerar son:
 - a) Pendiente Longitudinal (SL) > 0.5%.
 - b) Pendiente Transversal (ST) de 2% a 4%.
- **Captación y transporte de aguas pluviales de calzada y aceras.**

La evacuación de las aguas de lluvia que están presente sobre las calzadas y aceras, se efectuará a través de cunetas que conducen las aguas a lugares más bajos. Asimismo, los sumideros recogerán las aguas y los conducirán hacia las tuberías de aguas de lluvia de la ciudad.

Sumideros

La designación del tipo de sumidero estará supeditada según las condiciones hidráulicas, económicas y de ubicación, y podría estar dividido en 3 tipos, cada uno con muchas variaciones.

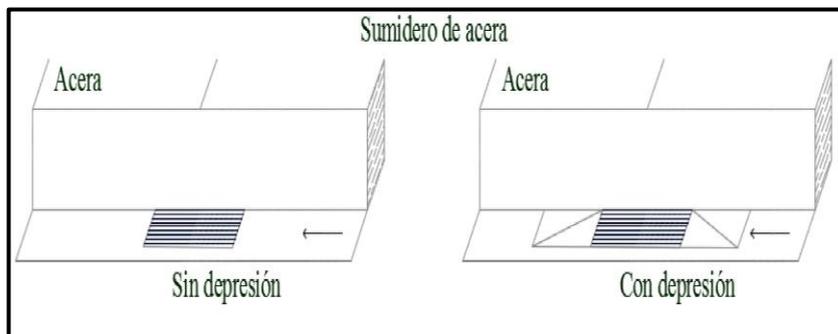
- **Sumideros laterales en sardinel o solera.** La entrada consta de una abertura vertical en sardineles, por la que pasa el flujo de las cunetas. Su utilización está limitado a tramos con una pendiente longitudinal inferior al 3%, tal como se observa en la Figura 16.



FUENTE: Elaboración propia en base al Reglamento Nacional de Edificaciones (OS.060), 2019.

Figura 16. Sumidero lateral de sardinel o solera.

- **Sumideros de fondo.** La entrada consta de una abertura vertical del sardinel por la que atraviesa el flujo de la cuneta. Se utilizarán cuando la pendiente longitudinal de las cunetas sea superior al 3%. La rejilla de este equipo es una franja paralela a la cuneta de drenaje. Por razones estructurales, se pueden agregar barras cruzadas, pero deben mantenerse cerca de la parte inferior de las barras longitudinales. Además, los sumideros de fondo pueden tener una depresión para aumentar su capacidad de recolección del flujo, tal como se muestra en la Figura 17.

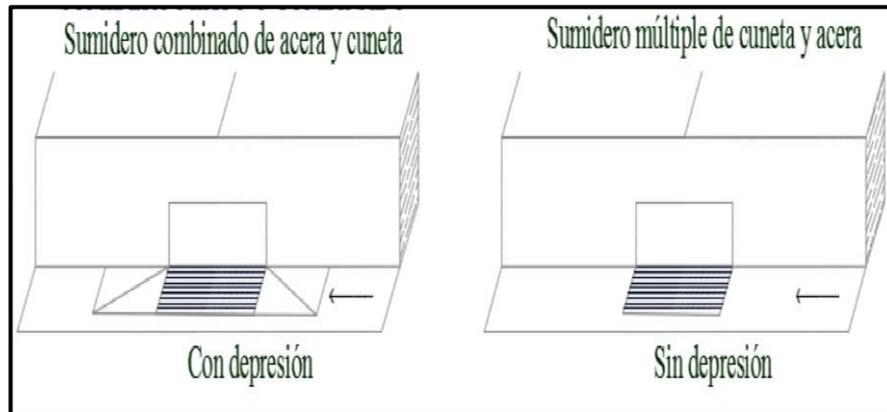


FUENTE: Elaboración propia en base al Reglamento Nacional de Edificaciones (OS.060), 2019.

Figura 17. Sumidero de fondo.

- **Sumideros mixtos o combinados.**

Estas unidades constan de un sumidero lateral de sardinel y un sumidero de fondo sirviendo como unidad. El diámetro mínimo de la tubería de descarga al buzón de reunión es de 10 pulgadas, tal como se muestra en la Figura 18.

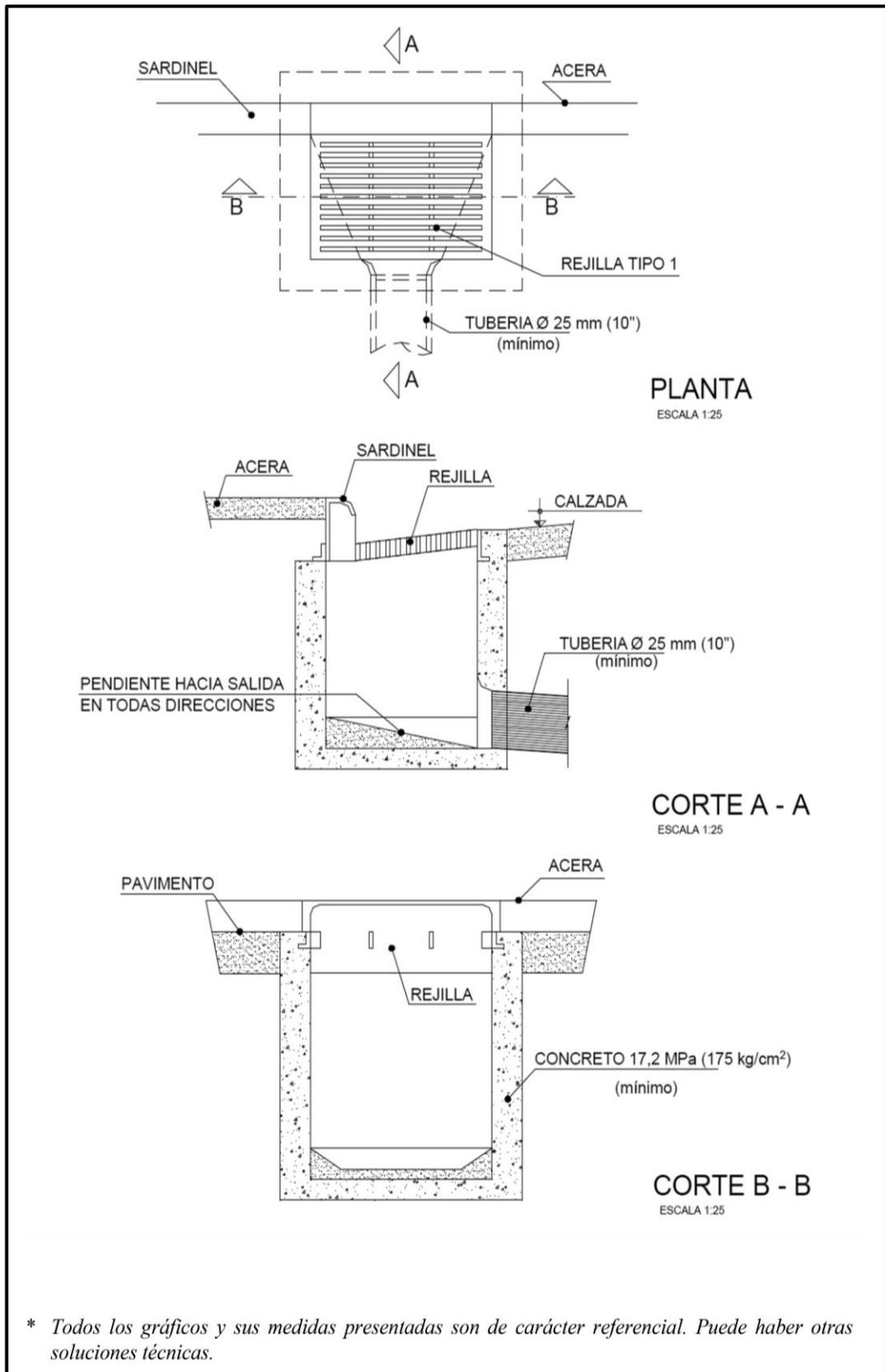


FUENTE: Elaboración propia en base al Reglamento Nacional de Edificaciones (OS.060), 2019.

Figura 18. Sumidero mixto o combinado.

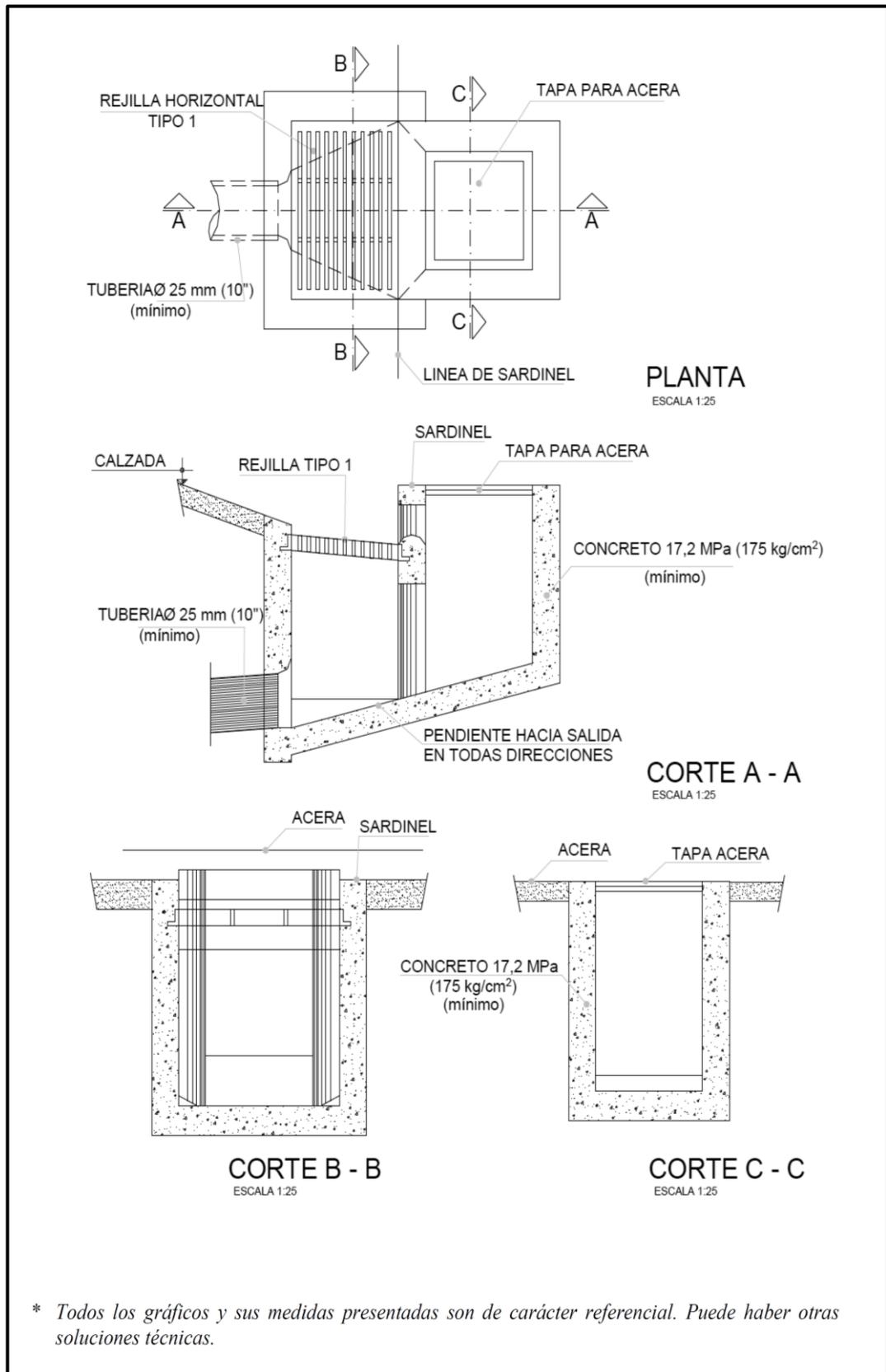
Se utilizarán también los siguientes tipos de sumideros:

- **Tipo S1:** Tipo grande conectado a la cámara. Corresponde a sumideros del tipo mixto (ver Figura 19).
- **Tipo S2:** Tipo grande conectado a la tubería. Corresponde a sumideros del tipo mixto (ver Figura 20).
- **Tipo S3:** Tipo chico conectado a la cámara (ver Figura 21).
- **Tipo S4:** Tipo chico conectado a la tubería (ver Figura 22).



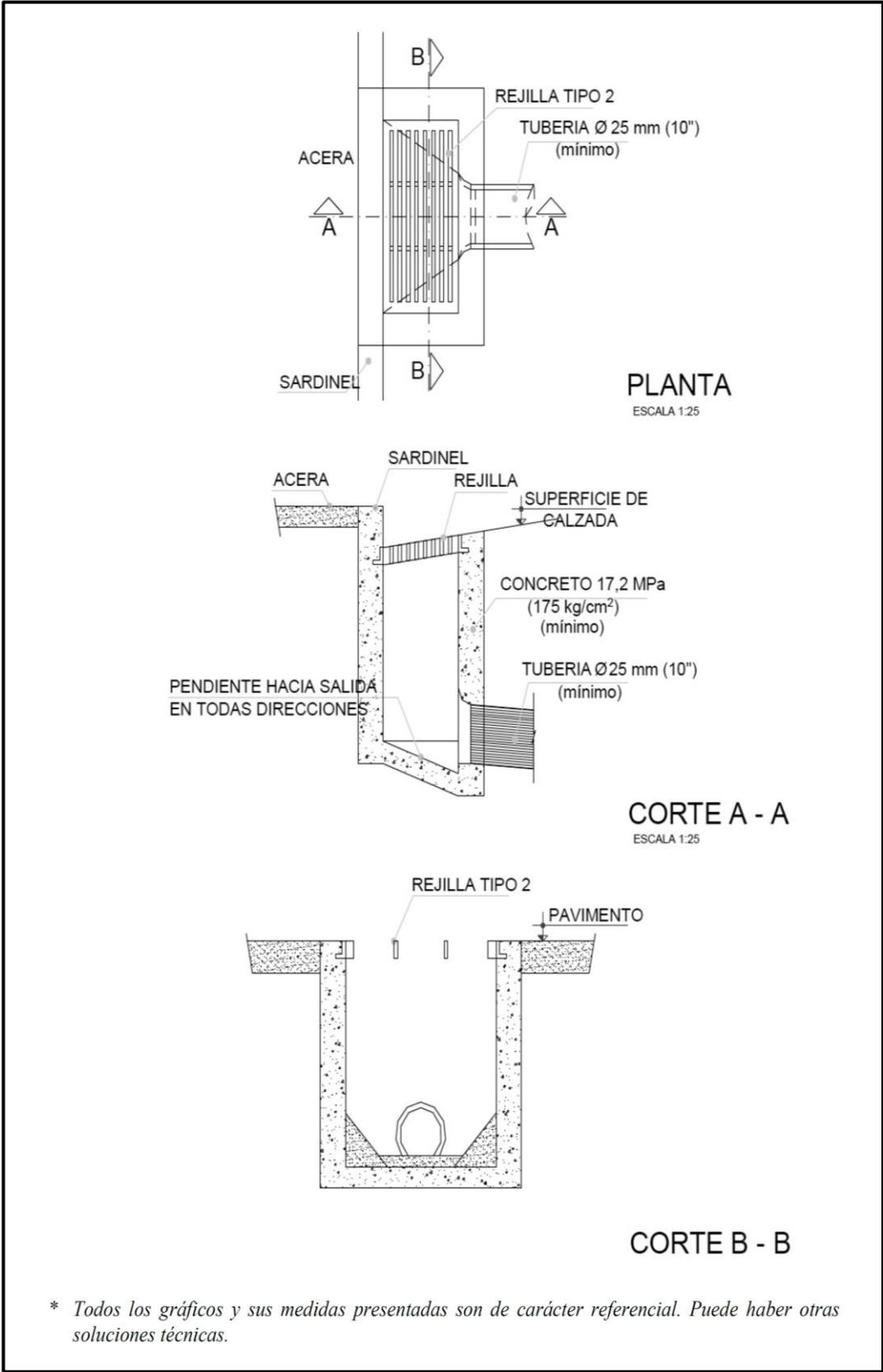
FUENTE: Elaboración propia en base al Reglamento Nacional de Edificaciones (OS.060), 2019.

Figura 19. Sumidero tipo grande conectado a cámara – S1.



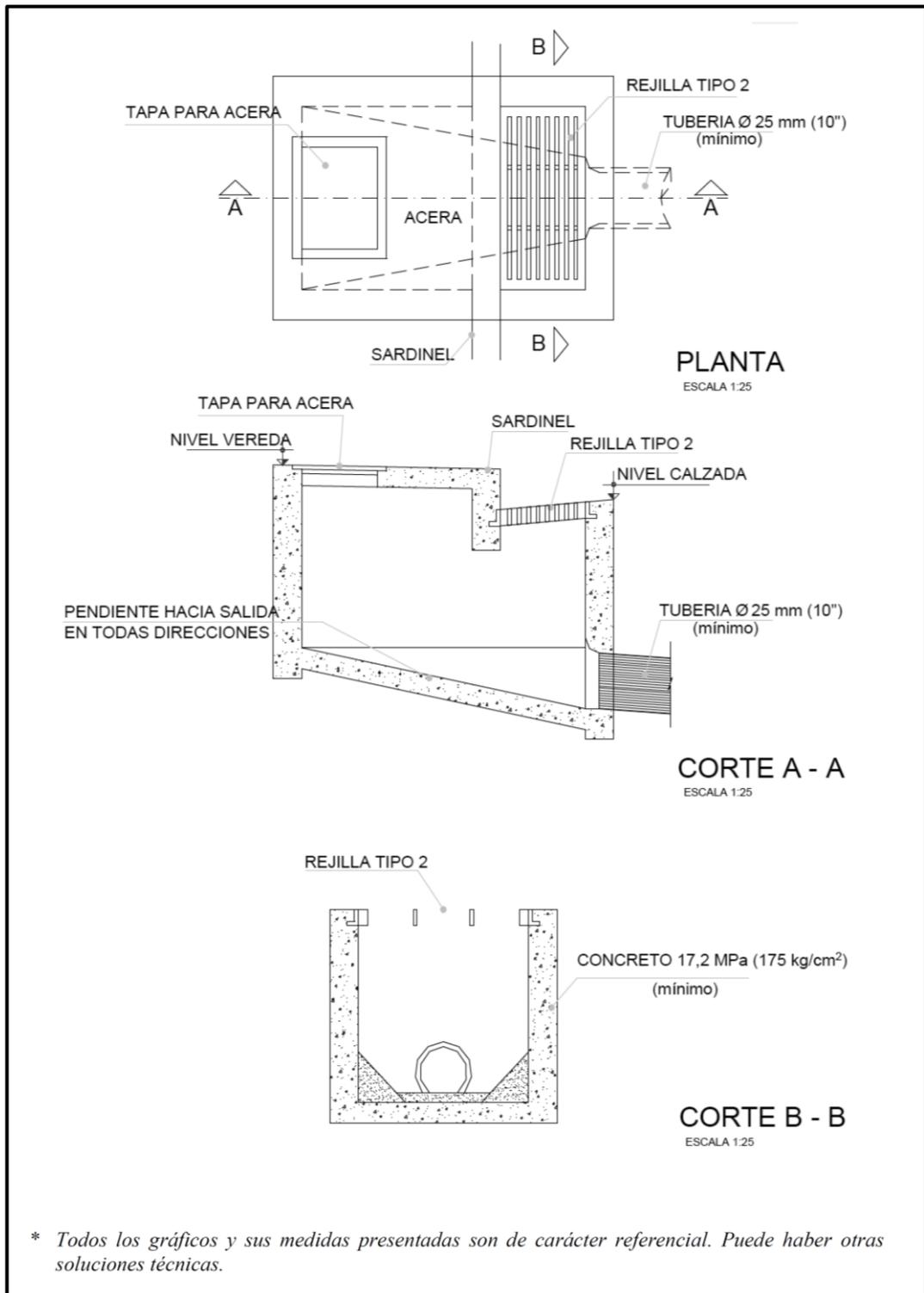
FUENTE: Elaboración propia en base al Reglamento Nacional de Edificaciones (OS.060), 2019.

Figura 20. Sumidero tipo grande conectado a tubería – S2.



FUENTE: Elaboración propia en base al Reglamento Nacional de Edificaciones (OS.060), 2019.

Figura 21. Sumidero tipo chico conectado a cámara – S3.



FUENTE: Elaboración propia en base al Reglamento Nacional de Edificaciones (OS.060), 2019.

Figura 22. Sumidero tipo chico conectado a tubería – S4.

Los sumideros Tipo S3 y S4 solo se utilizan en las siguientes condiciones:

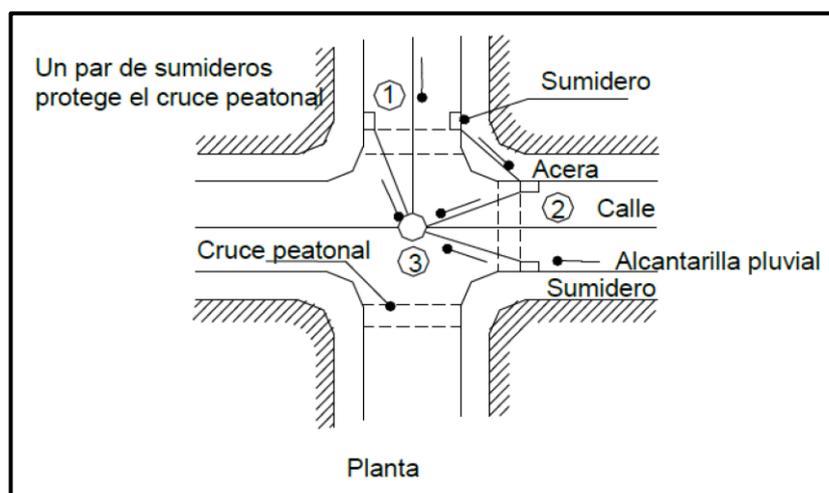
- Cuando el sumidero está en el centro de la vía de dos carriles.
- Cuando se conecta en serie con tipo S1 o S2.
- Para evacuar el agua de lluvia de las calles ciegas, de acuerdo con los requisitos del proyectista.

En caso de situaciones que requieren un tratamiento distinto, se diseñarán sumideros especiales.

Ubicación de los sumideros

La ubicación del sumidero depende del caudal, la pendiente, la ubicación y la geometría de las intersecciones, la amplitud del flujo permitido del sumidero, la cantidad de desechos sólidos, acceso de vehículos y pasos de peatones.

Generalmente, el sumidero debe colocarse en el punto más bajo. Su posición normal es en la esquina de una intersección de calles, pero para detener el tráfico de la calle, deben comenzar con destiempo con respecto a las alineaciones de las fachadas, tal como se muestra en la Figura 23.



FUENTE: Elaboración propia en base al Reglamento Nacional de Edificaciones (OS.060), 2019.

Figura 23. Ubicación de sumideros en intersección de las calles.

Además, cuando la manzana sea grande, se colocará sumideros intermedios.

Mientras que el flujo de la cuneta es chico y el flujo de vehículos y peatones es bajo, la corriente puede conducirse mediante el cruce a lo largo de una

cuneta, hasta un sumidero que tiene como ubicación las aguas abajo del cruce.

Por motivos económicos, se sugiere colocar el sumidero cerca de la alcantarilla y la tubería de drenaje del sistema de drenaje de aguas pluviales.

Espaciamiento de los Sumideros

Se establecerá considerando los factores indicados en la Ubicación de los sumideros.

Para determinar el espacio de los sumideros situados en cuneta medianera, el diseñador tiene que tener la consideración de la permeabilidad del suelo y su erosionabilidad.

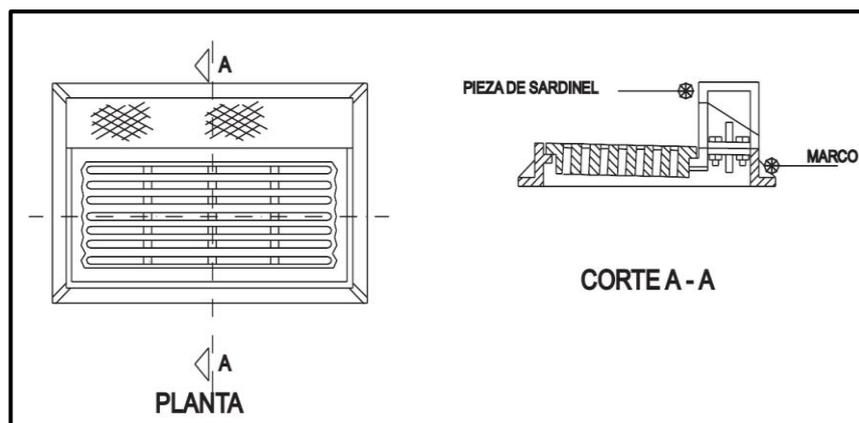
Cuando las condiciones determinan que se requieren múltiples instalaciones o una serie de sumideros, la distancia mínima será de 6 m.

Rejillas

Las rejillas pueden ser clasificadas bajo dos consideraciones:

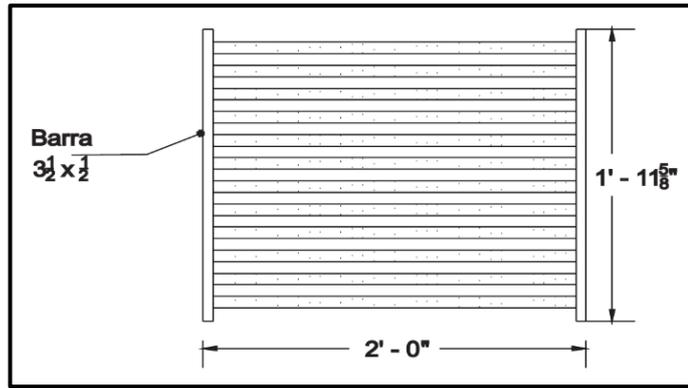
Por el material del que están hechas; pueden ser:

- De Fierro Fundido (ver Figura 24).
- De Fierro Laminado (Platines de fierro) (ver Figura 25).



FUENTE: Elaboración propia en base al Reglamento Nacional de Edificaciones (OS.060), 2019.

Figura 24. Rejilla de fierro fundido para sumidero.



FUENTE: Elaboración propia en base al Reglamento Nacional de Edificaciones (OS.060), 2019.

Figura 25. Rejilla de hierro laminado.

A través de su posición relativa a la dirección del desplazamiento principal del flujo, pueden ser;

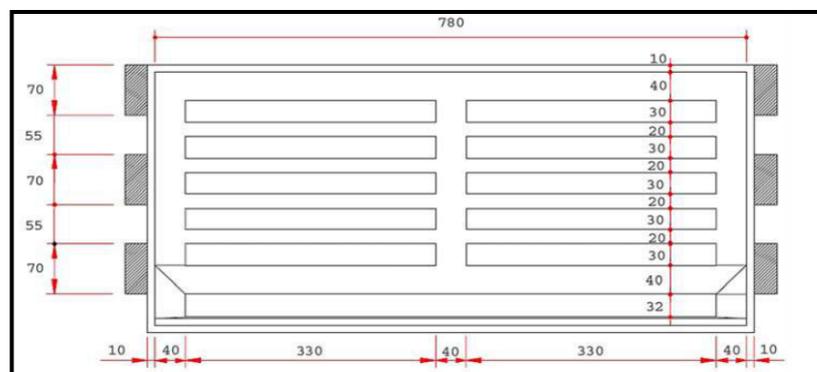
- De rejilla horizontal.
- De rejilla vertical.
- De rejilla horizontal y vertical.

Las rejillas se pueden adaptar a las formas geométricas y se pueden enmarcar con figuras: Rectangulares, Cuadradas y Circulares. Para la presente investigación se empleará la rejilla tipo R-121, lo cual oferta en el mercado peruano y su configuración guarda relación con lo dispuesto en la presente norma. Este tipo de rejilla presenta las siguientes características:

Tabla 7. Características de la Rejilla Tipo R-121.

Tipo	Longitud	Anchura	Área total	Área de huecos
R-121	78 cm	36.40 cm	2,839 cm ²	1,214 cm ²

FUENTE: Elaboración propia tomada de Urbano, 2017.



FUENTE: Elaboración propia tomada de Urbano, 2017.

Figura 26. Dimensiones de Rejilla Tipo R-121.

Colectores de Aguas Pluviales

El alcantarillado de aguas pluviales consta de una serie de colectores subterráneos y canales, requeridos para descargar al río la escorrentía superficial generada por el agua de lluvia.

El agua se recoge a través de los sumideros de las calles y las conexiones domiciliarias. Luego, se envía a la red de tuberías subterráneas que van incrementando su diámetro en proporción del aumento del área de drenaje, y vierten directamente al punto con más cercanía de un curso de agua; por lo tanto, este es el motivo por el cual los colectores pluviales no necesitan de tuberías de gran longitud. Además, para el diseño de las tuberías a ser usadas en los colectores pluviales se tendrá en cuenta las siguientes consideraciones.

Ubicación y Alineamiento de los Colectores

Para drenar la plataforma, se debe evitar instalar colectores debajo de las calzadas y bermas. Pero, en el caso que la ubicación bajo las calzadas es ineludible, se considerará la instalación de registros equipados de ingresos situados fuera de los límites establecidos por las bermas.

Los quiebres causados por la deflexión del alineamiento deben adoptar una curva circular; y las deflexiones de alineamiento en los puntos de ruptura no superarán de $10r$, de lo contrario se deberá utilizar la cámara de registro en dicho punto.

Diámetro de las Tuberías

Los diámetros mínimos para las tuberías, se indican en la siguiente tabla:

Tabla 8. Diámetros de tuberías para alcantarillado pluvial.

Tipo de Colector	Diámetro Mínimo (m)
Colector troncal.	0.50
Lateral troncal.	0.40
Conductor lateral.	0.40

FUENTE: Elaboración propia en base al Reglamento Nacional de Edificaciones (OS.060), 2019.

En las instalaciones situadas parcial o totalmente bajo la vía, estos diámetros se incrementarán hasta al menos 0.50 m.

El diámetro máximo de la tubería depende del material del que está hecha la tubería.

Resistencia de las Tuberías

Todas las tuberías usadas en colectores de aguas de lluvia tienen que dar cumplimiento con las especificaciones de resistencia vigente específicas en las Normas Técnicas Peruanas NTP o las normas ASTM, AWWA o DIN, según el país de origen de las tuberías utilizadas.

Selección del Tipo de Tubería

Se tomará en cuenta las consideraciones vigentes especificadas en las Normas Técnicas Peruanas NTP.

Tabla 9. Tipos de materiales para tubería en alcantarillado pluvial.

MATERIALES PARA TUBERÍA
<ul style="list-style-type: none">• Asbesto cemento.• Hierro fundido dúctil.• Poly (cloruro de vinilo) (PVC).• Poliéster reforzado con fibra de vidrio GRP.• Concreto armado centrifugado.• Concreto pretensado centrifugado.• Concreto armado vibrado con recubrimiento interior de polietileno PVC.• Arcilla vitrificada.

FUENTE: Elaboración propia en base al Reglamento Nacional de Edificaciones (OS.060), 2019.

Altura de Relleno

La profundidad mínima desde la rasante de la calzada hasta la clave de la tubería deberá ser de 1 m.

Ancho de Zanjas (Adicional para el estudio)

Según Urbano (2017), afirma que el ancho de zanjas depende de los tubos, profundidad de la zanja, taludes de las paredes laterales, naturaleza del terreno y necesidad o no de entibación.

Para la presente Tesis, se siguió la recomendación de la empresa fabricante de tuberías Nicoll Perú, en función a la estabilidad de las zanjas y el diámetro de las tuberías, siendo:

$$B_1 = D_{Tub.} + 0.40 \text{ (Zanja estable)}$$

$$B_2 = 2 * D_{Tub.} \text{ (Zanja inestable)}$$

Donde:

B_i : Ancho de zanja (m).

$D_{Tub.}$: Diámetro del tubo (m).

Diseño Hidráulico de Colectores

Para el diseño hidráulico de colectores de aguas de lluvia, se pueden usar estándares de diseño para tuberías cerradas. Además, la fórmula de Manning se puede utilizar para determinar el caudal utilizando el coeficiente de rugosidad de cada material, tal como se refleja en la siguiente tabla:

Tabla 10. Coeficiente de rugosidad de Manning para tuberías.

Tubería	Coeficiente 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

FUENTE: Elaboración propia en base al Reglamento Nacional de Edificaciones (OS.060), 2019.

El colector debe poder descargar un caudal de tubería completo igual o mayor que el caudal de diseño.

Velocidad mínima de colectores

La velocidad mínima para que el agua fluya a través de toda la tubería es de 0.90 m/s, para evitar la sedimentación de partículas que transportan las aguas de lluvia, como son arenas y gravas.

Velocidad máxima de colectores

La máxima velocidad del colector dependerá del tipo de material empleado en la creación de las tuberías, con el fin de prevenir la erosión de la pared de la tubería producto del transporte de arenas y gravas.

Tabla 11. Velocidad máxima para tuberías de alcantarillado (m/s).

Material de la Tubería	Agua con fragmentos de Arena y Grava
Asbesto cemento.	3.0
Hierro fundido dúctil.	3.0

Cloruro de polivinilo.	6.0
Poliéster reforzado con fibra de vidrio.	3.0
Arcilla vitrificada.	3.5
Concreto armado de:	
- 140 kg/cm ²	2.0
- 210 kg/cm ²	3.3
- 250 kg/cm ²	4.0
- 280 kg/cm ²	4.3
- 315 kg/cm ²	5.0
Concreto armado de curado al vapor:	
- > 280 kg/cm ²	6.6

FUENTE: Elaboración propia en base al Reglamento Nacional de Edificaciones (OS.060), 2019.

Pendiente mínima de colectores

La pendiente mínima de diseño basada en el diámetro, debe cumplir con la velocidad mínima de 0.90 m/s para toda la tubería llena. Por esta razón, la pendiente de la tubería a veces aumenta excesivamente la pendiente del terreno.

Registros

El registro instalado debe tener la capacidad suficiente para permitir que una persona entre e instale la chimenea. El diámetro mínimo de registros para el caso de los colectores es de 1.20 m.

Si la tubería es lo suficientemente grande para mover al operador, no es requerido la instalación de un registro, en este caso, se deben considerar los criterios de espaciamiento.

Los registros tendrán que situarse fuera de la calzada, a excepción del momento de su instalación en caminos de servicio o en calles, para tal caso se evitará situarlos en las intersecciones.

Los registros deberán estar ubicados en:

- Convergencia de dos o más drenes.
- El punto medio de una tubería muy larga.
- En áreas donde cambia el diámetro del conducto.
- En curvas o deflexiones de alineamiento (no es requerido poner registros en cada curva o deflexión).
- En puntos donde la pendiente disminuye bruscamente.

Espaciamiento de los Registros

- Para tuberías de diámetro igual o superior a 1.20 m o tuberías de sección equivalente, la distancia entre los registros estará comprendida entre 200 y 350 m.
- Para diámetros inferiores a 1.20 m, la separación de registros será de 100 a 200 m.
- Para conductos pequeños, en el momento que no se pueda alcanzar la velocidad de auto limpieza, se tendrá que colocar registros cada 100 m
- Con velocidades de auto limpieza y alineamiento desprovisto de curvas agudas, la distancia entre registros corresponderá al rango mayor de los límites mencionados en los párrafos anteriores.

Evacuación de las Aguas Recolectadas

El agua recolectada por el sistema de drenaje de aguas pluviales debe ser descargada hacia depósitos naturales o artificiales (océanos, ríos, lagos, depresiones, etc.).

La evacuación se efectuará considerando los aspectos técnicos, monetarios y de seguridad del sistema.

Sistemas de Evacuación

- **Sistemas de Evacuación por Gravedad**
 - a) Si se vierte al mar, el nivel del agua en el entregable (tubería o canal) debe ser 1.50 m más alto que el nivel medio del mar.
 - b) Si se descarga a un río, el nivel del agua en la descarga (tubería o canal) debe ser al menos 1.00 m más alto que el nivel máximo de agua esperado para un período de retorno de 50 años.
 - c) En el caso de un lago, el nivel de evacuación del pelo de agua del evacuador o dren principal estará a 1.00 m, que es 50 años más alto que el nivel del agua que alcanzará el lago.
 - d) Generalmente, el sistema de evacuación debe descargar libremente (más de 1.00 m por encima del nivel máximo de agua

esperado), para evitar bloquear y dañar el sistema de descarga de agua de lluvia.

En tuberías de drenaje que provoquen grandes fluctuaciones en el nivel del agua: por ejemplo, cuando se descargan al mar con la marea, se debe evitar que el agua ingrese a la tubería de drenaje y se debe usar una válvula de retención de mareas.

- **Sistemas de Evacuación por Bombeo**

Si la evacuación por gravedad no es posible, se debe considerar una bomba móvil o fija (plantas de bombeo), como opción de la evacuación.

Anexo de la Norma OS.060 respecto al Estudio IILA

La presente norma incluye los anexos en relación a la manera de obtener datos de precipitaciones e intensidades máximas de lluvia cuando no se cuenta con una ninguna estación para la zona a estudiar. En este caso como método de alternativa, es posible utilizar las curvas IDF definidas por un estudio regional; siendo así, el estudio IILA ha sido definido bajo el “Estudio de la Higrología del Perú” realizado por el convenio IILA - SENAMHI - UNI (1983), cuyas fórmulas modificadas son las siguientes:

$$P_{24,T} = \varepsilon_g [1 + K \text{Log}_{10}(T)]$$
$$i_{t,T} = a [1 + K \text{Log}_{10}(T)] (t + b)^{n-1}$$
$$a = \left(\frac{1}{t_g} \right)^n \cdot \varepsilon_g$$

Donde:

$P_{24,T}$: Máxima precipitación en 24 horas para periodo de retorno T .

ε_g : Parámetro para determinar $P_{24,T}$.

K : K'_g , parámetro de frecuencia según la zona.

T : Tiempo de retorno.

$i_{t,T}$: Intensidad de la lluvia (mm/h).

a : Parámetro de intensidad (mm).

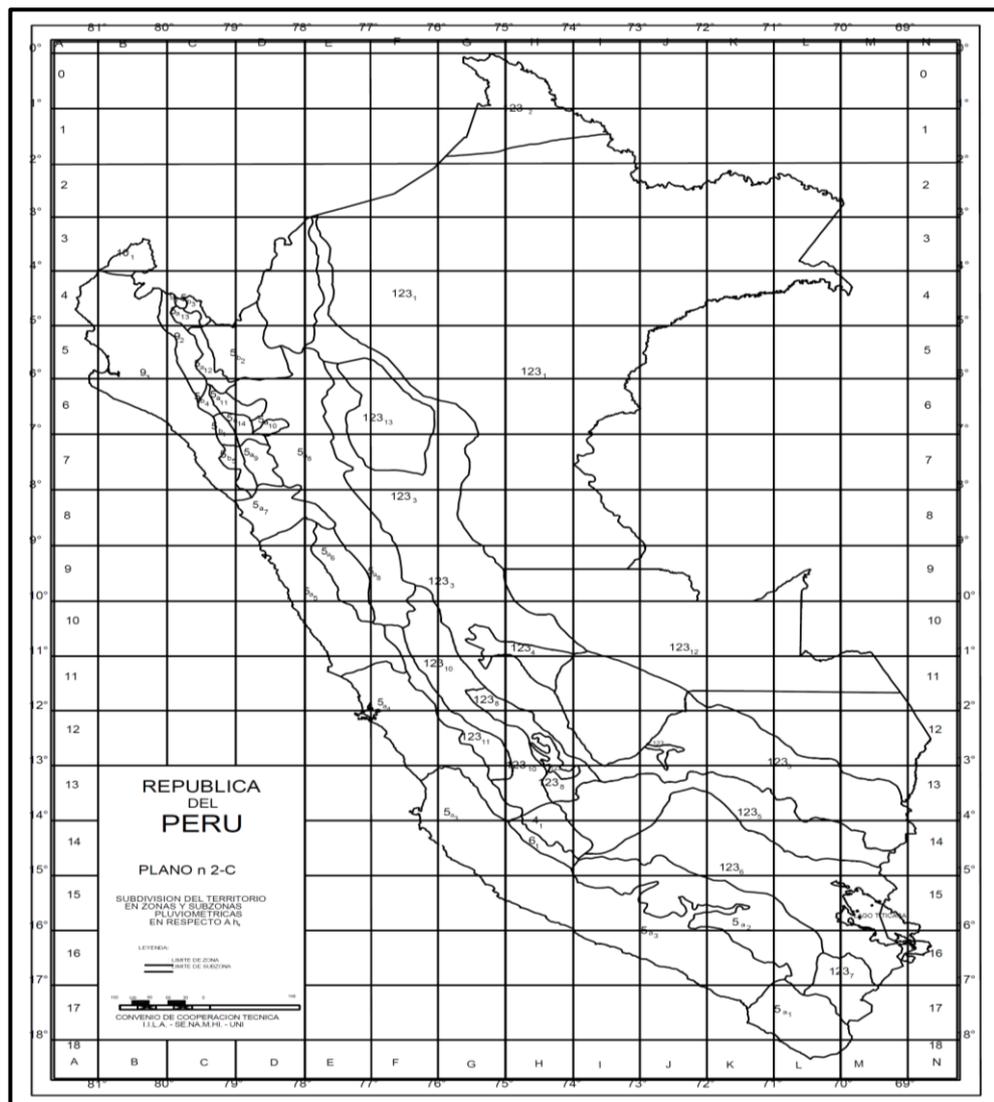
t_g : Duración de la lluvia diaria asumiendo un promedio de 15.20 horas para el Perú; pudiendo ser diferente según la condición local.

b : 0.50 horas (costa, centro y sur).

0.40 horas (sierra).

0.20 horas (costa norte y selva).

n : Parámetro de duración.



FUENTE: Elaboración propia en base al Reglamento Nacional de Edificaciones (OS.060), 2019.

Figura 27. Zonas y subzonas pluviométricas.

Subdivisión del territorio en zonas y subzonas pluviométricas y valores de los parámetros K'_g y ϵ_g que definen la distribución de probabilidades de h_g en cada punto de estas

ZONA	K'_g	Subzona	ϵ_g
123	$K'_g = 0,553$	123 ₁	$\epsilon_g = 85,0$
		123 ₂	$\epsilon_g = 75,0$
		123 ₃	$\epsilon_g = 100 - 0,022 Y$
		123 ₄	$\epsilon_g = 70 - 0,019 Y$
		123 ₅	$\epsilon_g = 24,0$
		123 ₆	$\epsilon_g = 30,5$
		123 ₇	$\epsilon_g = -2 + 0,006 Y$
		123 ₈	$\epsilon_g = 26,6$
		123 ₉	$\epsilon_g = 23,3$
		123 ₁₀	$\epsilon_g = 6 + 0,005 Y$
		123 ₁₁	$\epsilon_g = 1 + 0,005 Y$
		123 ₁₂	$\epsilon_g = 75,0$
		123 ₁₃	$\epsilon_g = 70$
4	$K'_g = 0,861$	4 ₁	$\epsilon_g = 20$
5a	$K'_g = 11 \cdot \epsilon_g^{-0,85}$	5 a ₁	$\epsilon_g = -7,6 + 0,006 Y$ (Y > 2300)
		5 a ₂	$\epsilon_g = 32 - 0,177 D_c$
		5 a ₃	$\epsilon_g = -13 + 0,010 Y$ (Y > 2300)
		5 a ₄	$\epsilon_g = 3,8 + 0,0053 Y$ (Y > 1500)
		5 a ₅	$\epsilon_g = -6 + 0,007 Y$ (Y > 2300)
		5 a ₆	$\epsilon_g = 1,4 + 0,0067 Y$
		5 a ₇	$\epsilon_g = -2 + 0,007 Y$ (Y > 2000)
		5 a ₈	$\epsilon_g = 24 + 0,0025 Y$
		5 a ₉	$\epsilon_g = 9,4 + 0,0067 Y$
		5 a ₁₀	$\epsilon_g = 18,8 + 0,0028 Y$
		5 a ₁₁	$\epsilon_g = 32,4 + 0,004 Y$
		5 a ₁₂	$\epsilon_g = 19,0 + 0,005 Y$
		5 a ₁₃	$\epsilon_g = 23,0 + 0,0143 Y$
		5 a ₁₄	$\epsilon_g = 4,0 + 0,010 Y$
5b	$K'_g = 130 \cdot \epsilon_g^{-1,4}$	5 b ₁	$\epsilon_g = 4 + 0,010$ (Y > 1000)
		5 b ₂	$\epsilon_g = 41,0$
		5 b ₃	$\epsilon_g = 23,0 + 0,143 Y$
		5 b ₄	$\epsilon_g = 32,4 + 0,004 Y$
		5 b ₅	$\epsilon_g = 9,4 + 0,0067 Y$
6	$K'_g = 5,4 \cdot \epsilon_g^{-0,8}$	6 ₁	$\epsilon_g = 30 - 0,50 D_c$
9	$K'_g = 22,5 \cdot \epsilon_g^{-0,85}$	9 ₁	$\epsilon_g = 61,5$
		9 ₂	$\epsilon_g = -4,5 + 0,323 D_m$ (30 ≤ D _m ≤ 110)
		9 ₃	$\epsilon_g = 31 + 0,475(D_m - 110)$ (D _m ≤ 110)
10	$K'_g = 1,45$	10 ₁	$\epsilon_g = 12,5 + 0,95 D_m$

Y : Altitud en msnm
D_c : Distancia a la cordillera en km
D_m : Distancia al mar en km

FUENTE: Elaboración propia en base al Reglamento Nacional de Edificaciones (OS.060), 2019.

Figura 28. Valores de los parámetros de K'_g y E_g .

Valores de los parámetros a y n que, junto con K'_g , definen las curvas de probabilidad pluviométrica en cada punto de las subzonas

SUBZONA A	ESTACION	N° TOTAL DE ESTACIONES	VALOR DE n	VALOR DE a
123 ₁	321-385	2	0,357	32,2
123 ₃	384-787-805	3	0,405	a = 37,85 - 0,0083 Y
123 ₁₃	244-193	2	0,432	
123 ₅	850-903	2	0,353	9,2
123 ₆	840-913-918 958	4	0,380	11
123 ₈	654-674-679 709-713-714 732-745-752	9	0,232	14,0
123 ₉	769	1	0,242	12,1
123 ₁₀	446-557-594 653-672-696 708-711-712 715-717-724 757-773	14	0,254	a = 3,01 + 0,0025 Y
123 ₁₁	508-667-719 750-771	5	0,286	a = 0,46 + 0,0023 Y
5 a ₂	935-968	2	0,301	a = 14,1 - 0,078 D _c
5 a ₅	559	1	0,303	a = -2,6 + 0,0031 Y
5 a ₁₀	248	1	0,434	a = 5,80 + 0,0009 Y

FUENTE: Elaboración propia en base al Reglamento Nacional de Edificaciones (OS.060), 2019.

Figura 29. Valores de los parámetros de "a" y "n".

2.2.5. Modelamiento Hidrológico

La modelación hidrológica es una herramienta importante para estudiar las avenidas que se han expandido en todo el mundo. Actualmente, estos modelos se utilizan para analizar y prevenir inundaciones. También, es factible lidiar con supuestos necesariamente realistas o predecibles que pueden brindar cierto grado de confianza en la toma de decisiones, ya sea a la hora de planificar áreas de territorio en torno a los ríos, o cuando se trate de exigir aspectos de diseño de obras e infraestructuras capaces de funcionar y soportar adecuadamente en situaciones de emergencia. Incluso en situaciones peligrosas causadas por lluvias intensas, se puede elaborar un plan de acción y advertir al departamento de defensa civil. Por lo tanto, un modelo hidrológico es una representación simplificada de un sistema real complejo (prototipo) en forma física o matemática (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2014).

Según Yañez (2014): “El modelado y análisis de las características de un sistema de drenaje urbano con base en su aplicación a cuencas reales se realiza a través de un modelo de simulación” (pág. 41).

El modelo asignado para la investigación es el EPA SWMM 5.0 (Storm Water Management Model) de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos, el cual otorga la representación de forma razonable y concreta las condiciones urbanas, y se ha utilizado con amplitud en el diseño de sistemas de drenaje urbano.

Modelo SWMM (Storm Water Management Model)

El modelo de gestión de aguas pluviales de la EPA (SWMM), es un modelo dinámico de simulación de lluvia que se podrían emplear para un solo evento o una simulación continua a largo plazo. Fue desarrollado por primera vez en 1971. El programa puede simular la cantidad y calidad del agua vertida, especialmente de los alcantarillados urbanos.

La escorrentía o módulo hidrológico del SWMM actúa como un conjunto de cuencas en las que cae el agua de lluvia y se produce la escorrentía.

El módulo de transporte hidráulico del SWMM examina la trayectoria de las aguas mediante de un mecanismo elaborado por tubos, canales, equipos de almacenamiento y tratamiento, bombas y elementos de regulación.

El modelo de conversión lluvia-escorrentía del SWMM, es un modelo numérico utilizado principalmente para la investigación, diseño y análisis de sistemas complejos de drenaje urbano, que podrían estimar el volumen y calidad de la escorrentía en cuencas urbanas. Inicialmente podía simular diseños de escorrentía de tormentas; sin embargo, en la versión 5.0 se alteró para efectuar simulaciones continuas, e inclusive, incluía un módulo para el análisis estadístico de los datos de salida de múltiples hidrogramas (Rossman, 2005).

Módulo de Escorrentía o Hidrológico

SWMM considera los diferentes procesos hidrológicos que ocurren en la salida de las aguas urbanas. Estos incluyen:

- Precipitaciones variables en el tiempo.
- Evaporación de las aguas superficiales estancadas.
- Acumulación y deshielo de nieve.
- Intercepción de precipitaciones por almacenamiento en depresiones.
- Infiltración de las precipitaciones en capas de suelo no saturadas.
- Entrada del agua de la infiltración en acuíferos.
- Intercambio de flujo entre los acuíferos y el sistema de transporte.
- Modelo de depósitos no lineales para el flujo superficial.

Al dividir un área de estudio dada en áreas de captación más pequeñas y uniformes (N.d.T. denominadas subcuencas) se puede lograr la variabilidad espacial de todos estos procesos. Cada zona contiene sus propias zonas permeables e impermeables. El flujo superficial puede ocurrir entre diferentes subáreas, entre distintas subcuencas o entre las entradas del sistema de drenaje.

Módulo de Transporte Hidráulico

SWMM incorpora una serie de herramientas de modelado de características hidráulicas flexibles para analizar el flujo causado por la escorrentía superficial y el flujo externo a través de tuberías, canales, equipos

de almacenamiento y tratamiento, y otras redes estructurales. Estas herramientas incluyen las siguientes características:

- Manejar redes de tamaño ilimitado.
- Utilizar una amplia variedad de geometrías para las conducciones, tanto abiertas como cerradas, así como los canales naturales.
- Modelar elementos especiales como unidades de almacenamiento y tratamiento, divisores de flujo, bombas, vertederos y orificios.
- Realizar el análisis hidráulico por distintos métodos como el flujo uniforme, la onda cinemática o la modelación completa por onda dinámica.
- Modelar distintos regímenes de flujo, como pueden ser remanso, entrada en carga, flujo inverso y acumulación en superficie.
- Aplicar controles dinámicos definidos por el usuario para simular el funcionamiento de las bombas, la abertura de los orificios o la posición de la cresta de un vertedero.

Aplicaciones Típicas del SWMM

Desde sus inicios, SWMM se ha utilizado en miles de redes de evacuación de aguas residuales y pluviales. Las aplicaciones típicas incluyen:

- Diseño y dimensionamiento de componentes de la red de drenaje para prevenir inundaciones.
- Dimensionamiento de estructuras de retención y accesorios correspondientes para el control de inundaciones y protección de la calidad de las aguas.
- Delimitación de zonas de inundación en barrancos y cauces naturales.
- Diseño de estrategias de control de la red para minimizar el número de descargas de sistemas unitarios.
- Evaluación del impacto de aportes e infiltraciones en las descargas de sistemas de evacuación de aguas residuales.
- Generar cargas de fuentes contaminantes no puntuales para estudios de acumulación de residuos.

Modelo conceptual utilizado por SWMM

Según Yáñez (2014), SWMM 5.0 trata el modelo conceptual del sistema de drenaje como un conjunto de elementos (objetos) dentro del módulo, donde cada elemento representa varios procesos hidrológicos o hidráulicos de forma general, como precipitación, generación de escorrentía superficial y flujo de aguas.

Según el proceso hidrológico, la lluvia se representa como el modelo de un elemento "Rain Gage", que se utiliza para almacenar información de precipitación. Respecto a las de tormentas de diseño o históricas, los usuarios pueden ingresar información en series de tiempo o mediante archivos que contienen la información de precipitación muy larga, por ejemplo, registros históricos de precipitación en pasos de tiempo discretos de un pluviómetro.

El antecedente del elemento "Rain Gage" se recibe en un módulo denominado "RUNOFF", el cual consta de elementos del tipo "Subcatchment", en el cual pueden ocurrir dos procesos hidrológicos: pérdida por precipitación y escorrentía superficial. En el primer proceso se considera la infiltración, el almacenamiento y la interceptación, y una parte del volumen precipitado es retenido en el módulo "RUNOFF"; en el segundo proceso, el volumen de precipitado restante es considerado como escorrentía superficial y se envía al módulo de "TRANSPORT".

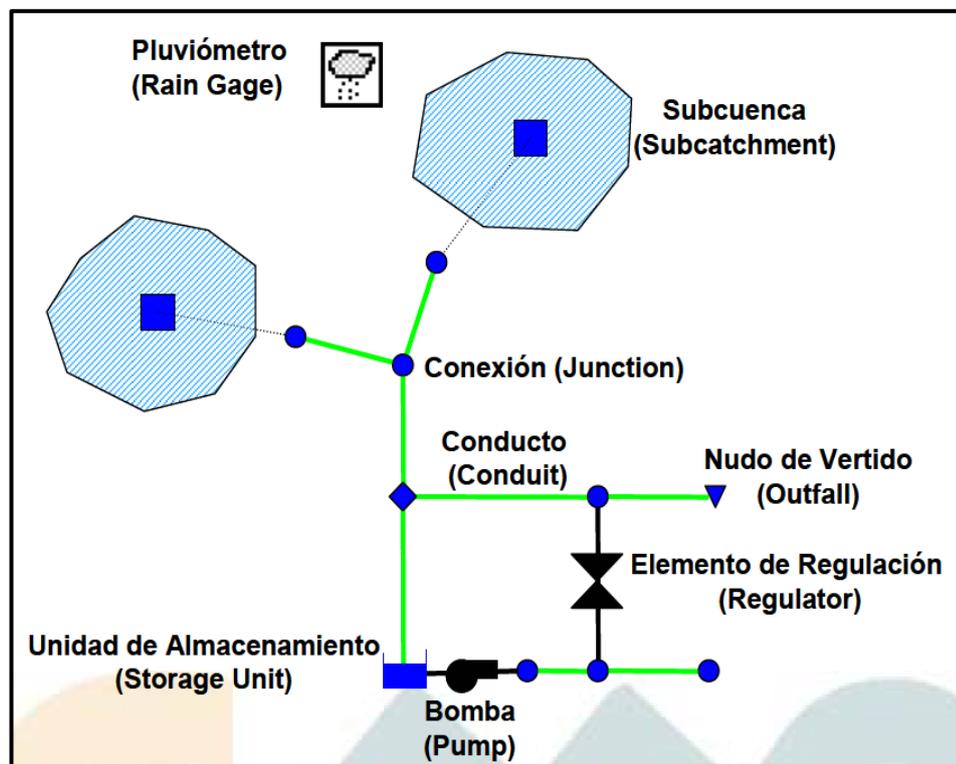
El módulo de "TRANSPORT", es un módulo que equivale a la red de drenaje que podría estar compuesta de secciones de cauce natural, tuberías, calles, elementos de almacenamiento, etc., todos los cuales trasladan el flujo a la salida de la red (disposición final), donde el agua que fluye hacia este módulo proviene de la escorrentía superficial del módulo "RUNOFF" o de hidrogramas de entrada expuestos por el usuario. Los elementos del módulo "TRANSPORT" están representados por nudos (Nodes) y conductos (Links).

En el modelado de cuencas, los elementos de captación representados por subcuencas definen las unidades hidrológicas básicas de la superficie. Sus elementos topográficos, hidrológicos e hidráulicos conducen la escorrentía a un solo punto en la salida de la subcuenca, que podría ser dirigida a nudos pertenecientes a la red de drenaje, que también puede enfrentarse a otro

mecanismo o cuenca. Cada tipo de objeto de captación de agua necesita la siguiente información: área, ancho, " Rain Gage" asociado, pendiente media, etc. También, se pueden asignar alturas de almacenamiento o retención a superficies permeables e impermeables, en las que las superficies que otorgan el almacenaje como las de baja pendiente (aceras, calles, estacionamientos, etc.) de otras de mayor pendiente donde no es posible una detención. Para que cada elemento considerado "Subcuenca", se requieren su tamaño (ancho y perímetro) y las rugosidades correspondientes.

Componentes Físicos

Se introducen los componentes físicos que se pueden utilizar en los sistemas de drenaje de aguas pluviales. Estos componentes u objetos se pueden mostrar en el mapa del SWMM, tal como se muestra en la siguiente figura:



FUENTE: Elaboración propia tomada de Rossman (Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0), 2005.

Figura 30. Componentes físicos del modelo del sistema de drenaje.

Componentes Hidrológicos

▪ **Pluviómetros (Rain Gages)**

Proporciona datos de entrada para la precipitación que ocurre en una o más subcuencas definidas en el área de estudio. Los datos de lluvia pueden ser datos de series de tiempo o pueden provenir de archivos fuera del programa.

Los principales atributos de entrada son:

- Tipo de datos de lluvias.
- Intervalo de tiempo de los datos de lluvia.
- Origen de los datos de lluvia (serie temporal).
- Nombre del origen de los datos de lluvia.

▪ **Subcuenca (Subcatchment)**

Son las unidades hidrobiológicas del terreno cuya topografía y elementos del sistema de drenaje dirigen la escorrentía al punto de descarga. Estos se pueden dividir en áreas permeables y áreas impermeables. La escorrentía superficial puede penetrar la topografía superior de la zona de permeable; el área impermeable se puede dividir en dos subáreas: una contiene el área de almacenamiento en depresión y la otra no contiene el área en depresión.

Los siguientes tres modelos describen la infiltración de agua de lluvia en la zona permeable:

- Modelo de Infiltración de Horton.
- Modelo de Infiltración de Green - Ampt.
- Modelo de Infiltración basado en el Número de Curva del SCS.

Los parámetros principales de entrada son:

- Pluviómetro asignado.
- Nudo de descarga.
- Área tributaria.
- Porcentaje de impermeabilidad.
- Pendiente de la cuenca.
- Ancho de la cuenca.

- Valor del coeficiente de Manning “n” para el flujo superficial tanto para áreas permeables como para áreas impermeables.
- El almacenamiento en depresión tanto para áreas permeables como para áreas impermeables.
- El porcentaje de suelo impermeable carente de almacenamiento en depresión.

Componentes Hidráulicos

▪ **Nudos (Nodes)**

Las conexiones son nudos en el sistema de drenaje y las diferentes líneas de tuberías están conectadas entre sí. Físicamente, pueden representar canales de tierra naturales, registros (manholes) en sistemas de drenaje o elementos de conexión de tuberías. Los caudales del flujo ingresan al sistema mediante las conexiones. Al cargar tuberías conectadas, el exceso de agua en los nudos provocará un flujo de presión parcial. Además, el exceso de agua puede drenar completamente del sistema, o viceversa, entonces se detendrá en la parte superior y luego volverá a ingresar a la conexión.

Los principales parámetros de entrada de la conexión son:

- Cota de fondo o fondo del pozo que puede encontrarse en la conexión.
- Profundidad del pozo.
- Área superficial del área estancada cuando se produce un fenómeno de inundación. Es un parámetro opcional de entrada.
- Datos de aportes externos de caudal. Es también otro parámetro opcional.

De acuerdo con Yañez (2014), los elementos que se pueden asignar a los nudos pueden ser:

- **Conexiones (Junctions).** Son los nudos que conectan diferentes tuberías en el sistema, pueden representar

canales superficiales naturales, registros o la convergencia de elementos de conexión de tuberías.

- **Vertidos (Outfalls).** Son los nudos terminales del sistema y definen las condiciones límite finales aguas abajo del sistema.
 - **Divisores (Dividers).** Es el nudo que se utiliza para dividir el flujo en dos conductos de salida de una manera definida por el usuario, de los cuales solo puede haber dos conductos de descarga.
 - **Depósitos (Storage Units).** Tienen la capacidad de almacenar una cierta cantidad de agua y pueden representar desde pequeños sistemas de almacenamiento (pequeñas cuencas) hasta grandes sistemas (lagos).
- **Conductos (Links)**

Un conducto es una tubería o canal a través del cual el agua fluye de un nodo a otro en el sistema de transporte. Se pueden seleccionar las secciones transversales de diferentes geometrías abiertas y cerradas definidas en el programa. Asimismo, el programa permite definir áreas de cortes transversales irregulares para representar cauces naturales.

SWMM utiliza la ecuación de Manning para establecer la relación entre el caudal que circula por el conducto (Q), su sección transversal (A), su radio hidráulico (R) y pendiente (S) para resolver el problema de tuberías abiertas y cerradas (parcialmente llenas). La ecuación de Manning en el sistema internacional se expresa como:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R_h^{2/3} \cdot \sqrt{S}$$

Donde "n" es el coeficiente de rugosidad de Manning. Para el análisis de Flujo Uniforme (Steady Flow) y para el caso de la Onda Cinemática (Cinematic Wave), "S" se entiende como la pendiente de conducción. En el caso de utilizar el modelo de la Onda Dinámica, "S" se interpreta como la pendiente hidráulica del flujo (es decir, la pérdida por unidad de longitud).

Los principales parámetros de entrada para las conducciones son:

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

Importancia del Software SWMM 5.0

Según Ozoriaga y Sanabria (2017), el programa puede simular la escorrentía de agua de lluvia y el desbordamiento del alcantarillado. Sus rutinas de cálculo se basan en el inicio de la conservación de la masa y de la cantidad de movimiento, que calculan caudales, tirantes, velocidad, concentración y otras variables de interés en los lapsos temporales sutiles. La escorrentía superficial que se crea en cada Subcatchment, es estimada por el sistema teniendo en consideración que cada subcuenca actúa como un depósito no lineal. Este modelo de depósito no lineal es un modelo “agregado”, el cual es usado para la ecuación de la Conservación de la Masa y una ecuación tipo Onda Cinemática, con la finalidad de calcular el caudal de la escorrentía superficial a la salida de cada subcuenca.

Pero requiere los siguientes parámetros:

- Área en planta.
- Ancho característico de la subcuenca.
- Rugosidad superficial.
- Entre otros.

EPA SWMM 5.0 permite elegir entre tres diferentes metodologías de cálculo del flujo en la red de drenaje.

- **Steady Flow (Flujo Permanente).** Incluye el supuesto de que las condiciones de flujo no cambiarán durante cada intervalo de cálculo.

- **Kinematic Wave (Onda Cinemática).** Consiste en asumir la variabilidad temporal del caudal, resolviendo la aproximación de la ecuación de la Conservación de la Masa y la ecuación de la Conservación de la Cantidad de Movimiento.
- **Dynamic Wave (Onda Dinámica).** Incluye resolver la ecuación completa de Saint Venant (Conservación de la Masa y la Conservación de la Cantidad de Movimiento). Aunque requiere un tiempo de procesamiento de cálculo más largo, este método es el más correcto físicamente.

Limitaciones del Software SWMM 5.0

Las pérdidas de carga, las contracciones, las expansiones y curvas en los buzones no se consideran, porque se puede asignar un valor más alto al valor del coeficiente de Manning "n".

El error de continuidad es siempre un representante típico de la metodología numérica en la cual está basado SWMM, pues se debe resolver todos los supuestos de las ecuaciones de la Conservación de la Masa y Conservación de la Cantidad de Movimiento (Ozoriaga y Sanabria, 2017).

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

- **Alcantarillado.** Son tuberías subterráneas utilizadas para dirigir el agua de lluvia, aguas servidas o su combinación (Reglamento Nacional de Edificaciones [RNE], 2019).
- **Aguas Pluviales.** Son aguas de lluvia que fluyen sobre la superficie de la tierra.
- **Alcantarillado Pluvial.** Grupo de alcantarillas que transportan aguas de lluvia (Reglamento Nacional de Edificaciones [RNE], 2019).
- **Berma.** Son áreas laterales pavimentadas de la vía para el estacionamiento de emergencia y que estos mismos no causarán una interrupción del tráfico en las calzadas (Reglamento Nacional de Edificaciones [RNE], 2019).

- **Bombeo de la Pista.** Es la pendiente transversal contada desde el eje de la pista al final de la superficie del vehículo, expresada como porcentaje (Reglamento Nacional de Edificaciones [RNE], 2019).
- **Calzada.** Es la parte de una vía destinada al tránsito de vehículos (Reglamento Nacional de Edificaciones [RNE], 2019).
- **Caudal.** Es el volumen de agua por unidad de tiempo que escurre por un cauce (Pilán y Fernández, 2007).
- **Coeficiente de Escorrentía.** Es el coeficiente que indica la parte de la lluvia que escurre superficialmente (Reglamento Nacional de Edificaciones [RNE], 2019).
- **Coeficiente de Fricción.** Es el parámetro que representa la resistencia al flujo causada por la fricción entre la pared de la tubería y la pared de las canalizaciones, de los cuales el más común es el de Manning (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2019).
- **Cuenca.** Es la unidad básica de la investigación hidrológica, se define como el agua de lluvia que desciende a la superficie y que no se infiltra, sino que se dirige al punto de salida (cuenca abierta) o de áreas de almacenamiento como presas, lagos, estanques, entre otros. (cuenca de agua cerrada), teniendo en cuenta que el tamaño depende de la ubicación de salida (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2019).
- **Cunetas.** Estructura hidráulica abierta, estrecha y longitudinal. Es utilizada para transportar aguas de lluvia, generalmente ubicada a ambos lados de una vía (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2019).
- **Diseño.** Del concepto de objeto de uso al urbanismo, el diseño es la disciplina orientada a armonizar el entorno humano (Reglamento Nacional de Edificaciones [RNE], 2019).
- **Drenaje.** Método para eliminar el exceso de agua del terreno (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2019).

- **Drenaje Pluvial Urbano.** Consiste en una red de tuberías e instalaciones complementarias que otorgan la operación, mantenimiento y reparación; su propósito es evacuar el agua de lluvia que fluye por las calles y avenidas, evitando así el cúmulo de agua de lluvia y promoviendo el drenaje de su área de servicio. Asimismo, evitando la acumulación de aguas y la propagación de enfermedades (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2019).
- **Drenaje Urbano.** Drenaje de poblados y ciudades siguiendo criterios urbanísticos (Reglamento Nacional de Edificaciones [RNE], 2019).
- **Escorrentía.** Es el rumbo que sigue una gota de agua desde que cae a la tierra por el motivo de la precipitación hasta alcanzar el cauce de una corriente (Pilán y Fernández, 2007).
- **Frecuencia de Lluvias.** Es el número de veces de una precipitación repetida, de una intensidad dada en un período de tiempo dado, es decir, el período de ocurrencia de una lluvia dada (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2019).
- **Hidráulica.** Según Hernández (2014), define a la hidráulica como la rama de la física que se encarga de estudiar el comportamiento y el movimiento de los fluidos. Y que se dividen en:
 - Hidrostática o Estática de fluidos: Estudia los fluidos en reposo.
 - Hidrodinámica o Dinámica de fluidos: Estudia los fluidos en movimiento.
- **Hidrología.** Se encarga de estudiar la ocurrencia, circulación y distribución del agua en la superficie terrestre, así como su interacción con el medio ambiente (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2019).
- **Hietograma.** Es la distribución temporal de una lluvia que se representa gráficamente (diagrama de barras), y que consta de intervalos de tiempo previamente determinados. El tiempo se registra en el núcleo de las abscisas, y la altura e intensidad de la precipitación se registran en el eje de las ordenadas, generalmente

se expresan en (mm), o mm/h respectivamente (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2019).

- **Intensidad de la Lluvia.** Es la precipitación en superficie, es decir, la precipitación por unidad de tiempo en milímetros hasta la sección considerada (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2019).
- **Lluvia Efectiva.** Se refiere a la cantidad de agua perdida de la superficie por infiltración, evaporación, almacenamiento, en un charco o después de ser intervenida y retenida por la vegetación (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2019).
- **Pavimento.** Es el conjunto de capas superpuestas de varios materiales para soportar el tráfico de vehículos (Reglamento Nacional de Edificaciones [RNE], 2019).
- **Pendiente.** Es la relación entre la distancia vertical y la distancia horizontal de dos puntos (Narvaez y Llontop, 2019).
- **Periodo de Retorno.** Es el período de un evento de un tamaño determinado. Asimismo, es el intervalo de repetición promedio entre eventos iguales o superiores al tamaño especificado (Reglamento Nacional de Edificaciones [RNE], 2019).
- **Precipitación.** Es el fenómeno atmosférico que incluye la contribución de agua a la tierra en forma de lluvia, llovizna, nieve o granizo (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2019).
- **Rejilla.** Es una estructura metálica con aberturas de tamaño generalmente uniforme, que se utiliza para mantener sólidos suspendidos o flotantes en el agua de lluvia o aguas residuales, y no permite que dichos sólidos ingresen al sistema (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2019).
- **Sedimentador.** Es un dispositivo utilizado para separar partículas en suspensión en agua, por gravedad (Organización Panamericana de la Salud, 2005).
- **Sumidero o Coladera.** Estructuras diseñadas para recolectar aguas de lluvia, generalmente ubicadas en las esquinas para interceptar el agua antes de las zonas de tránsito peatonal (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2019).

- **Tiempo de Concentración.** Se define como el tiempo necesario para que las gotas de agua que caen en el extremo más alejado de la cuenca, fluyan hacia el primer sumidero y desde allí a través del conducto hasta el punto considerado.

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

El tiempo de entrada de agua se refiere al momento en que el agua de lluvia ingresa al suelo desde el punto más alejado, es decir, el momento en que el agua de lluvia ingresa al barranco o arroyo.

El tiempo de fluencia es el tiempo necesario para que el agua recorra los conductos desde el sitio de admisión, hasta la sección considerada (Reglamento Nacional de Edificaciones [RNE], 2019).
- **Tiempo de Respuesta.** Es el tiempo transcurrido desde el momento de la precipitación hasta que el caudal alcanza su valor máximo (Centro Aragonés de Tecnologías para la Educación [CATEDU], 2019).
- **Topografía.** Es la habilidad de medir distancias verticales y horizontales las cuales se miden en la superficie terrestre, además nos ayuda a medir ángulos.

La topografía está ligeramente ligada a la física y a la matemática, las cuales hacen que los resultados sean exactos y nos ayuda a encontrar los relieves de los terrenos a detalle, luego esta información se plasma en planos de forma gráfica o también en cartas topográficas (Narvaez y Llontop, 2007).
- **Vereda.** Es la senda que se encuentra por encima de la vía y se utiliza para el tráfico de peatones. También es conocido como acera (Reglamento Nacional de Edificaciones [RNE], 2019).
- **Vía.** Espacio destinado al tránsito de vehículos y/o personas (Reglamento Nacional de Edificaciones [RNE], 2019).

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. Hipótesis General

- H₁: Es posible diseñar el sistema de drenaje pluvial urbano, que permita solucionar los problemas de inundación en la avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis.
- H₀: No es posible diseñar el sistema de drenaje pluvial urbano, que permita solucionar los problemas de inundación en la avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis.

2.4.2. Hipótesis Específicas

- H_{1.1}: El estado actual del sistema drenaje pluvial se encuentra en condiciones deficientes, de manera que es posible plantear el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis.
- H_{0.1}: El estado actual del sistema drenaje pluvial no se encuentra en condiciones deficientes, de manera que no es posible plantear el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis.

- H_{1.2}: La precipitación permite conocer los aspectos hidrológicos para el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis.
- H_{0.2}: La precipitación no permite conocer los aspectos hidrológicos para el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis.

- H_{1.3}: Los componentes que se ajustan en el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano, permiten mejorar el encauzamiento de las aguas pluviales en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis.
- H_{0.3}: Los componentes que se ajustan en el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano, no permiten mejorar el encauzamiento de las aguas pluviales en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis.

2.5. VARIABLES

2.5.1. Variable Independiente

X: Aguas pluviales.

2.5.2. Variable Dependiente

$Y=F(X)$: Sistema de drenaje.

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 12. Operacionalización de variables.

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE Aguas pluviales	Son las aguas provenientes de las lluvias que escurren superficialmente por el terreno.	Aguas de lluvia que son transportadas con presencia de: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sedimentos. ▪ Cantos rodados. ▪ Aceites y grasas. ▪ Materiales metálicos, etc. 	Se establece según el transporte de aguas que escurren de: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Viviendas. ▪ Veredas. ▪ Calles, etc.
VARIABLE DEPENDIENTE Sistema de drenaje	Es un sistema de tuberías, sumideros e instalaciones que permite el rápido desalojo de las aguas de lluvia para evitar daños materiales y humanos debido al escurrimiento superficial generado por la lluvia.	Estado Actual Existente	Se indica según el diagnóstico situacional que incluye: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Observación directa. ▪ Operación. ▪ Mantenimiento. ▪ Vida útil, etc.
		Parámetros Hidrológicos	Se indica según los datos de entrada: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Intensidad. ▪ Duración. ▪ Frecuencia. ▪ Periodo de retorno. ▪ Tiempo de concentración, etc.
		Componentes	Se indica según las partes que se ajustan en el diseño: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sumideros. ▪ Colectores. ▪ Buzones de registro. ▪ Sedimentadores, etc.

FUENTE: Elaboración Propia.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo con Sierra (2001), referente al tipo de investigación, se tiene lo siguiente:

- **Por su Finalidad**

La presente investigación es de carácter aplicativo, pues se basa de estudios teóricos y prácticos para llegar a cumplir los objetivos propuestos.

- **Por su Amplitud**

La investigación corresponde al ámbito micro, debido a que se estima la Avenida 28 de agosto como tramo principal y sus tramos adyacentes de aporte, dentro del distrito de Amarilis.

- **Por su Naturaleza**

La investigación es empírica, ya que previamente se obtuvo conocimiento de la circulación masiva de aguas pluviales en la Avenida 28 de agosto y tramos adyacentes, por medio de la observación directa en campo.

3.1.1. Enfoque

El presente informe de investigación fue desarrollado bajo el enfoque cuantitativo, dado que se utilizó la recolección y el análisis de datos para probar la hipótesis establecida, en base a la medición numérica y el análisis estadístico con el fin de establecer las pautas de comportamiento, y finalmente probar la teoría planteada (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

3.1.2. Alcance o Nivel

La investigación obedeció al nivel descriptivo - explicativo, ya que se identificó, describió y se caracterizó al fenómeno de estudio (inundación), a su vez determinó la causa (precipitación) del fenómeno que se manifiesta en la realidad. Ya que según Jiménez (1998): “La investigación descriptiva está siempre en la base de la explicativa. No puede formularse una hipótesis causal si no se ha descrito profundamente el problema” (p. 13).

3.1.3. Diseño

El estudio de la investigación correspondió al tipo de diseño no experimental de orden transversal y descriptivo.

Fue no experimental, dado que no se manipularon las variables de la investigación, fue transversal, ya que para la obtención de los datos se procedió a realizarlo en un momento específico, y descriptivo, porque se midieron cada una de las variables de manera individual.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. Población

La población correspondió a la Avenida 28 de agosto y calles adyacentes a esta en el distrito de Amarilis, dentro de la región Huánuco.

3.2.2. Muestra

La muestra correspondió al muestreo no probabilístico por conveniencia. Siendo así, la muestra perteneció a la Avenida 28 de agosto comprendida entre la Av. Esteban Pavletich (Urb. Paucarbamba) y la Av. Los Laureles (Urb. Paucarbambilla); así también, la muestra correspondió a algunos tramos adyacentes a la avenida estimada dentro del distrito de Amarilis, Huánuco.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. Para la Recolección de Datos

Para la recopilación de los datos, se utilizaron diversas técnicas e instrumentos los cuales fueron:

- **Técnicas**

Las técnicas que se utilizaron en la investigación fueron las siguientes:

- **Observación.** Se pudo constatar en campo los diferentes comportamientos que presentaba la escorrentía superficial en las vías durante los eventos de precipitación. Además, se pudo apreciar el estado situacional del sistema de drenaje pluvial en la parte baja de la Avenida 28 de agosto.
- **Inspección.** Se realizó la inspección minuciosa de cada estructura de drenaje pluvial existente, tomando en cuenta sus características presentadas en la Avenida 28 de agosto.

- **Levantamiento Topográfico.** Se realizó el levantamiento topográfico de toda la zona de influencia.
- **Muestras de Sedimentos.** Se abrieron algunas rejillas de los sumideros existentes para extraer las muestras de las partículas de sedimentos.

Los procesos de trabajos realizados para la obtención de los datos, se presentan en el **APÉNDICE N°01** - Respecto a la Recolección de los Datos.

- **Instrumentos**

Los instrumentos que se utilizaron en la presente investigación, fueron los siguientes:

- Dron y cámara fotográfica.
- Fichas de Inspección.
- Topográficos.
- Libretas de campo.
- Información meteorológica local.
- Fuentes bibliográficas, etc.

3.3.2. Para la Presentación de Datos

Los datos obtenidos fueron presentados en diferentes cuadros y/o gráficos de resumen para luego pasar a procesarlos en diferentes softwares especializados, tales como el Word, Excel, AutoCAD, AutoCAD CIVIL 3D, HIDROESTA 2, SWMM 5 vE.

Los cuadros y/o gráficos mencionados anteriormente, se muestran en el **APÉNDICE N°02** - Respecto a la Presentación de los Datos.

3.3.3. Para el Análisis e Interpretación de los Datos

El análisis e interpretación de los datos se realizó en el siguiente orden:

- Observación Visual de la Transformación lluvia en escorrentía superficial de la Zona de Estudio.
- Evaluación del Estado Actual de las Estructuras de Drenaje Pluvial.
- Análisis Hidrológico de la Zona de Estudio.
- Propuesta de Diseño del Sistema de Drenaje Pluvial.

Los trabajos realizados a detalle se presentan en el **APÉNDICE N°03 -**
Respecto al Análisis e Interpretación de los Datos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

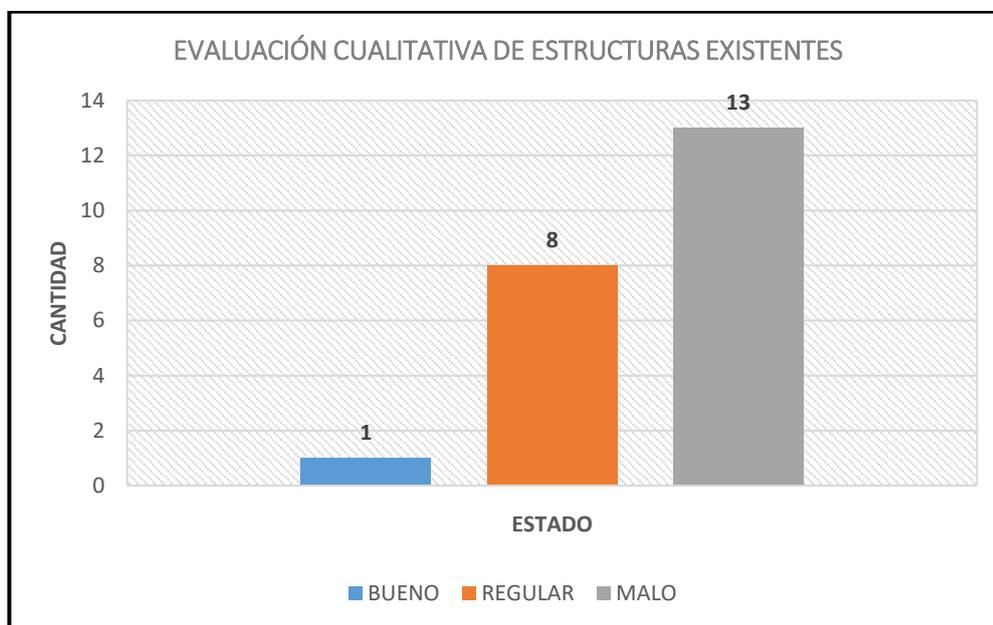
En este capítulo se conocerán todos los resultados obtenidos del análisis e interpretación de los datos a excepción de la Observación Visual de la Transformación lluvia en escorrentía superficial de la Zona de Estudio. Los resultados obtenidos siguen el camino para cumplir con los objetivos propuestos de la presente investigación, los cuales consisten en tres etapas:

- Evaluación del Estado Actual de las Estructuras de Drenaje Pluvial.
- Análisis Hidrológico de la Zona de Estudio.
- Propuesta de Diseño del Sistema de Drenaje Pluvial.

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

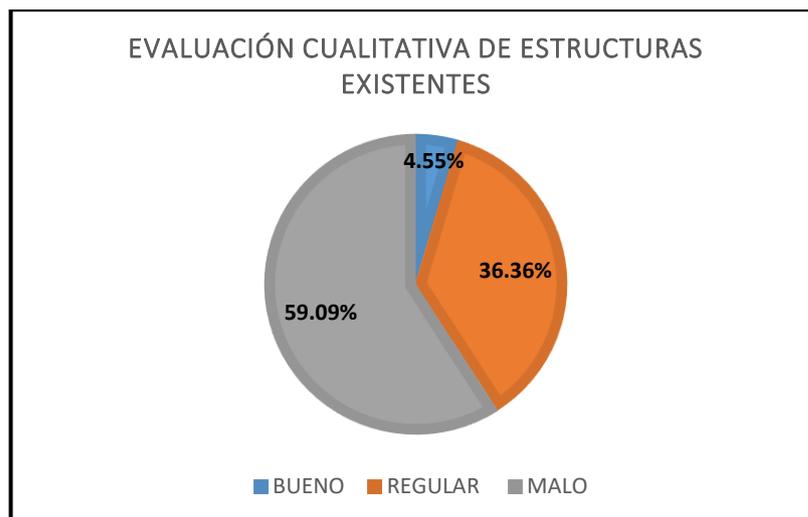
4.1.1. Evaluación del Estado Actual de las Estructuras de Drenaje Pluvial

De acuerdo al estado de las estructuras existentes en la parte baja de la Avenida 28 de agosto, se obtuvieron los siguientes resultados:



FUENTE: Elaboración propia.

Gráfico 1. Evaluación cualitativa de estructuras existentes en la Av. 28 de agosto.



FUENTE: Elaboración propia.

Gráfico 2. Evaluación cualitativa porcentual de estructuras existentes en la Av. 28 de agosto.

Tabla 13. Resumen de evaluación de estructuras existentes en la Av. 28 de agosto.

ESTADO	CANTIDAD	VALOR PORCENTUAL (%)
Bueno	1.00	4.55
Regular	8.00	36.36
Malo	13.00	59.09
Total	22.00	100.00

FUENTE: Elaboración propia.

Según los resultados descritos en la Tabla 13, el estado más representativo de la evaluación pertenece al 59.09 % de condición Malo, con características de colmatación de partículas de sedimentos, fisuras, roturas, etc., en las estructuras de drenaje pluvial existente de la Avenida 28 de agosto.

4.1.2. Análisis Hidrológico de la Zona de Estudio

Los parámetros hidrológicos han sido determinados con la ayuda de los planos topográficos, plano catastral, información del SENAMHI, etc. Los resultados obtenidos fueron a partir de:

Área y Perímetro de la Cuenca

Para el área y perímetro de la cuenca urbana, estos mismos han sido delimitados gracias al programa computacional AutoCAD CIVIL 3D, presentando las siguientes características obtenidas:

Tabla 14. Área y perímetro de la cuenca urbana.

Descripción	Área			Perímetro
	m ²	has	km ²	ml
Cuenca	30,4315.69	30.43	0.3043	2,609.76

FUENTE: Elaboración propia.

Índice de Compacidad

El índice de compacidad o índice de Gravelious fue obtenido a partir del área y perímetro de la cuenca de estudio. En la Tabla 15 se muestra el resultado correspondiente.

Tabla 15. Índice de compacidad de la cuenca urbana.

Descripción	Índice de compacidad		
	K	Evaluación	Resultado
Cuenca	1.32	K>1	Cuenca de forma alargada.

FUENTE: Elaboración propia.

Pendiente del Cauce principal

La pendiente principal del cauce fue obtenida a través un promedio de pendientes perteneciente a la vía izquierda y derecha de la Avenida 28 de agosto. El método utilizado fue el de Taylor Schwartz.

Tabla 16. Pendientes del cauce.

Descripción	Pendiente – Vía izquierda y derecha		Pendiente ponderada
	S ₁ (m/m)	S ₂ (m/m)	S _p (m/m)
Cauce	0.0316	0.0322	0.0319

FUENTE: Elaboración propia.

Tiempo de Concentración

Se presenta los resultados del tiempo de concentración determinado mediante distintos métodos y el valor final asumido:

Tabla 17. Tiempos de concentración.

Descripción	Kirpich (min)	Federal Aviation Administration (min)	Ecuación de retardo del SCS (min)	Tc asumido (min)
Cuenca	13.83	17.95	20.02	15.00

FUENTE: Elaboración propia.

Precipitaciones Máximas Anuales

Los resultados de las precipitaciones máximas anuales fueron obtenidos de una selección de datos de precipitaciones mensuales máximas en 24

horas, perteneciente a la Estación Meteorológica de Huánuco. La siguiente tabla muestra los resultados correspondientes:

Tabla 18. Precipitaciones máximas anuales obtenidas de la Estación Meteorológica "Huánuco".

N°	AÑO	PRECIPITACIÓN MÁXIMA ANUAL (mm)
01	1994	24.00
02	1995	18.90
03	1996	17.10
04	1997	11.40
05	1998	27.50
06	1999	33.00
07	2000	20.30
08	2001	48.70
09	2002	27.20
10	2003	23.00
11	2004	17.60
12	2005	25.50
13	2006	28.00
14	2007	27.30
15	2008	33.10
16	2009	19.60
17	2010	22.60
18	2011	36.20
19	2012	30.70
20	2013	19.90
21	2014	24.80
22	2015	31.70
23	2016	17.30
24	2017	25.80
25	2018	22.90

FUENTE: Elaboración propia.

Prueba de Bondad de Ajuste (Kolmogorov – Smirnov)

Para saber que distribución teórica se ajustaba mejor a los datos procesados de precipitaciones máximas anuales, se aplicó la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov, cuyos resultados con el software HIDROESTA 2 fueron lo siguiente:

Tabla 19. Resultado de la Prueba de Bondad de Ajuste de Kolmogorov - Smirnov.

DISTRIBUCIÓN PROBABILÍSTICA	PRUEBA: SMIRNOV - KOLMOGOROV		
	Dc	Dt	¿Se ajusta?
Normal	0.0961	0.272	Sí
Log Normal 2 parámetros	0.0569	0.272	Sí
Log Normal 3 parámetros	0.0516	0.272	Sí

Gamma 2 parámetros	0.0593	0.272	Sí
Gamma 3 parámetros	0.0706	0.272	Sí
Log Pearson Tipo III	-	-	No
Gumbel	0.0637	0.272	Sí
Log Gumbel	0.1173	0.272	Sí
Mejor ajuste	Distribución Log Normal 3 parámetros		

FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.

Precipitación Máxima Anual

Con el software HIDROESTA 2 también se pudo determinar la precipitación máxima probable con la distribución de mejor ajuste.

Tabla 20. Precipitaciones máximas según la distribución Log Normal 3 parámetros.

ESTACIÓN "HUÁNUCO"		
Distribución	Periodo de Retorno (T)	Precipitación Máxima (mm)
Log Normal 3 parámetros	2	24.52
	5	31.11
	10	35.11
	25	39.86
	50	43.21
	75	45.11
	100	46.44
	500	53.64

FUENTE: Elaboración propia.

Probabilidad de ocurrencia según el Periodo de Retorno

Con el software HIDROESTA 2 se pudo determinar también la probabilidad de ocurrencia de un evento de lluvia inesperado para cada periodo de retorno. Los resultados se muestran a continuación:

Tabla 21. Probabilidad de ocurrencia de las precipitaciones máximas según la distribución Log Normal 3 parámetros.

ESTACIÓN "HUÁNUCO"		
Distribución	Periodo de Retorno (T)	Probabilidad de ocurrencia de Pmax. (%)
Log Normal 3 parámetros	2	49.97
	5	19.99
	10	10.00
	25	3.99
	50	2.00
	75	1.33
	100	1.00
	500	0.20

FUENTE: Elaboración propia.

Curvas IDT (Intensidad – Duración – Periodo de retorno)

Los resultados en relación a las curvas IDT empiezan a partir de haber determinado la ecuación de intensidad máxima para un periodo de retorno y una duración establecida. En el presente estudio las ecuaciones de intensidad se han determinado mediante los métodos que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 22. Ecuaciones de intensidad máxima según Frederich Bell y el estudio IILA.

Descripción	Por Frederich Bell	Estudio IILA
Ecuación de Intensidad	$I = \frac{92.1726T^{0.2040}}{D^{0.5535}}$	$i_{t,T} = \frac{7.7951[1 + 0.553\text{Log}_{10}(T)]}{(t + 0.40)^{0.595}}$

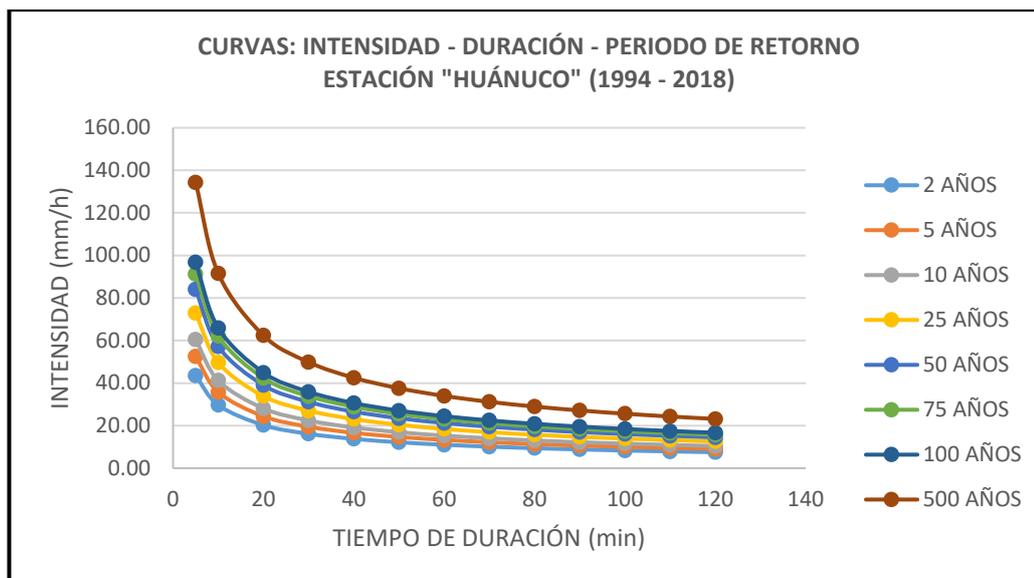
FUENTE: Elaboración propia.

A continuación, se presentan los resultados de la distribución de intensidades máximas y las curvas IDT correspondientes. La Tabla 23 muestra los resultados según el método de Frederich Bell.

Tabla 23. Distribución de intensidades máximas para las curvas IDT según Frederich Bell.

Duración "D" (min)	PERIODO DE RETORNO "T" (años)							
	2	5	10	25	50	75	100	500
5	43.56	52.52	60.50	72.93	84.01	91.25	96.77	134.37
10	29.68	35.78	41.22	49.69	57.24	62.17	65.93	91.56
20	20.23	24.38	28.09	33.86	39.00	42.36	44.92	62.38
30	16.16	19.48	22.44	27.05	31.16	33.85	35.89	49.84
40	13.78	16.61	19.14	23.07	26.57	28.87	30.61	42.51
50	12.18	14.68	16.91	20.39	23.49	25.51	27.05	37.57
60	11.01	13.27	15.29	18.43	21.23	23.06	24.46	33.96
70	10.11	12.19	14.04	16.92	19.50	21.18	22.46	31.18
80	9.39	11.32	13.04	15.72	18.11	19.67	20.86	28.96
90	8.80	10.61	12.22	14.73	16.96	18.43	19.54	27.13
100	8.30	10.00	11.52	13.89	16.00	17.38	18.43	25.60
110	7.87	9.49	10.93	13.18	15.18	16.49	17.49	24.28
120	7.50	9.04	10.42	12.56	14.47	15.71	16.66	23.14

FUENTE: Elaboración propia.



FUENTE: Elaboración propia.

Gráfico 3. Curvas IDT según Frederich Bell - Estación "Huánuco".

En la presente investigación, se tomó en cuenta la curva IDT correspondiente al periodo de retorno de $T = 10$ años, ya que se propuso diseñar un sistema de drenaje pluvial de tipo menor.

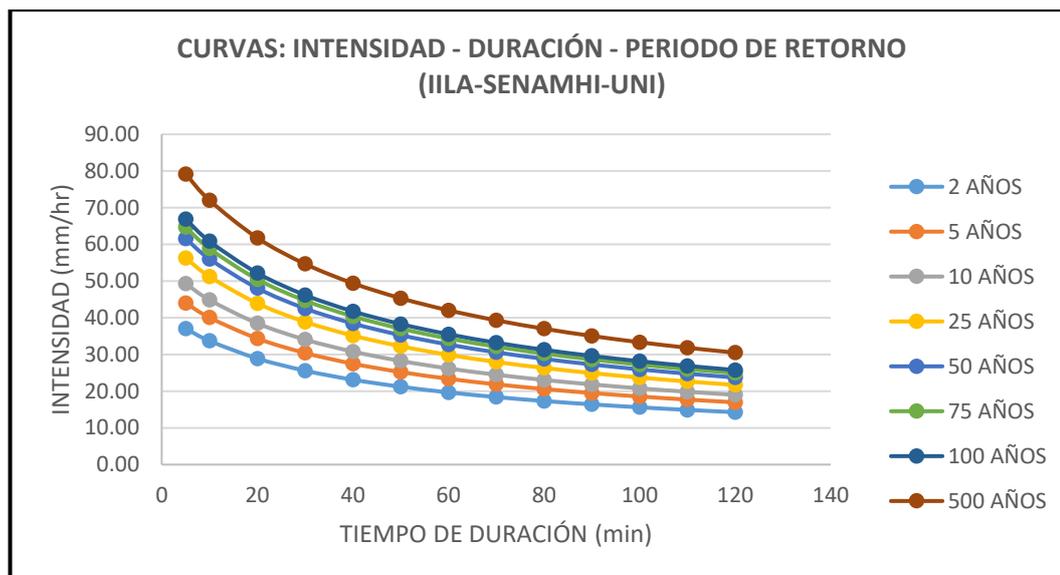
A continuación, se presentan los resultados de la distribución de intensidades máximas y las curvas IDT correspondientes. La Tabla 24 muestra los resultados según el estudio IILA.

Tabla 24. Distribución de intensidades máximas para las curvas IDT según el estudio IILA.

Duración "D" (min)	PERIODO DE RETORNO "T" (años)							
	2	5	10	25	50	75	100	500
5	37.04	44.03	49.32	56.31	61.59	64.69	66.88	79.15
10	33.70	40.06	44.86	51.22	56.03	58.84	60.84	72.01
20	28.91	34.36	38.48	43.94	48.06	50.48	52.19	61.77
30	25.59	30.42	34.07	38.90	42.55	44.68	46.20	54.68
40	23.13	27.49	30.79	35.16	38.46	40.39	41.76	49.42
50	21.22	25.22	28.25	32.25	35.28	37.05	38.30	45.33
60	19.67	23.39	26.19	29.90	32.71	34.35	35.52	42.04
70	18.40	21.87	24.50	27.97	30.59	32.13	33.22	39.32
80	17.33	20.59	23.07	26.34	28.81	30.26	31.28	37.02
90	16.41	19.50	21.84	24.94	27.28	28.65	29.62	35.05
100	15.60	18.55	20.78	23.72	25.95	27.25	28.17	33.34
110	14.90	17.71	19.84	22.65	24.78	26.02	26.90	31.84
120	14.28	16.97	19.01	21.70	23.74	24.93	25.77	30.51

FUENTE: Elaboración propia.

En el siguiente gráfico se muestran las curvas IDT para distintos periodos de retorno.



FUENTE: Elaboración propia.

Gráfico 4. Curvas IDT según el estudio IILA.

Finalmente, se cuenta también con los resultados de las precipitaciones máximas obtenidas de la distribución de mejor ajuste (Log Normal 3 parámetros) y el estudio IILA, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 25. Precipitaciones máximas según distribución Log Normal 3 parámetros y estudio IILA.

Periodo de retorno "T" (años)	Precipitaciones máximas (mm)	
	Log Normal 3 parámetros	Estudio IILA
2	24.52	67.55
5	31.11	80.30
10	35.11	89.94
25	39.86	102.69
50	43.21	112.33
75	45.11	117.97
100	46.44	121.97
500	53.64	144.35

FUENTE: Elaboración propia.

Al observar la Tabla 25, los resultados del estudio IILA sobredimensionan el valor de las precipitaciones máximas en 24 horas. Por tanto, para el estudio se debe asumir como precipitación máxima en 24 horas a las calculadas mediante la distribución de probabilidad Log Normal 3 parámetros.

Tormenta del Proyecto

La tormenta de diseño fue establecida mediante el estudio de hietogramas por el método del Bloque Alternado para un periodo de retorno de 10 años. En

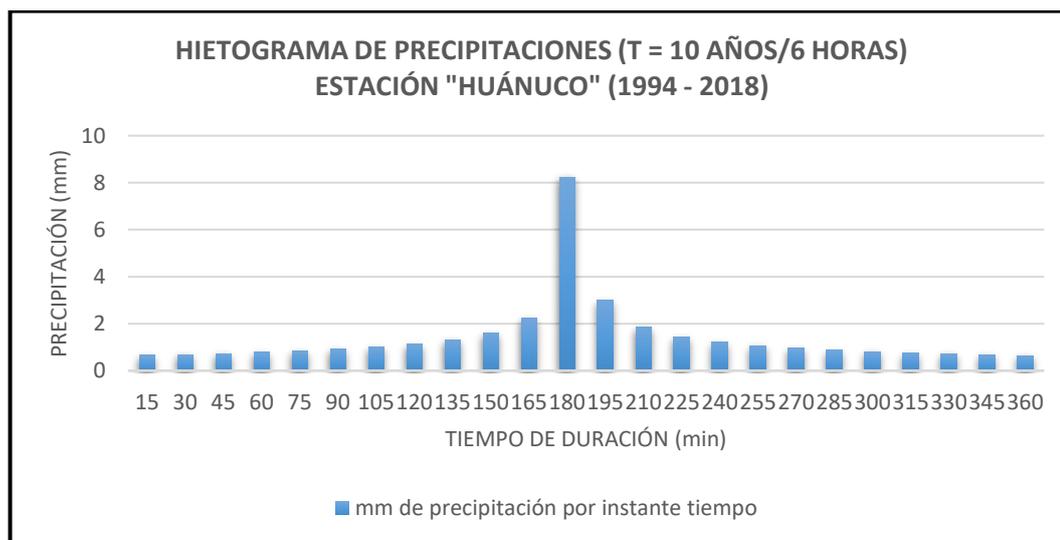
la Tabla 26 se muestra los resultados de los cálculos de precipitaciones e intensidades para distintos intervalos de duración.

Tabla 26. Valores del Hietograma – T = 10 años.

VALORES PARA LA OBTENCIÓN DEL HIETOGRAMA - T = 10 AÑOS							
DURACIÓN DE LA TORMENTA: 6 horas				INTENSIDAD DE LLUVIA : 5.67 mm/h			
INTERVALOS DE TIEMPO : 15 minutos				PRECIPITACIÓN EN 24 HORAS: 34.03 milímetros			
N°	Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm/h)
01	15	32.93	8.23	8.23	32.93	0.66	2.62
02	30	22.44	11.22	2.99	11.95	0.69	2.76
03	45	17.93	13.45	2.23	8.91	0.73	2.92
04	60	15.29	15.29	1.84	7.37	0.78	3.12
05	75	13.51	16.89	1.60	6.41	0.84	3.35
06	90	12.22	18.32	1.43	5.73	0.91	3.63
07	105	11.22	19.63	1.31	5.22	1.00	4.00
08	120	10.42	20.84	1.21	4.82	1.13	4.50
09	135	9.76	21.96	1.13	4.50	1.31	5.22
10	150	9.21	23.02	1.06	4.23	1.60	6.41
11	165	8.73	24.02	1.00	4.00	2.23	8.91
12	180	8.32	24.97	0.95	3.81	8.23	32.93
13	195	7.96	25.88	0.91	3.63	2.99	11.95
14	210	7.64	26.75	0.87	3.48	1.84	7.37
15	225	7.36	27.59	0.84	3.35	1.43	5.73
16	240	7.10	28.39	0.81	3.23	1.21	4.82
17	255	6.86	29.17	0.78	3.12	1.06	4.23
18	270	6.65	29.93	0.75	3.02	0.95	3.81
19	285	6.45	30.66	0.73	2.92	0.87	3.48
20	300	6.27	31.37	0.71	2.84	0.81	3.23
21	315	6.11	32.06	0.69	2.76	0.75	3.02
22	330	5.95	32.73	0.67	2.69	0.71	2.84
23	345	5.81	33.39	0.66	2.62	0.67	2.69
24	360	5.67	34.03	0.64	2.56	0.64	2.56

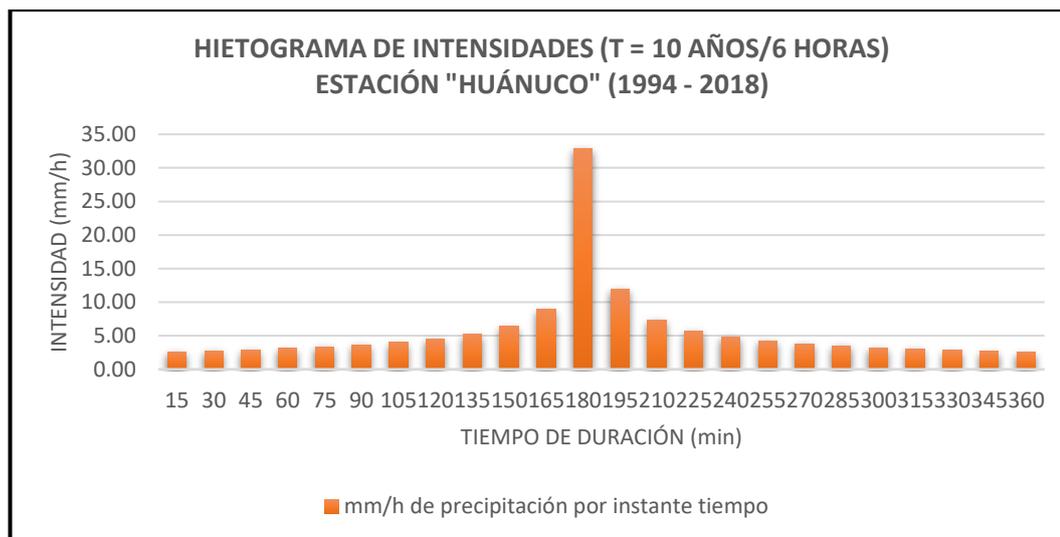
FUENTE: Elaboración propia.

Definida la precipitación alternada y la intensidad parcial alternada, se obtuvo los siguientes gráficos:



FUENTE: Elaboración propia.

Gráfico 5. Hietograma de diseño - Precipitaciones.



FUENTE: Elaboración propia.

Gráfico 6. Hietograma de diseño - Intensidades.

4.1.3. Propuesta de Diseño del Sistema de Drenaje Pluvial

Este apartado contempla los resultados de ensayos de laboratorio de mecánica de suelos para el diseño de sedimentadores, estos mismos con sus resultados incluidos. Contempla también los resultados del modelamiento y diseño del sistema de drenaje pluvial.

Ensayos de laboratorio de mecánica de suelos

Los resultados para cada tipo de ensayo se describen de la siguiente manera:

- **Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado – NTP 339.128 (ASTM D 422)**

Para la Muestra N°01:

Tabla 27. Resultados de cálculo en el Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado – Muestra N°01.

DESCRIPCIÓN	ABREVIACIÓN	VALOR
Porcentaje de humedad higroscópica	% <i>H.H</i>	23.40 %
Porcentaje de error en peso	% <i>E.P</i>	0.86 %
Diámetro correspondiente al 10 % en la curva granulométrica	D_{10}	0.10 mm
Diámetro correspondiente al 30 % en la curva granulométrica	D_{30}	0.21 mm
Diámetro correspondiente al 60 % en la curva granulométrica	D_{60}	0.78 mm

Coeficiente de uniformidad	C_u	7.80
Coeficiente de curvatura	C_c	0.57

FUENTE: Elaboración propia.

Finalmente, según la distribución granulométrica vista en los ensayos de mecánica de suelos, la Muestra N°01 se caracterizó por presentar las siguientes características:

- Tamaño máximo absoluto: **3/4" = 19.0 mm.**
- Tamaño máximo nominal : **3/8" = 9.5 mm.**
- Porcentaje grava (Retiene el tamiz N°04) : **17.23 %**
- Porcentaje arena (Pasa el N°04 y retiene el N°200) : **79.19 %**
- Porcentaje de limos y arcillas (Pasa el tamiz N°200): **3.58 %**

Para la Muestra N°02:

Tabla 28. Resultados de cálculo en el Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado – Muestra N°02.

DESCRIPCIÓN	ABREVIACIÓN	VALOR
Porcentaje de humedad higroscópica	% <i>H.H</i>	24.04 %
Porcentaje de error en peso	% <i>E.P</i>	0.48 %
Diámetro correspondiente al 10 % en la curva granulométrica	D_{10}	0.10 mm
Diámetro correspondiente al 30 % en la curva granulométrica	D_{30}	0.17 mm
Diámetro correspondiente al 60 % en la curva granulométrica	D_{60}	0.36 mm
Coeficiente de uniformidad	C_u	3.60
Coeficiente de curvatura	C_c	0.80

FUENTE: Elaboración propia.

Finalmente, según la distribución granulométrica vista en los ensayos de mecánica de suelos, la Muestra N°02 se caracterizó por presentar las siguientes características:

- Tamaño máximo absoluto: **3/4" = 19.0 mm.**
- Tamaño máximo nominal : **3/8" = 9.5 mm.**
- Porcentaje grava (Retiene el tamiz N°04) : **1.81 %**
- Porcentaje arena (Pasa el N°04 y retiene el N°200) : **95.82 %**
- Porcentaje de limos y arcillas (Pasa el tamiz N°200): **2.37 %**

- **Gravedad Específica de los Sólidos del Suelo (Picnómetro) – NTP 339.131 (ASTM D 854)**

Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 29. Resultados de la gravedad específica de los sólidos.

DESCRIPCIÓN	MUESTRA N°01	MUESTRA N°02	VALOR ASUMIDO
Peso específico relativo de sólidos	2.50 gr/cm3.	2.51 gr/cm3.	2.51 gr/cm3.

FUENTE: Elaboración propia.

- **Clasificación Unificada de Suelos (SUCS) – NTP 339.134 (ASTM D 2487)**

Con la clasificación unificada de suelos propuesta por el SUCS, se obtuvo los siguientes resultados:

- ❖ **Para la Muestra N°01:** Se trata de un **suelo arenoso mal graduado con grava.**
- ❖ **Para la Muestra N°02:** Se trata de un **suelo arenoso mal graduado.**

La norma E-050 (Suelos y Cimentaciones) del RNE, permite representar el resultado del suelo ensayado con su simbología, gráfico y descripción.

DIVISIONES MAYORES	SIMBOLO		DESCRIPCIÓN
	SUCS	GRÁFICO	
SUELOS GRANULARES	GRAVA Y SUELOS GRAVOSOS	GW	GRAVA GRADUADA BIEN
		GP	GRAVA GRADUADA MAL
		GM	GRAVA LIMOSA
		GC	GRAVA ARCILLOSA
	ARENA Y SUELOS ARENOSOS	SW	ARENA GRADUADA BIEN
		SP	ARENA GRADUADA MAL
		SM	ARENA LIMOSA
		SC	ARENA ARCILLOSA
SUELOS FINOS	LIMOS Y ARCILLAS (LL < 50)	ML	LIMO INORGÁNICO DE BAJA PLASTICIDAD
		CL	ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD
		OL	LIMO ORGÁNICO O ARCILLA ORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD
	LIMOS Y ARCILLAS (LL > 50)	MH	LIMO INORGÁNICO DE ALTA PLASTICIDAD
		CH	ARCILLA INORGÁNICA DE ALTA PLASTICIDAD
		OH	LIMO ORGÁNICO O ARCILLA ORGÁNICA DE ALTA PLASTICIDAD

FUENTE: Elaboración propia en base al Reglamento Nacional de Edificaciones (E-050), 2019.

Figura 31. Simbología de suelos.

Sedimentadores Propuestos

Los resultados de los sedimentadores fueron obtenidos a través de cálculos propuestos por la “Guía para el Diseño de Desarenadores y Sedimentadores” de la Organización Panamericana de la Salud. En la Tabla 30, se muestran los resultados correspondientes.

Tabla 30. Resultados del diseño de sedimentadores.

Descripción		Sedimentador N°01	Sedimentador N°02	Sedimentador N°03	Sedimentador N°04
Velocidades de Diseño (cm/s)	V''_S	2.34	2.34	0.86	2.34
	V_O	0.77	0.78	0.26	0.77
	V_H	4.60	5.29	1.28	4.40
	V_R	17.79	17.79	13.78	17.79
Periodos de Diseño (s)	t	64.10	64.10	174.42	64.10
	θ	192.30	192.30	523.26	192.30
	t_{paso}	195.60	192.82	585.94	195.45
Dimensiones (m)	H	1.50	1.50	1.50	1.50
	B	1.50	2.55	1.25	2.15
	L	9.00	10.20	7.50	8.60
Carga Hidráulica (m ³ /m ² .s)	q	0.00767	0.00778	0.00257	0.00768
Eficiencia (%)	P_S	100	100	100	100
Diámetro mínimo a ser Removida (mm)	d'_p	0.02 ~ 0.05	0.02 ~ 0.05	0.01 ~ 0.05	0.02 ~ 0.05

FUENTE: Elaboración propia.

Donde:

V''_S : Velocidad de sedimentación efectiva de la partícula analizada (cm/s).

V_O : Velocidad de sedimentación teórica de la partícula (cm/s).

V_H : Velocidad horizontal del flujo (cm/s).

V_R : Velocidad de resuspensión de la partícula (cm/s).

t : Tiempo ideal de sedimentación o de caída de la partícula (s).

θ : Periodo de retención hidráulico de la partícula (s).

t_{paso} : Tiempo de paso del flujo (s).

H : Altura de diseño (m).

B : Ancho (m).

L : Largo (m).

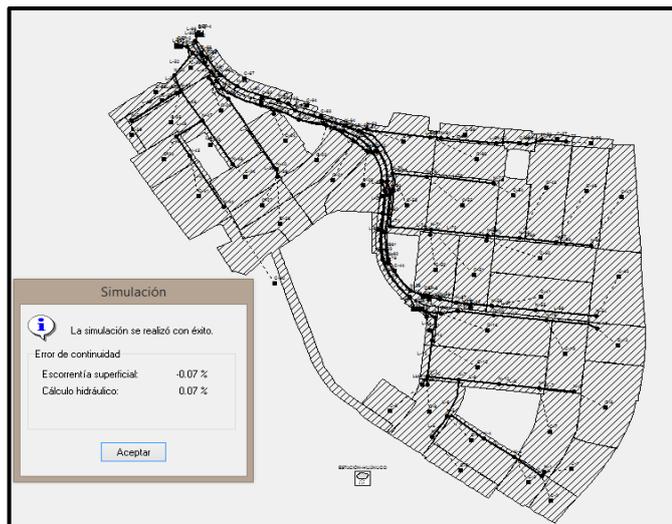
- **Modelamiento hidrológico e hidráulico del Sistema de Drenaje Pluvial Urbano**

En la Figura 33 se observa el proceso de simulación del sistema mediante el método de la onda dinámica, para un evento de lluvia de duración de 6 horas, aproximadamente. Asimismo, en la Figura 34 se observa el proceso de simulación finalizada, el cual arrojó un error de continuidad de -0.07% para la escorrentía superficial y de 0.07% para el cálculo hidráulico.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

Figura 33. Proceso de simulación del sistema.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

Figura 34. Simulación finalizada del sistema.

Los resultados de la modelación y diseño final fueron extraídos del informe de estado que presenta el software. A continuación, se muestran las tablas de los resultados correspondientes:

Tabla 31. Resultados de la escorrentía superficial.

*****	Volumen	Altura
Escorrentía Superficial	ha · m	mm
*****	-----	-----
Precipitación Total	0.844	33.812
Pérdidas Evaporación	0.000	0.000
Pérdidas Infiltración	0.056	2.260
Escorrentía Superficial ..	0.753	30.189
Almacen. Final en Sup. ...	0.035	1.386
% Error Continuidad	-0.066	

FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

Tabla 32. Resultados del cálculo hidráulico.

*****	Volumen	Volumen
Cálculo Hidráulico	ha · m	10 ³ m ³
*****	-----	-----
Aporte Tiempo Seco	0.000	0.000
Aporte Tiempo Lluvia	0.743	7.428
Aporte Ag. Subterránea ...	0.000	0.000
Aportes dep. Lluvia	0.000	0.000
Aportes Externos	0.000	0.000
Descargas Externas	0.728	7.275
Descargas Internas	0.000	0.000
Perdidas Almacenamiento ..	0.000	0.000
Vol. Almacenado Inicial ..	0.000	0.000
Vol. Almacenado Final	0.015	0.148
% Error Continuidad	0.066	

FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

Los resultados de la siguiente tabla, permiten conocer la magnitud de la precipitación en las subcuencas, cuya serie temporal fue de 6 horas, aproximadamente. A su vez, permite conocer la infiltración y escorrentía total producida; de esta manera el software determina automáticamente el coeficiente de escorrentía teniendo en cuenta las características físicas de cada subcuenca.

Tabla 33. Resultados del resumen de la escorrentía en subcuencas.

Subcuenca	Precip Total mm	Infil Total mm	Escor. Total mm	Escor. Total 10 ⁶ ltr	Escor. Punta LPS	Coef. Escor.
C-1	33.812	5.025	27.086	0.122	36.017	0.801
C-2	33.812	5.025	27.126	0.065	19.225	0.802
C-3	33.812	2.516	29.773	0.089	25.842	0.881
C-4	33.812	3.312	28.906	0.179	52.370	0.855
C-5	33.812	1.304	31.115	0.090	25.829	0.920
C-6	33.812	5.225	27.033	0.260	76.282	0.800
C-7	33.812	1.831	30.601	0.217	62.351	0.905
C-8	33.812	1.833	30.308	0.088	25.358	0.896

C-9	33.812	1.288	31.193	0.203	57.888	0.923
C-10	33.812	2.166	30.164	0.296	85.489	0.892
C-11	33.812	1.334	31.811	0.019	5.342	0.941
C-12	33.812	2.448	30.075	0.147	42.371	0.889
C-13	33.812	1.276	31.201	0.178	50.780	0.923
C-14	33.812	2.052	30.332	0.297	85.394	0.897
C-15	33.812	0.044	33.486	0.023	6.400	0.990
C-16	33.812	3.855	28.870	0.032	9.175	0.854
C-17	33.812	0.000	33.594	0.013	3.659	0.994
C-18	33.812	0.000	33.592	0.013	3.659	0.994
C-19	33.812	0.000	33.593	0.027	7.318	0.994
C-20	33.812	4.843	27.298	0.128	37.816	0.807
C-21	33.812	2.514	29.791	0.122	35.271	0.881
C-22	33.812	1.244	31.393	0.132	37.442	0.928
C-23	33.812	0.000	33.517	0.020	5.488	0.991
C-24	33.812	2.757	29.577	0.151	43.539	0.875
C-25	33.812	0.000	33.584	0.034	9.147	0.993
C-26	33.812	0.000	33.576	0.010	2.744	0.993
C-27	33.812	1.356	31.144	0.084	24.022	0.921
C-28	33.812	3.579	28.583	0.097	28.502	0.845
C-29	33.812	1.343	30.987	0.201	57.835	0.916
C-30	33.812	6.069	26.227	0.233	68.748	0.776
C-31	33.812	1.327	31.186	0.228	64.966	0.922
C-32	33.812	1.100	31.437	0.132	37.569	0.930
C-33	33.812	0.222	33.225	0.037	10.031	0.983
C-34	33.812	1.329	31.144	0.146	41.835	0.921
C-35	33.812	1.171	31.286	0.135	38.395	0.925
C-36	33.812	0.919	31.928	0.026	7.192	0.944
C-37	33.812	2.321	30.669	0.037	10.407	0.907
C-38	33.812	0.714	32.600	0.055	15.347	0.964
C-39	33.812	1.168	31.941	0.057	16.058	0.945
C-40	33.812	2.453	30.017	0.243	70.023	0.888
C-41	33.812	2.116	30.280	0.263	75.686	0.896
C-42	33.812	1.577	31.575	0.016	4.422	0.934
C-43	33.812	0.169	33.308	0.030	8.213	0.985
C-44	33.812	0.000	33.593	0.020	5.488	0.994
C-45	33.812	0.000	33.594	0.013	3.659	0.994
C-46	33.812	0.000	33.593	0.013	3.659	0.994
C-47	33.812	5.030	27.140	0.206	60.760	0.803
C-48	33.812	1.386	31.047	0.251	72.013	0.918
C-49	33.812	1.270	31.198	0.253	72.177	0.923
C-50	33.812	1.260	31.188	0.237	67.753	0.922
C-51	33.812	1.265	31.192	0.156	44.571	0.923
C-52	33.812	1.644	30.851	0.167	47.632	0.912
C-53	33.812	0.862	31.758	0.162	45.901	0.939
C-54	33.812	3.624	28.521	0.120	34.871	0.844
C-55	33.812	2.851	29.233	0.251	73.313	0.865
C-56	33.812	0.551	32.354	0.026	7.251	0.957
C-57	33.812	0.551	32.354	0.026	7.251	0.957
C-58	33.812	1.352	31.367	0.044	12.454	0.928
C-59	33.812	1.245	31.182	0.075	21.404	0.922
C-60	33.812	1.125	31.383	0.169	48.273	0.928
C-61	33.812	1.142	31.356	0.191	54.514	0.927
C-62	33.812	0.000	33.588	0.030	8.232	0.993
C-63	33.812	0.000	33.595	0.017	4.574	0.994
C-64	33.812	2.234	30.135	0.009	2.609	0.891
C-65	33.812	0.000	33.594	0.024	6.403	0.994
C-66	33.812	0.000	33.594	0.013	3.659	0.994
C-67	33.812	1.640	30.635	0.070	20.300	0.906
C-68	33.812	0.000	33.588	0.010	2.744	0.993

Sistema	33.812	2.260	30.189	7.532	2162.905	0.893

FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

En la Tabla 34 se puede apreciar los resultados de niveles medio y máximo alcanzado en cada nudo, vertido y depósito de almacenamiento. Asimismo, gracias a la información topográfica se pudo conocer la altura correspondiente al nivel máximo de agua.

El software también permite conocer el instante en el que se desarrolla el tirante máximo de los componentes descritos en la Tabla 34, lo cual en todos los casos muestra que ocurre en el tiempo parcial del evento de lluvia dado.

Tabla 34. Resultados del resumen de nivel en nudos.

Nudo	Tipo	Nivel Medio Metros	Nivel Máximo Metros	Altura Máxima Metros	Instante Nivel Máx. hr:min
N-1	JUNCTION	0.05	0.12	1967.62	03:15
N-2	JUNCTION	0.03	0.08	1967.55	03:15
N-3	JUNCTION	0.04	0.10	1965.29	03:15
N-4	JUNCTION	0.05	0.11	1963.48	03:15
N-5	JUNCTION	0.08	0.20	1962.02	03:15
N-6	JUNCTION	0.04	0.10	1962.16	03:15
N-7	JUNCTION	0.09	0.22	1961.50	03:15
N-8	JUNCTION	0.05	0.11	1965.80	03:15
N-9	JUNCTION	0.06	0.14	1964.60	03:15
N-10	JUNCTION	0.06	0.14	1962.98	03:15
N-11	JUNCTION	0.12	0.31	1960.51	03:15
N-12	JUNCTION	0.03	0.07	1960.57	03:15
N-13	JUNCTION	0.05	0.11	1960.61	03:15
N-14	JUNCTION	0.12	0.30	1959.80	03:15
N-15	JUNCTION	0.11	0.26	1959.04	03:15
N-16	JUNCTION	0.01	0.03	1958.53	03:15
N-17	JUNCTION	0.15	0.38	1958.48	03:15
N-18	JUNCTION	0.03	0.07	1966.29	03:15
N-19	JUNCTION	0.05	0.11	1962.61	03:15
N-20	JUNCTION	0.06	0.13	1960.46	03:15
N-21	JUNCTION	0.06	0.14	1959.64	03:15
N-22	JUNCTION	0.06	0.14	1959.30	03:15
N-23	JUNCTION	0.12	0.28	1957.92	03:15
N-24	JUNCTION	0.11	0.25	1955.45	03:15
N-25	JUNCTION	0.11	0.25	1954.65	03:15
N-26	JUNCTION	0.11	0.25	1951.82	03:15
N-27	JUNCTION	0.11	0.25	1950.04	03:15
N-28	JUNCTION	0.10	0.23	1948.89	03:15
N-29	JUNCTION	0.12	0.28	1941.23	03:15
N-30	JUNCTION	0.11	0.27	1940.67	03:15
N-31	JUNCTION	0.02	0.05	1945.43	03:15
N-32	JUNCTION	0.03	0.08	1943.17	03:15
N-33	JUNCTION	0.13	0.32	1940.07	03:15
N-34	JUNCTION	0.15	0.38	1938.81	03:15
N-35	JUNCTION	0.15	0.36	1937.87	03:15
N-36	JUNCTION	0.03	0.07	1938.12	03:15
N-37	JUNCTION	0.13	0.32	1935.97	03:15
N-38	JUNCTION	0.13	0.32	1934.88	03:15
N-39	JUNCTION	0.03	0.06	1940.56	03:15
N-40	JUNCTION	0.04	0.09	1940.25	03:15
N-41	JUNCTION	0.04	0.08	1936.65	03:15
N-42	JUNCTION	0.05	0.11	1935.17	03:15
N-43	JUNCTION	0.15	0.38	1933.12	03:15

N-44	JUNCTION	0.04	0.09	1941.35	03:15
N-45	JUNCTION	0.06	0.15	1938.07	03:15
N-46	JUNCTION	0.12	0.29	1937.55	03:15
N-47	JUNCTION	0.07	0.17	1937.30	03:15
N-48	JUNCTION	0.03	0.08	1939.32	03:15
N-49	JUNCTION	0.10	0.23	1935.19	03:14
N-50	JUNCTION	0.02	0.04	1936.16	03:15
N-51	JUNCTION	0.03	0.08	1935.28	03:15
N-52	JUNCTION	0.08	0.19	1934.69	03:15
N-53	JUNCTION	0.17	0.43	1932.73	03:15
N-54	JUNCTION	0.04	0.09	1966.09	03:15
N-55	JUNCTION	0.04	0.10	1962.00	03:15
N-56	JUNCTION	0.07	0.16	1960.31	03:15
N-57	JUNCTION	0.06	0.14	1959.34	03:15
N-58	JUNCTION	0.07	0.16	1958.66	03:15
N-59	JUNCTION	0.06	0.15	1957.65	03:15
N-60	JUNCTION	0.05	0.12	1955.62	03:15
N-61	JUNCTION	0.06	0.13	1954.63	03:15
N-62	JUNCTION	0.06	0.13	1951.89	03:15
N-63	JUNCTION	0.06	0.13	1950.14	03:15
N-64	JUNCTION	0.05	0.12	1949.17	03:15
N-65	JUNCTION	0.13	0.32	1942.46	03:15
N-66	JUNCTION	0.04	0.08	1963.74	03:15
N-67	JUNCTION	0.05	0.12	1961.33	03:15
N-68	JUNCTION	0.07	0.16	1959.03	03:15
N-69	JUNCTION	0.10	0.25	1957.65	03:15
N-70	JUNCTION	0.05	0.14	1957.64	03:15
N-71	JUNCTION	0.12	0.28	1956.71	03:15
N-72	JUNCTION	0.06	0.15	1956.72	03:15
N-73	JUNCTION	0.08	0.20	1955.65	03:15
N-74	JUNCTION	0.08	0.20	1951.43	03:15
N-75	JUNCTION	0.04	0.08	1956.05	03:15
N-76	JUNCTION	0.04	0.10	1954.45	03:15
N-77	JUNCTION	0.01	0.03	1962.34	03:15
N-78	JUNCTION	0.01	0.03	1960.60	03:15
N-79	JUNCTION	0.02	0.04	1959.53	03:15
N-80	JUNCTION	0.02	0.05	1957.13	03:15
N-81	JUNCTION	0.03	0.07	1953.41	03:15
N-82	JUNCTION	0.04	0.08	1952.44	03:15
N-83	JUNCTION	0.05	0.11	1943.33	03:15
N-84	JUNCTION	0.13	0.31	1941.71	03:15
N-85	JUNCTION	0.16	0.40	1938.80	03:15
N-86	JUNCTION	0.13	0.32	1938.46	03:15
N-87	JUNCTION	0.16	0.41	1937.97	03:15
N-88	JUNCTION	0.13	0.30	1936.70	03:15
N-89	JUNCTION	0.13	0.31	1933.91	03:15
N-90	JUNCTION	0.14	0.35	1933.51	03:15
N-91	JUNCTION	0.01	0.02	1934.23	03:11
N-92	JUNCTION	0.14	0.34	1932.84	03:15
D-1	OUTFALL	0.18	0.44	1932.35	03:15
D-2	OUTFALL	0.14	0.35	1932.26	03:15
DEP-1	STORAGE	1.50	1.72	1958.27	03:15
DEP-2	STORAGE	1.50	1.77	1932.46	03:15
DEP-3	STORAGE	1.50	1.59	1958.20	03:15
DEP-4	STORAGE	1.50	1.71	1932.41	03:15

FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

Los resultados de la siguiente tabla, corresponden al aporte lateral máximo y aporte total, proveniente de una subcuenca o un componente precedente para cada nudo, vertido y depósito de almacenamiento. Corresponden también al momento en el cual

ocurren los aportes máximos; es decir, estos ocurrirán en el periodo parcial de la precipitación, aproximadamente.

Tabla 35. Resultados del resumen de aporte en nudos.

Nudo	Tipo	Aporte Lateral Máximo LPS	Aporte Total Máximo LPS	Instante de Aporte Máximo hr:min	Volumen Aporte Lateral 10 ⁶ ltr	Volumen Aporte Total 10 ⁶ ltr
N-1	JUNCTION	36.02	36.02	03:15	0.120	0.120
N-2	JUNCTION	19.23	55.23	03:15	0.064	0.184
N-3	JUNCTION	25.84	81.03	03:15	0.088	0.272
N-4	JUNCTION	0.00	80.96	03:15	0.000	0.272
N-5	JUNCTION	52.37	158.95	03:15	0.177	0.537
N-6	JUNCTION	25.83	25.83	03:15	0.089	0.089
N-7	JUNCTION	0.00	297.18	03:15	0.000	1.005
N-8	JUNCTION	76.28	76.28	03:15	0.256	0.256
N-9	JUNCTION	62.35	138.57	03:15	0.214	0.470
N-10	JUNCTION	0.00	138.45	03:15	0.000	0.469
N-11	JUNCTION	0.00	379.96	03:14	0.000	1.290
N-12	JUNCTION	25.36	25.36	03:15	0.087	0.087
N-13	JUNCTION	57.89	57.89	03:15	0.200	0.200
N-14	JUNCTION	85.49	465.11	03:15	0.292	1.581
N-15	JUNCTION	0.00	465.00	03:15	0.000	1.580
N-16	JUNCTION	5.34	5.34	03:15	0.019	0.019
N-17	JUNCTION	0.00	648.37	03:15	0.000	2.210
N-18	JUNCTION	42.37	42.37	03:15	0.145	0.145
N-19	JUNCTION	50.78	93.13	03:15	0.175	0.321
N-20	JUNCTION	0.00	93.06	03:15	0.000	0.320
N-21	JUNCTION	0.00	93.00	03:15	0.000	0.320
N-22	JUNCTION	85.39	178.32	03:15	0.293	0.612
N-23	JUNCTION	6.40	654.59	03:15	0.023	2.213
N-24	JUNCTION	0.00	654.54	03:15	0.000	2.212
N-25	JUNCTION	9.17	663.50	03:15	0.031	2.242
N-26	JUNCTION	3.66	667.07	03:15	0.013	2.255
N-27	JUNCTION	0.00	667.04	03:15	0.000	2.254
N-28	JUNCTION	3.66	670.56	03:15	0.013	2.266
N-29	JUNCTION	7.32	677.53	03:15	0.027	2.292
N-30	JUNCTION	0.00	749.68	03:15	0.000	2.537
N-31	JUNCTION	37.81	37.81	03:15	0.127	0.126
N-32	JUNCTION	35.27	73.07	03:15	0.120	0.247
N-33	JUNCTION	37.44	786.84	03:15	0.130	2.667
N-34	JUNCTION	5.49	792.25	03:15	0.020	2.686
N-35	JUNCTION	0.00	835.23	03:15	0.000	2.832
N-36	JUNCTION	43.54	43.54	03:15	0.149	0.149
N-37	JUNCTION	9.15	844.33	03:15	0.033	2.864
N-38	JUNCTION	2.74	956.76	03:15	0.010	3.249
N-39	JUNCTION	24.02	24.02	03:15	0.083	0.083
N-40	JUNCTION	28.50	52.52	03:15	0.096	0.179
N-41	JUNCTION	0.00	52.47	03:15	0.000	0.178
N-42	JUNCTION	57.83	110.23	03:15	0.199	0.377
N-43	JUNCTION	0.00	1250.21	03:15	0.000	4.258
N-44	JUNCTION	68.75	68.75	03:15	0.230	0.230
N-45	JUNCTION	64.97	133.61	03:15	0.225	0.454
N-46	JUNCTION	37.57	171.00	03:15	0.130	0.584
N-47	JUNCTION	10.03	227.60	03:15	0.036	0.763
N-48	JUNCTION	41.83	41.83	03:15	0.144	0.144
N-49	JUNCTION	38.39	278.28	03:14	0.133	0.956
N-50	JUNCTION	7.19	7.19	03:15	0.025	0.025
N-51	JUNCTION	10.41	17.59	03:15	0.036	0.061
N-52	JUNCTION	15.35	293.58	03:15	0.055	1.011
N-53	JUNCTION	16.06	1266.18	03:15	0.057	4.313
N-54	JUNCTION	70.02	70.02	03:15	0.240	0.240
N-55	JUNCTION	0.00	69.98	03:15	0.000	0.240

N-56	JUNCTION	75.69	145.58	03:15	0.260	0.499
N-57	JUNCTION	4.42	149.90	03:15	0.016	0.514
N-58	JUNCTION	0.00	149.87	03:15	0.000	0.514
N-59	JUNCTION	8.21	157.92	03:15	0.030	0.529
N-60	JUNCTION	0.00	157.92	03:15	0.000	0.528
N-61	JUNCTION	5.49	163.30	03:15	0.020	0.548
N-62	JUNCTION	3.66	166.91	03:15	0.013	0.561
N-63	JUNCTION	0.00	166.91	03:15	0.000	0.561
N-64	JUNCTION	3.66	170.50	03:15	0.013	0.574
N-65	JUNCTION	0.00	839.19	03:15	0.000	2.868
N-66	JUNCTION	60.76	60.76	03:15	0.203	0.203
N-67	JUNCTION	72.01	132.73	03:15	0.248	0.451
N-68	JUNCTION	72.18	204.82	03:15	0.249	0.700
N-69	JUNCTION	0.00	272.47	03:15	0.000	0.933
N-70	JUNCTION	67.75	67.75	03:15	0.234	0.234
N-71	JUNCTION	44.57	364.42	03:15	0.154	1.250
N-72	JUNCTION	47.63	47.63	03:15	0.164	0.164
N-73	JUNCTION	0.00	364.26	03:15	0.000	1.249
N-74	JUNCTION	45.90	517.93	03:15	0.160	1.773
N-75	JUNCTION	34.87	34.87	03:15	0.118	0.118
N-76	JUNCTION	73.31	108.12	03:15	0.248	0.366
N-77	JUNCTION	7.25	7.25	03:15	0.026	0.026
N-78	JUNCTION	0.00	7.25	03:15	0.000	0.026
N-79	JUNCTION	7.25	14.50	03:15	0.026	0.051
N-80	JUNCTION	12.45	26.95	03:15	0.043	0.094
N-81	JUNCTION	21.40	48.34	03:15	0.074	0.168
N-82	JUNCTION	48.27	96.60	03:15	0.167	0.335
N-83	JUNCTION	54.51	151.09	03:15	0.189	0.523
N-84	JUNCTION	8.23	847.18	03:15	0.030	2.895
N-85	JUNCTION	4.57	851.62	03:15	0.017	2.911
N-86	JUNCTION	2.61	854.07	03:15	0.009	2.918
N-87	JUNCTION	0.00	854.11	03:15	0.000	2.917
N-88	JUNCTION	6.40	860.34	03:15	0.023	2.939
N-89	JUNCTION	20.30	879.84	03:15	0.070	3.007
N-90	JUNCTION	0.00	883.45	03:15	0.000	3.019
N-91	JUNCTION	3.66	3.66	03:10	0.013	0.013
N-92	JUNCTION	2.74	886.20	03:15	0.010	3.029
D-1	OUTFALL	0.00	1266.30	03:15	0.000	4.274
D-2	OUTFALL	0.00	886.29	03:15	0.000	3.001
DEP-1	STORAGE	0.00	648.39	03:15	0.000	2.210
DEP-2	STORAGE	0.00	1266.28	03:15	0.000	4.313
DEP-3	STORAGE	0.00	149.87	03:15	0.000	0.513
DEP-4	STORAGE	0.00	886.26	03:15	0.000	3.028

FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

En la Tabla 36, no se perciben los resultados correspondientes a las sobrecargas en nudos, ya que el nivel de agua no tiende a subir por encima de los conductos, en ningún caso.

Tabla 36. Resultados del resumen de sobrecarga en nudos.

Resumen de Sobrecarga en Nudos

No hay ningún nudo en carga.

FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

Así mismo, en la siguiente tabla tampoco se perciben los resultados correspondientes al fenómeno de inundación en nudos, ya que el agua no rebosa en algún nudo.

Tabla 37. Resultados del resumen de inundación en nudos.

Resumen de Inundación en Nudos

No hay inundación en ningún nudo.

FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

En la Tabla 38 se puede apreciar los resultados respecto al volumen medio y máximo que los depósitos (sedimentadores) pueden almacenar en su interior. Así también, se observan los resultados posibles de caudales que podrían originar el máximo desborde en cada uno de los depósitos.

Tabla 38. Resultados del resumen de volumen almacenado.

Depósito	Volumen Medio 1000 m3	Porc. Medio Lleno	Volumen Máximo 1000 m3	Porc. Máx. Lleno	Máximo Desbord LPS
DEP-1	0.020	44	0.023	50	648.30
DEP-2	0.039	48	0.046	56	1266.30
DEP-3	0.014	49	0.015	52	149.86
DEP-4	0.028	52	0.032	59	886.29

FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

En la Tabla 39 se muestran los resultados de los gastos medios y máximos de aguas pluviales que cada vertido evacuará hacia un cuerpo receptor.

Tabla 39. Resultados del resumen de vertidos.

Nudo de Vertido	Frec. Vertido % Porc.	Caudal Medio LPS	Caudal Máximo LPS	Volumen Total 10 ⁶ ltr
D-1	99.45	279.22	1266.30	4.274
D-2	99.47	195.86	886.29	3.001
Sistema	99.46	475.08	2152.58	7.275

FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

En la Tabla 40 se muestran los resultados del caudal máximo y el instante en el cuál ocurre en cada una de las líneas (colectores). Se muestran también las velocidades máximas teniendo en cuenta que no sobrepasen los 6 m/s, tal como lo indica la norma OS.060 (Drenaje Pluvial Urbano) del RNE.

Tabla 40. Resultados del resumen de caudal en líneas.

Línea	Tipo	Caudal Máximo LPS	Instante Caudal Máx hr:min	Veloc. Máxima m/sec	Caudal Máx/ Lleno	Nivel Máx/ Lleno
L-1	CONDUIT	36.00	03:15	1.34	0.12	0.19
L-2	CONDUIT	55.19	03:15	2.34	0.05	0.18
L-3	CONDUIT	80.96	03:15	2.66	0.09	0.21
L-4	CONDUIT	80.86	03:15	2.47	0.11	0.22
L-5	CONDUIT	25.81	03:15	0.92	0.09	0.20
L-6	CONDUIT	158.86	03:15	2.02	0.33	0.42
L-7	CONDUIT	76.22	03:15	2.04	0.10	0.24
L-8	CONDUIT	138.45	03:15	3.09	0.17	0.28
L-9	CONDUIT	138.35	03:15	2.15	0.17	0.36
L-10	CONDUIT	296.99	03:15	3.52	0.41	0.45
L-11	CONDUIT	57.88	03:14	1.51	0.10	0.31
L-12	CONDUIT	25.35	03:11	0.96	0.04	0.28
L-13	CONDUIT	379.91	03:15	3.07	0.69	0.60
L-14	CONDUIT	465.00	03:15	4.16	0.66	0.56
L-15	CONDUIT	464.96	03:15	4.38	0.52	0.53
L-16	CONDUIT	5.34	03:15	1.15	0.01	0.30
L-17	CONDUIT	42.35	03:15	1.76	0.04	0.18
L-18	CONDUIT	93.06	03:15	2.52	0.11	0.24
L-19	CONDUIT	93.00	03:15	2.22	0.15	0.27
L-20	CONDUIT	92.97	03:15	2.10	0.16	0.28
L-21	CONDUIT	178.29	03:15	2.61	0.18	0.42
L-22	CONDUIT	648.39	03:15	3.46	0.72	0.63
L-23	CONDUIT	648.30	03:15	4.19	0.67	0.54
L-24	CONDUIT	654.64	03:15	5.41	0.44	0.44
L-25	CONDUIT	654.59	03:15	5.87	0.36	0.42
L-26	CONDUIT	663.53	03:15	5.92	0.37	0.42
L-27	CONDUIT	667.04	03:15	5.91	0.36	0.42
L-28	CONDUIT	667.06	03:15	5.85	0.37	0.42
L-29	CONDUIT	670.54	03:15	5.97	0.30	0.42
L-30	CONDUIT	677.52	03:15	5.49	0.43	0.45
L-31	CONDUIT	37.80	03:15	2.45	0.03	0.13
L-32	CONDUIT	73.04	03:15	1.30	0.05	0.34
L-33	CONDUIT	749.66	03:15	5.51	0.40	0.49
L-34	CONDUIT	786.80	03:15	4.65	0.55	0.58
L-35	CONDUIT	792.26	03:15	4.25	0.72	0.63
L-36	CONDUIT	43.53	03:15	1.52	0.04	0.33
L-37	CONDUIT	835.35	03:15	4.97	0.67	0.57
L-38	CONDUIT	844.37	03:15	5.48	0.57	0.54
L-39	CONDUIT	24.02	03:15	1.38	0.03	0.14
L-40	CONDUIT	52.47	03:15	2.41	0.06	0.17
L-41	CONDUIT	52.42	03:15	2.03	0.06	0.19
L-42	CONDUIT	110.21	03:15	1.46	0.10	0.43
L-43	CONDUIT	956.71	03:15	5.64	0.55	0.58
L-44	CONDUIT	68.65	03:15	1.87	0.07	0.24
L-45	CONDUIT	133.45	03:15	1.62	0.20	0.44
L-46	CONDUIT	175.80	03:15	2.04	0.66	0.45
L-47	CONDUIT	41.82	03:15	1.14	0.05	0.24
L-48	CONDUIT	222.64	03:15	3.87	0.24	0.33
L-49	CONDUIT	7.18	03:15	0.93	0.01	0.08
L-50	CONDUIT	17.58	03:15	0.93	0.05	0.15
L-51	CONDUIT	278.27	03:15	3.64	0.41	0.41
L-52	CONDUIT	293.54	03:15	2.62	0.30	0.56
L-53	CONDUIT	1250.40	03:15	5.44	0.55	0.58
L-54	CONDUIT	1266.28	03:15	5.03	0.69	0.62
L-55	CONDUIT	1266.30	03:15	4.97	0.72	0.63
L-56	CONDUIT	69.98	03:15	2.79	0.07	0.19
L-57	CONDUIT	69.92	03:15	1.73	0.09	0.26
L-58	CONDUIT	145.50	03:15	2.90	0.22	0.30
L-59	CONDUIT	149.87	03:15	3.02	0.18	0.30
L-60	CONDUIT	149.87	03:15	2.82	0.22	0.32
L-61	CONDUIT	149.86	03:15	3.10	0.19	0.29

L-62	CONDUIT	157.92	03:15	3.79	0.17	0.26
L-63	CONDUIT	157.91	03:15	4.14	0.12	0.25
L-64	CONDUIT	163.29	03:15	3.97	0.15	0.26
L-65	CONDUIT	166.91	03:15	4.13	0.15	0.26
L-66	CONDUIT	166.92	03:15	4.43	0.14	0.25
L-67	CONDUIT	170.49	03:15	2.10	0.13	0.44
L-68	CONDUIT	60.72	03:15	2.15	0.06	0.20
L-69	CONDUIT	132.65	03:15	2.87	0.13	0.29
L-70	CONDUIT	204.73	03:15	2.64	0.23	0.42
L-71	CONDUIT	67.74	03:15	0.98	0.13	0.39
L-72	CONDUIT	272.29	03:15	2.55	0.51	0.53
L-73	CONDUIT	47.62	03:15	1.02	0.14	0.33
L-74	CONDUIT	364.26	03:15	3.92	0.57	0.48
L-75	CONDUIT	364.19	03:15	5.08	0.33	0.39
L-76	CONDUIT	34.81	03:15	1.46	0.05	0.18
L-77	CONDUIT	108.03	03:15	2.23	0.09	0.30
L-78	CONDUIT	517.74	03:15	5.12	0.33	0.51
L-79	CONDUIT	7.25	03:15	1.58	0.01	0.06
L-80	CONDUIT	7.25	03:15	1.23	0.01	0.07
L-81	CONDUIT	14.50	03:15	1.55	0.01	0.09
L-82	CONDUIT	26.94	03:15	1.95	0.03	0.12
L-83	CONDUIT	48.33	03:15	2.55	0.04	0.15
L-84	CONDUIT	96.58	03:15	3.64	0.06	0.19
L-85	CONDUIT	151.07	03:15	1.95	0.10	0.42
L-86	CONDUIT	839.08	03:15	5.62	0.54	0.52
L-87	CONDUIT	847.13	03:15	4.83	0.53	0.60
L-88	CONDUIT	851.52	03:15	4.79	0.79	0.60
L-89	CONDUIT	854.11	03:15	4.73	0.55	0.61
L-90	CONDUIT	854.18	03:15	4.87	0.79	0.60
L-91	CONDUIT	860.29	03:15	5.87	0.51	0.51
L-92	CONDUIT	879.84	03:15	5.86	0.54	0.52
L-93	CONDUIT	3.66	03:11	0.98	0.00	0.27
L-94	CONDUIT	883.51	03:15	5.23	0.65	0.58
L-95	CONDUIT	886.26	03:15	5.26	0.61	0.58
L-96	CONDUIT	886.29	03:15	5.15	0.65	0.59

FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

Finalmente, en la Tabla 41 no se perciben los resultados correspondientes a la sobrecarga en conductos (colectores).

Tabla 41. Resultados del resumen de sobrecarga de conductos.

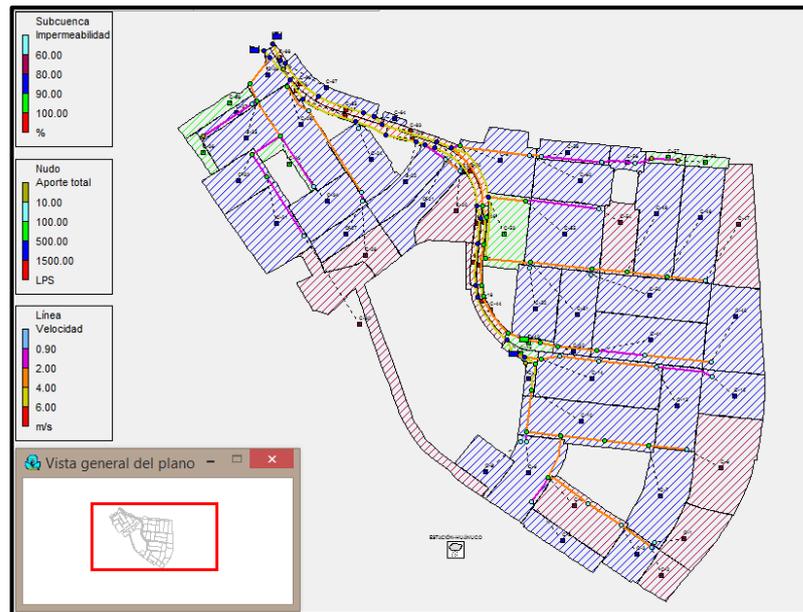
Resumen de Sobrecarga de Conductos

Ningún conducto ha entrado en carga.

FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

- **Planteamiento final del Sistema de Drenaje Pluvial Urbano**

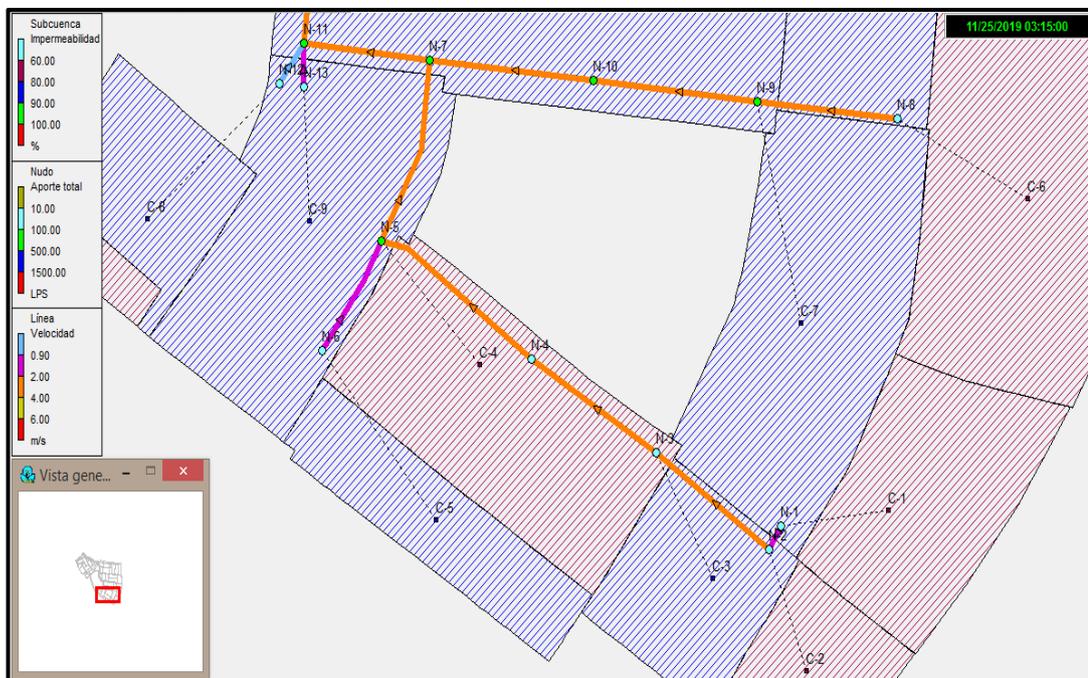
En la Figura 35 se aprecia la representación en planta del sistema de drenaje pluvial propuesto, una vez hecho el modelado y el ajuste de diseño del sistema conforme a las exigencias de la norma OS.060 (Drenaje Pluvial Urbano) del RNE y demás estimaciones afines.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

Figura 35. Planteamiento final en planta del Sistema de Drenaje Pluvial.

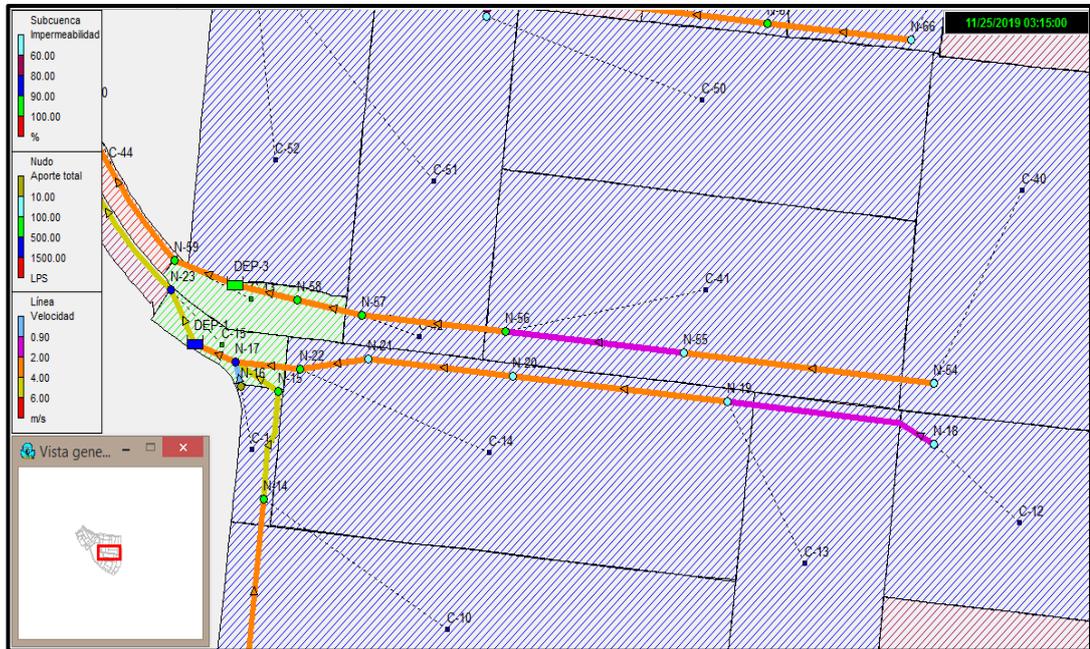
Ahora, mostrando el sistema de manera enfocada, se tiene que en la Figura 36 existen subcuencas que presentan impermeabilidad menor al 90 %, aportes en nudos superiores a 10 LPS y velocidades en líneas (colectores) inferiores a 4 m/s, aproximadamente.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

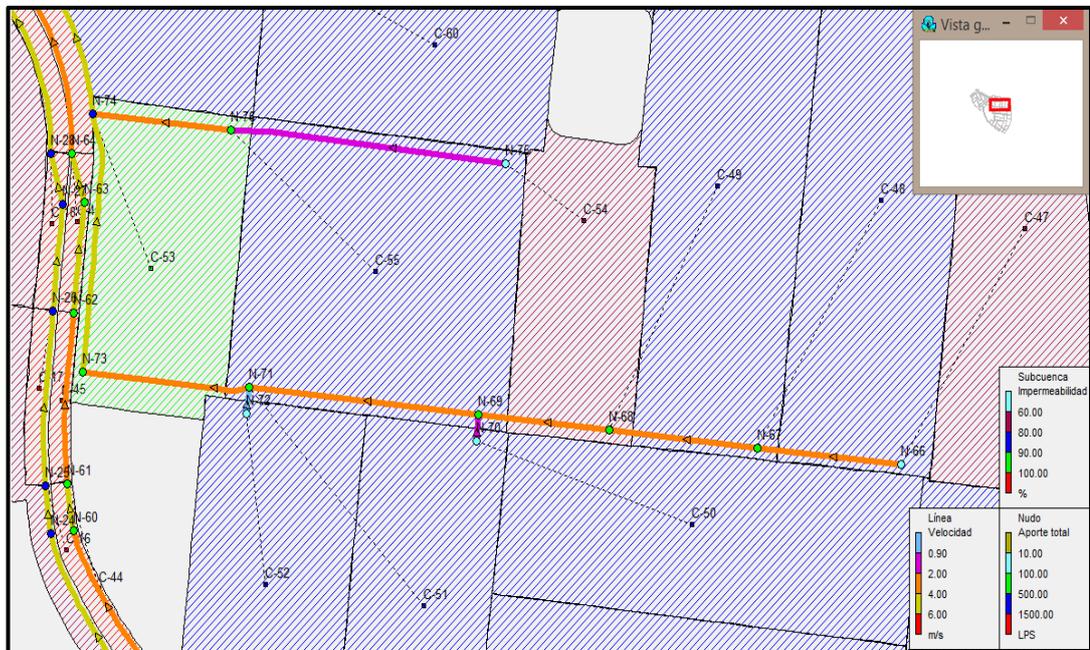
Figura 36. Configuración de las Redes de Drenaje Pluvial – N°01.

En la Figura 37 y Figura 38 se muestra que existen subcuencas que presentan impermeabilidad de hasta un 100 %, aportes en nudos menores a los 1,500 LPS y velocidades en líneas inferiores a los 6 m/s, aproximadamente.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

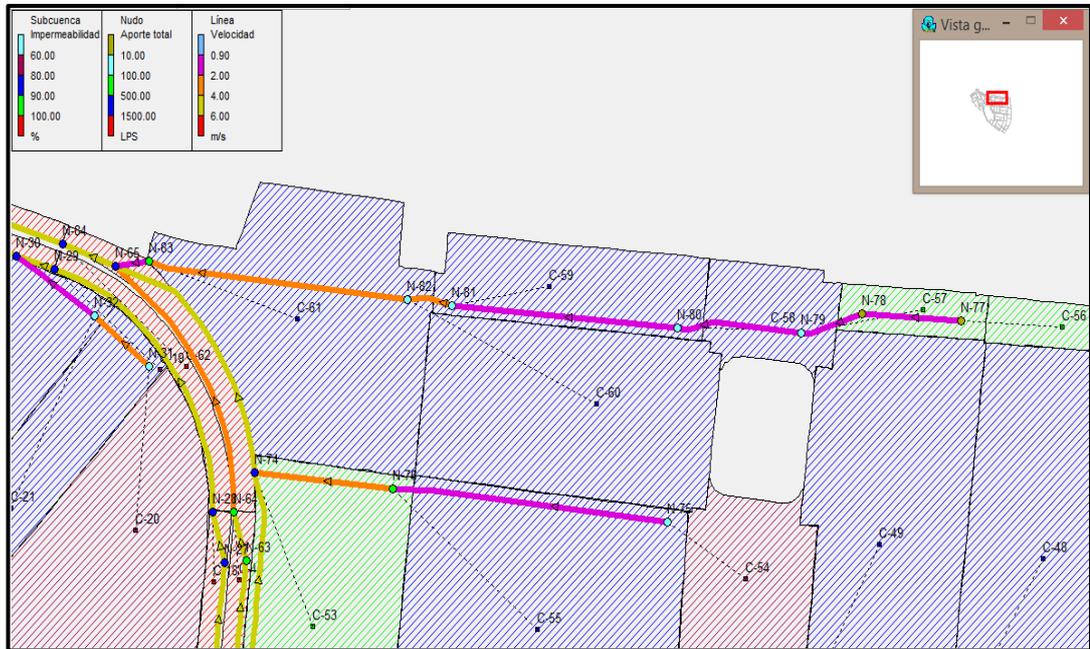
Figura 37. Configuración de las Redes de Drenaje Pluvial – N°02.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

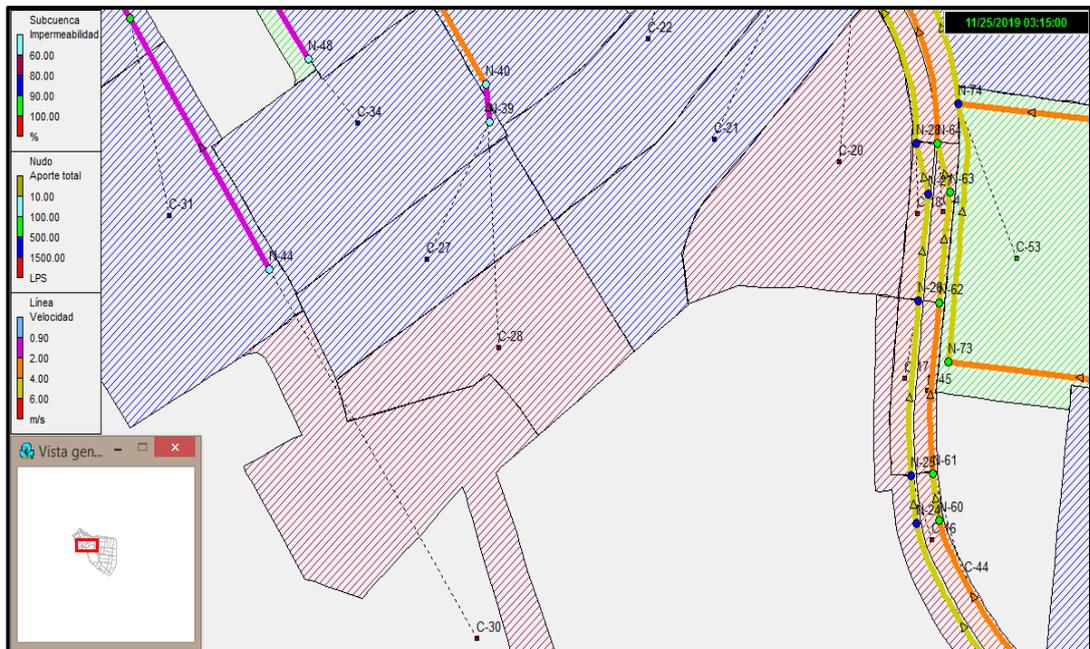
Figura 38. Configuración de las Redes de Drenaje Pluvial – N°03.

En la Figura 39 y Figura 40 se observa que existen subcuencas que presentan impermeabilidad de hasta un 100 %, aportes en nudos menores a los 1,500 LPS y velocidades en líneas superiores a los 0.90 m/s, aproximadamente.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

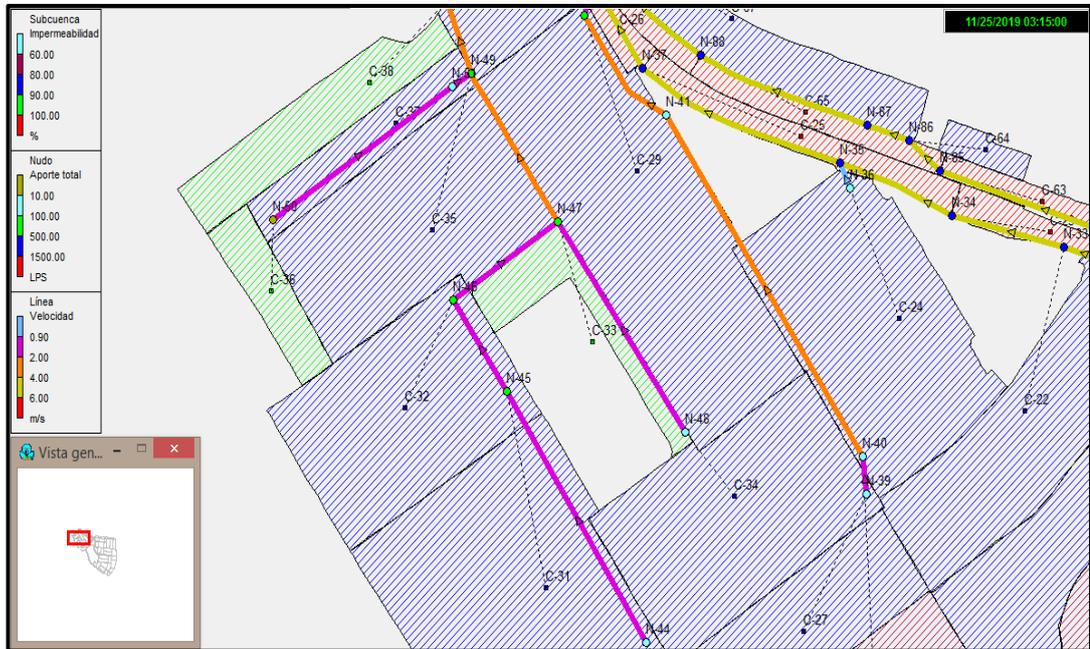
Figura 39. Configuración de las Redes de Drenaje Pluvial – N°04.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

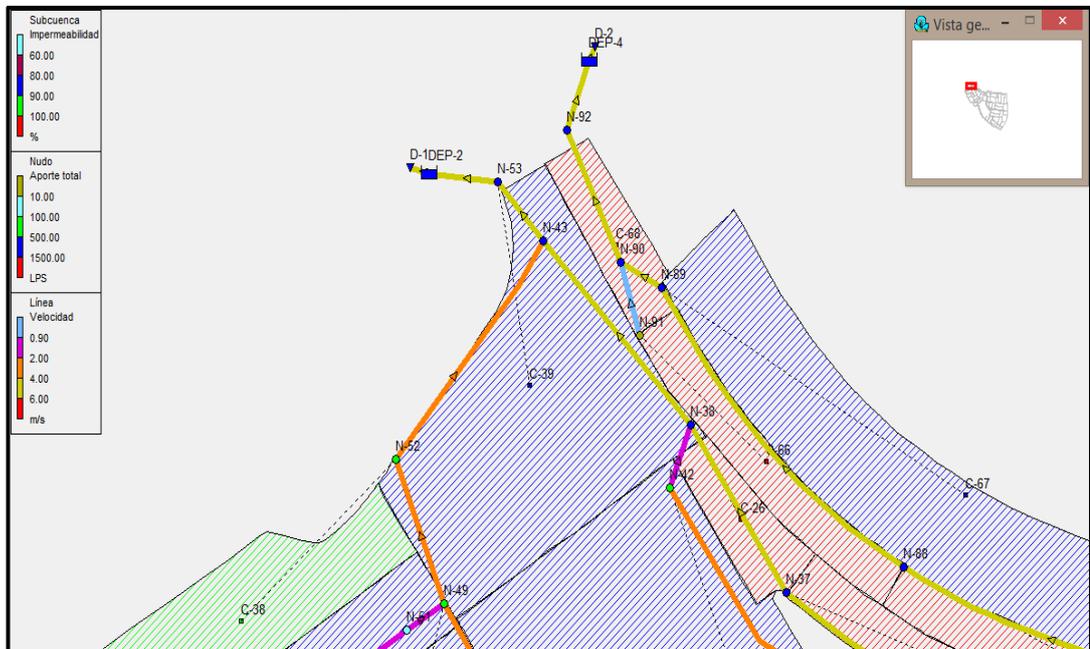
Figura 40. Configuración de las Redes de Drenaje Pluvial – N°05.

En la Figura 41 y Figura 42 se aprecia que existen subcuencas que presentan impermeabilidad de hasta un 100 %, velocidades en líneas inferiores a los 6 m/s y aportes en nudos y vertidos de aguas pluviales menores a los 1,500 LPS, aproximadamente.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

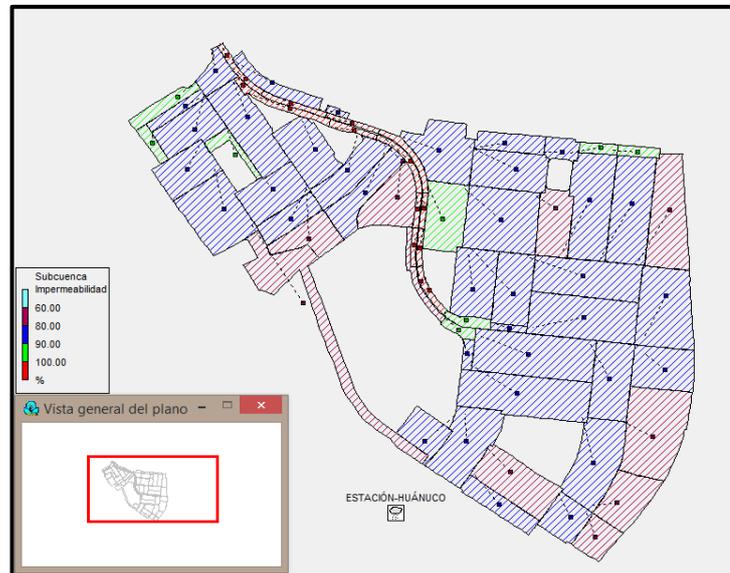
Figura 41. Configuración de las Redes de Drenaje Pluvial – N°06.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

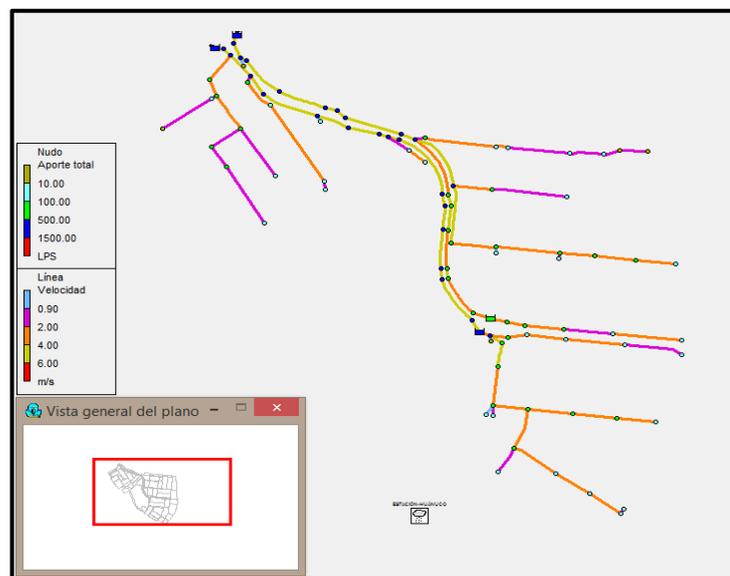
Figura 42. Configuración de las Redes de Drenaje Pluvial – N°07.

En la Figura 43 y Figura 44 se muestran las distribuciones de las subcuencas urbanas y las redes de drenaje pluvial por separado del sistema propuesto.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

Figura 43. Distribución en planta de las Subcuencas urbanas.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

Figura 44. Distribución en planta de las Redes de Drenaje Pluvial.

Comentario: Entre la Figura 36 hasta la Figura 42 se mostraron la evolución de los objetos frente a las condiciones más críticas de la precipitación; es decir, frente al evento de lluvia máximo ocurrido en el periodo parcial de la simulación. Es así que se puede apreciar la

variación del cambio de colores en los objetos, en función de las magnitudes hidrológicas e hidráulicas del sistema dado.

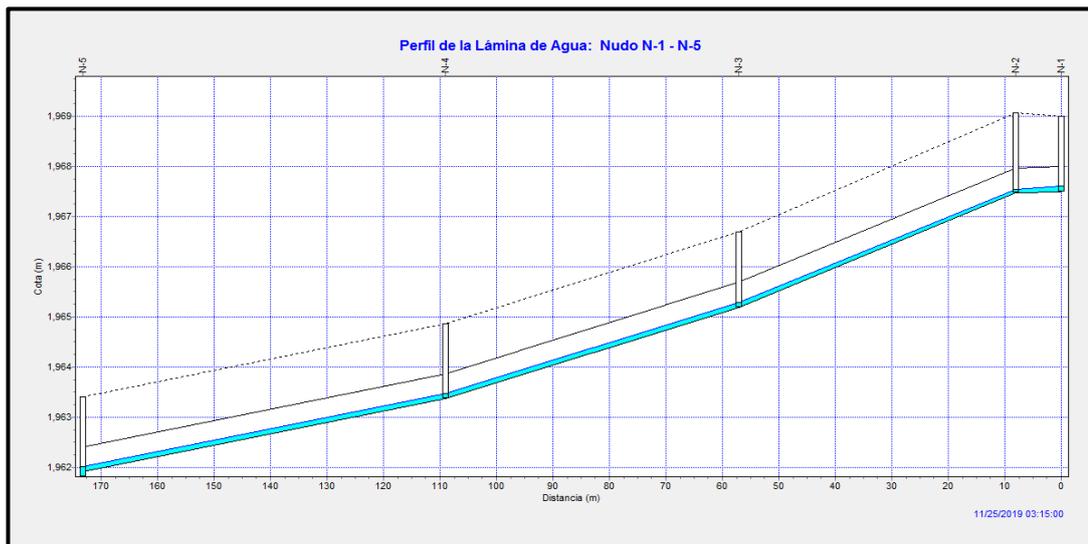
- **Perfiles longitudinales de las láminas de agua**

En esta parte es posible visualizar los diagramas de perfiles de agua que involucran a los componentes del sistema de drenaje pluvial planteado. El visor de mapa del SWMM 5 vE, permite conocer la variación de niveles de agua en cuanto que el tiempo de registro se inicie durante la simulación; es decir, se puede visualizar la animación de todo el sistema mostrando la evolución del calado.

A continuación, se mostrarán las figuras de los perfiles de las láminas de agua del sistema tomadas en el tiempo parcial; vale decir, momento el cual se produjo la intensidad máxima del evento de lluvia durante el proceso de simulación.

a) Para la banda izquierda de la Avenida 28 de agosto.

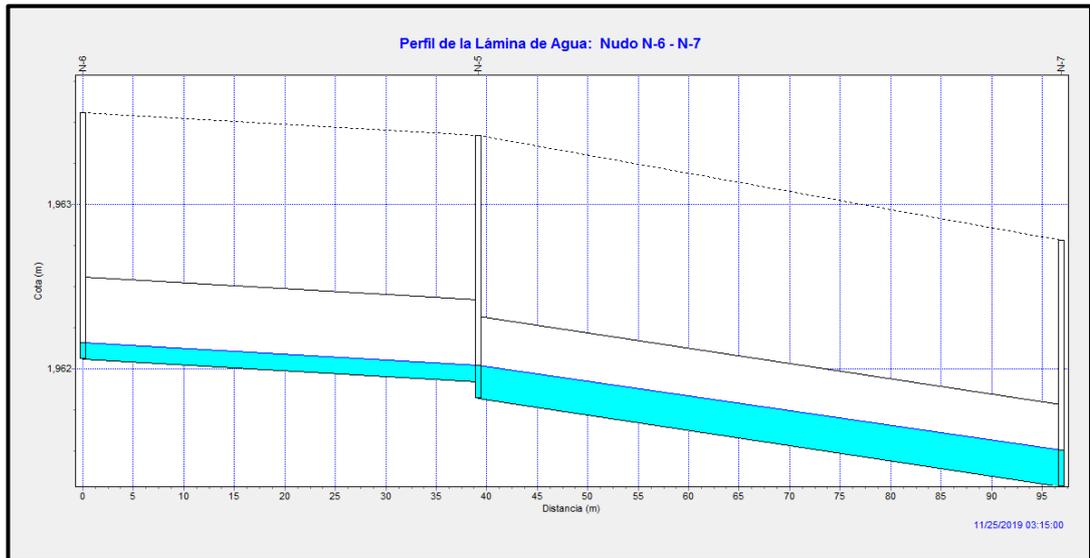
En la Figura 45 se aprecia el diagrama del perfil de agua en 05 sumideros y 04 tramos de tuberías. Asimismo, la figura presenta un desnivel (distancia desde el fondo del nudo hasta el nivel de base del conducto de llegada) de salida igual a 0.10 m en el sumidero (N-5).



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

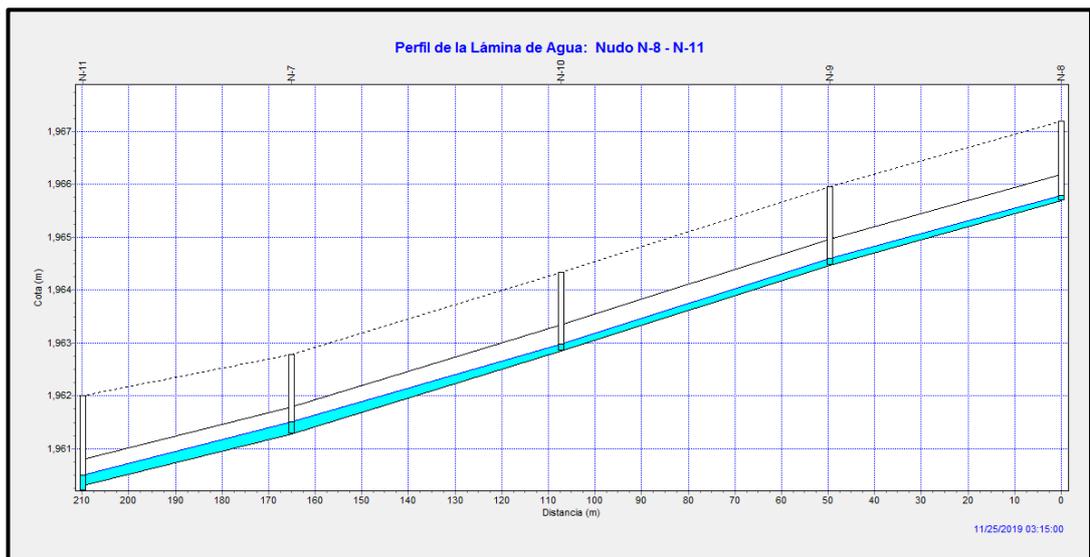
Figura 45. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-1 al N-5.

En la Figura 46 se aprecia el diagrama del perfil de agua en 03 de sumideros y 02 tramos de tuberías. La figura presenta también un desnivel de salida igual a 0.10 m en el sumidero (N-5). Asimismo, en la Figura 47 se muestra el diagrama del perfil de agua en 04 sumideros, 01 buzón de registro (N-11) y 04 tramos de tuberías; estos últimos, presentan un desnivel de salida igual a 0.10 m en el nudo N-11.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

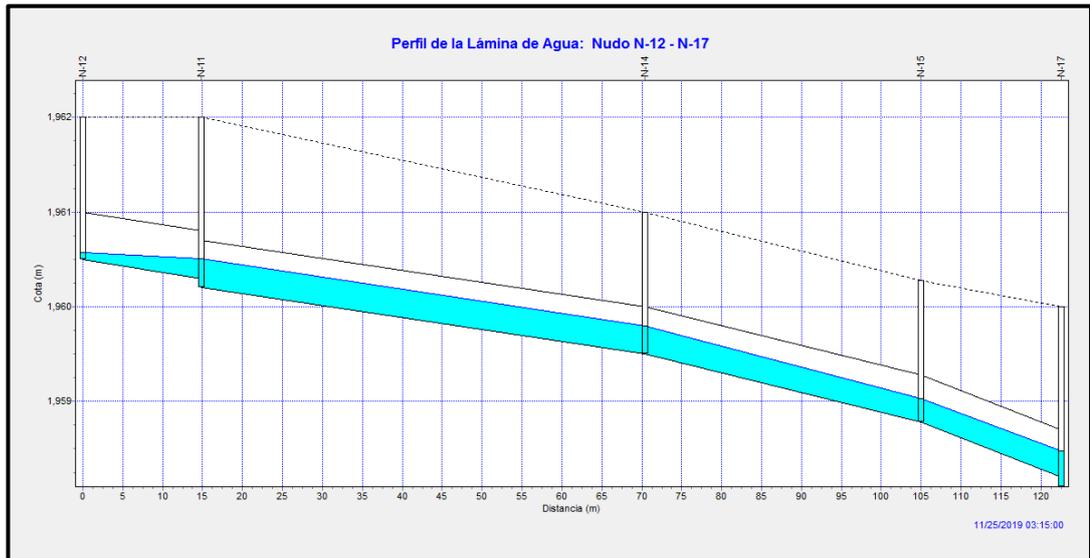
Figura 46. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-6 al N-7.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

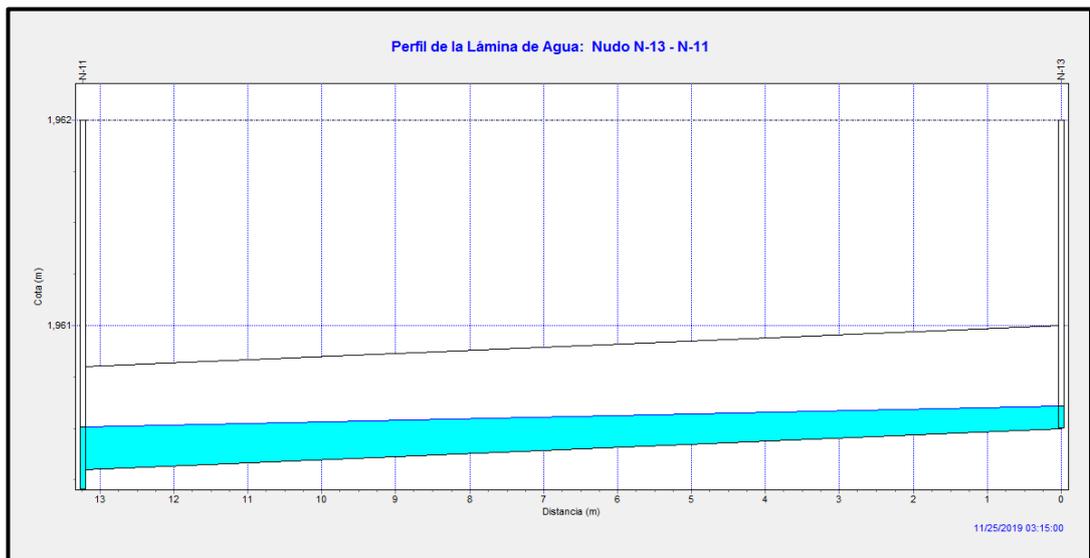
Figura 47. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-8 al N-11.

En la Figura 48 se muestra el perfil de agua en 03 sumideros, 02 buzones de registro (N-11 y N-17) y 04 tramos de tuberías; estos últimos presentan un desnivel de salida igual a 0.10 m en el nudo N-11 y N-17. Asimismo, en la Figura 49 se observa el diagrama del perfil de agua para 01 sumidero, 01 buzón de registro (N-11) y 01 tramo de tubería; este último, presenta un desnivel de salida igual a 0.10 m en el nudo N-11.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

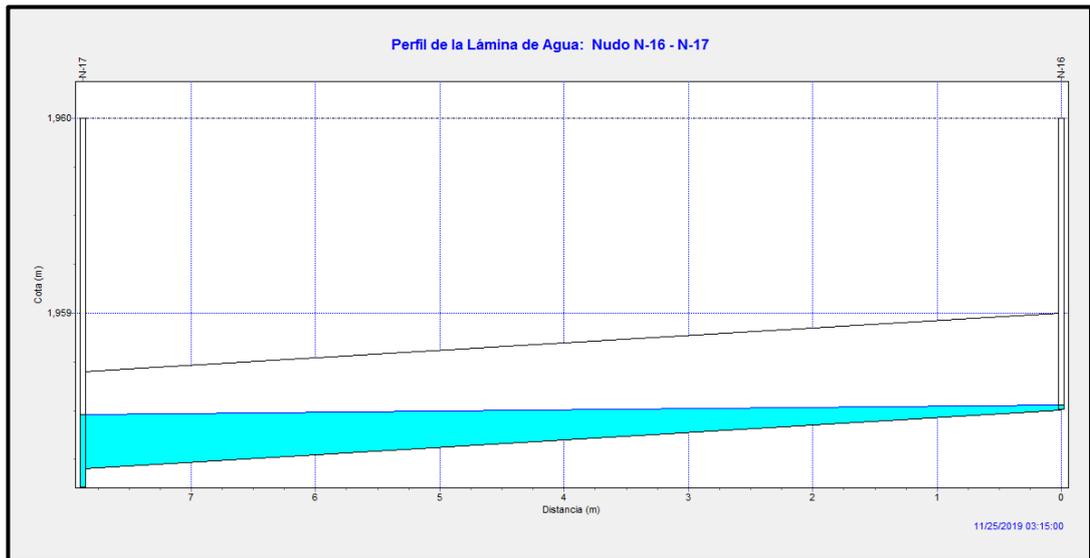
Figura 48. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-12 al N-17.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

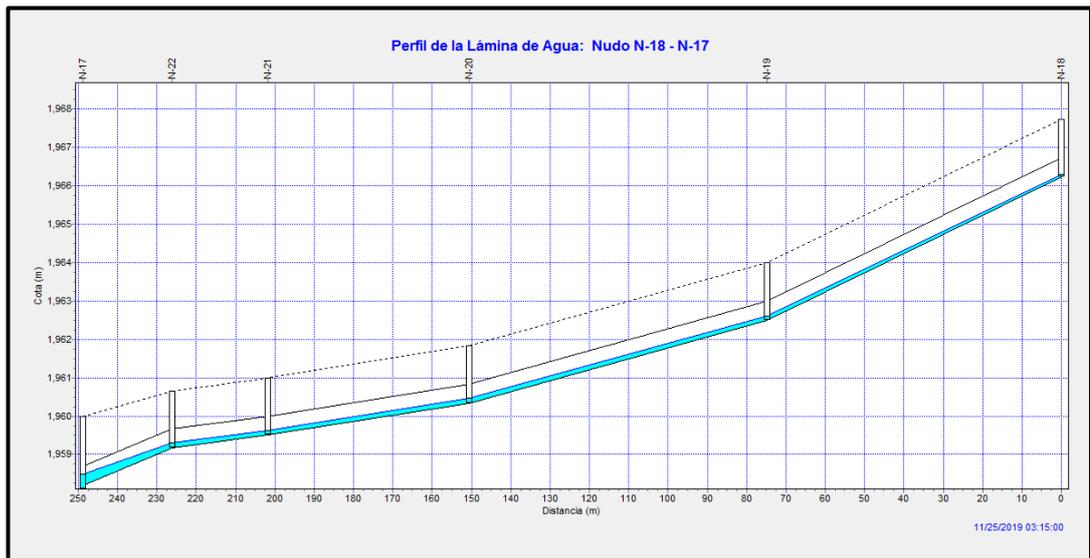
Figura 49. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-13 al N-11.

En la Figura 50 se observa el perfil de agua en 01 sumidero, 01 buzón de registro (N-17) y 01 tramo de tubería. Asimismo, en la Figura 51 se aprecia el diagrama del perfil de agua en 05 sumideros, 01 buzón de registro (N-17) y 05 tramos de tuberías. Además, ambas figuras expuestas presentan un desnivel de salida igual a 0.10 m en el nudo N-17, respectivamente.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

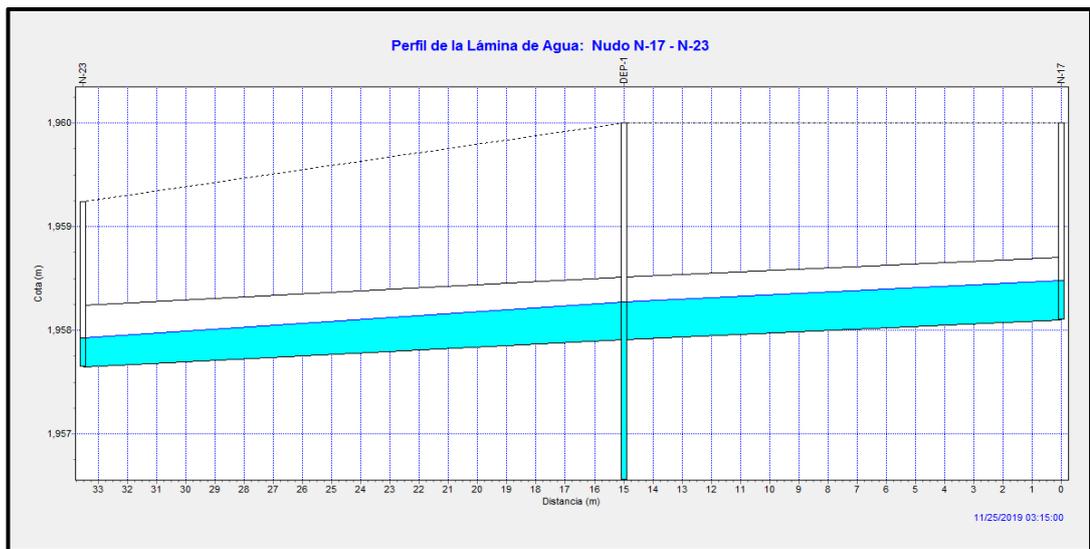
Figura 50. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-16 al N-17.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

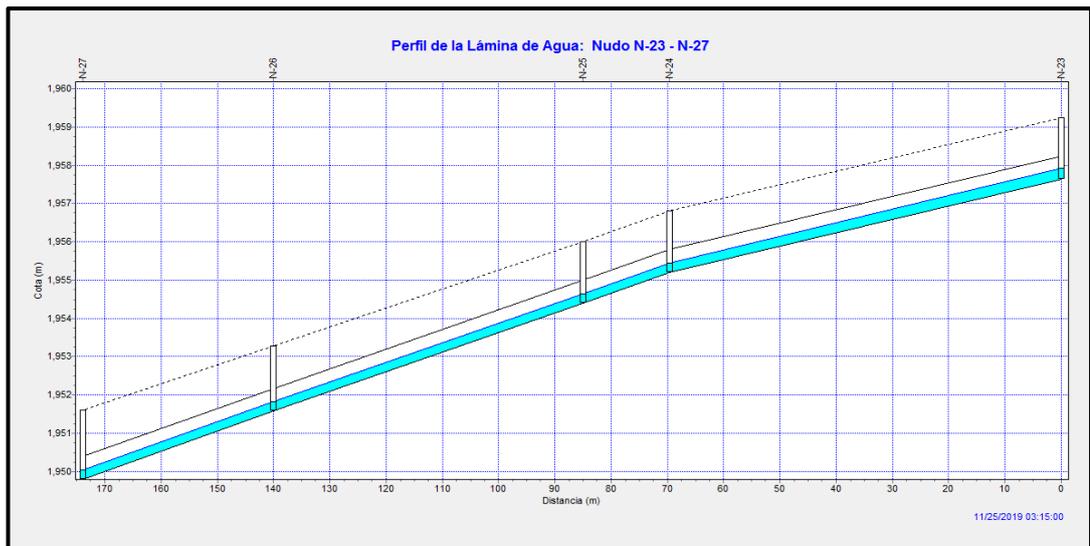
Figura 51. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-18 al N-17.

En la Figura 52 se aprecia el perfil de agua en 01 buzón de registro (N-17), 01 sedimentador (DEP-1), 01 sumidero y 02 tramos de tuberías; estos últimos, presentan un desnivel (distancia desde el fondo del depósito hasta el nivel de base de los conductos) de entrada y salida igual a 1.36 m en el sedimentador. Asimismo, en la Figura 53 se aprecia el perfil de agua en 03 sumideros, 02 buzones de registro (N-24 y N-27) y 04 tramos de tuberías, respectivamente.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

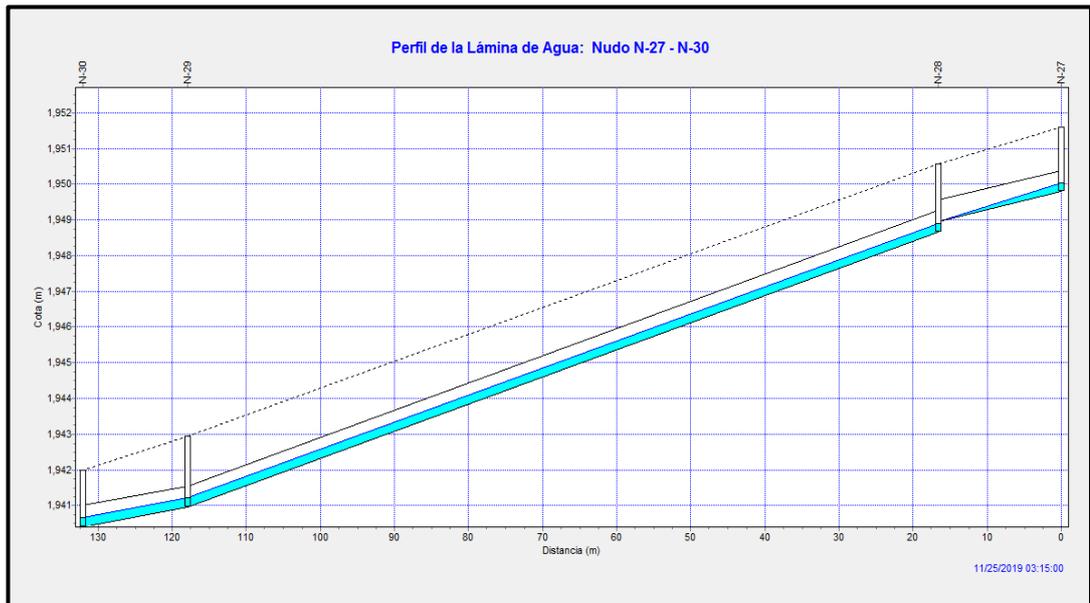
Figura 52. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-17 al N-23.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

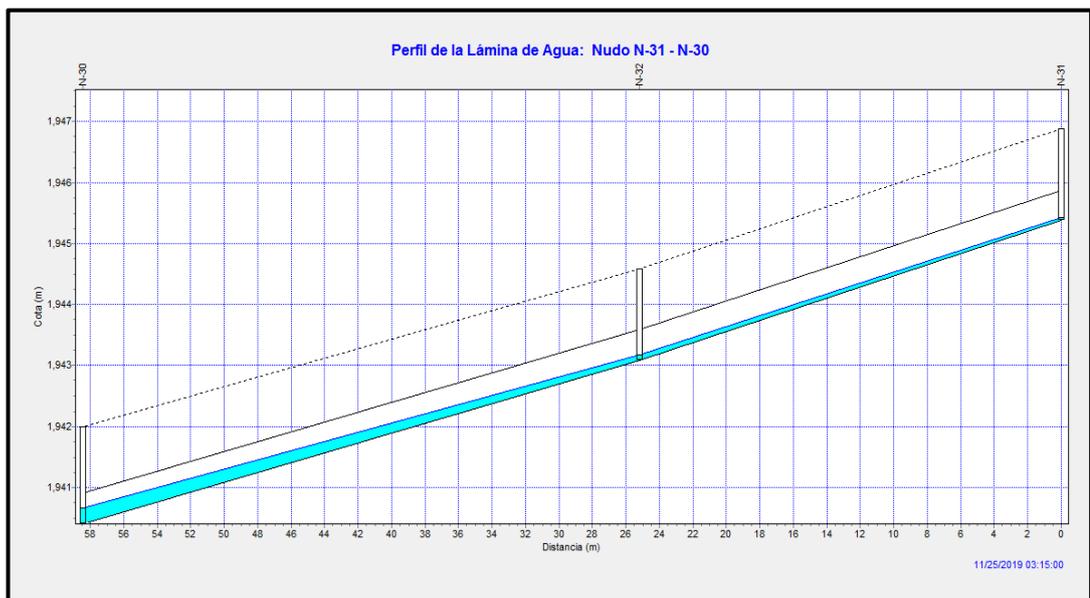
Figura 53. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-23 al N-27.

En la Figura 54 se muestra el perfil de agua en 02 buzones de registro (N-27 y N-30), 02 sumideros y 03 tramos de tuberías; estos últimos, presentan un desnivel de salida igual a 0.30 m en el nudo N-28. Asimismo, en la Figura 55 se muestra el perfil de agua en 02 sumideros, 01 buzón de registro (N-30) y 02 tramos de tuberías, respectivamente.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

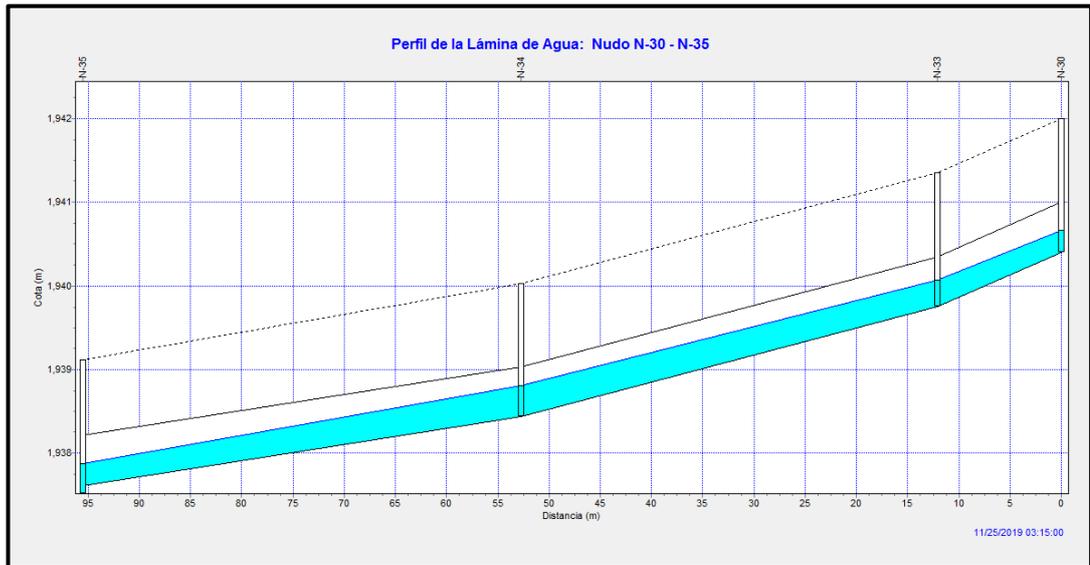
Figura 54. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-27 al N-30.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

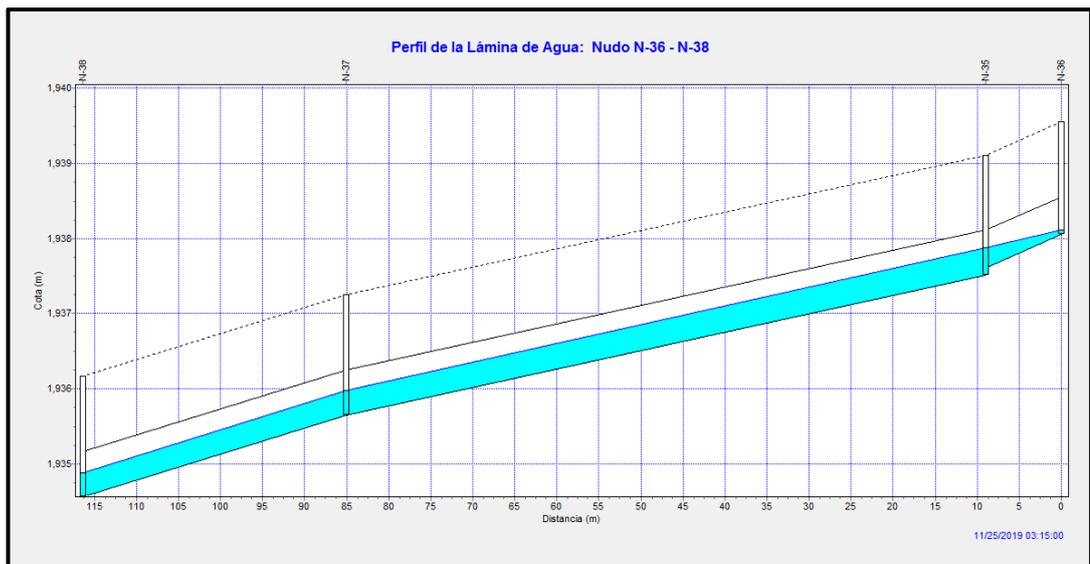
Figura 55. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-31 al N-30.

En la Figura 56 se observa el perfil de agua en 02 buzones de registro (N-30 y N-35), 02 sumideros y 03 tramos de tuberías. Asimismo, en la Figura 57 se observa el perfil de agua en 03 sumideros, 01 buzón de registro (N-35) y 03 tramos de tuberías; estos últimos, presentan un aumento de diámetro después del buzón de registro. Además, ambas figuras presentan un desnivel de salida igual a 0.10 m en el nudo N-35.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

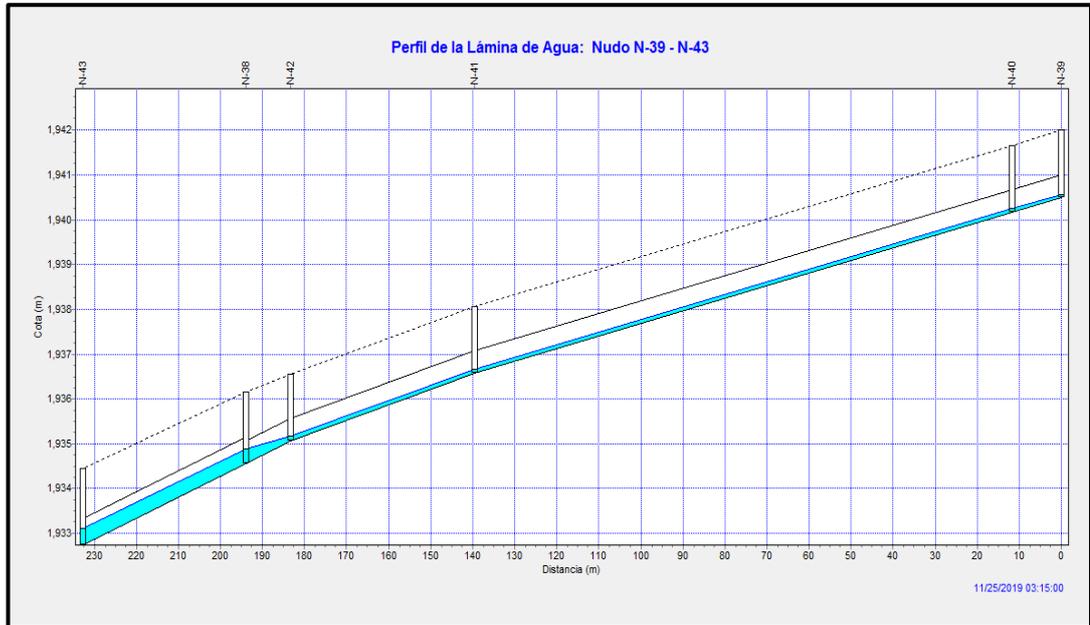
Figura 56. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-30 al N-35.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

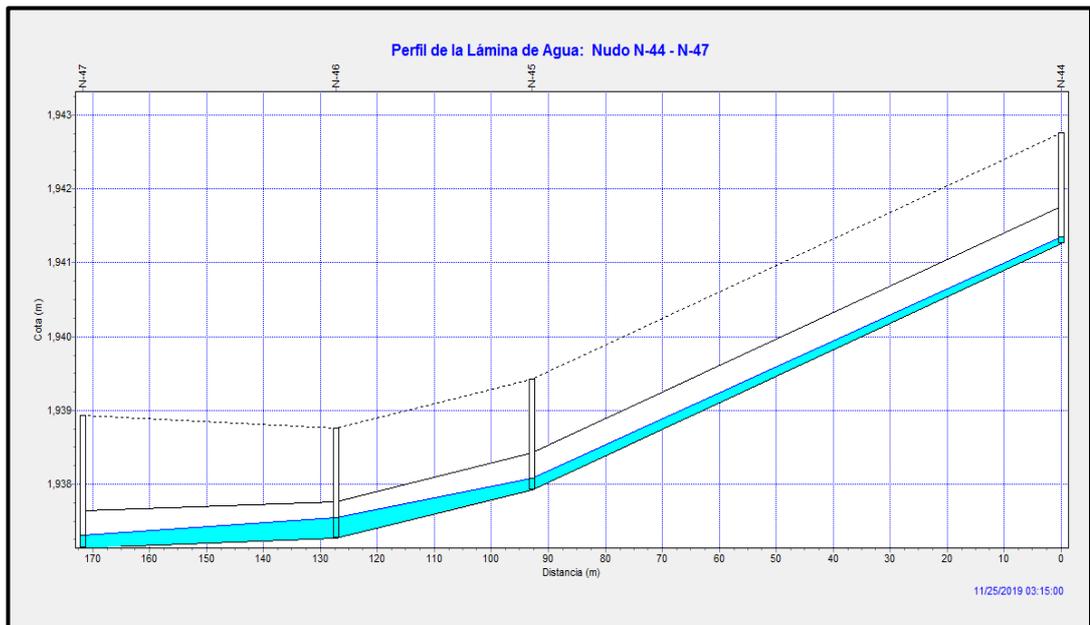
Figura 57. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-36 al N-38.

En la Figura 58 se aprecia el perfil de agua en 05 sumideros, 01 buzón de registro (N-43) y 05 tramos de tuberías; estos últimos, presentan un aumento de diámetro después del quinto sumidero (N-38). Asimismo, en la Figura 59 se aprecia el perfil de agua en 04 sumideros y 03 tramos de tuberías, respectivamente.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

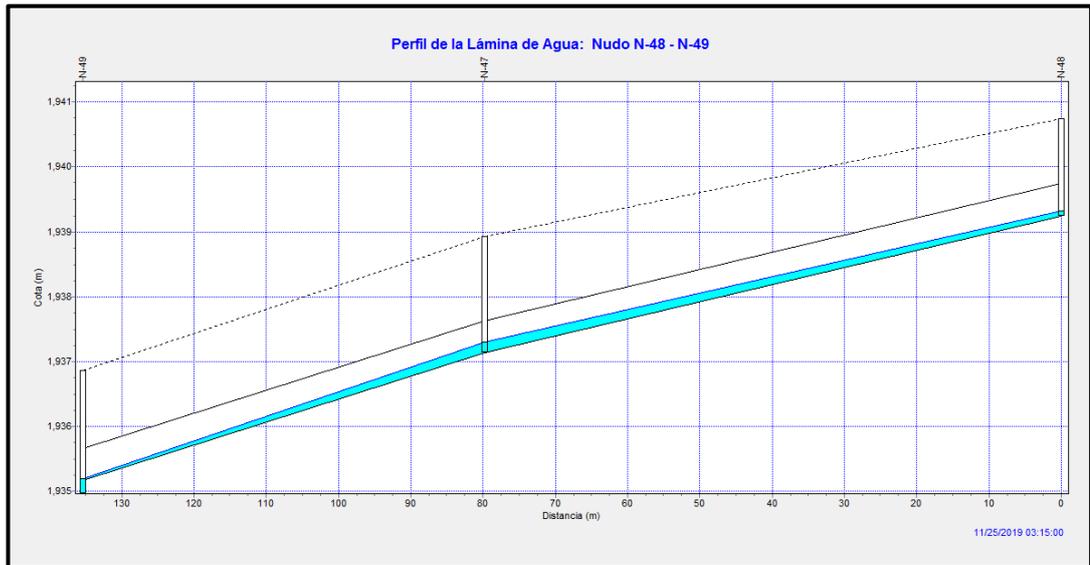
Figura 58. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-39 al N-43.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

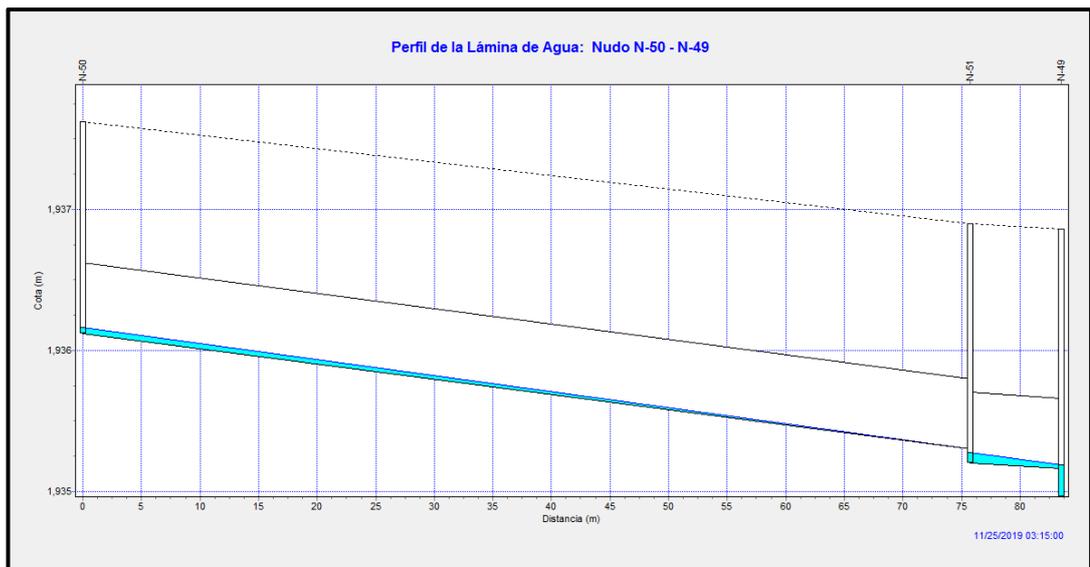
Figura 59. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-44 al N-47.

En la Figura 60 se observa el perfil de agua en 02 sumideros, 01 buzón de registro (N-49) y 02 tramos de tuberías; estos últimos, presentan un desnivel de salida igual a 0.20 m en el nudo N-49. Asimismo, en la Figura 61 se observa el perfil de agua en 02 sumideros, 01 buzón de registro (N-49) y 02 tramos de tuberías; estos últimos, presentan un desnivel de salida igual a 0.10 m y 0.20 m en el nudo N-51 y nudo N-49.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

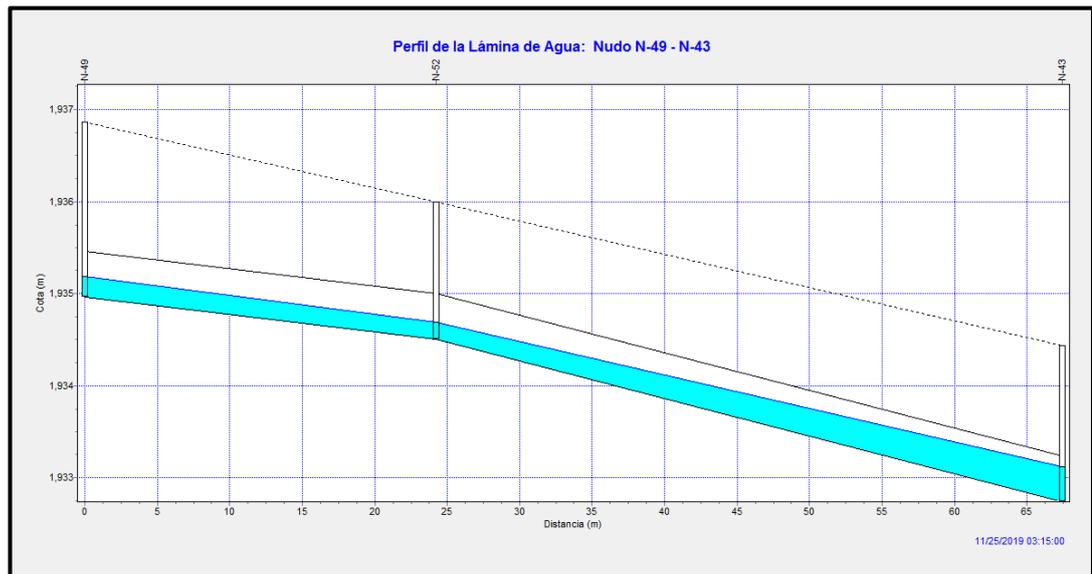
Figura 60. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-48 al N-49.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

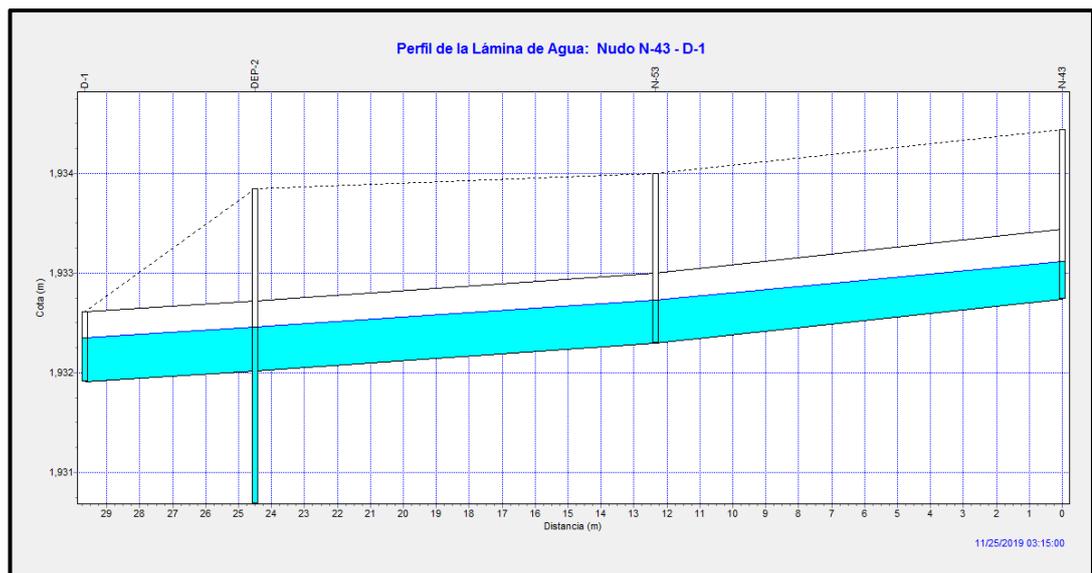
Figura 61. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-49 al N-50.

En la Figura 62 se aprecia el perfil de agua en 02 buzones de registro (N-49 y N-43), 01 sumidero y 02 tramos de tuberías. Asimismo, en la Figura 63 se aprecia el perfil de agua en 01 buzón de registro (N-43), 01 sumidero, 01 sedimentador (DEP-2), 01 vertido (D-1) de salida y 03 tramos de tuberías; estos últimos, presentan un desnivel de entrada y salida igual a 1.33 m en el sedimentador.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

Figura 62. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-49 al N-43.

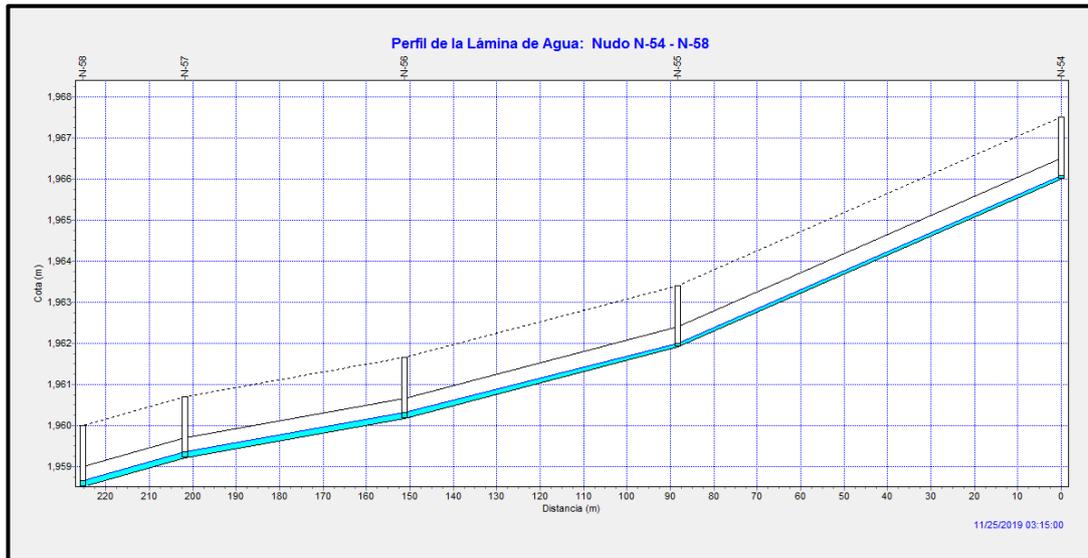


FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

Figura 63. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-43 al vertido D-1.

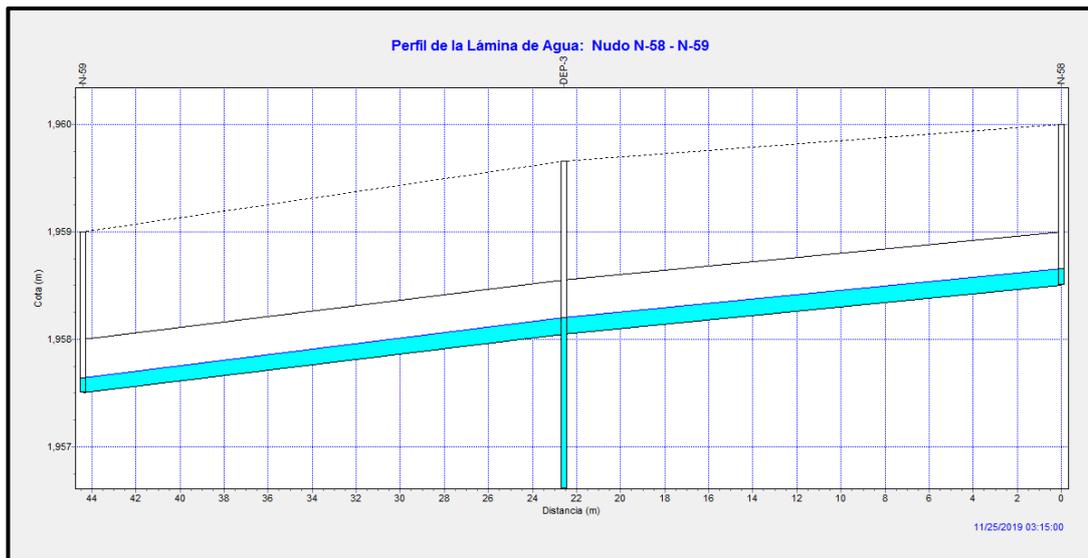
b) Para la banda derecha de la Avenida 28 de agosto.

En la Figura 64 se aprecia el perfil de agua en 04 sumideros, 01 buzón de registro (N-58) y 04 tramos de tuberías. Asimismo, en la Figura 65 se aprecia el perfil de agua en 01 buzón de registro (N-58), 01 sedimentador (DEP-3), 01 sumidero y 02 tramos de tuberías; estos últimos, presentan un desnivel de entrada y salida igual a 1.44 m en el sedimentador.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

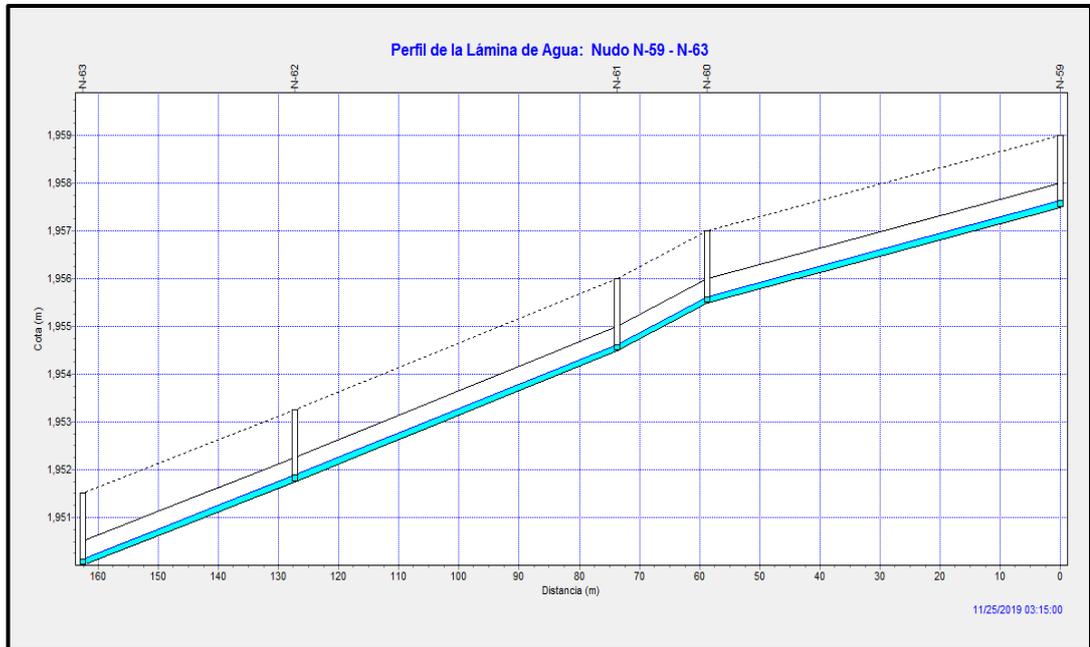
Figura 64. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-54 al N-58.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

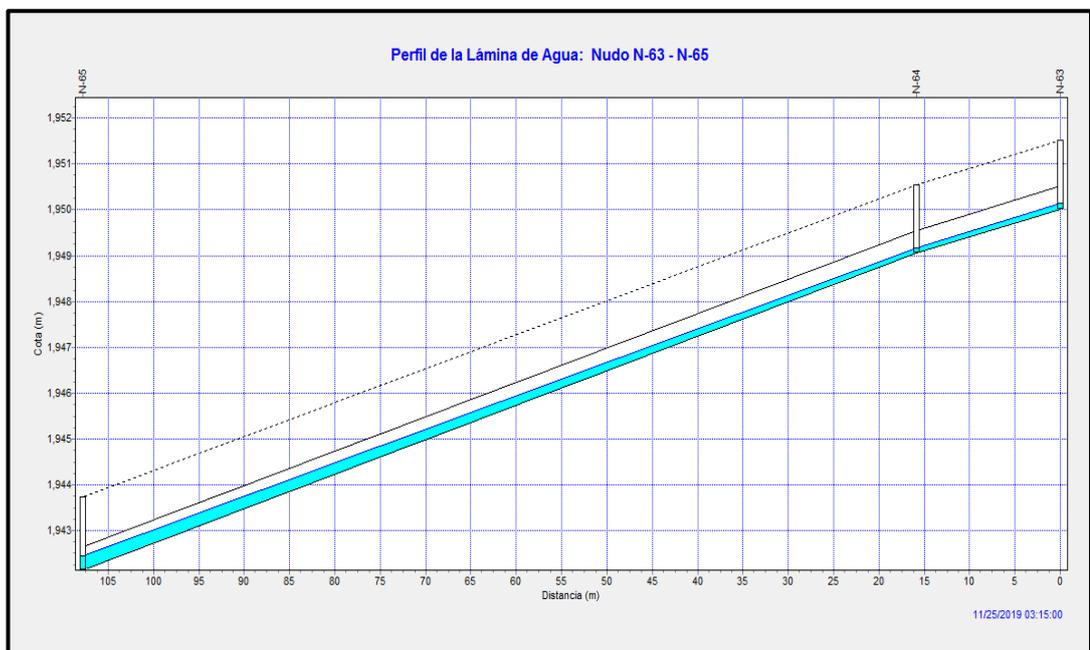
Figura 65. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-58 al N-59.

En la Figura 66 se muestra el perfil de agua en 03 sumideros, 02 buzones de registro (N-60 y N-63) y 04 tramos de tuberías. Asimismo, en la Figura 67 se muestra el perfil de agua en 02 buzones de registro, 01 sumidero (N-64) y 02 tramos de tuberías.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

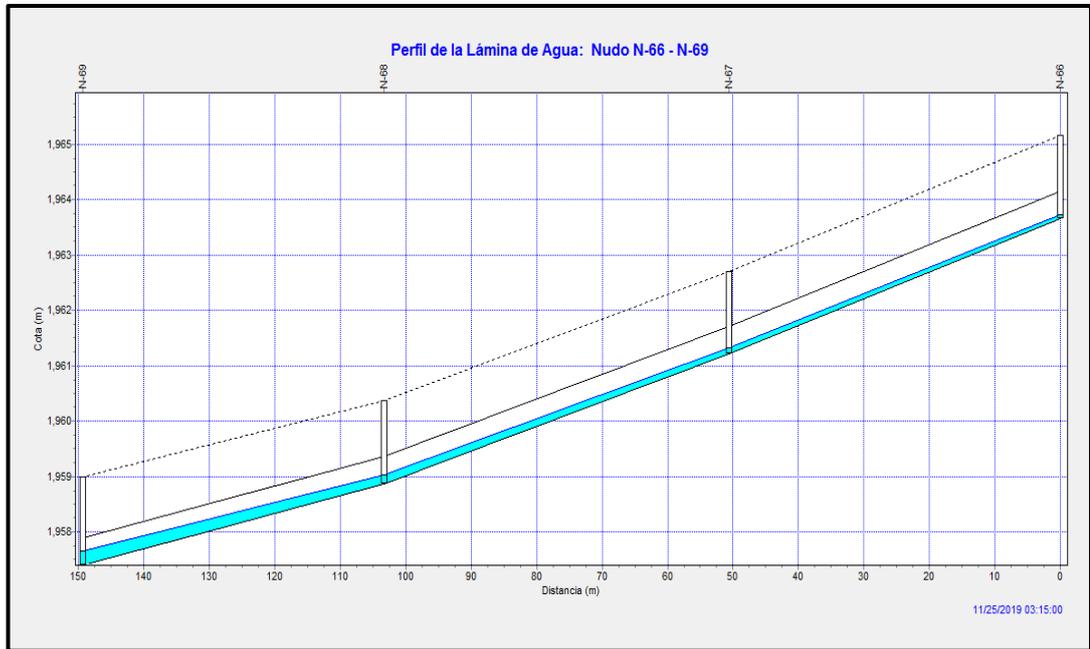
Figura 66. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-59 al N-63.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

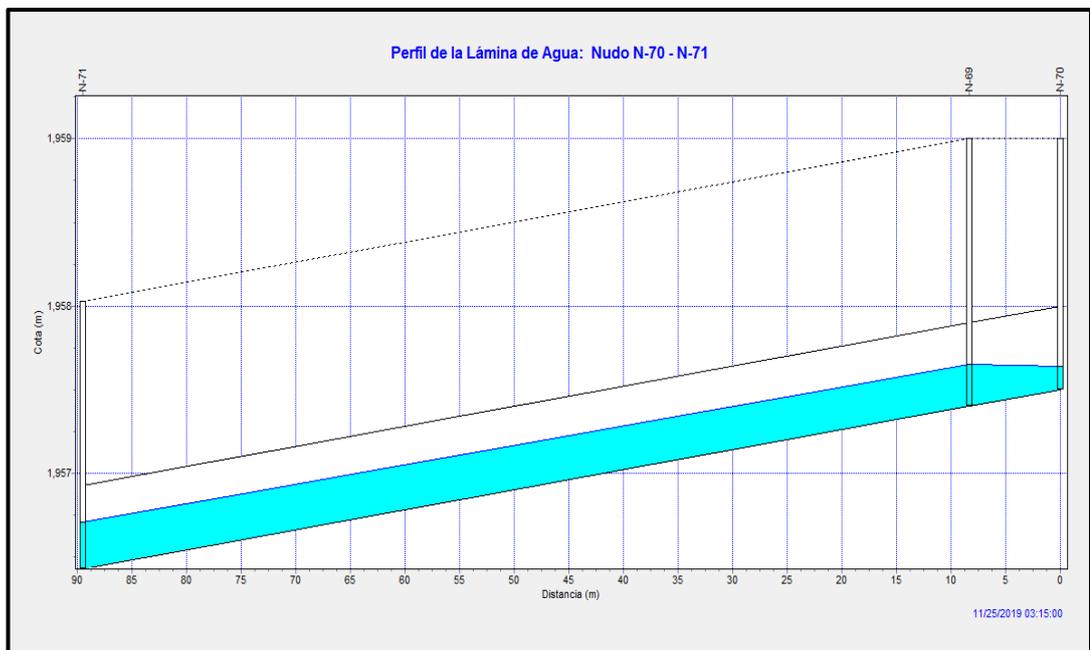
Figura 67. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-63 al N-65.

En la Figura 68 se observa el perfil de agua en 04 sumideros y 03 tramos de tuberías. Asimismo, en la Figura 69 se observa el perfil de agua en 03 sumideros y 02 tramos de tuberías, respectivamente.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

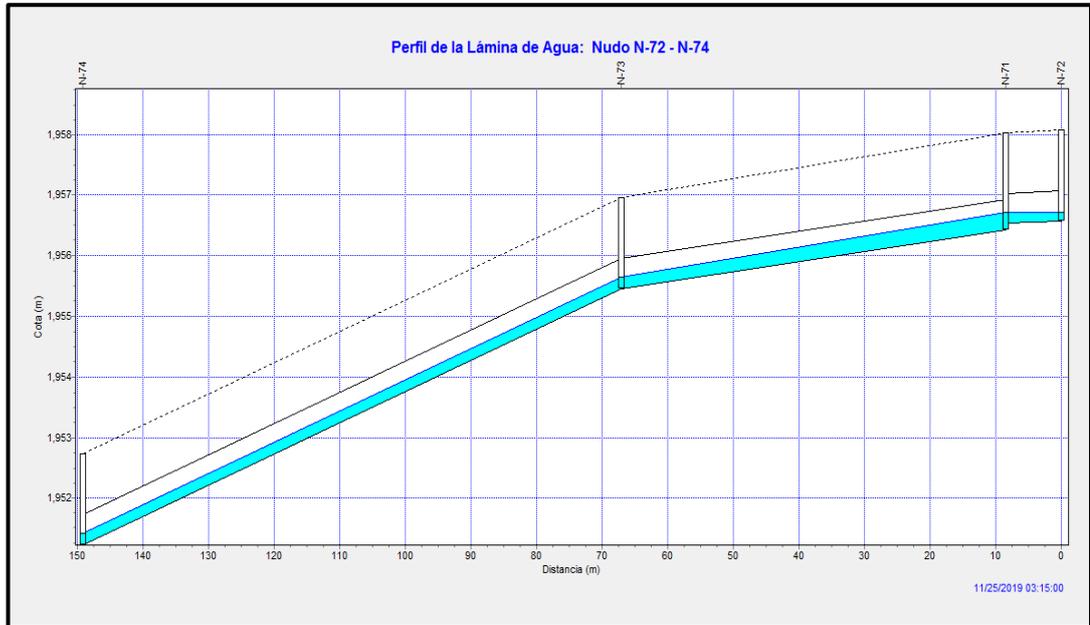
Figura 68. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-66 al N-69.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

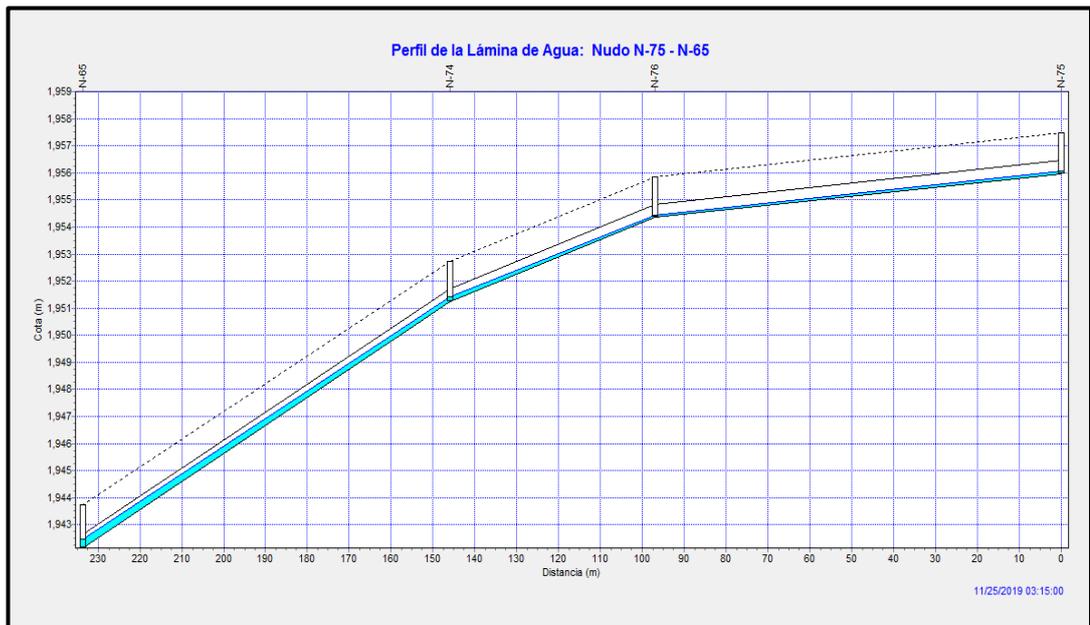
Figura 69. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-70 al N-71.

En la Figura 70 se aprecia el perfil de agua en 03 sumideros, 01 buzón de registro (N-73) y 03 tramos de tuberías; estos últimos, presentan un desnivel de salida igual a 0.10 m en el nudo N-71. Asimismo, en la Figura 71 se aprecia el perfil de agua en 03 sumideros, 01 buzón de registro (N-65) y 03 tramos de tuberías.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

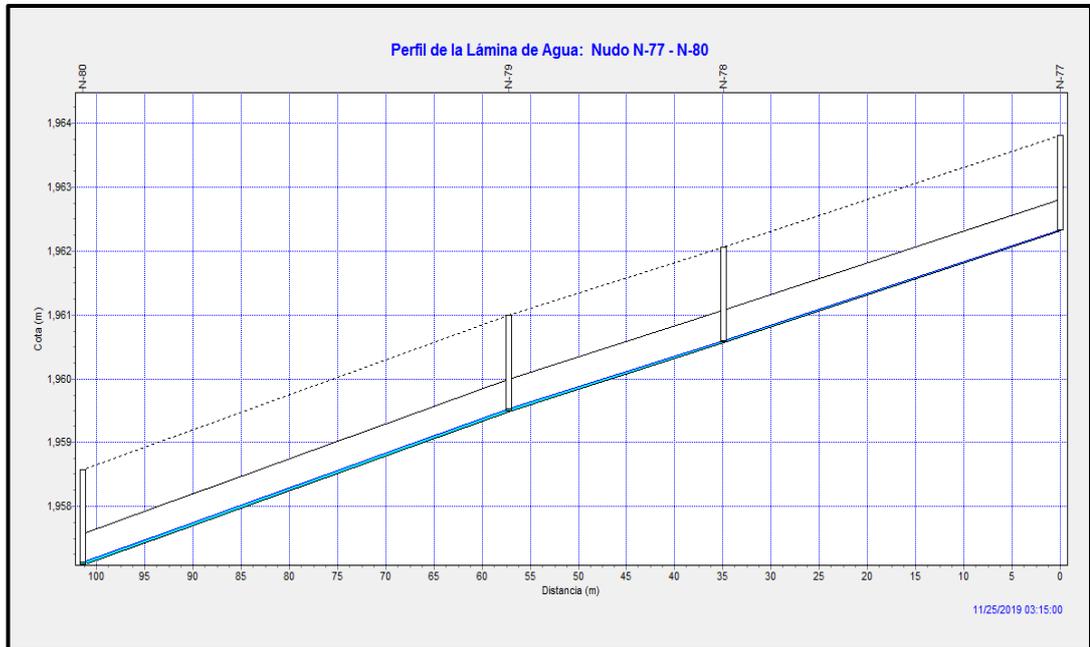
Figura 70. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-72 al N-74.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

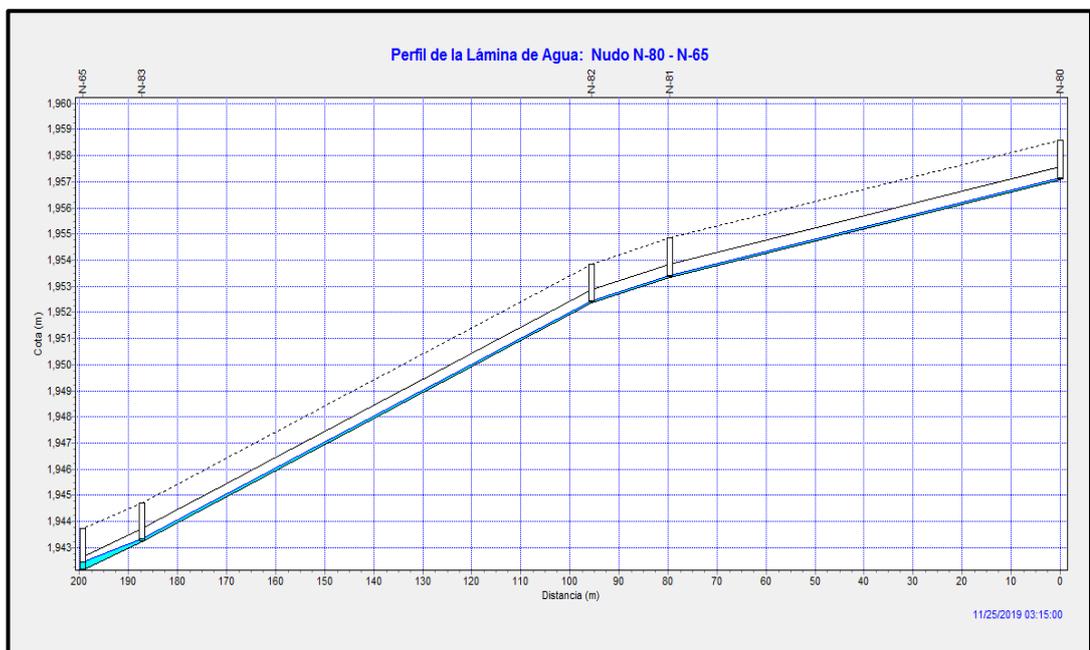
Figura 71. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-75 al N-65.

En la Figura 72 se muestra el perfil de agua en 04 sumideros y 03 tramos de tuberías. Asimismo, en la Figura 73 se muestra el perfil de agua en 04 sumideros, 01 buzón de registro (N-65) y 04 tramos de tuberías, respectivamente.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

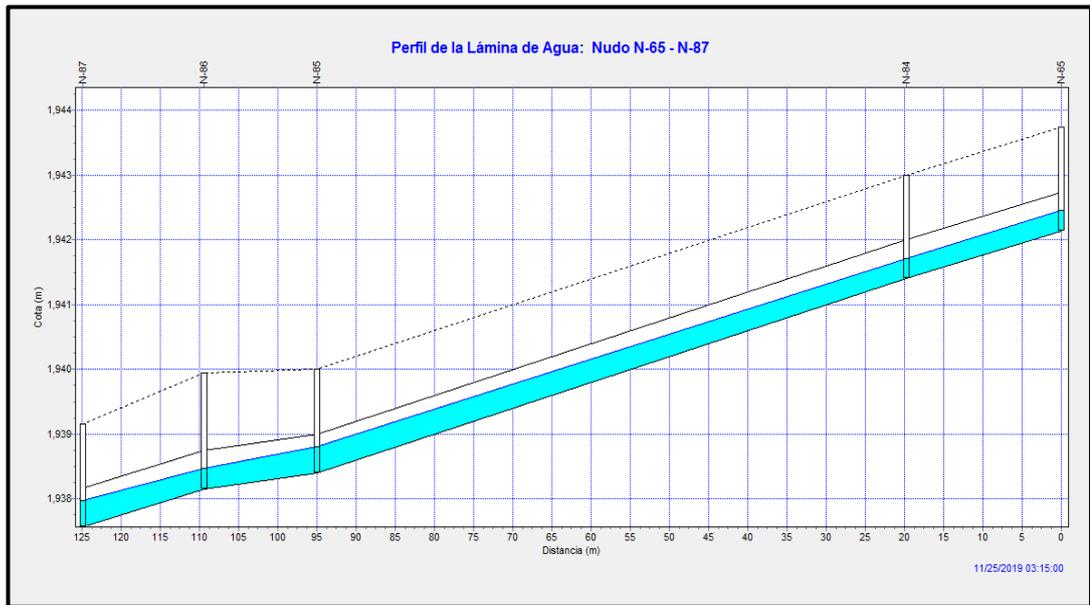
Figura 72. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-77 al N-80.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

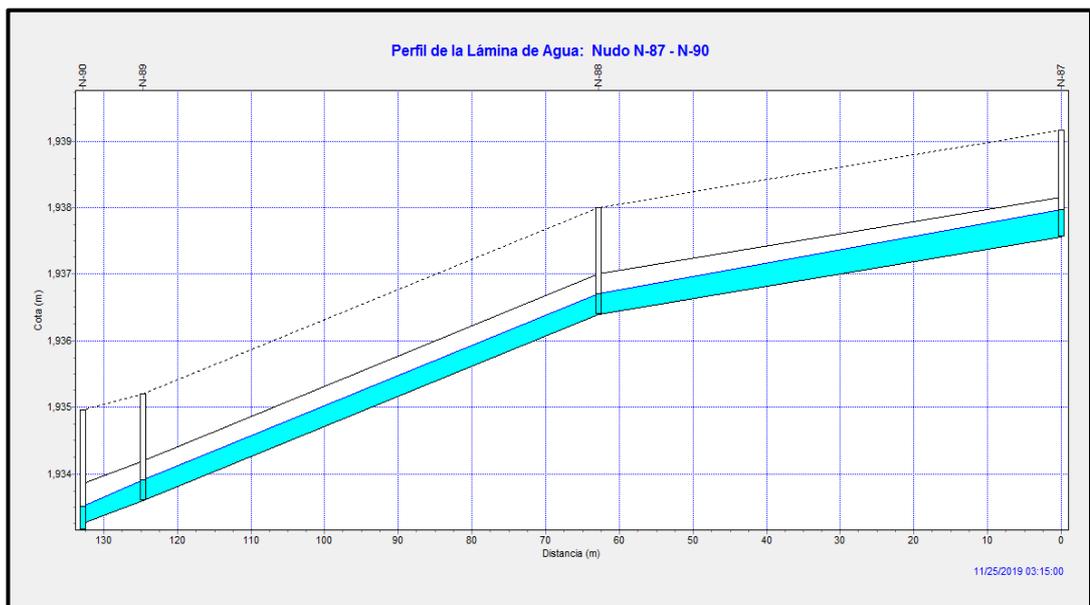
Figura 73. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-80 al N-65.

En la Figura 74 se observa el perfil de agua en 02 buzones de registro (N-65 y N-87), 03 sumideros y 04 tramos de tuberías. Asimismo, en la Figura 75 se observa el perfil de agua en 02 buzones de registro (N-87 y N-90), 02 sumideros y 03 tramos de tuberías; estos últimos, presentan un desnivel de salida igual a 0.10 m en el nudo N-90.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

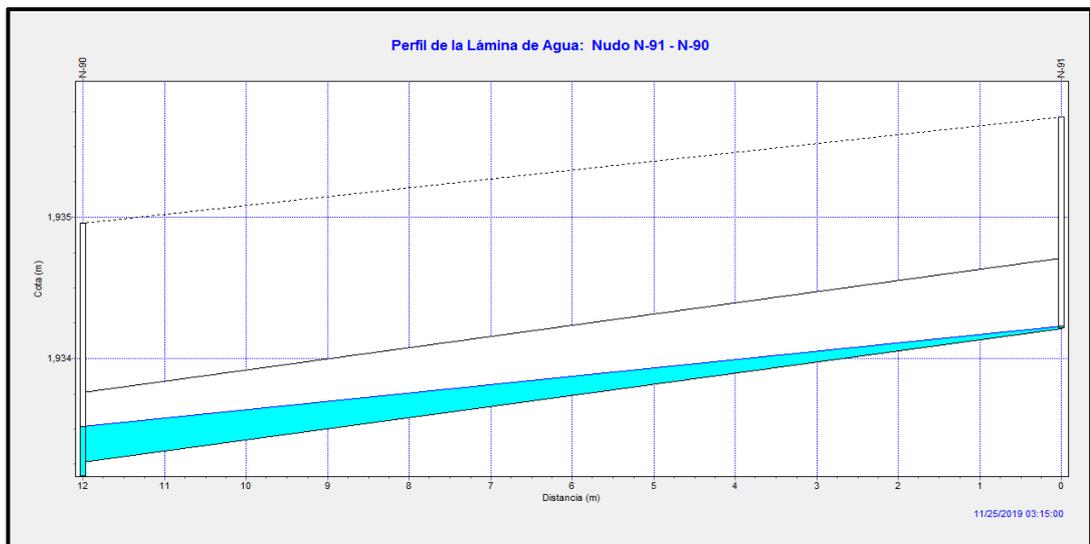
Figura 74. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-65 al N-87.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

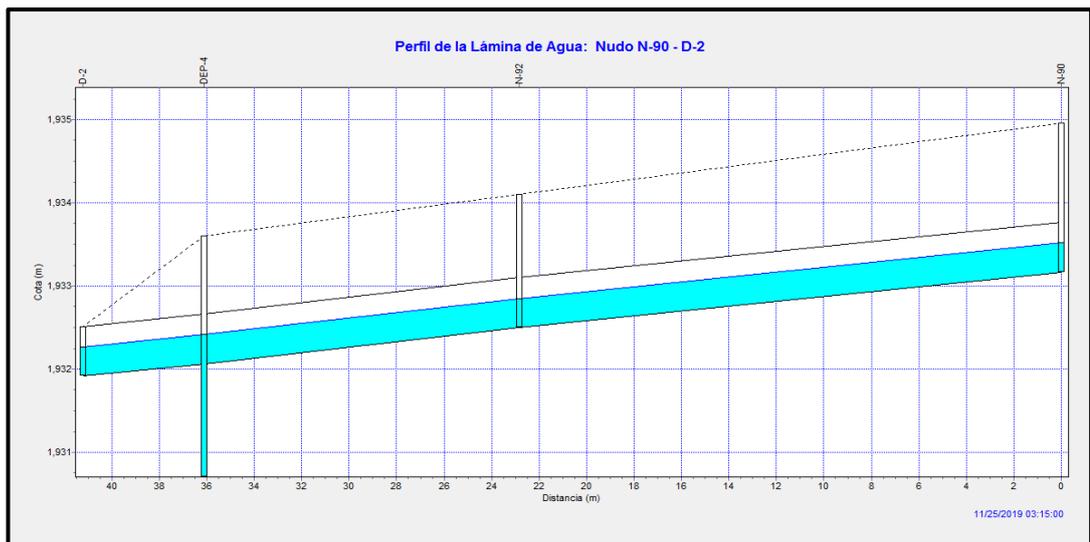
Figura 75. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-87 al N-90.

Finalmente, en la Figura 76 se observa el perfil de agua en 01 sumidero, 01 buzones de registro (N-90) y 01 tramo de tubería; este último, presenta un desnivel de salida igual a 0.10 m en el nudo (N-90). Asimismo, en la Figura 77 se observa el perfil de agua en 01 buzón de registro (N-90), 01 sumidero, 01 sedimentador (DEP-4), 01 vertido (D-2) de salida y 03 tramos de tuberías; estos últimos, presentan un desnivel de entrada y salida igual a 1.36 m en el sedimentador.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

Figura 76. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-91 al N-90.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

Figura 77. Perfil de lámina de agua desde el nudo N-90 al vertido D-2.

- **Características geométricas del Sistema de Drenaje Pluvial Urbano**

Para finalizar con la presentación de los resultados, se extrajeron también las características geométricas de los resultados del modelamiento del software mediante tablas de resumen.

En la Tabla 42 se describen las alturas correspondientes a cada tipo de sumidero. Para conocer el ancho y largo que estos tienen, se tomaron en cuenta las dimensiones de la rejilla tipo R-121 y las consideraciones del ancho de zanjas presentados en el marco teórico.

Tabla 42. Características geométricas en Sumideros.

DESCRIPCIÓN	BANDA IZQUIERDA						BANDA DERECHA		
	Profundidad (m)								
Sumidero	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2.00	1.50	1.60	1.80

FUENTE: Elaboración propia.

En la Tabla 43 se describen los diámetros de tuberías que presentan los colectores de aguas pluviales de todo el sistema.

Tabla 43. Características geométricas en colectores.

DESCRIPCIÓN	BANDA IZQUIERDA			BANDA DERECHA	
	Diámetro nominal DN (mm)				
Colector	500	600	700	500	600

FUENTE: Elaboración propia.

En la Tabla 44 se describen las alturas correspondientes para cada tipo de buzón de registro. El diámetro a considerar será de 1.20 m como mínimo, tal como lo estipula la norma OS.060 del RNE.

Tabla 44. Características geométricas en Buzones de registro.

DESCRIPCIÓN	BANDA IZQUIERDA				BANDA DERECHA		
	Profundidad (m)						
Buzón de registro	1.60	1.70	1.80	1.90	1.50	1.60	1.80

FUENTE: Elaboración propia.

En la siguiente tabla se describen las dimensiones de los sedimentadores sabiendo que el área en planta de cada uno de estos fue obtenida de los cálculos propuestos por la “Guía para el Diseño de Desarenadores y Sedimentadores” de la Organización Panamericana de la Salud.

Así también, para la determinación de las alturas correspondientes, estos dependieron del diseño de cada sedimentador, altura de relleno, ubicación y diámetro de conductos; y finalmente de la simulación hidráulica del sistema.

Tabla 45. Características geométricas en sedimentadores.

DESCRIPCIÓN	BANDA IZQUIERDA						BANDA DERECHA					
	Depósito N°01			Depósito N°02			Depósito N°03			Depósito N°04		
	B	L	H	B	L	H	B	L	H	B	L	H
Sedimentador	1.50	9.00	3.45	2.55	10.20	3.15	1.25	7.50	3.05	2.15	8.60	2.90

FUENTE: Elaboración propia.

En la Tabla 46 se describen los diámetros de salida para la evacuación de aguas pluviales hacia el medio receptor natural (río Huallaga).

Tabla 46. Características geométricas en estructuras de vertido.

DESCRIPCIÓN	BANDA IZQUIERDA	BANDA DERECHA
	Diámetro nominal de salida DN (m)	Diámetro nominal de salida DN (m)
Vertido	0.70	0.60

FUENTE: Elaboración propia.

Comentario: Las representaciones gráficas (planos) de todos los componentes involucrados en el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano, se muestran en el **ANEXO N°08. PLANOS**.

4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

La contrastación de las hipótesis se determina mediante la información recopilada en campo y según los resultados de los parámetros procesados, tanto para el modelamiento como para el diseño definitivo del sistema de drenaje pluvial.

4.2.1. Contrastación de Hipótesis Específicas

Hipótesis Específica N°01

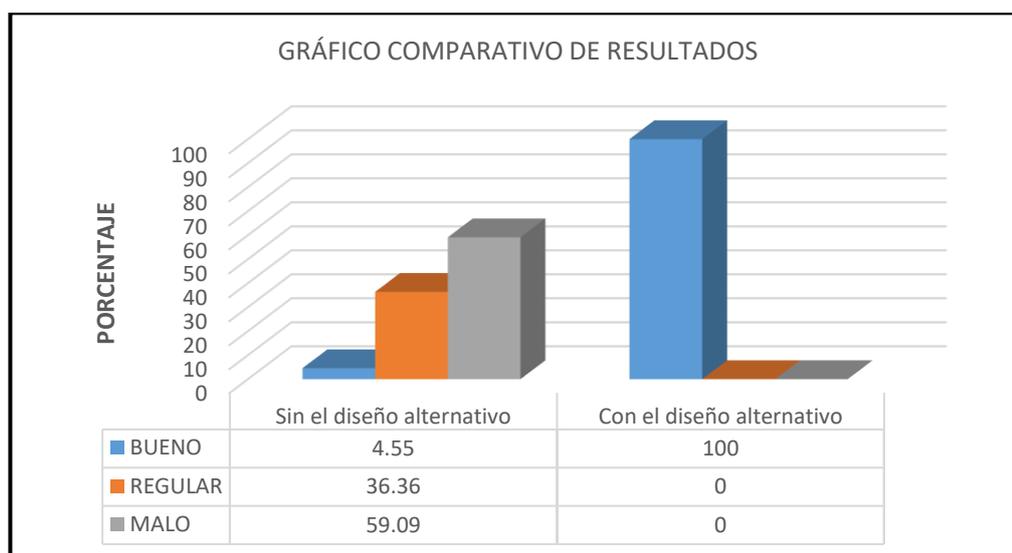
- H_{1.1}: El estado actual del sistema drenaje pluvial se encuentra en condiciones deficientes, de manera que es posible plantear el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis.

- H_{0.1}: El estado actual del sistema drenaje pluvial no se encuentra en condiciones deficientes, de manera que no es posible plantear el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis.

Tabla 47. Resultados de las condiciones del sistema.

ESTADO	SIN EL DISEÑO ALTERNATIVO		CON EL DISEÑO ALTERNATIVO	
	Cantidad de estructuras	Porcentaje de incidencia (%)	Cantidad de estructuras	Porcentaje de incidencia (%)
Bueno	1.00	4.55	98.00	100
Regular	8.00	36.36	0.00	0
Malo	13.00	59.09	0.00	0
Total	22.00	100	98.00	100

FUENTE: Elaboración propia.



FUENTE: Elaboración propia.

Gráfico 7. Gráfico comparativo de las condiciones del sistema.

Contrastación: Sin el diseño alternativo se logra obtener un resultado de incidencia de 4.55 %, para aquellas estructuras existentes que se encuentran en condiciones favorables (buenas), y 59.09 % de incidencia para aquellas estructuras que se encuentran en condiciones pésimas [malas (colmadas, deterioradas y rotas)]. Por otra parte, con el diseño alternativo propuesto se logra obtener un resultado de incidencia del 100 %, bajo las condiciones

favorables. Esto quiere decir que, con el nuevo diseño no sólo se tendrán estructuras en estado bueno, sino también cumplirán la función de reemplazar a las estructuras existentes bajo las condiciones de operación durante los eventos de precipitación.

Por lo tanto, en la actualidad el sistema de drenaje pluvial existente viene a ser significativamente deficiente, lo cual procede a estar fuera de uso. Por lo que este resultado es determinante para poder validar y aceptar la Hipótesis Específica N°01: “El estado actual del sistema drenaje pluvial se encuentra en condiciones deficientes, de manera que es posible plantear el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis.”

Hipótesis Específica N°02

- H_{1.2}: La precipitación permite conocer los aspectos hidrológicos para el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis.
- H_{0.2}: La precipitación no permite conocer los aspectos hidrológicos para el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis.

Prueba de Bondad de Ajuste

Según el MTC (2011), la prueba de bondad de ajuste es una prueba de hipótesis que se utiliza para evaluar si un conjunto de datos es una muestra independiente de la distribución elegida. Por consiguiente, para contrastar la Hipótesis Específica N°02, se utilizó el siguiente tipo de prueba de bondad:

- Prueba de Kolmogorov – Smirnov

Es el método por el cual se comprueba la bondad de ajuste de las distribuciones probabilísticas. Asimismo, permite elegir la distribución más representativa, es decir la de mejor ajuste.

Esta prueba consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia “Dc” entre la función de distribución de probabilidad observada $F_0(x_m)$ y la estimada $F(x_m)$.

$$D = \max |F_0(x_m) - F(x_m)|$$

Con un valor crítico “d” que depende del número de datos y el nivel de significancia seleccionado, tal como se aprecia en la Tabla 48. Si $D_c < D_t$, se acepta la hipótesis nula. Además, el valor del nivel de significación α , en la teoría estadística, es la probabilidad de rechazar la hipótesis nula.

La función de distribución de probabilidad observada se calcula como:

$$F_0(x_m) = 1 - \frac{m}{n + 1}$$

Donde “m” es el número de orden del dato x_m en una lista de mayor a menor y “n” es el número total de datos (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2011).

Tabla 48. Valores críticos “Dt” para la prueba de Kolmogorov – Smirnov.

α n	0.01	0.05	0.10	0.15	0.20
1	0.995	0.975	0.950	0.925	0.900
2	0.929	0.842	0.776	0.726	0.684
3	0.828	0.708	0.642	0.597	0.565
4	0.733	0.624	0.564	0.525	0.494
5	0.669	0.565	0.510	0.474	0.446
6	0.618	0.521	0.470	0.436	0.410
7	0.577	0.486	0.438	0.405	0.381
8	0.543	0.457	0.411	0.381	0.358
9	0.514	0.432	0.388	0.360	0.339
10	0.490	0.410	0.368	0.342	0.322
11	0.468	0.391	0.352	0.326	0.307
12	0.450	0.375	0.338	0.313	0.295
13	0.433	0.361	0.325	0.302	0.284
14	0.418	0.349	0.314	0.292	0.274
15	0.404	0.338	0.304	0.283	0.266
16	0.392	0.328	0.295	0.274	0.258
17	0.381	0.318	0.286	0.266	0.250
18	0.371	0.309	0.278	0.259	0.244
19	0.363	0.301	0.272	0.252	0.237
20	0.356	0.294	0.264	0.246	0.231
25	0.320	0.270	0.240	0.220	0.210
30	0.290	0.240	0.220	0.200	0.190
35	0.270	0.230	0.210	0.190	0.180
40	0.250	0.210	0.190	0.180	0.170
45	0.240	0.200	0.180	0.170	0.160
50	0.230	0.190	0.170	0.160	0.150
OVER 50	$\frac{1.63}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.14}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.07}{\sqrt{n}}$

FUENTE: Elaboración propia en base al Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Manual de hidrología, hidráulica y drenaje), 2011.

Por tanto, se aplicó la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov, con la finalidad de saber que distribución teórica se ajustaba mejor a los datos procesados de precipitaciones máximas anuales [(1994 - 2018) – Estación Meteorológica “Huánuco”] y, de esta manera predecir el comportamiento que tendrán los futuros eventos de lluvia.

Entonces, gracias a la herramienta computacional HIDROESTA 2 y tomando en cuenta los valores de la Tabla 48, para un registro histórico de 25 años (ver Tabla 18) y un nivel de significación del 0.05, se pudo probar la hipótesis, simplificando los cálculos y el proceso de análisis de la información con el software, a diferencia del método tradicional.

En la siguiente tabla se muestran los resultados de dicha prueba, según Kolmogorov – Smirnov.

Tabla 49. Resultado de la Prueba de Bondad de Ajuste.

DISTRIBUCIÓN PROBABILÍSTICA	PRUEBA: SMIRNOV – KOLMOGOROV				Mejor ajuste
	Dc	Dt	¿Se ajusta?		
			Sí	No	
Normal	0.0961	0.272	x		Log Normal 3 parámetros ($D_c (L.N.3.P) < D_c < D_t$)
Log Normal 2 parámetros	0.0569	0.272	x		
Log Normal 3 parámetros	0.0516	0.272	x		
Gamma 2 parámetros	0.0593	0.272	x		
Gamma 3 parámetros	0.0706	0.272	x		
Log Pearson Tipo III	-	-		x	
Gumbel	0.0637	0.272	x		
Log Gumbel	0.1173	0.272	x		
Total			7	1	

FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.

Por otra parte, al saber que distribución probabilística se ajusta mejor a los datos de precipitaciones máximas anuales, según la prueba realizada. Entonces, fue necesario conocer gracias a la distribución de mejor ajuste (Log Normal 3 parámetros), las precipitaciones máximas según los distintos periodos de retorno, descritos en la Tabla 50. Asimismo, independientemente de la obtención de los resultados de las precipitaciones máximas, también se pudo conocer mediante otro método (estudio IILA),

las precipitaciones máximas referenciales, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 50. Resultado de precipitaciones máximas.

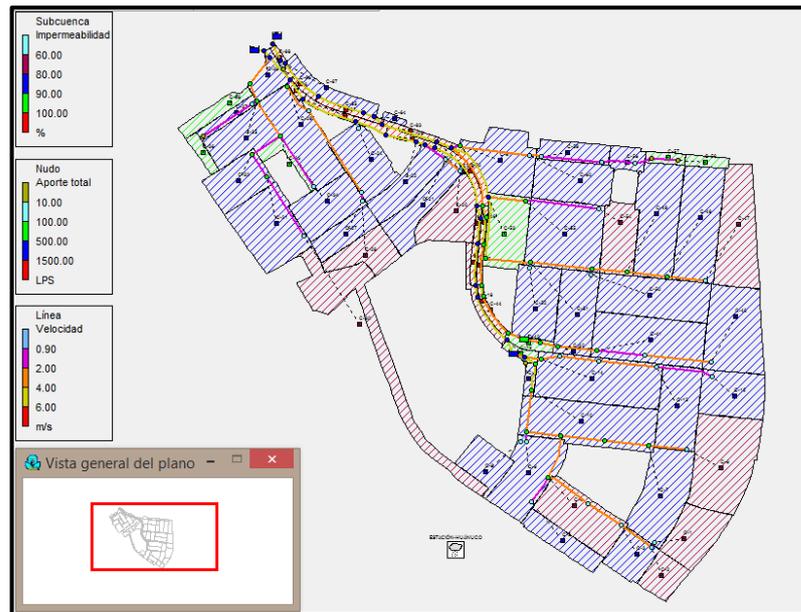
Periodo de retorno "T" (años)	Precipitaciones máximas (mm)	
	Log Normal 3 parámetros	Estudio IILA
2	24.52	67.55
5	31.11	80.30
10	35.11	89.94
25	39.86	102.69
50	43.21	112.33
75	45.11	117.97
100	46.44	121.97
500	53.64	144.35

FUENTE: Elaboración propia.

Contrastación: Al observar la tabla anterior, se puede comprender que las precipitaciones máximas obtenidas por el estudio IILA son mayores a las determinadas por la distribución probabilística de mejor ajuste (Log Normal 3 parámetros). Por lo tanto, se puede afirmar que existe mayor certeza en los resultados obtenidos por el método estadístico, ya que los frutos de sus resultados no sobredimensionan el valor de las lluvias máximas. De esta manera, sus hietogramas han sido mejor ajustados al diseño propuesto. Por lo que esta exposición es determinante para poder validar y aceptar la Hipótesis Específica N°02: "La precipitación permite conocer los aspectos hidrológicos para el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis".

Hipótesis Específica N°03

- H_{1.3}: Los componentes que se ajustan en el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano, permiten mejorar el encauzamiento de las aguas pluviales en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis.
- H_{0.3}: Los componentes que se ajustan en el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano, no permiten mejorar el encauzamiento de las aguas pluviales en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

Figura 78. Planteamiento del Sistema de Drenaje Pluvial Urbano con el software SWMM 5 vE.

Contrastación: Se realizó el planteamiento de los componentes del sistema de drenaje con el software computacional SWMM 5 vE, tomando en consideración los parámetros de diseño y lo estipulado en la norma OS.060 (Drenaje Pluvial Urbano) del RNE, para luego proceder al modelamiento y diseño definitivo del sistema, desde la parte semi alta (inicio de captación de afluentes) hasta la parte baja (evacuación de aguas pluviales hacia el río Huallaga) de la Avenida 28 de agosto, incluyendo también los tramos adyacentes a esta, el cual presentó un caudal de descarga de hasta 4,274 m³ para una precipitación de duración de 6 horas, aproximadamente; y un periodo de retorno de 10 años.

Por otro lado, durante la simulación del sistema se tomó en cuenta estar dentro de los límites recomendados por el Manual del software SWMM. De esta manera, realizada la simulación final, el software permitió conocer el error de continuidad de - 0.07 % para la escorrentía superficial y de 0.07 % para el cálculo hidráulico, respetando así lo que el manual propone.

Entonces, por lo expuesto anteriormente, es determinante para poder validar y aceptar la Hipótesis Específica N°03: “Los componentes que se ajustan en el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano, permiten mejorar el encauzamiento de las aguas pluviales en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis”.

4.2.2. Contrastación de Hipótesis General

Hipótesis General

- H₁: Es posible diseñar el sistema de drenaje pluvial urbano, que permita solucionar los problemas de inundación en la avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis.
- H₀: No es posible diseñar el sistema de drenaje pluvial urbano, que permita solucionar los problemas de inundación en la avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis.

Contrastación: Teniendo como respaldo a las contrastaciones de hipótesis específicas y al haber aceptado las hipótesis alternas, vistas anteriormente, se puede contrastar la Hipótesis General: “Es posible diseñar el sistema de drenaje pluvial urbano, que permita solucionar los problemas de inundación en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis”.

Por lo tanto, al haber contrastado las hipótesis de la investigación, se demuestra el haber cumplido con el objetivo inicial, que era diseñar el sistema de drenaje pluvial urbano, para evitar daños que puedan ocasionar los problemas de inundación en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. CONTRASTACIÓN DE RESULTADOS

A partir de los resultados presentados en el capítulo anterior, se puede contrastar y afirmar que es posible diseñar el sistema de drenaje pluvial urbano, que permita solucionar los problemas de inundación en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis.

El área de influencia comprendida por calles, manzanas, espacios verdes, etc., en el cual se propuso el sistema, tuvo como área menor a los 13 km². De esta manera tratándose de un sistema de drenaje urbano menor con un periodo de retorno considerado de 10 años, todo por lo dispuesto en la norma OS.060 (Drenaje Pluvial Urbano) del RNE. Para obtener el diseño final del sistema, previamente se realizó el trazo y ubicación de los componentes de diseño en distintas herramientas computacionales; luego se pasó a realizar el modelamiento del sistema con el uso del software SWMM 5 vE, tomando en cuenta los criterios de diseño establecidos en la norma indicada anteriormente y demás criterios obtenidos de diversas fuentes de información.

Por lo expuesto preliminarmente y de acuerdo con los resultados generales obtenidos, estos mismos se caracterizan por guardar relación con lo que sostienen Rojas y Humpiri (2016). Estos autores se enfocan en la evaluación, diseño y modelamiento del sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Juliaca con la aplicación del software SWMM. Los autores desarrollaron una metodología para el diseño de sistemas de drenaje urbano tomando como base el modelo matemático SWMM, que consiste en el movimiento simultáneo del flujo en las calles y el intercambio del flujo entre los subsistemas; todo ello bajo el enfoque de la onda dinámica, la cual resuelve las ecuaciones completas de Saint – Venant para un flujo no permanente.

Por otro lado, ellos afirman que el uso del modelo numérico en ventaja al método tradicional, permite predecir con mejor precisión el comportamiento hidráulico de un sistema de drenaje; en este caso, los autores evaluaron la situación actual de un sistema de drenaje existente y analizaron desde un

punto de vista hidráulico los problemas presentes en ello, para finalmente formular las mejoras del sistema.

Ahora, ellos afirman también que los resultados obtenidos mediante el software SWMM, proporcionan un conjunto de herramientas interactivas y recursos que son una buena opción para el análisis de grandes proyectos de drenaje urbano.

Pero, en lo que no se concuerda del estudio de los autores con la presente investigación, es que ellos mantienen la idea de proveer el servicio de drenaje de aguas pluviales a través de la ejecución del proyecto denominado “Drenaje Pluvial de la ciudad de Juliaca” que quedó paralizada por encontrar irregularidades en la aprobación del expediente técnico y faltas de diferente índole. Por consiguiente, realizaron la evaluación y reformulación del diseño del expediente técnico aplicando el software SWMM; mientras que, en la presente Tesis sólo se realizó la propuesta de un nuevo diseño del sistema de drenaje pluvial en la Avenida 28 de agosto y en algunos tramos adyacentes a esta.

Por otra parte, en lo que respecta al estado situacional del sistema de drenaje existente, este mismo se encuentra bajo condiciones deficientes de operación, por lo que es posible plantear un nuevo diseño del sistema de drenaje pluvial urbano en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis.

Según los resultados obtenidos de la Tabla 13, se puede afirmar que para la evaluación de las estructuras existentes de drenaje pluvial, estas han sido clasificadas y resueltas en tres estados (bueno, regular y malo) de acuerdo a la cantidad de las estructuras; representando un valor de 4.55 % (01 estructura) para el estado bueno, 36.36 % (08 estructuras) para el estado regular y 59.09 % (13 estructuras) para el estado malo, siendo este último el más crítico y de mayor incidencia, con características de colmatación de partículas de sedimentos, fisuras, roturas, etc., en las estructuras de drenaje pluvial existente.

Por tanto, estos resultados guardan relación con lo que afirma Mamani y Masias (2017), quienes se orientan en la evaluación y propuesta de diseño del sistema de alcantarillado pluvial de la Av. La Cultura, en el tramo: Garcilaso

- Rio Cachimayo, Cusco; ya que como resultado de la evaluación se formula una propuesta de diseño que permitirá un funcionamiento más eficiente del sistema. Asimismo, las autoras afirman que el sistema de alcantarillado pluvial actual de la Av. la Cultura, no es eficiente para las condiciones meteorológicas reales de la zona debido al gran volumen de precipitación, el cual sobrecarga el canal que no posee las dimensiones geométricas adecuadas.

De la evaluación de los canales que ellas hacen mención, se halla que el área hidráulica requiere un incremento de 1.97 % en el tramo 01, un 1.68 % en el tramo 02 y un 1.69 % en el tramo 03. De esta manera, realizando un incremento de secciones el sistema obtendrá un funcionamiento adecuado y eficiente, por lo que, al haberse comprobado que las condiciones del sistema en la Av. La Cultura son insuficientes, ellas plantearon un nuevo diseño que comprende la construcción de un nuevo canal de sección variable rectangular en todo su recorrido.

Sin embargo, en lo que no se concuerda del estudio de las autoras con la presente investigación, es en la evaluación funcional que ellas estiman. La presente Tesis, sólo tuvo resultados que se limitaron a la evaluación física de las estructuras encontradas en la parte baja de la Avenida 28 de agosto, ya que mediante la visita y observación directa in situ, en épocas de lluvia, se pudo constatar que el volumen de escorrentía superficial se incrementa independientemente de la variación de pendientes en toda la avenida; siendo necesario la propuesta de un nuevo diseño del sistema de drenaje pluvial, para la Avenida 28 de agosto y algunos tramos adyacentes esta.

Por otro lado, referente a un evento de lluvia dado. La magnitud de la precipitación permite conocer los parámetros hidrológicos para el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis.

Los resultados obtenidos de la Tabla 14, Tabla 15 y Tabla 16, permiten conocer ciertas características geomorfológicas de la cuenca urbana, la cual tuvo como área de 0.3043 km², con un perímetro de 2,609.76 ml, representando ser una cuenca de forma alargada con un índice de compacidad de $K > 1$ y con una pendiente de cauce promedio de 3.19 %.

Asimismo, la Tabla 17 muestra el tiempo de concentración o tiempo de registro considerado de valor de 15 min.

En cuanto al inicio del análisis hidrológico realizado con el software HIDROESTA 2, dicho estudio ha sido en base a la Tabla 18, que muestra los datos de precipitaciones máximas anuales de la Estación Meteorológica de Huánuco, el cual al hacer la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov, se obtuvo que la distribución de mejor ajuste a los datos de precipitación fue la distribución Log Normal 3 parámetros, tal como se mostró en la Tabla 19. Asimismo, para este tipo de distribución, la precipitación máxima obtenida para un periodo de retorno de 10 años fue de 35.11 mm con una probabilidad de ocurrencia del 10 %, según la Tabla 20 y la Tabla 21.

Entonces, en base a los resultados expuestos también se determinaron las ecuaciones de intensidad máxima y las curvas IDT, según la metodología de Frederich Bell y el estudio IILA. Seguidamente, para el presente estudio se propuso utilizar la ecuación de intensidad de Frederich Bell, ya que la Tabla 25 mostró que los resultados de las precipitaciones máximas obtenidas por el estudio IILA sobredimensionan el valor de las precipitaciones logradas con el Software HIDROESTA 2. Finalmente, según la Tabla 26 presentada en el análisis de tormenta del proyecto, se determinaron los hietogramas de diseño mediante el método del bloque alterno.

Los resultados mencionados anteriormente tienen similitud en el proceso de obtención de datos hidrológicos comparados con Quispe y Rojas (2015), y Urbano (2015), quienes se enfocan en realizar el diseño de un sistema de drenaje pluvial, con la finalidad de resolver los problemas de inundación existentes y evitar los daños que puedan ocasionar las precipitaciones de gran intensidad. Ellos expresan que el desarrollo urbano altera de una forma notable a la hidrología de la cuenca en estudio, ya que, debido a la urbanización la cuenca pierde su capacidad de infiltración, generando de esta manera caudales extremos y el aumento del volumen de escorrentía en vías de la zona de estudio. Estos autores determinan también los aspectos hidrológicos relevantes por ser uno de sus principales objetos de estudio, los cuales consisten en: Lluvia del proyecto (análisis estadístico de datos, selección del periodo de retorno, precipitación máxima de diseño, curvas IDT

y tormenta del proyecto por bloques alternados), caudal de diseño (coeficiente de escorrentía ponderado, intensidad de lluvia y áreas de drenaje) y tiempo de concentración.

Pero, en lo que no se asemeja del análisis de los autores con la presente investigación, es que el caudal de diseño que ellos determinan es a través del método racional. En la presente Tesis, los resultados obtenidos respecto al estudio hidrológico solo pasaron hasta la determinación de los hietogramas de diseño, por lo tanto, no se determinaron los caudales de diseño en el análisis hidrológico de la zona de estudio, ya que posteriormente se utilizó un software especializado para determinarlos.

Por último, en lo que respecta a disminuir los caudales picos y el volumen de escorrentía superficial una vez iniciada la precipitación en el área de estudio; es posible afirmar que los componentes que se ajustan en el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano, permiten en lo posible mejorar el encauzamiento de las aguas pluviales en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis.

Los hallazgos encontrados respecto a la etapa de diseño del sistema de drenaje pluvial, parten desde la obtención de resultados de ensayos de laboratorio, diseño de sedimentadores, planteamiento, modelamiento y diseño definitivo del sistema de drenaje pluvial.

De acuerdo con los ensayos de laboratorio, estos se obtuvieron en resultados de 03 ensayos para 02 muestras representativas, cuyos ensayos fueron: El Análisis Granulométrico por Tamizado (Tabla 27 y Tabla 28), Gravedad Específica de los Sólidos del Suelo (picnómetro) [Tabla 29] y la Clasificación Unificada de Suelos (SUCS) [Figura 31]. Asimismo, los resultados de estos ensayos permitieron utilizarse para realizar el diseño de las estructuras de sedimentación (sedimentadores).

Los resultados de la Tabla 30, muestran las características obtenidas en el diseño de los tanques sedimentadores cuya cantidad fue de 04. Tales características fueron las velocidades de diseño, periodos de diseño, dimensiones, cargas hidráulicas, eficiencia de las estructuras y los diámetros

mínimos de las partículas removidas una vez conducidas sobre las estructuras.

Con relación al modelamiento y diseño del sistema de drenaje pluvial con la aplicación del software especializado SWMM (Storm Water Management Model = El modelo de gestión de aguas pluviales), los resultados fueron obtenidos y extraídos del informe de estado que presenta el software. Previamente la simulación se realizó con éxito, con un error de continuidad de - 0.07 % para la escorrentía superficial (resultado hidrológico) y de 0.07 % para el cálculo hidráulico (resultado hidráulico), según la Tabla 31 y la Tabla 32. De esta manera, los resultados de la simulación estuvieron dentro de los intervalos límites recomendados por el manual del software, el cual refiere a que no se debe exceder del 10 % de los errores de continuidad.

Los resultados de la Tabla 33 muestran la precipitación total, lo cual fue de 33.81 mm para las 68 subcuencas consideradas, con una infiltración resultante mínima de 0.00 mm y máxima de 6.07 mm; y una escorrentía total mínima de 26.23 mm y máxima de 33.60 mm en todas las subcuencas. Muestra también el coeficiente de escorrentía con un valor mínimo de 0.78 y máximo de 0.99, de acuerdo a las características físicas de cada subcuenca. Asimismo, los resultados de la Tabla 34 y la Tabla 35 muestran los niveles medio y máximo alcanzado, el aporte lateral y el aporte total máximo en cada nudo (sumideros y/o buzones de registro), vertido y depósito de almacenamiento (sedimentadores), los cuales poseen un nivel medio mínimo de 0.01 m y máximo de 1.50 m (correspondiente a la altura de diseño de los sedimentadores en el cálculo hidráulico), un nivel máximo mínimo de 0.02 m y máximo de 1.77 m, un aporte lateral máximo de 85.49 LPS y un aporte total máximo de 1,266.30 LPS; muestran también el instante en que se desarrolla el nivel máximo y el aporte máximo, siendo estos mismos a las 03:15 aproximadamente, una vez iniciada la simulación.

Seguidamente, los resultados de la Tabla 36 y la Tabla 37 muestran de que no existen sobrecargas ni inundaciones en los nudos considerados por el software, haciendo más eficiente al sistema para los fines que se requiere. Asimismo, los resultados de la Tabla 38 muestran el volumen medio y máximo de almacenamiento de agua para cada depósito (sedimentador), con un valor

mínimo de 14 m³ en el sedimentador N°03 y máximo de 39 m³ en el sedimentador N°02 para el volumen medio almacenado, y con un valor mínimo de 15 m³ en el sedimentador N°03 y máximo de 46 m³ en el sedimentador N°02 para el volumen máximo almacenado. Muestran también la capacidad límite para que no ocurra el fenómeno de desborde en cada sedimentador, con un valor mínimo de 149.86 LPS en el sedimentador N°03 y máximo de 1,266.30 LPS en el sedimentador N°02. Así también, la Tabla 39 muestra los resultados de los gastos medios y máximos que poseen los 02 componentes de vertido de agua planteado en el diseño. El primer vertido perteneciente a la vía izquierda de la Avenida 28 de agosto, presenta un caudal medio de 279.22 LPS, un caudal máximo de 1,266.30 LPS; y con un volumen total de escorrentía a evacuar de 4,274 m³. El segundo vertido perteneciente a la vía derecha de la avenida, presenta un caudal medio de 195.86 LPS, un caudal máximo de 886.29 LPS; y con un volumen total de escorrentía a evacuar de 3,001 m³ para una tormenta de duración de 6 horas, aproximadamente.

Respecto a las líneas o conductos planteados para el diseño, la Tabla 40 presenta los resultados del caudal máximo, el instante en el cual ocurre este mismo y la velocidad máxima para cada conducto. Con relación al caudal máximo de todas las líneas, estas se caracterizan por tener un valor mínimo de 3.66 LPS perteneciente a la línea 93 y un valor máximo de 1,266.30 LPS perteneciente a la línea 55; con relación al instante en el cual ocurre el caudal máximo, se presenta que ocurre a las 03:15 aproximadamente, una vez iniciada la simulación. Con relación a la velocidad máxima, se tiene que el valor mínimo corresponde a la línea 05, con una magnitud en velocidad de 0.92 m/s; y el máximo valor corresponde a la línea 29, con una velocidad de 5.97 m/s. Por lo tanto, el criterio de velocidad máxima de diseño se llega a cumplir, ya que la velocidad en la línea 29 es menor a los 6 m/s (velocidad máxima), propuesto como velocidad permisible máxima por la norma OS.060 (Drenaje Pluvial Urbano) del RNE. Seguidamente, los resultados de la Tabla 41 muestran que no existen sobrecargas en los conductos calculados con el software, haciendo una vez más eficiente al sistema para los fines que se requiere.

Habiendo descrito los resultados presentados en tablas, se tuvo también el resultado de la representación final del sistema en el software (ver Figura 35); por consiguiente, se pudo observar también el sistema planteado de manera enfocada desde la Figura 36 hasta la Figura 42. Asimismo, de manera dividida se pudo conocer el sistema propuesto, mediante subcuencas y redes de drenaje (ver Figura 43 y Figura 44).

Todos los componentes de diseño se mostraron en perfiles longitudinales de láminas de agua para visualizar el comportamiento de la simulación durante el evento de lluvia máximo, y así poder comprender la variación de niveles del sistema en cuanto que el tiempo de registro se inicie durante el proceso de modelación. Los gráficos de perfiles de láminas de agua se muestran desde la Figura 45 hasta la Figura 77.

Finalmente, después de haber obtenido todos los resultados ajustados de la modelación y diseño del sistema de drenaje pluvial con el software SWMM 5 vE, también se extrajeron de manera resumida las características geométricas de todos los componentes del diseño. La Tabla 42 muestra las características de los sumideros de todo el sistema, cuyas alturas varían desde 1.50 hasta 2.00 m de profundidad. Asimismo, la Tabla 43 muestra las características de los colectores, cuyo material propuesto fue de PVC, con diámetros nominales que varían de 500 hasta 700 mm. Seguidamente, la Tabla 44 presenta las características de los buzones de registro, cuyas alturas van desde 1.50 hasta 1.90 m de profundidad. Así también, la Tabla 45 muestra las características de los depósitos (sedimentadores), cuyas dimensiones son: Sedimentador N°01 (B x L x H = 1.50 m x 9.00 m x 3.45 m), sedimentador N°02 (B x L x H = 2.55 m x 10.20 m x 3.15 m), sedimentador N°03 (B x L x H = 1.25 m x 7.50 m x 3.05 m) y sedimentador N°04 (B x L x H = 2.15 m x 8.60 m x 2.90 m). Y finalmente, la Tabla 46 muestra las características de vertido de aguas pluviales al cuerpo receptor (río Huallaga), con un diámetro nominal de salida de 700 mm para el sistema de la banda izquierda, y con un diámetro nominal de salida de 600 mm para el sistema de la banda derecha de la Avenida 28 de agosto.

Por lo tanto, para obtener todos los resultados expuestos anteriormente, estos han sido producto también de la revisión del Manual del SWMM,

traducida al español por Rossman (2005) y demás tutoriales investigados; que guardan relación con lo que afirma Ozoriaga y Sanabria (2017), quienes se enfocan en la evacuación de las aguas pluviales en el Jr. Loreto, distrito y provincia de Huancayo, mediante el diseño del alcantarillado pluvial y teniendo en cuenta lo estipulado en la norma OS.060. Pues ellas determinaron el diseño de la red pluvial considerando una tormenta que puede acumular aproximadamente 13,184 m³ de agua pluvial, contando con tuberías de diámetros de 600 mm, 700 mm y 1200 mm, unidos mediante buzones de 1.90 m de altura en los cuales se regula el caudal y se evita el aniego de las intersecciones del Jr. Áncash y el Jr. Loreto y el cruce de la Av. Real y el Jr. Loreto, zonas que en la actualidad se ven afectadas cuando existen precipitaciones moderadas e intensas.

Sin embargo, en lo que no se concuerda del estudio de las autoras con la presente investigación, es de que la presente Tesis realiza la implementación de sedimentadores ubicados en ciertos lugares estratégicos del sistema de drenaje pluvial, con la finalidad de retener las partículas de sedimentos tanto en el tramo parcial como en el tramo final de la Avenida 28 de agosto, si es que en algún momento se llegase a realizar la construcción del sistema de drenaje pluvial propuesto. Por lo tanto, gracias a estos dispositivos innovadores, podría ser posible también disminuir la carga contaminante que llevaría consigo el flujo pluvial de todo el sistema, durante la operación cuando se presenten las precipitaciones, mejorando de esta manera la calidad de las aguas pluviales frente al vertido en el cuerpo receptor natural (río Huallaga).

CONCLUSIONES

Lo expuesto a lo largo del trabajo de investigación, permite arribar a las siguientes conclusiones:

- Respecto al Objetivo General: Se realizó el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano, atendiendo a un evento de lluvia que puede acumular aproximadamente 7,275 m³ de agua pluvial, repartido en dos descargas externas pertenecientes a las estructuras de vertido, cuyo volumen para el primer vertido es de 4,274 m³ y para el segundo vertido es de 3,001 m³. Siendo así, el sistema contará con tuberías de material PVC con diámetros de 500 mm, 600 mm y 700 mm; unidos mediante sumideros, buzones de registro y sedimentadores de dimensiones variables, con el propósito de regular los caudales circulantes y evitar los problemas de inundación en la Avenida 28 de agosto y tramos adyacentes a esta, cuyos tramos que en la actualidad se ven afectadas cuando existen precipitaciones moderadas e intensas.
- Respecto al Objetivo Específico N°01: Se diagnosticó el estado actual del sistema de drenaje pluvial, ya que no es eficiente frente a los eventos de precipitación de la zona. Por consiguiente, se lograron obtener resultados incidentes de 4.55 % [01 unidad (estado bueno)], 36.36 % [08 unidades (estado regular)] y 59.09 % [13 unidades (estado malo)]; este último, presentando estructuras colmatadas, deterioradas y rotas. Todo ello sirvió de evidencia para poder plantear un nuevo diseño del sistema de drenaje pluvial urbano, en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis.
- Respecto al Objetivo Específico N°02: Se determinaron los aspectos hidrológicos gracias al trabajo topográfico y a los datos de precipitaciones mensuales máximas por 24 horas; estos últimos, tomados de la Estación Meteorológica “Huánuco”.

Por una parte, se obtuvieron diferentes parámetros geomorfológicos de la cuenca urbana, cuya área fue de 30.43 has, con un perímetro de 2,609.76 m y un índice de compacidad de $K = 1.32$ ($K > 1$, cuenca

alargada). Así también, se conocieron la pendiente del cauce principal que fue de 3.19 %, y el tiempo de concentración que resultó de $T_c = 15$ min.

Por otra parte, se obtuvo la precipitación máxima anual que fue de 48.70 mm, registrado en el año 2001. Asimismo, para predecir mejor el comportamiento de las lluvias en la zona, los resultados de la prueba estadística con el software HIDROESTA 2, permitieron conocer a la distribución de mejor ajuste a los datos de precipitaciones máximas anuales, el cual fue la distribución Log Normal 3 parámetros. De esta manera, se obtuvo los distintos periodos de retorno, su probabilidad de ocurrencia y las curvas IDT; este último, también se obtuvo mediante el método IILA, con la finalidad de predecir referencialmente el comportamiento que tienen las lluvias en la zona, sin algún dato que registra el SENAMHI; sin embargo, dicho método sobredimensionó el valor de las precipitaciones máximas diarias, llegando a descartarse por tal motivo. Es así que se pudo contrastar la hipótesis específica alterna, para plantear el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis.

Por último, se obtuvo la tormenta del proyecto, el cual permitió conocer los hietogramas de diseño (precipitaciones e intensidades) para luego procesarlos en la herramienta computacional SWMM 5 vE.

- Respecto al Objetivo Específico N°03: Se establecieron los componentes que se ajustan en el diseño del sistema de drenaje pluvial con los datos obtenidos del trabajo topográfico, hidrológico, de suelos e hidráulico, en el software SMWW 5 vE. Dichos componentes consistieron en sumideros con alturas de 1.80 m hasta 2.00 m, colectores con diámetros de 500 mm hasta 700 mm, buzones de registro con profundidades de 1.50 m hasta 1.90 m, sedimentadores con dimensiones variables (ver Tabla 45) y estructuras de vertido con diámetros de salida de 0.60 m y 0.70 m.

Por otra parte, cabe mencionar que los sedimentadores se implementaron con el propósito de retener las partículas de granos

(sedimentos) debido al transporte pluvial, y reducir la carga contaminante de las aguas pluviales frente al vertido en el cuerpo receptor natural (río Huallaga), pensando en una etapa de operación. Asimismo, estos dispositivos innovadores cumplen la función de depósitos de almacenamiento y reguladores de velocidad de flujo de todo el sistema.

Por último, todos los componentes han sido procesados en el software computacional SWMM 5 vE, para pasar por un proceso de modelación, ajuste y finalmente obtener el diseño definitivo del sistema de drenaje pluvial, cuya finalidad es de mejorar el encauzamiento de las aguas pluviales en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda adquirir en campo, los datos legítimos para el diseño de un sistema de drenaje, de tal manera que se podrá obtener mejores resultados y disminuir los errores de cálculo.
- Se recomienda utilizar modelos numéricos para diseños de sistemas de drenaje, ya que permite conocer y comprender el comportamiento que tiene un evento de lluvia en cuencas, subcuencas y redes de drenaje pluvial.
- Se recomienda armar estudios de investigación similares a lo realizado, ya existen muchos puntos en diferentes distritos de la ciudad con problemas parecidos a la Avenida 28 de agosto.
- Se recomienda brindar charlas de concientización a la población huanuqueña, de evacuar el caudal pluvial proveniente de sus viviendas hacia los drenes de las calzadas. De esta manera, las aguas de lluvia no podrán estar conectadas en las instalaciones domiciliarias del desagüe residual, ya que eso provocaría su sobrecarga.
- A la Municipalidad Distrital de Amarilis, se le recomienda realizar el aprovechamiento de las aguas pluviales, previo tratamiento, para fines de riego en parques y jardines de la zona de influencia.
- Al Gobierno Regional Huánuco, se le recomienda efectuar planes de gestión de aguas pluviales, para así poder disminuir los problemas de inundación provocados por los eventos de lluvia, en las diferentes zonas de Huánuco.
- Se recomienda tomar como referencia el presente informe de investigación, ya que permite brindar la información necesaria en futuras y similares investigaciones de un sistema de drenaje urbano.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfonso, S. (21 de enero de 2019). *La Importancia de la Hidrología. [Es de suma importancia conocer la hidrología de las zonas donde se realizan o realizarán actividades humanas, productivas y ecológicas.* Recuperado de <http://www.siig.mx/blog/la-importancia-de-la-hidrologia/>
- Aparicio, F. J. (1992). *Fundamentos de hidrología de superficie.* México: Limusa S.A. de C.V.
- Arias, R. J. (14 de diciembre de 2018). *Por qué se inundan las ciudades.* Montes Claros. Unknown. Recuperado de <http://ciudad-humana.blogspot.com/2016/08/por-que-se-inundan-las-ciudades-i.html>
- Arroyo, V. (29 de marzo de 2019). *Drenaje Urbano, la tarea pendiente de América Latina.* Barranquilla. iagua. Recuperado de <http://ciudad-humana.blogspot.com/2016/08/por-que-se-inundan-las-ciudades-i.html>
- Autoridad Nacional del Agua (2010). *Manual: Criterios de diseños de Obras Hidráulicas para la Formulación de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales y de Afianzamiento Hídrico.* Lima, Perú.
- Bolinaga, J. J. y Franceschi, L. E. (29 de marzo de 2019). *Drenaje Urbano.* Recuperado de https://kupdf.net/download/drenaje-urbano-bolinaga_58f12de3dc0d60a310da9811_pdf#modals
- Bowles, J. (1981). *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil.* México: McGraw-Hill.
- Breña, A. F. y Jacobo, M. A. (2006). *Principios y fundamentos de la hidrología superficial.* Ciudad de México, México D.F: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Das, B (2001). *Fundamentos de ingeniería geotécnica.* California, USA: Thomson editores.

- Cardenas, R. R. (2006). *Diseño de un sistema de drenaje pluvial óptimo y funcional para el sector "La Rotaria" de la parroquia Raúl Leoni de Maracaibo. Edo.- Zulia* (Trabajo Especial de Grado presentado ante la Ilustre Universidad "Rafael Urdaneta" como requisito Final para optar al Título de Ingeniero Civil). Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela.
- Castañeda, L. F. (2004). *Propuesta metodológica para la ubicación y dimensionamiento de sumideros de captación de escorrentía superficial y análisis de su comportamiento hidráulico* (Proyecto de grado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Ccote, J. C. y Rojas, E. (2015). *Diseño del sistema de drenaje pluvial de la comunidad 3 de mayo de Pucarumi del distrito de Ascención - Huancavelica* (tesis de pregrado), Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú.
- Centro Aragonés de Tecnologías para la Educación. (21 de marzo de 2019). *Parámetros que definen los cursos fluviales*. Recuperado de http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/2500/2629/html/24_parmetros_que_definen_los_cursos_fluviales.html
- Chereque, W. (1989). *Hidrología para estudiantes de Ingeniería Civil*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Chow, V. T., Maidment D. R. y Mays L. W. (1994). *Hidrología aplicada*. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Interamericana S.A.
- Clarín Sociedad. (12 de diciembre de 2018). *Por qué se inunda la Ciudad*. Argentina. Ricardo Kirschbaum. Recuperado de https://www.clarin.com/sociedad/inunda-ciudad_0_H16bNxYIRFe.html
- Comisión Nacional del Agua. (2019). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento - Datos Básicos para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado*. México D.F.

- Consorcio Aguas (2008). *Construcción del Sistema de Drenaje de la ciudad de Huánuco*. Municipalidad Provincial de Huánuco, Huánuco, Perú.
- Cuti, K. A. (2018). *Drenaje pluvial urbano en la localidad de Espinar, provincia de Espinar, región Cusco* (Para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.
- De la Paz, L. C. (2016). *Diseño y Simulación de una Red de Drenaje Pluvial en la zona Centro - Oeste Trinidad* (Trabajo de Diploma). Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Ciudad de Santa Clara, Cuba.
- Domingos, D. (2015). *Estrategia para el diseño redes de drenaje pluvial, empleando la modelación matemática, para su aplicación en la ciudad de Luanda* (Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas). Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría, La Habana, Cuba.
- Escuela Superior Politécnica del Litoral. (18 de marzo de 2019). *Análisis estadístico de datos hidrológicos*. Recuperado de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6083/6/CAPITULO2.-ESTADISTICA.pdf>
- Ferrando, A. y Francisco, J. (10 de diciembre de 2018). *Sobre inundaciones y anegamientos*. Chile. Sisib. Recuperado de https://web.uchile.cl/vignette/revistaurbanismo/CDA/urb_completa/0,1313,ISID%253D668%2526IDG%253D2%2526ACT%253D0%2526PR T%253D19141,00.html
- Flores, A. P. (2016). *Evaluación y propuesta de mejoramiento del sistema de alcantarillado sanitario de las asociaciones pro vivienda 28 de julio, Kantu, Villa Mercedes y Vista Alegre* (Tesis de pregrado). Universidad Andina del Cusco, Cusco, Perú.
- García, S. y Gonzáles, O. I. (2018). *Diseño del drenaje pluvial en la localidad de Parco distrito de Parco provincia de Bagua región Amazonas* (Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil). Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú.

- Granda, R. R. (2013). *Análisis numérico de la red de drenaje pluvial de la Urb. Angamos* (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). Universidad de Piura, Piura, Perú.
- Henríquez, M. (22 de marzo de 2019). *Estudio del comportamiento y características generales de un canal de drenaje urbano en ciudad Bolívar, Venezuela*. Recuperado de <http://drenajeurbano.blogspot.com/>
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. México D.F: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES S.A. DE C.V.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (26 de marzo de 2019). *Modelación Hidrológica*. Bogotá. IDEAM. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/web/agua/modelacion-hidrologica>
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (28 de marzo de 2019). *Diagnóstico de la temporada de lluvias 2017-2018*. Lima. Ministerio de Defensa. Recuperado de https://www.indeci.gob.pe/images/contenido/ESCENARIO_jR6kS.pdf
- Jiménez, R. (1998). *Metodología de la Investigación. Elementos básicos para la investigación clínica*. La Habana: Ciencias Médicas.
- López, O. R. (2016). *Diseño y simulación de una red de drenaje pluvial para la zona centro - este de la ciudad de Trinidad* (Trabajo de Diploma), Universidad central Marta Abreu de las Villas, Ciudad de Santa Clara, Cuba.
- López, R. A. (2000). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*. Santafé de Bogotá, Colombia: Centro Editorial, Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Manrique, I. A. y Gomez, J. M. (2016). *Diseño y construcción de una torre de sedimentación para la evaluación de los procesos de remoción y eficiencia en el tratamiento de agua potable* (Trabajo de Grado para optar al título profesional de Ingeniero Civil). Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.

- Martínez de Azagra, A. (23 de marzo de 2019). *Particulización al método de los coeficientes de escorrentía*. Recuperado de <http://www.oasification.com/archivos/Coeficientes%20de%20escorrent%C3%ADa.pdf>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2011). *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje*. Lima, Perú: MTC.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de ensayo de materiales*. Lima, Perú: MTC.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (12 de junio de 2018). *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje*. Recuperado de https://drive.google.com/file/d/1ArH3XJ78wgC_d1qZ_jz6me2PqeTvFeqH/view
- Organización Panamericana de la Salud. (11 de junio de 2019). *Guía para el Diseño de Desarenadores y Sedimentadores*. Recuperado de <http://www.bvsde.ops-oms.org/tecapro/documentos/agua/158esp-diseno-desare.pdf>
- Orozco, T. C. y Tapia, J. P. (2017). *Diseño de un alcantarillado sanitario y pluvial para el centro parroquial Quimiag* (Trabajo de grado previo a la obtención del Título de Ingeniera Civil). Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Ozoriaga, A. M. y Sanabria, L. A. (2017). *Diseño del sistema de alcantarillado pluvial en el Jirón Loreto tramo Amazonas - Calle Real Distrito de Huancayo - Región Junín* (Proyecto de tesis para optar el título profesional de Ingeniera Civil), Universidad Peruana Los Andes, Huancayo, Perú.
- Paredes, R. E. (2015). *Generación de intensidades de precipitación máxima en estaciones sin información pluviográfica* (Cuenca del río Illpa - Puno) (Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrícola), Universidad Nacional de Altiplano, Puno, Perú.
- Reglamento Nacional de Edificaciones. (2019). Lima, Perú: Editorial Macro.

- Rocha, A. (1993). *Recursos hidráulicos*. Lima, Perú: Colegio de Ingenieros del Perú.
- Rossman, L. A. (2005). *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0*. U.S. Environmental Protection Agency (EPA).
- Segerer, C. D. y Villodas, R. (2006). *Las Precipitaciones En Hidrología I(26)*. Mendoza, Argentina: Universidad Nacional de Cuyo.
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología). (30 de marzo de 2019). *Herramientas/Información del tiempo y clima*. Lima. Ministerio del Ambiente. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-detalle-turistico&localidad=0014>
- Sierra, R. (2001). *Técnicas de Investigación Social - Teoría y Ejercicios*. Madrid, España: Editorial Paraninfo.
- Tanque Diez. (11 de junio de 2019). *Sistemas Biológicos para Depuración de Aguas*. Recuperado de <https://tanquediez.com/spd.html>
- Tilley, E. (2018). *Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento*. Dübendorf, Suiza: Edición Rodrigo Riquelme, Ricardo Martínez Lagunes y Juan Carlos Sapien.
- Universia. (15 de diciembre de 2018). *Guía para elaborar una tesis*. Argentina. Recuperado de <https://www.ubp.edu.ar/wp-content/uploads/2016/06/Universia-guia-elaborar-tesis-grado-.pdf>
- Universidad de Piura. (16 de marzo de 2019). *Precipitación*. Piura. UDEP. Recuperado de http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_136_147_89_1257.pdf
- Universidad Nacional de Ingeniería. (25 de octubre de 2019). *Primer taller de mecánica de suelos - marzo 2006*. Lima. UNI. Recuperado de https://www.academia.edu/12390659/N_UNIVERSIDAD_NACIONAL_DE_INGENIER%C3%8DA_FACULTAD_DE_INGENIER%C3%8DA_CIVIL_PRIMER_TALLER_DE_MECANICA_DE_SUELOS_MARZO_2006?auto=download

- Universidad de San Martín de Porres. (2016). *Manual para la elaboración de las tesis y los trabajos de investigación*. Lima, Perú.
- Urbano, S. V. (2017). *Diseño alternativo de un sistema de drenaje pluvial para las avenidas Antonio Raymondi y Mariscal Luzuriaga en la ciudad de Huaraz-2015* (Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil), Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, Perú.
- Urrusuno, A. (2017). *Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la depuración de efluentes procedentes de un lavadero de carbón* (Trabajo Fin de Máster), Universidad de Oviedo, Oviedo, España.
- Villón, M. (2002). *Hidrología*. Lima, Perú: Editorial Villón.
- Villón, M. (11 de junio de 2019). *Hidrología estadística*. Recuperado de http://www.mediafire.com/file/vq3a0qbkghxcm0o/Hidrolog%25C3%25ADa_estad%25C3%25ADstica_-_Maximo_Villon_Bejar_-_ICw.pdf/file
- Yañez, E. P. (2014). *Eficiencia del sistema de drenaje pluvial en la Av. Angamos y Jr. Santa Rosa* (Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil), Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.

ANEXOS

**ANEXO N°01. RESOLUCIÓN DE APROBACIÓN DEL PROYECTO DE
INVESTIGACIÓN**

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
Facultad de Ingeniería

RESOLUCIÓN N° 556-2019-CF-FI-UDH

Huánuco, 05 de Julio de 2019

Visto, el Oficio N° 555-2019-C-EAPIC-FI-UDH del Coordinador Académico de Ingeniería Civil, referente a **John Williams, RAMOS VIGILIO**, del Programa Académico Ingeniería Civil Facultad de Ingeniería, quien solicita Aprobación del Proyecto de Investigación;

CONSIDERANDO:

Que, según Resolución N° 560-99-CO-UH, de fecha 06.09.99, se aprueba el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería, vigente;

Que, según el Expediente 1738-19, del Programa Académico de, Ingeniería Civil, Informa que el Proyecto de Investigación Presentado por **John Williams, RAMOS VIGILIO** ha sido aprobado, y

Que, según Oficio N° 555-2019-C-EAPIC-FI-UDH, del Presidente de la Comisión de Grados y Títulos del Programa Académico de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Informa que el recurrente ha cumplido con levantar las observaciones hechas por la Comisión de Grados y Títulos, respecto al Proyecto de Investigación; y

Estando a lo acordado por el Consejo de Facultad Extraordinario de fecha 05 de Julio del 2019 y normado en el Estatuto de la Universidad, Art. N° 44 inc.r);

SE RESUELVE:

Artículo Primero. - **APROBAR**, el Proyecto de Investigación y su ejecución intitulado:

“DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO - 2019” representado por **John Williams, RAMOS VIGILIO**, del Programa Académico de Ingeniería Civil

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE, ARCHÍVESE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CONSEJO DE FACULTAD
[Signature]
Ing. JOHNNY F. JACHA ROJAS
SECRETARIO DOCENTE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
[Signature]
Mg. Bertha Campos Rios
DECANA (E) DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

ANEXO N°02. RESOLUCIÓN DE NOMBRAMIENTO DE ASESOR DE TESIS

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO *Facultad de Ingeniería*

RESOLUCIÓN N° 911-2020-D-FI-UDH

Huánuco, 22 de diciembre de 2020

Visto, el Oficio N° 614-2020-C-PAIC-FI-UDH presentado por el Coordinador del Programa Académico de Ingeniería Civil y el Expediente N° 3316, del Bach. **John Williams, RAMOS VIGILIO**, quién solicita Asesor de Tesis, para desarrollar el trabajo de investigación.

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo a la Nueva Ley Universitaria 30220, Capítulo V, Art 45º inc. 45.2, es procedente su atención, y;

Que, según el Expediente N° 3316, presentado por el (la) Bach. **John Williams, RAMOS VIGILIO**, quien solicita Asesor de Tesis, para desarrollar su trabajo de investigación, el mismo que propone al Mg. Luis Fernando Narro Jara, como Asesor de Tesis, y;

Que, según lo dispuesto en el Capítulo II, Art. 27 y 28 del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco vigente, es procedente atender lo solicitado, y;

Estando a Las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

SE RESUELVE:

Artículo Único.- DESIGNAR, como Asesor de Tesis del Bach. **John Williams, RAMOS VIGILIO**, al Mg. Luis Fernando Narro Jara, Docente del Programa Académico de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería.

Regístrese, comuníquese, archívese



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Mg. Johnny B. Tacha Rojas
SECRETARIO DOCENTE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Mg. Bertha Campos Rios
DECANA (E) DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Distribución:

Fac. de Ingeniería – PAIC – Asesor – Mat. y Reg.Acad. – Interesado – Archivo.
BLCR/JPJR/nto.

ANEXO N°03. MATRIZ DE CONSISTENCIA

TESIS: "DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO - 2019"

MATRIZ DE CONSISTENCIA				
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>PROBLEMA GENERAL ¿Se podrá diseñar el sistema de drenaje pluvial urbano, de manera que permita solucionar los problemas de inundación en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis?</p> <p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS a) ¿El estado actual del sistema de drenaje pluvial, se encontrará en condiciones deficientes, y que debido a ello se plantee el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis? b) ¿La precipitación permitirá determinar los parámetros hidrológicos para el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis? c) ¿Fijando los componentes que se ajustan en el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano, se mejorará el encauzamiento de las aguas pluviales en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL Diseñar el sistema de drenaje pluvial urbano, para evitar daños que puedan ocasionar los problemas de inundación en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS a) Diagnosticar el estado actual del sistema de drenaje pluvial, para plantear el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis. b) Determinar los parámetros hidrológicos para el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis. c) Establecer los componentes que se ajustan en el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano, para mejorar el encauzamiento de las aguas pluviales en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis.</p>	<p>HIPÓTESIS GENERAL Es posible diseñar el sistema de drenaje pluvial urbano, que permita solucionar los problemas de inundación en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis.</p> <p>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS a) El estado actual del sistema de drenaje pluvial se encuentra en condiciones deficientes, de manera que es posible plantear el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis. b) La precipitación permite conocer los parámetros hidrológicos para el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis. c) Los componentes que se ajustan en el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano, permiten mejorar el encauzamiento de las aguas pluviales en la Avenida 28 de agosto del distrito de Amarilis.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE Aguas pluviales.</p> <p>VARIABLE DEPENDIENTE Sistema de drenaje.</p> <p>• MUESTRA La muestra correspondió al muestreo no probabilístico por conveniencia. Siendo así, la muestra perteneció a la Avenida 28 de agosto comprendida entre la Av. Esteban Pavletich y la Av. Los Laureles; así también, la muestra correspondió a algunos tramos de calles adyacentes a la avenida estimada, dentro del distrito de Amarilis, Huánuco.</p> <p>TÉCNICAS E INSTRUMENTOS • TÉCNICAS - Observación. - Inspección. - Levantamiento topográfico, etc. • INSTRUMENTOS - Dron y cámara fotográfica. - Fichas de inspección. - Topográficos. - Información meteorológica local, etc.</p>	<p>TIPO DE INVESTIGACIÓN • ENFOQUE Cuantitativo. • ALCANCE O NIVEL Descriptivo – Explicativo. • DISEÑO Diseño no experimental de orden transversal y descriptivo.</p> <p>POBLACIÓN Y MUESTRA • POBLACIÓN La población correspondió a la Avenida 28 de agosto y calles adyacentes a esta, en el distrito de Amarilis, dentro de la región Huánuco.</p>

ANEXO N°04. APÉNDICES

APÉNDICE N°01 - Respecto a la Recolección de los Datos

Procedimiento de Recolección de Datos

La recolección de datos es indispensable para la realización del diseño de un sistema de drenaje pluvial, por ello es necesario adquirir los datos de manera confiable y los estudios realizados en campo. Los procesos a seguir son los siguientes:

Reconocimiento de la Zona de Estudio

El área de estudio comprende como eje matriz a la Avenida 28 de agosto, estando entre la Avenida Esteban Pavletich (Urb. Paucarbamba) y la Avenida Los Laureles (Urb. Paucarbambilla) en el distrito de Amarilis de la región Huánuco. Esta avenida constituye ser una de las vías principales de la ciudad de Huánuco, por tanto, la demanda de tráfico es de carácter observable a lo largo del día y cuyo dato no varía en épocas de invierno, necesitando así la urgencia de un sistema de drenaje pluvial a fin de mitigar el escurrimiento superficial a lo largo de la vía.

Por otra parte, el área de estudio comprende también de determinadas áreas de influencia entorno a las urbanizaciones de Paucarbamba y Paucarbambilla, constituidas por manzanas y calles adyacentes a la Avenida 28 de agosto. Por lo que es de gran importancia describirlos ya que se relacionan con el área de la cuenca y subcuencas de la presente investigación



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 1. Avenida 28 de agosto – Tramo inicial.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 2. Avenida 28 de agosto (Vía de Evitamiento Los Héroes del Cenepa) – Tramo intermedio.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 3. Avenida 28 de agosto – Tramo final.

Observación Visual de la Transformación lluvia en escorrentía superficial de la Zona de Estudio

El procedimiento consiste en percibir la situación en la que se encuentra la Avenida 28 de agosto durante las épocas de avenida.

A través de la observación directa y las tomas fotográficas, se podrá diagnosticar el estado crítico del comportamiento lluvia-escorrentía a lo largo de la avenida. Para lo cual, se presenta las siguientes figuras:



FUENTE: Elaboración propia, enero – 2019.

Ilustración 4. Afluente de llegada en la intersección de la Av. Esteban Pavletich y la Av. 28 de agosto.



FUENTE: Elaboración propia, enero – 2019.

Ilustración 5. Comportamiento de la escorrentía superficial en el tramo inicial de la avenida.



FUENTE: Elaboración propia, enero – 2019.

Ilustración 6. Cambio de dirección de la escorrentía superficial entre la Av. 28 de agosto y la Av. Túpac Amaru.



FUENTE: Elaboración propia, enero – 2019.

Ilustración 7. Llegada y concentración de la escorrentía superficial entre la Av. 28 de agosto y el Jr. José Carlos Mariátegui.



FUENTE: Elaboración propia, enero – 2019.

Ilustración 8. Afluentes provenientes de viviendas que descargan en aceras y calzadas de la vía.



FUENTE: Elaboración propia, enero – 2019.

Ilustración 9. Recorrido de la escorrentía superficial aguas abajo de la avenida.



FUENTE: Elaboración propia, enero – 2019.

Ilustración 10. Colapso de cunetas en ambos márgenes de la vía.



FUENTE: Elaboración propia, enero – 2019.

Ilustración 11. Llegada y almacenamiento de la escorrentía superficial que da origen al colapso total de la calzada y las cunetas.



FUENTE: Elaboración propia, enero – 2019.

Ilustración 12. Afluente de llegada de la Av. Micaela Bastidas a la Av. 28 de agosto.



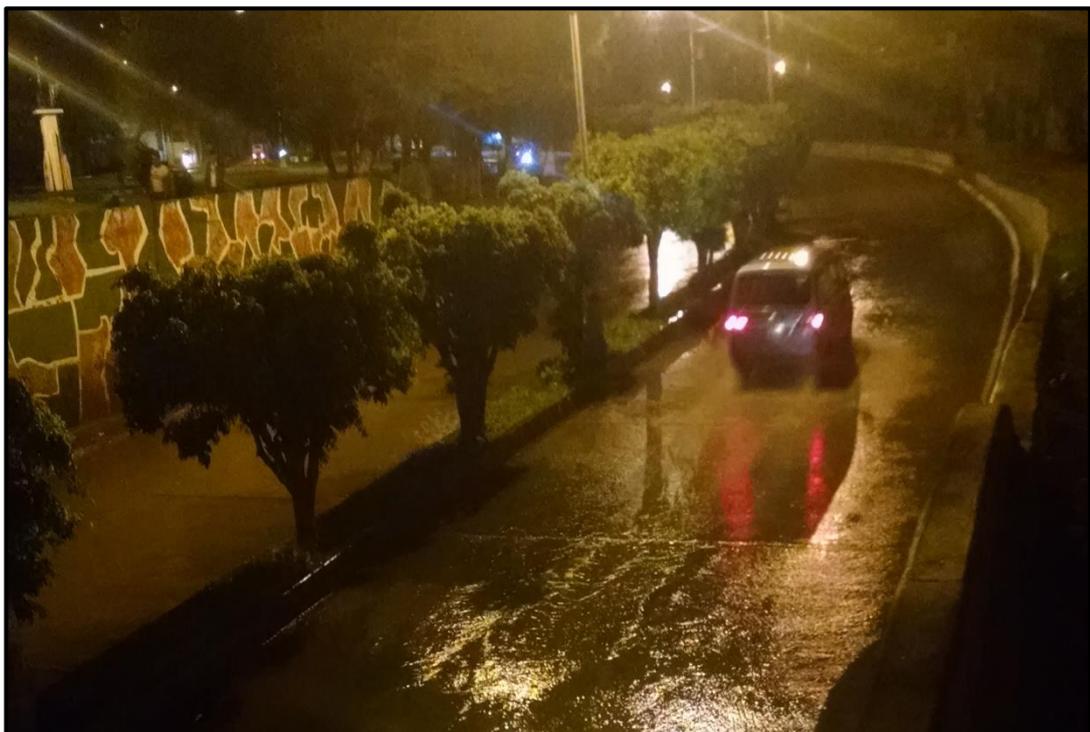
FUENTE: Elaboración propia, enero – 2019.

Ilustración 13. Concentración excesiva de la escorrentía superficial entre la Av. 28 de agosto y la Av. Micaela Bastidas.



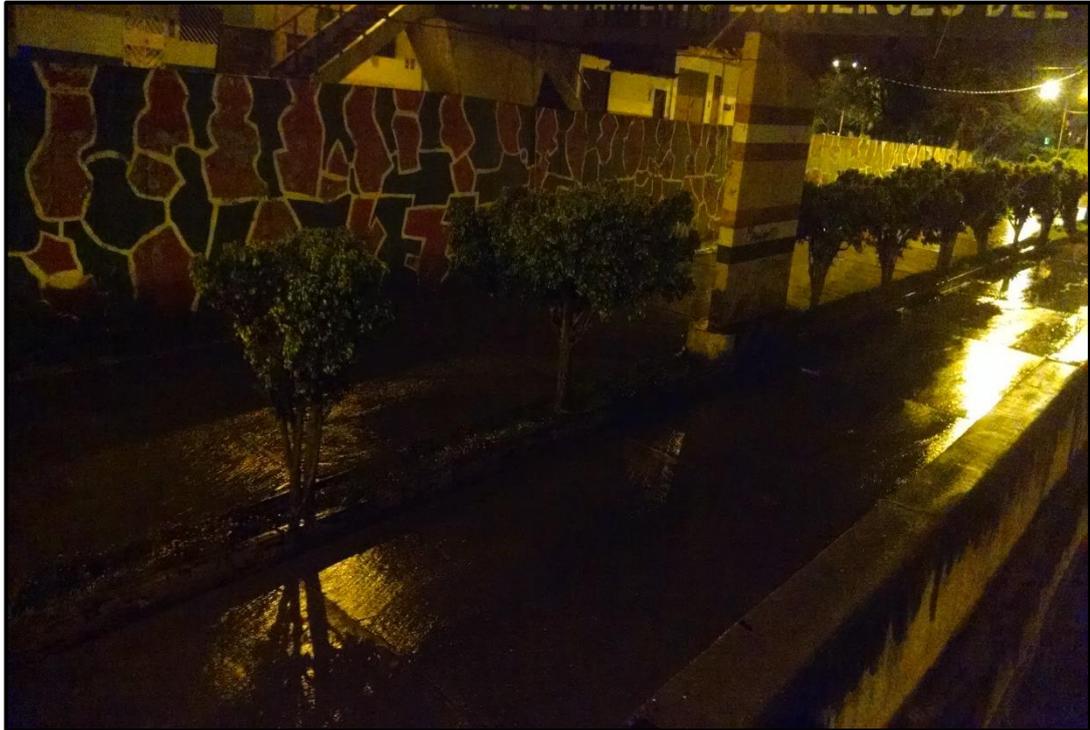
FUENTE: Elaboración propia, noviembre – 2018.

Ilustración 14. Concentración de la escorrentía superficial entre la Av. 28 de agosto y la Av. Micaela Bastidas (vista de noche).



FUENTE: Elaboración propia, noviembre – 2018.

Ilustración 15. Comportamiento de la escorrentía superficial a lo largo la vía de evitamiento “Los Héroes del Cenepa” (vista de noche).



FUENTE: Elaboración propia, noviembre – 2018.

Ilustración 16. Recorrido de la escorrentía superficial aguas abajo de la vía de evitamiento “Los Héroes del Cenepa” (vista de noche).



FUENTE: Elaboración propia, noviembre – 2018.

Ilustración 17. Llegada y concentración de la escorrentía superficial entre la Av. 28 de agosto y la Av. Los Girasoles (vista de noche).



FUENTE: Elaboración propia, enero – 2019.

Ilustración 18. Presencia de salpicones intensos en aceras producto del transporte vehicular a lo largo de la vía.



FUENTE: Elaboración propia, enero – 2019.

Ilustración 19. Recorrido del volumen de esorrentía superficial aguas abajo de la vía.



FUENTE: Elaboración propia, enero – 2019.

Ilustración 20. Afluente que llega del Jr. Las Orquídeas a la Av. 28 de agosto.



FUENTE: Elaboración propia, enero – 2019.

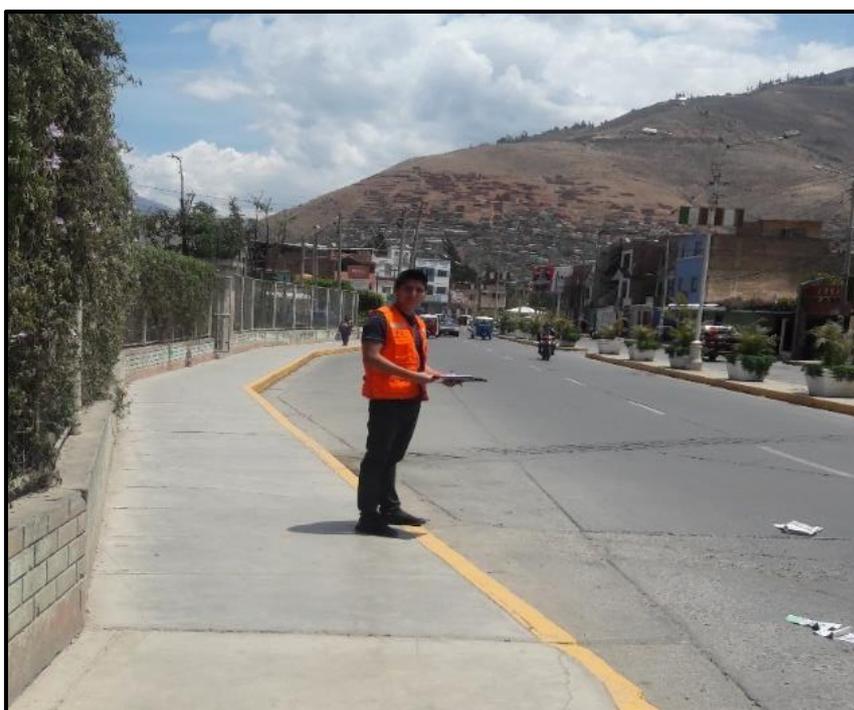
Ilustración 21. Fin del tramo ubicado entre la Av. 28 de agosto y la Av. Los Laureles (Paucarbambilla – Amarilis).

Evaluación del Estado Actual de las Estructuras de Drenaje Pluvial

Consiste en identificar las estructuras tomando en cuenta la ubicación, los tipos de elementos y el estado de estos mismos.

A través de la observación directa, tomas fotográficas y fichas de evaluación, se podrá diagnosticar también el estado físico de las estructuras de drenaje pluvial ubicados en la parte baja (Entre la Av. Los Girasoles y la Av. Los Laureles) de la Avenida 28 de agosto.

A continuación, se presentarán las fichas de evaluación física de las estructuras de drenaje pluvial existente. Previamente, el tesista hizo la visita a campo realizando la inspección minuciosa de todas las estructuras, tomando nota en las fichas de evaluación para su posterior presentación.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 22. Vista del tesista realizando la visita e inspección en campo de las estructuras existentes.

Cuadro 1. Ficha de evaluación física de estructuras existentes N°01.

 UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL			
"DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO – 2019"			
“EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS ESTRUCTURAS DE DRENAJE PLUVIAL (DIAGNÓSTICO FÍSICO)”			
TESISTA	: Bach. John Williams Ramos Vigilio.		
DEPARTAMENTO:	Huánuco.	DISTRITO:	Amarilis.
PROVINCIA	: Huánuco.	TRAMO	: Av. 28 de agosto.
Imagen A		Imagen B	
			
Ubicación	Elemento	Estado	Observaciones
Vía Izquierda	Sumidero Transversal	Malo	Estructura obstruida por partículas de sedimentos.
Imagen C		Imagen D	
			
Ubicación	Elemento	Estado	Observaciones
Vía Izquierda	Sumidero de Fondo sin Depresión	Malo	Estructura colmatada y fuera de servicio.

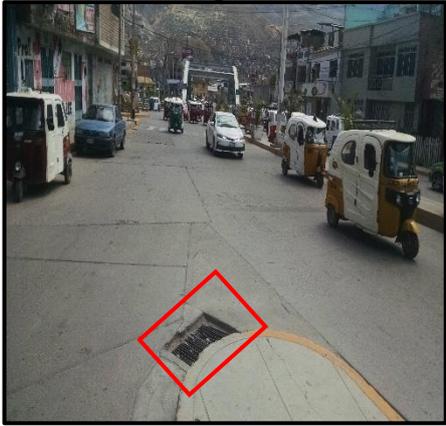
FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro 2. Ficha de evaluación física de estructuras existentes N°02.

 UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL			
"DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO – 2019"			
"EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS ESTRUCTURAS DE DRENAJE PLUVIAL (DIAGNÓSTICO FÍSICO)"			
TESISTA	: Bach. John Williams Ramos Vigilio.		
DEPARTAMENTO:	Huánuco.	DISTRITO:	Amarilis.
PROVINCIA	: Huánuco.	TRAMO	: Av. 28 de agosto.
Imagen A		Imagen B	
			
Ubicación	Elemento	Estado	Observaciones
Vía Izquierda	Sumidero Mixto	Malo	Estructura sin protección y parcialmente colmatada.
Imagen C		Imagen D	
			
Ubicación	Elemento	Estado	Observaciones
Vía Izquierda	Sumidero Lateral sin Depresión	Bueno	Ninguna

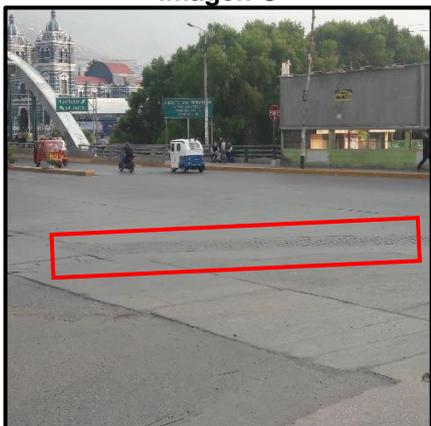
FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro 3. Ficha de evaluación física de estructuras existentes N°03.

 UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL			
"DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO – 2019"			
“EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS ESTRUCTURAS DE DRENAJE PLUVIAL (DIAGNÓSTICO FÍSICO)”			
TESISTA	: Bach. John Williams Ramos Vigilio.		
DEPARTAMENTO:	Huánuco.	DISTRITO:	Amarilis.
PROVINCIA	: Huánuco.	TRAMO	: Av. 28 de agosto.
Imagen A		Imagen B	
			
Ubicación	Elemento	Estado	Observaciones
Vía Izquierda	Sumidero de Fondo sin Depresión	Malo	Estructura colmatada con rejillas deterioradas y fuera de servicio.
Imagen C		Imagen D	
			
Ubicación	Elemento	Estado	Observaciones
Vía Izquierda	Sumidero de Fondo sin Depresión	Regular	Estructura colmatada. parcialmente

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro 4. Ficha de evaluación física de estructuras existentes N°04.

 UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL			
"DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO – 2019"			
“EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS ESTRUCTURAS DE DRENAJE PLUVIAL (DIAGNÓSTICO FÍSICO)”			
TESISTA	: Bach. John Williams Ramos Vigilio.		
DEPARTAMENTO:	Huánuco.	DISTRITO:	Amarilis.
PROVINCIA	: Huánuco.	TRAMO	: Av. 28 de agosto.
Imagen A		Imagen B	
			
Ubicación	Elemento	Estado	Observaciones
Vía Izquierda	Red colectora	Malo	Estructura con revestimiento deteriorado.
Imagen C		Imagen D	
			
Ubicación	Elemento	Estado	Observaciones
Vía Izquierda	Sumidero Transversal	Malo	Estructura obstruida por partículas de sedimentos.

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro 5. Ficha de evaluación física de estructuras existentes N°05.

 UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL			
"DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO – 2019"			
“EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS ESTRUCTURAS DE DRENAJE PLUVIAL (DIAGNÓSTICO FÍSICO)”			
TESISTA	: Bach. John Williams Ramos Vigilio.		
DEPARTAMENTO:	Huánuco.	DISTRITO:	Amarilis.
PROVINCIA	: Huánuco.	TRAMO	: Av. 28 de agosto.
Imagen A		Imagen B	
			
Ubicación	Elemento	Estado	Observaciones
Vía Izquierda	Sumidero de Fondo sin Depresión	Malo	Estructura protegida con elementos no adecuados, cuyo resultado da la obstrucción del tránsito vehicular.
Imagen C		Imagen D	
			
Ubicación	Elemento	Estado	Observaciones
Vía Izquierda	Sumidero de Fondo sin Depresión	Regular	Estructura con protección deteriorada.

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro 6. Ficha de evaluación física de estructuras existentes N°06.

 UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL			
"DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO – 2019"			
“EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS ESTRUCTURAS DE DRENAJE PLUVIAL (DIAGNÓSTICO FÍSICO)”			
TESISTA	: Bach. John Williams Ramos Vigilio.		
DEPARTAMENTO:	Huánuco.	DISTRITO:	Amarilis.
PROVINCIA	: Huánuco.	TRAMO	: Av. 28 de agosto.
Imagen A		Imagen B	
			
Ubicación	Elemento	Estado	Observaciones
Vía Izquierda	Sumidero Mixto	Regular	Estructura parcialmente colmatada.
Imagen C		Imagen D	
			
Ubicación	Elemento	Estado	Observaciones
Estribo del Puente – Lado izquierdo	Estructura de evacuación	Regular	Estructura cubierta por yerbas y deteriorada.

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro 7. Ficha de evaluación física de estructuras existentes N°07.

		UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL			
"DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO – 2019"					
“EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS ESTRUCTURAS DE DRENAJE PLUVIAL (DIAGNÓSTICO FÍSICO)”					
TESISTA		: Bach. John Williams Ramos Vigilio.			
DEPARTAMENTO:		Huánuco.		DISTRITO: Amarilis.	
PROVINCIA		: Huánuco.		TRAMO : Av. 28 de agosto.	
Imagen A 			Imagen B 		
Ubicación	Elemento	Estado	Observaciones		
Vía Derecha	Sumidero Transversal	Regular	Estructura obstruida por partículas de sedimentos.		
Imagen C 			Imagen D 		
Ubicación	Elemento	Estado	Observaciones		
Vía Derecha	Sumidero de Fondo sin Depresión	Malo	Estructura colmatada y fuera de servicio.		

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro 8. Ficha de evaluación física de estructuras existentes N°08.

 UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL			
"DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO – 2019"			
“EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS ESTRUCTURAS DE DRENAJE PLUVIAL (DIAGNÓSTICO FÍSICO)”			
TESISTA	: Bach. John Williams Ramos Vigilio.		
DEPARTAMENTO:	Huánuco.	DISTRITO:	Amarilis.
PROVINCIA	: Huánuco.	TRAMO	: Av. 28 de agosto.
Imagen A		Imagen B	
			
Ubicación	Elemento	Estado	Observaciones
Vía Derecha	Sumidero de Fondo sin Depresión	Malo	Estructura colmatada con rejillas deterioradas y fuera de servicio.
Imagen C		Imagen D	
			
Ubicación	Elemento	Estado	Observaciones
Vía Derecha	Sumidero de Fondo sin Depresión	Malo	Estructura colmatada sin rejillas de protección y fuera de servicio.

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro 9. Ficha de evaluación física de estructuras existentes N°09.

 UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL			
"DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO – 2019"			
“EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS ESTRUCTURAS DE DRENAJE PLUVIAL (DIAGNÓSTICO FÍSICO)”			
TESISTA	: Bach. John Williams Ramos Vigilio		
DEPARTAMENTO:	Huánuco.	DISTRITO:	Amarilis.
PROVINCIA	: Huánuco.	TRAMO	: Av. 28 de agosto.
Imagen A		Imagen B	
			
Ubicación	Elemento	Estado	Observaciones
Vía Derecha	Sumidero de Fondo sin Depresión	Malo	Estructura colmatada con rejillas deterioradas y fuera de servicio.
Imagen C		Imagen D	
			
Ubicación	Elemento	Estado	Observaciones
Vía Derecha	Sumidero de Fondo sin Depresión	Malo	Estructura colmatada con rejillas deterioradas y fuera de servicio.

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro 10. Ficha de evaluación física de estructuras existentes N°10.

		UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL			
"DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO – 2019"					
“EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS ESTRUCTURAS DE DRENAJE PLUVIAL (DIAGNÓSTICO FÍSICO)”					
TESISTA		: Bach. John Williams Ramos Vigilio.			
DEPARTAMENTO:		Huánuco.		DISTRITO: Amarilis.	
PROVINCIA		: Huánuco.		TRAMO : Av. 28 de agosto.	
Imagen A 			Imagen B 		
Ubicación	Elemento	Estado	Observaciones		
Vía Derecha	Sumidero Mixto	Regular	Estructura colmatada.	parcialmente	
Imagen C 			Imagen D 		
Ubicación	Elemento	Estado	Observaciones		
Vía Derecha	Sumidero de Fondo sin Depresión	Malo	Estructura colmatada con rejillas deterioradas y fuera de servicio.		

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro 11. Ficha de evaluación física de estructuras existentes N°11.

 UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL			
"DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO – 2019"			
“EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS ESTRUCTURAS DE DRENAJE PLUVIAL (DIAGNÓSTICO FÍSICO)”			
TESISTA	: Bach. John Williams Ramos Vigilio.		
DEPARTAMENTO:	Huánuco.	DISTRITO:	Amarilis.
PROVINCIA	: Huánuco.	TRAMO	: Av. 28 de agosto.
Imagen A		Imagen B	
			
Ubicación	Elemento	Estado	Observaciones
Vía Derecha	Sumidero Mixto	Regular	Estructura parcialmente colmatada.
Imagen C		Imagen D	
			
Ubicación	Elemento	Estado	Observaciones
Estribo del Puente – Lado derecho	Estructura de evacuación	Regular	Estructura parcialmente cubierta por yerbas y deteriorada.

FUENTE: Elaboración propia.

Información Topográfica

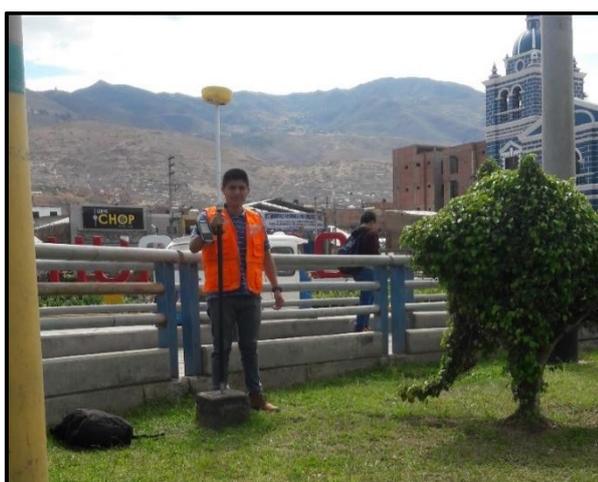
Los datos obtenidos para esta información fueron a partir de un levantamiento topográfico; previamente para conocer las características reales en planta de la zona de influencia, se hizo uso de un dron. Asimismo, el levantamiento de los puntos se realizó con el uso de un GPS diferencial en función a una cota base (BM) cercana al área de estudio. La localización se detalla en el plano topográfico que se mostrará posteriormente.

A continuación, se adjunta algunas ilustraciones del trabajo realizado en campo.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 23. Vista de la cota base (BM) cercana al área de estudio.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 24. Vista del tesista iniciando el trabajo de lectura en la cota base (BM).



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 25. Vista del tesista realizando el levantamiento y toma de lectura de puntos topográficos entre la Av. Los Laureles y la Av. 28 de agosto.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 26. Vista del tesista realizando el levantamiento y toma de lectura de puntos topográficos en el inicio de la Av. 28 de agosto.

Información Catastral

La información catastral para el estudio fue solicitado a la Municipalidad distrital de Amarilis, la cual se obtuvo sin complicaciones y así poder realizar en conjunto con la información topográfica, la delimitación de la cuenca y subcuencas.

Datos Pluviométricos

Los datos pluviométricos fueron extraídos de la página web del SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología).

Para determinar los parámetros hidrológicos de la presente investigación, se estimará el registro histórico de precipitaciones mensuales máximas en 24 horas comprendido desde el año 1994 al año 2018 (25 años), tomada de la Estación Meteorológica "Huánuco". Este mismo por ser considerado la estación más cercana a la zona de estudio, cuyos valores se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 12. Precipitaciones mensuales máximas en 24 horas de un registro histórico de 25 años (1994-2018) – Estación "Huánuco".

 UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL														
"DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO – 2019"														
ESTACIÓN METEOROLÓGICA "HUÁNUCO" "PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (mm)"														
TESISTA :		Bach. John Williams Ramos Vigilio.												
DEPARTAMENTO:		Huánuco.						LATITUD :		9° 57' 7.24".				
PROVINCIA :		Huánuco.						LONGITUD:		76° 14' 54.80".				
DISTRITO :		Pillco Marca.						ALTITUD :		1947 m.s.n.m.				
N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
01	1994	12.37	8.70	10.90	24.00	15.00	0.00	0.00	0.00	20.50	19.00	7.20	20.60	24.00
02	1995	8.00	18.90	17.50	8.90	1.80	0.70	1.20	0.40	3.00	8.90	13.90	12.30	18.90
03	1996	13.50	9.10	15.90	17.10	10.40	0.01	0.10	3.50	1.40	9.30	15.10	8.10	17.10
04	1997	10.50	6.60	11.40	10.60	4.20	1.90	0.00	4.10	5.30	8.30	11.20	7.80	11.40
05	1998	17.90	16.50	27.50	1.00	2.70	1.80	0.00	1.50	3.20	13.40	26.00	7.20	27.50
06	1999	13.10	28.00	15.20	5.40	9.20	8.10	4.70	0.60	33.00	5.60	10.70	13.70	33.00
07	2000	10.80	14.20	14.60	7.70	5.30	7.30	2.40	12.10	4.00	2.80	20.30	19.30	20.30
08	2001	11.30	8.90	10.60	25.70	7.40	0.80	3.20	5.00	2.00	10.00	48.70	10.80	48.70
09	2002	13.00	19.40	14.90	27.20	9.70	2.10	5.20	1.30	2.80	22.90	7.80	5.20	27.20
10	2003	12.30	6.40	9.40	14.90	3.00	0.10	0.10	6.90	4.40	12.50	23.00	18.10	23.00
11	2004	7.60	8.10	11.90	10.50	11.70	1.40	2.10	4.60	11.30	6.40	13.00	17.60	17.60
12	2005	5.90	16.60	25.50	2.40	0.60	0.01	0.80	7.50	3.50	11.00	8.70	20.10	25.50
13	2006	28.00	11.30	18.90	8.30	1.90	3.60	1.60	2.00	7.20	18.90	21.70	18.20	28.00
14	2007	8.70	2.40	12.30	7.50	5.30	1.20	3.30	2.90	2.30	25.80	13.70	27.30	27.30
15	2008	7.90	12.50	16.60	15.80	2.70	1.80	0.10	0.70	14.20	11.70	33.10	30.60	33.10
16	2009	19.60	10.00	19.40	10.60	7.30	9.00	4.00	3.40	2.30	16.80	8.50	9.10	19.60
17	2010	4.90	17.40	22.60	6.80	2.40	1.20	3.80	5.00	9.60	12.00	21.80	19.90	22.60

18	2011	13.60	11.60	35.40	8.00	9.50	1.80	0.90	1.50	11.40	20.40	19.30	36.20	36.20
19	2012	16.30	12.30	11.60	16.30	5.70	1.90	4.70	2.50	2.60	16.20	29.60	30.70	30.70
20	2013	7.90	13.80	14.70	13.60	1.90	4.70	5.50	14.10	2.40	13.40	11.10	19.90	19.90
21	2014	15.40	21.90	20.60	24.80	5.90	3.20	1.20	0.30	11.70	23.20	7.60	13.50	24.80
22	2015	14.30	8.00	12.40	31.70	7.30	1.20	2.20	0.70	1.30	10.50	21.00	13.30	31.70
23	2016	11.20	13.00	17.30	2.40	0.10	0.50	0.20	0.60	1.00	9.80	5.60	14.20	17.30
24	2017	12.50	11.10	15.40	10.60	9.40	2.00	4.00	1.60	5.90	13.30	12.50	25.80	25.80
25	2018	12.70	18.20	16.40	18.00	7.20	3.90	1.30	4.60	12.40	19.30	10.80	22.90	22.90
MEDIA		16.28	17.10	22.05	17.36	7.77	3.17	2.77	4.60	9.41	17.97	22.21	23.28	
MÁXIMO		28.00	28.00	35.40	31.70	15.00	9.00	5.50	14.10	33.00	25.80	48.70	36.20	
MÍNIMO		4.90	2.40	9.40	1.00	0.10	0.00	0.00	0.00	1.00	2.80	5.60	5.20	

FUENTE: Elaboración propia en base al SENAMHI.

Muestras de Sedimentos

Durante el desarrollo del trabajo de investigación, se contempla implementar sedimentadores como estructuras de innovación frente a un diseño convencional de drenaje pluvial urbano, el cual no está presente en la norma OS.060 (Drenaje Pluvial Urbano) del RNE. Como parte de la investigación, los sedimentadores solo se limitan al predimensionamiento, entonces es necesario conocer ciertas características que definan sus dimensiones. Para ello se ha tomado en cuenta realizar el estudio de mecánica de suelos en función a las muestras de sedimentos extraídas de las cámaras existentes de recolección de aguas pluviales, en la parte baja de la Avenida 28 de agosto.

Se tomaron 02 muestras representativas de partículas de sedimentos, teniendo en cuenta lo siguiente:

- La Muestra N°01 fue extraída de una cámara de recolección (sumidero mixto) de aguas pluviales perteneciente a la vía derecha.
- La Muestra N°02 fue extraída de una cámara de recolección (sumidero de fondo) aguas pluviales perteneciente a la vía izquierda.

A continuación, se adjunta algunas ilustraciones del proceso de recolección de las muestras.

- Para la Muestra N°01



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 27. Ubicación de la cámara de recolección de aguas pluviales.



FUENTE: Elaboración propia

Ilustración 28. Cámara de recolección de aguas pluviales descubierta.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 29. Extracción de una porción de material para la muestra N°01 en bolsa de plástico.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 30. Cámara de recolección de aguas pluviales limpia.

- Para la Muestra N°02



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 31. Ubicación de la cámara de recolección de aguas pluviales.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 32. Cámara de recolección de aguas pluviales descubierta.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 33. Extracción de una porción de material para la muestra N°02 en bolsa de plástico.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 34. Cámara de recolección de aguas pluviales limpia.

Ensayos de Laboratorio de Mecánica de Suelos

Una vez extraídas las muestras N°01 y N°02 de la zona de estudio, se llevaron al laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad de Huánuco para realizar los ensayos correspondientes, siendo en total 03 ensayos:

- Análisis granulométrico por tamizado.
- Gravedad específica de los sólidos del suelo (Picnómetro).
- Clasificación unificada de suelos (SUCS).

a) Análisis Granulométrico por Tamizado

Referencia: RNE – E.050 [NTP 339.128 (ASTM D 422)], MTC E 107 – 2000, J. E. Bowles (Experimento N°05).



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 35. Vista del tesista presentando las muestras para el análisis granulométrico por tamizado.

Equipos y materiales:

- ❖ Serie de tamices.
- ❖ Balanza eléctrica con sensibilidad de 0.01gr.
- ❖ Horno eléctrico.
- ❖ Recipientes metálicos.

- ❖ Escobilla y brocha.
- ❖ Bandeja.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 36. Vista del tesista con los equipos y materiales para el análisis granulométrico por tamizado.

Procedimiento:

- Preparar las muestras y cuartear para luego tomar 2/4 de las muestras representativas para el ensayo.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 37. Vista del tesista presentando el cuarteo de las muestras.

- Colocar las muestras alteradas en los recipientes metálicos (taras) y secarlos en el horno durante 24 horas, aproximadamente.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 38. Secado de las muestras húmedas en el horno.

- Retirar las muestras del horno, colocarlos en la malla N°200 y lavarlos cuidadosamente.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 39. Preparación de las muestras para su posterior lavado.

- Colocar las muestras lavadas en los recipientes metálicos y secarlos en el horno durante 24 horas, aproximadamente.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 40. Secado de las muestras lavadas en el horno.

- Retirar las muestras del horno y dejarlos enfriar a la temperatura de ambiente.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 41. Retiro de las muestras secas calientes para su posterior enfriamiento.

- Colocar las muestras en la serie de tamices y realizar el procedimiento de cribado (1 minuto para el grupo de tamices e independientemente después 1 minuto para cada tamiz).



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 42. Trabajo de tamizado de cada muestra en las mallas correspondientes.

- Pesar el material perteneciente a cada tamiz y anotarlos.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 43. Grupo de partículas pesadas de cada tamiz para ambas muestras.

- Sumar los pesos y comparar con la muestra inicial (opcional en el laboratorio).
- Determinar la humedad higroscópica y el porcentaje de error en peso (opcional en el laboratorio).

Toma de Datos:

Cuadro 13. Toma de datos para el análisis granulométrico de suelos por tamizado.

 UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL 			
TESIS :	"DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO – 2019".		
TESISTA:	BACH. JOHN WILLIAMS RAMOS VIGILIO.		
<u>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO</u> TOMA DE DATOS			
Antes del lavado	Después del lavado		
Peso de la Muestra seca N°01: 928.60 gr.	Peso de la muestra seca N°01 : 752.50gr.		
	Porcentaje humedad higroscópica: 23.40%		
	Porcentaje de error en peso : 0.86%		
Peso de la Muestra seca N°02: 911.30 gr.	Peso de la muestra seca N°02 : 734.70gr.		
	Porcentaje humedad higroscópica: 24.04%		
	Porcentaje de error en peso : 0.48%		
TAMIZ	ABERTURA (mm)	MUESTRA N°01 Peso retenido (gr)	MUESTRA N°02 Peso retenido (gr)
4"	100.000	0.00	0.00
3"	75.000	0.00	0.00
2"	50.000	0.00	0.00
1 1/2"	38.000	0.00	0.00
1"	25.000	0.00	0.00
3/4"	19.000	0.00	0.00
3/8"	9.500	49.20	6.50
N°04	4.750	79.30	6.70
N°08	2.360	12.80	9.60
N°10	2.000	56.80	2.70
N°20	0.850	82.90	54.40
N°40	0.425	101.30	153.00
N°60	0.250	95.60	162.40
N°100	0.150	104.40	147.20
N°200	0.075	137.00	171.40
CAZUELA		26.70	17.30
LAVADO		182.60	180.10

FUENTE: Elaboración propia.

b) Gravedad Específica de los sólidos del suelo (Picnómetro)

Referencia: RNE – E.050 [NTP 339.131 (ASTM D 854)], MTC E 113 – 2000, J. E. Bowles (Experimento N°07).



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 44. Vista del tesista presentando las muestras para el ensayo de gravedad específica de los sólidos del suelo (picnómetro).

Equipos y materiales:

- ❖ Frasco volumétrico (picnómetro).
- ❖ Tamiz malla N°04.
- ❖ Recipiente de vidrio.
- ❖ Recipiente metálico.
- ❖ Mechero.
- ❖ Agua destilada desaireada.
- ❖ Pipeta.
- ❖ Balanza con sensibilidad de 0.01 gr.
- ❖ Termómetro.
- ❖ Escobilla.
- ❖ Papel absorbente.

Procedimiento:

- **Calibración del Picnómetro**

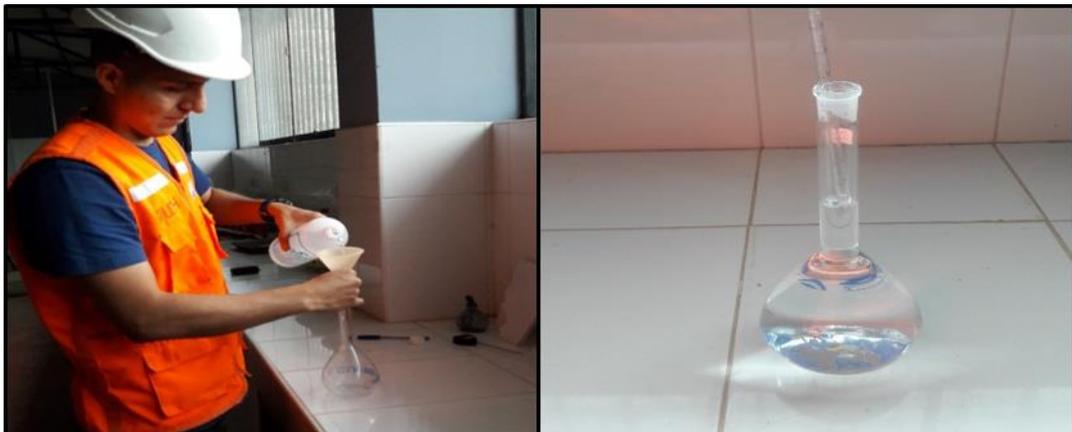
- Se pesa el frasco volumétrico (picnómetro) vacío y limpio.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 45. Peso del frasco volumétrico (picnómetro).

- Se vierte agua destilada en el frasco volumétrico (picnómetro) hasta su nivel de marca; si se sobrepasa a este, con la ayuda de la pipeta se extrae el agua excedente.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 46. Vertido y nivelación de agua destilada en el picnómetro.

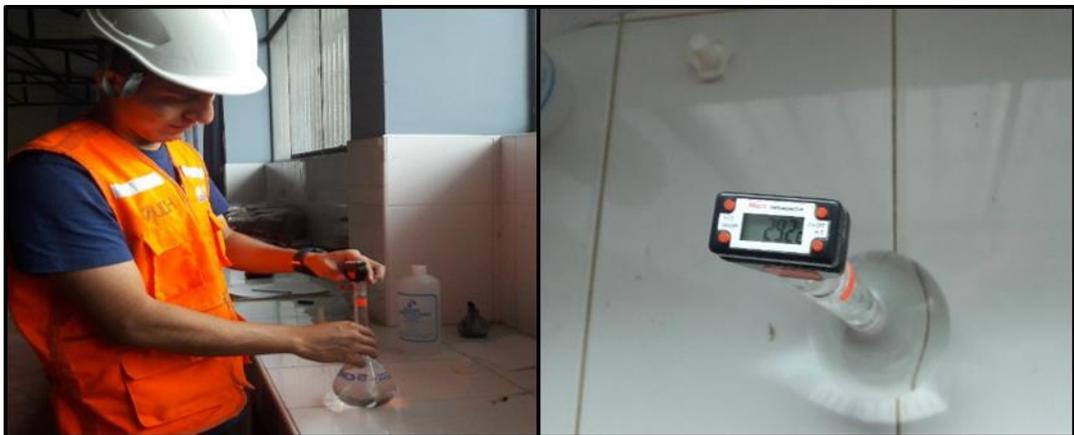
- Se seca las paredes internas del picnómetro con el papel absorbente y se pasa a pesarlo (para la primera lectura).



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 47. Secado de paredes internas del picnómetro y la toma de su peso.

- Se toma la primera lectura de temperatura introduciendo el termómetro a la mitad de la altura del picnómetro.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 48. Toma de lectura de temperatura dentro del picnómetro más agua.

- Se prepara el baño maría, es decir, se prepara agua fría en un recipiente metálico y se sobrepone en un mechero encendido.

- Se coloca el picnómetro más agua en el baño maría hasta que suba la temperatura y cambie la temperatura inicial tomada.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 49. Calentamiento del picnómetro más agua en el baño maría.

- Se retira el picnómetro, se extrae agua en exceso respecto al nivel de marca y se seca las paredes internas con el papel absorbente.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 50. Extracción de agua excedente y secado de las paredes internas del picnómetro.

- Se toma la segunda lectura de peso y temperatura, lo mismo se hace con las demás lecturas faltantes.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 51. Toma de lectura de peso y temperatura del picnómetro más agua.

- Finalmente, se separa una cierta cantidad de agua destilada del picnómetro y se lo deja enfriar a la temperatura del laboratorio.

- **Realización del ensayo**

- Se prepara la muestra en su estado natural, se coloca en la malla N°04 y se tamiza una cierta cantidad de material.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 52. Preparado y tamizado de la muestra sobre la malla N°04.

- Se coloca el material en el vaso de precipitado; previamente se toma su peso y se pesa el material con el vaso.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 53. Lectura de peso del material más el vaso precipitado.

- Se coloca el material y el agua destilada en el picnómetro.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 54. Colocación del material y vertido de agua destilada en el picnómetro.

- Con la ayuda del mechero, se calienta en la base del picnómetro aproximadamente 10 minutos para extraer el aire atrapado, se comprueba moviendo el picnómetro hasta ya no notar burbujas de aire en su interior.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 55. Calentamiento del picnómetro más agua más suelo para la extracción del aire atrapado.

- Se llena con agua destilada la parte faltante del picnómetro hasta su nivel de marca, lentamente para no producir creación de aire.
- Se seca las paredes internas del picnómetro con el papel absorbente, se tapa el picnómetro más agua más suelo y se le deja reposar hasta el día siguiente.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 56. Secado de paredes internas del picnómetro más agua más suelo para que quede listo.

- Se toma la lectura de peso y temperatura.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 57. Lectura de peso y temperatura del picnómetro más agua más suelo.

- Se vierte el contenido del picnómetro en un recipiente metálico, teniendo en cuenta que todo el agua y el material quede vacío.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 58. Vertido de agua más suelo en recipientes metálicos.

- Se lo lleva al horno para un periodo de 24 horas.
- Se retira del horno el recipiente, se lo deja enfriar a temperatura del laboratorio y se toma la lectura únicamente del material seco ensayado.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 59. Colocación de muestras saturadas en el horno eléctrico.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 60. Retiro de muestras secas y listas para ser pesadas.

Toma de Datos:

Cuadro 14. Toma de datos para para la gravedad específica de los sólidos del suelo – Muestra N°01.

		UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL			
TESIS :	"DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO – 2019".				
TESISTA:	BACH. JOHN WILLIAMS RAMOS VIGILIO.				
<u>GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO</u>					
TOMA DE DATOS – MUESTRA N°01					
		DESCRIPCIÓN		MUESTRA N°01	
		PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA (Calibración del Picnómetro)		634.80 gr.	
				633.40 gr.	
				631.60 gr.	
				629.70 gr.	
		TEMPERATURA (Calibración del Picnómetro)		25.80 °C.	
				33.40 °C.	
				44.20 °C.	
				52.50 °C.	
		VOLUMEN DEL PICNÓMETRO		500.00 ml.	
		PESO DEL PICNÓMETRO		137.70 gr.	
		PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA + SUELO		704.20 gr.	
		PESO SECO DE LA MUESTRA		116.60 gr.	
		TEMPERATURA		30.00 °C	

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro 15. Toma de datos para para la gravedad específica de los sólidos del suelo – Muestra N°02.

		UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL			
TESIS :	"DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO – 2019".				
TESISTA:	BACH. JOHN WILLIAMS RAMOS VIGILIO.				
<u>GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO</u>					
TOMA DE DATOS – MUESTRA N°02					
		DESCRIPCIÓN		MUESTRA N°02	
		PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA (Calibración del Picnómetro)		634.20 gr.	
				633.00 gr.	
				631.80 gr.	
				629.60 gr.	
		TEMPERATURA (Calibración del Picnómetro)		29.10 °C.	
				34.10 °C.	
				41.20 °C.	
				51.10 °C.	
		VOLUMEN DEL PICNÓMETRO		500.00 ml.	
		PESO DEL PICNÓMETRO		137.80 gr.	
		PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA + SUELO		701.50 gr.	
		PESO SECO DE LA MUESTRA		112.00 gr.	
		TEMPERATURA		30.00 °C	

FUENTE: Elaboración propia.

APÉNDICE N°02 - Respecto a la Presentación de los Datos

Para la Evaluación del Estado Actual de las Estructuras de Drenaje Pluvial

Cuadro 16. Ficha de evaluación física de estructuras existentes.

		UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL			
"DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO – 2019"					
“EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS ESTRUCTURAS DE DRENAJE PLUVIAL (DIAGNÓSTICO FÍSICO)”					
TESISTA		: Bach. John Williams Ramos Vigilio.			
DEPARTAMENTO:		Huánuco.		DISTRITO: Amarilis.	
PROVINCIA		: Huánuco.		TRAMO : Av. 28 de agosto.	
Imagen A			Imagen B		
Ubicación	Elemento	Estado	Observaciones		
Imagen C			Imagen D		
Ubicación	Elemento	Estado	Observaciones		

FUENTE: Elaboración propia.

Para los Datos Pluviométricos

Cuadro 17. Formato de recolección de datos pluviométricos.

		UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL												
"DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO – 2019"														
ESTACIÓN METEOROLÓGICA " _____ " "PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (mm)"														
TESISTA		: Bach. John Williams Ramos Vigilio.												
DEPARTAMENTO:							LATITUD		:					
PROVINCIA							LONGITUD		:					
DISTRITO							ALTITUD		:					
N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
01	1994													
02	1995													
03	1996													
04	1997													
05	1998													
06	1999													
07	2000													
08	2001													
09	2002													
10	2003													
11	2004													
12	2005													
13	2006													
14	2007													
15	2008													
16	2009													
17	2010													
18	2011													
19	2012													
20	2013													
21	2014													
22	2015													
23	2016													
24	2017													
25	2018													
MEDIA														
MÁXIMO														
MÍNIMO														

FUENTE: Elaboración propia.

Para la Toma de Datos del Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado

Cuadro 18. Formato de toma de datos para el análisis granulométrico de suelos por tamizado.

		UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL																																																																													
TESIS :	"DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO – 2019".																																																																														
TESISTA:	BACH. JOHN WILLIAMS RAMOS VIGILIO.																																																																														
<u>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO</u>																																																																															
TOMA DE DATOS																																																																															
Antes del lavado			Después del lavado																																																																												
Peso de la Muestra seca N° __: _____			Peso de la muestra seca N° __: _____																																																																												
			Porcentaje humedad higroscópica: _____																																																																												
			Porcentaje de error en peso : _____																																																																												
Peso de la Muestra seca N° __: _____			Peso de la muestra seca N° __: _____																																																																												
			Porcentaje humedad higroscópica: _____																																																																												
			Porcentaje de error en peso : _____																																																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">TAMIZ</th> <th rowspan="2">ABERTURA (mm)</th> <th>MUESTRA N° __</th> <th>MUESTRA N° __</th> </tr> <tr> <th>Peso retenido (gr)</th> <th>Peso retenido (gr)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>4"</td><td>100.000</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3"</td><td>75.000</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2"</td><td>50.000</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1 1/2"</td><td>38.000</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1"</td><td>25.000</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3/4"</td><td>19.000</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3/8"</td><td>9.500</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>N°04</td><td>4.750</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>N°08</td><td>2.360</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>N°10</td><td>2.000</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>N°20</td><td>0.850</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>N°40</td><td>0.425</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>N°60</td><td>0.250</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>N°100</td><td>0.150</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>N°200</td><td>0.075</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>CAZUELA</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>LAVADO</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>						TAMIZ	ABERTURA (mm)	MUESTRA N° __	MUESTRA N° __	Peso retenido (gr)	Peso retenido (gr)	4"	100.000			3"	75.000			2"	50.000			1 1/2"	38.000			1"	25.000			3/4"	19.000			3/8"	9.500			N°04	4.750			N°08	2.360			N°10	2.000			N°20	0.850			N°40	0.425			N°60	0.250			N°100	0.150			N°200	0.075			CAZUELA				LAVADO			
TAMIZ	ABERTURA (mm)	MUESTRA N° __	MUESTRA N° __																																																																												
		Peso retenido (gr)	Peso retenido (gr)																																																																												
4"	100.000																																																																														
3"	75.000																																																																														
2"	50.000																																																																														
1 1/2"	38.000																																																																														
1"	25.000																																																																														
3/4"	19.000																																																																														
3/8"	9.500																																																																														
N°04	4.750																																																																														
N°08	2.360																																																																														
N°10	2.000																																																																														
N°20	0.850																																																																														
N°40	0.425																																																																														
N°60	0.250																																																																														
N°100	0.150																																																																														
N°200	0.075																																																																														
CAZUELA																																																																															
LAVADO																																																																															

FUENTE: Elaboración propia.

Para la Toma de Datos de la Gravedad Específica de los Sólidos del Suelo

Cuadro 19. Formato de toma de datos para para la gravedad específica de los sólidos.

 																					
UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL																					
TESIS :	"DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO – 2019".																				
TESISTA:	BACH. JOHN WILLIAMS RAMOS VIGILIO.																				
<u>GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO</u>																					
TOMA DE DATOS – MUESTRA N°__																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th style="background-color: #d3d3d3;">DESCRIPCIÓN</th> <th style="background-color: #d3d3d3;">MUESTRA N°__</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3" style="text-align: center;">PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA (Calibración del Picnómetro)</td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> </tr> <tr> <td rowspan="3" style="text-align: center;">TEMPERATURA (Calibración del Picnómetro)</td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> </tr> <tr> <td>VOLUMEN DEL PICNÓMETRO</td> <td> </td> </tr> <tr> <td>PESO DEL PICNÓMETRO</td> <td> </td> </tr> <tr> <td>PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA + SUELO</td> <td> </td> </tr> <tr> <td>PESO SECO DE LA MUESTRA</td> <td> </td> </tr> <tr> <td>TEMPERATURA</td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>		DESCRIPCIÓN	MUESTRA N°__	PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA (Calibración del Picnómetro)				TEMPERATURA (Calibración del Picnómetro)				VOLUMEN DEL PICNÓMETRO		PESO DEL PICNÓMETRO		PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA + SUELO		PESO SECO DE LA MUESTRA		TEMPERATURA	
DESCRIPCIÓN	MUESTRA N°__																				
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA (Calibración del Picnómetro)																					
TEMPERATURA (Calibración del Picnómetro)																					
VOLUMEN DEL PICNÓMETRO																					
PESO DEL PICNÓMETRO																					
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA + SUELO																					
PESO SECO DE LA MUESTRA																					
TEMPERATURA																					

FUENTE: Elaboración propia.

APÉNDICE N°03 - Respecto al Análisis e Interpretación de los Datos

Observación Visual de la Transformación Iluvia en escorrentía superficial de la Zona de Estudio

Al haber realizado la visita in situ y haber percibido la realidad en la que se encuentra la Avenida 28 agosto en épocas de lluvia, es posible afirmar lo siguiente:

- Existen 3 ramas de afluentes con mayor aporte hacia la avenida (ver Ilustración 4, Ilustración 12 e Ilustración 20).
- Alguno de sus tramos presenta el cambio de dirección de la escorrentía superficial, debido al aumento del caudal aguas abajo (ver Ilustración 6).
- El tramo total comprendido por la Avenida 28 de agosto presenta problemas de inundación en la intersección de vías de alto tránsito (ver Ilustración 4 e Ilustración 13).
- Algunas aceras, cunetas y calzadas se encuentran cubiertas por las láminas de aguas pluviales (ver Ilustración 8 e Ilustración 11).

Una vez descrita las características relevantes en las que se encuentra la Avenida 28 de agosto en épocas de lluvia, es posible concluir con lo siguiente:

- La avenida se encuentra en condiciones de inundación de aguas pluviales.
- El tránsito vehicular a excesiva velocidad es sumamente peligroso en toda la avenida.
- El tránsito peatonal se ve restringido no sólo por la presencia de salpicaduras a lo largo del tramo, sino también por los depósitos de inundación (depresiones) que obstaculizan el paso de los peatones.

Evaluación del Estado Actual de las Estructuras de Drenaje Pluvial

Al haber efectuado el diagnóstico físico mediante el apoyo de las fichas de evaluación a las estructuras de drenaje pluvial existente, se puede decir que estos mismos presentan características tales como:

- Estructuras parcial y totalmente colmatadas debido a la presencia de residuos sólidos, partículas de sedimentos, etc (ver Cuadro 1).

- Estructuras de captación sin protección (rejillas) (ver Cuadro 2).
- Estructuras de captación con la protección deteriorada y rota (ver Cuadro 8 y Cuadro 9).
- Estructura de captación protegida con un elemento no adecuado (neumático), teniendo como resultado a obstaculizar el tránsito vehicular (ver Cuadro 5).
- Estructuras de conducción con el revestimiento destruido, formando orificios cuyo producto es el agrietamiento de la vía (ver Cuadro 4).
- Estructura de evacuación con presencia de yerbas crecidas alrededor de este mismo y que impiden el adecuado vertido final de las aguas pluviales al cuerpo receptor (Río Huallaga) (ver Cuadro 6).

Así también, se pudo observar la ubicación de algunos sumideros expuestos en la intersección de la vía de circulación (Entre la Av. 28 de agosto y la Av. Los Laureles). Cuyo resultado de la mala ubicación de estas estructuras y debido a la carga vehicular, es el deterioro de sus elementos de protección (rejilla y revestimiento) (ver Cuadro 5).

Una vez descrita las características relevantes que presenta el sistema drenaje pluvial existente en la parte baja de la Avenida 28 de agosto, es necesario concluir con lo siguiente:

- La ubicación de los sumideros es inapropiada, respecto al tránsito vehicular y peatonal tal como lo exige la norma OS.060 (Drenaje Pluvial Urbano) del RNE.
- La mayoría de los sistemas de recolección de aguas pluviales se encuentran fuera de servicio por el tema de colapso, esto es debido al inadecuado tipo de sumidero presente en la avenida, sabiendo que en la zona de estudio existe en abundancia el transporte y almacenamiento de residuos sólidos y sedimentos. Así también, el colapso de las estructuras se debe a la falta de operación y mantenimiento por parte de la entidad responsable (Municipalidad distrital de Amarilis).
- El funcionamiento de algunos sistemas de conducción es deficiente, debido a la descripción anterior. Asimismo, estos sistemas presentan daños superficiales (orificios) en la vía, que normalmente

modifican su comportamiento hidráulico y estructural para lo cual fueron diseñados.

- En cuanto a los sistemas de evacuación, la sección de salida de estos mismos se encuentra cubiertas por la vegetación existente en la zona; y una vez más debido a la falta de limpieza. En épocas de lluvia estos sistemas vierten el caudal de aguas pluviales compuesta por materiales contaminantes (residuos sólidos, sedimentos, aceites, grasas, etc.) al cuerpo receptor (río Huallaga), creando daños ambientales y perjudiciales que afectan al cauce natural y a las especies marinas, dando como resultado de este último a la inexistencia de su hábitat.

Comentario: Se puede decir que la Avenida 28 de agosto es vulnerable frente a los eventos de precipitación pluvial, ya sea por sus afluentes que tiene como aporte, por su pendiente o por no contar con un sistema de drenaje pluvial a lo largo del tramo. Así también, el sistema de drenaje pluvial existente en la parte baja de la avenida presenta ciertas deficiencias en la calidad de su servicio, no solo en cuanto a la falta de operación y mantenimiento, sino también al estado de vida útil de sus estructuras, así mismo, por la mala práctica de ubicación e inadecuados tipos de sumideros construidos.

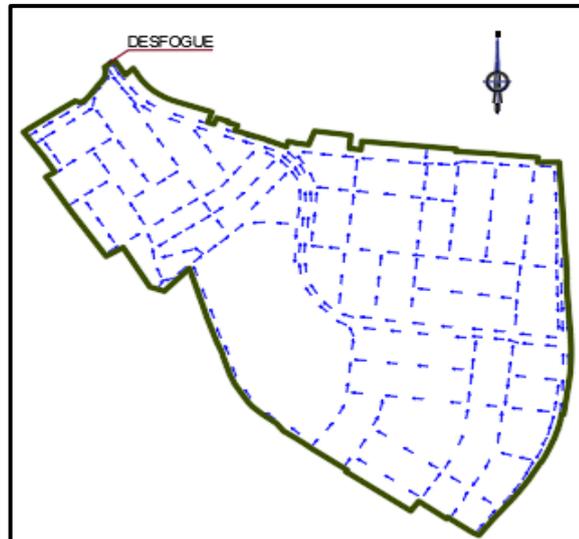
Por lo tanto, es indispensable plantear un nuevo diseño del sistema de drenaje pluvial implementando estructuras innovadoras, tales como los sedimentadores, cuyas cámaras depositarán en su interior partículas de sedimentos con la finalidad de mejorar el diseño convencional de un sistema de drenaje pluvial propuesto por el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), que abarque la Avenida 28 de agosto y algunos tramos adyacentes.

Análisis Hidrológico de la Zona de Estudio

En este punto se realizará de manera minuciosa, el análisis hidrológico de la zona de estudio con la información obtenida en campo para los fines necesarios. Los procesos a seguir son lo siguiente:

- **Delimitación de la Cuenca Hidrológica Urbana**

La delimitación de la cuenca de estudio se realizó utilizando la herramienta de AutoCAD Civil 3D y el plano catastral de Amarilis, quedando definida tal como se muestra en la siguiente ilustración:



FUENTE: Elaboración propia en base a AutoCAD CIVIL 3D.

Ilustración 61. Cuenca urbana de la zona de estudio.

- **Área y Perímetro de la Cuenca**

El área y perímetro de la cuenca se determinó utilizando la herramienta computacional de AutoCAD Civil 3D.

Cuadro 20. Área y perímetro de la cuenca de estudio.

Descripción	Área		Perímetro
	m2	km2	ml
Cuenca	304,315.69	0.3043	2,609.76

FUENTE: Elaboración propia.

La delimitación de la cuenca de estudio se realizó utilizando la herramienta de AutoCAD Civil 3D.

- **Índice de Compacidad**

Una manera de caracterizar matemáticamente la geomorfología de la cuenca respecto a su forma, es a través del índice de compacidad conocido también como el índice de Gravelious. Cuyo parámetro está estrechamente relacionado con el tiempo de concentración del sistema hidrológico.

Se determina el parámetro adimensional con la siguiente ecuación:

$$K = 0.28 \left(\frac{P}{\sqrt{A}} \right)$$

Donde:

K : Factor de índice de compacidad.

P : Perímetro de la cuenca (ml).

A : Área de la cuenca (m²).

Al reemplazar los valores del Cuadro 20 en la ecuación de K , se tiene:

$$K = 0.28 \left(\frac{2,609.76}{\sqrt{304,315.69}} \right) = 1.32; \Rightarrow K > 1$$

Por lo tanto, el resultado nos da a entender que la cuenca es de forma alargada.

- **Pendiente del Cauce Principal.**

Existen distintos métodos para determinar la pendiente del cauce principal. Para nuestro caso, la pendiente es determinada mediante el método de Taylor Schwartz por ser más aproximado, teniendo en cuenta también que la topografía de la zona de estudio presenta longitudes diferentes. Para la cual se utilizará la siguiente ecuación:

$$S = \left(\frac{\sum_{i=1}^n L_i}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{S_i^{1/2}}} \right)^2$$

Donde:

S : Pendiente media del cauce (m/m).

L_i : Longitud del tramo i (m).

S_i : Pendiente del tramo i (m/m).

Se debe hallar previamente los valores descritos en la ecuación de pendiente. Estos valores han sido determinados con el apoyo de la topografía de la zona, teniendo en cuenta la delimitación de la cuenca.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en los cuadros siguientes:

Cuadro 21. Valores topográficos para determinar la pendiente del cauce – Vía izquierda.

Intervalos de Elevación	Longitud "L" (m)	Desnivel (m)	Pendiente "S" (m/m)	L/\sqrt{S}
1,970.304 – 1,968.746	45.930	1.558	0.0339	249.380
1,968.746 – 1,967.172	27.400	1.574	0.0574	114.320
1,967.172 – 1,964.044	48.920	3.128	0.0639	193.462
1,964.044 – 1,962.140	58.970	1.904	0.0323	328.181
1,962.140 – 1,961.014	51.890	1.126	0.0217	352.254
1,961.014 – 1,959.794	102.960	1.220	0.0118	945.851
1,959.794 – 1,957.536	49.820	2.258	0.0453	234.015
1,957.536 – 1,955.000	62.070	2.536	0.0409	307.077
1,955.000 – 1,951.028	80.230	3.972	0.0495	360.579
1,951.028 – 1,942.008	114.870	9.020	0.0785	409.927
1,942.008 – 1,939.026	102.060	2.982	0.0292	597.076
1,939.026 – 1,938.000	69.240	1.026	0.0148	568.803
1,938.000 – 1,936.008	36.960	1.992	0.0539	159.204
1,936.008 – 1,934.000	48.680	2.008	0.0412	239.687
Sumatoria	900.000			5,059.817

FUENTE: Elaboración propia en base al perfil longitudinal topográfico.

Cuadro 22. Valores topográficos para determinar la pendiente del cauce – Vía derecha.

Intervalos de Elevación	Longitud "L" (m)	Desnivel (m)	Pendiente "S" (m/m)	L/\sqrt{S}
1,970.040 – 1,969.948	24.790	0.092	0.0037	406.931
1,969.948 – 1,967.174	44.310	2.774	0.0626	177.092
1,967.174 – 1,964.068	51.900	3.106	0.0598	212.154
1,964.068 – 1,962.000	59.990	2.068	0.0345	323.105
1,962.000 – 1,960.158	98.540	1.842	0.0187	720.732
1,960.158 – 1,958.014	76.750	2.144	0.0279	459.203
1,958.014 – 1,955.766	67.390	2.248	0.0334	368.973
1,955.766 – 1,950.890	90.500	4.876	0.0539	389.889
1,950.890 – 1,942.000	123.900	8.890	0.0718	462.547
1,942.000 – 1,939.000	100.650	3.000	0.0298	582.989
1,939.000 – 1,937.010	77.980	1.990	0.0255	488.144
1,937.010 – 1,934.120	72.310	2.890	0.0400	361.700
Sumatoria	889.010			4,953.460

FUENTE: Elaboración propia en base al perfil longitudinal topográfico.

Sustituyendo la sumatoria del Cuadro 21 y Cuadro 22 en la ecuación de Taylor Schwarz, entonces se tiene:

$$S_1 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n L_i}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{S_i^{1/2}}} \right)^2 = \left(\frac{900.000}{5,059.817} \right)^2 = 0.0316$$

$$S_2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n L_i}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{S_i^{1/2}}} \right)^2 = \left(\frac{889.010}{4,953.460} \right)^2 = 0.0322$$

Para determinar la pendiente del cauce principal de la cuenca, es necesario sacar el promedio ponderado de las pendientes S_1 y S_2 , perteneciente a la vía izquierda y derecha de la Avenida 28 de agosto, esto es:

$$S_{pon.} = \frac{S_1 + S_2}{2} = \frac{0.0316 + 0.0322}{2} = 0.0319$$

$$\therefore S = 3.19\%$$

- **Determinación del Tiempo de Concentración**

Para determinar el tiempo de concentración se tuvo en cuenta que: “El tiempo de ingreso o tiempo de concentración en el caso de no haber alcantarillas o canales, puede ser estimado mediante observación experimental en campo o mediante fórmulas empíricas” (RNE, 2019). Se tuvo también en cuenta la longitud y pendiente del cauce principal de la cuenca.

El cálculo del tiempo de concentración, se realiza mediante los métodos empíricos siguientes:

Fórmula de Kirpich

Denotado por:

$$t_c = 0.01947 \cdot L^{0.77} \cdot S^{-0.385}$$

Donde:

t_c : Tiempo de concentración (min).

L : Longitud del cauce = 900 m.

S : Pendiente del cauce = 0.0319 m/m.

Sustituyendo los valores en la ecuación, se tiene:

$$t_c = 0.01947 \cdot L^{0.77} \cdot S^{-0.385} = 0.01947(900)^{0.77} \cdot (0.0318)^{-0.385} = 13.82$$

$$\therefore t_c = 13.83 \text{ min}$$

Fórmula de Federal Aviation Administration

Denotado por:

$$t_c = 0.7035 \frac{(1.1 - C) \cdot L^{0.50}}{S^{0.333}}$$

Donde:

t_c : Tiempo de concentración (min).

C : Coeficiente de escorrentía del método racional = 0.83.

L : Longitud del cauce = 900 m.

S : Pendiente del cauce = 0.0319 m/m.

Sustituyendo los valores en la ecuación, se tiene:

$$t_c = 0.7035 \frac{(1.1 - C) \cdot L^{0.50}}{S^{0.333}} = 0.7035 \frac{(1.1 - 0.83) \cdot (900)^{0.50}}{0.0319^{0.333}} = 17.94$$

$$\therefore t_c = 17.95 \text{ min}$$

Ecuación de retardo del SCS (Soil Conservation Service)

Denotado por:

$$t_c = \frac{0.0136 \cdot L^{0.80} \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0.70}}{S^{0.50}}$$

Donde:

L : Longitud del cauce = 900 m.

CN : Número de curva = 98 (Calle pavimentada).

S : Pendiente del cauce = 0.0319 m/m.

Sustituyendo los valores en la ecuación, se tiene:

$$t_c = \frac{0.0136 \cdot L^{0.80} \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0.70}}{S^{0.50}} = \frac{0.0136(900)^{0.80} \cdot \left(\frac{1000}{98} - 9\right)^{0.70}}{0.0319^{0.50}} = 20.0$$

$$\therefore t_c = 20.02 \text{ min}$$

A continuación, se presenta el cuadro de resumen de los tiempos de concentración calculados.

Cuadro 23. Resumen obtenido de las fórmulas empíricas del tiempo de concentración.

Descripción	Kirpich (min)	Federal Aviation Administration (min)	Ecuación de retardo del SCS (min)	Tc promedio (min)
Cuenca	13.83	17.95	20.02	17.27

FUENTE: Elaboración propia.

Al observar el Cuadro 23, para los fines del estudio se puede asumir un tiempo de concentración que se encuentre dentro del intervalo 14 al intervalo 20, expresado en minutos. También se observa el tiempo de concentración promedio a partir de los 3 métodos considerados.

En todo estudio hidrológico cuando se trabaja con datos de precipitaciones e intensidades, generalmente se establece que los intervalos de duración y periodos de retorno estén comprendidos en múltiplos de 5, lo mismo puede ocurrir con el tiempo de concentración dependiendo de las condiciones que lo ameriten. Siendo así, se puede asumir un tiempo de concentración que se encuentre dentro del intervalo 15 al intervalo 20, respectivamente.

Para el presente estudio se asumirá un tiempo de concentración igual a 15 minutos, ya que se pretende realizar posteriormente el análisis de tormenta con la condición más crítica en magnitud de precipitaciones e intensidades. Asimismo, según Granda (2013): “Se calcula el tiempo de concentración el mismo que nos permite obtener el máximo valor de intensidad y que utilizaremos como el tiempo de registro de datos de intensidad” (p. 72).

$$\therefore t_c = 15 \text{ min.}$$

- **Determinación de la Intensidad de Precipitación**

Para determinar las intensidades máximas de precipitación se parte de procesos previos. No obstante, se establece previamente los datos de entrada, tal como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 24. Precipitaciones máximas anuales obtenidas de la Estación Meteorológica "Huánuco".

N°	AÑO	PRECIPITACIÓN MÁXIMA ANUAL (mm)
01	1994	24.00
02	1995	18.90
03	1996	17.10
04	1997	11.40
05	1998	27.50
06	1999	33.00
07	2000	20.30
08	2001	48.70
09	2002	27.20
10	2003	23.00
11	2004	17.60
12	2005	25.50
13	2006	28.00
14	2007	27.30
15	2008	33.10
16	2009	19.60
17	2010	22.60
18	2011	36.20
19	2012	30.70
20	2013	19.90
21	2014	24.80
22	2015	31.70
23	2016	17.30
24	2017	25.80
25	2018	22.90

FUENTE: Elaboración propia.

- **Análisis de Distribución Probabilística de los Datos de Precipitación Máxima Diaria**

En la estadística existen decenas de funciones de distribución de probabilidades teóricas; de hecho, existen tantas como se quiera (Aparicio, 1992).

Los modelos probabilísticos para el análisis estadístico de la información hidrometeorológica de cualquier estación son laboriosos si se realiza de manera manual, por cuanto requieren del manejo de numerosas y complejas ecuaciones de función acumulada o tablas, muchas veces necesitando de interpolaciones para cada dato obtenido.

Por esto, para el análisis de frecuencias se utilizará el software HIDROESTA 2, desarrollado en la Escuela de Ingeniería Agrícola del Instituto Tecnológico de Costa Rica por el Ingeniero Máximo Villón

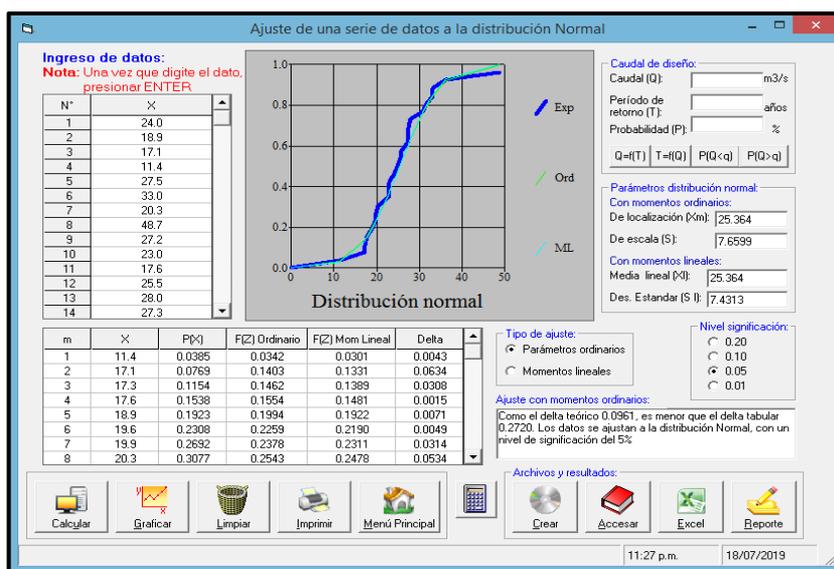
Bejar, que permitirá simplificar los cálculos y el proceso de análisis de la información para los estudios pertinentes.

Entre las funciones de distribución de probabilidad que presenta el software, son las siguientes:

- Distribución Normal.
- Distribución Log Normal 2 parámetros.
- Distribución Log Normal 3 parámetros.
- Distribución Gamma 2 parámetros.
- Distribución Gamma 3 parámetros.
- Distribución Log Pearson Tipo III.
- Distribución Gumbel.
- Distribución Log Gumbel.

A continuación, se presenta el procesamiento de datos de precipitaciones máximas anuales de un registro histórico de 25 años tomados de la Estación Meteorológica de Huánuco; y los resultados del análisis de frecuencias según las ilustraciones siguientes.

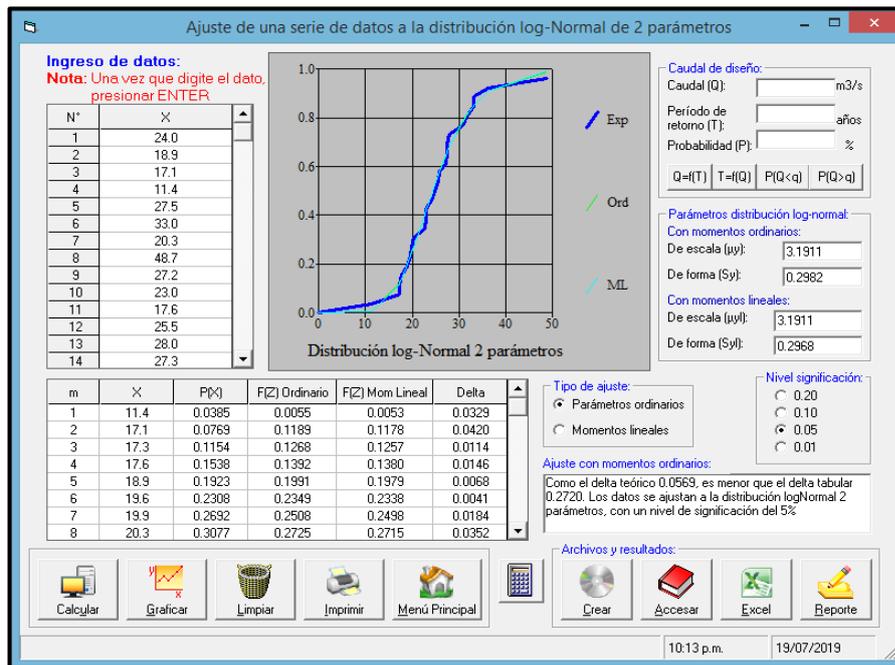
Distribución Normal



FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.

Ilustración 62. Resultado de ajuste de datos - Distribución Normal.

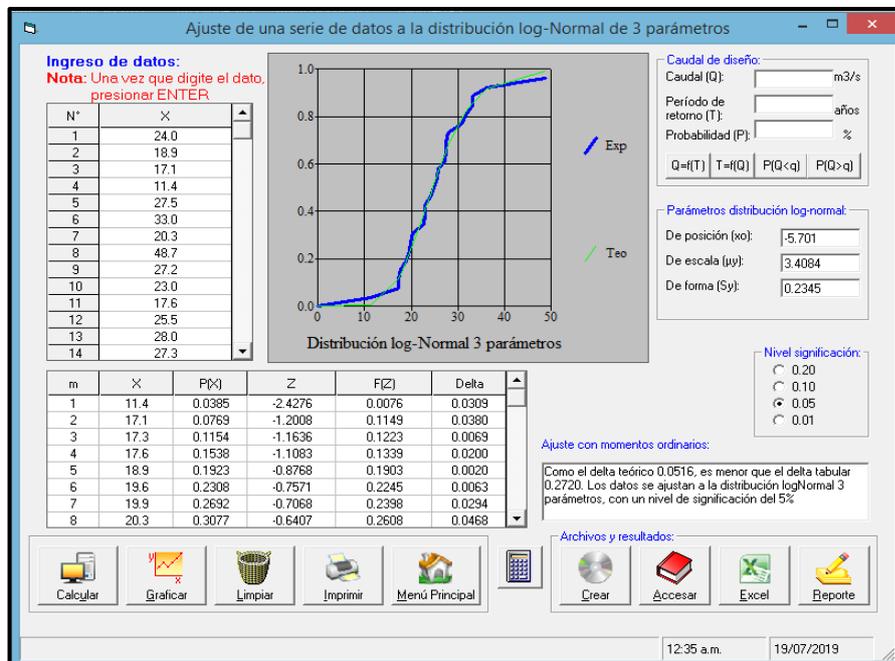
Distribución Log Normal 2 parámetros



FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.

Ilustración 63. Resultado de ajuste de datos - Distribución Log Normal 2 parámetros.

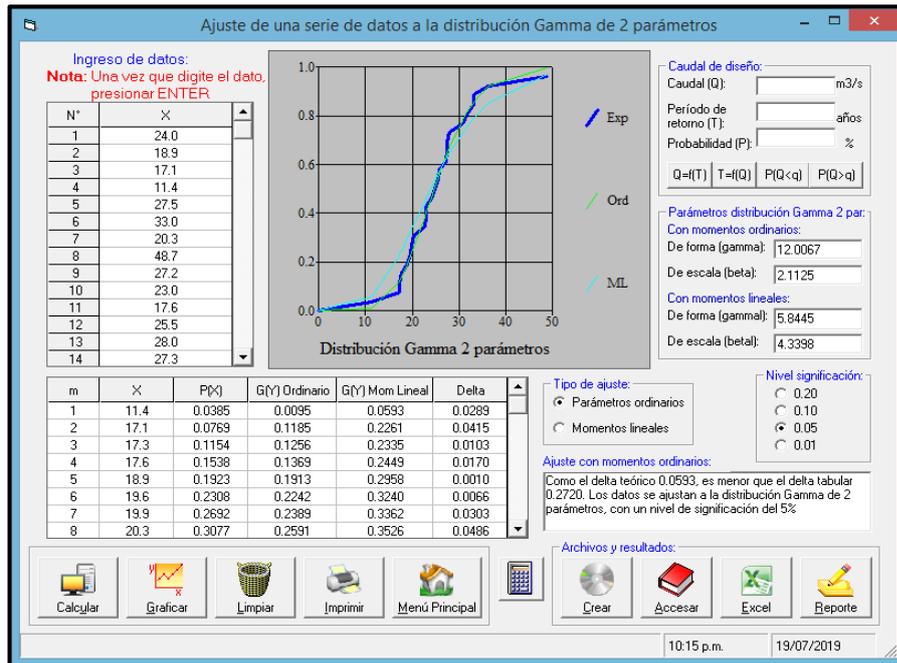
Distribución Log Normal 3 parámetros



FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.

Ilustración 64. Resultado de ajuste de datos - Distribución Log Normal 3 parámetros.

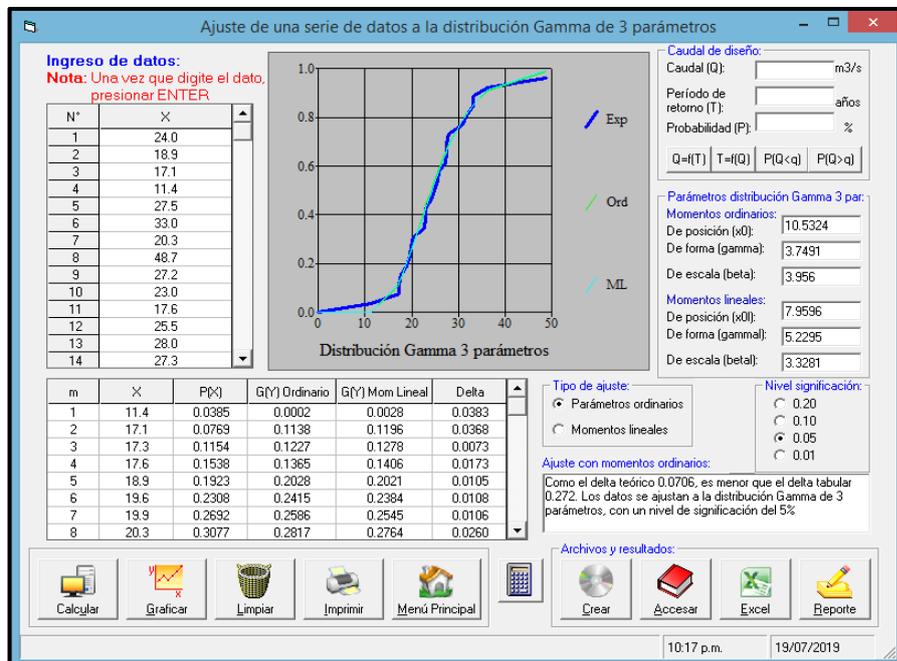
Distribución Gamma 2 parámetros



FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.

Ilustración 65. Resultado de ajuste de datos - Distribución Gamma 2 parámetros.

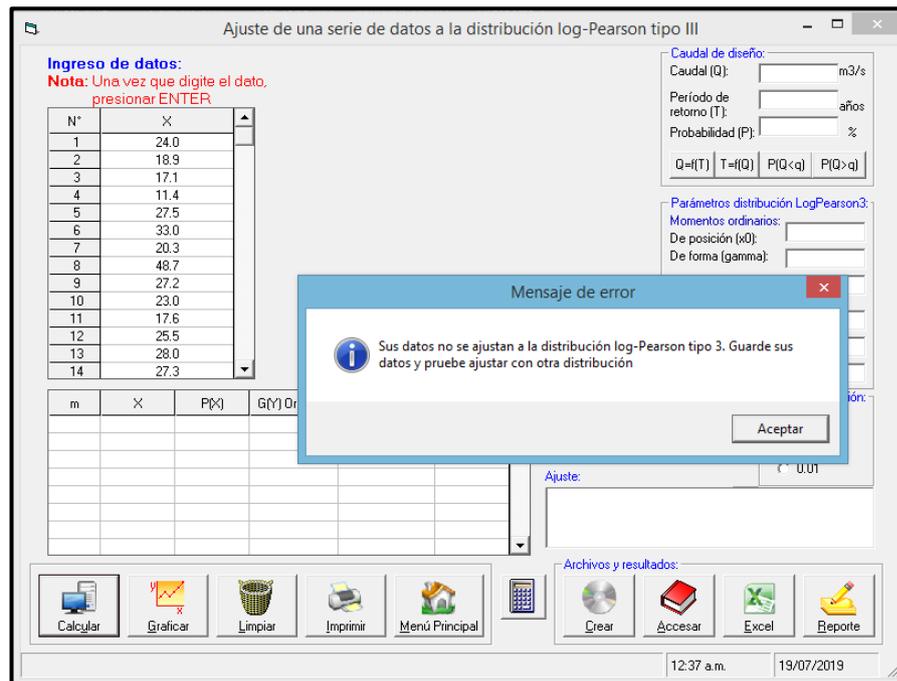
Distribución Gamma 3 parámetros



FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.

Ilustración 66. Resultado de ajuste de datos - Distribución Gamma 3 parámetros.

Distribución Log Pearson tipo III

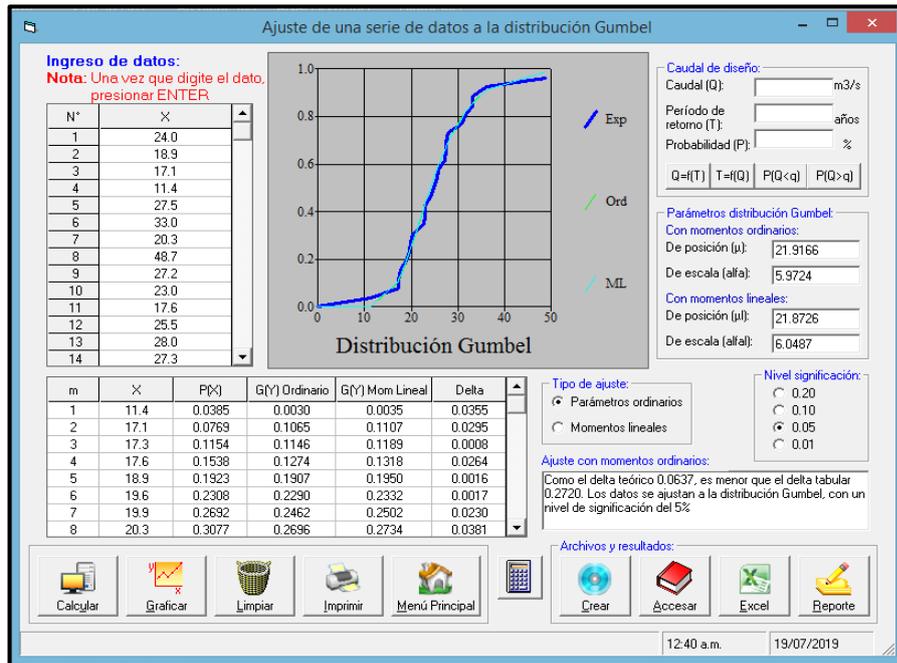


FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.

Ilustración 67. Resultado de ajuste de datos - Distribución Log Pearson Tipo III.

Comentario: El programa computacional restringe el cálculo debido a la incompatibilidad de los datos procesados, por lo que no es posible determinar los parámetros de distribución para este análisis. Para comprobar lo que el software indica, es posible realizar el análisis de manera manual indicado en el Cuadro 30.

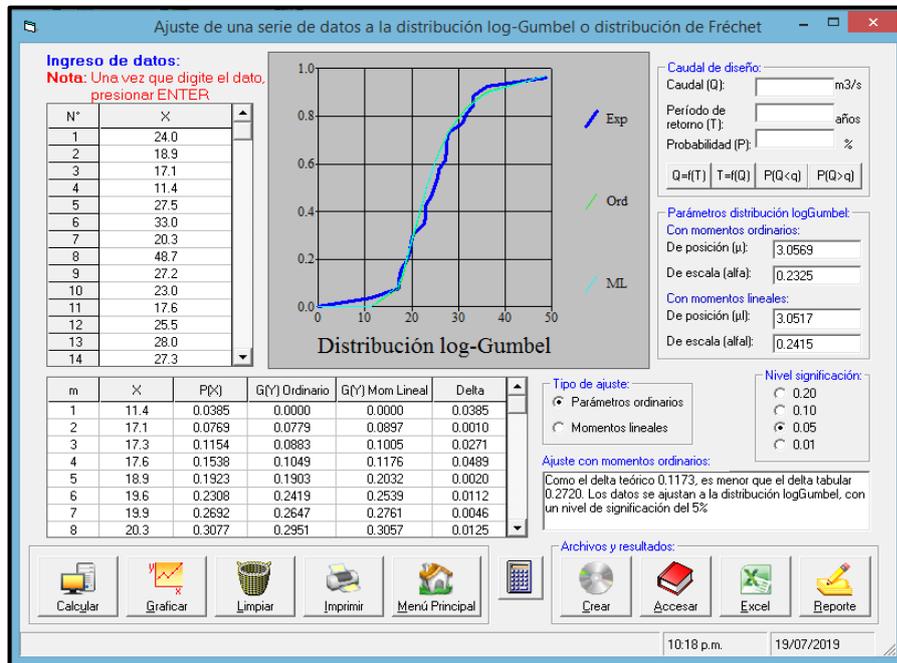
Distribución Gumbel



FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.

Ilustración 68. Resultado de ajuste de datos - Distribución Gumbel.

Distribución Log Gumbel



FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.

Ilustración 69. Resultado de ajuste de datos - Distribución Log Gumbel.

- **Prueba de Bondad de Ajuste**

Prueba de Kolmogorov – Smirnov

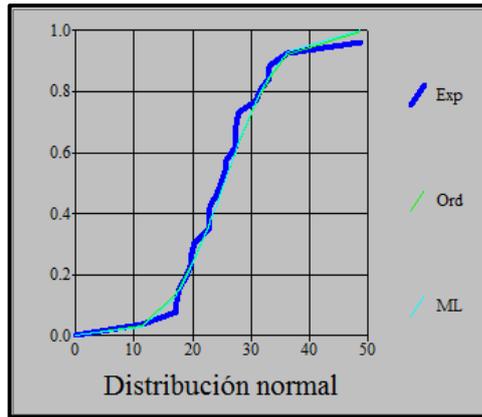
Para saber que distribución teórica se ajusta mejor a los datos procesados de precipitaciones máximas anuales, se aplicará la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov.

A continuación, se presenta el resumen de los resultados obtenidos del software HIDROESTA 2.

Cuadro 25. Distribución Normal.

DISTRIBUCIÓN NORMAL					
m	x	P(x)	F(z) Ordinario	F(z) Mom. Lineal	Delta
01	11.40	0.0385	0.0342	0.0301	0.0043
02	17.10	0.0769	0.1403	0.1331	0.0634
03	17.30	0.1154	0.1462	0.1389	0.0308
04	17.60	0.1538	0.1554	0.1481	0.0015
05	18.90	0.1923	0.1994	0.1922	0.0071
06	19.60	0.2308	0.2259	0.2190	0.0049
07	19.90	0.2692	0.2378	0.2311	0.0314
08	20.30	0.3077	0.2543	0.2478	0.0534
09	22.60	0.3462	0.3591	0.3550	0.0130
10	22.90	0.3846	0.3738	0.3701	0.0108
11	23.00	0.4231	0.3788	0.3752	0.0443
12	24.00	0.4615	0.4293	0.4272	0.0322
13	24.80	0.5000	0.4707	0.4698	0.0293
14	25.50	0.5385	0.5071	0.5073	0.0314
15	25.80	0.5769	0.5227	0.5234	0.0542
16	27.20	0.6154	0.5947	0.5976	0.0207
17	27.30	0.6538	0.5998	0.6028	0.0541
18	27.50	0.6923	0.6098	0.6131	0.0825
19	28.00	0.7308	0.6346	0.6386	0.0961
20	30.70	0.7692	0.757	0.7636	0.0123
21	31.70	0.8077	0.7959	0.8031	0.0118
22	33.00	0.8462	0.8406	0.8479	0.0056
23	33.10	0.8846	0.8437	0.8511	0.0409
24	36.20	0.9231	0.9214	0.9276	0.0017
25	48.70	0.9615	0.9988	0.9992	0.0373
Delta Teórico					0.0961

FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.



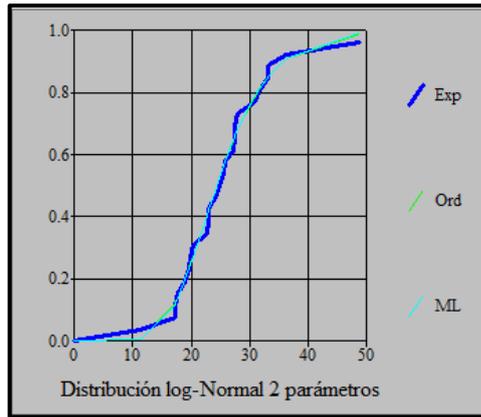
FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.

Ilustración 70. Comportamiento de gráfica - Distribución Normal.

Cuadro 26. Distribución Log Normal 2 parámetros.

DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL 2 PARÁMETROS					
m	x	P(x)	F(z) Ordinario	F(z) Mom. Lineal	Delta
01	11.40	0.0385	0.0055	0.0053	0.0329
02	17.10	0.0769	0.1189	0.1178	0.0420
03	17.30	0.1154	0.1268	0.1257	0.0114
04	17.60	0.1538	0.1392	0.1380	0.0146
05	18.90	0.1923	0.1991	0.1979	0.0068
06	19.60	0.2308	0.2349	0.2338	0.0041
07	19.90	0.2692	0.2508	0.2498	0.0184
08	20.30	0.3077	0.2725	0.2715	0.0352
09	22.60	0.3462	0.4031	0.4026	0.0569
10	22.90	0.3846	0.4203	0.4199	0.0357
11	23.00	0.4231	0.4260	0.4257	0.0029
12	24.00	0.4615	0.4825	0.4825	0.0210
13	24.80	0.5000	0.5264	0.5265	0.0264
14	25.50	0.5385	0.5634	0.5637	0.0249
15	25.80	0.5769	0.5788	0.5791	0.0018
16	27.20	0.6154	0.6465	0.6472	0.0311
17	27.30	0.6538	0.6511	0.6518	0.0028
18	27.50	0.6923	0.6601	0.6608	0.0322
19	28.0	0.7308	0.6820	0.6828	0.0488
20	30.70	0.7692	0.7829	0.7840	0.0136
21	31.70	0.8077	0.8131	0.8143	0.0054
22	33.00	0.8462	0.8471	0.8483	0.0010
23	33.10	0.8846	0.8495	0.8507	0.0351
24	36.20	0.9231	0.9090	0.9100	0.0141
25	48.70	0.9615	0.9901	0.9904	0.0285
Delta Teórico					0.0569

FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.



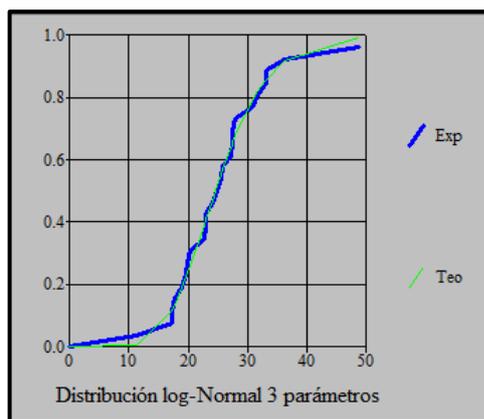
FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.

Ilustración 71. Comportamiento de gráfica - Distribución Log Normal 2 parámetros.

Cuadro 27. Distribución Log Normal 3 parámetros.

DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL 3 PARÁMETROS					
m	x	P(x)	z	F(z)	Delta
1	11.40	0.0385	-2.4276	0.0076	0.0309
2	17.10	0.0769	-1.2008	0.1149	0.0380
3	17.30	0.1154	-1.1636	0.1223	0.0069
4	17.60	0.1538	-1.1083	0.1339	0.0200
5	18.90	0.1923	-0.8768	0.1903	0.0020
6	19.60	0.2308	-0.7571	0.2245	0.0063
7	19.90	0.2692	-0.7068	0.2398	0.0294
8	20.30	0.3077	-0.6407	0.2608	0.0468
9	22.60	0.3462	-0.2793	0.3900	0.0439
10	22.90	0.3846	-0.2343	0.4074	0.0228
11	23.00	0.4231	-0.2194	0.4132	0.0099
12	24.00	0.4615	-0.0733	0.4708	0.0092
13	24.80	0.5000	0.0400	0.5160	0.0160
14	25.50	0.5385	0.1368	0.5544	0.0159
15	25.80	0.5769	0.1776	0.5705	0.0065
16	27.20	0.6154	0.3630	0.6417	0.0263
17	27.30	0.6538	0.3760	0.6465	0.0073
18	27.50	0.6923	0.4017	0.6561	0.0363
19	28.00	0.7308	0.4655	0.6792	0.0516
20	30.70	0.7692	0.7941	0.7864	0.0172
21	31.70	0.8077	0.9097	0.8185	0.0108
22	33.00	0.8462	1.0554	0.8544	0.0082
23	33.10	0.8846	1.0664	0.8569	0.0277
24	36.20	0.9231	1.3942	0.9184	0.0047
25	48.70	0.9615	2.5076	0.9939	0.0324
Delta Teórico					0.0516

FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.



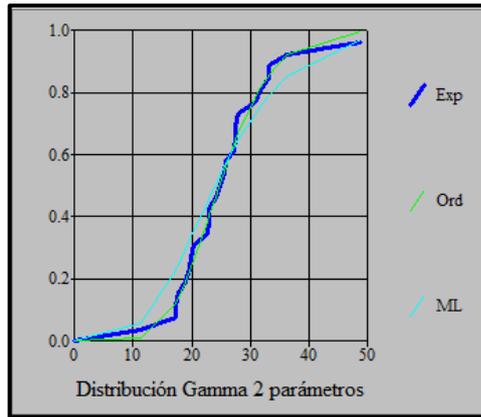
FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.

Ilustración 72. Comportamiento de gráfica - Distribución Log Normal 3 parámetros.

Cuadro 28. Distribución Gamma 2 parámetros.

DISTRIBUCIÓN GAMMA 2 PARÁMETROS					
m	x	P(x)	G(y) Ordinario	G(y) Mom. Lineal	Delta
1	11.40	0.0385	0.0095	0.0593	0.0289
2	17.10	0.0769	0.1185	0.2261	0.0415
3	17.30	0.1154	0.1256	0.2335	0.0103
4	17.60	0.1538	0.1369	0.2449	0.0170
5	18.90	0.1923	0.1913	0.2958	0.0010
6	19.60	0.2308	0.2242	0.324	0.0066
7	19.90	0.2692	0.2389	0.3362	0.0303
8	20.30	0.3077	0.2591	0.3526	0.0486
9	22.60	0.3462	0.3840	0.4467	0.0378
10	22.90	0.3846	0.4009	0.4588	0.0163
11	23.00	0.4231	0.4066	0.4629	0.0165
12	24.00	0.4615	0.4630	0.5026	0.0014
13	24.80	0.500	0.5076	0.5337	0.0076
14	25.50	0.5385	0.5457	0.5601	0.0073
15	25.80	0.5769	0.5618	0.5712	0.0151
16	27.20	0.6154	0.6334	0.6212	0.0180
17	27.30	0.6538	0.6383	0.6246	0.0156
18	27.50	0.6923	0.6479	0.6314	0.0444
19	28.00	0.7308	0.6715	0.6481	0.0593
20	30.70	0.7692	0.7818	0.7300	0.0125
21	31.70	0.8077	0.8151	0.7567	0.0075
22	33.00	0.8462	0.8527	0.7883	0.0065
23	33.10	0.8846	0.8553	0.7906	0.0293
24	36.20	0.9231	0.9198	0.8527	0.0033
25	48.70	0.9615	0.9957	0.9712	0.0341
Delta Teórico					0.0593

FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.



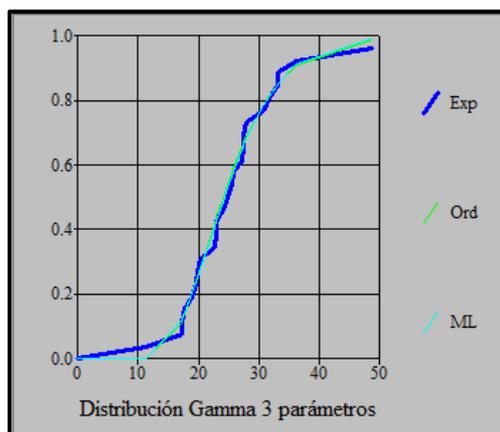
FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.

Ilustración 73. Comportamiento de gráfica - Distribución Gamma 2 parámetros.

Cuadro 29. Distribución Gamma 3 parámetros.

DISTRIBUCIÓN GAMMA 3 PARÁMETROS					
m	x	P(x)	G(y) Ordinario	G(y) Mom. Lineal	Delta
1	11.40	0.0385	0.0002	0.0028	0.0383
2	17.10	0.0769	0.1138	0.1196	0.0368
3	17.30	0.1154	0.1227	0.1278	0.0073
4	17.60	0.1538	0.1365	0.1406	0.0173
5	18.90	0.1923	0.2028	0.2021	0.0105
6	19.60	0.2308	0.2415	0.2384	0.0108
7	19.90	0.2692	0.2586	0.2545	0.0106
8	20.30	0.3077	0.2817	0.2764	0.0260
9	22.60	0.3462	0.4168	0.4067	0.0706
10	22.90	0.3846	0.4341	0.4238	0.0495
11	23.00	0.4231	0.4399	0.4294	0.0168
12	24.00	0.4615	0.4962	0.4853	0.0347
13	24.80	0.5000	0.5395	0.5286	0.0395
14	25.50	0.5385	0.5756	0.5652	0.0372
15	25.80	0.5769	0.5906	0.5804	0.0137
16	27.20	0.6154	0.6561	0.6474	0.0407
17	27.30	0.6538	0.6605	0.6520	0.0067
18	27.50	0.6923	0.6692	0.6609	0.0231
19	28.00	0.7308	0.6902	0.6826	0.0406
20	30.70	0.7692	0.7869	0.7832	0.0177
21	31.70	0.8077	0.8159	0.8136	0.0082
22	33.00	0.8462	0.8487	0.8478	0.0025
23	33.10	0.8846	0.8510	0.8503	0.0336
24	36.20	0.9231	0.9088	0.9105	0.0143
25	48.70	0.9615	0.9900	0.9918	0.0285
Delta Teórico					0.0706

FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.



FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.

Ilustración 74. Comportamiento de gráfica - Distribución Gamma 3 parámetros.

El siguiente cuadro corresponde a un análisis excepcional de la distribución Log Pearson Tipo III. Este análisis se debe a que anteriormente el software no permitió realizar el cálculo computacional, tal como se indicó en la Ilustración 67, por ello se ha propuesto conocer el resultado de incompatibilidad de los datos de forma manual.

Previamente se utilizaron las fórmulas de ajuste de distribución descritos en el Cuadro 31.

Cuadro 30. Distribución Log Pearson Tipo III.

<i>m</i>	<i>x</i>	<i>P(x)</i>	<i>Ln(x)</i>	$[Ln(x) - \bar{X}_{Ln(x)}]^2$	$[Ln(x) - \bar{X}_{Ln(x)}]^3$	<i>x</i> ²	<i>G(y) Ord.</i>	Δ
01	11.40	0.0385	2.4336	0.5738	-0.4346	352.8011	1.00	0.9615
02	17.10	0.0769	2.8391	0.1239	-0.0436	319.9712	1.00	0.9231
03	17.30	0.1154	2.8507	0.1159	-0.0394	319.0297	1.00	0.8846
04	17.60	0.1538	2.8679	0.1045	-0.0338	317.6377	1.00	0.8462
05	18.90	0.1923	2.9392	0.0635	-0.0160	311.8677	1.00	0.8077
06	19.60	0.2308	2.9755	0.0465	-0.0100	308.9230	1.00	0.7692
07	19.90	0.2692	2.9907	0.0402	-0.0080	307.6931	1.00	0.7308
08	20.30	0.3077	3.0106	0.0326	-0.0059	306.0817	1.00	0.6923
09	22.60	0.3462	3.1179	0.0054	-0.0004	297.3915	1.00	0.6538
10	22.90	0.3846	3.1311	0.0036	-0.0002	296.3238	1.00	0.6154
11	23.00	0.4231	3.1355	0.0031	-0.0002	295.9709	1.00	0.5769
12	24.00	0.4615	3.1781	0.0002	0.0000	292.5250	1.00	0.5385
13	24.80	0.5000	3.2108	0.0004	0.0000	289.8700	1.00	0.5000
14	25.50	0.5385	3.2387	0.0023	0.0001	287.6163	1.00	0.4615
15	25.80	0.5769	3.2504	0.0035	0.0002	286.6693	1.00	0.4231
16	27.20	0.6154	3.3032	0.0126	0.0014	282.3907	1.00	0.3846
17	27.30	0.6538	3.3069	0.0134	0.0016	282.0936	1.00	0.3462
18	27.50	0.6923	3.3142	0.0151	0.0019	281.5026	1.00	0.3077
19	28.00	0.7308	3.3322	0.0199	0.0028	280.0436	1.00	0.2692
20	30.70	0.7692	3.4243	0.0544	0.0127	272.5898	1.00	0.2308
21	31.70	0.8077	3.4563	0.0703	0.0187	269.9945	1.00	0.1923
22	33.00	0.8462	3.4965	0.0933	0.0285	266.7403	1.00	0.1538
23	33.10	0.8846	3.4995	0.0951	0.0293	266.4953	1.00	0.1154
24	36.20	0.9231	3.5891	0.1584	0.0630	259.2465	1.00	0.0769
25	48.70	0.9615	3.8857	0.4824	0.3351	235.2297	1.00	0.0385
Sumatoria			79.7777	2.1340	-0.0970	Delta (teo. max)		0.9615

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro 31. Fórmulas de ajuste - Distribución Log Pearson Tipo III.

FÓRMULAS – LOG PEARSON TIPO III	
$P(x) = \frac{M}{N-1}$	$\bar{x}_{Ln(x)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n Ln(x)$
$S_{Ln(x)} = \sqrt{\frac{\sum [Ln(x) - \bar{x}_{Ln(x)}]^2}{N-1}}$	$C_{s[Ln(x)]} = \frac{N \cdot \sum [Ln(x) - \bar{x}_{Ln(x)}]^3}{(N-1)(N-2)S_{Ln(x)}^3}$
$x_0 = \bar{x}_{Ln(x)} - \frac{2 \cdot S_{Ln(x)}}{C_{s[Ln(x)]}}$	$\beta = \frac{C_{s[Ln(x)]} \cdot S_{Ln(x)}}{2}$
$\gamma = \frac{4}{C_{s[Ln(x)]}^2}$	$x^2 = \frac{2[Ln(x) - x_0]}{\beta}$
$\nu = 2\gamma$	$G(y) = 1 - P_{exc.};$ depende de x^2 y ν .
$\Delta_{(i)teo.} = P(x)_i - G(y)_i$ $\Delta_{tab.} = \frac{1.36}{\sqrt{N}};$ Para un nivel de significación = 5%.	

FUENTE: Elaboración propia.

Donde:

x : Datos de precipitación máxima anual.

$P(x)$: Probabilidad empírica o experimental.

M : Número de orden.

N : Número de datos = 25.

$\bar{x}_{Ln(x)}$: Media.

$S_{Ln(x)}$: Desviación estándar.

$C_{s[Ln(x)]}$: Coeficiente de sesgo.

x_0 : Parámetro de posición.

β : Parámetro de escala.

γ : Parámetro de forma.

x^2 : Prueba Chi-cuadrado.

ν : Grado de libertad.

$G(y)$: Función ordinaria.

$P_{exc.}$: Probabilidad de excedencia.

$\Delta_{teo.}$: Delta teórico.

$\Delta_{tab.}$: Delta tabular.

Siendo:

$$\bar{x}_{Ln(x)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n Ln(x) = \frac{1}{25} (79.7777) = \mathbf{3.1911}$$

$$S_{Ln(x)} = \sqrt{\frac{\sum [Ln(x) - \bar{x}_{Ln(x)}]^2}{N - 1}} = \sqrt{\frac{2.1340}{25 - 1}} = \mathbf{0.2980}$$

$$C_{s[Ln(x)]} = \frac{N \cdot \sum [Ln(x) - \bar{x}_{Ln(x)}]^3}{(N - 1)(N - 2)S_{Ln(x)}^3} = \frac{25(-0.0970)}{(25 - 1)(25 - 2)(0.2980)^3} = \mathbf{-0.1660}$$

$$x_0 = \bar{x}_{Ln(x)} - \frac{2 \cdot S_{Ln(x)}}{C_{s[Ln(x)]}} = 3.1911 - \frac{2(0.2980)}{-0.1660} = \mathbf{6.7815}$$

$$\beta = \frac{C_{s[Ln(x)]} \cdot S_{Ln(x)}}{2} = \frac{-0.1660(0.2980)}{2} = \mathbf{-0.0247}$$

$$\gamma = \frac{4}{C_{s[Ln(x)]}^2} = \frac{4}{(-0.1660)^2} = \mathbf{145.1589}$$

$$\nu = 2\gamma = 2(145.1589) = \mathbf{290.3178}$$

Así también, se determina la probabilidad de excedencia ingresando los valores de x^2 del Cuadro 30 y ν en la *Tablas A.7 FDA de las distribuciones x^2 , gamma y poisson*, pág. (422 – 427) descritas en el libro “Hidrología Estadística” de Máximo Villón Béjar, interpolando si es necesario.

Sin embargo, debido a la falta de datos de tablas presentadas por Villón, no es posible determinar la probabilidad de excedencia para el análisis, ya que solo existen valores para datos de $x^2 = 76$ y $\nu = 30$.

Por tanto, la probabilidad de excedencia se asume como nula, es decir:

$$P_{exc.} = 0$$

$$\Rightarrow G(y) = 1 - P_{exc.} = 1 - 0 = \mathbf{1}$$

Para luego calcular el delta tabular, entonces:

$$\Delta_{tab.} = \frac{1.36}{\sqrt{N}} = \frac{1.36}{\sqrt{25}} = \mathbf{0.272}$$

Finalmente, para que la distribución Log Pearson Tipo III se ajuste, se debe cumplir que:

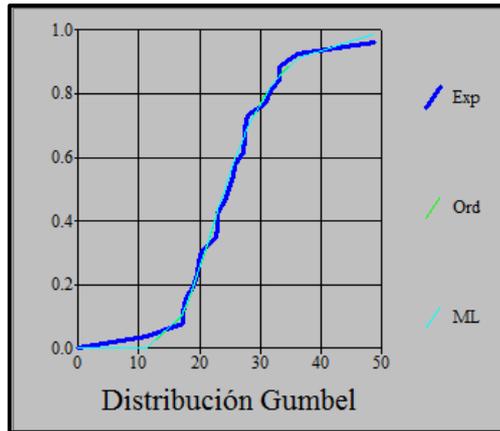
$$\Delta_{teo.} < \Delta_{tab.} \Rightarrow 0.9615 < 0.2720 \text{ (No cumple)}$$

Por lo tanto, la distribución Log Pearson Tipo III no se ajusta a los datos de precipitaciones máximas anuales para un registro histórico de 25 años (1994-2018) de la Estación “Huánuco”, tal como lo procesó el programa HIDROESTA 2, cuyo resultado se mostró en la Ilustración 67.

Cuadro 32. Distribución Gumbel.

DISTRIBUCIÓN GUMBEL					
m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom. Lineal	Delta
1	11.40	0.0385	0.0030	0.0035	0.0355
2	17.10	0.0769	0.1065	0.1107	0.0295
3	17.30	0.1154	0.1146	0.1189	0.0008
4	17.60	0.1538	0.1274	0.1318	0.0264
5	18.90	0.1923	0.1907	0.1950	0.0016
6	19.60	0.2308	0.2290	0.2332	0.0017
7	19.90	0.2692	0.2462	0.2502	0.0230
8	20.30	0.3077	0.2696	0.2734	0.0381
9	22.60	0.3462	0.4099	0.4120	0.0637
10	22.90	0.3846	0.4282	0.4301	0.0436
11	23.00	0.4231	0.4343	0.4361	0.0112
12	24.00	0.4615	0.4939	0.4949	0.0323
13	24.80	0.5000	0.5395	0.5399	0.0395
14	25.50	0.5385	0.5776	0.5775	0.0392
15	25.80	0.5769	0.5934	0.5931	0.0165
16	27.20	0.6154	0.6618	0.6607	0.0464
17	27.30	0.6538	0.6663	0.6652	0.0125
18	27.50	0.6923	0.6753	0.6741	0.0170
19	28.00	0.7308	0.6969	0.6955	0.0339
20	30.70	0.7692	0.7947	0.7926	0.0255
21	31.70	0.8077	0.8234	0.8212	0.0157
22	33.00	0.8462	0.8553	0.8531	0.0091
23	33.10	0.8846	0.8575	0.8553	0.0271
24	36.20	0.9231	0.9126	0.9106	0.0105
25	48.70	0.9615	0.9888	0.9882	0.0272
				Delta Teórico	0.0637

FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.



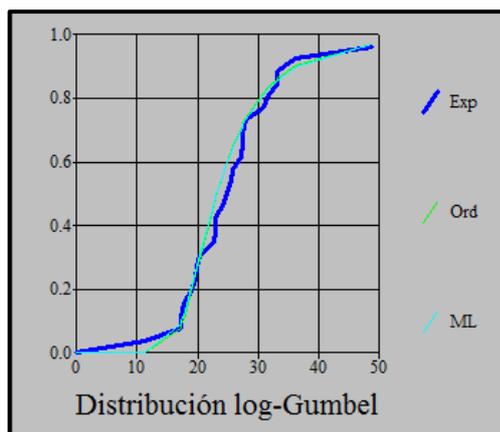
FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.

Ilustración 75. Comportamiento de gráfica - Distribución Gumbel.

Cuadro 33. Distribución Log Gumbel.

DISTRIBUCIÓN LOG GUMBEL					
m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom. Lineal	Delta
1	11.40	0.0385	0.0000	0.0000	0.0385
2	17.10	0.0769	0.0779	0.0897	0.0010
3	17.30	0.1154	0.0883	0.1005	0.0271
4	17.60	0.1538	0.1049	0.1176	0.0489
5	18.90	0.1923	0.1903	0.2032	0.0020
6	19.60	0.2308	0.2419	0.2539	0.0112
7	19.90	0.2692	0.2647	0.2761	0.0046
8	20.30	0.3077	0.2951	0.3057	0.0125
9	22.60	0.3462	0.4634	0.4676	0.1173
10	22.90	0.3846	0.4835	0.4869	0.0989
11	23.00	0.4231	0.4901	0.4932	0.0670
12	24.00	0.4615	0.5522	0.5529	0.0906
13	24.80	0.5000	0.5970	0.5961	0.0970
14	25.50	0.5385	0.6328	0.6306	0.0944
15	25.80	0.5769	0.6472	0.6445	0.0703
16	27.20	0.6154	0.7070	0.7026	0.0917
17	27.30	0.6538	0.7109	0.7063	0.0570
18	27.50	0.6923	0.7184	0.7137	0.0261
19	28.00	0.7308	0.7364	0.7312	0.0056
20	30.70	0.7692	0.8139	0.8075	0.0446
21	31.70	0.8077	0.8357	0.8292	0.0280
22	33.00	0.8462	0.8599	0.8534	0.0137
23	33.10	0.8846	0.8616	0.8551	0.0230
24	36.20	0.9231	0.9036	0.8975	0.0195
25	48.70	0.9615	0.9721	0.9688	0.0106
Delta Teórico					0.1173

FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.



FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.

Ilustración 76. Comportamiento de gráfica - Distribución Log Gumbel.

De acuerdo a esta prueba de ajuste, se escogerá la distribución que se ajusta mejor por tener el menor valor de D, cuyos valores se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro 34. Resultado de la Prueba de Bondad de Ajuste de Kolmogorov - Smirnov.

DISTRIBUCIÓN PROBABILÍSTICA	PRUEBA: KOLMOGOROV - SMIRNOV		
	Dc	Dt	¿Se ajusta?
Normal	0.0961	0.272	Sí
Log Normal 2 parámetros	0.0569	0.272	Sí
Log Normal 3 parámetros	0.0516	0.272	Sí
Gamma 2 parámetros	0.0593	0.272	Sí
Gamma 3 parámetros	0.0706	0.272	Sí
Log Pearson Tipo III	-	-	No
Gumbel	0.0637	0.272	Sí
Log Gumbel	0.1173	0.272	Sí
Mejor ajuste	Distribución Log Normal 3 parámetros		

FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.

Después de haber realizado la evaluación de las funciones de distribución probabilística, se concluye que las distribuciones de mejor ajuste a los datos de precipitación máxima anual corresponden a la distribución Normal, Log Normal 3 parámetros, Log Normal 2 parámetros, Gamma 2 parámetros, Gamma 3 parámetros, Gumbel y Log Gumbel. Así mismo, la función que no se asemeja (no se ajusta) corresponde a la distribución de Log Pearson Tipo III.

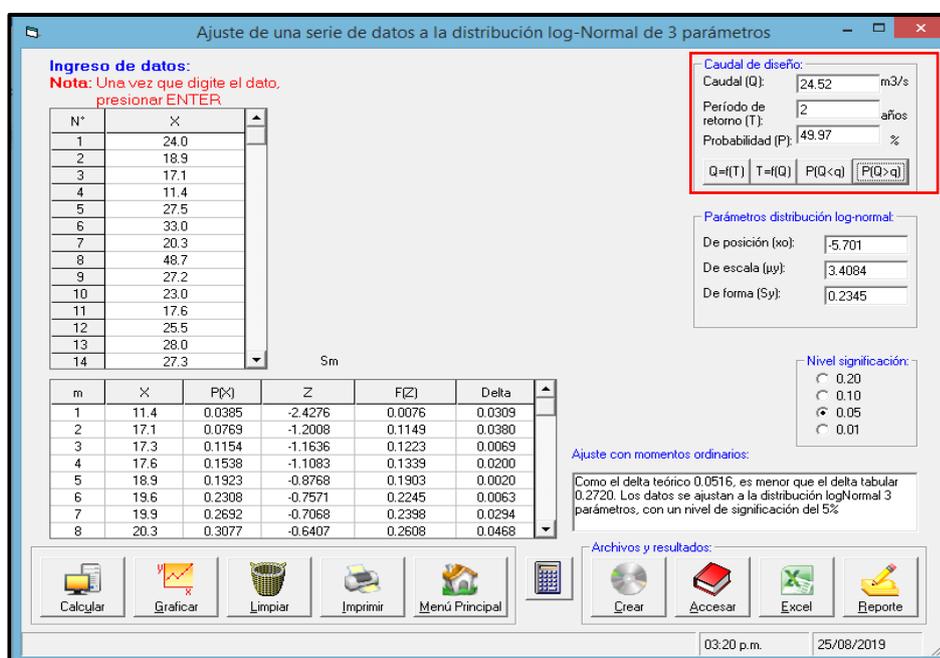
En el Cuadro 34 se puede apreciar también que la función de distribución Log Normal 3 parámetros al tener un valor de Dc menor,

se ajusta mejor a los datos de registros históricos tomados de la Estación “Huánuco”, con la cual se podrá predecir el comportamiento de las precipitaciones máximas anuales para distintos periodos de retorno en la zona de estudio.

- **Precipitación Máxima Anual y estimación de la Probabilidad de ocurrencia según el Periodo de Retorno.**

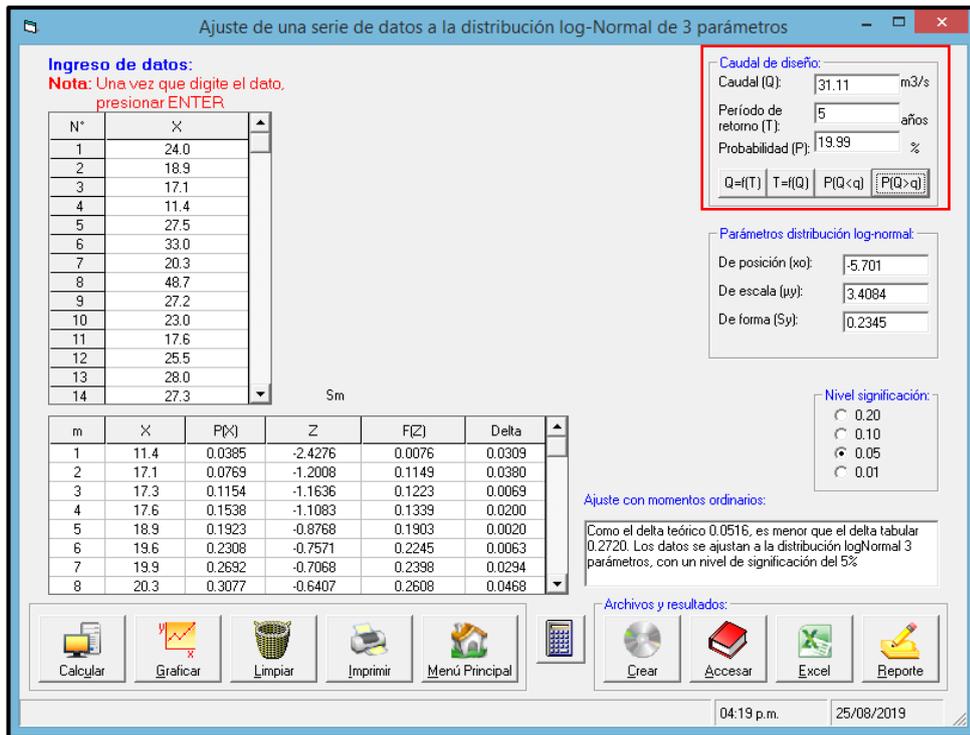
Para el cálculo de las precipitaciones máximas anuales en la que se puede suscitar un evento de lluvia de cualquier magnitud, se hace referencia al subtítulo denominado “Caudal de diseño” del análisis de distribuciones que presenta el software HIDROESTA 2, tal como se muestra en la Ilustración 77. Siendo así, podría ser extraño determinar el caudal de diseño con solo ingresar los datos de precipitación; por lo que el programa solo halla el caudal de diseño si y solo sí se ingresa datos de caudales y periodo de retorno en este punto.

Para el fin del estudio, se asumirá que el nombre “Caudal de diseño” será la precipitación máxima anual según el periodo de retorno ingresado.



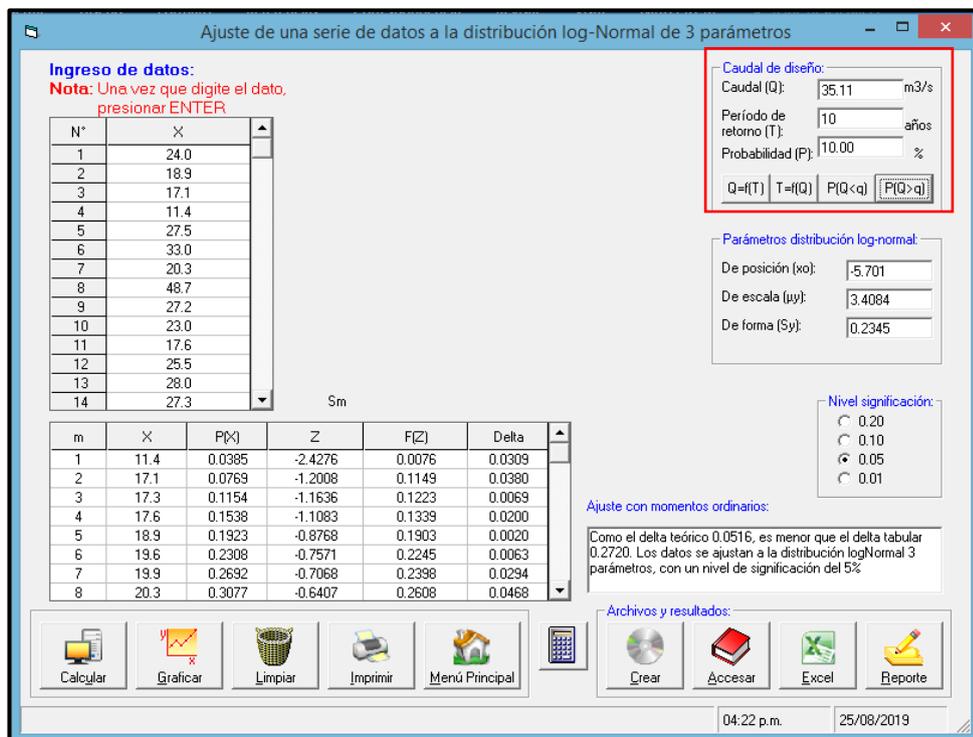
FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.

Ilustración 77. Resultado - Precipitación máxima anual y su probabilidad de ocurrencia para T = 2 años.



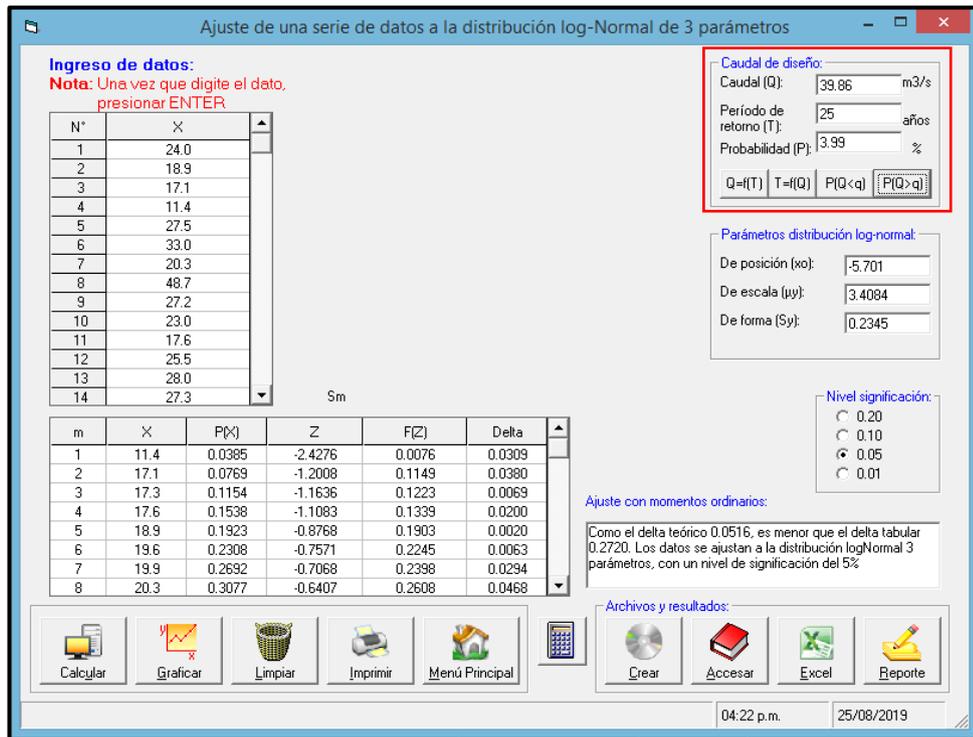
FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.

Ilustración 78. Resultado - Precipitación máxima anual y su probabilidad de ocurrencia para T = 5 años.



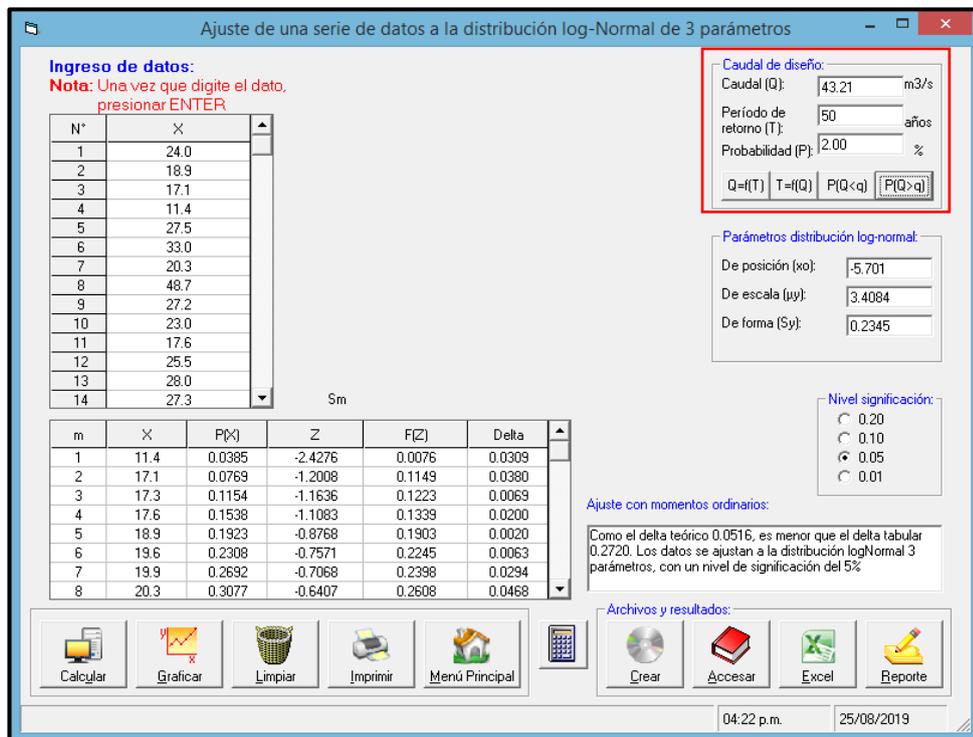
FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.

Ilustración 79. Resultado - Precipitación máxima anual y su probabilidad de ocurrencia para T = 10 años.



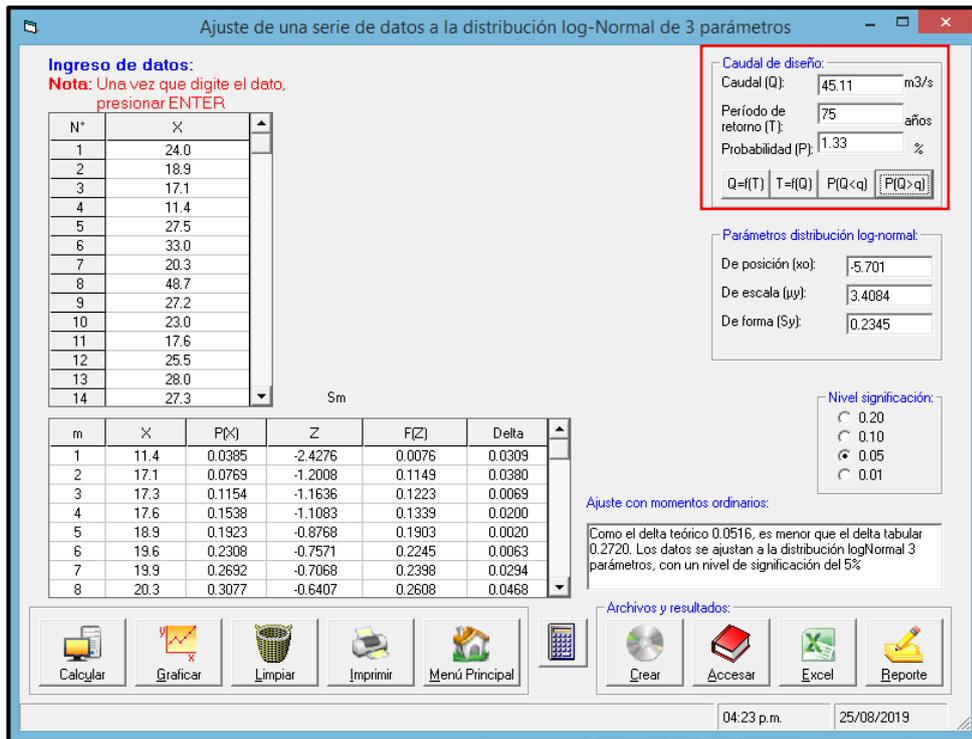
FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.

Ilustración 80. Resultado - Precipitación máxima anual y su probabilidad de ocurrencia para T = 25 años.



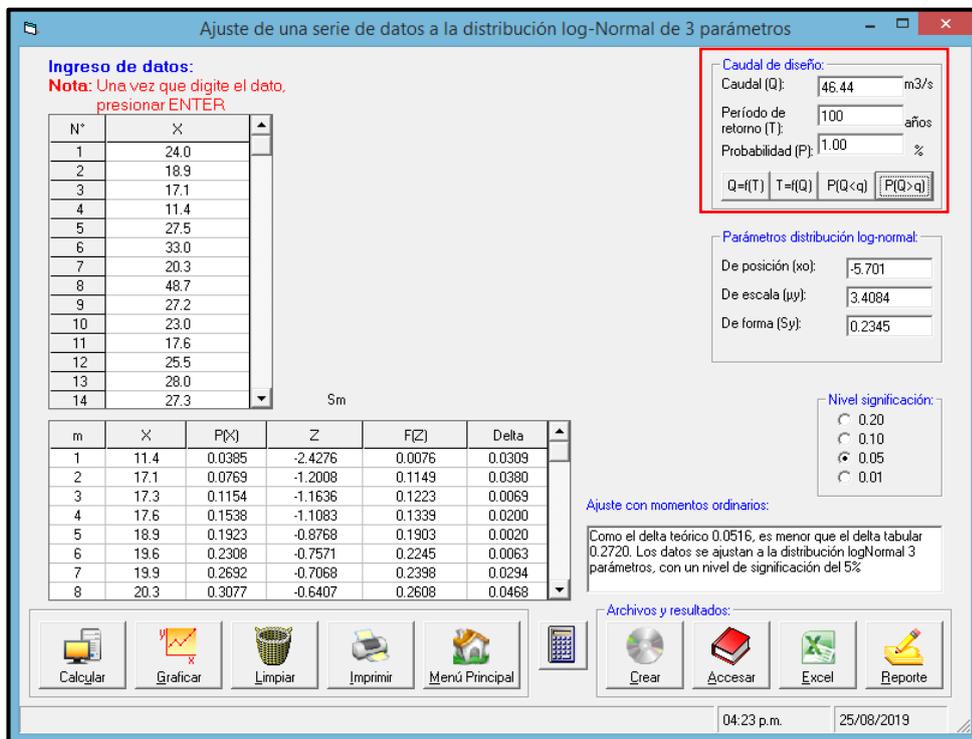
FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.

Ilustración 81. Resultado - Precipitación máxima anual y su probabilidad de ocurrencia para T = 50 años.



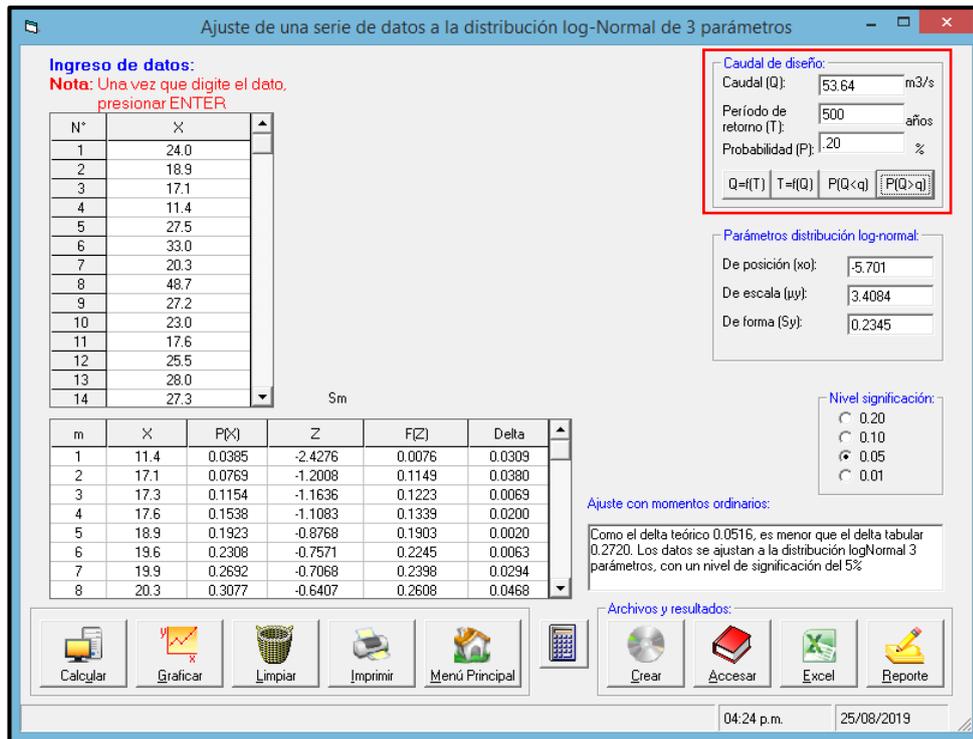
FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.

Ilustración 82. Resultado - Precipitación máxima anual y su probabilidad de ocurrencia para T = 75 años.



FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.

Ilustración 83. Resultado - Precipitación máxima anual y su probabilidad de ocurrencia para T = 100 años.



FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.

Ilustración 84. Resultado - Precipitación máxima anual y su probabilidad de ocurrencia para T = 500 años.

El Cuadro 35 muestra el resumen de los resultados de precipitaciones máximas probables anuales para cada periodo de retorno, según la distribución Log Normal 3 parámetros.

Cuadro 35. Precipitaciones máximas según la distribución Log Normal 3 parámetros.

ESTACIÓN "HUÁNUCO"		
Distribución	Periodo de Retorno (T)	Precipitación Máxima (mm)
Log Normal 3 parámetros	2	24.52
	5	31.11
	10	35.11
	25	39.86
	50	43.21
	75	45.11
	100	46.44
	500	53.64

FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.

Así mismo, el Cuadro 36 muestra el resumen de los resultados de la probabilidad de ocurrencia de la precipitación máxima anual, según la distribución Log Normal 3 parámetros.

Cuadro 36. Probabilidad de ocurrencia de las precipitaciones máximas según la distribución Log Normal 3 parámetros.

ESTACIÓN "HUÁNUCO"		
Distribución	Periodo de Retorno (T)	Probabilidad de ocurrencia de Pmax. (%)
Log Normal 3 parámetros	2	49.97
	5	19.99
	10	10.00
	25	3.99
	50	2.00
	75	1.33
	100	1.00
	500	0.20

FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.

Otra manera de hallar la probabilidad de ocurrencia de las precipitaciones máximas anuales para distintos periodos de retorno, es haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$P = \frac{1}{T}$$

Donde:

P: Probabilidad de ocurrencia.

T: Periodo de retorno.

Para determinar la probabilidad de ocurrencia con la fórmula descrita anteriormente, es necesario identificar qué tipo de estructura se va a diseñar. Para el caso del estudio, la estructura es el drenaje pluvial urbano; siendo así, el periodo de retorno corresponderá a lo que se indica en el Cuadro 37.

Cuadro 37. Periodo de retorno para distintos tipos de estructuras.

TIPO DE ESTRUCTURA	PERIODO DE RETORNO (Años)
Puente sobre carretera importante.	50 – 100
Puente sobre carretera menos importante o alcantarillas sobre carretera importante.	25
Alcantarillas sobre camino secundario.	5 – 10
Drenaje lateral de los pavimentos, donde puede tolerarse encharcamiento con lluvia de corta duración.	1 – 2
Drenaje de aeropuertos.	5
Drenaje urbano.	2 – 10

Drenaje agrícola.	5 – 10
Muros de encauzamiento.	2 – 50
Nota: Puede aumentar si estas obras protegen poblados de importancia.	

FUENTE: Elaboración propia en base a Villón (Hidrología), 2002.

Por otra parte, el Reglamento Nacional de Edificaciones en su norma OS.060 (Drenaje Pluvial Urbano) considera que, para estructuras de drenaje menor el periodo de retorno T que se debe asumir está comprendida entre 2 y 10 años. Por lo que coincide con lo que indica Villón, en su texto “Hidrología”.

Se calcula entonces el periodo de retorno con T = 2, 5 y 10 años, esto es:

$$P_{2 \text{ años}} = \frac{1}{T} = \frac{1}{2} = 0.50 \quad \Rightarrow P_{2 \text{ años}} = 50\%$$

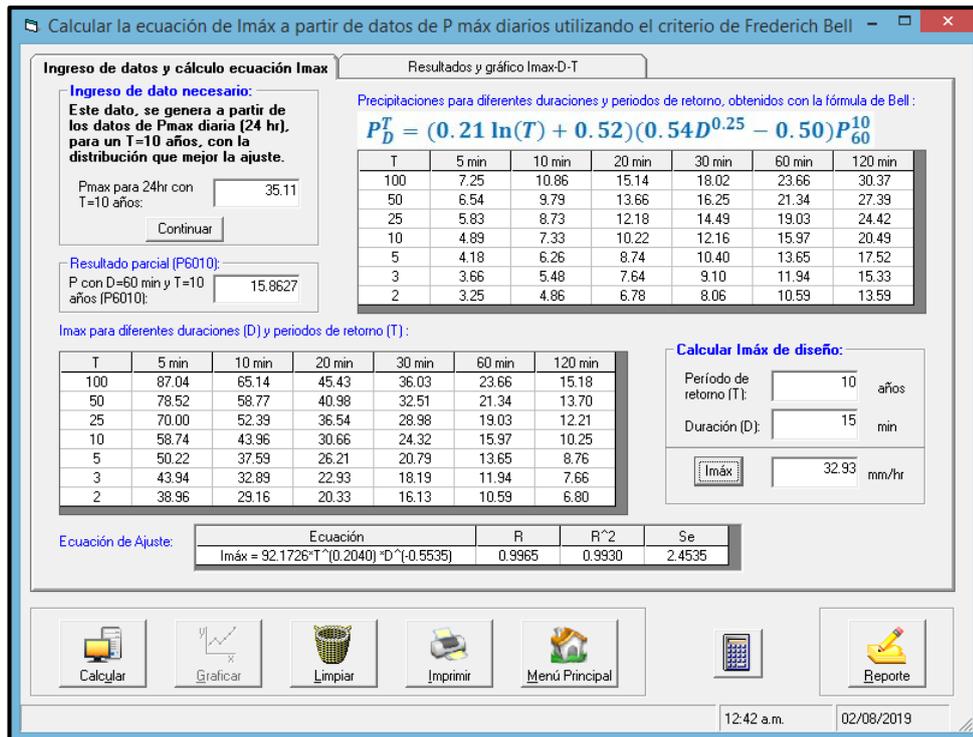
$$P_{5 \text{ años}} = \frac{1}{T} = \frac{1}{5} = 0.20 \quad \Rightarrow P_{5 \text{ años}} = 20\%$$

$$P_{10 \text{ años}} = \frac{1}{T} = \frac{1}{10} = 0.10 \quad \Rightarrow P_{10 \text{ años}} = 10\%$$

En conclusión, será necesario de hoy en adelante establecer el periodo de retorno y demás exigencias que indica la norma OS.060 (Drenaje Pluvial Urbano) del RNE.

- **Cálculo de las Curvas IDT (Intensidad – Duración – Periodo de retorno)**

Según el Cuadro 35 para un periodo de retorno de 10 años, la precipitación máxima probable es de 35.11 mm. Por lo tanto, se recurrirá nuevamente al software HIDROESTA 2 para procesar el dato de precipitación anunciada y así poder conocer la ecuación de la intensidad máxima con el criterio de Frederick Bell que el software incluye.



FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.

Ilustración 85. Resultado de análisis de la ecuación de intensidad máxima según el método de Frederich Bell.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos según la metodología de Frederich Bell, en donde para corroborar los resultados del Cuadro 38, se puede hacer uso de la fórmula siguiente:

$$P_D^T = (0.21 * \ln T + 0.52) * (0.54D^{0.25} - 0.50) * P_{60}^{10}$$

Siendo:

$$P_{60}^{10} = P_{24h} \cdot \left(\frac{D}{1440} \right)^{0.25}$$

Donde:

P_D^T : Precipitación en t minutos con periodo de retorno de T años (mm).

T : Periodo de retorno (años).

D : Duración para 01 hora (min).

P_{60}^{10} : Precipitación caída en 60 minutos con T=10 años (mm).

P_{24h} : Precipitación máxima en 24 horas para T=10 años (mm).

Cuadro 38. Precipitaciones máximas para diferentes duraciones y periodos de retorno.

Periodo de retorno "T"	Duración "D" en minutos					
	5 min.	10 min.	20 min.	30 min.	60 min.	120 min.
2	3.25	4.86	6.78	8.06	10.59	13.59
3	3.66	5.48	7.64	9.10	11.94	15.33
5	4.18	6.26	8.74	10.40	13.65	17.52
10	4.89	7.33	10.22	12.16	15.97	20.49
25	5.83	8.73	12.18	14.49	19.03	24.42
50	6.54	9.79	13.66	16.25	21.34	27.39
100	7.25	10.86	15.14	18.02	23.66	30.37

FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.

Así también, se hace uso de la siguiente ecuación para corroborar las intensidades máximas en diferentes duraciones obtenidas en el Cuadro 39.

$$I = \frac{60P_d}{D}$$

Donde:

I : Intensidad máxima (mm/hr).

P_d : Precipitación total (mm).

D : Duración (min).

Cuadro 39. Intensidades máximas para diferentes duraciones y periodos de retorno.

Periodo de retorno "T"	Duración "D" en minutos					
	5 min.	10 min.	20 min.	30 min.	60 min.	120 min.
2	38.96	29.16	20.33	16.13	10.59	6.80
3	43.94	32.89	22.93	18.19	11.94	7.66
5	50.22	37.59	26.21	20.79	13.65	8.76
10	58.74	43.96	30.66	24.32	15.97	10.25
25	70.00	52.39	36.54	28.98	19.03	12.21
50	78.52	58.77	40.98	32.51	21.34	13.70
100	87.04	65.14	45.43	36.03	23.66	15.18

FUENTE: Elaboración propia en base a HIDROESTA 2.

- **Ecuación de la Intensidad Máxima**

Se tiene la siguiente ecuación de intensidad:

$$I = \frac{KT^m}{D_n}$$

Donde:

I : Intensidad (mm/h).

K, m y n: Constantes de ajuste propia de cada estación.

T : Periodo de retorno (años).

D : Tiempo de duración (min).

Para el caso de la ecuación de ajuste que también determinó el software y observando la Ilustración 85, se tiene lo siguiente:

$$I_{max.} = \frac{92.1726T^{0.2040}}{D^{0.5535}}$$

Así también, se hace uso del siguiente análisis para corroborar el resultado de la ecuación de intensidad máxima. A continuación, en el Cuadro 40 se efectúa el cálculo de los parámetros x_1 , x_2 y y , así como sus productos y cuadrados, provenientes del cuadro anterior.

Cuadro 40. Parámetros estadísticos de intensidades en diferentes duraciones y periodos de retorno.

N°	T (años)	D (min)	I _{max.} (mm/hr)	x_1	x_2	y	$x_1 \cdot y$	$x_2 \cdot y$	x_1^2	x_2^2	$x_1 \cdot x_2$
				Log(T)	Log(D)	Log(I _{max.})					
01	2	5	38.96	0.3010	0.6990	1.5906	0.4788	1.1118	0.0906	0.4886	0.2104
02	2	10	29.16	0.3010	1.0000	1.4647	0.4409	1.4647	0.0906	1.0000	0.3010
03	2	20	20.33	0.3010	1.3010	1.3082	0.3938	1.7020	0.0906	1.6927	0.3916
04	2	30	16.13	0.3010	1.4771	1.2076	0.3635	1.7837	0.0906	2.1819	0.4447
05	2	60	10.59	0.3010	1.7782	1.0248	0.3085	1.8223	0.0906	3.1618	0.5353
06	2	120	6.80	0.3010	2.0792	0.8322	0.2505	1.7303	0.0906	4.3230	0.6259
07	3	5	43.94	0.4771	0.6990	1.6429	0.7838	1.1483	0.2276	0.4886	0.3335
08	3	10	32.89	0.4771	1.0000	1.5170	0.7238	1.5170	0.2276	1.0000	0.4771
09	3	20	22.93	0.4771	1.3010	1.3605	0.6491	1.7700	0.2276	1.6927	0.6207
10	3	30	18.19	0.4771	1.4771	1.2599	0.6011	1.8610	0.2276	2.1819	0.7048
11	3	60	11.94	0.4771	1.7782	1.0771	0.5139	1.9153	0.2276	3.1618	0.8484
12	3	120	7.66	0.4771	2.0792	0.8845	0.4220	1.8390	0.2276	4.3230	0.9920
13	5	5	50.22	0.6990	0.6990	1.7009	1.1889	1.1889	0.4886	0.4886	0.4886
14	5	10	37.59	0.6990	1.0000	1.5750	1.1009	1.5750	0.4886	1.0000	0.6990
15	5	20	26.21	0.6990	1.3010	1.4185	0.9915	1.8455	0.4886	1.6927	0.9094
16	5	30	20.79	0.6990	1.4771	1.3179	0.9211	1.9466	0.4886	2.1819	1.0325
17	5	60	13.65	0.6990	1.7782	1.1351	0.7934	2.0184	0.4886	3.1618	1.2429
18	5	120	8.76	0.6990	2.0792	0.9425	0.6588	1.9596	0.4886	4.3230	1.4533
19	10	5	58.74	1.0000	0.6990	1.7689	1.7689	1.2364	1.0000	0.4886	0.6990
20	10	10	43.96	1.0000	1.0000	1.6431	1.6431	1.6431	1.0000	1.0000	1.0000
21	10	20	30.66	1.0000	1.3010	1.4865	1.4865	1.9340	1.0000	1.6927	1.3010
22	10	30	24.32	1.0000	1.4771	1.3859	1.3859	2.0472	1.0000	2.1819	1.4771
23	10	60	15.97	1.0000	1.7782	1.2032	1.2032	2.1394	1.0000	3.1618	1.7782
24	10	120	10.25	1.0000	2.0792	1.0106	1.0106	2.1011	1.0000	4.3230	2.0792
25	25	5	70.00	1.3979	0.6990	1.8451	2.5793	1.2897	1.9542	0.4886	0.9771
26	25	10	52.39	1.3979	1.0000	1.7193	2.4034	1.7193	1.9542	1.0000	1.3979
27	25	20	36.54	1.3979	1.3010	1.5627	2.1846	2.0332	1.9542	1.6927	1.8188
28	25	30	28.98	1.3979	1.4771	1.4621	2.0439	2.1597	1.9542	2.1819	2.0649
29	25	60	19.03	1.3979	1.7782	1.2794	1.7885	2.2749	1.9542	3.1618	2.4857
30	25	120	12.21	1.3979	2.0792	1.0867	1.5192	2.2595	1.9542	4.3230	2.9066
31	50	5	78.52	1.6990	0.6990	1.8950	3.2195	1.3245	2.8865	0.4886	1.1875
32	50	10	58.77	1.6990	1.0000	1.7691	3.0057	1.7691	2.8865	1.0000	1.6990
33	50	20	40.98	1.6990	1.3010	1.6126	2.7398	2.0980	2.8865	1.6927	2.2104
34	50	30	32.51	1.6990	1.4771	1.5120	2.5688	2.2334	2.8865	2.1819	2.5096
35	50	60	21.34	1.6990	1.7782	1.3292	2.2583	2.3636	2.8865	3.1618	3.0210
36	50	120	13.70	1.6990	2.0792	1.1366	1.9311	2.3632	2.8865	4.3230	3.5325
37	100	5	87.04	2.0000	0.6990	1.9397	3.8794	1.3558	4.0000	0.4886	1.3979
38	100	10	65.14	2.0000	1.0000	1.8139	3.6278	1.8139	4.0000	1.0000	2.0000
39	100	20	45.43	2.0000	1.3010	1.6573	3.3147	2.1563	4.0000	1.6927	2.6021

40	100	30	36.03	2.0000	1.4771	1.5567	3.1134	2.2995	4.0000	2.1819	2.9542
41	100	60	23.66	2.0000	1.7782	1.3740	2.7479	2.4431	4.0000	3.1618	3.5563
42	100	120	15.18	2.0000	2.0792	1.1814	2.3627	2.4562	4.0000	4.3230	4.1584
SUMATORIA				45.4442	58.3412	59.4907	67.3707	77.7135	63.8853	89.9356	63.1254

FUENTE: Elaboración propia.

Además, se presenta el sistema de ecuaciones:

$$\sum y = a_0 N + a_1 \sum x_1 + a_2 \sum x_2$$

$$\sum(x_1 \cdot y) = a_0 \sum x_1 + a_1 \sum (x_1)^2 + a_2 \sum (x_1 \cdot x_2)$$

$$\sum(x_2 \cdot y) = a_0 \sum x_2 + a_1 \sum (x_1 \cdot x_2) + a_2 \sum (x_2)^2$$

Donde:

x_1, x_2, y : Logaritmos del periodo de retorno.

N : Número de datos = 42

a_0 : Representa el valor del Log(K).

a_1 : Representa el valor de m.

a_2 : Representa el valor de - n.

Al reemplazar la sumatoria del Cuadro 40 en el sistema de ecuaciones, entonces se tiene:

$$59.4907 = a_0(42) + a_1(45.4442) + a_2(58.3412)$$

$$67.3707 = a_0(45.4442) + a_1(63.8853) + a_2(63.1254)$$

$$77.7135 = a_0(58.3412) + a_1(63.1254) + a_2(89.9356)$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones, se obtiene:

$$a_0 = 1.9646 = \text{Log}(K) \rightarrow \mathbf{K = 92.1722}$$

$$a_1 = 0.2040 = m \rightarrow \mathbf{m = 0.2040}$$

$$a_2 = -0.5535 = -n \rightarrow \mathbf{n = 0.5535}$$

Sustituyendo los valores de K , m , y n en la ecuación de la intensidad, resulta:

$$I'_{max.} = \frac{92.1722T^{0.2040}}{D^{0.5535}} \approx \frac{92.1726T^{0.2040}}{D^{0.5535}} = I_{max.}$$

Por lo tanto, I_{max} viene a ser la representación matemática de las curvas Intensidad – Duración – Periodo de retorno, para un registro histórico de 25 años (1994 – 2018) perteneciente a la Estación “Huánuco”.

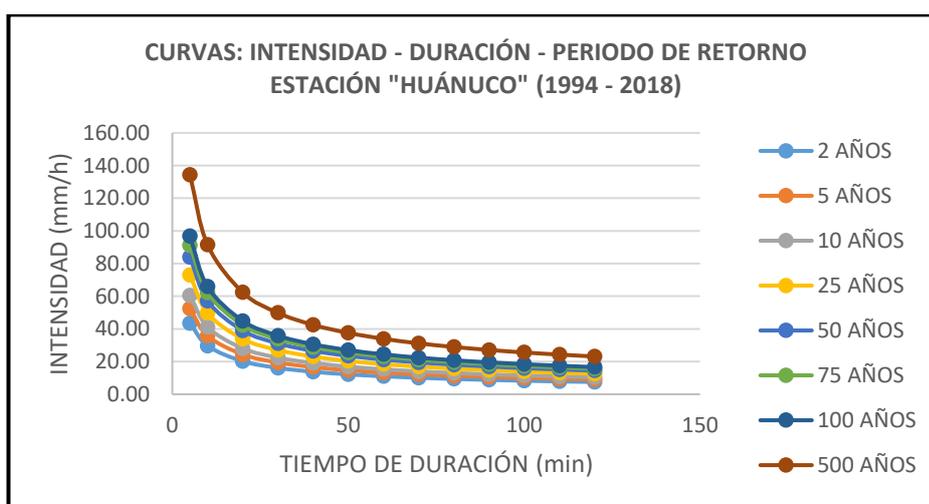
En el siguiente cuadro, se distribuye los valores de la ecuación de intensidad máxima obtenida anteriormente para cada duración y periodo de retorno.

Cuadro 41. Distribución de intensidades máximas para las curvas IDT.

Duración "D" (min)	PERIODO DE RETORNO "T" (años)							
	2	5	10	25	50	75	100	500
5	43.56	52.52	60.50	72.93	84.01	91.25	96.77	134.37
10	29.68	35.78	41.22	49.69	57.24	62.17	65.93	91.56
20	20.23	24.38	28.09	33.86	39.00	42.36	44.92	62.38
30	16.16	19.48	22.44	27.05	31.16	33.85	35.89	49.84
40	13.78	16.61	19.14	23.07	26.57	28.87	30.61	42.51
50	12.18	14.68	16.91	20.39	23.49	25.51	27.05	37.57
60	11.01	13.27	15.29	18.43	21.23	23.06	24.46	33.96
70	10.11	12.19	14.04	16.92	19.50	21.18	22.46	31.18
80	9.39	11.32	13.04	15.72	18.11	19.67	20.86	28.96
90	8.80	10.61	12.22	14.73	16.96	18.43	19.54	27.13
100	8.30	10.00	11.52	13.89	16.00	17.38	18.43	25.60
110	7.87	9.49	10.93	13.18	15.18	16.49	17.49	24.28
120	7.50	9.04	10.42	12.56	14.47	15.71	16.66	23.14

FUENTE: Elaboración propia.

A partir de los datos obtenidos del Cuadro 41, se construye las curvas IDT que relaciona la intensidad, duración y frecuencia (periodo de retorno) con la que se puede presentar un evento de lluvia.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 86. Curvas IDT - Estación "Huánuco".

Para el caso de la zona de estudio y según lo indicado en la norma OS.060 (Drenaje Pluvial Urbano) del RNE, se considerará el diseño para un periodo de retorno $T = 10$ años.

Entonces de la ecuación de intensidad máxima obtenida, se tiene:

$$I_{max.} = \frac{92.1726T^{0.2040}}{D^{0.5535}} = \frac{92.1726(10)^{0.2040}}{D^{0.5535}} = \frac{147.44}{D^{0.5535}} = \frac{147.44}{t_c^{0.5535}}$$

$$\therefore I = 147.44t_c^{-0.5535}$$

Donde:

I : Intensidad (mm/h).

t_c : Tiempo de concentración (min).

Cuya intensidad se determina a partir de la nueva ecuación obtenida para diferentes tiempos de concentración.

- Ecuación de la Intensidad Máxima según el Estudio IILA

Para la aplicación de esta metodología se hace uso de las constantes definidas en el “Estudio de la Higrología del Perú” realizado por el convenio IILA - SENAMHI - UNI (1983).

La región a la que pertenece la zona de estudio corresponde al código 123_3 , según el plano n 2-C “Zonas y Subzonas pluviométricas” del RNE (OS.060 – Drenaje Pluvial Urbano), tal como se muestra en la siguiente ilustración.



FUENTE: Elaboración propia en base al Reglamento Nacional de Edificaciones (OS.060), 2019.

Ilustración 87. Localización de la zona de estudio según el estudio IILA.

A continuación, se establecen los parámetros característicos de la zona de estudio, según la Figura 1, Tabla 3.a, Tabla 3.b y Tabla 3.c del RNE (OS.060 – Drenaje Pluvial Urbano), para la determinación de las siguientes fórmulas:

$$P_{24,T} = \varepsilon_g [1 + K \text{Log}_{10}(T)]$$

$$i_{t,T} = a [1 + K \text{Log}_{10}(T)] (t + b)^{n-1}$$

$$a = \left(\frac{1}{t_g} \right)^n \cdot \varepsilon_g$$

Donde:

$P_{24,T}$: Precipitación máxima en 24 horas.

ε_g : Parámetro para determinar $P_{24,T}$.

K : Parámetro de frecuencia.

T : Tiempo de retorno.

$i_{t,T}$: Intensidad de la lluvia (mm/h).

a : Parámetro de intensidad (mm).

t : Duración (horas).

b : Parámetro de tiempo (hora).

n : Parámetro de duración.

Los parámetros característicos de la zona de estudio son:

$$\varepsilon_g = 100 - 0.022y$$

$$K = K'_g = 0.553$$

$$t_g = 15.20$$

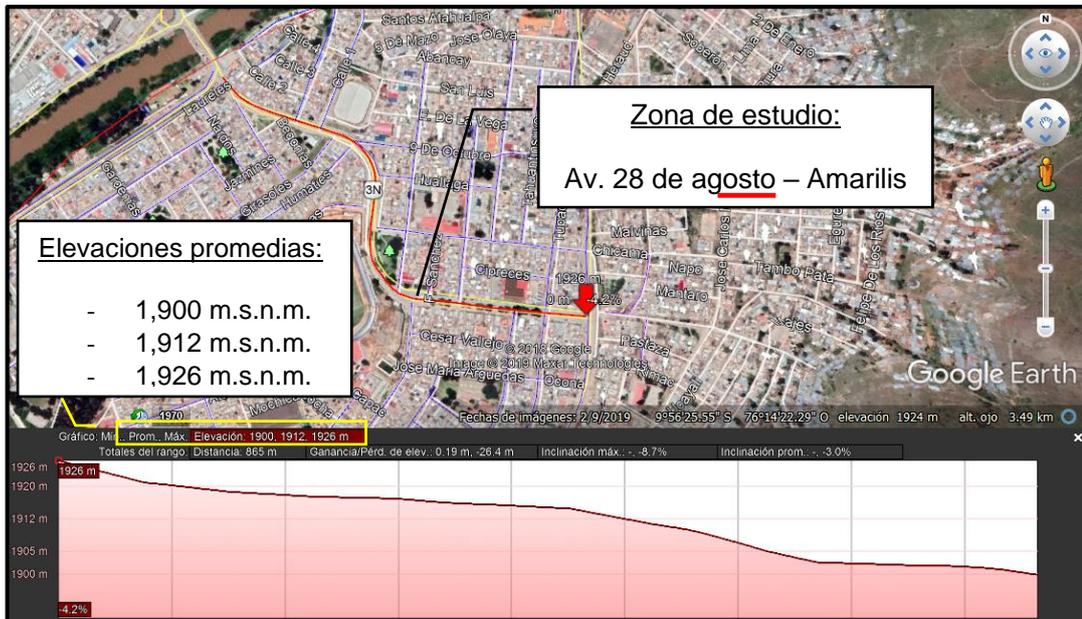
$$a = 37.85 - 0.0083y$$

$$b = 0.40$$

$$n = 0.405$$

Cálculo de ε_g :

Para hallar ε_g es necesario conocer la altitud y de la zona de estudio. Por tanto, las elevaciones promedio de referencia en la Avenida 28 de agosto del Distrito de Amarilis se obtuvieron a través del software GOOGLE EARTH PRO, tal como se muestra en la ilustración adjunta:



FUENTE: Elaboración propia en base a Google Earth Pro.

Ilustración 88. Identificación de las elevaciones promedio en la zona de estudio.

En donde:

$$y = \frac{1,900 + 1,912 + 1,926}{3} = 1,912.67 \approx 1,913$$

$$\therefore y = 1,913 \text{ m. s. n. m}$$

Donde:

y : Altitud promedio de la zona de estudio (m.s.n.m).

Luego:

$$\varepsilon_g = 100 - 0.022y = 100 - 0.022(1,913) \Rightarrow \varepsilon_g = 57.914$$

Cálculo de a :

$$a = 37.85 - 0.0083y = 37.85 - 0.0083(1,913) = 21.9721$$

Pero a también se calcula como:

$$a = \left(\frac{1}{t_g}\right)^n \cdot \varepsilon_g = \left(\frac{1}{15.20}\right)^{0.405} \cdot (57.914) = 19.2370$$

$$\Rightarrow a_{pon.} = \frac{21.9721 + 19.2370}{2} = 20.60455; \Rightarrow a_{pon.} = 20.6046$$

Entonces, los resultados de los parámetros característicos de la zona de estudio son:

Cuadro 42. Parámetros de zona.

HUÁNUCO	ZONA	123 ₃
t_g	15.20	
b	0.40	Sierra
$a_{pon.}$	20.6046	
$K = K'_g$	0.553	
ε_g	57.914	
n	0.405	
y	1,913	m.s.n.m

FUENTE: Elaboración propia.

Una vez hallado los parámetros característicos según el Cuadro 42, se determina la precipitación máxima en 24 horas, cuyos resultados se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 43. Precipitaciones máximas anuales según el estudio ILLA.

Periodo de retorno "T" (años)	Pmax. 24 horas (mm)
2	67.55
5	80.30
10	89.94
25	102.69
50	112.33
75	117.97
100	121.97
500	144.35

FUENTE: Elaboración propia.

Así también, se determina la ecuación de intensidad de lluvia sustituyendo los parámetros característicos, lo cual resulta:

$$i_{t,T} = 20.6046[1 + 0.553\text{Log}_{10}(T)](t + 0.40)^{0.405-1}$$

$$i_{t,T} = 20.6046[1 + 0.553\text{Log}_{10}(T)](t + 0.40)^{-0.595}$$

$$i_{t,T} = \frac{7.7951[1 + 0.553\text{Log}_{10}(T)]}{(t + 0.40)^{0.595}}$$

Por lo tanto $i_{t,T}$ viene a ser la representación matemática de las curvas IDT.

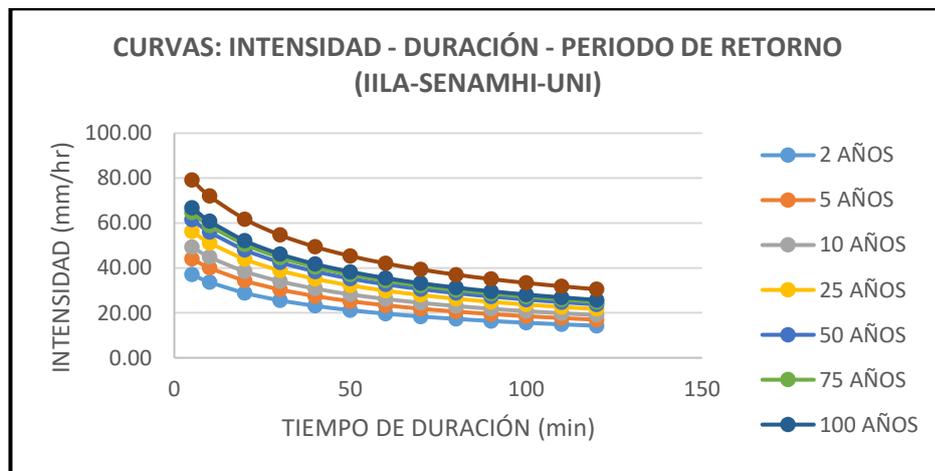
En el siguiente cuadro, se distribuye los valores de la ecuación de intensidad obtenida anteriormente para cada duración y periodo de retorno.

Cuadro 44. Distribución de intensidades máximas para las curvas IDT según el estudio IILA.

Duración "D" (min)	PERIODO DE RETORNO "T" (años)							
	2	5	10	25	50	75	100	500
5	37.04	44.03	49.32	56.31	61.59	64.69	66.88	79.15
10	33.70	40.06	44.86	51.22	56.03	58.84	60.84	72.01
20	28.91	34.36	38.48	43.94	48.06	50.48	52.19	61.77
30	25.59	30.42	34.07	38.90	42.55	44.68	46.20	54.68
40	23.13	27.49	30.79	35.16	38.46	40.39	41.76	49.42
50	21.22	25.22	28.25	32.25	35.28	37.05	38.30	45.33
60	19.67	23.39	26.19	29.90	32.71	34.35	35.52	42.04
70	18.40	21.87	24.50	27.97	30.59	32.13	33.22	39.32
80	17.33	20.59	23.07	26.34	28.81	30.26	31.28	37.02
90	16.41	19.50	21.84	24.94	27.28	28.65	29.62	35.05
100	15.60	18.55	20.78	23.72	25.95	27.25	28.17	33.34
110	14.90	17.71	19.84	22.65	24.78	26.02	26.90	31.84
120	14.28	16.97	19.01	21.70	23.74	24.93	25.77	30.51

FUENTE: Elaboración propia.

A partir de los datos obtenidos del Cuadro 44 se construye las curvas IDT que relaciona la intensidad, duración y frecuencia (periodo de retorno) con la que se puede presentar un evento de lluvia.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 89. Curvas IDT - Estudio IILA.

Para el caso de la zona de estudio y según lo indicado en la norma OS.060 (Drenaje Pluvial Urbano) del RNE, se considerará el diseño para un periodo de retorno $T = 10$ años.

Entonces de la ecuación de intensidad máxima obtenida, se tiene:

$$i_{t,T} = \frac{7.7951[1 + 0.553\text{Log}_{10}(T)]}{(t + 0.40)^{0.595}} = \frac{7.7951[1 + 0.553\text{Log}_{10}(10)]}{(t + 0.40)^{0.595}}$$

$$\Rightarrow I = \frac{2.11}{(t + 0.40)^{0.595}} = \frac{2.11}{(t_c + 0.40)^{0.595}}$$

$$\therefore I = 2.11(t_c + 0.40)^{-0.595}$$

Donde:

I : Intensidad (mm/h).

t_c : Tiempo de concentración (min).

Cuya intensidad se determina a partir de la nueva ecuación obtenida para diferentes tiempos de concentración.

Cuadro 45. Precipitaciones máximas según distribución Log Normal 3 parámetros y estudio IILA.

Periodo de retorno "T" (años)	Precipitaciones máximas (mm)	
	Log Normal 3 parámetros	Estudio IILA
2	24.52	67.55
5	31.11	80.30
10	35.11	89.94
25	39.86	102.69
50	43.21	112.33
75	45.11	117.97
100	46.44	121.97
500	53.64	144.35

FUENTE: Elaboración propia.

Después de haber determinado las curvas IDT mediante el criterio de Frederich Bell y el estudio IILA; y según los resultados tal como muestra el Cuadro 45, se puede decir que el valor de las precipitaciones máximas en 24 horas obtenidas de la distribución Log Normal 3 parámetros para cualquier periodo de retorno, son menores que las calculadas con la fórmula IILA. Por tanto, este último sobredimensiona el valor de las precipitaciones máximas en 24 horas.

Finalmente, para el estudio se debe asumir como precipitación máxima en 24 horas a las calculadas mediante la distribución de probabilidad Log Normal 3 parámetros. Asimismo, considerar la ecuación de intensidad I , hallada según la metodología de Frederick Bell.

Por lo tanto, para la presente investigación la ecuación de intensidad máxima queda expresa como:

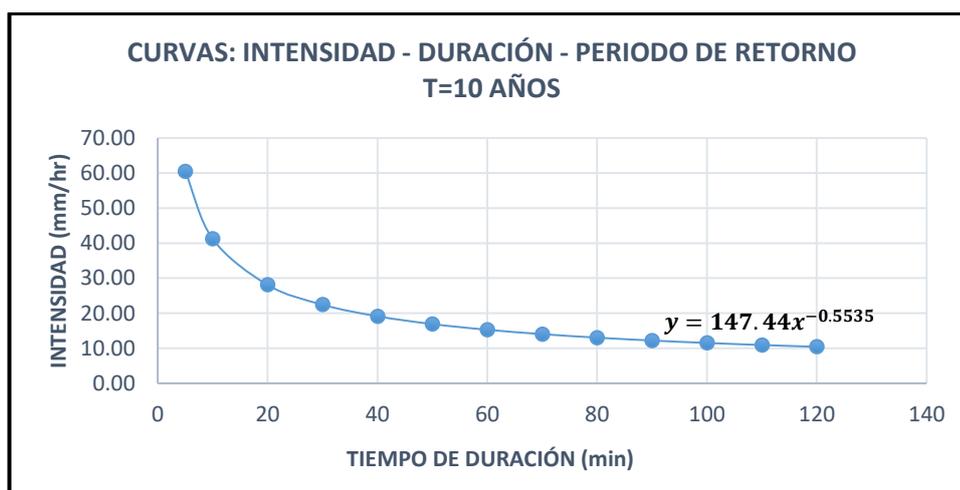
$$I = 147.44x^{-0.5535}$$

Donde:

I : Intensidad (mm/h).

$x = t_c$: Tiempo de concentración o tiempo de registro (min).

Adicionalmente se muestra la curva IDT, considerando el diseño para un periodo de retorno $T = 10$ años.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 90. Curvas IDT - $T = 10$ años.

- **Análisis de la Tormenta del Proyecto**

Toda tormenta de diseño es un patrón de precipitación que se utiliza en el diseño de un sistema hidrológico, es la que conforma la entrada al sistema, y los caudales resultantes a través de este se calculan utilizando procedimientos de lluvia – escorrentía. La tormenta de diseño puede definirse también mediante un valor de profundidad de precipitación en un punto, mediante el hietograma de diseño que

especifique la distribución temporal de la precipitación durante una tormenta (Chow, Maidment & Mays, 1994).

Hietogramas de diseño mediante el Método del Bloque Alterno

Una forma propia de conocer la variación de las precipitaciones e intensidades durante el tiempo de duración de una tormenta es a través del método del bloque alternante, cuyo método consiste en la distribución a partir de una curva IDT conocida, de las láminas de precipitación para n intervalos de tiempo Δt de la duración total de la lluvia, tal que se cumpla:

$$t_c = n \cdot \Delta t$$

Donde:

t_c : Duración o tiempo de concentración (min).

n : Número de intervalos de tiempo.

Δt : Intervalo de tiempo (min).

Los pasos a seguir para el cálculo del hietograma de diseño de una lluvia a partir de la curva IDT descrita en la Ilustración 90, es la siguiente:

- Se consideran los parámetros de entrada, siendo:

$$y = 147.44x^{-0.5535}$$

$$t_c = 6 \text{ hr}$$

$$\Delta t = 15 \text{ min}$$

$$n = 24$$

- Se calculan las intensidades por cada intervalo de tiempo acumulado con la ecuación descrita. A modo de aplicación, se tiene:

$$I = y = 147.44x^{-0.5535} = 147.44(15)^{-0.5535} = 32.93$$

$$\Rightarrow I_{01} = 32.93 \text{ mm/h}$$

- Se calculan las láminas de precipitación acumulada multiplicando la intensidad por Δt :

$$P = \frac{I \cdot \Delta t}{60} = \frac{32.93(15)}{60} = 8.23 \Rightarrow P_{01} = 8.23 \text{ mm}$$

- Se calcula las láminas de precipitación para cada intervalo de tiempo:

$$\Delta P = P_i - P_{i-1} = 8.23 - 0 = 8.23 \Rightarrow P'_{01} = 8.23 \text{ mm}$$

- Se calcula la intensidad parcial:

$$I' = \frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{8.23(60)}{15} = 32.92 \approx 3.93 \Rightarrow I'_{01} = 32.93 \text{ mm/h}$$

En el Cuadro 46 se muestran los resultados de los cálculos de precipitaciones e intensidades para distintos intervalos de duración. Asimismo, la columna 7 y 8 de la tabla se obtiene de reordenar los resultados de las láminas de precipitación e intensidad parcial, tal que el de mayor magnitud ocurra en el centro de la duración t_c , mientras que los restantes han sido arreglados de manera alternante en orden descendente, primero hacia la derecha y luego hacia la izquierda según la magnitud de la precipitación e intensidad.

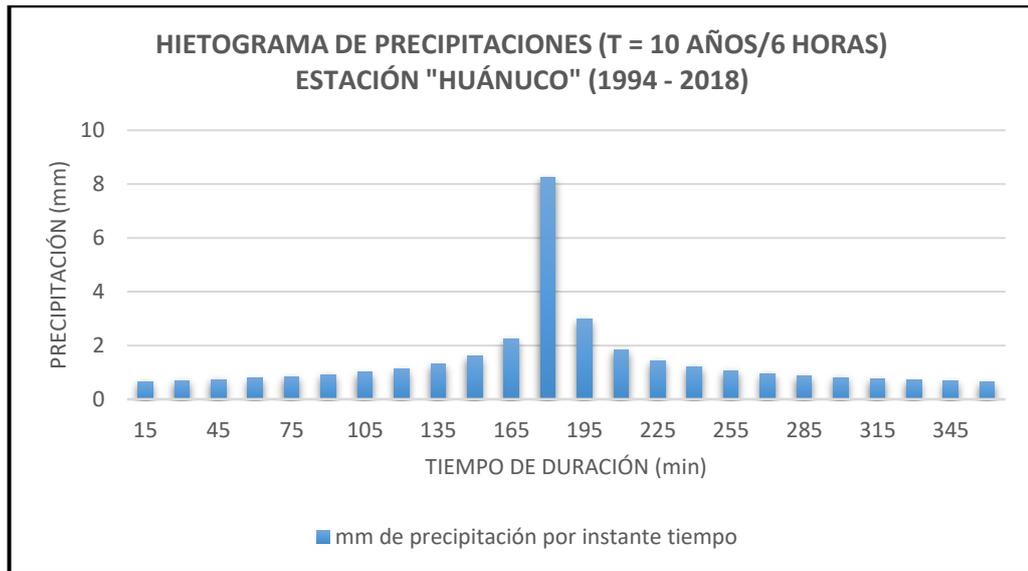
Cuadro 46. Valores del Hietograma – T = 10 años.

VALORES PARA LA OBTENCIÓN DEL HIETOGRAMA - T = 10 AÑOS							
DURACIÓN DE LA TORMENTA: 6 horas				INTENSIDAD DE LLUVIA : 5.67 mm/h			
INTERVALOS DE TIEMPO : 15 minutos				PRECIPITACIÓN EN 24 HORAS: 34.03 milímetros			
Nº	Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm/h)
01	15	32.93	8.23	8.23	32.93	0.66	2.62
02	30	22.44	11.22	2.99	11.95	0.69	2.76
03	45	17.93	13.45	2.23	8.91	0.73	2.92
04	60	15.29	15.29	1.84	7.37	0.78	3.12
05	75	13.51	16.89	1.60	6.41	0.84	3.35
06	90	12.22	18.32	1.43	5.73	0.91	3.63
07	105	11.22	19.63	1.31	5.22	1.00	4.00
08	120	10.42	20.84	1.21	4.82	1.13	4.50
09	135	9.76	21.96	1.13	4.50	1.31	5.22
10	150	9.21	23.02	1.06	4.23	1.60	6.41
11	165	8.73	24.02	1.00	4.00	2.23	8.91
12	180	8.32	24.97	0.95	3.81	8.23	32.93
13	195	7.96	25.88	0.91	3.63	2.99	11.95
14	210	7.64	26.75	0.87	3.48	1.84	7.37
15	225	7.36	27.59	0.84	3.35	1.43	5.73
16	240	7.10	28.39	0.81	3.23	1.21	4.82
17	255	6.86	29.17	0.78	3.12	1.06	4.23
18	270	6.65	29.93	0.75	3.02	0.95	3.81
19	285	6.45	30.66	0.73	2.92	0.87	3.48
20	300	6.27	31.37	0.71	2.84	0.81	3.23
21	315	6.11	32.06	0.69	2.76	0.75	3.02

22	330	5.95	32.73	0.67	2.69	0.71	2.84
23	345	5.81	33.39	0.66	2.62	0.67	2.69
24	360	5.67	34.03	0.64	2.56	0.64	2.56

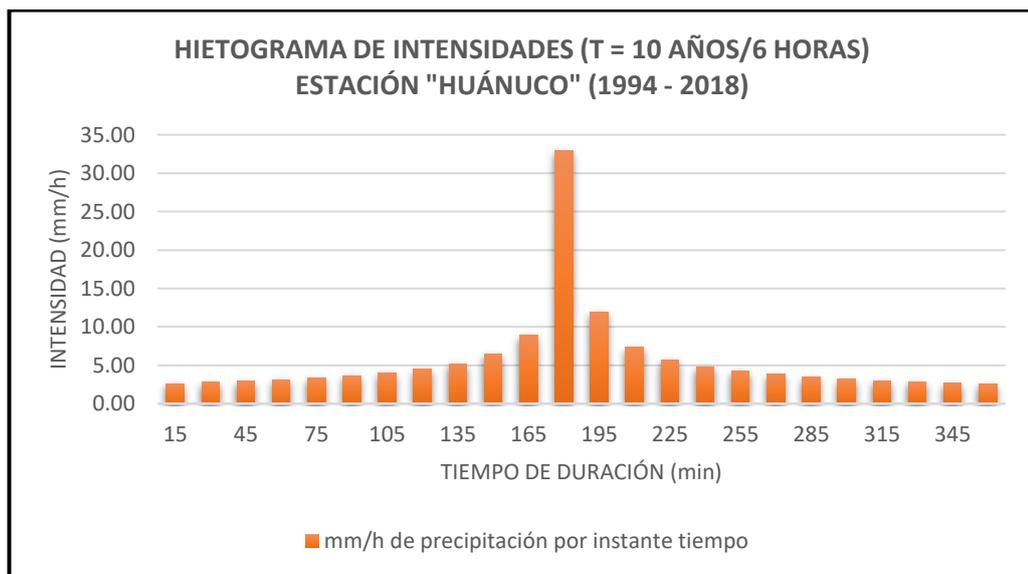
FUENTE: Elaboración propia.

Finalmente se obtienen los hietogramas, en función de la precipitación alternada y la duración total de la tormenta para el caso del hietograma de precipitaciones Ilustración 91 , y en función de la intensidad parcial alternada y la duración total de la tormenta para el caso del hietograma de intensidades Ilustración 92.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 91. Hietograma de diseño - Precipitaciones.



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 92. Hietograma de diseño - Intensidades.

Propuesta de Diseño del Sistema de Drenaje Pluvial

En esta parte del análisis e interpretación de los datos, se procesarán los datos obtenidos de diferentes campos estudiados para plantear el diseño definitivo del sistema de drenaje pluvial. Los procesos a seguir son lo siguiente:

- **Ensayos de Laboratorio de Mecánica de Suelos**

Se realizará el análisis de datos con la información de las muestras obtenidas del laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad de Huánuco.

- a) Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado – NTP 339.128 (ASTM D 422)**

Para este análisis, se tuvo que procesar los datos obtenidos del laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad de Huánuco en un cuadro de cálculo y determinar los valores pertenecientes a cada tamiz para luego proceder a elaborar la curva granulométrica, el coeficiente de uniformidad y curvatura; así como sus diámetros aparentes.

Procesamiento y cálculos de la prueba

Se calcula el porcentaje retenido sobre cada tamiz en la siguiente forma:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso Retenido en el tamiz}}{\text{Peso total}} * 100$$

Se calcula el porcentaje más fino. Restando en forma acumulativa de 100 % los porcentajes retenidos sobre cada tamiz.

$$\% \text{ Que pasa} = 100 - \% \text{ Retenido acumulado}$$

Se determina también la humedad higroscópica como la pérdida de peso de una muestra secada al aire cuando se seca posteriormente al horno, expresada como un porcentaje del peso de la muestra secada al horno. Se halla de la manera siguiente:

$$\% \text{ Humedad higroscópica} = \frac{W - W_1}{W_1} * 100$$

Donde:

W : Peso del suelo secado al aire o al horno si es el caso (gr).

W_1 : Peso del suelo secado en el horno después del lavado del material (gr).

Para determinar el porcentaje de error en peso que según el manual de ensayo de materiales del MTC (2016), afirma que: “La suma de los pesos de todas las fracciones y el peso inicial de la muestra, no debe diferir en más de 1 %” (p. 46).

La ecuación para determinar el porcentaje de error en peso es la siguiente:

$$\% \text{ error en peso} = \left(1 - \frac{\sum \text{Peso retenido}}{\text{Peso muestra seca}} \right) * 100$$

▪ **Para la Muestra N°01**

A continuación, se presenta el cuadro correspondiente al análisis granulométrico de suelos por tamizado con sus respectivos resultados.

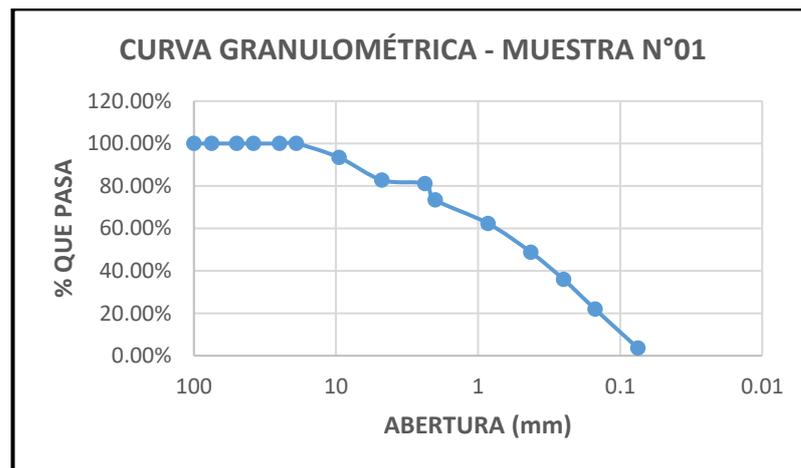
Cuadro 47. Análisis granulométrico de suelos por tamizado para la Muestra N°01.

 UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL					
TESIS :	"DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO – 2019".				
TESISTA:	BACH. JOHN WILLIAMS RAMOS VIGILIO.				
<u>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO</u>					
MUESTRA N°01					
Antes del lavado			Después del lavado		
Peso de la Muestra seca: 928.60 gr.			Peso de la muestra seca : 752.50 gr.		
			Porcentaje humedad higroscópica: 23.40 %.		
			Porcentaje de error en peso : 0.86 %.		
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% RETERNIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100.000	0.00	0.00 %	0.00 %	100.00 %
3"	75.000	0.00	0.00 %	0.00 %	100.00 %
2"	50.000	0.00	0.00 %	0.00 %	100.00 %
1 1/2"	38.000	0.00	0.00 %	0.00 %	100.00 %
1"	25.000	0.00	0.00 %	0.00 %	100.00 %

3/4"	19.000	0.00	0.00 %	0.00 %	100.00 %
3/8"	9.500	49.20	6.60 %	6.60 %	93.40 %
N°04	4.750	79.30	10.63 %	17.23 %	82.77 %
N°08	2.360	12.80	1.72 %	18.94 %	81.06 %
N°10	2.000	56.80	7.61 %	26.55 %	73.45 %
N°20	0.850	82.90	11.11 %	37.67 %	62.33 %
N°40	0.425	101.30	13.58 %	51.25 %	48.75 %
N°60	0.250	95.60	12.82 %	64.06 %	35.94 %
N°100	0.150	104.40	13.99 %	78.06 %	21.94 %
N°200	0.075	137.00	18.36 %	96.42 %	3.58 %
CAZUELA		26.70	3.58 %	100.00 %	
		746.00	100.00 %		

FUENTE: Elaboración propia.

A partir del Cuadro 47 generado, se elabora la curva granulométrica utilizando los datos de abertura que relacionan el diámetro de cada tamiz (eje de las abscisas), con los datos de porcentaje pasante en cada tamiz (eje de las ordenadas).



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 93. Curva granulométrica – Muestra N°01.

Una vez determinada la curva granulométrica, es necesario determinar el coeficiente de uniformidad y el coeficiente de curvatura para saber si todas las porciones retenidas de suelos descritos en el Cuadro 47, sean consideradas bien graduadas o mal graduadas y de esta manera clasificar a detalle el tipo de suelo posteriormente.

Siendo:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} * D_{10}}$$

Donde:

C_u : Coeficiente de uniformidad.

C_c : Coeficiente de curvatura.

D_{60} : Diámetro correspondiente al 60 % de finos en la curva granulométrica.

D_{30} : Diámetro correspondiente al 30 % de finos.

D_{10} : Diámetro efectivo.

Para determinar los diámetros correspondientes D_{10} , D_{30} y D_{60} , es necesario interpolar los datos de abertura que relaciona el diámetro de cada tamiz con los datos de porcentaje pasante del Cuadro 47. Siendo así, se tiene lo siguiente:

Para el D_{10} :

0.15 mm → 21.94

X mm → 10.00

0.075 mm → 3.58

Entonces:

$$\frac{0.15 - X}{0.15 - 0.075} = \frac{21.94 - 10}{21.94 - 3.58} \Rightarrow X = 0.1012$$

$$\therefore D_{10} = 0.10 \text{ mm}$$

De la misma forma se determinaron el D_{30} y D_{60} , obteniéndose los siguientes resultados:

$$D_{30} = 0.21 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 0.78 \text{ mm}$$

Luego, sustituyendo D_{10} , D_{30} y D_{60} en C_u y C_c , se tiene:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0.78 \text{ mm}}{0.10 \text{ mm}} = 7.80$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} * D_{10}} = \frac{(0.21)^2}{0.78(0.10)} = 0.57$$

▪ **Para la Muestra N°02**

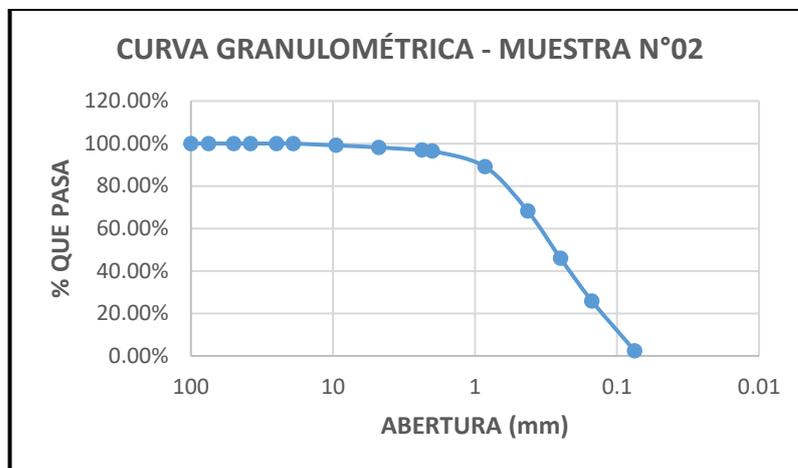
A continuación, se presenta la tabla correspondiente al análisis granulométrico de suelos por tamizado con sus respectivos resultados.

Cuadro 48. Análisis granulométrico de suelos por tamizado para la Muestra N°02.

 UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL 					
TESIS :	"DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO – 2019".				
TESISTA:	BACH. JOHN WILLIAMS RAMOS VIGILIO.				
<u>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO</u> MUESTRA N°02					
Antes del lavado	Después del lavado				
Peso de la muestra seca: 911.30 gr.	Peso de la muestra seca : 734.70 gr.				
	Porcentaje humedad higroscópica: 24.04 %.				
	Porcentaje de error en peso : 0.48 %.				
TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO	% RETERNO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100.000	0.00	0.00 %	0.00 %	100.00 %
3"	75.000	0.00	0.00 %	0.00 %	100.00 %
2"	50.000	0.00	0.00 %	0.00 %	100.00 %
1 1/2"	38.000	0.00	0.00 %	0.00 %	100.00 %
1"	25.000	0.00	0.00 %	0.00 %	100.00 %
3/4"	19.000	0.00	0.00 %	0.00 %	100.00 %
3/8"	9.500	6.50	0.89 %	0.89 %	99.11 %
N°04	4.750	6.70	0.92 %	1.81 %	98.19 %
N°08	2.360	9.60	1.31 %	3.12 %	96.88 %
N°10	2.000	2.70	0.37 %	3.49 %	96.51 %
N°20	0.850	54.40	7.44 %	10.93 %	89.07 %
N°40	0.425	153.00	20.92 %	31.85 %	68.15 %
N°60	0.250	162.40	22.21 %	54.06 %	45.94 %
N°100	0.150	147.20	20.13 %	74.19 %	25.81 %
N°200	0.075	171.40	23.44 %	97.63 %	2.37 %
CAZUELA		17.30	2.37 %	100.00 %	
		731.20	100.00 %		

FUENTE: Elaboración propia.

A partir del Cuadro 48 generado, se elabora la curva granulométrica utilizando los datos de abertura que relacionan el diámetro de cada tamiz (eje de las abscisas), con los datos de porcentaje pasante en cada tamiz (eje de las ordenadas).



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 94. Curva granulométrica – Muestra N°02.

Una vez determinada la curva granulométrica, es necesario determinar el coeficiente de uniformidad y el coeficiente de curvatura al igual que la Muestra N°01, para saber si todas las porciones retenidas de suelos descritos en el Cuadro 48, sean consideradas bien graduadas o mal graduadas y de esta manera clasificar a detalle el tipo de suelo posteriormente.

Para determinar los diámetros correspondientes D_{10} , D_{30} y D_{60} , es necesario interpolar los datos de abertura que relaciona el diámetro de cada tamiz con los datos de porcentaje pasante del Cuadro 48. Siendo así, se tiene lo siguiente:

Para el D_{10} :

$$0.15 \text{ mm} \rightarrow 25.81$$

$$X \text{ mm} \rightarrow 10.00$$

$$0.075 \text{ mm} \rightarrow 2.37$$

Entonces:

$$\frac{0.15 - X}{0.15 - 0.075} = \frac{25.81 - 10}{25.81 - 2.37} \Rightarrow X = 0.0994$$

$$\therefore D_{10} = 0.10 \text{ mm}$$

De la misma forma se determinaron el D_{30} y D_{60} , obteniéndose los siguientes resultados:

$$D_{30} = 0.17 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 0.36 \text{ mm}$$

Luego, sustituyendo D_{10} , D_{30} y D_{60} en C_u y C_c , se tiene:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0.36 \text{ mm}}{0.10 \text{ mm}} = 3.60$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} * D_{10}} = \frac{(0.17)^2}{0.36(0.10)} = 0.80$$

Análisis de la Prueba

▪ Para la Muestra N°01

Según el Cuadro 47, la Muestra N°01 se caracteriza por tener los siguientes tamaños:

- ❖ Tamaño máximo absoluto: **3/4" = 19.0 mm.**
- ❖ Tamaño máximo nominal : **3/8" = 9.5 mm.**

Para el siguiente análisis, es necesario identificar el porcentaje de cada tipo de suelo y evaluarlos como bien graduada o mal graduada, según sea el caso.

Con la ayuda del Cuadro 47, se identifica el porcentaje de material de cada tipo de suelo, llegando a la conclusión siguiente:

- ❖ Porcentaje grava (Retiene el tamiz N°04) : **17.23%**
- ❖ Porcentaje arena (Pasa el N°04 y retiene el N°200) : **79.19%**
- ❖ Porcentaje de limos y arcillas (Pasa el tamiz N°200): **3.58%**

Según los cálculos efectuados de C_c y C_u ; y sabiendo que el porcentaje de arena representa ser mayor, entonces para que

este tipo de suelo sea considerado bien graduada, se debe cumplir con lo siguiente:

$$C_u > 6$$

$$1 < C_c < 3$$

Donde:

$$C_u = 7.80 > 6 \text{ (Cumple)}$$

$$1 < C_c = 0.57 < 3 \text{ (No cumple)}$$

En este último análisis de la prueba, una de las condiciones de graduación de la Muestra N°01 no se llega a cumplir. Por tanto, la muestra es considerada como **arena - mal graduada**. En el ensayo de clasificación unificada de suelos (SUCS), se detallará mejor.

Comentario: De acuerdo con el Cuadro 47, para los suelos en los cuales más del 10 al 12 % del material pasa el tamiz N°200, es necesario realizar el análisis granulométrico por el método del hidrómetro. En este caso no es necesario desarrollar dicho análisis ya que el porcentaje del total pasante por el tamiz N°200 es de 3.58 %.

▪ **Para la Muestra N°02**

Según el Cuadro 48, la Muestra N°02 se caracteriza por tener los siguientes tamaños:

❖ Tamaño máximo absoluto: **3/4" = 19.0 mm.**

❖ Tamaño máximo nominal : **3/8" = 9.5 mm.**

Para el siguiente análisis, es necesario identificar el porcentaje de cada tipo de suelo y evaluarlos como bien graduada o mal graduada, según sea el caso.

Con la ayuda del Cuadro 48, se identifica el porcentaje de material de cada tipo de suelo, llegando a la conclusión siguiente:

❖ Porcentaje grava (Retiene el tamiz N°04) : **1.81 %**

- ❖ Porcentaje arena (Pasa el N°04 y retiene el N°200) : **95.82 %**
- ❖ Porcentaje de limos y arcillas (Pasa el tamiz N°200): **2.37 %**

Según los cálculos efectuados de C_c y C_u ; y viendo que el porcentaje de arena representa ser mayor, entonces para que este tipo de suelo sea considerado bien graduada, se debe cumplir con lo siguiente:

$$C_u > 6$$

$$1 < C_c < 3$$

Donde:

$$C_u = 3.60 > 6 \text{ (No cumple)}$$

$$1 < C_c = 0.80 < 3 \text{ (No cumple)}$$

En este último análisis de la prueba, ambas condiciones de graduación de la Muestra N°02 no se llega a cumplir. Por tanto, la muestra es considerada como **arena - mal graduada**. En el ensayo de clasificación unificada de suelos (SUCS), se detallará mejor.

Comentario: De acuerdo con el Cuadro 48, para los suelos en los cuales más del 10 al 12 % del material pasa el tamiz N°200, es necesario realizar el análisis granulométrico por el método del hidrómetro. En este caso no es necesario desarrollar dicho análisis ya que el porcentaje del total pasante por el tamiz N°200 es de 2.37 %.

b) Gravedad Específica de los Sólidos del Suelo (picnómetro) – NTP 339.131 (ASTM D 854)

Para este tipo de ensayo, se siguió las indicaciones que presenta el manual de ensayo de materiales del MTC y demás normas afines.

Calibración del Picnómetro

El frasco volumétrico (picnómetro) se trabajó con el agua contenido a distintas temperaturas, es decir, se calibró directamente dentro

del intervalo de temperaturas que se pudo encontrar en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad de Huánuco.

A continuación, se realiza el análisis con los datos obtenidos para cada tipo de muestra.

- **Para la Muestra N°01**

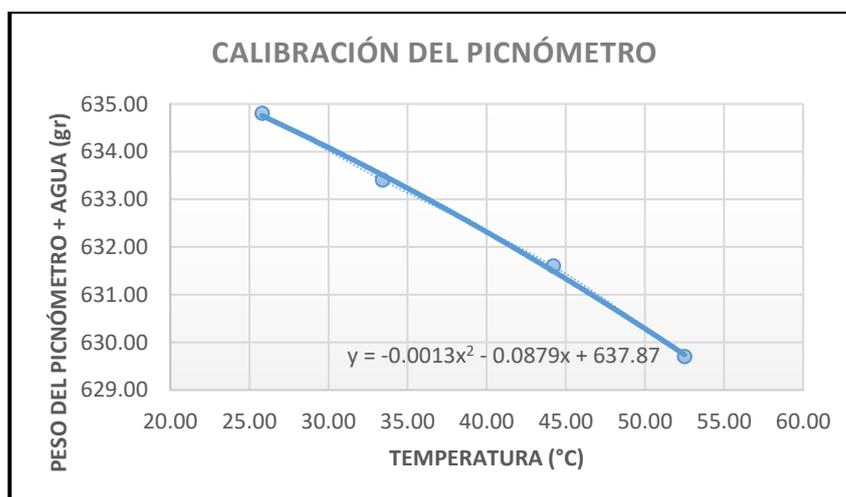
El cuadro siguiente, muestra los datos de calibración que fueron tomados previamente durante el periodo del ensayo.

Cuadro 49. Datos de calibración – Muestra N°01.

PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA (gr)	TEMPERATURA (°C)
634.80	25.80
633.40	33.40
631.60	44.20
629.70	52.50

FUENTE: Elaboración propia.

A partir del Cuadro 49, se elabora la curva de calibración del frasco volumétrico (Picnómetro), teniendo en cuenta la distribución de la temperatura (eje de las abscisas) y la distribución del peso del frasco contenido con el agua (eje de las ordenadas).



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 95. Calibración del frasco volumétrico (Picnómetro) – Muestra N°01.

La ilustración anterior muestra la gráfica de la línea de tendencia de los datos localizados en el plano cartesiano; así también,

muestra su ecuación representativa que permitirá determinar posteriormente el peso del picnómetro más agua, dependiendo de la temperatura final tomada en el ensayo.

▪ **Para la Muestra N°02**

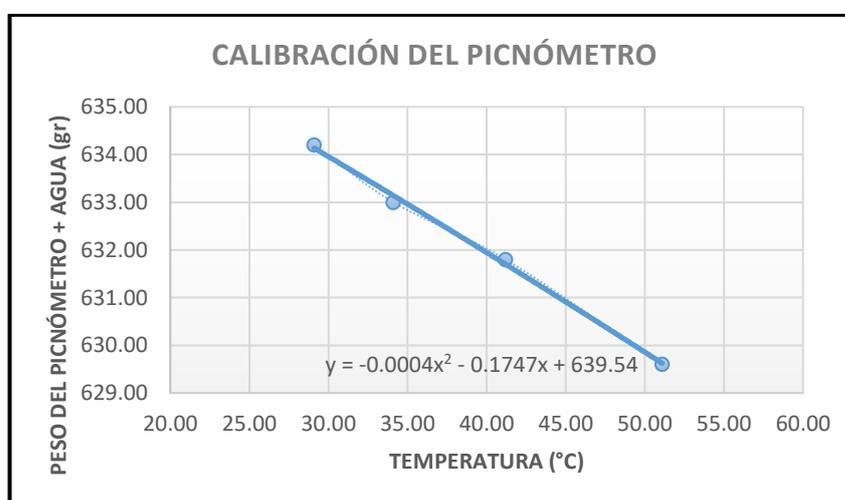
El cuadro siguiente, muestra los datos de calibración que fueron tomados previamente durante el periodo del ensayo.

Cuadro 50. Datos de calibración – Muestra N°01.

PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA (gr)	TEMPERATURA (°C)
634.20	29.10
633.00	34.10
631.80	41.20
629.60	51.10

FUENTE: Elaboración propia.

A partir del Cuadro 50, se elabora la curva de calibración del frasco volumétrico (Picnómetro), teniendo en cuenta la distribución de la temperatura (eje de las abscisas) y la distribución del peso del frasco contenido con el agua (eje de las ordenadas).



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 96. Calibración del frasco volumétrico (Picnómetro) – Muestra N°02.

La ilustración anterior muestra la gráfica de la línea de tendencia de los datos localizados en el plano cartesiano; así también, muestra su ecuación representativa que permitirá determinar

posteriormente el peso del picnómetro más agua, dependiendo de la temperatura final tomada en el ensayo.

Procesamiento y Cálculos de la Prueba

La gravedad específica de los sólidos se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$G_s = \frac{W_0 * K}{W_0 + W_2 - W_1}$$

Donde:

K : Factor de corrección basado en el peso específico del agua a 20 °C.

W_1 : Peso del picnómetro más agua más suelo a la temperatura del ensayo (gr).

W_0 : Peso del suelo seco (gr).

W_2 : Peso del picnómetro más agua a la temperatura del ensayo (gr).

▪ Para la Muestra N°01

Previamente al cálculo, se presentan los datos del ensayo obtenidos del laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad de Huánuco.

Cuadro 51. Datos de ensayo “Gs” – Muestra N°01.

DESCRIPCIÓN	MUESTRA N°01
VOLUMEN DEL PICNÓMETRO	500.00 ml.
PESO DEL PICNÓMETRO	137.70 gr.
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA + SUELO	704.20 gr.
PESO SECO DE LA MUESTRA	116.60 gr.
TEMPERATURA	30.00 °C.

FUENTE: Elaboración propia.

De acuerdo con la ecuación de G_s , los datos que faltaría completar para aplicar dicha ecuación es el factor de corrección K y el peso del picnómetro más agua W_2 .

Para hallar el factor de corrección K , se hace uso de la siguiente ilustración:

Temp.	G	K	Temp.	G	K	Temp.	G	K
18	0.9986	1.0004	19	0.9984	1.0002	20	0.9982	1
0.1	60	4	0.1	41	2	0.1	21	0
0.2	58	4	0.2	39	2	0.2	19	0
0.3	56	3	0.3	37	1	0.3	17	0.9999
0.4	54	3	0.4	35	1	0.4	15	9
0.5	52	3	0.5	33	1	0.5	13	9
0.6	50	3	0.6	31	1	0.6	10	9
0.7	49	3	0.7	29	1	0.7	8	8
0.8	47	2	0.8	27	0	0.8	6	8
0.9	45	2	0.9	25	0	0.9	4	8
21	0.998	0.9998	22	0.9978	0.9996	23	0.9976	0.9993
0.1	0	8	0.1	78	6	0.1	54	3
0.2	798	8	0.2	75	5	0.2	51	3
0.3	96	7	0.3	73	5	0.3	49	3
0.4	93	7	0.4	70	5	0.4	46	2
0.5	91	7	0.5	68	5	0.5	44	2
0.6	89	7	0.6	65	4	0.6	42	2
0.7	87	6	0.7	63	4	0.7	39	2
0.8	85	6	0.8	60	4	0.8	37	1
0.9	83	6	0.9	58	4	0.9	34	1
24	0.9973	0.9991	25	0.9971	0.9988	26	0.9968	0.9986
0.1	29	1	0.1	4	8	0.1	78	
0.2	27	0	0.2	2	8	0.2	76	
0.3	24	0	0.3	699	8	0.3	73	
0.4	22	0	0.4	97	7	0.4	70	
0.5	20	0	0.5	94	7	0.5	68	4
0.6	17	89	0.6	91	7	0.6	65	
0.7	14	9	0.7	89	7	0.7	63	
0.8	12	9	0.8	87	6	0.8	60	
0.9	9	9	0.9	84	6	0.9	57	
27	0.9965	0.9983	28	0.9963	0.9988	29	0.996	0.9977
0.1	51	3	0.1	23	0	0.1	94	7
0.2	48	2	0.2	20	0	0.2	91	7
0.3	46	2	0.3	17	0	0.3	88	6
0.4	43	2	0.4	14	79	0.4	85	6
0.5	40	2	0.5	11	9	0.5	82	6
0.6	37	1	0.6	8	9	0.6	79	6
0.7	34	1	0.7	6	8	0.7	76	5
0.8	32	1	0.8	3	8	0.8	73	5
0.9	29	1	0.9	0	8	0.9	70	5
30	0.9957	0.9974	31	0.9954	0.9971	32	0.9951	0.9968
0.1	64	4	0.1	33	1	0.1	2	8
0.2	61	4	0.2	30	1	0.2	499	8
0.3	58	3	0.3	27	0	0.3	96	7
0.4	55	3	0.4	24	0	0.4	93	7
0.5	52	3	0.5	21	0	0.5	90	7
0.6	49	3	0.6	18	69	0.6	86	6
0.7	46	2	0.7	15	9	0.7	83	6
0.8	43	2	0.8	12	9	0.8	80	6
0.9	40	2	0.9	8	9	0.9	77	5

FUENTE: Elaboración propia en base a la Universidad Nacional de Ingeniería (Primer taller de mecánica de suelos – marzo 2006), 2006.

Ilustración 97. Peso específico (G) del agua y factor de corrección (K).

Al haber observado la Ilustración 97 y teniendo en cuenta la temperatura de 30 °C obtenida del ensayo del laboratorio. Se puede decir que el factor de corrección es igual a 0.9974.

Luego, para determinar el peso del picnómetro más agua a la temperatura del ensayo, es necesario tomar la ecuación representativa que se observa en la Ilustración 95, ya que relaciona la temperatura con el peso del picnómetro más agua.

Entonces, se tiene:

$$y = -0.0013x^2 - 0.0879x + 637.87$$

$$y = -0.0013(30)^2 - 0.0879(30) + 637.87 = 634.063$$

$$\therefore y = 634.06 \text{ gr.}$$

Representa el valor del peso del picnómetro más agua a temperatura del ensayo.

En resumen, los datos a utilizar para el cálculo de la gravedad específica de los sólidos, serían:

$$K: 0.0974$$

$$W_1: 704.20 \text{ gr.}$$

$$W_0: 116.60 \text{ gr.}$$

$$W_2: 634.06 \text{ gr.}$$

Luego, reemplazando los valores del ensayo en la ecuación de G_s , entonces:

$$G_{s(1)} = \frac{W_0 * K}{W_0 + W_2 - W_1} = \frac{116.60(0.0974)}{116.60 + 634.06 - 704.20} = 2.5032$$

$$\therefore G_{s(1)} = 2.50 \text{ gr/cm}^3.$$

Por lo tanto, $G_{s(1)}$ representa ser el valor de la gravedad específica para la Muestra N°01.

▪ **Para la Muestra N°02**

Previamente al cálculo, se presentan los datos del ensayo obtenidos del laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad de Huánuco.

Cuadro 52. Datos de ensayo “Gs” – Muestra N°02.

DESCRIPCIÓN	MUESTRA N°01
VOLUMEN DEL PICNÓMETRO	500.00 ml.
PESO DEL PICNÓMETRO	137.80 gr.
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA + SUELO	701.50 gr.
PESO SECO DE LA MUESTRA	112.00 gr.
TEMPERATURA	30.00 °C.

FUENTE: Elaboración propia.

Así también, para la Muestra N°02 y de acuerdo con la ecuación de G_s , los datos que faltaría completar para aplicar dicha ecuación es el factor de corrección K y el peso del picnómetro más agua W_2 . Al igual que la Muestra N°01 y teniendo en cuenta la temperatura de 30 °C obtenida del ensayo del laboratorio. Se puede decir que el factor de corrección para la Muestra N°02, es igual a 0.9974.

Luego, para determinar el peso del picnómetro más agua a la temperatura del ensayo, es necesario tomar la ecuación representativa que se observa en la Ilustración 96, ya que relaciona la temperatura con el peso del picnómetro más agua. Entonces, se tiene:

$$y = -0.0004x^2 - 0.1747x + 639.54$$

$$y = -0.0004(30)^2 - 0.1747(30) + 639.54 = 633.939$$

$$\therefore y = \mathbf{633.94 \text{ gr.}}$$

Representa el valor del peso del picnómetro más agua a temperatura del ensayo.

En resumen, los datos a utilizar para el cálculo de la gravedad específica de los sólidos, serían:

$$K: 0.0974$$

$$W_1: 701.50 \text{ gr.}$$

$$W_0: 112.00 \text{ gr.}$$

$$W_2: 633.94 \text{ gr.}$$

Luego, reemplazando los valores del ensayo en la ecuación de G_s , entonces:

$$G_{s(2)} = \frac{W_0 * K}{W_0 + W_2 - W_1} = \frac{112.00(0.0974)}{112.00 + 633.94 - 701.50} = 2.5137$$

$$\therefore G_{s(2)} = \mathbf{2.51 \text{ gr/cm}^3}.$$

Por lo tanto, $G_{s(2)}$ representa ser el valor de la gravedad específica para la Muestra N°02.

A continuación, se presenta el cuadro de los resultados del cálculo.

Cuadro 53. Resultados del cálculo de la gravedad específica de los sólidos del suelo (picnómetro).

DESCRIPCIÓN	MUESTRA N°01	MUESTRA N°02
Volumen del Picnómetro	500.00 ml.	500.00 ml.
Peso del Picnómetro	137.70 gr.	137.80 gr.
Peso del Picnómetro + Agua + Suelo	704.20 gr.	701.50 gr.
Temperatura	30.00 °C	30.00 °C
Peso seco de la Muestra	116.60 gr.	112.00 gr.
Peso del Picnómetro + Agua	634.06 gr.	633.94 gr.
Factor de corrección "K"	0.0974	0.0974
Peso específico relativo de sólidos	2.50 gr/cm ³ .	2.51 gr/cm ³ .

FUENTE: Elaboración propia.

Se obtuvo la gravedad específica para la Muestra N°01 de 2.50 gr/cm³ y para la Muestra N°02 de 2.51 gr/cm³. Para los cálculos posteriores se trabajará con la gravedad específica ponderada de ambas muestras.

c) Clasificación Unificada de Suelos (SUCS) – NTP 339.134 (ASTM D 2487)

Para este último ensayo se determinará el tipo de suelo bajo los criterios básicos del SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), en función a los resultados obtenidos del análisis granulométrico por tamizado que se vio anteriormente.

Para conocer mejor a detalle este tipo de ensayo, es necesario saber que el SUCS clasifica los suelos en dos amplias categorías, estos son:

- Suelos de grano grueso que son de naturaleza tipo grava y arenosa con menos del 50 % pasando por la malla N°200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo G o S. G significa grava o suelo gravoso y S significa arena o suelo arenoso.

- Los suelos de grano fino con 50 % o más pasando por la malla N°200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo M, que significa limo inorgánico, C para arcilla inorgánica u O para limos y arcillas orgánicas. El símbolo Pt se usa para turbas, lodos y otros suelos altamente orgánicos.

Para una clasificación apropiada mediante este sistema, debe conocerse algo o todo de la información siguiente:

- Porcentaje de grava, es decir, la fracción que pasa la malla de 76.20 mm y es retenida en la malla N°04 (4.75 mm).
- Porcentaje de arena, es decir, la fracción que pasa la malla N°04 y es retenida en la malla N°200 (0.075 mm).
- Porcentaje de limo y arcilla, es decir, la fracción de finos que pasan la malla N°200.
- Coeficiente de uniformidad (Cu) y coeficiente de curvatura (Cc), etc.

Otros símbolos son también usados para la clasificación:

- W: Bien graduado.
- P: Mal graduado.
- L: Baja plasticidad (Límite líquido menor que 50).
- H: Alta plasticidad (Límite líquido mayor que 50).

Para el caso del estudio que se trabaja con las dos muestras representativas (Muestra N°01 y Muestra N°02), y según el análisis granulométrico por tamizado presentado en el Cuadro 47 y Cuadro 48, se clasificará en primera instancia las muestras tal como sigue:

- ❖ **Para la Muestra N°01:** El porcentaje que pasa por la malla N°200 es de 3.58 %, lo cual es menor al 50 %. Por tanto, se trata de un **suelo grueso arenoso (S)**.
- ❖ **Para la Muestra N°02:** El porcentaje que pasa por la malla N°200 es de 2.37 %, lo cual es menor al 50 %. Por tanto, se trata de un **suelo grueso arenoso (S)**.

En el análisis granulométrico por tamizado que se vio anteriormente, se pudo ver también que las muestras pertenecían al grupo de arena, y según algunos resultados de este análisis, es posible presentar lo siguiente:

▪ **Para la Muestra N°01**

- ❖ El porcentaje que es retenido en la malla N°04 representa ser el 17.23 %, el porcentaje que pasa la malla N°04 y es retenida en la malla N°200 representa ser el 77.19 %, y finalmente el porcentaje que pasa la malla N°200 representa ser el 3.58 % del total de partículas de la muestra.
- ❖ De acuerdo con las condiciones de gradación:

$$C_u = 7.80 > 6 \text{ (Cumple)}$$

$$1 < C_c = 0.57 < 3 \text{ (No cumple)}$$

▪ **Para la Muestra N°02**

- ❖ El porcentaje que es retenido en la malla N°04, representa ser el 1.81 %, el porcentaje que pasa la malla N°04 y es retenida en la malla N°200, representa ser el 95.82 %, y finalmente el porcentaje que pasa la malla N°200 representa ser el 2.37 % del total de partículas de la muestra.
- ❖ De acuerdo con las condiciones de gradación:

$$C_u = 3.60 > 6 \text{ (No cumple)}$$

$$1 < C_c = 0.80 < 3 \text{ (No cumple)}$$

A continuación, el SUCS detalla los tipos de suelo arenosos según la granulometría de las muestras.

Símbolo de grupo	Criterios
SW	Menos de 5% pasa la malla No. 200; $C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor que o igual a 6; $C_z = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ entre 1 y 3
SP	Menos de 5% pasa la malla No. 200; no cumple ambos criterios para SW
SM	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (figura 2.12); o índice de plasticidad menor que 4
SC	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican arriba de la línea A (figura 2.12); índice de plasticidad mayor que 7
SC-SM	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL-ML en la figura 2.12
SW-SM	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SM
SW-SC	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SC
SP-SM	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SP y SM
SP-SC	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SP y SC

FUENTE: Elaboración propia en base a Das (Fundamentos de ingeniería geotécnica), 2001.

Ilustración 98. Símbolos de grupo para suelos arenosos, según el SUCS.

Por tanto, al haber presentado la Ilustración 98 se observa que las Muestras N°01 y N°02 resultan ser **suelos arenosos mal graduados (SP)**.

Símbolo de grupo	Nombre de grupo
GW	< 15% arena → Grava bien graduada
GP	≥ 15% arena → Grava bien graduada con arena
	< 15% arena → Grava mal graduada
GW-GM	≥ 15% arena → Grava mal graduada con arena
	< 15% arena → Grava bien graduada con limo
GW-GC	≥ 15% arena → Grava bien graduada con limo y arena
	< 15% arena → Grava bien graduada con arcilla (o arcilla limosa)
GP-GM	≥ 15% arena → Grava bien graduada con arcilla y arena (o arcilla limosa y arena)
	< 15% arena → Grava mal graduada con limo
GP-GC	≥ 15% arena → Grava mal graduada con limo y arena
	< 15% arena → Grava mal graduada con arcilla (o arcilla limosa)
GM	≥ 15% arena → Grava mal graduada con arcilla y arena (o arcilla limosa y arena)
	< 15% arena → Grava limosa
GC	≥ 15% arena → Grava limosa con arena
	< 15% arena → Grava arcillosa
GC-GM	≥ 15% arena → Grava arcillosa con arena
	< 15% arena → Grava limo-arcillosa
SW	≥ 15% arena → Grava limo-arcillosa con arena
	< 15% grava → Arena bien graduada
SP	≥ 15% grava → Arena bien graduada con grava
	< 15% grava → Arena mal graduada
SW-SM	≥ 15% grava → Arena mal graduada con grava
	< 15% grava → Arena bien graduada con limo
SP-SC	≥ 15% grava → Arena bien graduada con limo y grava
	< 15% grava → Arena bien graduada con arcilla (o arcilla limosa)
SP-SM	≥ 15% grava → Arena bien graduada con arcilla y grava (o arcilla limosa y grava)
	< 15% grava → Arena mal graduada con limo
SP-SC	≥ 15% grava → Arena mal graduada con limo y grava
	< 15% grava → Arena mal graduada con arcilla (o arcilla limosa)
SM	≥ 15% grava → Arena mal graduada con arcilla y grava (o arcilla limosa y grava)
	< 15% grava → Arena limosa
SC	≥ 15% grava → Arena limosa con grava
	< 15% grava → Arena arcillosa
SC-SM	≥ 15% grava → Arena arcillosa con grava
	< 15% grava → Arena limo-arcillosa
	≥ 15% grava → Arena limo-arcillosa con grava

FUENTE: Elaboración propia en base a Das (Fundamentos de ingeniería geotécnica), 2001.

Ilustración 99. Diagrama de flujo para nombres de grupo de suelos tipo grava y arenosos.

Para terminar con la clasificación de suelos según el SUCS, es posible clasificar los suelos según el diagrama de flujo para suelos de tipo grava y arena, tal como se aprecia en la Ilustración 99.

En conclusión, según la clasificación unificada de suelos propuesta por el SUCS, se llega a lo siguiente:

- ❖ **Para la Muestra N°01:** Se trata de un **suelo arenoso mal graduado con grava.**
- ❖ **Para la Muestra N°02:** Se trata de un **suelo arenoso mal graduado.**

Finalmente, ambas muestras hay que representarlos según su simbología. A continuación, se muestra la ilustración de simbología de suelos a la que pertenece ambas muestras estudiadas, cuya simbología lo establece la norma E050 (Suelos y Cimentaciones) del Reglamento Nacional de Edificaciones.

DIVISIONES MAYORES		SÍMBOLO		DESCRIPCIÓN
		SUCS	GRÁFICO	
SUELOS GRANULARES	GRAVA Y SUELOS GRAVOSOS	GW		GRAVA GRADUADA BIEN
		GP		GRAVA GRADUADA MAL
		GM		GRAVA LIMOSA
		GC		GRAVA ARCILLOSA
	ARENA Y SUELOS ARENOSOS	SW		ARENA GRADUADA BIEN
		SP		ARENA GRADUADA MAL
		SM		ARENA LIMOSA
SUELOS FINOS	LIMOS Y ARCILLAS (LL < 50)	ML		LIMO INORGÁNICO DE BAJA PLASTICIDAD
		CL		ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD
		OL		LIMO ORGÁNICO O ARCILLA ORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD
	LIMOS Y ARCILLAS (LL > 50)	MH		LIMO INORGÁNICO DE ALTA PLASTICIDAD
		CH		ARCILLA INORGÁNICA DE ALTA PLASTICIDAD
		OH		LIMO ORGÁNICO O ARCILLA ORGÁNICA DE ALTA PLASTICIDAD

FUENTE: Elaboración propia en base al Reglamento Nacional de Edificaciones (E-050), 2019.

Ilustración 100. Simbología de suelos.

- **Diseño de Sedimentadores**

El diseño de las estructuras de sedimentación se realizará en base a los criterios de diseño propuestos en la “Guía para el Diseño de Desarenadores y Sedimentadores” de la Organización Panamericana de la Salud y demás criterios de diseño descritos en el marco teórico.

a) Diseño del Sedimentador N° 01

A continuación, en el Cuadro 54 se presentan los datos para el diseño del sedimentador ubicado en la vía izquierda de la Avenida 28 de agosto:

Cuadro 54. Datos de diseño – Sedimentador N°01.

PROPIEDADES	PARÁMETROS
Caudal medio extraído del SWMM	$Q = 103.59 \text{ lps} = 0.10359 \text{ m}^3/\text{s}$
Diámetro de la partícula	$d_p = 0.20 \text{ mm}$
Densidad relativa del sedimento	$\rho_s = 2.51 \text{ gr/cm}^3$
Temperatura del agua	20 °C
Densidad del agua	$\rho_a = 0.99823 \text{ gr/cm}^3$
Viscosidad cinemática del agua	$\eta = 0.010105 \text{ cm}^2/\text{s}$
Aceleración de la gravedad	$g = 9.81 \text{ m/s}^2$
Grado de remoción de partículas	75%
Eficiencia o grado de la estructura	$n = 1$
Altura de diseño	$H = 1.50 \text{ m}$
Constante de forma	$k = 0.04$
Factor de fricción	$f = 0.03$

FUENTE: Elaboración propia.

Comentario: El caudal medio fue extraído del conducto de llegada (L-22) al Sedimentador N°01 del SWMM. Seguidamente, para establecer el diámetro de la partícula a trabajar para el diseño, previamente se hizo uso del Cuadro 47 y el Cuadro 48, de esta manera, se supo que los pesos retenidos de las partículas durante el ensayo estuvieron comprendidos entre 0.075 – 9.50 mm en las muestras del Análisis Granulométrico por Tamizado. Además, la Organización Panamericana de la Salud (2005), refiere a que un sedimentador es un objeto similar al desarenador, pero correspondiente a la remoción de partículas que van desde diámetros de 0.05 – 0.20 mm.

Por lo tanto, el diámetro de la partícula a trabajar será el correspondiente a 0.20 mm. Lo mismo se considerará para el Sedimentador N°02 y Sedimentador N°04 a diseñar.

▪ **Cálculo de la velocidad de sedimentación.**

Cuadro 55. Relación entre el diámetro de las partículas y la velocidad de sedimentación.

Material	Ø Límite de las partículas (cm)	Número de Reynolds	Vs	Régimen	Ley Aplicable
Grava	>1.0	>10.000	100	Turbulento	Newton $V_s = 1.82 \sqrt{d_p \cdot g \left(\frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_a} \right)}$
Arena Guesa	0.100 0.080 0.050 0.050 0.040 0.030 0.020 0.015	1000 600 180 27 17 10 4 2	10.00 8.30 6.40 5.30 4.20 3.20 2.10 1.50	Transición	Allen $V_s = 0.22 \left[\left(\frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_a} \right) \cdot g \right]^{2/3} \cdot \left[\frac{d}{\left(\frac{\eta}{\rho_a} \right)^{1/3}} \right]$
Arena Fina	0.010 0.008 0.006 0.005 0.004 0.003 0.002 0.001	0.80 0.50 0.24 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00	0.80 0.60 0.40 0.30 0.20 0.13 0.06 0.015	Laminar	Stokes $V_s = \frac{1}{18} \cdot g \left(\frac{\rho_s - \rho_a}{\eta} \right) \cdot d_p^2$

FUENTE: Elaboración propia en base a la Organización Panamericana de la Salud (Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores), 2005.

Para el cálculo de la velocidad de sedimentación, se utilizará como primera aproximación la Ley de Stokes del Cuadro 55, es decir:

$$V_s = \frac{1}{18} \cdot g \left(\frac{\rho_s - \rho_a}{\eta} \right) \cdot d_p^2$$

Donde:

V_s : Velocidad de sedimentación (m/s).

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

ρ_s : Densidad relativa del sedimento (gr/cm³).

ρ_a : Densidad del agua (gr/cm³).

η : Viscosidad cinemática del agua (cm²/s)

d_p : Diámetro de la partícula (cm).

Entonces, sustituyendo los valores del Cuadro 54 en la ecuación de V_s , se tiene:

$$V_s = \frac{1}{18} \cdot g \left(\frac{\rho_s - \rho_a}{\eta} \right) \cdot d_p^2 = \frac{1}{18} (9.81) \left(\frac{2.51 - 0.99823}{0.010105} \right) (0.02)^2$$

$$\Rightarrow V_s = 0.0326 \text{ m/s}$$

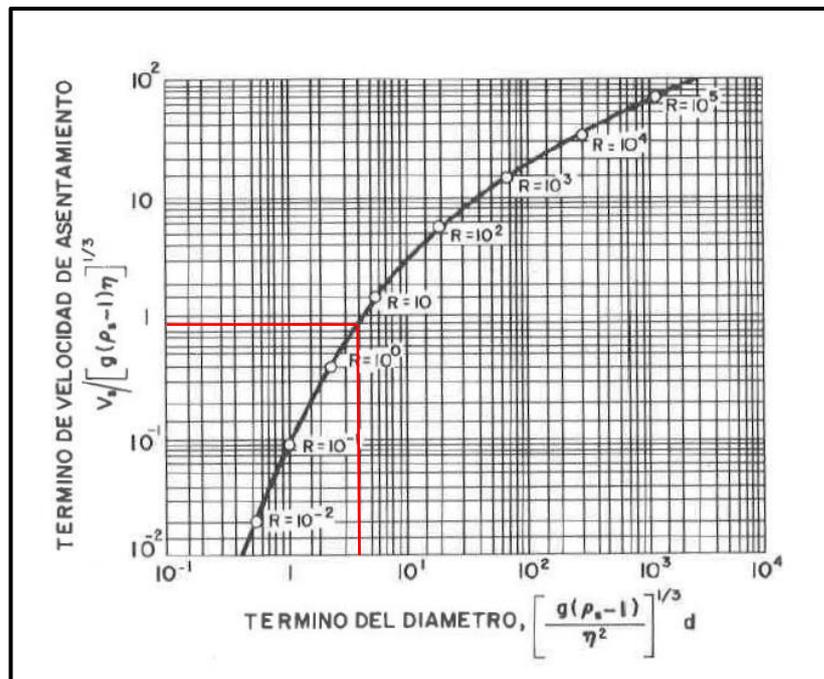
$$\therefore V_s = 3.26 \text{ cm/s}$$

Se determina el número de Reynolds para conocer bajo qué régimen se encuentra la partícula en análisis, entonces:

$$R_e = \frac{V_s \cdot d_p}{\eta}$$

$$\Rightarrow R_e = \frac{V_s \cdot d}{\eta} = \frac{3.26(0.02)}{0.010105} = 6.45$$

Ahora, según el Cuadro 55, $R_e > 0.80$; por tanto, la partícula se encuentra en el régimen de transición (Ley de Allen), entonces es necesario realizar un reajuste mediante la siguiente ilustración:



FUENTE: Elaboración propia en base a Urrusuno, 2017.

Ilustración 101. Valores de sedimentación – Sedimentador N°01.

Primeramente, se determina el término del diámetro con la siguiente ecuación:

$$\left[\frac{g(\rho_s - 1)}{\eta^2} \right]^{1/3} \cdot d_p$$

$$\Rightarrow \left[\frac{g(\rho_s - 1)}{\eta^2} \right]^{1/3} \cdot d_p = \left[\frac{9.81(2.51 - 1)(100)}{(0.010105)^2} \right]^{1/3} \cdot (0.02)$$

$$\Rightarrow \left[\frac{g(\rho_s - 1)}{\eta^2} \right]^{1/3} \cdot d_p = 4.88$$

Luego, utilizando la se determina el término de la velocidad de sedimentación, lo cual resulta:

$$\frac{V'_s}{[g(\rho_s - 1) \cdot \eta]^{1/3}} = 0.90$$

$$\Rightarrow V'_s = 0.90[g(\rho_s - 1) \cdot \eta]^{1/3}$$

$$V'_s = 0.90[9.81(2.51 - 1)(0.010105)(100)]^{1/3} = 2.2180 \text{ cm/s}$$

$$\therefore V'_s = 2.22 \text{ cm/s}$$

Se comprueba nuevamente el número de Reynolds:

$$\Rightarrow R'_e = \frac{V'_s \cdot d}{\eta} = \frac{2.22(0.02)}{0.010105} = 4.3937$$

$$\therefore R'_e = 4.39$$

Al observar el Cuadro 58 y según el R'_e último obtenido; este mismo se encuentra en la zona de transición (Ley de Allen). Entonces se determina el coeficiente de arrastre de la partícula con la siguiente ecuación:

$$C_D = \frac{24}{R'_e} + \frac{3}{\sqrt{R'_e}} + 0.34$$

Donde:

C_D : Coeficiente de arrastre (adimensional).

R'_e : Número de Reynolds (adimensional).

$$\Rightarrow C_D = \frac{24}{4.39} + \frac{3}{\sqrt{4.39}} + 0.34 = 7.2388$$

$$\therefore C_D = 7.24$$

Por último, se calcula en la zona de transición la velocidad definida de sedimentación de la partícula, mediante la siguiente ecuación:

$$V''_s = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{g}{C_D} (\rho_s - \rho_a) \cdot d_p}$$

$$\Rightarrow V''_s = \sqrt{\frac{4}{3} \left(\frac{9.81}{7.24} \right) (2.51 - 0.99823)(0.02)(100)} = 2.3372 \text{ cm/s}$$

$$\therefore V''_s = 2.34 \text{ cm/s}$$

- **Cálculo del tiempo ideal de sedimentación y del periodo de retención hidráulico.**

Según López (2000), en la realidad, el flujo no se distribuye uniformemente debido a las limitaciones de las pantallas difusoras, a que las velocidades no son constantes porque existen corrientes térmicas, zonas muertas, etc.

Por lo expuesto, existirá la resuspensión de las partículas que llegarán al fondo de la unidad, entonces, para evitar este comportamiento será necesario adoptar un factor de seguridad en función al Cuadro 56.

Primeramente, se debe estimar para el diseño un porcentaje de remoción de partículas igual al 75 % del total. De seguido, la estructura de sedimentación no presentará alguna pantalla difusora (mampara de distribución de flujo uniforme) en el tanque; ya que debido a las condiciones adaptadas del tanque en el sistema de drenaje pluvial, la altura de diseño H (altura de la pantalla difusora según la Guía descrita por la OPS), estará comprendida a partir de la superficie del agua (tirante de agua promedio de la tubería de llegada y salida) hasta la base del

sedimentador; y la altura de la poza de sedimentación estará conformada desde el nivel de la base de la tubería (llegada y salida) hasta la base del sedimentador; de esta manera la pantalla difusora queda descartada para el diseño que se requiere. Por lo tanto, solamente se trabajará con la eficiencia de un solo grado de la estructura (pantallas deficientes o sin ellos), es decir, con $n = 1$.

Cuadro 56. Número de Hazen (V''_s/V_0).

Condiciones	Remoción (%)							
	87.50	80	75	70	65	60	55	50
n = 1	7.00		3.00					1.00
n = 3	2.75		1.66					0.76
n = 4	2.37	4.00	1.52	2.30	1.80	1.50	1.30	0.73
Máximo teórico	0.88		0.75					0.50

FUENTE: Elaboración propia en base a López (Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados), 2000.

Donde:

$$\frac{V''_s}{V_0} = \frac{\theta}{t} = 3 \dots (\alpha)$$

Teniendo en cuenta que:

$$t = \frac{H}{V''_s}$$

Siendo:

V''_s : Velocidad de sedimentación efectiva (cm/s).

V_0 : Velocidad de sedimentación teórica (cm/s).

θ : Periodo de retención hidráulico (s).

t : Tiempo ideal de sedimentación (s).

H : Altura de diseño (m).

De donde:

$$t = \frac{H}{V''_s} = \frac{1.50}{\frac{2.34}{100}} = 64.1026 \text{ s}$$

$$\therefore t = 64.10 \text{ s}$$

Luego de (α), se tiene:

$$\frac{\theta}{t} = 3 \Rightarrow \theta = 3t = 3(64.10) = 192.30 \text{ s}$$

$$\therefore \theta = 0.0534 \text{ h}$$

Según la Organización Panamericana de la Salud (2005), el tiempo de retención debe estar comprendida entre 2 a 6 horas.

Por otro lado, partículas inferiores a la analizada producirán velocidades de sedimentación menores a lo que se ha determinado. A consecuencia de ello, las partículas requerirán periodos de residencia sumamente altos, llegando a estar comprendidas ahora con lo que indica la Guía de la OPS.

Lo expuesto anteriormente, implicará sobredimensionar el área superficial del sedimentador y por tanto la unidad completa. Además, no sería factible plantear estructuras de grandes dimensiones en planta, debido a la propia configuración de los espacios y el trazado de las redes en la Avenida 28 de agosto; pues todo ello, produciría también el incremento del coste de la estructura de sedimentación.

En conclusión, según el análisis realizado bajo las condiciones teóricas, el sedimentador se dimensionará para garantizar la sedimentación de partículas de diámetros que se encuentren superiores a 0.20 mm; no obstante, es posible también que se sedimenten partículas inferiores a la analizada durante el proceso de operación, de ser el caso.

- **Cálculo del volumen de diseño del tanque.**

$$V = \theta \cdot Q$$

$$\Rightarrow V = \theta \cdot Q = 192.30(0.10359) = 19.9204 \text{ m}^3$$

$$\therefore V = 19.92 \text{ m}^3$$

- **Cálculo del área superficial del tanque.**

$$A_s = \frac{V}{H}$$

$$\Rightarrow A_s = \frac{V}{H} = \frac{19.92}{1.50} = 13.28 \text{ m}^2$$

Para determinar las dimensiones de la estructura, es necesario distribuir el área superficial calculado en función a las relaciones de diseño que establece la “Guía para el Diseño de Desarenadores y Sedimentadores” de la Organización Panamericana de la Salud. Estos son:

- ❖ $L/B = 3$ a 6 (Primera relación)
- ❖ $L/H = 5$ a 20 (Segunda relación)

Donde:

L: Largo (m).

B: Ancho (m).

H: Altura (m).

- ❖ De la Primera relación, se tiene:

$$\frac{L}{B} = 6 \Rightarrow L = 6B \dots (1)$$

- ❖ De la Segunda relación, se tiene:

$$\frac{L}{H} = 5 \Rightarrow L = 5H = 5(1.50) = 7.50 \text{ m}$$

$$\therefore L \geq 7.50 \text{ m}$$

Además:

$$A'_s = L \cdot B \dots (2)$$

Reemplazando (1) en (2):

$$\Rightarrow A'_s = L \cdot B = 6B(B) = 6B^2$$

$$\therefore B = \sqrt{\frac{A'_s}{6}}$$

Entonces:

$$B = \sqrt{\frac{A'_S}{6}} = \sqrt{\frac{13.28}{6}} = 1.49 \approx 1.50 \text{ m}$$

$$\therefore B = 1.50 \text{ m}$$

Sustituyendo el ancho B en (1):

$$\Rightarrow L = 6B = 6(1.50) = 9 \text{ m}$$

$$\therefore L = 9.00 \text{ m}$$

Luego, se debe verificar si las dimensiones del sedimentador cumplen las relaciones expuestas anteriormente.

❖ Para la primera relación:

$$\frac{L}{B} = 3 \text{ a } 6 \Rightarrow \frac{L}{B} = \frac{9.00}{1.50} = 6 \text{ (cumple)}$$

❖ Para la segunda relación:

$$\frac{L}{H} = 5 \text{ a } 20 \Rightarrow \frac{L}{H} = \frac{9.00}{1.50} = 6 \text{ (cumple)}$$

Finalmente, se determina el área decisiva superficial del tanque sedimentador. Por tanto, de la ecuación (2) se tiene:

$$A'_S = L \cdot B = 9.00(1.50) = 13.50 \text{ m}^2$$

$$\therefore A'_S = 13.50 \text{ m}^2$$

▪ **Recálculo del volumen de diseño del tanque.**

$$V' = A'_S \cdot H$$

$$\Rightarrow V' = A'_S \cdot H = 13.50(1.50) = 20.25 \text{ m}^3$$

$$\therefore V' = 20.25 \text{ m}^3$$

▪ **Cálculo de la carga hidráulica superficial.**

$$q = \frac{Q}{A'_S}$$

$$\Rightarrow q = \frac{Q}{A'_S} = \frac{0.10359}{13.50} = 0.0076733 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$$

$$\therefore q = 0.00767 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$$

- **Determinación de la velocidad de sedimentación teórica o de ascenso.**

De acuerdo con López (2000), la carga hidráulica superficial es igual a la velocidad de sedimentación de la partícula crítica en condiciones teóricas. Por lo tanto, de la ecuación de q , se tiene:

$$q = V_o = \frac{Q}{A'_s} = \frac{0.10359}{13.50} = 0.0076733 \text{ m/s}$$

$$\therefore V_o = 0.77 \text{ cm/s}$$

- **Comprobación de la relación de tiempos.**

Según el Cuadro 56, y de la ecuación de (α) , se tiene:

$$\frac{V''_s}{V_o} = \frac{\theta}{t} = 3 \Rightarrow \frac{\theta}{t} = \frac{2.34}{0.77} = 3.04 \equiv 3.00 \text{ (cumple)}$$

- **Cálculo de la velocidad horizontal del flujo.**

$$V_H = \frac{Q}{A_T}; A_T = B \cdot H$$

Donde:

V_H : Velocidad horizontal del flujo en el tanque (m/s).

Q : Caudal medio (m³/s).

A_T : Área transversal al flujo (m²).

B : Ancho (m).

H : Altura (m).

$$\Rightarrow V_H = \frac{Q}{A_T} = \frac{0.10359}{1.50(1.50)} = 0.04604 \text{ m/s}$$

$$\therefore V_H = 4.60 \text{ cm/s}$$

- **Comprobación de la relación de dimensiones (largo y altura) y velocidades de flujo.**

Según la Organización Panamericana de la Salud (2005), se debe guardar la relación de las velocidades de flujo y las dimensiones de largo y altura. Es decir:

$$\frac{L}{H} = \frac{V_H}{V_O}$$

De donde:

$$\frac{L}{H} = \frac{9}{1.50} = 6$$

$$\frac{V_H}{V_O} = \frac{4.60}{0.77} = 5.97 \approx 6$$

$$\therefore \frac{L}{H} = \frac{V_H}{V_O} = 6 \text{ (cumple)}$$

- **Cálculo de la velocidad de resuspensión.**

$$V_R = \sqrt{\frac{8k}{f} \cdot g(\rho_s - \rho_a) \cdot d_p}$$

Siendo:

V_R : Velocidad de resuspensión de las partículas (cm/s).

K : Constante de forma (adimensional).

f : Factor de fricción (adimensional).

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

ρ_s : Densidad relativa del sedimento (gr/cm³).

ρ_a : Densidad del agua (gr/cm³).

d_p : Diámetro de la partícula (cm).

Reemplazando los valores en la ecuación de V_R , se tiene:

$$V_R = \sqrt{\frac{8(0.04)}{0.03} \cdot (9.81)(2.51 - 0.99823)(0.02)(100)}$$

$$\therefore V_R = 17.79 \text{ cm/s}$$

▪ **Evaluación del fenómeno de resuspensión.**

Según López (2000), la velocidad horizontal debe ser menor que la velocidad de arrastre o de resuspensión de las partículas, con el fin de evitar el fenómeno de resuspensión del sedimento, por lo que:

$$V_H < V_R$$

Entonces:

$$V_H = 4.60 \text{ cm/s} < V_R = 17.79 \text{ cm/s} \text{ (cumple)}$$

Por lo tanto, la velocidad horizontal del flujo en el sedimentador es inferior a 17.79 cm/s, por lo que, no se producirá el fenómeno de resuspensión de las partículas.

▪ **Análisis de los periodos de diseño.**

Para el análisis de los tiempos, se deben cumplir alguna de las siguientes condiciones:

$$\diamond t_{caída} < t_{paso} \text{ (Primera condición)}$$

$$\diamond t_{caída} > t_{paso} \text{ (Segunda condición)}$$

Donde:

$t_{caída}$: Tiempo de caída o de sedimentación de la partícula (s).

t_{paso} : Tiempo de paso del flujo en el sedimentador (s).

Interpretación de las condiciones: Si el tiempo de paso es mayor que el tiempo de caída, entonces, el total de las partículas superiores a la analizada se sedimentarán; pero, si el tiempo de paso es menor que el tiempo de caída, entonces, solo una gran parte de las partículas superiores a la analizada se sedimentarán en el fondo de la unidad.

Siendo:

$$t_{caída} = t = \frac{H}{V''_s} = 64.10 \text{ s}$$

$$t_{paso} = \frac{L}{V_H} = \frac{9.00}{\frac{4.60}{100}} = 195.65 \text{ s}$$

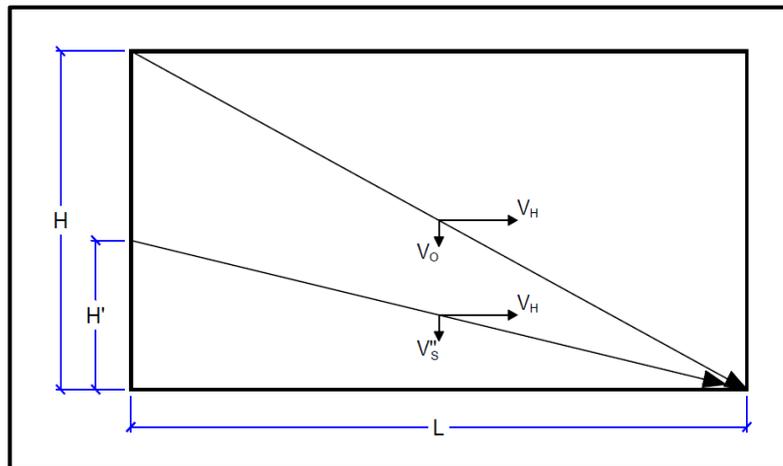
Entonces:

$$t_{caída} = 64.10 \text{ s} < t_{paso} = 195.65 \text{ s} \text{ (Cumple la 1era condición)}$$

Por lo tanto, al conocer que el tiempo de caída es inferior al tiempo de paso, entonces, se puede afirmar que el total de las partículas superiores a la analizada se sedimentarán en el fondo de la unidad (sedimentador).

- **Evaluación de la eficiencia del sedimentador.**

Se presenta bajo el análisis de la siguiente ilustración:



FUENTE: Elaboración propia en base a López (Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados), 2000.

Ilustración 102. Configuración en el análisis del sedimentador ideal.

Entonces, se tiene:

$$H' = V''_s \cdot t \dots (\beta)$$

$$H = V_o \cdot t \dots (\gamma)$$

Al dividir (β) entre (γ) , se obtiene la siguiente relación:

$$\frac{H'}{H} = \frac{V''_s}{V_o} \dots (\theta)$$

De (θ):

$$\frac{V''_s}{V_o} = P_s \Rightarrow \% P_s = \frac{V''_s}{V_o} \times 100 \dots (\omega)$$

Donde:

H' : Altura imaginaria para el análisis (m).

H : Altura total de diseño (m).

V''_s : Velocidad de sedimentación efectiva (cm/s).

V_o : Velocidad de sedimentación teórica o de ascenso (cm/s).

P_s : Partículas a ser sedimentadas en la unidad (adimensional).

Ahora, se conocerá la eficiencia que tendrá la estructura de sedimentación en cuanto a la cantidad de partículas que serán sedimentadas en la base de la unidad.

De (ω), se tiene:

$$\% P_s = \frac{V''_s(100)}{V_o} = \frac{2.34(100)}{0.77} = 303.90 \equiv 100$$

$$\therefore P_s = \mathbf{100\%}$$

Por lo tanto, se puede afirmar que el diseño del Sedimentador N°01, permite asegurar que todas las partículas superiores a 0.20 mm serán retenidas sin excepción alguna en el fondo del sedimentador. Por consiguiente, la estructura es completamente eficiente bajo los criterios y condiciones tomadas en el diseño.

- **Determinación teórica de la partícula de diámetro mínimo a ser removida.**

Es necesario saber que no sólo se removerán partículas superiores a la analizada, sino que, bajo las condiciones teóricas se removerán también partículas inferiores a 0.20 mm; es decir, podrían ser sedimentadas dichas partículas en el tanque.

Entonces, de la ecuación de P_s , se tiene:

$$P_s = 100\% = \frac{V''_s}{V_o}$$
$$\Rightarrow \frac{V''_s}{V_o} = 1$$

De donde, se presenta la siguiente igualdad:

$$V''_s = V_o$$

Siendo:

$$V''_s = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{g}{C_D} (\rho_s - \rho_a) \cdot d'_p} = V_o$$
$$\Rightarrow V_o = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{g}{C_D} (\rho_s - \rho_a) \cdot d'_p}$$

Despejando d'_p :

$$\Rightarrow d'_p = \frac{3}{4} \left[\frac{C_D \cdot V_o^2}{g(\rho_s - \rho_a)} \right]$$

Reemplazando valores, se tiene:

$$d'_p = \frac{3}{4} \left[\frac{C_D \cdot V_o^2}{g(\rho_s - \rho_a)} \right] = \frac{3}{4} \left[\frac{7.24(0.77)^2}{9.81(2.51 - 0.99823)(100)} \right]$$
$$\Rightarrow d'_p = 0.00217 \text{ cm}$$
$$\therefore d'_p = \mathbf{0.02 \text{ mm}}$$

Finalmente, se puede decir que bajo el criterio teórico se removerían también partículas que van desde 0.02 mm hacia adelante; sin embargo, la "Guía para el Diseño de Desarenadores y Sedimentadores" hace referencia de que la estructura (sedimentador) corresponde a la remoción de partículas que van desde 0.05 – 0.20 mm, además de que en la realidad el flujo es considerado como flujo no uniforme. Por lo que, la remoción de partículas en el Sedimentador N°01 se realizaría desde el valor mínimo, es decir, desde 0.05 mm hacia adelante.

De esta manera, una vez ocurrida la precipitación pluvial bajo las condiciones de operación, será posible atenuar el volumen de desplazamiento de las partículas hacia los colectores y demás componentes involucrados en el sistema de drenaje planteado.

b) Diseño del Sedimentador N° 02

A continuación, en el Cuadro 57 se presentan los datos para el diseño del sedimentador ubicado en la vía izquierda de la Avenida 28 de agosto:

Cuadro 57. Datos de diseño – Sedimentador N°02.

PROPIEDADES	PARÁMETROS
Caudal medio extraído del SWMM	$Q = 202.29 \text{ lps} = 0.20229 \text{ m}^3/\text{s}$
Diámetro de la partícula	$d_p = 0.20 \text{ mm}$
Densidad relativa del sedimento	$\rho_s = 2.51 \text{ gr/cm}^3$
Temperatura del agua	20 °C
Densidad del agua	$\rho_a = 0.99823 \text{ gr/cm}^3$
Viscosidad cinemática del agua	$\eta = 0.010105 \text{ cm}^2/\text{s}$
Aceleración de la gravedad	$g = 9.81 \text{ m/s}^2$
Grado de remoción de partículas	75%
Eficiencia o grado de la estructura	$n = 1$
Altura de diseño	$H = 1.50 \text{ m}$
Constante de forma	$k = 0.04$
Factor de fricción	$f = 0.03$

FUENTE: Elaboración propia.

Comentario: El caudal medio fue extraído del conducto de llegada (L-54) al Sedimentador N°02 del SWMM.

▪ Cálculo de la velocidad de sedimentación.

Como el diámetro de la partícula a trabajar es de 0.20 mm, entonces, el Sedimentador N°02 también tendrá la misma velocidad de sedimentación efectiva que el Sedimentador N°01.

$$\therefore V''_s = 2.34 \text{ cm/s}$$

▪ Cálculo del tiempo ideal de sedimentación y del periodo de retención hidráulico.

Como la velocidad de sedimentación efectiva es la misma para este caso, entonces, el Sedimentador N°02 también poseerá el mismo tiempo ideal y periodo de retención hidráulico al igual que el Sedimentador N°01.

$$\therefore t = 64.10 \text{ s} \wedge \theta = 0.0534 \text{ h}$$

- **Cálculo del volumen de diseño del tanque.**

$$V = \theta \cdot Q$$

$$\Rightarrow V = \theta \cdot Q = 192.30(0.20229) = 38.9004 \text{ m}^3$$

$$\therefore V = 38.90 \text{ m}^3$$

- **Cálculo del área superficial del tanque.**

$$A_s = \frac{V}{H}$$

$$\Rightarrow A_s = \frac{V}{H} = \frac{38.90}{1.50} = 25.93 \text{ m}^2$$

Para determinar las dimensiones de la estructura, es necesario distribuir el área superficial calculado en función a las relaciones de diseño que establece la Guía de la OPS. Estos son:

- ❖ $L/B = 3$ a 6 (Primera relación)

- ❖ $L/H = 5$ a 20 (Segunda relación)

De la Primera relación, se tiene:

$$\frac{L}{B} = 5 \Rightarrow L = 5B \dots (1)$$

De la Segunda relación, se tiene:

$$\frac{L}{H} = 5 \Rightarrow L = 5H = 5(1.50) = 7.50 \text{ m}$$

$$\therefore L \geq 7.50 \text{ m}$$

Además:

$$A'_s = L \cdot B \dots (2)$$

Reemplazando (1) en (2):

$$\Rightarrow A'_s = L \cdot B = 4B(B) = 4B^2$$

$$\therefore B = \sqrt{\frac{A'_s}{4}}$$

Entonces:

$$B = \sqrt{\frac{A'_s}{4}} = \sqrt{\frac{25.93}{4}} = 2.55 \text{ m}$$

$$\therefore B = 2.55 \text{ m}$$

Sustituyendo el ancho B en (1):

$$\Rightarrow L = 4B = 4(2.55) = 10.20 \text{ m}$$

$$\therefore L = 10.20 \text{ m}$$

Luego, se debe verificar si las dimensiones del sedimentador cumplen las relaciones expuestas anteriormente.

Para la primera relación:

$$\frac{L}{B} = 3 \text{ a } 6 \Rightarrow \frac{L}{B} = \frac{10.20}{2.55} = 4.00 \text{ (cumple)}$$

Para la segunda relación:

$$\frac{L}{H} = 5 \text{ a } 20 \Rightarrow \frac{L}{H} = \frac{10.20}{1.50} = 6.80 \text{ (cumple)}$$

Finalmente, se determina el área decisiva superficial del tanque sedimentador. Por tanto, de la ecuación (2) se tiene:

$$A'_s = L \cdot B = 10.20(2.55) = 26.01 \text{ m}^2$$

$$\therefore A'_s = 26.01 \text{ m}^2$$

- **Recálculo del volumen de diseño del tanque.**

$$V' = A'_s \cdot H$$

$$\Rightarrow V' = A'_s \cdot H = 26.01(1.50) = 39.015 \text{ m}^3$$

$$\therefore V' = 39.02 \text{ m}^3$$

- **Cálculo de la carga hidráulica superficial.**

$$q = \frac{Q}{A'_s}$$

$$\Rightarrow q = \frac{Q}{A'_s} = \frac{0.20229}{26.01} = 0.0077774 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$$

$$\therefore q = 0.00774 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$$

- **Determinación de la velocidad de sedimentación teórica o de ascenso.**

$$q = V_o = \frac{Q}{A'_s} = \frac{0.20229}{26.01} = 0.0077774 \text{ m/s}$$

$$\therefore V_o = 0.78 \text{ cm/s}$$

- **Comprobación de la relación de tiempos.**

$$\frac{V''_s}{V_o} = \frac{\theta}{t} = 3$$

$$\Rightarrow \frac{V''_s}{V_o} = \frac{\theta}{t} = \frac{2.34}{0.78} = 3 \text{ (cumple)}$$

- **Cálculo de la velocidad horizontal del flujo.**

$$V_H = \frac{Q}{A_T}; A_T = B \cdot H$$

$$\Rightarrow V_H = \frac{Q}{A_T} = \frac{0.20229}{2.55(1.50)} = 0.05289 \text{ m/s}$$

$$\therefore V_H = 5.29 \text{ cm/s}$$

- **Comprobación de la relación de dimensiones (largo y altura) y velocidades de flujo.**

$$\frac{L}{H} = \frac{V_H}{V_o}$$

De donde:

$$\frac{L}{H} = \frac{10.20}{1.50} = 6.80$$

$$\frac{V_H}{V_o} = \frac{5.29}{0.78} = 6.78 \approx 6.80$$

$$\therefore \frac{L}{H} = \frac{V_H}{V_o} = 6.80 \text{ (cumple)}$$

- **Cálculo de la velocidad de resuspensión.**

Como el diámetro de la partícula estimada es de 0.20 mm, entonces, el Sedimentador N°02 también tendrá la misma

velocidad de resuspensión de las partículas que el Sedimentador N°01.

$$\therefore V_R = 17.79 \text{ cm/s}$$

▪ **Evaluación del fenómeno de resuspensión.**

Según López (2000), la velocidad horizontal debe ser menor que la velocidad de arrastre o de resuspensión de las partículas con el fin de evitar el fenómeno de resuspensión del sedimento, por lo que:

$$V_H < V_R$$

Entonces:

$$V_H = 5.29 \text{ cm/s} < V_R = 17.79 \text{ cm/s} \text{ (cumple)}$$

Por lo tanto, la velocidad horizontal del flujo en el sedimentador es inferior a 17.79 cm/s, por lo que no se producirá el fenómeno de resuspensión de las partículas.

▪ **Análisis de los periodos de diseño.**

Se deben cumplir alguna de las siguientes condiciones:

❖ $t_{caída} < t_{paso}$ (Primera condición)

❖ $t_{caída} > t_{paso}$ (Segunda condición)

Siendo:

$$t_{caída} = t = \frac{H}{V''_s} = 64.10 \text{ s}$$

$$t_{paso} = \frac{L}{V_H} = \frac{10.20}{\frac{5.29}{100}} = 192.82 \text{ s}$$

Entonces:

$$t_{caída} = 64.10 \text{ s} < t_{paso} = 192.82 \text{ s} \text{ (Cumple la 1era condición)}$$

Por lo tanto, al conocer que el tiempo de caída es inferior al tiempo de paso, entonces, se puede afirmar que el total de las

partículas superiores a la analizada se sedimentarán en el fondo de la unidad (sedimentador).

- **Evaluación de la eficiencia del sedimentador.**

$$\% P_S = \frac{V''_S(100)}{V_O}$$

$$\Rightarrow \% P_S = \frac{2.34(100)}{0.78} = 300 \equiv 100$$

$$\therefore P_S = 100\%$$

Por lo tanto, se puede afirmar que el diseño del Sedimentador N°02, permite asegurar que todas las partículas superiores a 0.20 mm serán retenidas sin excepción alguna en el fondo del sedimentador. Por consiguiente, la estructura es completamente eficiente bajo los criterios y condiciones tomadas en el diseño.

- **Determinación teórica de la partícula de diámetro mínimo a ser removida.**

$$d'_p = \frac{3}{4} \left[\frac{C_D \cdot V_O^2}{g(\rho_s - \rho_a)} \right]$$

Reemplazando valores, se tiene:

$$d'_p = \frac{3}{4} \left[\frac{C_D \cdot V_O^2}{g(\rho_s - \rho_a)} \right] = \frac{3}{4} \left[\frac{7.24(0.78)^2}{9.81(2.51 - 0.99823)(100)} \right]$$

$$\Rightarrow d'_p = 0.00223 \text{ cm}$$

$$\therefore d'_p = 0.02 \text{ mm}$$

Finalmente, se puede decir que bajo el criterio teórico se removerían también partículas que van desde 0.02 mm hacia adelante; sin embargo, la “Guía para el Diseño de Desarenadores y Sedimentadores” hace referencia de que la estructura (sedimentador) corresponde a la remoción de partículas que van desde 0.05 – 0.20 mm, además de que en la realidad el flujo es considerado como flujo no uniforme. Por lo que, la remoción de partículas en el Sedimentador N°02 se realizaría desde el valor mínimo, es decir, desde 0.05 mm hacia adelante.

c) Diseño del Sedimentador N° 03

A continuación, en el Cuadro 58 se presentan los datos para el diseño del sedimentador ubicado en la vía derecha de la Avenida 28 de agosto:

Cuadro 58. Datos de diseño – Sedimentador N°03.

PROPIEDADES	PARÁMETROS
Caudal medio extraído del SWMM	$Q = 24.06 \text{ lps} = 0.02406 \text{ m}^3/\text{s}$
Diámetro de la partícula	$d_p = 0.12 \text{ mm}$
Densidad relativa del sedimento	$\rho_s = 2.51 \text{ gr/cm}^3$
Temperatura del agua	20 °C
Densidad del agua	$\rho_a = 0.99823 \text{ gr/cm}^3$
Viscosidad cinemática del agua	$\eta = 0.010105 \text{ cm}^2/\text{s}$
Aceleración de la gravedad	$g = 9.81 \text{ m/s}^2$
Grado de remoción de partículas	75%
Eficiencia o grado de la estructura	$n = 1$
Altura de diseño	$H = 1.50 \text{ m}$
Constante de forma	$k = 0.04$
Factor de fricción	$f = 0.03$

FUENTE: Elaboración propia.

Comentario: El caudal medio fue extraído del conducto de llegada (L-60) al Sedimentador N°03 del SWMM. Seguidamente, el diámetro a trabajar será de 0.12 mm, con la finalidad de reducir la velocidad de sedimentación efectiva y amplificar más el tiempo ideal de caída de la partícula en el fondo de la unidad. De esta manera se podrá trabajar eficientemente con el caudal producido en dicho punto, y cumplir con las condiciones de diseño expuesto por la Guía de la OPS.

▪ Cálculo de la velocidad de sedimentación.

$$V_s = \frac{1}{18} \cdot g \left(\frac{\rho_s - \rho_a}{\eta} \right) \cdot d_p^2$$

Entonces, sustituyendo los valores del Cuadro 58 en la ecuación de V_s , se tiene

$$V_s = \frac{1}{18} (9.81) \left(\frac{2.51 - 0.99823}{0.010105} \right) (0.012)^2 = 0.0117 \text{ m/s}$$

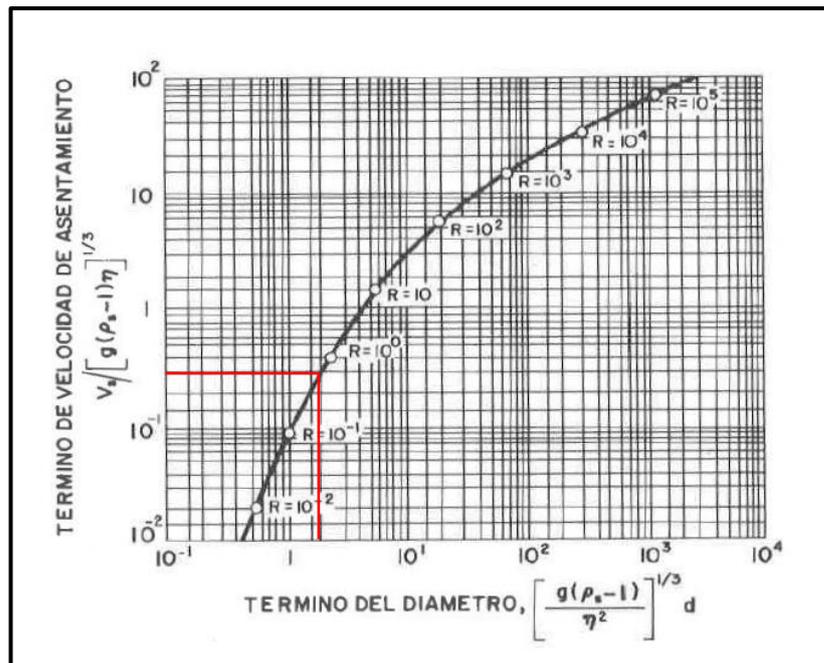
$$\therefore V_s = 1.17 \text{ cm/s}$$

Se determina el número de Reynolds para conocer bajo qué régimen se encuentra la partícula en análisis, entonces:

$$R_e = \frac{V_s \cdot d_p}{\eta}$$

$$\Rightarrow R_e = \frac{V_s \cdot d}{\eta} = \frac{1.17(0.012)}{0.010105} = 1.39$$

Ahora, según el Cuadro 55, $R_e > 0.80$; por tanto, la partícula se encuentra en el régimen de transición (Ley de Allen), entonces es necesario realizar un reajuste mediante la siguiente ilustración:



FUENTE: Elaboración propia en base a Urrusuno, 2017.

Ilustración 103. Valores de sedimentación – Sedimentador N°03.

Primeramente, se determina el término del diámetro.

$$\Rightarrow \left[\frac{g(\rho_s - 1)}{\eta^2} \right]^{1/3} \cdot d_p = \left[\frac{9.81(2.51 - 1)(100)}{(0.010105)^2} \right]^{1/3} \cdot (0.012) = 2.9267$$

$$\Rightarrow \left[\frac{g(\rho_s - 1)}{\eta^2} \right]^{1/3} \cdot d_p = 2.93$$

Luego, utilizando la se determina el término de la velocidad de sedimentación, lo cual resulta:

$$\frac{V'_s}{[g(\rho_s - 1) \cdot \eta]^{1/3}} = 0.29$$

$$\Rightarrow V'_s = 0.29[g(\rho_s - 1) \cdot \eta]^{1/3}$$

$$\Rightarrow V'_s = 0.29[9.81(2.51 - 1)(0.010105)(100)]^{1/3}$$

$$\therefore V'_s = \mathbf{0.71 \text{ cm/s}}$$

Se comprueba nuevamente el número de Reynolds:

$$\Rightarrow R'_e = \frac{V'_s \cdot d}{\eta} = \frac{0.71(0.012)}{0.010105} = 0.8431$$

$$\therefore R'_e = \mathbf{0.84}$$

Al observar el Cuadro 58 y según el R'_e último obtenido; este mismo se encuentra en la zona de transición (Ley de Allen). Entonces, se determina el coeficiente de arrastre.

$$C_D = \frac{24}{R'_e} + \frac{3}{\sqrt{R'_e}} + 0.34$$

$$\Rightarrow C_D = \frac{24}{0.84} + \frac{3}{\sqrt{0.84}} + 0.34 = 32.1847$$

$$\therefore C_D = \mathbf{32.18}$$

Por último, se calcula la velocidad definida de sedimentación de la partícula en la zona de transición, mediante la siguiente ecuación:

$$V''_s = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{g}{C_D} (\rho_s - \rho_a) \cdot d_p}$$

$$\Rightarrow V''_s = \sqrt{\frac{4}{3} \left(\frac{9.81}{32.18} \right) (2.51 - 0.99823)(0.012)(100)}$$

$$\Rightarrow V''_s = 0.8587 \text{ cm/s}$$

$$\therefore V''_s = \mathbf{0.86 \text{ cm/s}}$$

- **Cálculo del tiempo ideal de sedimentación y del periodo de retención hidráulico.**

Al igual que en el caso anterior, se debe estimar para el diseño un porcentaje de remoción de partículas igual al 75 % del total,

y la eficiencia de un solo grado de la estructura, es decir, con $n = 1$.

Donde:

$$\frac{V''_s}{V_o} = \frac{\theta}{t} = 3 \dots (\alpha)$$

Teniendo en cuenta que:

$$t = \frac{H}{V''_s}$$

Entonces, se tiene:

$$t = \frac{H}{V''_s} = \frac{1.50}{\frac{0.86}{100}} = 174.4186 \text{ s}$$

$$\therefore t = 174.42 \text{ s}$$

Luego de (α) , se tiene:

$$\frac{\theta}{t} = 3 \Rightarrow \theta = 3t = 3(174.42) = 523.26 \text{ s}$$

$$\therefore \theta = 0.1454 \text{ h}$$

Según el análisis realizado bajo las condiciones teóricas, el Sedimentador N°03 se dimensionará para garantizar la sedimentación de partículas de diámetros que se encuentren superiores a 0.12 mm; no obstante, es posible también que se sedimenten partículas inferiores a la analizada durante el proceso de operación.

- **Cálculo del volumen de diseño del tanque.**

$$V = \theta \cdot Q$$

$$\Rightarrow V = \theta \cdot Q = 523.26(0.02406) = 12.5896 \text{ m}^3$$

$$\therefore V = 12.59 \text{ m}^3$$

- **Cálculo del área superficial del tanque.**

$$A_s = \frac{V}{H}$$

$$\Rightarrow A_s = \frac{V}{H} = \frac{12.59}{1.50} = 8.39 \text{ m}^2$$

Para determinar las dimensiones de la estructura, es necesario distribuir el área superficial calculado en función a las relaciones de diseño que establece la Guía de la OPS. Estos son:

- ❖ L/B = 3 a 6 (Primera relación)
- ❖ L/H = 5 a 20 (Segunda relación)

De la Primera relación, se tiene:

$$\frac{L}{B} = 6 \Rightarrow L = 6B \dots (1)$$

De la Segunda relación, se tiene:

$$\frac{L}{H} = 5 \Rightarrow L = 5H = 5(1.50) = 7.50 \text{ m}$$

$$\therefore L \geq 7.50 \text{ m} \dots (*)$$

Además:

$$A'_s = L \cdot B \dots (2)$$

Reemplazando (1) en (2):

$$\Rightarrow A'_s = L \cdot B = 6B(B) = 6B^2$$

$$\therefore B = \sqrt{\frac{A'_s}{6}}$$

Entonces:

$$B = \sqrt{\frac{A'_s}{6}} = \sqrt{\frac{8.39}{6}} = 1.18 \approx 1.20 \text{ m}$$

Sustituyendo el ancho B en (1):

$$\Rightarrow L = 6B = 6(1.20) = 7.20 \text{ m} < (L \geq 7.50 \text{ m})$$

De (*):

$$L \geq 7.50 \text{ m} \Rightarrow L = 7.50 \text{ m}$$

$$\therefore L = 7.50 \text{ m}$$

Reemplazando el largo L en (1):

$$L = 6B \Rightarrow 7.50 = 6B$$
$$\Rightarrow B = \frac{7.50}{6} = 1.25 \text{ m}$$

$$\therefore B = 1.25 \text{ m}$$

Luego, se debe verificar si las dimensiones del sedimentador cumplen las relaciones expuestas anteriormente.

Para la primera relación:

$$\frac{L}{B} = 3 \text{ a } 6 \Rightarrow \frac{L}{B} = \frac{7.50}{1.25} = 6 \text{ (cumple)}$$

Para la segunda relación:

$$\frac{L}{H} = 5 \text{ a } 20 \Rightarrow \frac{L}{H} = \frac{7.50}{1.50} = 5 \text{ (cumple)}$$

Finalmente, se determina el área decisivo superficial del tanque sedimentador. Por tanto, de la ecuación (2) se tiene:

$$A'_s = L \cdot B = 7.50(1.25) = 9.3750 \text{ m}^2$$
$$\therefore A'_s = 9.38 \text{ m}^2$$

- **Recálculo del volumen de diseño del tanque.**

$$V' = A'_s \cdot H$$
$$\Rightarrow V' = A'_s \cdot H = 9.375(1.50) = 14.06 \text{ m}^3$$
$$\therefore V' = 14.06 \text{ m}^3$$

- **Cálculo de la carga hidráulica superficial.**

$$q = \frac{Q}{A'_s}$$
$$\Rightarrow q = \frac{Q}{A'_s} = \frac{0.02406}{9.375} = 0.0025664 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$$
$$\therefore q = 0.00257 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$$

- **Determinación de la velocidad de sedimentación teórica o de ascenso.**

$$q = V_o = \frac{Q}{A'_s} = \frac{0.02406}{9.375} = 0.0025664 \text{ m/s}$$

$$\therefore V_o = 0.26 \text{ cm/s}$$

- **Comprobación de la relación de tiempos.**

Según el Cuadro 56 y de la ecuación de (α) , se tiene:

$$\frac{V''_s}{V_o} = \frac{\theta}{t} = 3 \Rightarrow \frac{\theta}{t} = \frac{0.86}{0.26} = 3.31 \equiv 3.00 \text{ (cumple)}$$

- **Cálculo de la velocidad horizontal del flujo.**

$$V_H = \frac{Q}{A_T}; A_T = .H$$

$$\Rightarrow V_H = \frac{Q}{A_T} = \frac{0.02406}{1.25(1.50)} = 0.0128 \text{ m/s}$$

$$\therefore V_H = 1.28 \text{ cm/s}$$

- **Comprobación de la relación de dimensiones (largo y altura) y velocidades de flujo.**

$$\frac{L}{H} = \frac{V_H}{V_o}$$

De donde:

$$\frac{L}{H} = \frac{7.50}{1.50} = 5$$

$$\frac{V_H}{V_o} = \frac{1.28}{0.26} = 4.9 \approx 5$$

$$\therefore \frac{L}{H} = \frac{V_H}{V_o} = 5 \text{ (cumple)}$$

- **Cálculo de la velocidad de resuspensión.**

$$V_R = \sqrt{\frac{8k}{f} \cdot g(\rho_s - \rho_a) \cdot d_p}$$

Reemplazando los valores en la ecuación de V_R , se tiene:

$$V_R = \sqrt{\frac{8(0.04)}{0.03} \cdot (9.81)(2.51 - 0.99823)(0.012)(100)}$$

$$\therefore V_R = 13.78 \text{ cm/s}$$

▪ **Evaluación del fenómeno de resuspensión.**

Según López (2000), la velocidad horizontal debe ser menor que la velocidad de arrastre o de resuspensión de las partículas con el fin de evitar el fenómeno de resuspensión del sedimento, por lo que:

$$V_H < V_R$$

Entonces:

$$V_H = 1.28 \text{ cm/s} < V_R = 13.78 \text{ cm/s} \text{ (cumple)}$$

Por lo tanto, la velocidad horizontal del flujo en el sedimentador es inferior a 13.78 cm/s, por lo que no se producirá el fenómeno de resuspensión de las partículas.

▪ **Análisis de los periodos de diseño.**

Se deben cumplir alguna de las siguientes condiciones:

❖ $t_{caída} < t_{paso}$ (Primera condición)

❖ $t_{caída} > t_{paso}$ (Segunda condición)

Siendo:

$$t_{caída} = t = \frac{H}{V''_s} = 174.42 \text{ s}$$

$$t_{paso} = \frac{L}{V_H} = \frac{7.50}{\frac{1.28}{100}} = 585.94 \text{ s}$$

Entonces:

$$t_{caída} = 174.42 \text{ s} < t_{paso} = 585.94 \text{ s} \text{ (Cumple la 1era condición)}$$

Por lo tanto, al conocer que el tiempo de caída es inferior al tiempo de paso, entonces, se puede afirmar que el total de las

partículas superiores a la analizada se sedimentarán en el fondo de la unidad (sedimentador).

- **Evaluación de la eficiencia del sedimentador.**

$$\% P_S = \frac{V''_S(100)}{V_O}$$

$$\Rightarrow \% P_S = \frac{0.86(100)}{0.26} = 330.77 \equiv 100$$

$$\therefore P_S = 100\%$$

Por lo tanto, se puede afirmar que el diseño del Sedimentador N°03, permite asegurar que todas las partículas superiores a 0.12 mm serán retenidas sin excepción alguna en el fondo del sedimentador. Por consiguiente, la estructura es completamente eficiente bajo los criterios y condiciones tomadas en el diseño.

- **Determinación teórica de la partícula de diámetro mínimo a ser removida.**

$$d'_p = \frac{3}{4} \left[\frac{C_D \cdot V_O^2}{g(\rho_s - \rho_a)} \right]$$

Reemplazando valores, se tiene:

$$d'_p = \frac{3}{4} \left[\frac{C_D \cdot V_O^2}{g(\rho_s - \rho_a)} \right] = \frac{3}{4} \left[\frac{32.18(0.26)^2}{9.81(2.51 - 0.99823)(100)} \right]$$

$$\Rightarrow d'_p = 0.00110 \text{ cm}$$

$$\therefore d'_p = 0.01 \text{ mm}$$

Finalmente, se puede decir que bajo el criterio teórico se removerían también partículas que van desde 0.01 mm hacia adelante; sin embargo, la Guía de la OPS hace referencia de que la estructura (sedimentador) corresponde a la remoción de partículas que van desde 0.05 – 0.20 mm, además de que en la realidad el flujo es considerado como flujo no uniforme. Por lo que, la remoción de partículas en el Sedimentador N°03 se realizaría desde el valor mínimo, es decir, desde 0.05 mm hacia adelante.

d) Diseño del Sedimentador N° 04

A continuación, en el Cuadro 59 se presentan los datos para el diseño del sedimentador ubicado en la vía derecha de la Avenida 28 de agosto:

Cuadro 59. Datos de diseño – Sedimentador N°04.

PROPIEDADES	PARÁMETROS
Caudal medio extraído del SWMM	$Q = 141.96 \text{ lps} = 0.14196 \text{ m}^3/\text{s}$
Diámetro de la partícula	$d_p = 0.20 \text{ mm}$
Densidad relativa del sedimento	$\rho_s = 2.51 \text{ gr/cm}^3$
Temperatura del agua	20 °C
Densidad del agua	$\rho_a = 0.99823 \text{ gr/cm}^3$
Viscosidad cinemática del agua	$\eta = 0.010105 \text{ cm}^2/\text{s}$
Aceleración de la gravedad	$g = 9.81 \text{ m/s}^2$
Grado de remoción de partículas	75%
Eficiencia o grado de la estructura	$n = 1$
Altura de diseño	$H = 1.50 \text{ m}$
Constante de forma	$k = 0.04$
Factor de fricción	$f = 0.03$

FUENTE: Elaboración propia.

Comentario: El caudal medio fue extraído del conducto de llegada (L-95) al Sedimentador N°04 del SWMM.

▪ Cálculo de la velocidad de sedimentación.

Como el diámetro de la partícula a trabajar es de 0.20 mm, entonces, el Sedimentador N°04 también tendrá la misma velocidad de sedimentación efectiva que el Sedimentador N°01 y el Sedimentador N°02.

$$\therefore V''_s = 2.34 \text{ cm/s}$$

▪ Cálculo del tiempo ideal de sedimentación y del periodo de retención hidráulico.

Como la velocidad de sedimentación efectiva es la misma para este caso, entonces, el Sedimentador N°04 también poseerá el mismo tiempo ideal y periodo de retención hidráulico al igual que el Sedimentador N°01 y el Sedimentador N°02.

$$\therefore t = 64.10 \text{ s} \wedge \theta = 0.0534 \text{ h}$$

▪ Cálculo del volumen de diseño del tanque.

$$V = \theta \cdot Q$$

$$\Rightarrow V = \theta \cdot Q = 192.30(0.14196) = 27.2989 \text{ m}^3$$

$$\therefore V = 27.30 \text{ m}^3$$

▪ **Cálculo del área superficial del tanque.**

$$A_s = \frac{V}{H}$$

$$\Rightarrow A_s = \frac{V}{H} = \frac{27.30}{1.50} = 18.20 \text{ m}^2$$

Para determinar las dimensiones de la estructura, es necesario distribuir el área superficial calculado en función a las relaciones de diseño que establece la Guía de la OPS. Estos son:

❖ L/B = 3 a 6 (Primera relación)

❖ L/H = 5 a 20 (Segunda relación)

De la Primera relación, se tiene:

$$\frac{L}{B} = 4 \Rightarrow L = 4B \dots (1)$$

De la Segunda relación, se tiene:

$$\frac{L}{H} = 5 \Rightarrow L = 5H = 5(1.50) = 7.50 \text{ m}$$

$$\therefore L \geq 7.50 \text{ m}$$

Además:

$$A'_s = L \cdot B \dots (2)$$

Reemplazando (1) en (2):

$$\Rightarrow A'_s = L \cdot B = 4B(B) = 4B^2$$

$$\therefore B = \sqrt{\frac{A'_s}{4}}$$

Entonces:

$$B = \sqrt{\frac{A'_s}{4}} = \sqrt{\frac{18.20}{4}} = 2.13 \approx 2.15 \text{ m}$$

$$\therefore B = 2.15 \text{ m}$$

Sustituyendo el ancho B en (1):

$$\Rightarrow L = 4B = 4(2.15) = 8.60 \text{ m}$$

$$\therefore L = 8.60 \text{ m}$$

Luego, se debe verificar si las dimensiones del sedimentador cumplen las relaciones expuestas anteriormente.

Para la primera relación:

$$\frac{L}{B} = 3 \text{ a } 6 \Rightarrow \frac{L}{B} = \frac{8.60}{2.15} = 4.00 \text{ (cumple)}$$

Para la segunda relación:

$$\frac{L}{H} = 5 \text{ a } 20 \Rightarrow \frac{L}{H} = \frac{8.60}{1.50} = 5.73 \text{ (cumple)}$$

Finalmente, se determina el área decisiva superficial del tanque sedimentador. Por tanto, de la ecuación (2) se tiene:

$$A'_S = L \cdot B = 8.60(2.15) = 18.49 \text{ m}^2$$

$$\therefore A'_S = 18.49 \text{ m}^2$$

- **Recálculo del volumen de diseño del tanque.**

$$V' = A'_S \cdot H$$

$$\Rightarrow V' = A'_S \cdot H = 18.49(1.50) = 27.735 \text{ m}^3$$

$$\therefore V' = 27.74 \text{ m}^3$$

- **Cálculo de la carga hidráulica superficial.**

$$q = \frac{Q}{A'_S}$$

$$\Rightarrow q = \frac{Q}{A'_S} = \frac{0.14196}{18.49} = 0.0076777 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$$

$$\therefore q = 0.00768 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$$

- **Determinación de la velocidad de sedimentación teórica o de ascenso.**

$$q = V_o = \frac{Q}{A'_s} = \frac{0.14196}{18.49} = 0.0076777 \text{ m/s}$$

$$\therefore V_o = 0.77 \text{ cm/s}$$

- **Comprobación de la relación de tiempos.**

$$\frac{V''_s}{V_o} = \frac{\theta}{t} = 3$$

$$\Rightarrow \frac{V''_s}{V_o} = \frac{\theta}{t} = \frac{2.34}{0.77} = 3.04 \equiv 3 \text{ (cumple)}$$

- **Cálculo de la velocidad horizontal del flujo.**

$$V_H = \frac{Q}{A_T}; A_T = B \cdot H$$

$$\Rightarrow V_H = \frac{Q}{A_T} = \frac{0.14196}{2.15(1.50)} = 0.04402 \text{ m/s}$$

$$\therefore V_H = 4.40 \text{ m/s}$$

- **Comprobación de la relación de dimensiones (largo y altura) y velocidades de flujo.**

$$\frac{L}{H} = \frac{V_H}{V_o}$$

De donde:

$$\frac{L}{H} = \frac{8.60}{1.50} = 5.73 \approx 5.70$$

$$\frac{V_H}{V_o} = \frac{4.40}{0.77} = 5.71 \approx 5.70$$

$$\therefore \frac{L}{H} = \frac{V_H}{V_o} = 5.70 \text{ (cumple)}$$

- **Cálculo de la velocidad de resuspensión.**

Como el diámetro de la partícula estimada es de 0.20 mm, entonces, el Sedimentador N°04 también tendrá la misma

velocidad de resuspensión de las partículas que el Sedimentador N°01 y el Sedimentador N°02.

$$\therefore V_R = 17.79 \text{ cm/s}$$

▪ **Evaluación del fenómeno de resuspensión.**

Según López (2000), la velocidad horizontal debe ser menor que la velocidad de arrastre o de resuspensión de las partículas con el fin de evitar el fenómeno de resuspensión del sedimento, por lo que:

$$V_H < V_R$$

Entonces:

$$V_H = 4.40 \text{ cm/s} < V_R = 17.79 \text{ cm/s} \text{ (cumple)}$$

Por lo tanto, la velocidad horizontal del flujo en el sedimentador es inferior a 17.79 cm/s, por lo que no se producirá el fenómeno de resuspensión de las partículas.

▪ **Análisis de los periodos de diseño.**

Se deben cumplir alguna de las siguientes condiciones:

❖ $t_{caída} < t_{paso}$ (Primera condición)

❖ $t_{caída} > t_{paso}$ (Segunda condición)

Siendo:

$$t_{caída} = t = \frac{H}{V''_s} = 64.10 \text{ s}$$

$$t_{paso} = \frac{L}{V_H} = \frac{8.60}{\frac{4.40}{100}} = 195.45 \text{ s}$$

Entonces:

$$t_{caída} = 64.10 \text{ s} < t_{paso} = 194.45 \text{ s} \text{ (Cumple la 1era condición)}$$

Por lo tanto, al conocer que el tiempo de caída es inferior al tiempo de paso, entonces, se puede afirmar que el total de las

partículas superiores a la analizada se sedimentarán en el fondo de la unidad (sedimentador).

- **Evaluación de la eficiencia del sedimentador.**

$$\% P_S = \frac{V''_S(100)}{V_O}$$

$$\Rightarrow \% P_S = \frac{2.34(100)}{0.77} = 303.90 \equiv 100$$

$$\therefore P_S = 100\%$$

Por lo tanto, se puede afirmar que el diseño del Sedimentador N°04, permite asegurar que todas las partículas superiores a 0.20 mm serán retenidas sin excepción alguna en el fondo del sedimentador. Por consiguiente, la estructura es completamente eficiente bajo los criterios y condiciones tomadas en el diseño.

- **Determinación teórica de la partícula de diámetro mínimo a ser removida.**

$$d'_p = \frac{3}{4} \left[\frac{C_D \cdot V_O^2}{g(\rho_s - \rho_a)} \right]$$

Reemplazando valores, se tiene:

$$d'_p = \frac{3}{4} \left[\frac{C_D \cdot V_O^2}{g(\rho_s - \rho_a)} \right] = \frac{3}{4} \left[\frac{7.24(0.77)^2}{9.81(2.51 - 0.99823)(100)} \right]$$

$$\Rightarrow d'_p = 0.00217 \text{ cm}$$

$$\therefore d'_p = 0.02 \text{ mm}$$

Finalmente, se puede decir que bajo el criterio teórico se removerían también partículas que van desde 0.02 mm hacia adelante; sin embargo, la “Guía para el Diseño de Desarenadores y Sedimentadores” hace referencia de que la estructura (sedimentador) corresponde a la remoción de partículas que van desde 0.05 – 0.20 mm, además de que en la realidad el flujo es considerado como flujo no uniforme. Por lo que, la remoción de partículas en el Sedimentador N°04 se realizaría desde el valor mínimo, es decir, desde 0.05 mm hacia adelante.

Comentario: En el diseño de las estructuras se trabajó con la altura recomendada por la “Guía para el Diseño de Desarenadores y Sedimentadores” de la Organización Panamericana de la Salud; no obstante, para conocer cada una de las alturas totales que tendrán los tanques sedimentadores, se tomará en cuenta la altura de diseño y la altura de relleno (profundidad desde la rasante de la calzada a la clave de la tubería); y en función también a los ajustes y resultados del modelado hidráulico del sistema de drenaje pluvial que se verá posteriormente.

- **Modelación y Diseño del Sistema de Drenaje Pluvial con la Aplicación del Software SWMM**

Este apartado contempla el diseño del sistema de drenaje pluvial en todo el tramo de la Avenida 28 de agosto y en algunas calles adyacentes. Mediante la información obtenida en campo y cálculos realizados previamente, es posible definir todos los parámetros necesarios que se requiere para el ingreso al software.

El procedimiento consiste en ingresar los datos al modelo numérico, una vez establecida todos los criterios de diseño según las normas consideradas de un sistema de drenaje pluvial, se realiza el modelamiento hidráulico de todo el sistema para luego ajustar este mismo al requerimiento de diseño que contempla la norma OS.060 (Drenaje Pluvial Urbano) del RNE.

a) Configuración del Modelo en SWMM

Para la realización del modelo numérico, se han seguido los siguientes procedimientos:

- **Delimitación de Áreas Tributarias**

Lo que se hizo en este punto, es previamente definir la cuenca urbana con el AutoCAD CIVIL 3D, conocer la configuración de calles y manzanas mediante las imágenes captadas del dron y mediante la ayuda del Plano Catastral del distrito de Amarilis. Para luego definir las áreas tributarias o subcuencas en cada manzana y calles perimetrales a estas.

Así mismo, se hizo el trazo de todas las subcuencas en un plano de AutoCAD para luego pasar a exportarlo al SWMM 5 vE como mapa de fondo en formato WMF (.wmf). En las siguientes ilustraciones se pueden apreciar la cuenca urbana y subcuencas definidas.



FUENTE: Elaboración propia en base a AutoCAD CIVIL 3D.

Ilustración 104. Cuenca hidrológica urbana.

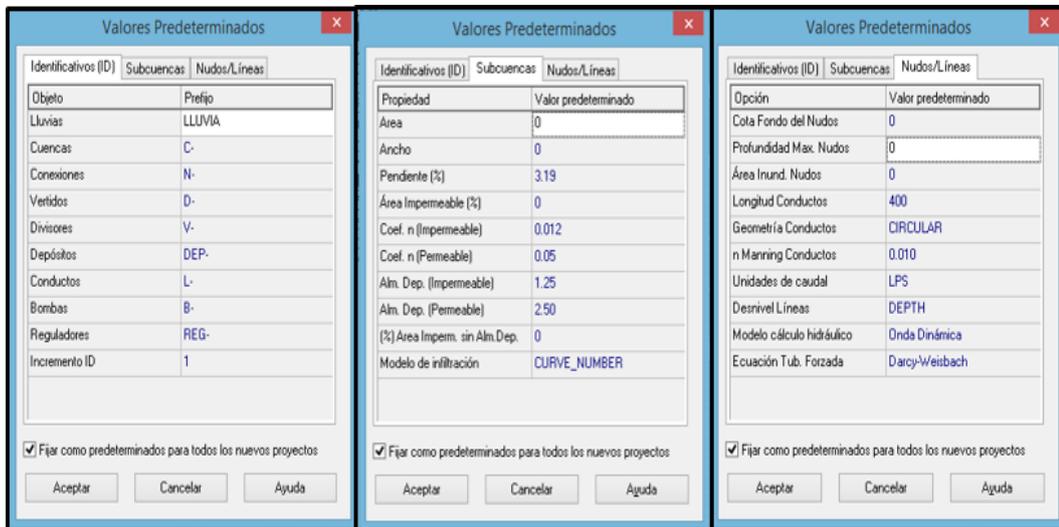


FUENTE: Elaboración propia en base a AutoCAD.

Ilustración 105. Distribución de subcuencas.

- **Valores por Defecto**

Se debe configurar los valores por defecto que trae consigo el programa y establecer sólo los parámetros que se van a fijar en todo el diseño, tal como se muestra en la Ilustración 106.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

Ilustración 106. Valores por defecto del proyecto.

- **Dibujo de los objetos**

Previamente se pasó a definir el trazado de redes, ubicación de sumideros, ubicación de buzones de registro, ubicación de sedimentadores y ubicación de los puntos de vertido de aguas pluviales en un plano de AutoCAD. Luego se pasó a exportarlo en el SWMM 5 vE como mapa de fondo en formato WMF (.wmf). Este procedimiento consiste en el trazado de todos los componentes mencionados anteriormente sobre el mapa de fondo, siempre que, primeramente, se realice el escalado de las dimensiones reales con el mapa que presenta el software.

En la siguiente ilustración, se muestra el mapa del sistema desarrollado con el SWMM 5 vE.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

Ilustración 107. Mapa del área de estudio con SWMM 5 vE.

- **Modelo de Simulación**

Son los métodos que presenta el software para el modelamiento hidráulico del flujo. El modelo de simulación que se ha considerado es el modelo de la Onda Dinámica, ya que resuelve las ecuaciones completas de Saint Venant (Conservación de la Masa y Cantidad de Movimiento) en flujos no permanentes.

- **Anchura característica del flujo**

Por otro lado, para determinar la anchura característica del flujo que es debido a la escorrentía superficial, es necesario estimar lo siguiente:

Según Yañez (2014), la subcuenca se puede representar como un área rectangular con una longitud de flujo superficial igual a la distancia desde la parte posterior de un lote típico a la mitad de la calle. Entonces, el parámetro de ancho se calcula con la siguiente ecuación:

$$A_{C.F} = \frac{A_S}{L_{F.S}}$$

Donde:

$$L_{F.S} = L_{L.T} + L_V + A_{M.C}$$

Siendo:

$A_{C.F}$: Ancho característico del flujo (m).

A_S : Área de la Subcuenca (ha).

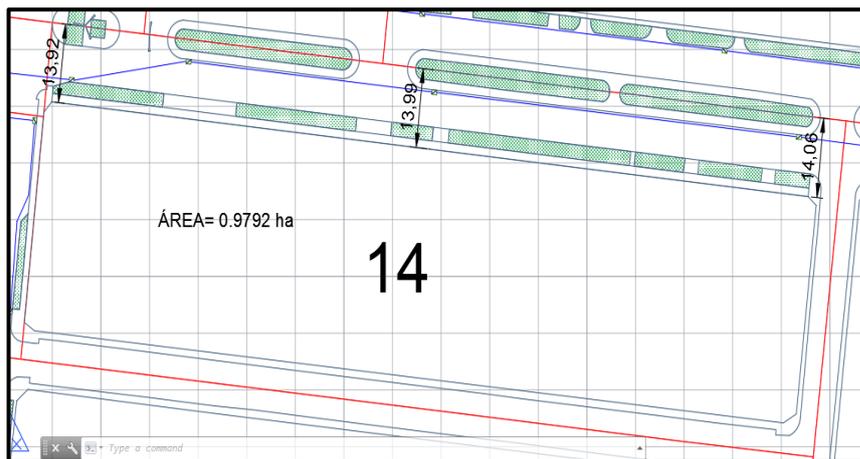
$L_{F.S}$: Longitud de flujo superficial (m).

$L_{L.T}$: Longitud de un lote típico = 20 (m).

L_V : Longitud de vereda (m).

$A_{M.C}$: Ancho de la mitad de la calzada (m).

A modo de aplicación, se considerará la subcuenca N°14 de la zona de estudio tal como se observa en la siguiente ilustración.



FUENTE: Elaboración propia en base a AutoCAD.

Ilustración 108. Subcuenca N°14.

Entonces, se tiene:

$$A_{C.F (SC-14)} = \frac{0.9792(10000)}{14.06 + 20} = 287.49 \text{ m}$$

Así también, se hizo el cálculo para todas las subcuencas teniendo como siguientes resultados:

Cuadro 60. Parámetros de longitud y ancho característico de flujo en subcuencas.

Subcuenca	Área (ha)	Longitud de flujo (m)	Ancho de flujo (m)	Subcuenca	Área (ha)	Longitud de flujo (m)	Ancho de flujo (m)
01	0.45	33.99	131.48	35	0.43	33.85	127.09
02	0.24	30.30	80.25	36	0.08	34.04	24.40
03	0.30	29.28	102.78	37	0.12	14.15	86.95
04	0.62	26.92	229.32	38	0.17	17.69	98.71
05	0.29	25.26	114.02	39	0.18	51.60	35.83
06	0.96	39.53	242.45	40	0.81	39.67	202.94
07	0.71	30.06	237.61	41	0.87	33.70	258.59
08	0.29	59.96	49.10	42	0.05	9.95	49.35
09	0.65	34.64	187.64	43	0.09	15.83	55.47
10	0.98	33.72	290.19	44	0.06	8.45	72.58
11	0.06	17.22	34.82	45	0.04	7.80	51.29
12	0.49	37.74	130.59	46	0.04	7.68	49.21
13	0.57	33.48	169.60	47	0.76	39.15	195.14
14	0.98	34.06	287.50	48	0.81	26.01	311.05
15	0.07	16.69	39.80	49	0.81	31.64	256.22
16	0.11	11.00	97.95	50	0.76	25.08	302.46
17	0.04	7.60	53.60	51	0.50	24.51	204.97
18	0.04	7.60	47.39	52	0.54	30.32	177.33
19	0.08	8.18	96.42	53	0.51	32.01	160.58
20	0.47	35.25	133.62	54	0.42	31.32	133.21
21	0.41	35.79	113.58	55	0.86	25.31	339.95
22	0.42	33.91	122.86	56	0.08	30.25	26.97
23	0.06	31.23	18.48	57	0.08	26.72	28.37
24	0.51	30.94	163.31	58	0.14	29.82	46.15
25	0.10	11.14	89.16	59	0.24	23.64	102.39
26	0.03	12.45	21.16	60	0.54	29.28	184.18
27	0.27	25.34	108.34	61	0.61	27.95	218.33
28	0.34	34.48	97.54	62	0.09	9.81	92.90
29	0.65	28.82	226.90	63	0.05	7.40	70.01
30	0.89	34.89	254.05	64	0.03	10.42	28.04
31	0.73	31.93	227.91	65	0.07	7.57	90.34
32	0.42	26.69	157.16	66	0.04	8.23	53.40
33	0.11	16.49	67.81	67	0.23	16.89	135.46
34	0.47	26.98	172.68	68	0.03	9.37	30.20

FUENTE: Elaboración propia.

- **Porcentaje de pendiente**

En cuanto al tema de pendientes, la zona de estudio se caracteriza por tener inclinaciones regulares en la mayoría de las subcuencas, lo cual hace que la escorrentía superficial aumente a lo largo de todo el tramo y tramos adyacentes a este. La pendiente promedio que se ha considerado para todas las subcuencas es de 3.19 %, obtenida del estudio hidrológico que se vio anteriormente.

▪ **Porcentaje de área impermeable**

Para determinar el porcentaje de área impermeable en cada subcuenca, se hizo lo siguiente:

- ❖ Se halló el área total de lotes en una subcuenca.
- ❖ Se determinó el área libre correspondiente al 30 % del total de la manzana, el cual está constituido por ductos permeables e impermeables. Asimismo, se propuso repartir en cantidades parciales todas las áreas libres en regiones permeables e impermeables.
- ❖ Para el área permeable se consideró agrupar las áreas libres permeables de los lotes, el área de suelos sin vegetación y el área de parques y jardines en cada subcuenca.
- ❖ Finalmente, para determinar el área impermeable, lo que se hizo es restar el área permeable del área total de cada subcuenca y representarlo en porcentaje.

A modo de aplicación se desarrollará un ejemplo para la Subcuenca N°01, el cual se caracteriza por la siguiente ilustración:



FUENTE: Elaboración propia en base a AutoCAD.

Ilustración 109. Plano en planta de la Subcuenca N°01.

Al observar la Ilustración 109, se encuentra el área achurada (área principal de la Subcuenca N°01) correspondiente al número total de lotes con su respectiva descripción que lo representa. Entonces:

$$A_{L.P} = \frac{0.30 * A}{2}$$

Donde:

$A_{L.P}$: Área libre permeable dentro de los lotes (m2).

A : Área principal de la subcuenca = 2,550.75 (m2).

$$\Rightarrow A_{L.P(SC-01)} = \frac{0.30 * A}{2} = \frac{0.30(2,550.75)}{2} = 382.61 \text{ m}^2$$

Luego, se calcula el área permeable de la subcuenca, entonces:

$$A_P = A_{L,p} + A_S + A_{(P y J)}$$

Donde:

A_P : Área permeable (m2).

$A_{L.P}$: Área libre permeable dentro de los lotes = 382.61 (m2).

A_S : Área de suelos = 851.43 (m2).

$A_{P.J}$: Área de parques y jardines = 145.40 (m2).

Entonces, se tiene:

$$A_{P(SC-01)} = A_{L.P} + A_S + A_{P.J} = 382.61 + 851.43 + 145.40$$

$$\Rightarrow A_{P(SC-01)} = 1,379.44 \text{ m}^2$$

Luego, se calcula el área impermeable de la subcuenca.

$$A_I = A_T - A_P$$

Donde:

A_I : Área impermeable (m2).

A_T : Área total de la subcuenca = 4,469.07 (m2).

A_P : Área permeable = 1,379.44 (m2).

Entonces, se tiene:

$$A_{I(SC-01)} = A_T - A_P = 4,469.07 - 1,379.44 = 3,089.63 \text{ m}^2$$

Finalmente, al área impermeable se lo representa en porcentaje de la siguiente manera:

$$\% A_I = \frac{A_I}{A_T} * 100$$

Entonces:

$$\% A_{I(SC-01)} = \frac{A_I}{A_T} * 100 = \frac{3,089.63}{4,469.07} * 100 = 69.13$$

Por lo tanto, el porcentaje de área impermeable de la subcuenca N°01 es de 69.13 %.

Así mismo, se hizo el cálculo para todas las subcuencas teniendo como siguientes resultados:

Cuadro 61. Características de áreas permeables e impermeables en subcuencas.

Subcuenca	Área (m2)	Área principal de la subcuenca (m2)	Área Permeable				Área Impermeable	
			Área libre (m2)	Área de suelos (m2)	Área de Par. y Jard. (m2)	Total (m2)	A - T (m2)	%
01	4,469.07	2,550.75	382.61	851.43	145.40	1,379.44	3,089.62	69.13
02	2,431.71	1,295.52	194.33	481.14	84.28	759.75	1,671.96	68.76
03	3,009.36	2,032.56	304.88	203.70	58.03	566.61	2,442.75	81.17
04	6,173.39	4,202.50	630.38	741.65	46.37	1,418.40	4,754.99	77.02
05	2,880.20	2,144.74	321.71	0.00	20.98	342.69	2,537.51	88.10
06	9,584.01	2,945.03	441.76	2,422.55	212.64	3,076.95	6,507.07	67.90
07	7,142.57	4,513.81	677.07	293.74	99.69	1,070.50	6,072.07	85.01
08	2,943.78	2,526.89	379.03	0.00	62.94	441.97	2,501.81	84.99
09	6,499.98	4,262.61	639.39	0.00	124.63	764.02	5,735.96	88.25
10	9,785.20	6,551.66	982.75	0.00	168.56	1,151.31	8,633.89	88.23
11	599.53	0.00	0.00	0.00	72.95	72.95	526.58	87.83
12	4,928.37	2,128.79	319.32	476.26	107.52	903.10	4,025.27	81.68
13	5,678.14	3,784.57	567.69	0.00	93.27	660.96	5,017.19	88.36
14	9,792.36	6,437.28	965.59	0.00	538.19	1,503.78	8,288.58	84.64
15	664.22	0.00	0.00	0.00	6.58	6.58	657.64	99.01
16	1,077.50	0.00	0.00	287.21	1.00	288.21	789.29	73.25
17	407.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	407.35	100.00
18	360.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	360.19	100.00
19	788.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	788.71	100.00
20	4,710.14	2,651.78	397.77	1,003.28	0.00	1,401.05	3,309.09	70.25
21	4,065.09	2,560.21	384.03	380.87	0.00	764.90	3,300.19	81.18
22	4,166.11	2,105.89	315.88	144.28	12.87	473.03	3,693.08	88.65
23	577.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	577.14	100.00
24	5,052.92	3,080.85	462.13	143.73	360.53	966.39	4,086.54	80.87
25	993.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	993.21	100.00
26	263.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	263.49	100.00
27	2,745.33	1,778.14	266.72	62.42	10.50	339.64	2,405.68	87.63
28	3,363.28	2,251.59	337.74	497.53	0.00	835.27	2,528.02	75.17
29	6,539.16	5,344.84	801.73	0.00	0.00	801.73	5,737.43	87.74
30	8,863.86	1,292.23	193.83	2,430.23	519.80	3,143.86	5,720.00	64.53
31	7,277.28	4,500.85	675.13	206.03	0.00	881.16	6,396.13	87.89

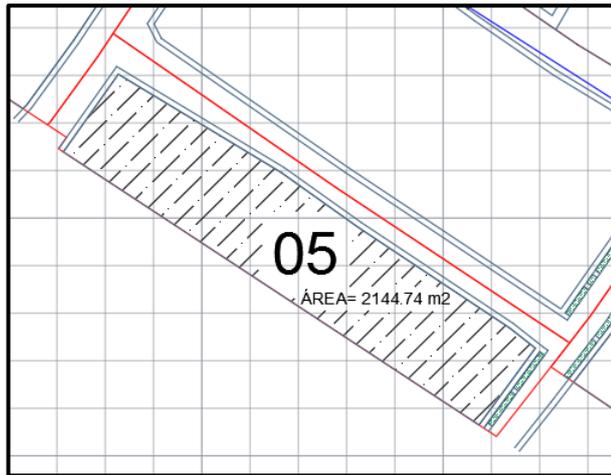
32	4,194.71	2,807.59	421.14	0.00	0.00	421.14	3,773.58	89.96
33	1,118.15	0.00	0.00	0.00	39.03	39.03	1,079.12	96.51
34	4,658.95	3,145.36	471.80	83.54	9.60	564.94	4,094.01	87.87
35	4,301.95	3,067.25	460.09	0.00	0.00	460.09	3,841.87	89.31
36	830.74	288.71	43.31	0.00	36.37	79.68	751.06	90.41
37	1,230.39	0.00	0.00	0.00	213.76	213.76	1,016.63	82.63
38	1,746.24	0.00	0.00	0.00	130.17	130.17	1,616.07	92.55
39	1,848.73	0.00	0.00	0.00	197.16	197.16	1,651.57	89.34
40	8,050.64	3,887.10	583.07	703.87	190.77	1,477.71	6,572.93	81.64
41	8,714.43	5,497.31	824.60	69.17	486.79	1,380.56	7,333.88	84.16
42	491.07	0.00	0.00	0.00	63.40	63.40	427.67	87.09
43	878.02	0.00	0.00	0.00	23.31	23.31	854.71	97.35
44	613.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	613.28	100.00
45	400.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	400.10	100.00
46	377.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	377.92	100.00
47	7,639.57	3,605.03	540.75	1,749.01	70.74	2,360.50	5,279.07	69.10
48	8,090.33	5,714.30	857.14	164.86	1.41	1,023.41	7,066.91	87.35
49	8,106.80	5,533.38	830.01	0.00	109.66	939.67	7,167.13	88.41
50	7,585.63	5,503.10	825.47	47.25	0.00	872.72	6,712.92	88.50
51	5,023.81	3,606.48	540.97	0.00	38.96	579.93	4,443.88	88.46
52	5,376.57	3,267.30	490.10	0.00	233.65	723.75	4,652.82	86.54
53	5,140.31	3,084.78	462.72	0.00	0.00	462.72	4,677.59	91.00
54	4,172.06	2,473.98	900.92	0.00	82.13	983.05	3,189.01	76.44
55	8,604.03	6,594.53	1,702.28	0.00	0.00	1,702.28	6,901.75	80.22
56	815.87	310.74	46.61	7.70	1.41	55.72	760.15	93.17
57	758.12	293.76	44.06	0.28	7.41	51.76	706.37	93.17
58	1,376.16	636.53	169.82	0.00	0.00	169.82	1,206.34	87.66
59	2,420.45	1,832.86	274.93	0.00	0.00	274.93	2,145.52	88.64
60	5,392.84	3,694.02	554.10	0.00	0.00	554.10	4,838.73	89.73
61	6,102.33	4,240.97	636.14	0.00	0.00	636.14	5,466.18	89.58
62	911.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	911.31	100.00
63	518.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	518.05	100.00
64	292.17	216.85	32.53	0.00	16.32	48.85	243.32	83.28
65	683.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	683.84	100.00
66	439.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	439.51	100.00
67	2,287.93	2,047.81	307.17	0.00	0.00	307.17	1,980.76	86.57
68	282.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	282.98	100.00

FUENTE: Elaboración propia.

Comentario: Para el área libre impermeable de la Subcuenca N°54, N°55 y N°58; estos mismos fueron extraídos directamente del área no construida de dichas subcuencas, por tratarse de configuraciones constructivas, tales como: Municipalidad (Subcuenca N°54), Institución Educativa (Subcuenca N°55) y de un Centro de Salud (Subcuenca N°58).

Una vez determinado el porcentaje de áreas impermeables para cada subcuenca, el software también permite el ingreso de información de porcentaje de áreas impermeables que no presenta almacenamiento en depresión en cada subcuenca.

A modo de aplicación se desarrollará un ejemplo para la Subcuenca N°05, el cual se caracteriza por la siguiente ilustración:



FUENTE: Elaboración propia.

Ilustración 110. Plano en planta de la Subcuenca N°05.

Al observar la Ilustración 110, se encuentra el área achurada (área principal de la Subcuenca N°05) correspondiente al número total de lotes con su respectiva área que lo representa.

Entonces:

$$\% A_{I.S.A.D.} = \frac{A_I - (A - A_{L.P})}{A_T} * 100$$

Donde:

$\% A_{I.S.A.D.}$: Porcentaje de área impermeable sin almacenamiento en depresión.

A_I : Área impermeable = 2,537.51 (m²).

A : Área principal de la subcuenca = 2,144.74 (m²).

$A_{L.P}$: Área libre permeable dentro de los lotes = 321.71 (m²).

A_T : Área total de la subcuenca = 2,880.20 (m²).

Entonces, se tiene:

$$\% A_{I.S.A.D (SC-05)} = \frac{2,537.51 - (2,144.74 - 321.71)}{2,880.20} * 100$$

$$\therefore \% A_{I.S.A.D (SC-05)} = 24.80$$

Por lo tanto, el porcentaje de área impermeable sin almacenamiento en depresión de la subcuenca N°05 es 24.80%.

Así mismo, se hizo el cálculo para todas las subcuencas teniendo como análisis el cuadro siguiente:

Cuadro 62. Características de áreas para el cálculo de porcentaje de áreas impermeables sin almacenamiento en depresión en subcuencas.

Subcuenca	Área Total (m2)	Área Impermeable (m2)	Área Principal de la Subcuenca (m2)	Área Libre Permeable (m2)	Área sin Almacenamiento en Depresión (%)
01	4,469.07	3,089.62	2,550.75	382.61	20.62
02	2,431.71	1,671.96	1,295.52	194.33	23.47
03	3,009.36	2,442.75	2,032.56	304.88	23.76
04	6,173.39	4,754.99	4,202.50	630.38	19.16
05	2,880.20	2,537.51	2,144.74	321.71	24.81
06	9,584.01	6,507.07	2,945.03	441.76	41.78
07	7,142.57	6,072.07	4,513.81	677.07	31.30
08	2,943.78	2,501.81	2,526.89	379.03	12.02
09	6,499.98	5,735.96	4,262.61	639.39	32.50
10	9,785.20	8,633.89	6,551.66	982.75	31.32
11	599.53	526.58	0.00	0.00	87.83
12	4,928.37	4,025.27	2,128.79	319.32	44.96
13	5,678.14	5,017.19	3,784.57	567.69	31.71
14	9,792.36	8,288.58	6,437.28	965.59	28.77
15	664.22	657.64	0.00	0.00	99.01
16	1,077.50	789.29	0.00	0.00	73.25
17	407.35	407.35	0.00	0.00	100.00
18	360.19	360.19	0.00	0.00	100.00
19	788.71	788.71	0.00	0.00	100.00
20	4,710.14	3,309.09	2,651.78	397.77	22.40
21	4,065.09	3,300.19	2,560.21	384.03	27.65
22	4,166.11	3,693.08	2,105.89	315.88	45.68
23	577.14	577.14	0.00	0.00	100.00
24	5,052.92	4,086.54	3,080.85	462.13	29.05
25	993.21	993.21	0.00	0.00	100.00
26	263.49	263.49	0.00	0.00	100.00
27	2,745.33	2,405.68	1,778.14	266.72	32.57
28	3,363.28	2,528.02	2,251.59	337.74	18.26
29	6,539.16	5,737.43	5,344.84	801.73	18.26
30	8,863.86	5,720.00	1,292.23	193.83	52.14
31	7,277.28	6,396.13	4,500.85	675.13	35.32
32	4,194.71	3,773.58	2,807.59	421.14	33.07
33	1,118.15	1,079.12	0.00	0.00	96.51
34	4,658.95	4,094.01	3,145.36	471.80	30.49
35	4,301.95	3,841.87	3,067.25	460.09	28.70
36	830.74	751.06	288.71	43.31	60.87
37	1,230.39	1,016.63	0.00	0.00	82.63
38	1,746.24	1,616.07	0.00	0.00	92.55
39	1,848.73	1,651.57	0.00	0.00	89.34
40	8,050.64	6,572.93	3,887.10	583.07	40.60
41	8,714.43	7,333.88	5,497.31	824.60	30.54
42	491.07	427.67	0.00	0.00	87.09
43	878.02	854.71	0.00	0.00	97.35
44	613.28	613.28	0.00	0.00	100.00
45	400.10	400.10	0.00	0.00	100.00
46	377.92	377.92	0.00	0.00	100.00
47	7,639.57	5,279.07	3,605.03	540.75	28.99
48	8,090.33	7,066.91	5,714.30	857.14	27.31

49	8,106.80	7,167.13	5,533.38	830.01	30.39
50	7,585.63	6,712.92	5,503.10	825.47	26.83
51	5,023.81	4,443.88	3,606.48	540.97	27.44
52	5,376.57	4,652.82	3,267.30	490.10	34.88
53	5,140.31	4,677.59	3,084.78	462.72	39.99
54	4,172.06	3,189.01	2,473.98	900.92	17.14
55	8,604.03	6,901.75	6,594.53	1,702.28	3.57
56	815.87	760.15	310.74	46.61	60.80
57	758.12	706.37	293.76	44.06	60.24
58	1,376.16	1,206.34	636.53	169.82	53.75
59	2,420.45	2,145.52	1,832.86	274.93	24.28
60	5,392.84	4,838.73	3,694.02	554.10	31.50
61	6,102.33	5,466.18	4,240.97	636.14	30.50
62	911.31	911.31	0.00	0.00	100.00
63	518.05	518.05	0.00	0.00	100.00
64	292.17	243.32	216.85	32.53	20.20
65	683.84	683.84	0.00	0.00	100.00
66	439.51	439.51	0.00	0.00	100.00
67	2,287.93	1,980.76	2,047.81	307.17	10.50
68	282.98	282.98	0.00	0.00	100.00

FUENTE: Elaboración propia

▪ Coeficiente n de Manning

Para seleccionar el coeficiente de Manning en un flujo superficial de suelos impermeables y permeables, se debe conocer el tipo de uso de superficie presente en cada subcuenca o área de influencia. En el siguiente cuadro se conocen los valores correspondientes:

Cuadro 63. Coeficiente n de Manning para escorrentía superficial.

Superficie	n
Asfalto liso	0.011
Hormigón liso	0.012
Revestimiento de hormigón basto	0.013
Madera pulida	0.014
Ladrillo con mortero de cemento	0.014
Arcilla vitrificada	0.015
Fundición de hierro	0.015
Tuberías de metal corrugado	0.024
Superficie de escombrera	0.024
Terreno improductivo (libre de residuos)	0.050
Terreno cultivado	0.060
- Cubierta de residuos < 20%	0.070
- Cubierta de residuos > 20%	0.070
Pasto natural	0.130
Hierba	
- Corta, pradera	0.150
- Densa	0.240
- Hierba Bermuda	0.410
Bosque	
- Con cubierta ligera de arbustos	0.400
- Con cubierta densa de arbustos.	0.800

FUENTE: Elaboración propia en base a Rossman (Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0), 2005.

Para el diseño se seleccionó el coeficiente de Manning correspondiente a 0.012 (superficie impermeable) y los coeficientes de 0.05 y 0.13 (superficie permeable).

▪ **Altura de Almacenamiento en Depresión**

Es la altura correspondiente al almacenamiento en depresiones de superficies impermeables y permeables. El Cuadro 64 muestra los siguientes valores a considerar:

Cuadro 64. Valores típicos de almacenamiento en Depresión.

Superficie impermeable	1.25 – 2.50 mm
Césped y hierba	2.50 – 5.00 mm
Pastos y prados	≈5.00 mm
Lecho forestal	≈7.50 mm

FUENTE: Elaboración propia en base a Rossman (Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0), 2005.

Para el diseño se ha considerado el valor de 1.25 mm como mínimo (superficie impermeable) y el valor de 2.50 mm (superficie permeable), correspondiente a la altura mínima de hierba presente en la zona de estudio.

▪ **Flujo entre Subáreas**

Es la selección del sentido del flujo interno entre las áreas impermeable y permeable de la cuenca:

- ❖ **IMPERV.** Flujo desde permeable hacia impermeable.
- ❖ **PERV.** Flujo desde impermeable hacia permeable.
- ❖ **OUTLET.** Ambas áreas aportan directamente a la descarga.

Para el diseño se ha considerado el criterio de OUTLET, ya que la mayoría de las subcuencas en conjunto poseen ambos tipos de superficies (impermeable y permeable) y descargan directamente hacia un nudo de recolección.

▪ **Infiltración**

La infiltración es el fenómeno por el cual el agua de lluvia penetra la superficie del terreno de los suelos no saturados de las áreas permeables de la cuenca (Rojas y Humpiri, 2016).

Para el estudio se ha asumido el modelo de infiltración del número de curva (CN) que presenta el software, ya que se ha trabajado con el uso de suelos permeables e impermeables en toda la zona de estudio encontrada y; por consiguiente, establecer este factor a cada subcuenca. En este mismo se tienen 3 distintos usos de suelo, se cuenca con el área de tierra cultivada con tratamiento de conservación en áreas verdes, área de tierra y áreas impermeables (techos, aceras y pavimentos), según las características del Cuadro 65.

Para determinar los números de curva que han sido tabulados por el SCS (Soil Conservation Service) en base al tipo de suelo y uso de tierra, se debe saber que los suelos se agrupan en cuatro:

- ❖ **Grupo A:** Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.
- ❖ **Grupo B:** Suelos poco profundos depositados por el viento, marga arenosa.
- ❖ **Grupo C:** Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.
- ❖ **Grupo D:** Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

Para el presente estudio se asume que la zona de influencia pertenece al Grupo A de los suelos, por tema de antecedentes. En el siguiente cuadro se muestran los valores del número de

curva correspondiente a cada uso de suelo y grupo hidrológico en base al tipo de suelo.

Cuadro 65. Número de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana.

DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA	GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO			
	A	B	C	D
Tierra cultivada:				
- Sin tratamientos de conservación.	72	81	88	91
- Con tratamientos de conservación.	62	71	78	81
Pastizales:				
- Condiciones pobres.	68	79	86	89
- Condiciones óptimas.	39	61	74	80
Vegas de ríos: Condiciones óptimas.	30	58	71	78
Bosques:				
- Troncos delgados, cubierta pobre, sin hierba.	45	66	77	83
- Cubierta buena.	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.				
- Óptimas condiciones: Cubierta de pasto en el 75% o más.	39	61	74	80
- Condiciones aceptables: Cubierta de pasto entre el 50 al 75%.	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables).	89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables).	81	88	91	93
Residencial:				
Tamaño promedio del lote Porcentaje promedio impermeable				
1/8 acre o menos 65	77	85	90	92
1/4 acre 38	61	75	83	87
1/3 acre 30	57	72	81	86
1/2 acre 25	54	70	80	85
1 acre 20	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
- Pavimentados con cunetas y alcantarillados.	98	98	98	98
- Grava.	76	85	89	91
- Tierra.	72	82	87	89

FUENTE: Elaboración propia en base a Chow (Hidrología aplicada), 1994

A modo de aplicación, se determinará el número de curva CN para la Subcuenca N°01, tal como se describe en el siguiente cuadro.

Cuadro 66. Cálculo del número de curva CN para la subcuenca N°01.

USO DE SUELO	ÁREA (m ²)	CN	ÁREA*CN (m ²)
Tierra cultivada con tratamiento de conservación en áreas verdes.	528.01	62	32,736.62
Tierra.	851.43	72	61,302.96
Techos, aceras y pavimentos.	3,089.62	98	302,782.76
Sumatoria	4,469.06		396,822.34

FUENTE: Elaboración propia.

Del Cuadro 66 tomamos la sumatoria de los cálculos para determinar el CN ponderado, es decir:

$$CN_{(SC-01)} = \frac{\sum_{k=1}^n \text{Área} * CN}{\sum_{i=1}^n \text{Área}} = \frac{396,822.34}{4,469.06} = 88.79 \approx 89$$

$$\therefore CN_{(SC-01)} = 89$$

Así mismo, se hizo el cálculo de los CN para todas las subcuencas. En el Cuadro 67 se aprecia todos los datos de partida para el cálculo del número de curva ponderado perteneciente a cada subcuenca, siendo en total 68.

Cuadro 67. Parámetros de entrada para el cálculo del número de curva CN en subcuencas.

Subcuenca	Área Total (m2)	Área Verde (m2)	Área de Tierra (m2)	Área de Techo, Acera y Pavimento (m2)	CN (1) (A.V)	CN (2) (A.T)	CN (3) (A.T,A,P)
01	4,469.07	528.01	851.43	3,089.62	62	72	98
02	2,431.71	278.61	481.14	1,671.96	62	72	98
03	3,009.36	362.91	203.70	2,442.75	62	72	98
04	6,173.39	676.75	741.65	4,754.99	62	72	98
05	2,880.20	342.69	0.00	2,537.51	62	72	98
06	9,584.01	654.40	2,422.55	6,507.07	62	72	98
07	7,142.57	776.76	293.74	6,072.07	62	72	98
08	2,943.78	441.97	0.00	2,501.81	62	72	98
09	6,499.98	764.02	0.00	5,735.96	62	72	98
10	9,785.20	1,151.31	0.00	8,633.89	62	72	98
11	599.53	72.95	0.00	526.58	62	72	98
12	4,928.37	426.84	476.26	4,025.27	62	72	98
13	5,678.14	660.96	0.00	5,017.19	62	72	98
14	9,792.36	1,503.78	0.00	8,288.58	62	72	98
15	664.22	6.58	0.00	657.64	62	72	98
16	1,077.50	1.00	287.21	789.29	62	72	98
17	407.35	0.00	0.00	407.35	62	72	98
18	360.19	0.00	0.00	360.19	62	72	98
19	788.71	0.00	0.00	788.71	62	72	98
20	4,710.14	397.77	1,003.28	3,309.09	62	72	98
21	4,065.09	384.03	380.87	3,300.19	62	72	98
22	4,166.11	328.75	144.28	3,693.08	62	72	98
23	577.14	0.00	0.00	577.14	62	72	98
24	5,052.92	822.66	143.73	4,086.54	62	72	98
25	993.21	0.00	0.00	993.21	62	72	98
26	263.49	0.00	0.00	263.49	62	72	98
27	2,745.33	277.22	62.42	2,405.68	62	72	98
28	3,363.28	337.74	497.53	2,528.02	62	72	98
29	6,539.16	801.73	0.00	5,737.43	62	72	98
30	8,863.86	713.63	2,430.23	5,720.00	62	72	98
31	7,277.28	675.13	206.03	6,396.13	62	72	98
32	4,194.71	421.14	0.00	3,773.58	62	72	98
33	1,118.15	39.03	0.00	1,079.12	62	72	98
34	4,658.95	481.40	83.54	4,094.01	62	72	98
35	4,301.95	460.09	0.00	3,841.87	62	72	98
36	830.74	79.68	0.00	751.06	62	72	98
37	1,230.39	213.76	0.00	1,016.63	62	72	98

38	1,746.24	130.17	0.00	1,616.07	62	72	98
39	1,848.73	197.16	0.00	1,651.57	62	72	98
40	8,050.64	773.84	703.87	6,572.93	62	72	98
41	8,714.43	1,311.39	69.17	7,333.88	62	72	98
42	491.07	63.40	0.00	427.67	62	72	98
43	878.02	23.31	0.00	854.71	62	72	98
44	613.28	0.00	0.00	613.28	62	72	98
45	400.10	0.00	0.00	400.10	62	72	98
46	377.92	0.00	0.00	377.92	62	72	98
47	7,639.57	611.49	1,749.01	5,279.07	62	72	98
48	8,090.33	858.55	164.86	7,066.91	62	72	98
49	8,106.80	939.67	0.00	7,167.13	62	72	98
50	7,585.63	825.47	47.25	6,712.92	62	72	98
51	5,023.81	579.93	0.00	4,443.88	62	72	98
52	5,376.57	723.75	0.00	4,652.82	62	72	98
53	5,140.31	462.72	0.00	4,677.59	62	72	98
54	4,172.06	983.05	0.00	3,189.01	62	72	98
55	8,604.03	1,702.28	0.00	6,901.75	62	72	98
56	815.87	48.02	7.70	760.15	62	72	98
57	758.12	51.47	0.28	706.37	62	72	98
58	1,376.16	169.82	0.00	1,206.34	62	72	98
59	2,420.45	274.93	0.00	2,145.52	62	72	98
60	5,392.84	554.10	0.00	4,838.73	62	72	98
61	6,102.33	636.14	0.00	5,466.18	62	72	98
62	911.31	0.00	0.00	911.31	62	72	98
63	518.05	0.00	0.00	518.05	62	72	98
64	292.17	48.85	0.00	243.32	62	72	98
65	683.84	0.00	0.00	683.84	62	72	98
66	439.51	0.00	0.00	439.51	62	72	98
67	2,287.93	307.17	0.00	1,980.76	62	72	98
68	282.98	0.00	0.00	282.98	62	72	98

FUENTE: Elaboración propia.

A continuación, se presentan los resultados del CN definido en cada subcuenca.

Cuadro 68. Cálculo del número de curva CN en subcuencas.

Subcuenca	Área Total (m2)	A.V*CN (1) (m2)	A.T*CN (2) (m2)	A, T, A, P*CN (3) (m2)	$\sum A * CN$ (m2)	$CN = \sum A * CN / AT$ CN (DEFINIDO)
01	4,469.07	32,736.77	61,302.96	302,783.16	396,822.89	89
02	2,431.71	17,273.67	34,642.08	163,852.27	215,768.02	89
03	3,009.36	22,500.71	14,666.40	239,389.11	276,556.23	92
04	6,173.39	41,958.21	53,398.86	465,989.49	561,346.56	91
05	2,880.20	21,246.86	0.00	248,675.89	269,922.75	94
06	9,584.01	40,572.50	174,423.60	637,692.45	852,688.55	89
07	7,142.57	48,159.23	21,149.28	595,062.75	664,371.26	93
08	2,943.78	27,402.36	0.00	245,177.06	272,579.41	93
09	6,499.98	47,369.37	0.00	562,123.73	609,493.10	94
10	9,785.20	71,381.13	0.00	846,121.66	917,502.79	94
11	599.53	4,522.90	0.00	51,604.90	56,127.80	94
12	4,928.37	26,464.03	34,290.72	394,476.56	455,231.31	92
13	5,678.14	40,979.25	0.00	491,684.47	532,663.72	94
14	9,792.36	93,234.48	0.00	812,280.72	905,515.20	92
15	664.22	407.96	0.00	64,448.32	64,856.28	98
16	1,077.50	62.00	20,679.12	77,350.74	98,091.86	91
17	407.35	0.00	0.00	39,920.52	39,920.52	98
18	360.19	0.00	0.00	35,298.89	35,298.89	98
19	788.71	0.00	0.00	77,293.90	77,293.90	98
20	4,710.14	24,661.58	72,236.16	324,290.89	421,188.64	89
21	4,065.09	23,809.96	27,422.64	323,418.68	374,651.28	92

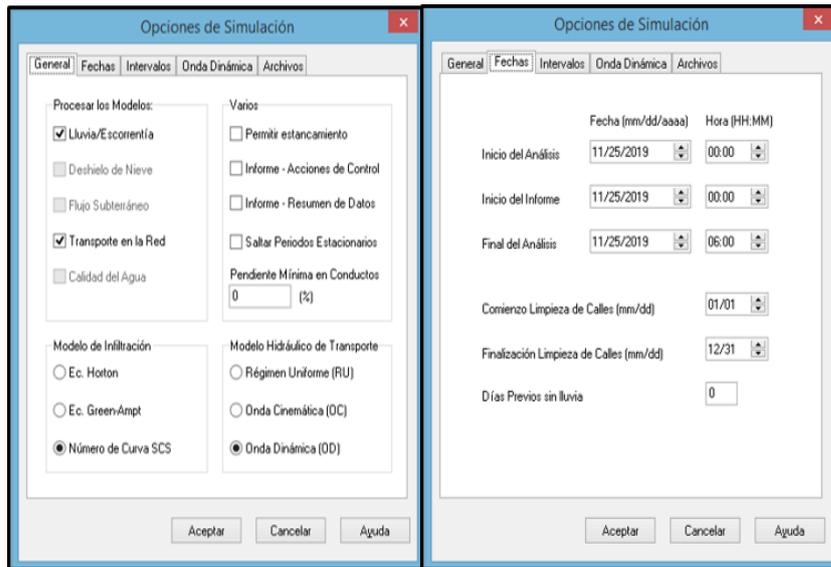
22	4,166.11	20,382.67	10,388.16	361,921.86	392,692.69	94
23	577.14	0.00	0.00	56,559.56	56,559.56	98
24	5,052.92	51,004.74	10,348.56	400,480.69	461,833.99	91
25	993.21	0.00	0.00	97,334.72	97,334.72	98
26	263.49	0.00	0.00	25,822.31	25,822.31	98
27	2,745.33	17,187.75	4,494.24	235,757.00	257,438.99	94
28	3,363.28	20,939.75	35,822.16	247,745.50	304,507.41	91
29	6,539.16	49,707.03	0.00	562,268.37	611,975.40	94
30	8,863.86	44,245.34	174,976.56	560,559.97	779,781.87	88
31	7,277.28	41,857.91	14,834.16	626,820.41	683,512.48	94
32	4,194.71	26,110.56	0.00	369,810.48	395,921.03	94
33	1,118.15	2,419.86	0.00	105,753.76	108,173.62	97
34	4,658.95	29,847.09	6,014.88	401,212.89	437,074.86	94
35	4,301.95	28,525.42	0.00	376,502.78	405,028.20	94
36	830.74	4,939.94	0.00	73,603.93	78,543.87	95
37	1,230.39	13,253.12	0.00	99,630.11	112,883.23	92
38	1,746.24	8,070.54	0.00	158,374.80	166,445.34	95
39	1,848.73	12,223.92	0.00	161,853.37	174,077.29	94
40	8,050.64	47,977.80	50,678.64	644,147.33	742,803.77	92
41	8,714.43	81,305.99	4,980.24	718,719.90	805,006.13	92
42	491.07	3,930.80	0.00	41,911.70	45,842.50	93
43	878.02	1,445.22	0.00	83,761.69	85,206.91	97
44	613.28	0.00	0.00	60,101.63	60,101.63	98
45	400.10	0.00	0.00	39,209.42	39,209.42	98
46	377.92	0.00	0.00	37,035.68	37,035.68	98
47	7,639.57	37,912.61	125,928.72	517,348.84	681,190.18	89
48	8,090.33	53,230.39	11,869.92	692,557.49	757,657.80	94
49	8,106.80	58,259.33	0.00	702,378.86	760,638.19	94
50	7,585.63	51,178.87	3,402.00	657,865.99	712,446.87	94
51	5,023.81	35,955.76	0.00	435,500.54	471,456.30	94
52	5,376.57	44,872.23	0.00	455,976.83	500,849.06	93
53	5,140.31	28,688.45	0.00	458,404.21	487,092.67	95
54	4,172.06	60,949.10	0.00	312,522.89	373,471.99	90
55	8,604.03	105,541.36	0.00	676,371.31	781,912.67	91
56	815.87	2,977.49	554.40	74,494.30	78,026.19	96
57	758.12	3,191.41	20.35	69,223.84	72,435.60	96
58	1,376.16	10,528.84	0.00	118,220.88	128,749.72	94
59	2,420.45	17,045.55	0.00	210,260.69	227,306.24	94
60	5,392.84	34,354.41	0.00	474,195.96	508,550.37	94
61	6,102.33	39,440.98	0.00	535,685.72	575,126.70	94
62	911.31	0.00	0.00	89,308.24	89,308.24	98
63	518.05	0.00	0.00	50,769.10	50,769.10	98
64	292.17	3,028.50	0.00	23,845.58	26,874.08	92
65	683.84	0.00	0.00	67,016.37	67,016.37	98
66	439.51	0.00	0.00	43,072.07	43,072.07	98
67	2,287.93	19,044.66	0.00	194,114.67	213,159.33	93
68	282.98	0.00	0.00	27,731.82	27,731.82	98

FUENTE: Elaboración propia.

▪ Opciones de Simulación

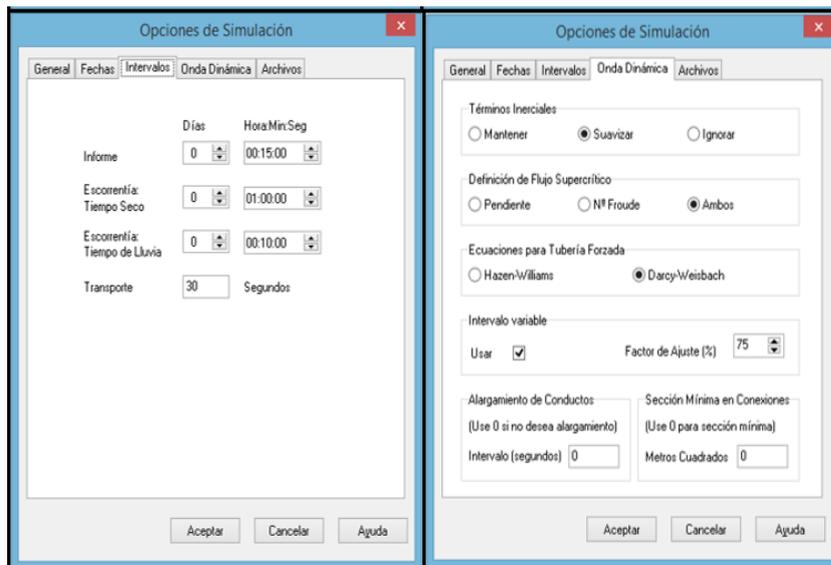
Se efectúa la configuración antes de realizar el proceso de modelación, tomando en cuenta los resultados de los estudios hidrológicos.

En la siguiente ilustración se observa la configuración de algunas opciones de simulación.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

Ilustración 111. Opciones de simulación N°01.



FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

Ilustración 112. Opciones de simulación N°02.

b) Datos utilizados para el Modelamiento y Diseño

Los datos utilizados fueron:

- Subcuencas (estudio topográfico, estudio hidrológico y uso de suelos).

- Nudos (estudio topográfico).
- Depósitos de almacenamiento [sedimentadores] (estudio topográfico).
- Vertidos (estudio topográfico).
- Conductos (estudio topográfico y estudio hidrológico).
- Secciones (resultados del modelado).
- Curvas de relación para los depósitos de almacenamiento (diseño de sedimentadores).
- Serie temporal de lluvia (estudio hidrológico).

Previo al proceso de modelación, se añadió la información obtenida en los puntos descritos anteriormente; por consiguiente, en el SWMM 5 vE. Asimismo, una vez realizado el modelamiento se tuvo que reajustar el sistema planteado obedeciendo los criterios de diseño que establece la norma OS.060 (Drenaje Pluvial Urbano) del RNE.

Finalmente, se obtuvo la optimización del sistema completo y, por tanto, el diseño definitivo del sistema de drenaje pluvial en la Avenida 28 de agosto y en algunos tramos adyacentes a esta.

A continuación, se muestran los datos de participación que el SWMM 5 vE almacena en su base de datos como proyecto de detalles. Los datos almacenados en el software fueron:

- **Subcuencas**

Los datos incorporados en el software para cada una de las subcuencas, se muestran en el Cuadro 69, Cuadro 70 y Cuadro 71, respectivamente.

Cuadro 69. Características de Subcuencas en la zona de estudio – Parte N°01.

[SUBCATCHMENTS]							
Nombre	Pluviómetro	Salida	Área Total	Porcent. Imperm.	Anchura Width	Pend. Percent.	
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
C-1	ESTACIÓN-HUÁNUCO	N-1	0.45	69.13	131.48	3.19	
C-2	ESTACIÓN-HUÁNUCO	N-2	0.24	69.13	80.25	3.19	
C-3	ESTACIÓN-HUÁNUCO	N-3	0.30	81.17	102.78	3.19	

C-4	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-5	0.62	77.02	229.32	3.19
C-5	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-6	0.29	88.10	114.02	3.19
C-6	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-8	0.96	67.90	242.45	3.19
C-7	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-9	0.71	85.01	237.61	3.19
C-8	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-12	0.29	84.99	49.10	3.19
C-9	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-13	0.65	88.25	187.64	3.19
C-10	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-14	0.98	80.23	290.19	3.19
C-11	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-16	0.06	87.83	34.82	3.19
C-12	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-18	0.49	81.68	130.59	3.19
C-13	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-19	0.57	88.36	169.60	3.19
C-14	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-22	0.98	84.64	287.50	3.19
C-15	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-23	0.07	99.01	39.80	3.19
C-16	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-25	0.11	73.25	97.95	3.19
C-17	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-26	0.04	100	53.60	3.19
C-18	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-28	0.04	100	47.39	3.19
C-19	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-29	0.08	100	96.42	3.19
C-20	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-31	0.47	70.25	133.62	3.19
C-21	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-32	0.41	81.18	113.58	3.19
C-22	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-33	0.42	88.65	122.86	3.19
C-23	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-34	0.06	100	18.48	3.19
C-24	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-36	0.51	80.87	163.31	3.19
C-25	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-37	0.10	100	89.16	3.19
C-26	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-38	0.03	100	21.16	3.19
C-27	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-39	0.27	87.63	108.34	3.19
C-28	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-40	0.34	75.17	97.54	3.19
C-29	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-42	0.65	87.74	226.90	3.19
C-30	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-44	0.89	64.53	254.05	3.19
C-31	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-45	0.73	87.89	227.91	3.19
C-32	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-46	0.42	89.96	157.16	3.19
C-33	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-47	0.11	96.51	67.81	3.19
C-34	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-48	0.47	87.87	172.68	3.19
C-35	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-49	0.43	89.31	127.09	3.19
C-36	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-50	0.08	90.41	24.40	3.19
C-37	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-51	0.12	82.63	86.95	3.19
C-38	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-52	0.17	92.55	98.71	3.19
C-39	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-53	0.18	89.34	35.83	3.19
C-40	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-54	0.81	81.64	202.94	3.19
C-41	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-56	0.87	84.16	258.59	3.19
C-42	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-57	0.05	87.09	49.35	3.19
C-43	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-59	0.09	97.35	55.47	3.19
C-44	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-61	0.06	100	72.58	3.19
C-45	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-62	0.04	100	51.29	3.19
C-46	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-64	0.04	100	49.21	3.19
C-47	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-66	0.76	69.10	195.14	3.19
C-48	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-67	0.81	87.35	311.05	3.19
C-49	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-68	0.81	88.41	256.22	3.19
C-50	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-70	0.76	88.50	302.46	3.19
C-51	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-71	0.50	88.46	204.97	3.19
C-52	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-72	0.54	86.54	177.33	3.19
C-53	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-74	0.51	91	160.58	3.19
C-54	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-75	0.42	76.44	133.21	3.19
C-55	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-76	0.86	80.22	339.95	3.19
C-56	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-77	0.08	93.17	26.97	3.19
C-57	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-79	0.08	93.17	28.37	3.19
C-58	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-80	0.14	87.66	46.15	3.19
C-59	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-81	0.24	88.64	102.39	3.19
C-60	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-82	0.54	89.73	184.18	3.19
C-61	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-83	0.61	89.58	218.33	3.19
C-62	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-84	0.09	100	92.90	3.19

C-63	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-85	0.05	100	70.01	3.19
C-64	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-86	0.03	83.28	28.04	3.19
C-65	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-88	0.07	100	90.34	3.19
C-66	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-91	0.04	100	53.40	3.19
C-67	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-89	0.23	86.57	135.46	3.19
C-68	ESTACIÓN-HUÁNUCO N-92	0.03	100	30.20	3.19

FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

En el Cuadro 70 se aprecian otras características de las subcuencas, tales como los coeficientes de manning y las alturas de almacenamiento en depresiones para áreas impermeables y permeables. Asimismo, el porcentaje de área impermeable que no presenta almacenamiento en depresión, y el modelo interno de transporte de escorrentía, respectivamente.

Cuadro 70. Características de Subcuencas en la zona de estudio – Parte N°02.

[SUBAREAS]						
Subcuenca	n Imperm.	n Perm.	S Imperm.	S Perm.	% Sin A/D	Encauzam.
C-1	0.012	0.05	1.25	2.50	20.62	OUTLET
C-2	0.012	0.05	1.25	2.50	23.47	OUTLET
C-3	0.012	0.13	1.25	2.50	23.76	OUTLET
C-4	0.012	0.05	1.25	2.50	19.16	OUTLET
C-5	0.012	0.13	1.25	2.50	24.81	OUTLET
C-6	0.012	0.05	1.25	2.50	41.78	OUTLET
C-7	0.012	0.13	1.25	2.50	31.30	OUTLET
C-8	0.012	0.13	1.25	2.50	12.02	OUTLET
C-9	0.012	0.13	1.25	2.50	32.50	OUTLET
C-10	0.012	0.13	1.25	2.50	31.32	OUTLET
C-11	0.012	0.13	1.25	2.50	87.83	OUTLET
C-12	0.012	0.05	1.25	2.50	44.96	OUTLET
C-13	0.012	0.13	1.25	2.50	31.71	OUTLET
C-14	0.012	0.13	1.25	2.50	28.77	OUTLET
C-15	0.012	0.13	1.25	2.50	99.01	OUTLET
C-16	0.012	0.05	1.25	2.50	73.25	OUTLET
C-17	0.012	0	1.25	0	100	OUTLET
C-18	0.012	0	1.25	0	100	OUTLET
C-19	0.012	0	1.25	0	100	OUTLET
C-20	0.012	0.05	1.25	2.50	22.40	OUTLET
C-21	0.012	0.13	1.25	2.50	27.65	OUTLET
C-22	0.012	0.13	1.25	2.50	45.68	OUTLET
C-23	0.012	0	1.25	0	100	OUTLET
C-24	0.012	0.13	1.25	2.50	29.05	OUTLET
C-25	0.012	0	1.25	0	100	OUTLET
C-26	0.012	0	1.25	0	100	OUTLET
C-27	0.012	0.13	1.25	2.50	32.57	OUTLET
C-28	0.012	0.05	1.25	2.50	18.26	OUTLET
C-29	0.012	0.13	1.25	2.50	18.26	OUTLET
C-30	0.012	0.05	1.25	2.50	52.14	OUTLET
C-31	0.012	0.13	1.25	2.50	35.32	OUTLET
C-32	0.012	0.13	1.25	2.50	33.07	OUTLET
C-33	0.012	0.13	1.25	2.50	96.51	OUTLET

C-34	0.012	0.13	1.25	2.50	30.49	OUTLET
C-35	0.012	0.13	1.25	2.50	28.70	OUTLET
C-36	0.012	0.13	1.25	2.50	60.87	OUTLET
C-37	0.011	0.13	1.25	2.50	82.63	OUTLET
C-38	0.011	0.13	1.25	2.50	92.55	OUTLET
C-39	0.011	0.13	1.25	2.50	89.34	OUTLET
C-40	0.012	0.05	1.25	2.50	40.60	OUTLET
C-41	0.012	0.13	1.25	2.50	30.54	OUTLET
C-42	0.012	0.13	1.25	2.50	87.09	OUTLET
C-43	0.012	0.13	1.25	2.50	97.35	OUTLET
C-44	0.012	0	1.25	0	100	OUTLET
C-45	0.012	0	1.25	0	100	OUTLET
C-46	0.012	0	1.25	0	100	OUTLET
C-47	0.012	0.05	1.25	2.50	28.99	OUTLET
C-48	0.012	0.13	1.25	2.50	27.31	OUTLET
C-49	0.012	0.13	1.25	2.50	30.39	OUTLET
C-50	0.012	0.13	1.25	2.50	26.83	OUTLET
C-51	0.012	0.13	1.25	2.50	27.44	OUTLET
C-52	0.012	0.13	1.25	2.50	34.88	OUTLET
C-53	0.012	0.13	1.25	2.50	39.99	OUTLET
C-54	0.012	0.13	1.25	2.50	17.14	OUTLET
C-55	0.012	0.13	1.25	2.50	3.57	OUTLET
C-56	0.012	0.13	1.25	2.50	60.80	OUTLET
C-57	0.012	0.13	1.25	2.50	60.24	OUTLET
C-58	0.012	0.13	1.25	2.50	53.75	OUTLET
C-59	0.012	0.13	1.25	2.50	24.28	OUTLET
C-60	0.012	0.13	1.25	2.50	31.50	OUTLET
C-61	0.012	0.13	1.25	2.50	30.50	OUTLET
C-62	0.012	0	1.25	0	100	OUTLET
C-63	0.012	0	1.25	0	100	OUTLET
C-64	0.012	0.13	1.25	2.50	20.20	OUTLET
C-65	0.012	0	1.25	0	100	OUTLET
C-66	0.012	0	1.25	0	100	OUTLET
C-67	0.012	0.13	1.25	2.50	10.50	OUTLET
C-68	0.012	0	1.25	0	100	OUTLET

FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

En el Cuadro 71 se aprecian también otras características de las subcuencas respecto a la infiltración que estos tienen. En ellos se encuentran, los números de curva y el tiempo (2 – 14 días) necesario para que un suelo completamente saturado se seque.

Cuadro 71. Características de Subcuencas en la zona de estudio – Parte N°03.

[INFILTRATION]					
Subcuenca	N° Curva	Tiempo Sec	Subcuenca	N° Curva	Tiempo Sec
C-1	89	2	C-35	94	2
C-2	89	2	C-36	95	2
C-3	92	2	C-37	92	2
C-4	91	2	C-38	95	2
C-5	94	2	C-39	94	2
C-6	89	2	C-40	92	2
C-7	93	2	C-41	92	2
C-8	93	2	C-42	93	2

C-9	94	2	C-43	97	2
C-10	94	2	C-44	98	2
C-11	94	2	C-45	98	2
C-12	92	2	C-46	98	2
C-13	94	2	C-47	89	2
C-14	92	2	C-48	94	2
C-15	98	2	C-49	94	2
C-16	91	2	C-50	94	2
C-17	98	2	C-51	94	2
C-18	98	2	C-52	93	2
C-19	98	2	C-53	95	2
C-20	89	2	C-54	90	2
C-21	92	2	C-55	91	2
C-22	94	2	C-56	96	2
C-23	98	2	C-57	96	2
C-24	91	2	C-58	94	2
C-25	98	2	C-59	94	2
C-26	98	2	C-60	94	2
C-27	94	2	C-61	94	2
C-28	91	2	C-62	98	2
C-29	94	2	C-63	98	2
C-30	88	2	C-64	92	2
C-31	94	2	C-65	98	2
C-32	94	2	C-66	98	2
C-33	97	2	C-67	93	2
C-34	94	2	C-68	98	2

FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

▪ Nudos

Los nudos en el software representan ser los componentes de sumideros (imbornales) y buzones de registro. Los cuales poseen características de altitud y profundidad; asumiendo que en la mayoría de los tramos la altitud de fondo de los nudos es la misma que de los conductos, y su altura está dada desde la cota de fondo hasta el nivel de la superficie del terreno.

En el siguiente cuadro se presentan los valores de cotas de fondo y la profundidad que poseen los nudos.

Cuadro 72. Características de los Nudos.

[JUNCTIONS]					
Nombre	Cota del Fondo	Prof. Máxima	Nombre	Cota del Fondo	Prof. Máxima
N-1	1967.50	1.50	N-47	1937.13	1.80
N-2	1967.47	1.60	N-48	1939.24	1.50
N-3	1965.19	1.50	N-49	1934.96	1.90
N-4	1963.37	1.50	N-50	1936.12	1.50
N-5	1961.82	1.60	N-51	1935.20	1.70
N-6	1962.06	1.50	N-52	1934.50	1.50
N-7	1961.28	1.50	N-53	1932.30	1.70

N-8	1965.69	1.50	N-54	1966.00	1.50
N-9	1964.46	1.50	N-55	1961.90	1.50
N-10	1962.84	1.50	N-56	1960.15	1.50
N-11	1960.20	1.80	N-57	1959.20	1.50
N-12	1960.50	1.50	N-58	1958.50	1.50
N-13	1960.50	1.50	N-59	1957.50	1.50
N-14	1959.50	1.50	N-60	1955.50	1.50
N-15	1958.78	1.50	N-61	1954.50	1.50
N-16	1958.50	1.50	N-62	1951.76	1.50
N-17	1958.10	1.90	N-63	1950.01	1.50
N-18	1966.22	1.50	N-64	1949.05	1.50
N-19	1962.50	1.50	N-65	1942.14	1.60
N-20	1960.33	1.50	N-66	1963.66	1.50
N-21	1959.50	1.50	N-67	1961.21	1.50
N-22	1959.16	1.50	N-68	1958.87	1.50
N-23	1957.64	1.60	N-69	1957.40	1.60
N-24	1955.20	1.60	N-70	1957.50	1.50
N-25	1954.40	1.60	N-71	1956.43	1.60
N-26	1951.57	1.70	N-72	1956.57	1.50
N-27	1949.79	1.80	N-73	1955.45	1.50
N-28	1948.66	1.90	N-74	1951.23	1.50
N-29	1940.95	2.00	N-75	1955.97	1.50
N-30	1940.40	1.60	N-76	1954.35	1.50
N-31	1945.38	1.50	N-77	1962.31	1.50
N-32	1943.09	1.50	N-78	1960.57	1.50
N-33	1939.75	1.60	N-79	1959.49	1.50
N-34	1938.43	1.60	N-80	1957.08	1.50
N-35	1937.51	1.60	N-81	1953.34	1.50
N-36	1938.05	1.50	N-82	1952.36	1.50
N-37	1935.65	1.60	N-83	1943.22	1.50
N-38	1934.56	1.60	N-84	1941.40	1.60
N-39	1940.50	1.50	N-85	1938.40	1.60
N-40	1940.16	1.50	N-86	1938.14	1.80
N-41	1936.57	1.50	N-87	1937.56	1.60
N-42	1935.06	1.50	N-88	1936.40	1.60
N-43	1932.74	1.70	N-89	1933.60	1.60
N-44	1941.26	1.50	N-90	1933.16	1.80
N-45	1937.92	1.50	N-91	1934.21	1.50
N-46	1937.26	1.50	N-92	1932.50	1.60

FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

▪ Depósitos de almacenamiento (Sedimentadores)

Los depósitos de almacenamiento, son estructuras que retienen cierto caudal pluvial para luego derivar a la siguiente conducción, o también, permitir el proceso de infiltración de caudal de llegada mediante las condiciones que el SWMM propone; es decir, para un depósito de almacenamiento con derivación o sin ella.

Para el presente estudio, se ha considerado implementar 04 depósitos de almacenamiento en ciertos lugares estratégicos,

estos mismos han sido asemejados como sedimentadores para los fines que se requiere.

Cuadro 73. Características de los depósitos de almacenamiento.

[STORAGE]

Nombre	Cota del Fondo	Profund. Máxima	Nivel Inicial	Curva de Almacenam.	Paramet. Curva	Fracción Evap.
DEP-1	1956.55	3.45	0	TABULAR	CURVA-DEP1	0
DEP-2	1930.69	3.15	0	TABULAR	CURVA-DEP2	1
DEP-3	1956.61	3.05	0	TABULAR	CURVA-DEP3	0
DEP-4	1930.70	2.90	0	TABULAR	CURVA-DEP4	1

FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

▪ **Vertidos**

Los vertidos son nudos terminales del sistema de drenaje, utilizados para definir las condiciones de contorno finales aguas abajo del sistema, en el caso de utilizar el modelo de flujo de la onda dinámica. Para otros tipos de flujo, los nudos de vertido se comportan como conexiones (Rossman, 2005).

La cuenca urbana de la Avenida 28 de agosto posee dos vías principales paralelas en donde se concentran los caudales de llegada y descargan en el tramo final de la avenida, para lo cual se ha propuesto establecer 02 nudos de vertido a orillas del cuerpo receptor (río Huallaga), perteneciente a ambas vías de la avenida.

Cuadro 74. Características de los nudos de vertido.

[OUTFALLS]

Nombre	Cota del Fondo	Tipo de Vertido	Nivel/Tabla Serie Temporal	Comp
D-1	1931.91	NORMAL		NO
D-2	1931.91	NORMAL		NO

FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

▪ **Conductos**

Los conductos o cada parte de estos se identifican por su nudo de entrada y salida, longitud, coeficiente de manning y el desnivel de entrada y salida.

Cuadro 75. Características de los Conductos.

[CONDUITS]						
Nombre	Nudo		Longitud	Coef. n Manning	Desnivel	
	Entrada	Salida			Entrada	Salida
L-1	N-1	N-2	7.99	0.010	0	0
L-2	N-2	N-3	49.09	0.010	0	0
L-3	N-3	N-4	51.94	0.010	0	0
L-4	N-4	N-5	64.18	0.010	0	0.10
L-5	N-6	N-5	39.12	0.010	0	0.10
L-6	N-5	N-7	57.78	0.010	0	0
L-7	N-8	N-9	49.60	0.010	0	0
L-8	N-9	N-10	57.76	0.010	0	0
L-9	N-10	N-7	57.80	0.010	0	0
L-10	N-7	N-11	44.68	0.010	0	0.10
L-11	N-13	N-11	13.23	0.010	0	0.10
L-12	N-12	N-11	14.84	0.010	0	0.10
L-13	N-11	N-14	55.53	0.010	0	0
L-14	N-14	N-15	34.61	0.010	0	0
L-15	N-15	N-17	17.56	0.010	0	0.10
L-16	N-16	N-17	7.87	0.010	0	0.10
L-17	N-18	N-19	74.85	0.010	0	0
L-18	N-19	N-20	75.86	0.010	0	0
L-19	N-20	N-21	51.09	0.010	0	0
L-20	N-21	N-22	24.38	0.010	0	0
L-21	N-22	N-17	22.66	0.010	0	0.10
L-22	N-17	DEP-1	14.98	0.010	0	1.36
L-23	DEP-1	N-23	18.55	0.010	1.36	0
L-24	N-23	N-24	69.67	0.010	0	0
L-25	N-24	N-25	15.34	0.010	0	0
L-26	N-25	N-26	55.06	0.010	0	0
L-27	N-26	N-27	33.85	0.010	0	0
L-28	N-27	N-28	16.66	0.010	0	0.30
L-29	N-28	N-29	101.29	0.010	0	0
L-30	N-29	N-30	14.11	0.010	0	0
L-31	N-31	N-32	25.18	0.010	0	0
L-32	N-32	N-30	33.26	0.010	0	0
L-33	N-30	N-33	12.07	0.010	0	0
L-34	N-33	N-34	40.63	0.010	0	0
L-35	N-34	N-35	42.81	0.010	0	0.10
L-36	N-36	N-35	8.98	0.010	0	0.10
L-37	N-35	N-37	76.08	0.010	0	0
L-38	N-37	N-38	31.32	0.010	0	0
L-39	N-39	N-40	11.78	0.010	0	0
L-40	N-40	N-41	127.85	0.010	0	0
L-41	N-41	N-42	43.73	0.010	0	0
L-42	N-42	N-38	10.54	0.010	0	0
L-43	N-38	N-43	38.83	0.010	0	0
L-44	N-44	N-45	92.89	0.010	0	0
L-45	N-45	N-46	34.32	0.010	0	0
L-46	N-46	N-47	44.48	0.010	0	0
L-47	N-48	N-47	79.77	0.010	0	0
L-48	N-47	N-49	55.62	0.010	0	0.20
L-49	N-50	N-51	75.72	0.010	0	0.10
L-50	N-51	N-49	7.79	0.010	0	0.20
L-51	N-49	N-52	24.24	0.010	0	0
L-52	N-52	N-43	43.19	0.010	0	0
L-53	N-43	N-53	12.34	0.010	0	0

L-54	N-53	DEP-2	12.17	0.010	0	1.33
L-55	DEP-2	D-1	5.16	0.010	1.33	0
L-56	N-54	N-55	88.30	0.010	0	0
L-57	N-55	N-56	62.94	0.010	0	0
L-58	N-56	N-57	50.66	0.010	0	0
L-59	N-57	N-58	23.45	0.010	0	0
L-60	N-58	DEP-3	22.57	0.010	0	1.44
L-61	DEP-3	N-59	21.84	0.010	1.44	0
L-62	N-59	N-60	58.70	0.010	0	0
L-63	N-60	N-61	15.05	0.010	0	0
L-64	N-61	N-62	53.63	0.010	0	0
L-65	N-62	N-63	35.21	0.010	0	0
L-66	N-63	N-64	15.82	0.010	0	0
L-67	N-64	N-65	91.99	0.010	0	0
L-68	N-66	N-67	50.69	0.010	0	0
L-69	N-67	N-68	52.57	0.010	0	0
L-70	N-68	N-69	46.10	0.010	0	0
L-71	N-70	N-69	8.31	0.010	0	0
L-72	N-69	N-71	81.23	0.010	0	0
L-73	N-72	N-71	8.44	0.010	0	0.10
L-74	N-71	N-73	58.70	0.010	0	0
L-75	N-73	N-74	82.00	0.010	0	0
L-76	N-75	N-76	96.91	0.010	0	0
L-77	N-76	N-74	49.08	0.010	0	0
L-78	N-74	N-65	87.62	0.010	0	0
L-79	N-77	N-78	34.96	0.010	0	0
L-80	N-78	N-79	22.28	0.010	0	0
L-81	N-79	N-80	44.18	0.010	0	0
L-82	N-80	N-81	79.56	0.010	0	0
L-83	N-81	N-82	15.99	0.010	0	0
L-84	N-82	N-83	91.71	0.010	0	0
L-85	N-83	N-65	12.07	0.010	0	0
L-86	N-65	N-84	19.73	0.010	0	0
L-87	N-84	N-85	75.25	0.010	0	0
L-88	N-85	N-86	14.36	0.010	0	0
L-89	N-86	N-87	15.50	0.010	0	0
L-90	N-87	N-88	62.77	0.010	0	0
L-91	N-88	N-89	61.83	0.010	0	0
L-92	N-89	N-90	8.22	0.010	0	0.10
L-93	N-91	N-90	12.00	0.010	0	0.10
L-94	N-90	N-92	22.84	0.010	0	0
L-95	N-92	DEP-4	13.28	0.010	0	1.36
L-96	DEP-4	D-2	5.10	0.010	1.36	0

FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

▪ Secciones

Las secciones para los colectores de aguas pluviales han sido consideradas de diámetro variable, de forma circular y de material PVC.

Cuadro 76. Características de las Secciones de conductos.

[XSECTIONS]					
Línea	Forma	Geom1	Línea	Forma	Geom1
L-1	CIRCULAR	0.50	L-49	CIRCULAR	0.50
L-2	CIRCULAR	0.50	L-50	CIRCULAR	0.50
L-3	CIRCULAR	0.50	L-51	CIRCULAR	0.50
L-4	CIRCULAR	0.50	L-52	CIRCULAR	0.50
L-5	CIRCULAR	0.50	L-53	CIRCULAR	0.70
L-6	CIRCULAR	0.50	L-54	CIRCULAR	0.70
L-7	CIRCULAR	0.50	L-55	CIRCULAR	0.70
L-8	CIRCULAR	0.50	L-56	CIRCULAR	0.50
L-9	CIRCULAR	0.50	L-57	CIRCULAR	0.50
L-10	CIRCULAR	0.50	L-58	CIRCULAR	0.50
L-11	CIRCULAR	0.50	L-59	CIRCULAR	0.50
L-12	CIRCULAR	0.50	L-60	CIRCULAR	0.50
L-13	CIRCULAR	0.50	L-61	CIRCULAR	0.50
L-14	CIRCULAR	0.50	L-62	CIRCULAR	0.50
L-15	CIRCULAR	0.50	L-63	CIRCULAR	0.50
L-16	CIRCULAR	0.50	L-64	CIRCULAR	0.50
L-17	CIRCULAR	0.50	L-65	CIRCULAR	0.50
L-18	CIRCULAR	0.50	L-66	CIRCULAR	0.50
L-19	CIRCULAR	0.50	L-67	CIRCULAR	0.50
L-20	CIRCULAR	0.50	L-68	CIRCULAR	0.50
L-21	CIRCULAR	0.50	L-69	CIRCULAR	0.50
L-22	CIRCULAR	0.60	L-70	CIRCULAR	0.50
L-23	CIRCULAR	0.60	L-71	CIRCULAR	0.50
L-24	CIRCULAR	0.60	L-72	CIRCULAR	0.50
L-25	CIRCULAR	0.60	L-73	CIRCULAR	0.50
L-26	CIRCULAR	0.60	L-74	CIRCULAR	0.50
L-27	CIRCULAR	0.60	L-75	CIRCULAR	0.50
L-28	CIRCULAR	0.60	L-76	CIRCULAR	0.50
L-29	CIRCULAR	0.60	L-77	CIRCULAR	0.50
L-30	CIRCULAR	0.60	L-78	CIRCULAR	0.50
L-31	CIRCULAR	0.50	L-79	CIRCULAR	0.50
L-32	CIRCULAR	0.50	L-80	CIRCULAR	0.50
L-33	CIRCULAR	0.60	L-81	CIRCULAR	0.50
L-34	CIRCULAR	0.60	L-82	CIRCULAR	0.50
L-35	CIRCULAR	0.60	L-83	CIRCULAR	0.50
L-36	CIRCULAR	0.50	L-84	CIRCULAR	0.50
L-37	CIRCULAR	0.60	L-85	CIRCULAR	0.50
L-38	CIRCULAR	0.60	L-86	CIRCULAR	0.60
L-39	CIRCULAR	0.50	L-87	CIRCULAR	0.60
L-40	CIRCULAR	0.50	L-88	CIRCULAR	0.60
L-41	CIRCULAR	0.50	L-89	CIRCULAR	0.60
L-42	CIRCULAR	0.50	L-90	CIRCULAR	0.60
L-43	CIRCULAR	0.50	L-91	CIRCULAR	0.60
L-44	CIRCULAR	0.50	L-92	CIRCULAR	0.60
L-45	CIRCULAR	0.50	L-93	CIRCULAR	0.60
L-46	CIRCULAR	0.50	L-94	CIRCULAR	0.60
L-47	CIRCULAR	0.50	L-95	CIRCULAR	0.60
L-48	CIRCULAR	0.50	L-96	CIRCULAR	0.60

FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

- **Curvas de relación para los depósitos de almacenamiento**

Uno de los métodos que SWMM 5 vE propone en los parámetros de entrada para un depósito de almacenamiento, es el método TABULAR, que permite describir la geometría del depósito y que relaciona el nivel de agua con el área del depósito o sedimentador en este caso.

Cuadro 77. Características de curvas de los depósitos de almacenamiento (sedimentadores).

[CURVES]				[CURVES]			
Nombre	Tipo	Valor X	Valor Y	Nombre	Tipo	Valor X	Valor Y
-----				-----			
Curva para la relación. Área-Depósito 1				Curva para la relación. Área-Depósito 3			
CURVA-DEP1	Storage	0.00	13.50	CURVA-DEP3	Storage	0.00	9.375
CURVA-DEP1		0.26	13.50	CURVA-DEP3		0.12	9.375
CURVA-DEP1		1.16	13.50	CURVA-DEP3		0.48	9.375
CURVA-DEP1		1.45	13.50	CURVA-DEP3		1.25	9.375
CURVA-DEP1		1.46	13.50	CURVA-DEP3		1.48	9.375
CURVA-DEP1		1.47	13.50	CURVA-DEP3		1.49	9.375
CURVA-DEP1		1.48	13.50	CURVA-DEP3		1.50	9.375
CURVA-DEP1		1.49	13.50	CURVA-DEP3		1.51	9.375
CURVA-DEP1		1.50	13.50	CURVA-DEP3		1.52	9.375
CURVA-DEP1		1.52	13.50	CURVA-DEP3		1.53	9.375
CURVA-DEP1		1.53	13.50	CURVA-DEP3		1.59	9.375
CURVA-DEP1		1.56	13.50				
CURVA-DEP1		1.72	13.50				
Curva para la relación. Área-Depósito 2				Curva para la relación. Área-Depósito 4			
CURVA-DEP2	Storage	0.00	26.01	CURVA-DEP4	Storage	0.00	18.49
CURVA-DEP2		0.20	26.01	CURVA-DEP4		0.13	18.49
CURVA-DEP2		0.84	26.01	CURVA-DEP4		0.93	18.49
CURVA-DEP2		1.44	26.01	CURVA-DEP4		1.44	18.49
CURVA-DEP2		1.45	26.01	CURVA-DEP4		1.46	18.49
CURVA-DEP2		1.46	26.01	CURVA-DEP4		1.47	18.49
CURVA-DEP2		1.47	26.01	CURVA-DEP4		1.48	18.49
CURVA-DEP2		1.48	26.01	CURVA-DEP4		1.49	18.49
CURVA-DEP2		1.49	26.01	CURVA-DEP4		1.50	18.49
CURVA-DEP2		1.50	26.01	CURVA-DEP4		1.52	18.49
CURVA-DEP2		1.52	26.01	CURVA-DEP4		1.53	18.49
CURVA-DEP2		1.53	26.01	CURVA-DEP4		1.56	18.49
CURVA-DEP2		1.58	26.01	CURVA-DEP4		1.71	18.49
CURVA-DEP2		1.77	26.01				

FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

- **Serie Temporal de Lluvia**

Los resultados del estudio hidrológico son fundamentales para describir la serie temporal de un evento de lluvia. Mediante los datos del hietograma de intensidades visto en el estudio de tormentas, es posible asignar la precipitación para el modelamiento y diseño del sistema de drenaje pluvial. A continuación, se presentan los datos de intensidades para cada tiempo de registro de duración de 6 horas, aproximadamente.

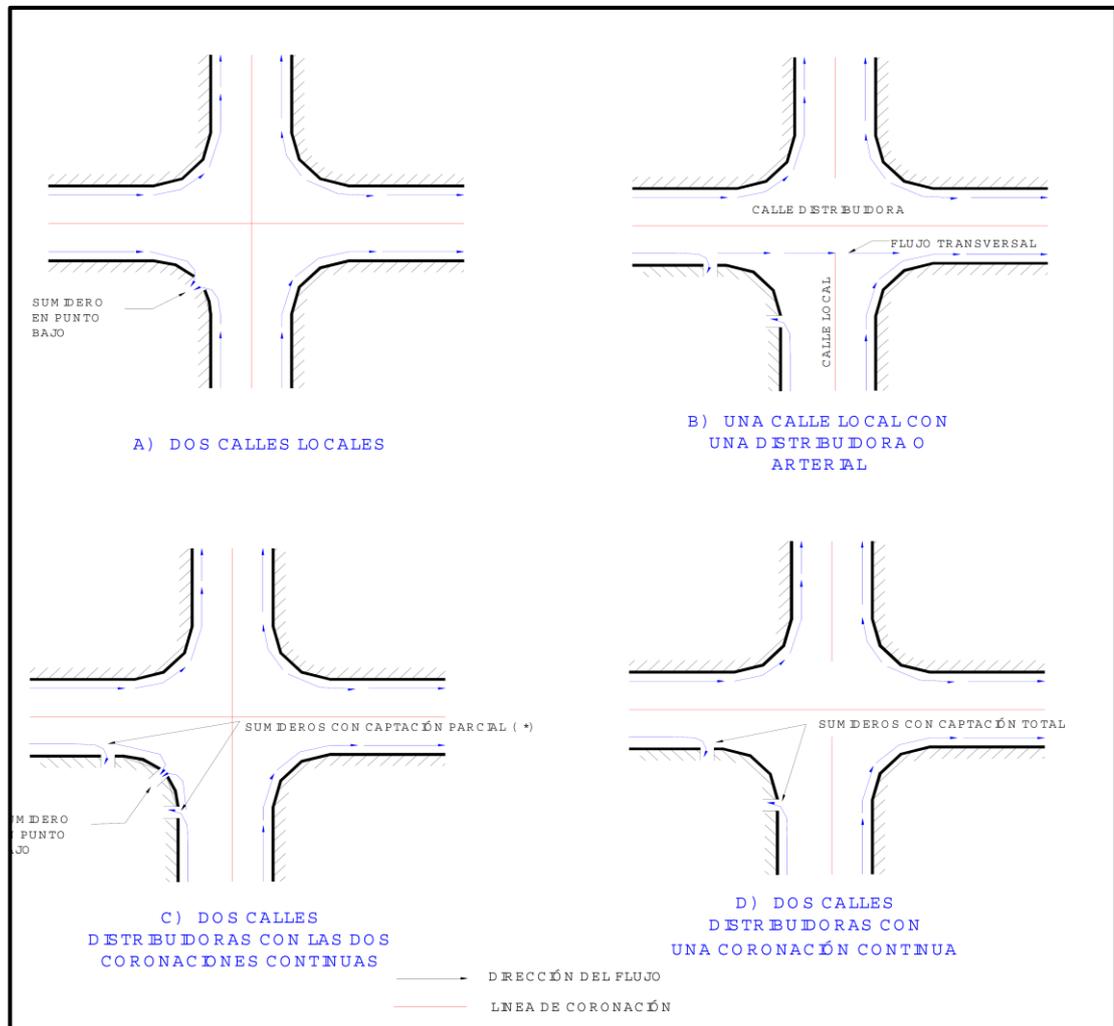
Cuadro 78. Características de la Serie Temporal de Lluvia.

[TIMESERIES]			
Nombre	Fecha	Hora	Valor
-----	-----	-----	-----
Serie temporal de lluvia "Av. 28 de agosto"			
ST-AMARILIS		00:00	0.00
ST-AMARILIS		00:15	2.62
ST-AMARILIS		00:30	2.76
ST-AMARILIS		00:45	2.92
ST-AMARILIS		01:00	3.12
ST-AMARILIS		01:15	3.35
ST-AMARILIS		01:30	3.63
ST-AMARILIS		01:45	4.00
ST-AMARILIS		02:00	4.50
ST-AMARILIS		02:15	5.22
ST-AMARILIS		02:30	6.41
ST-AMARILIS		02:45	8.91
ST-AMARILIS		03:00	32.93
ST-AMARILIS		03:15	11.95
ST-AMARILIS		03:30	7.37
ST-AMARILIS		03:45	5.73
ST-AMARILIS		04:00	4.82
ST-AMARILIS		04:15	4.23
ST-AMARILIS		04:30	3.81
ST-AMARILIS		04:45	3.48
ST-AMARILIS		05:00	3.23
ST-AMARILIS		05:15	3.02
ST-AMARILIS		05:30	2.84
ST-AMARILIS		05:45	2.69
ST-AMARILIS		06:00	2.56
ST-AMARILIS		06:15	0.00

FUENTE: Elaboración propia en base al SWMM 5 vE.

ANEXO N°05. UBICACIÓN DE SUMIDEROS

Según Castañeda (2004), la ubicación de sumideros depende de las características mostradas en las siguientes ilustraciones:

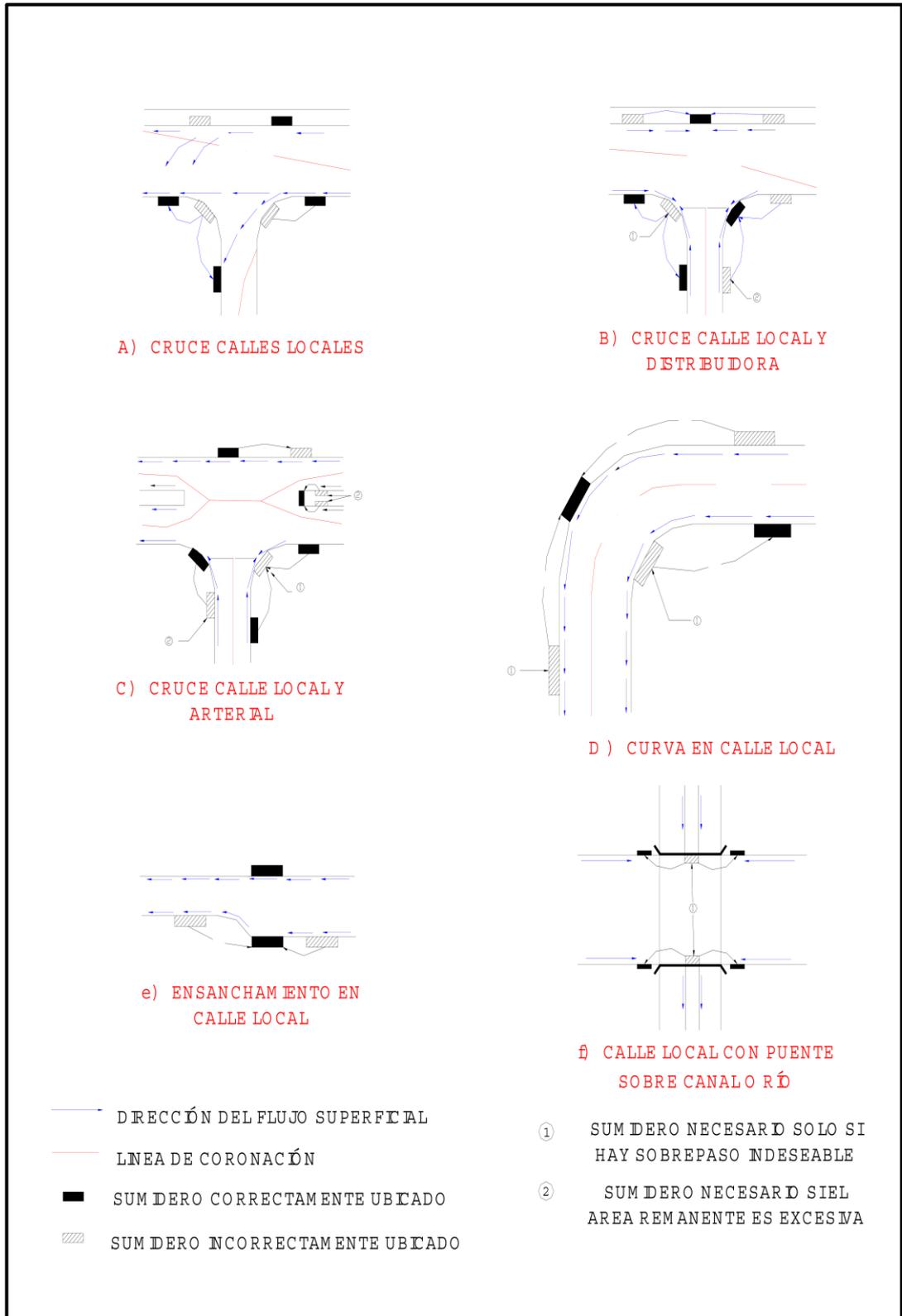


FUENTE: Elaboración propia en base a Castañeda, 2004.

Ilustración 113. Uso de sumideros en intersecciones típicas de calles.

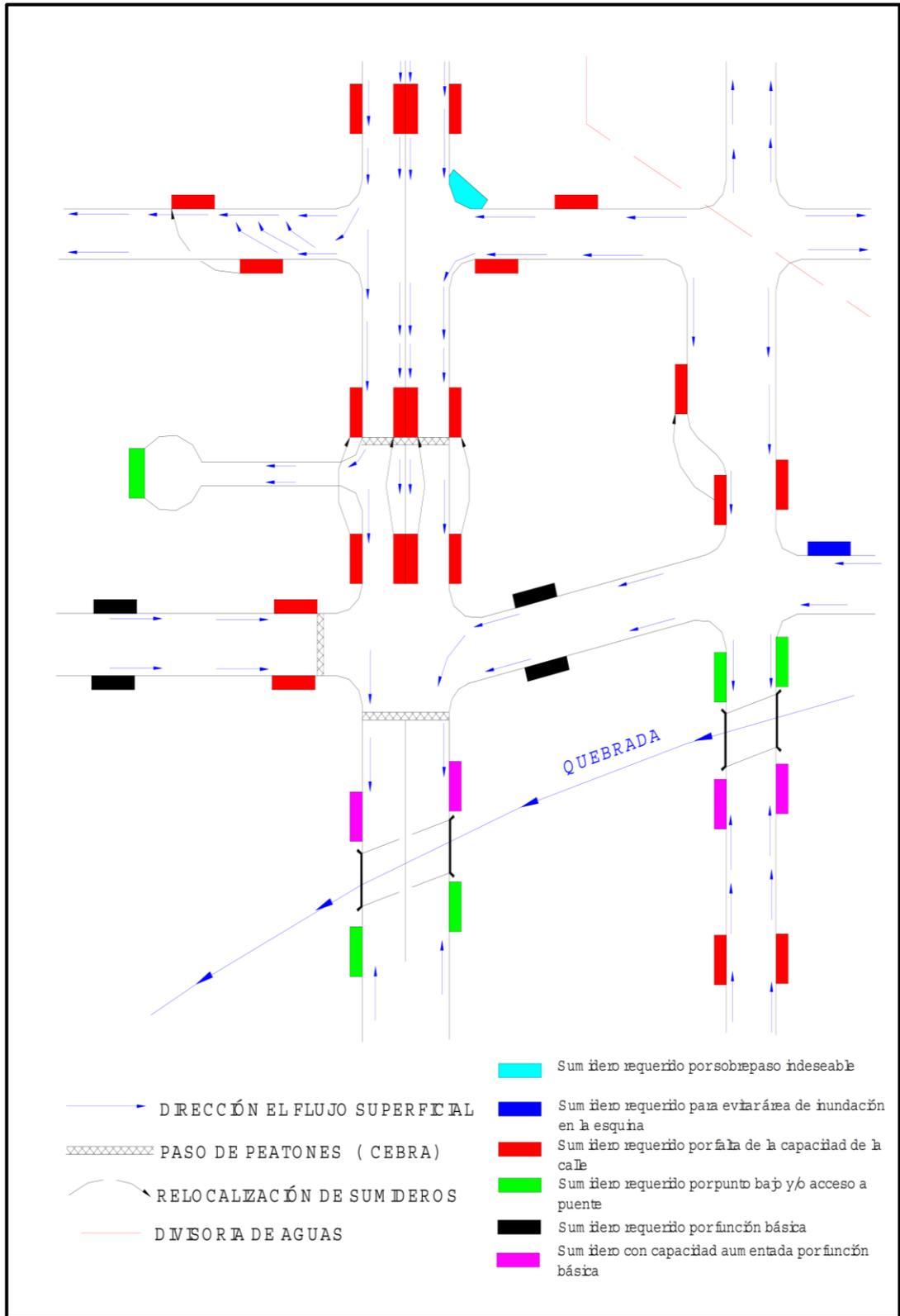
(*) Solo son necesarios si el sumidero en punto bajo por sí solo creará un área inundada inaceptable.

Podrían necesitarse sumideros adicionales si la capacidad de la calle es excedida.



FUENTE: Elaboración propia en base a Castañeda, 2004.

Ilustración 114. Localización típica de sumideros I.



FUENTE: Elaboración propia en base a Castañeda, 2004.

Ilustración 115. Localización típica de sumideros II.

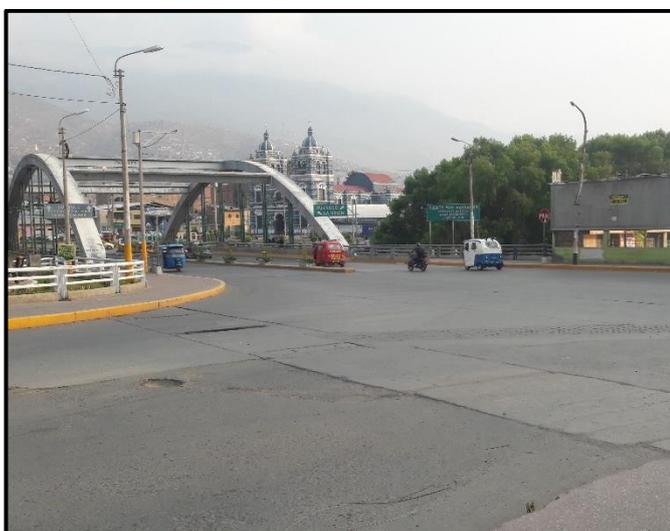
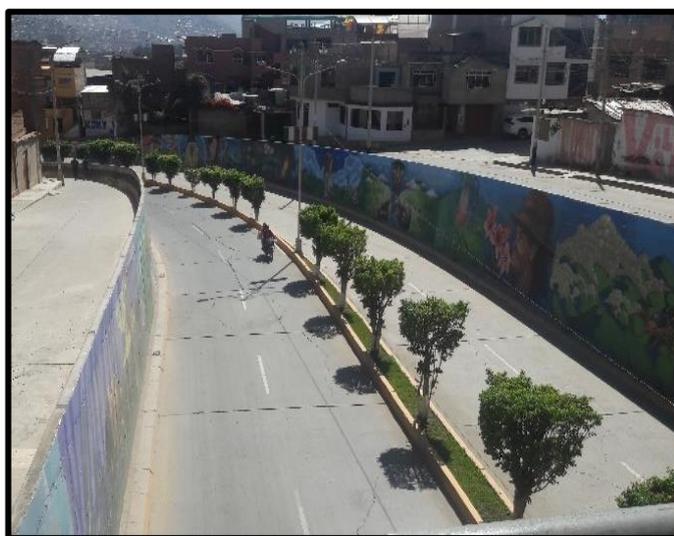
ANEXO N°06. PANELES FOTOGRÁFICOS

Panel Fotográfico N°01 – Zona de Estudio.



Tramo inicial de la Avenida 28 de agosto – Amarilis – Huánuco.

Tramo intermedio de la Avenida 28 de agosto – Amarilis – Huánuco.



Tramo final de la Avenida 28 de agosto – Amarilis – Huánuco.



Afluente de escorrentía superficial llegando en la intersección de la Av. Esteban Pavletich y la Av. 28 de agosto.

Comportamiento de la escorrentía superficial en el tramo inicial de la Avenida 28 de agosto.



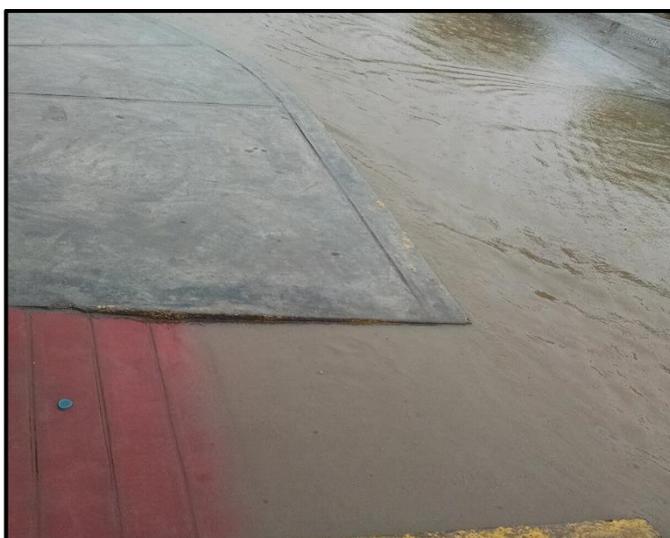
Llegada y almacenamiento de la escorrentía superficial que da origen al colapso total de la calzada y las cunetas.





Concentración del volumen de escorrentía superficial entre la Av. 28 de agosto y la Av. Micaela Bastidas.

Afluente de escorrentía superficial llegando en la Av. Micaela Bastidas y la Av. 28 de agosto.



Colapso de la calzada y cunetas; e ingreso del volumen de escorrentía en rampas y aceras de la Av. Micaela Bastidas.



Medio de transporte varado y en mal estado producto del ingreso del flujo pluvial en el interior del vehículo.

Recorrido del volumen de escorrentía superficial llegando aguas abajo cerca al Jr. Las Begonias.



Sumidero de fondo fuera de funcionamiento frente a un evento de precipitación, entre la Av. 28 de agosto y el Jr. Las Begonias.



Recorrido del volumen de escorrentía superficial aguas abajo de la Av. 28 de agosto.

Recorrido del volumen de escorrentía superficial aguas abajo de la Av. 28 de agosto.



Llegada del volumen de escorrentía en el tramo final ubicado entre la Av. 28 de agosto y la Av. Los Laureles.





Sumidero transversal obstruido por partículas de sedimentos.

Sumidero de fondo con rejilla deteriorada, colmatado y fuera de servicio.



Colector pluvial con revestimiento deteriorado.



Sumidero mixto sin protección y parcialmente colmatado.

Sumidero de fondo protegido con elemento no adecuado.



Estructura de vertido sin mantenimiento y cubierta por yerbas que impiden la adecuada evacuación del caudal pluvial.



Panel Fotográfico N°02 – Levantamiento topográfico.



Dron instalado y preparado para el primer vuelo.

Vista del tesista manipulando el control del dron.



Dron instalado y preparado para el segundo vuelo.



Vista del tesista manipulando el control del dron.

Dron instalado y preparado para el tercer vuelo.



Vista del tesista manipulando el control del dron.



Colocación del equipo GPS diferencial sobre el elemento identificable para dar inicio a la calibración de lectura de la cota base (BM).

Vista del tesista realizando el levantamiento y toma de lectura de puntos topográficos entre la Av. Los Laureles y la Av. 28 de agosto.

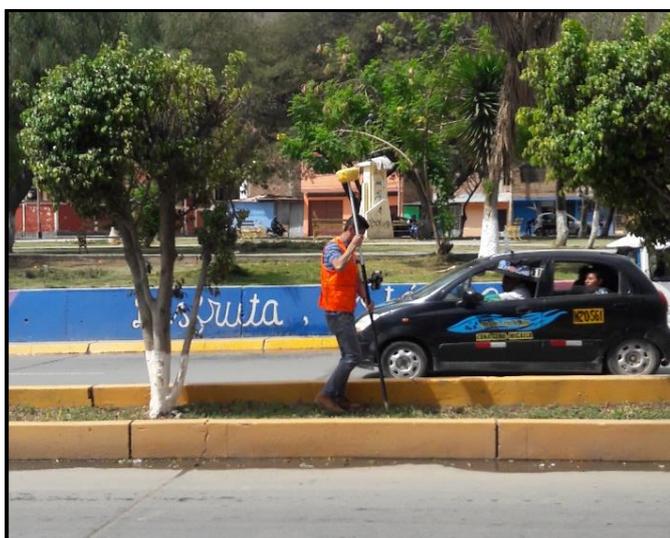


Levantamiento de puntos entre el Jr. Las Begonias y la Av. 28 de agosto.



Levantamiento de puntos en la vía de evitamiento los Héroes del Cenepa.

Levantamiento de puntos en la vía de evitamiento los Héroes del Cenepa, altura del Complejo deportivo.



Traslado y cambio de estación hacia otro punto de lectura.



Levantamiento de puntos entre el Jr. José Carlos Mariátegui y la Av. 28 de agosto.

Levantamiento y toma de lectura de puntos topográficos en el tramo inicial de la Av. 28 de agosto.



Levantamiento y toma de lectura de puntos topográficos en calles adyacentes de la Av. 28 de agosto.

Panel Fotográfico N°03 – Estudio de Mecánica de Suelos.



Extracción de la primera muestra de una de las cámaras de recolección de aguas pluviales en la Av. 28 de agosto.

Extracción de la segunda muestra de una de las cámaras de recolección de aguas pluviales en la Av. 28 de agosto.



Presentación de muestras en bolsas herméticas.



Presentación de muestras en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad para el ensayo de análisis granulométrico de suelos por tamizado.

Cuarteo y selección de muestras representativas para el ensayo.



Presentación de muestras representativas en recipientes metálicos.



Lavado cuidadoso de muestras sobre la malla N°200.

Ingreso y retiro del horno de muestras lavadas.



Tamizado de muestras en diferentes mallas mediante el método manual.



Grupo de partículas de diferentes tamices trabajados en la Muestra N°01.

Grupo de partículas de diferentes tamices trabajados en la Muestra N°02.



Vista del tesista anotando los pesos de las partículas pasadas en cada tamiz.





Presentación de muestras en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad para el ensayo de gravedad específica de los sólidos del suelo (picnómetro).

Vertido de agua destilada en el picnómetro para realizar la calibración a distintas temperaturas.

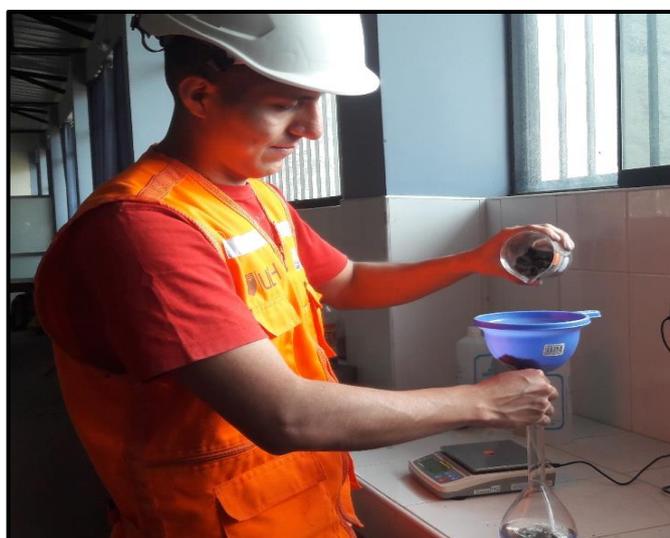


Calentamiento del picnómetro más agua en el baño maría para la toma de temperatura.

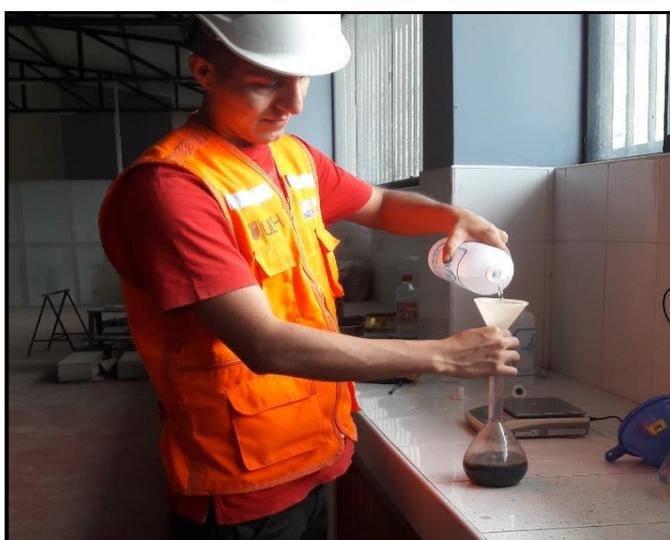


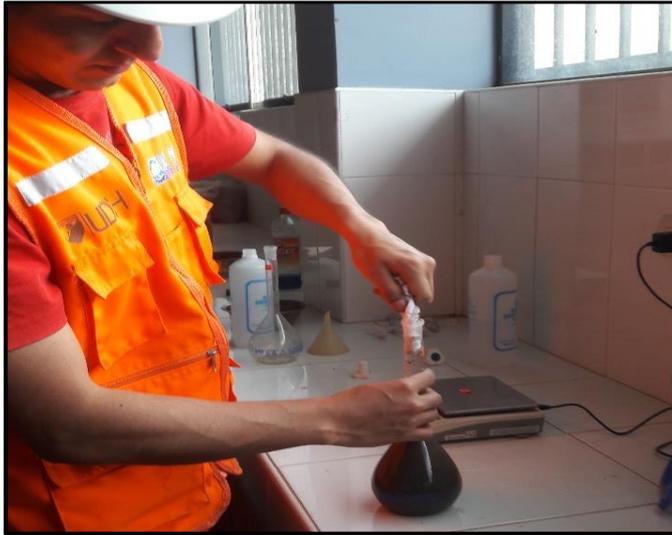
Preparación y tamizado de muestras sobre la malla N°04.

Colocación de muestra tamizadas en el frasco volumétrico mediante un embudo.



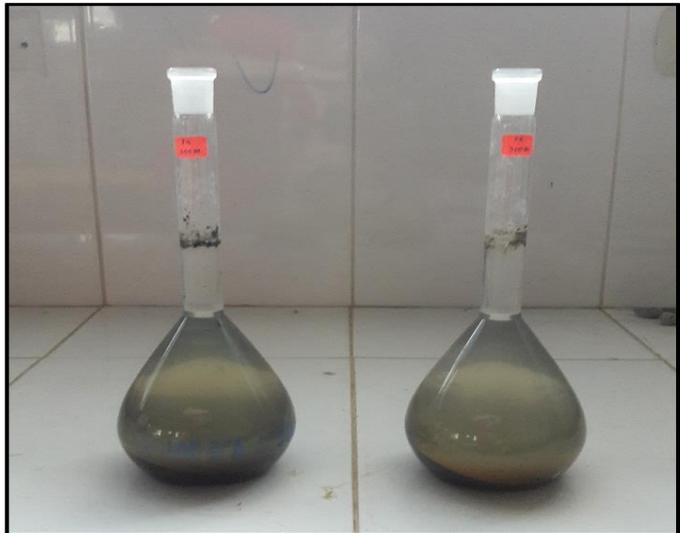
Colocación de agua destilada en el frasco volumétrico.





Limpeza de paredes internas del picnómetro.

Presentación de picnómetros con agua más suelo, después de un día de guardado.



Lectura de temperatura del picnómetro más agua más suelo.



Lectura de peso del frasco volumétrico más agua más suelo.

Presentación de muestras saturadas en recipientes metálicos (taras) para su posterior secado en el horno.



Presentación de muestras secas y listas para ser pesadas.

ANEXO N°07. RESULTADOS DEL ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS

A continuación, se presenta los resultados del EMS aprobado por el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad de Huánuco.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO – NTP 339.128 (ASTM D 422)



1. Procesamiento y cálculos de la prueba – Muestra N°01

Tabla de distribución granulométrica.

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
TESIS :	"DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO – 2019".				
TESISTA:	BACH. JOHN WILLIAMS RAMOS VIGILIO.				
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO MUESTRA N°01					
Antes del lavado	Después del lavado				
Peso de la muestra seca (W): 928.60 gr.	Peso de la muestra seca (W ₁): 752.50 gr.				
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% RETERENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100.000	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75.000	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50.000	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.000	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25.000	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.000	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.500	49.20	6.60%	6.60%	93.40%
N°04	4.750	79.30	10.63%	17.23%	82.77%
N°08	2.360	12.80	1.72%	18.94%	81.06%
N°10	2.000	56.80	7.61%	26.55%	73.45%
N°20	0.850	82.90	11.11%	37.67%	62.33%
N°40	0.425	101.30	13.58%	51.25%	48.75%
N°60	0.250	95.60	12.82%	64.06%	35.94%
N°100	0.150	104.40	13.99%	78.06%	21.94%
N°200	0.075	137.00	18.36%	96.42%	3.58%
CAZUELA		26.70	3.58%	100.00%	
		746.00	100.00%		

a) Cálculo del porcentaje de la humedad higroscópica

$$\% H.H = \left(\frac{W}{W_1} - 1 \right) * 100 = \left(\frac{928.60}{752.50} - 1 \right) * 100 = 23.40 \%$$

b) Cálculo del porcentaje de error en peso

$$\% E.P = \left(1 - \frac{\sum \text{Peso retenido}}{\text{Peso muestra seca}} \right) * 100 = \left(1 - \frac{746}{752.5} \right) * 100 = 0.86 \%$$





c) **Cálculo de los diámetros aparentes D_{10} , D_{30} , y D_{60}**

Para el D_{10} :

$$0.15 \text{ mm} \rightarrow 21.94$$

$$X \text{ mm} \rightarrow 10.00$$

$$0.075 \text{ mm} \rightarrow 3.58$$

Entonces:

$$\frac{0.15 - X}{0.15 - 0.075} = \frac{21.94 - 10}{21.94 - 3.58} \Rightarrow X = 0.1012$$

$$\therefore D_{10} = 0.10 \text{ mm}$$

De la misma forma se determinaron el D_{30} , D_{50} y D_{60} , obteniéndose los siguientes resultados:

$$D_{30} = 0.21 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 0.78 \text{ mm}$$

d) **Cálculo del coeficiente de uniformidad (C_u) y curvatura (C_c)**

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0.78 \text{ mm}}{0.10 \text{ mm}} = 7.80$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} * D_{10}} = \frac{(0.21)^2}{0.78(0.10)} = 0.57$$

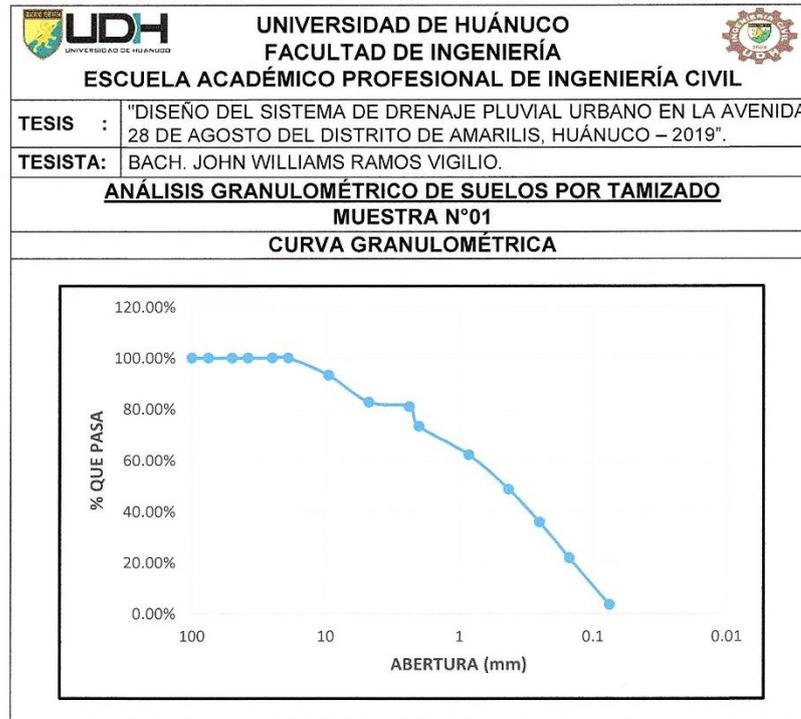
Resumen de resultados del cálculo.

DESCRIPCIÓN	ABREVIACIÓN	VALOR
Porcentaje de humedad higroscópica	% <i>H.H</i>	23.40 %
Porcentaje de error en peso	% <i>E.P</i>	0.86 %
Diámetro correspondiente al 10% en la curva granulométrica	D_{10}	0.10 mm
Diámetro correspondiente al 30% en la curva granulométrica	D_{30}	0.21 mm
Diámetro correspondiente al 60% en la curva granulométrica	D_{60}	0.78 mm
Coficiente de uniformidad	C_u	7.80
Coficiente de curvatura	C_c	0.57





Representación gráfica de la curva granulométrica.



2. Análisis de la prueba – Muestra N°01

Según la distribución granulométrica, la Muestra N°01 se caracteriza por tener los siguientes tamaños:

- Tamaño máximo absoluto: $3/4" = 19.0 \text{ mm}$.
- Tamaño máximo nominal : $3/8" = 9.5 \text{ mm}$.

Para el ensayo de la Muestra N°01 se concluye que:

- Porcentaje de grava (Retiene el tamiz N°04) : **17.23%**
- Porcentaje de arena (Pasa el N°04 y retiene el N°200): **79.19%**
- Porcentaje de limos y arcillas (Pasa el tamiz N°200) : **3.58%**





3. Procesamiento y cálculos de la prueba – Muestra N°02

Tabla de distribución granulométrica.

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
TESIS :	"DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO – 2019".				
TESISTA:	BACH. JOHN WILLIAMS RAMOS VIGILIO.				
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO MUESTRA N°02					
Antes del lavado	Después del lavado				
Peso de la muestra seca (W): 911.30 gr.	Peso de la muestra seca (W ₁): 734.70 gr.				
TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO	% RETERENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100.000	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75.000	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50.000	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.000	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25.000	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.000	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.500	6.50	0.89%	0.89%	99.11%
N°04	4.750	6.70	0.92%	1.81%	98.19%
N°08	2.360	9.60	1.31%	3.12%	96.88%
N°10	2.000	2.70	0.37%	3.49%	96.51%
N°20	0.850	54.40	7.44%	10.93%	89.07%
N°40	0.425	153.00	20.92%	31.85%	68.15%
N°60	0.250	162.40	22.21%	54.06%	45.94%
N°100	0.150	147.20	20.13%	74.19%	25.81%
N°200	0.075	171.40	23.44%	97.63%	2.37%
CAZUELA		17.30	2.37%	100.00%	
		731.20	100.00%		

e) Cálculo del porcentaje de la humedad higroscópica

$$\% H.H = \left(\frac{W}{W_1} - 1 \right) * 100 = \left(\frac{911.30}{734.70} - 1 \right) * 100 = 24.04 \%$$

f) Cálculo del porcentaje de error en peso

$$\% E.P = \left(1 - \frac{\sum \text{Peso retenido}}{\text{Peso muestra seca}} \right) * 100 = \left(1 - \frac{731.20}{734.70} \right) * 100 = 0.48 \%$$





g) Cálculo de los diámetros aparentes D_{10} , D_{30} , y D_{60}

Para el D_{10} :

$$0.15 \text{ mm} \rightarrow 25.81$$

$$X \text{ mm} \rightarrow 10.00$$

$$0.075 \text{ mm} \rightarrow 2.37$$

Entonces:

$$\frac{0.15 - X}{0.15 - 0.075} = \frac{25.81 - 10}{25.81 - 2.37} \Rightarrow X = 0.0994$$

$$\therefore D_{10} = 0.10 \text{ mm}$$

De la misma forma se determinaron el D_{30} , D_{50} y D_{60} , obteniéndose los siguientes resultados:

$$D_{30} = 0.17 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 0.36 \text{ mm}$$

h) Cálculo del coeficiente de uniformidad (C_u) y curvatura (C_c)

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0.36 \text{ mm}}{0.10 \text{ mm}} = 3.60$$

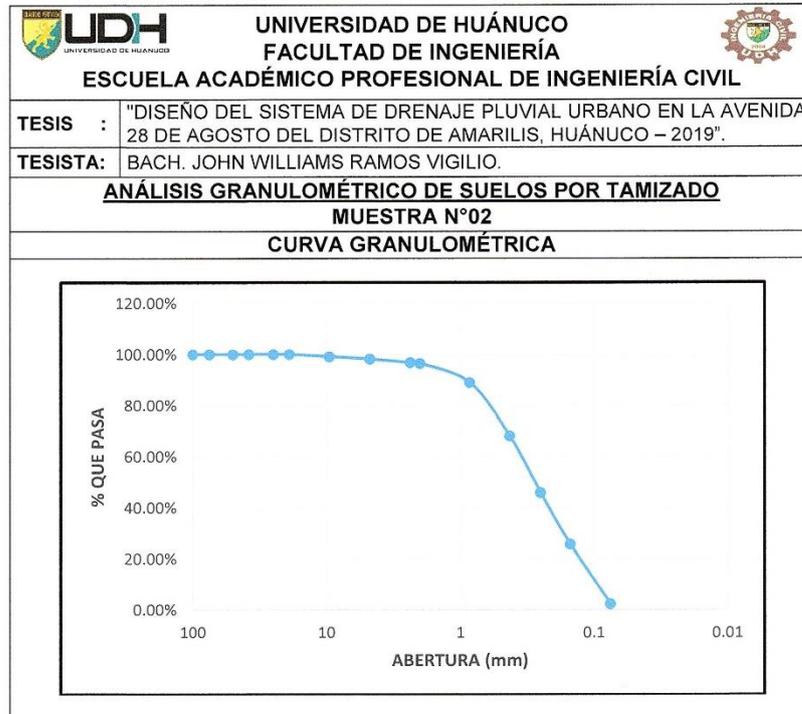
$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} * D_{10}} = \frac{(0.17)^2}{0.36(0.10)} = 0.80$$

Resumen de resultados del cálculo.

DESCRIPCIÓN	ABREVIACIÓN	VALOR
Porcentaje de humedad higroscópica	% <i>H.H</i>	24.04 %
Porcentaje de error en peso	% <i>E.P</i>	0.48 %
Diámetro correspondiente al 10% en la curva granulométrica	D_{10}	0.10 mm
Diámetro correspondiente al 30% en la curva granulométrica	D_{30}	0.17 mm
Diámetro correspondiente al 60% en la curva granulométrica	D_{60}	0.36 mm
Coficiente de uniformidad	C_u	3.60
Coficiente de curvatura	C_c	0.80



Representación gráfica de la curva granulométrica.



4. Análisis de la prueba – Muestra N°02

Según la distribución granulométrica, la Muestra N°02 se caracteriza por tener los siguientes tamaños:

- Tamaño máximo absoluto: $3/4" = 19.0 \text{ mm}$.
- Tamaño máximo nominal : $3/8" = 9.5 \text{ mm}$.

Para el ensayo de la Muestra N°02 se concluye que:

- Porcentaje de grava (Retiene el tamiz N°04) : **1.81%**
- Porcentaje de arena (Pasa el N°04 y retiene el N°200): **95.82%**
- Porcentaje de limos y arcillas (Pasa el tamiz N°200) : **2.37%**





GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO (PICNÓMETRO) – NTP 339.131 (ASTM D 854)

Para este tipo de ensayo, se siguió las indicaciones que presenta el manual de ensayo de materiales del MTC y demás normas afines.

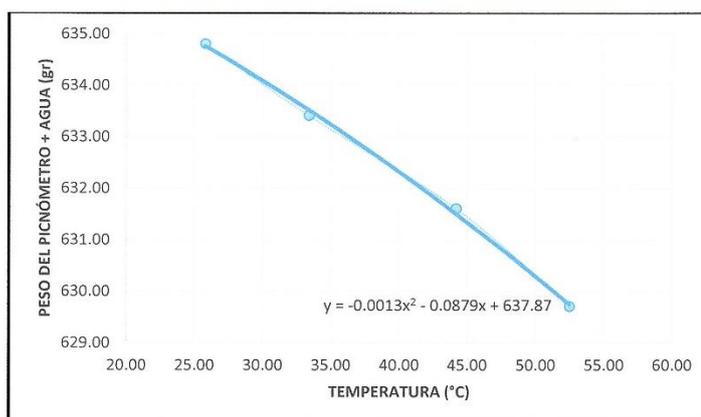
1. Calibración del picnómetro – Muestra N°01

La tabla siguiente muestra los datos de calibración que fueron tomados previamente durante el periodo del ensayo.

Datos de calibración.

PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA (gr)	TEMPERATURA (°C)
634.80	25.80
633.40	33.40
631.60	44.20
629.70	52.50

Representación gráfica de la calibración del Picnómetro – Muestra N°01.



La gráfica anterior muestra la gráfica de la línea de tendencia de los datos localizados en el plano cartesiano; así también, muestra su ecuación representativa que nos permitirá determinar posteriormente el peso del picnómetro más agua, dependiendo de la temperatura final tomada en el ensayo.





2. Procesamiento y cálculos de la prueba – Muestra N°01

La gravedad específica de los sólidos se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$G_s = \frac{W_0 * K}{W_0 + W_2 - W_1}$$

Donde:

K : Factor de corrección basado en el peso específico del agua a 20 °C.

W_1 : Peso del picnómetro más agua más suelo a la temperatura del ensayo (gr).

W_0 : Peso del suelo seco (gr).

W_2 : Peso del picnómetro más agua a la temperatura del ensayo (gr).

Previamente al cálculo, se presentan los datos del ensayo obtenidos del laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad de Huánuco.

Datos de ensayo “Gs” – Muestra N°01.

DESCRIPCIÓN	MUESTRA N°01
VOLUMEN DEL PICNÓMETRO	500.00 ml.
PESO DEL PICNÓMETRO	137.70 gr.
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA + SUELO	704.20 gr.
PESO SECO DE LA MUESTRA	116.60 gr.
TEMPERATURA	30.00 °C.

De acuerdo con la ecuación de G_s , los datos que faltaría completar para aplicar dicha ecuación es el factor de corrección K y el peso del picnómetro más agua W_2 .

Para hallar el factor de corrección K , se hace uso de la siguiente tabla:





Tabla que relaciona el peso específico (G) del agua y el factor de corrección (K) a una temperatura dada.

Temp.	G	K	Temp.	G	K	Temp.	G	K
18	0.9986	1.0004	19	0.9984	1.0002	20	0.9982	1
0.1	60	4	0.1	41	2	0.1	21	0
0.2	58	4	0.2	39	2	0.2	19	0
0.3	56	3	0.3	37	1	0.3	17	0.9999
0.4	54	3	0.4	35	1	0.4	15	9
0.5	52	3	0.5	33	1	0.5	13	9
0.6	50	3	0.6	31	1	0.6	10	9
0.7	49	3	0.7	29	1	0.7	8	8
0.8	47	2	0.8	27	0	0.8	6	8
0.9	45	2	0.9	25	0	0.9	4	8
21	0.998	0.9998	22	0.9978	0.9996	23	0.9976	0.9993
0.1	0	8	0.1	78	6	0.1	54	3
0.2	798	8	0.2	75	5	0.2	51	3
0.3	96	7	0.3	73	5	0.3	49	3
0.4	93	7	0.4	70	5	0.4	46	2
0.5	91	7	0.5	68	5	0.5	44	2
0.6	89	7	0.6	65	4	0.6	42	2
0.7	87	6	0.7	63	4	0.7	39	2
0.8	85	6	0.8	60	4	0.8	37	1
0.9	83	6	0.9	58	4	0.9	34	1
24	0.9973	0.9991	25	0.9971	0.9988	26	0.9968	0.9986
0.1	29	1	0.1	4	8	0.1	78	
0.2	27	0	0.2	2	8	0.2	76	
0.3	24	0	0.3	699	8	0.3	73	
0.4	22	0	0.4	97	7	0.4	70	
0.5	20	0	0.5	94	7	0.5	68	4
0.6	17	89	0.6	91	7	0.6	65	
0.7	14	9	0.7	89	7	0.7	63	
0.8	12	9	0.8	87	6	0.8	60	
0.9	9	9	0.9	84	6	0.9	57	
27	0.9965	0.9983	28	0.9963	0.9988	29	0.996	0.9977
0.1	51	3	0.1	23	0	0.1	94	7
0.2	48	2	0.2	20	0	0.2	91	7
0.3	46	2	0.3	17	0	0.3	88	6
0.4	43	2	0.4	14	79	0.4	85	6
0.5	40	2	0.5	11	9	0.5	82	6
0.6	37	1	0.6	8	9	0.6	79	6
0.7	34	1	0.7	6	8	0.7	76	5
0.8	32	1	0.8	3	8	0.8	73	5
0.9	29	1	0.9	0	8	0.9	70	5
30	0.9957	0.9974	31	0.9954	0.9971	32	0.9951	0.9968
0.1	64	4	0.1	33	1	0.1	2	8
0.2	61	4	0.2	30	1	0.2	499	8
0.3	58	3	0.3	27	0	0.3	96	7
0.4	55	3	0.4	24	0	0.4	93	7
0.5	52	3	0.5	21	0	0.5	90	7
0.6	49	3	0.6	18	69	0.6	86	6
0.7	46	2	0.7	15	9	0.7	83	6
0.8	43	2	0.8	12	9	0.8	80	6
0.9	40	2	0.9	8	9	0.9	77	5

Con una temperatura de 30 °C obtenida del ensayo de laboratorio. Se puede decir que el factor de corrección K es igual a 0.9974.

Luego, de la gráfica de calibración del picnómetro se tiene:

$$y = -0.0013x^2 - 0.0879x + 637.87$$

$$y = -0.0013(30)^2 - 0.0879(30) + 637.87 = 634.063$$





$$\therefore y = 634.06 \text{ gr.}$$

Representa el valor del peso del picnómetro más agua a temperatura del ensayo.

Luego, reemplazamos los valores del ensayo en la ecuación de G_s , entonces:

$$G_{s(1)} = \frac{W_0 * K}{W_0 + W_2 - W_1} = \frac{116.60(0.0974)}{116.60 + 634.06 - 704.20} = 2.5032$$

$$\therefore G_{s(1)} = 2.50 \text{ gr/cm}^3$$

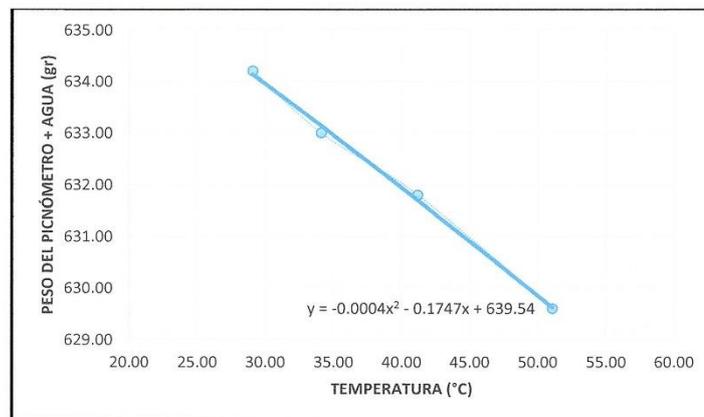
3. Calibración del picnómetro – Muestra N°02

La tabla siguiente, muestra los datos de calibración que fueron tomados previamente durante el periodo del ensayo.

Datos de calibración.

PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA (gr)	TEMPERATURA (°C)
634.20	29.10
633.00	34.10
631.80	41.20
629.60	51.10

Representación gráfica de la calibración del Picnómetro – Muestra N°02.





4. Procesamiento y cálculos de la prueba – Muestra N°02

Previamente al cálculo, se presentan los datos del ensayo obtenidos del laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad de Huánuco.

Datos de ensayo “Gs” – Muestra N°02.

DESCRIPCIÓN	MUESTRA N°01
VOLUMEN DEL PICNÓMETRO	500.00 ml.
PESO DEL PICNÓMETRO	137.80 gr.
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA + SUELO	701.50 gr.
PESO SECO DE LA MUESTRA	112.00 gr.
TEMPERATURA	30.00 °C.

Así también, para la Muestra N°02 y de acuerdo con la ecuación de G_s , los datos que faltaría completar para aplicar dicha ecuación es el factor de corrección K y el peso del picnómetro más agua W_2 . Al igual que la Muestra N°01 y teniendo en cuenta la temperatura de 30 °C obtenida del ensayo del laboratorio. Se puede decir que el factor de corrección para la Muestra N°02, es igual a 0.9974.

Luego, de la gráfica de calibración del picnómetro se tiene:

$$y = -0.0004x^2 - 0.1747x + 639.54$$

$$y = -0.0004(30)^2 - 0.1747(30) + 639.54 = 633.939$$

$$\therefore y = 633.94 \text{ gr.}$$

Representa el valor del peso del picnómetro más agua a temperatura del ensayo.

Luego, reemplazamos los valores del ensayo en la ecuación de G_s , al igual que la Muestra N°01, entonces:

$$G_{s(2)} = \frac{W_0 * K}{W_0 + W_2 - W_1} = \frac{112.00(0.9974)}{112.00 + 633.94 - 701.50} = 2.5137$$

$$\therefore G_{s(2)} = 2.51 \text{ gr/cm}^3.$$





A continuación, se presenta la tabla de los resultados del cálculo.

Resultados del cálculo de la gravedad específica de los sólidos.

DESCRIPCIÓN	MUESTRA N°01	MUESTRA N°02
Volumen del Picnómetro	500.00 ml.	500.00 ml.
Peso del Picnómetro	137.70 gr.	137.80 gr.
Peso del Picnómetro + Agua + Suelo	704.20 gr.	701.50 gr.
Temperatura	30.00 °C	30.00 °C
Peso seco de la Muestra	116.60 gr.	112.00 gr.
Peso del Picnómetro + Agua	634.06 gr.	633.94 gr.
Factor de corrección "K"	0.0974	0.0974
Peso específico relativo de sólidos	2.50 gr/cm3.	2.51 gr/cm3.



ANEXO N°08. PLANOS

Las representaciones gráficas de los planos siguen el orden siguiente:

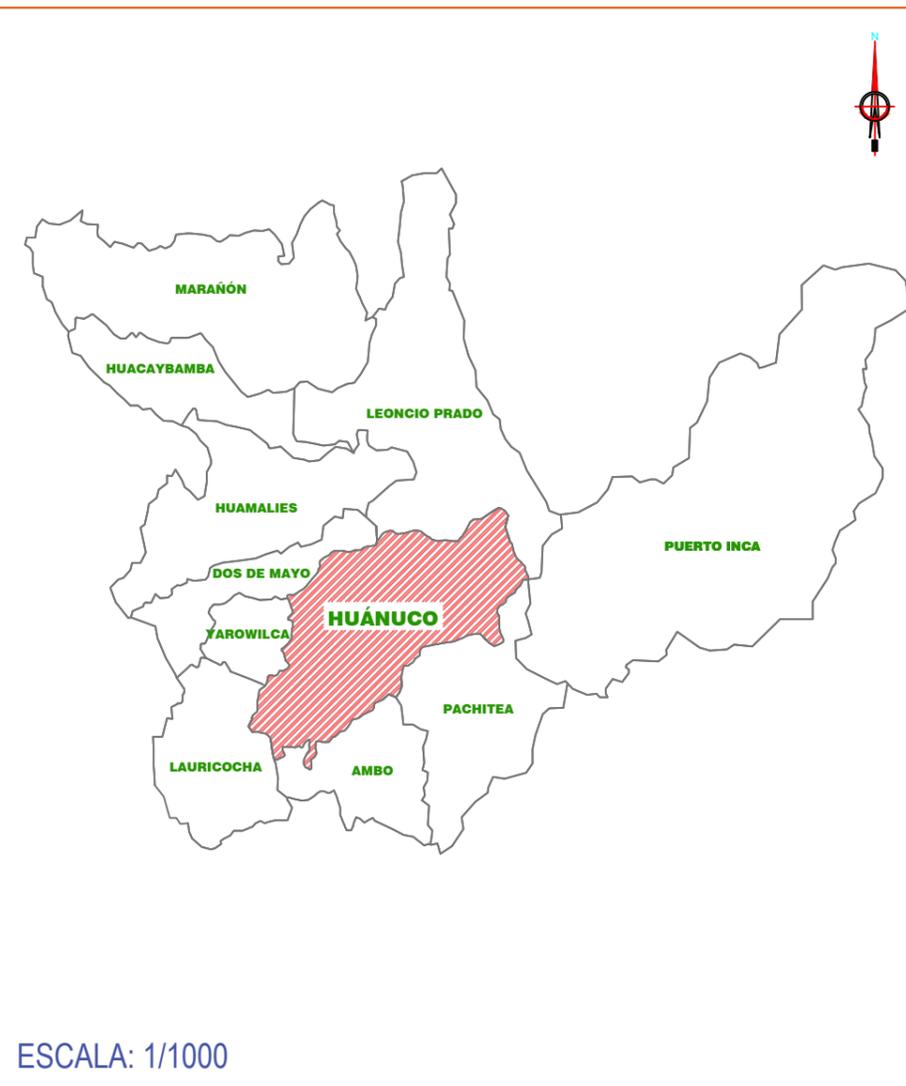
- ❖ PLANO DE UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN.
- ❖ PLANO DE CUENCA URBANA.
- ❖ PLANOS TOPOGRÁFICOS (PLANTA Y PERFIL).
- ❖ PLANOS DE SECCIONES TRANSVERSALES.
- ❖ PLANOS DE REDES DE DRENAJE PLUVIAL.
- ❖ PLANOS DE DETALLE DE COMPONENTES.

MAPA POLÍTICO DEL PERÚ



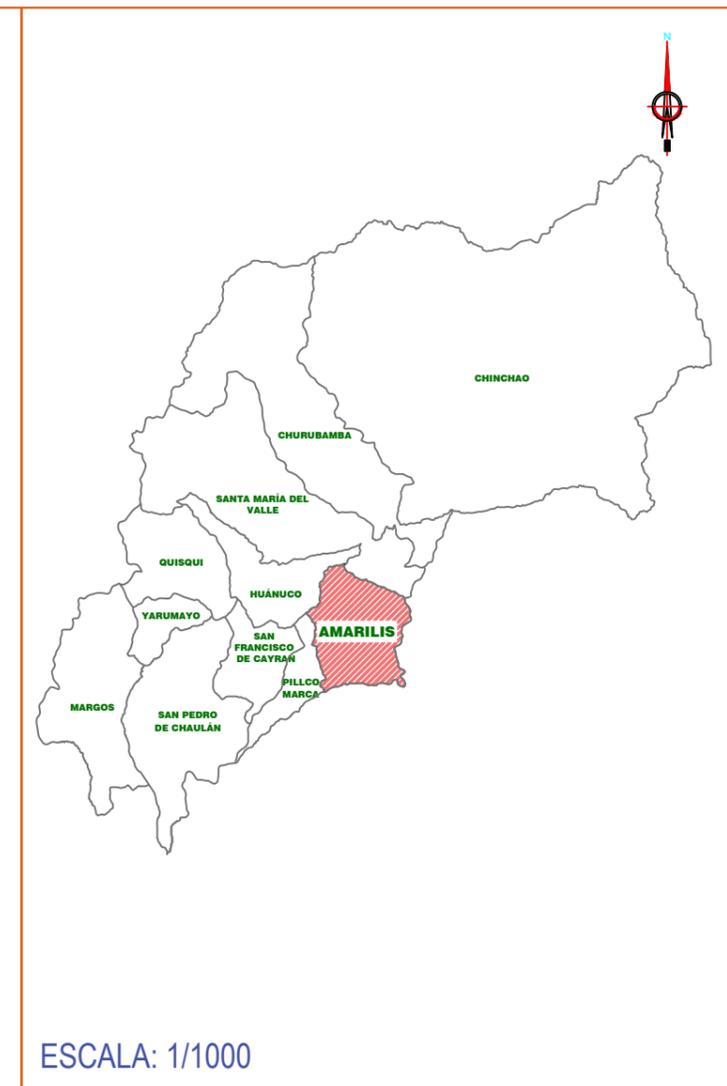
ESCALA: 1/1000

MAPA DEPARTAMENTAL DE HUÁNUCO



ESCALA: 1/1000

MAPA DISTRITAL DE HUÁNUCO



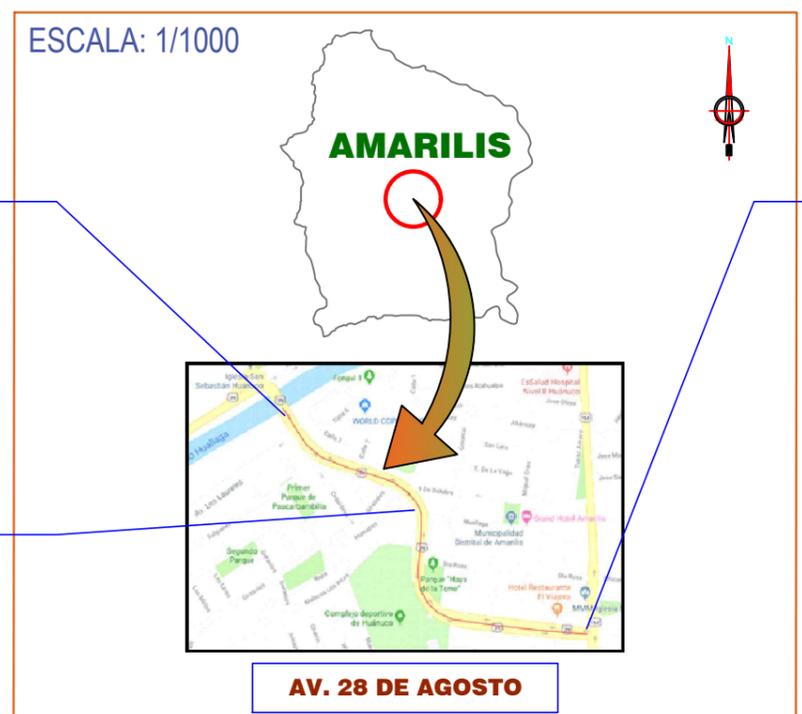
ESCALA: 1/1000

UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE INVESTIGACIÓN



TRAMO FINAL

TRAMO INTERMEDIO

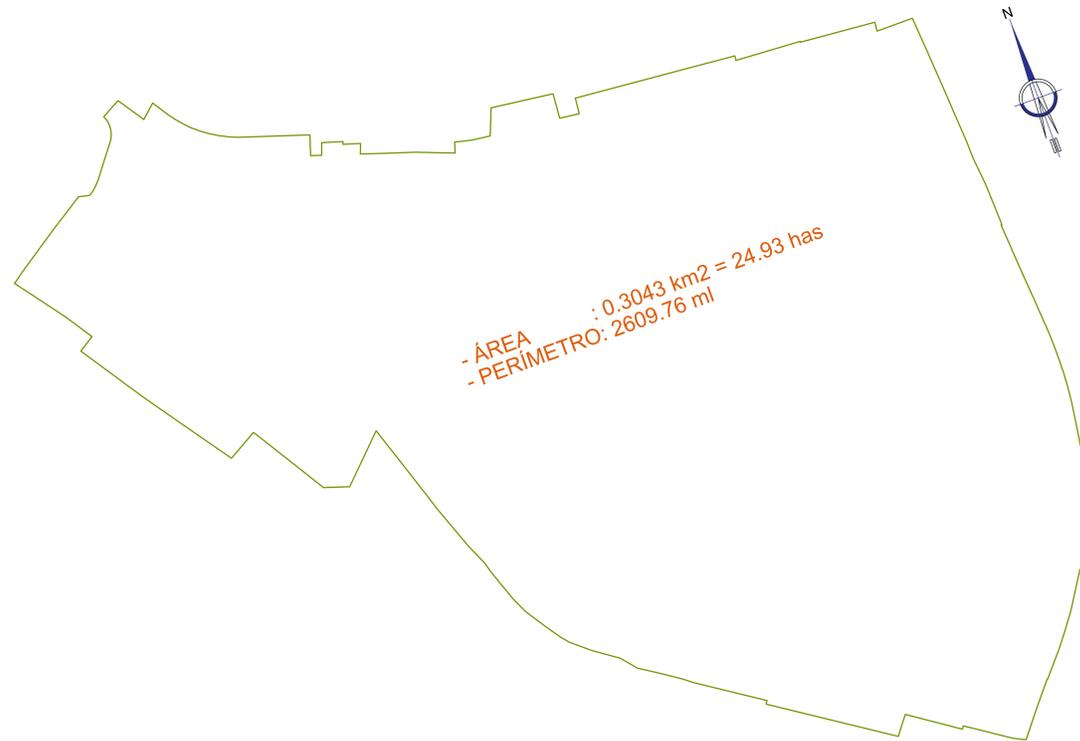


TRAMO INICIAL



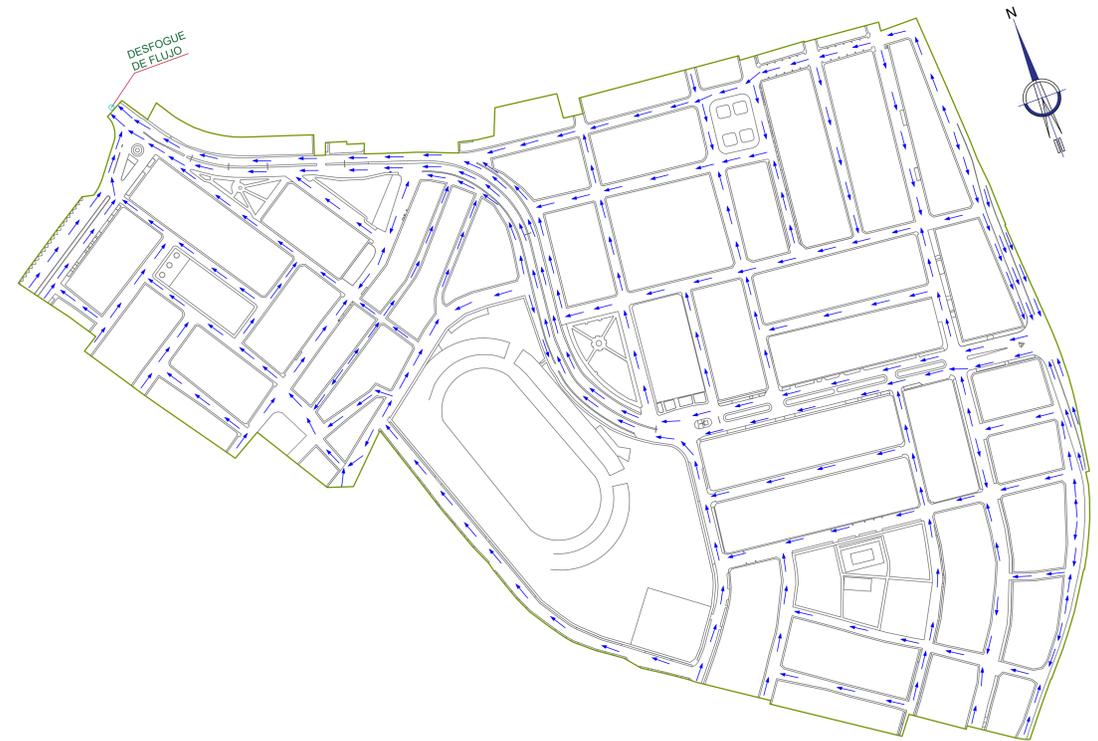
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL				
TESIS: "DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO - 2019"				
PLANO: UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN				LÁMINA: UL-01
UBICACIÓN: LUGAR: AV. 28 DE AGOSTO	PROVINCIA: HUÁNUCO	DISTRITO: AMARILIS		
ESCALA: INDICADA	FECHA: ENERO 2020	DIBUJO: JWRV		

CUENCA HIDROLÓGICA URBANA



CUENCA URBANA
ESCALA: 1/2000

LÍNEAS DE CORRIENTE DE FLUJO EN CUENCA URBANA



LÍNEAS DE CORRIENTE
ESCALA: 1/2000

DISTRIBUCIÓN DE SUBCUENCAS EN CUENCA URBANA

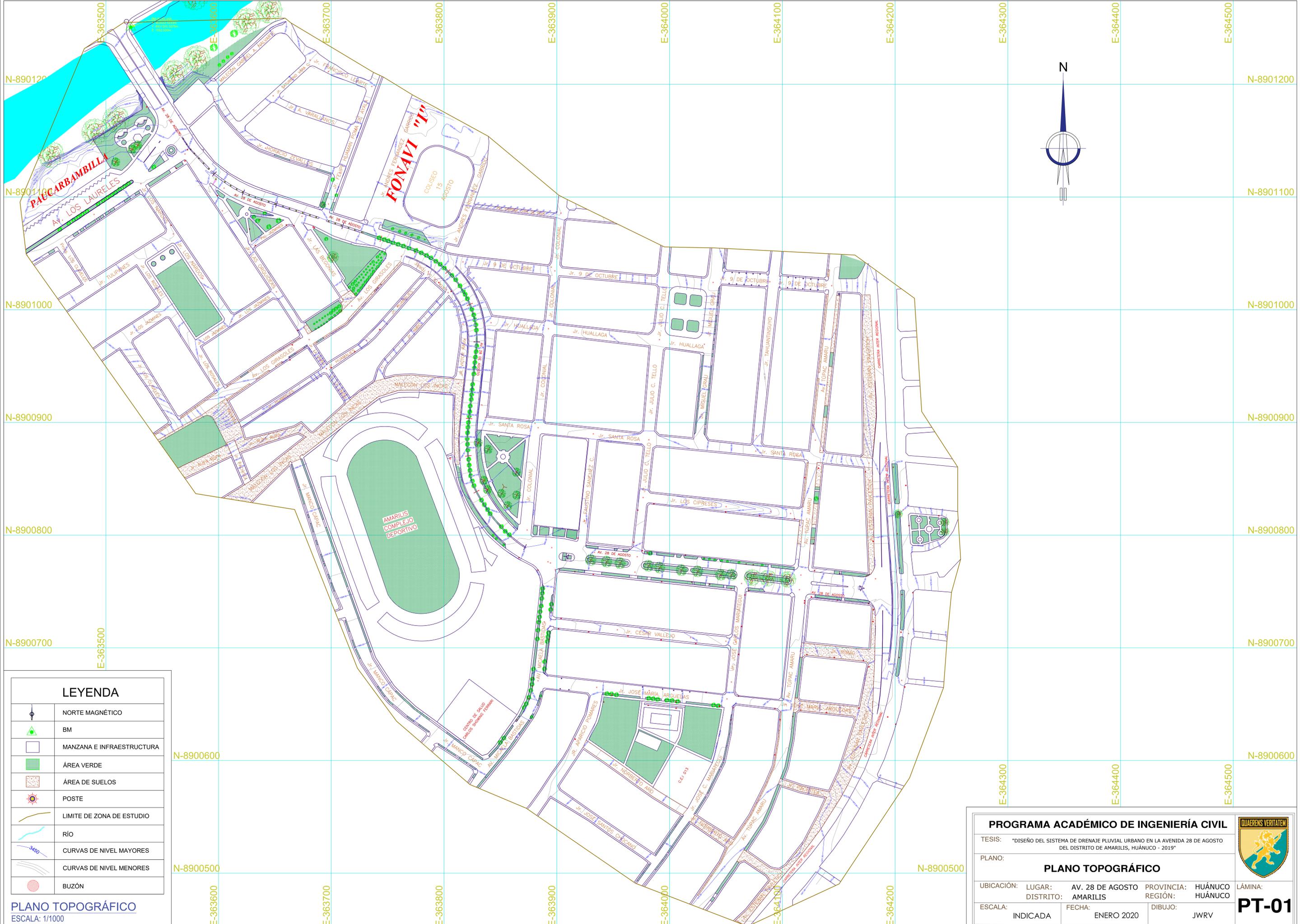


DISTRIBUCIÓN DE SUBCUENCAS
ESCALA: 1/2000

CARACTERÍSTICAS DE SUBCUENCAS					
Subcuenca	Área (ha)	Perímetro (ml)	Subcuenca	Área (ha)	Perímetro (ml)
01	0.45	276.34	35	0.43	285.64
02	0.24	198.10	36	0.08	145.83
03	0.30	219.89	37	0.12	205.43
04	0.62	340.8	38	0.17	244.4
05	0.29	279.8	39	0.18	191.08
06	0.96	402.55	40	0.81	372.26
07	0.71	361.57	41	0.87	411.81
08	0.29	242.01	42	0.05	118.73
09	0.65	356.53	43	0.09	154.1
10	0.98	469.72	44	0.06	166.77
11	0.06	117.8	45	0.04	122.45
12	0.49	283.55	46	0.04	115.11
13	0.57	322.48	47	0.76	418.81
14	0.98	447.53	48	0.81	409.57
15	0.07	127.61	49	0.81	416.49
16	0.11	322.26	50	0.76	395.89
17	0.04	125.61	51	0.50	301.45
18	0.04	113.68	52	0.54	302.74
19	0.08	222.37	53	0.51	303.15
20	0.47	292.84	54	0.42	297.74
21	0.41	349.48	55	0.86	371.88
22	0.42	317.37	56	0.08	143.12
23	0.06	152.48	57	0.08	132.75
24	0.51	295.61	58	0.14	172.18
25	0.10	253.14	59	0.24	268.12
26	0.03	75.11	60	0.54	310.85
27	0.27	240.1	61	0.61	340.22
28	0.34	275.6	62	0.09	245.05
29	0.65	376.36	63	0.05	163.65
30	0.89	997.39	64	0.03	83.03
31	0.73	347.35	65	0.07	199.15
32	0.42	264.73	66	0.04	133.58
33	0.11	246.51	67	0.23	308.08
34	0.47	286.72	68	0.03	80.49

LEYENDA	
	NORTE MAGNÉTICO
	LÍMITE DE CUENCA URBANA
	LÍNEA DE CORRIENTE DE FLUJO
	MANZANA E INFRAESTRUCTURA
	PUNTO DE DESFOQUE DE FLUJO
	SUBCUENCA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL					
TESIS: "DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO - 2019"					
PLANO: CUENCA URBANA					
UBICACIÓN:	LUGAR:	AV. 28 DE AGOSTO	PROVINCIA:		HUÁNUCO
	DISTRITO:	AMARILIS	REGIÓN:		HUÁNUCO
ESCALA:	FECHA:	ENERO 2020	DIBUJO:	JWRV	
INDICADA					

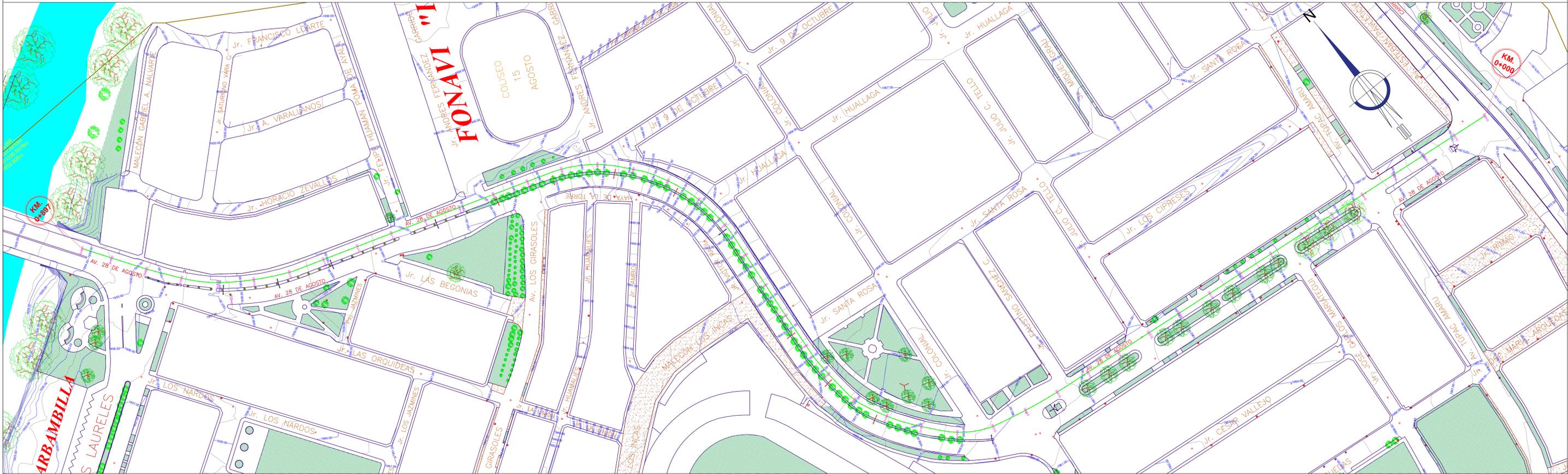


LEYENDA	
	NORTE MAGNÉTICO
	BM
	MANZANA E INFRAESTRUCTURA
	ÁREA VERDE
	ÁREA DE SUELOS
	POSTE
	LIMITE DE ZONA DE ESTUDIO
	RÍO
	CURVAS DE NIVEL MAYORES
	CURVAS DE NIVEL MENORES
	BUZÓN

PLANO TOPOGRÁFICO
 ESCALA: 1/1000

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL				
TESIS: "DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO - 2019" PLANO: PLANO TOPOGRÁFICO				
UBICACIÓN:	LUGAR:	AV. 28 DE AGOSTO	PROVINCIA:	HUÁNUCO
ESCALA:	DISTRITO:	AMARILIS	REGIÓN:	HUÁNUCO
INDICADA	FECHA:	ENERO 2020	DIBUJO:	JWRV
				LÁMINA: PT-01

PLANTA DE LA AVENIDA 28 DE AGOSTO



PLANTA
ESCALA: 1/750

PERFIL LONGITUDINAL DE LA AVENIDA 28 DE AGOSTO (VÍA DERECHA)



PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA: 1/1000

LEYENDA	
	PERFIL DE TERRENO
	PERFIL DE RASANTE

LEYENDA	
	NORTE MAGNÉTICO
	MANZANA E INFRAESTRUCTURA
	ÁREA VERDE
	ÁREA DE SUELOS
	POSTE
	LIMITE DE ZONA DE ESTUDIO
	RÍO
	CURVAS DE NIVEL MAYORES
	CURVAS DE NIVEL MENORES
	TRAZO DE VÍA PARA PERFIL
	BUZÓN

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL				
TESIS: "DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO - 2019"				
PLANO: PLANTA Y PERFIL				LÁMINA: PP-02
UBICACIÓN: LUGAR: AV. 28 DE AGOSTO	PROVINCIA: HUÁNUCO	DISTRITO: AMARILIS		
ESCALA: INDICADA	FECHA: ENERO 2020	DIBUJO: JWRV		

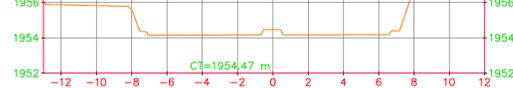
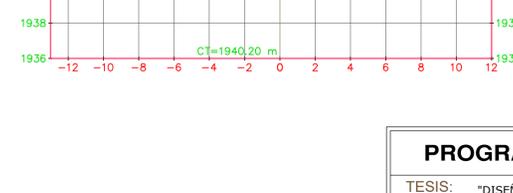
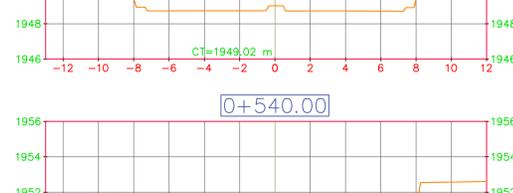
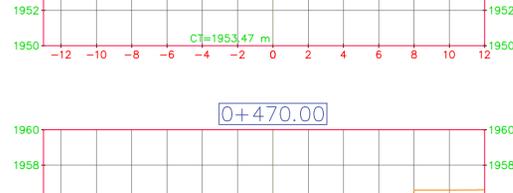
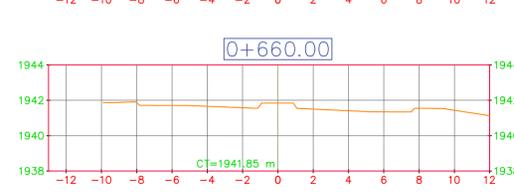
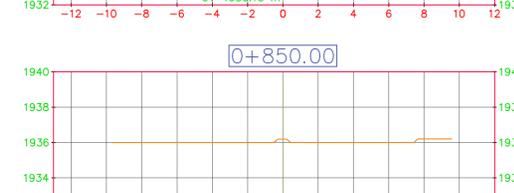
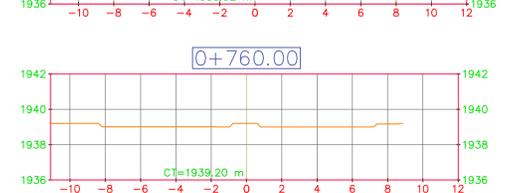
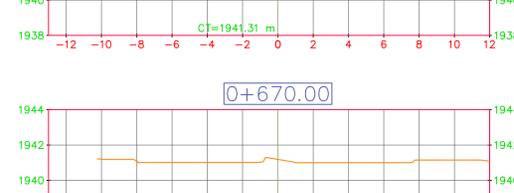
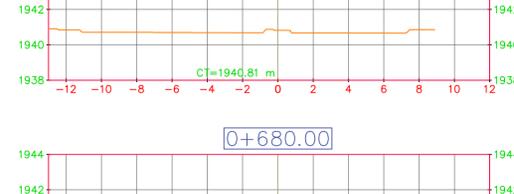
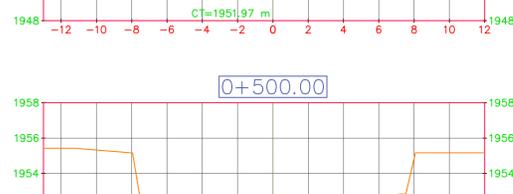
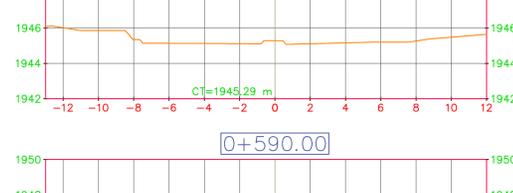
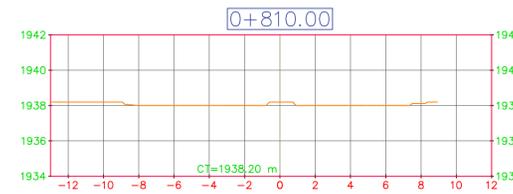
SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA AVENIDA 28 DE AGOSTO



SECCIÓN TRANSVERSAL
ESCALA: 1/200

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL				
TESIS: "DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO - 2019"				
PLANO:		SECCIÓN TRANSVERSAL (KM 0+000 AL 0+450)		
UBICACIÓN:	LUGAR:	AV. 28 DE AGOSTO	PROVINCIA:	HUÁNUCO
	DISTRITO:	AMARILIS	REGIÓN:	HUÁNUCO
ESCALA:	FECHA:	INDICADA	DIBUJO:	JWRV
		ENERO 2020		ST-01

SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA AVENIDA 28 DE AGOSTO



SECCIÓN TRANSVERSAL
ESCALA: 1/200

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL					
TESIS: "DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO - 2019"					
PLANO: SECCIÓN TRANSVERSAL (KM 0+460 AL 0+900)					
UBICACIÓN:	LUGAR:	AV. 28 DE AGOSTO	PROVINCIA:	HUÁNUCO	
	DISTRITO:	AMARILIS	REGIÓN:	HUÁNUCO	
ESCALA:	INDICADA	FECHA:	ENERO 2020	DIBUJO:	JWRV

CARACTERÍSTICAS DE COMPONENTES - BANDA IZQUIERDA (AV. 28 DE AGOSTO)

CARACTERÍSTICAS DE SUMIDEROS, SEDIMENTADORES, BUZONES DE REGISTRO Y ESTRUCTURAS DE VERTIDO			
DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	COTA FONDO (m.s.n.m)	PROFUNDIDAD (m)
Sedimentador	DEP-1	1956.55	3.45
Sumidero	N-23	1957.64	1.60
Buzón de registro	N-24	1955.20	1.60
Sumidero	N-25	1954.40	1.60
Sumidero	N-26	1951.57	1.70
Buzón de registro	N-27	1949.79	1.80
Sumidero	N-28	1948.66	1.90
Sumidero	N-29	1940.95	2.00
Buzón de registro	N-30	1940.40	1.60
Sumidero	N-31	1945.38	1.50
Sumidero	N-32	1943.09	1.50
Sumidero	N-33	1939.75	1.60
Sumidero	N-34	1938.43	1.60
Buzón de registro	N-35	1937.51	1.60
Sumidero	N-36	1938.05	1.50
Sumidero	N-37	1935.65	1.60
Sumidero	N-38	1934.56	1.60
Sumidero	N-39	1940.50	1.50
Sumidero	N-40	1940.16	1.50
Sumidero	N-41	1936.57	1.50
Sumidero	N-42	1935.06	1.50
Buzón de registro	N-43	1932.74	1.70
Sumidero	N-44	1941.26	1.50
Sumidero	N-45	1937.92	1.50
Sumidero	N-46	1937.26	1.50
Sumidero	N-47	1937.13	1.80
Sumidero	N-48	1939.24	1.50
Sumidero	N-49	1934.96	1.90
Sumidero	N-50	1936.12	1.50
Sumidero	N-51	1935.20	1.70
Sumidero	N-52	1934.50	1.50
Sumidero	N-53	1932.30	1.70
Sedimentador	DEP-2	1930.69	3.15
Estructura de vertido	D-1	1931.91	0.95

CARACTERÍSTICAS DE LOS CONDUCTOS DE TUBERÍA				
TRAMO	DESCRIPCIÓN	LONGITUD (m)	DIÁMETRO (m)	FORMA
DEP-1	N-23	L-23	18.55	0.60 Circular
N-23	N-24	L-24	69.67	0.60 Circular
N-24	N-25	L-25	15.34	0.60 Circular
N-25	N-26	L-26	55.06	0.60 Circular
N-26	N-27	L-27	33.85	0.60 Circular
N-27	N-28	L-28	16.66	0.60 Circular
N-28	N-29	L-29	101.29	0.60 Circular
N-29	N-30	L-30	14.11	0.60 Circular
N-31	N-32	L-31	25.18	0.50 Circular
N-32	N-30	L-32	33.26	0.50 Circular
N-30	N-33	L-33	12.07	0.60 Circular
N-33	N-34	L-34	40.63	0.60 Circular
N-34	N-35	L-35	42.81	0.60 Circular
N-36	N-35	L-36	8.98	0.50 Circular
N-35	N-37	L-37	76.08	0.60 Circular
N-37	N-38	L-38	31.32	0.60 Circular
N-39	N-40	L-39	11.78	0.50 Circular
N-40	N-41	L-40	127.85	0.50 Circular
N-41	N-42	L-41	43.73	0.50 Circular
N-42	N-38	L-42	10.54	0.50 Circular
N-38	N-43	L-43	38.83	0.60 Circular
N-44	N-45	L-44	92.89	0.50 Circular
N-45	N-46	L-45	34.32	0.50 Circular
N-46	N-47	L-46	44.48	0.50 Circular
N-48	N-47	L-47	79.77	0.50 Circular
N-47	N-49	L-48	55.62	0.50 Circular
N-50	N-51	L-49	75.72	0.50 Circular
N-51	N-49	L-50	7.79	0.50 Circular
N-49	N-52	L-51	24.24	0.50 Circular
N-52	N-43	L-52	43.19	0.50 Circular
N-43	N-53	L-53	12.34	0.70 Circular
N-53	DEP-2	L-54	12.17	0.70 Circular
DEP-2	D-1	L-55	5.16	0.70 Circular

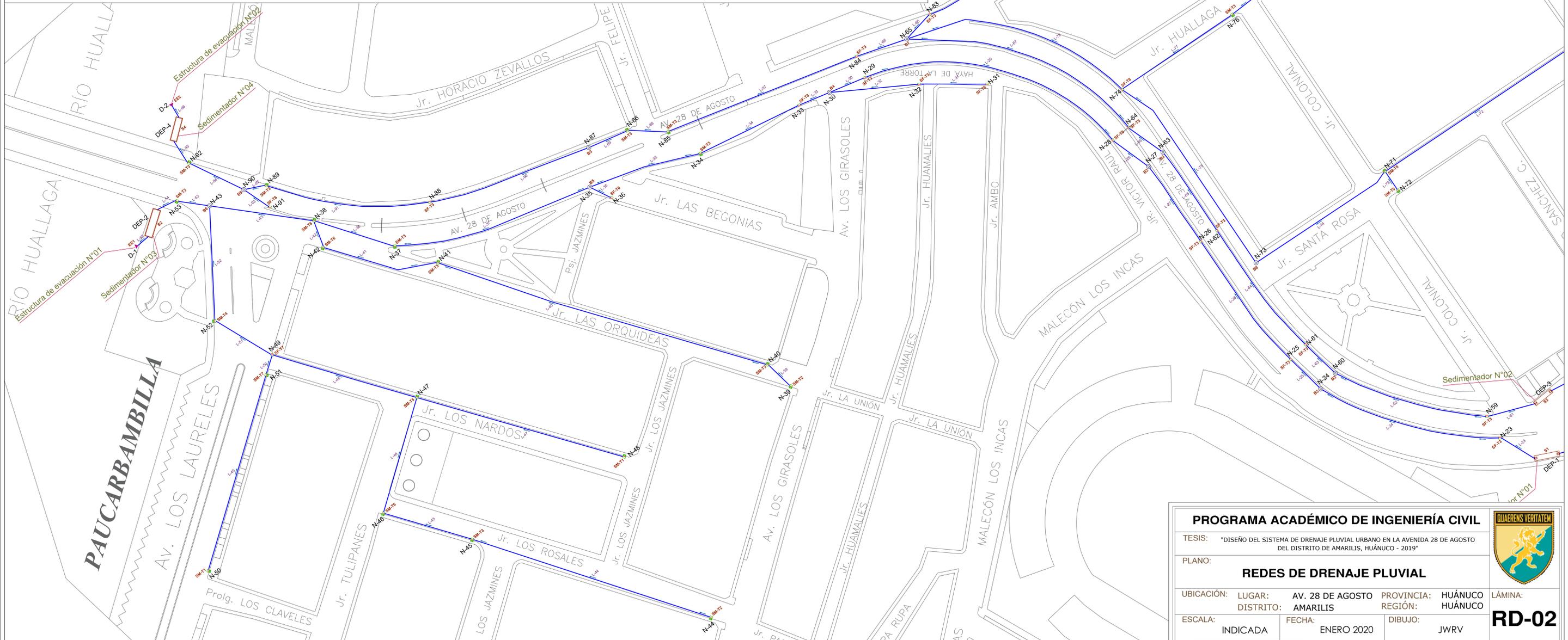
CARACTERÍSTICAS DE COMPONENTES - BANDA DERECHA (AV.28 DE AGOSTO)

CARACTERÍSTICAS DE SUMIDEROS, SEDIMENTADORES, BUZONES DE REGISTRO Y ESTRUCTURAS DE VERTIDO			
DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	COTA FONDO (m.s.n.m)	PROFUNDIDAD (m)
Sedimentador	DEP-3	1956.61	3.05
Sumidero	N-59	1957.50	1.50
Buzón de registro	N-60	1955.50	1.50
Sumidero	N-61	1954.50	1.50
Sumidero	N-62	1951.76	1.50
Buzón de registro	N-63	1950.01	1.90
Sumidero	N-64	1949.05	1.50
Buzón de registro	N-65	1942.14	1.50
Sumidero	N-71	1956.43	1.50
Sumidero	N-72	1956.57	1.50
Buzón de registro	N-73	1955.45	1.50
Sumidero	N-74	1951.23	1.50
Sumidero	N-75	1955.97	1.50
Sumidero	N-76	1954.35	1.50
Sumidero	N-77	1962.31	1.50
Sumidero	N-78	1960.57	1.50
Sumidero	N-79	1959.49	1.50
Sumidero	N-80	1957.08	1.50
Sumidero	N-81	1953.34	1.60
Sumidero	N-82	1952.36	1.60
Sumidero	N-83	1943.22	1.80
Sumidero	N-84	1941.40	1.60
Sumidero	N-85	1938.40	1.80
Sumidero	N-86	1938.14	2.00
Buzón de registro	N-87	1937.56	1.70
Sumidero	N-88	1936.40	1.70
Sumidero	N-89	1933.60	2.90
Buzón de registro	N-90	1933.16	2.90
Sumidero	N-91	1934.21	2.90
Sumidero	N-92	1932.50	2.90
Sedimentador	DEP-4	1930.70	2.90
Estructura de vertido	D-2	1931.91	0.90

CARACTERÍSTICAS DE LOS CONDUCTOS DE TUBERÍA				
TRAMO	DESCRIPCIÓN	LONGITUD (m)	DIÁMETRO (m)	FORMA
DEP-3	N-59	L-61	21.84	0.50 Circular
N-59	N-60	L-62	58.70	0.50 Circular
N-60	N-61	L-63	15.05	0.50 Circular
N-61	N-62	L-64	53.63	0.50 Circular
N-62	N-63	L-65	35.21	0.50 Circular
N-63	N-64	L-66	15.82	0.50 Circular
N-64	N-65	L-67	91.99	0.50 Circular
N-69	N-71	L-72	81.23	0.50 Circular
N-72	N-71	L-73	8.44	0.50 Circular
N-71	N-73	L-74	58.70	0.50 Circular
N-73	N-74	L-75	82.00	0.50 Circular
N-75	N-76	L-76	96.91	0.50 Circular
N-76	N-74	L-77	49.08	0.50 Circular
N-74	N-65	L-78	87.62	0.50 Circular
N-77	N-78	L-79	34.96	0.50 Circular
N-78	N-79	L-80	22.28	0.50 Circular
N-79	N-80	L-81	44.18	0.50 Circular
N-80	N-81	L-82	79.56	0.50 Circular
N-81	N-82	L-83	15.99	0.50 Circular
N-82	N-83	L-84	91.71	0.50 Circular
N-83	N-65	L-85	12.07	0.50 Circular
N-65	N-84	L-86	19.73	0.60 Circular
N-84	N-85	L-87	75.25	0.60 Circular
N-85	N-86	L-88	14.36	0.60 Circular
N-86	N-87	L-89	15.50	0.60 Circular
N-87	N-88	L-90	62.77	0.60 Circular
N-88	N-89	L-91	61.83	0.60 Circular
N-89	N-90	L-92	8.22	0.60 Circular
N-91	N-90	L-93	12.00	0.60 Circular
N-90	N-92	L-94	22.84	0.60 Circular
N-92	DEP-4	L-95	13.28	0.60 Circular
DEP-4	D-2	L-96	5.10	0.60 Circular

LEYENDA	
	NORTE MAGNETICO
	SUMIDERO
	COLECTOR PLUVIAL
	BUZÓN DE REGISTRO
	SEDIMENTADOR
	ESTRUCTURA DE EVACUACIÓN
	MANZANA Y/O INFRAESTRUCTURA
	DIRECCIÓN DEL FLUJO
DEP-X	CÓDIGO DE NUDO (Sedimentador)
L-X	TRAMO DE COLECTOR PLUVIAL
N-X	CÓDIGO DE NUDO (Sumidero o Buzón de registro)
D-X	CÓDIGO DE NUDO (Estructura de Evacuación)
SX	SEDIMENTADOR (ver Lámina DC-06 ó DC-07)
SF-TX	SUMIDERO DE FONDO (ver Lámina DC-01)
BX	BUZÓN DE REGISTRO (ver Lámina DC-04 ó DC-05)
SM-TX	SUMIDERO MIXTO (ver Láminas DC-02 al DC-04)
EEX	ESTRUCTURA DE EVACUACIÓN (ver Lámina DC-08)
SL-TX	SUMIDERO LATERAL (ver Lámina DC-02)

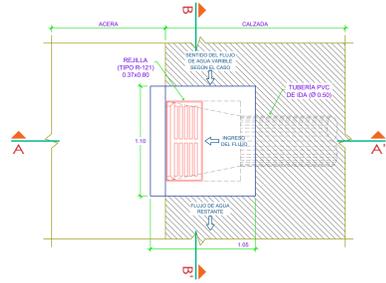
REDES DE DRENAJE PLUVIAL
ESCALA: 1/500



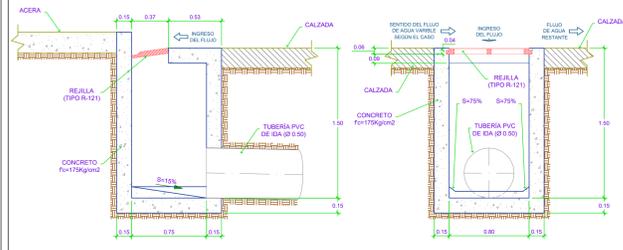
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL				
TESIS: "DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO - 2019"				
PLANO: REDES DE DRENAJE PLUVIAL				LÁMINA: RD-02
UBICACIÓN: LUGAR: AV. 28 DE AGOSTO	PROVINCIA: HUÁNUCO	DISTRITO: AMARILIS		
ESCALA: INDICADA	FECHA: ENERO 2020	DIBUJO: JWRV		

SUMIDERO DE FONDO (SF)

TIPO 1 (T1)



PLANTA
ESCALA: 1/25

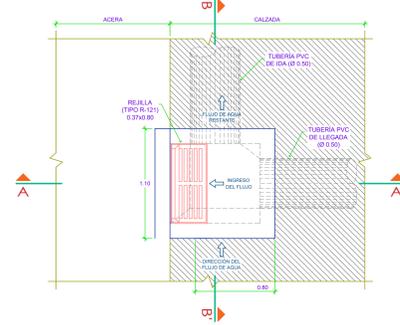


CORTE A-A'
ESCALA: 1/25

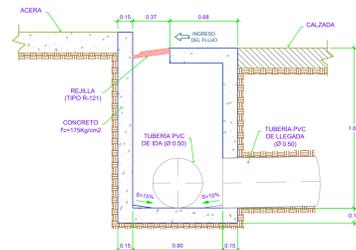


CORTE B-B'
ESCALA: 1/25

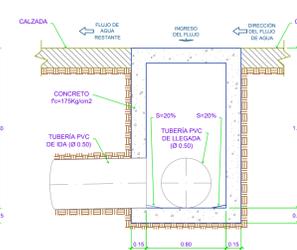
TIPO 2 (T2)



PLANTA
ESCALA: 1/25

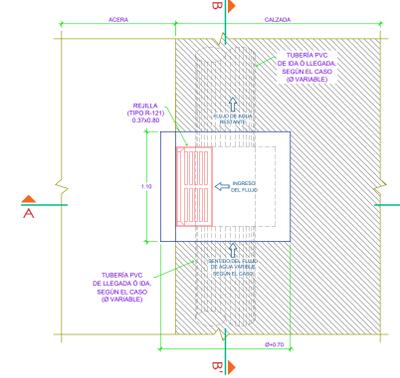


CORTE A-A'
ESCALA: 1/25

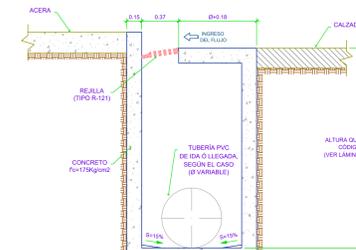


CORTE B-B'
ESCALA: 1/25

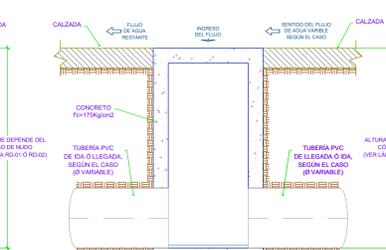
TIPO 3 (T3)



PLANTA
ESCALA: 1/25

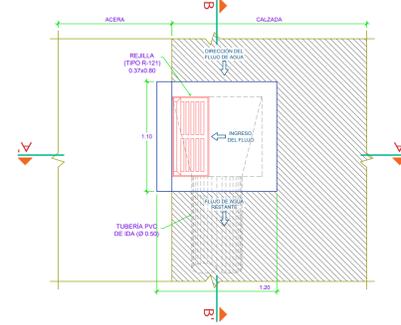


CORTE A-A'
ESCALA: 1/25

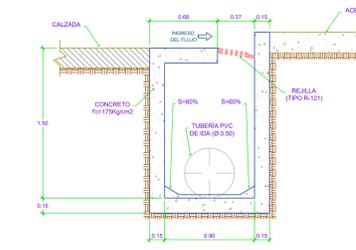


CORTE B-B'
ESCALA: 1/25

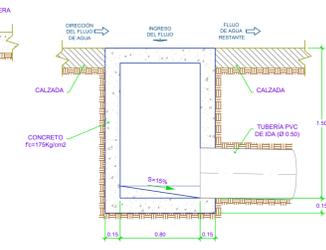
TIPO 4 (T4)



PLANTA
ESCALA: 1/25

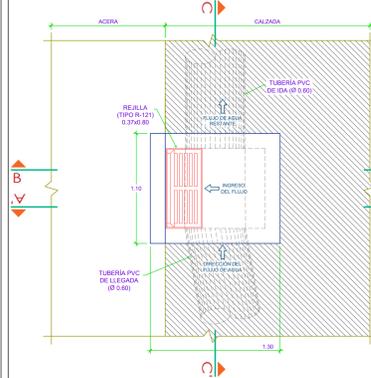


CORTE A-A'
ESCALA: 1/25

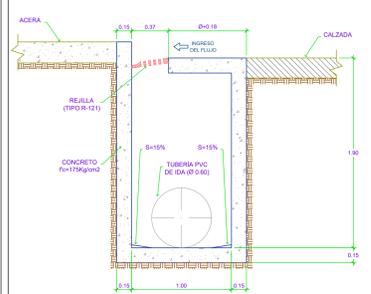


CORTE B-B'
ESCALA: 1/25

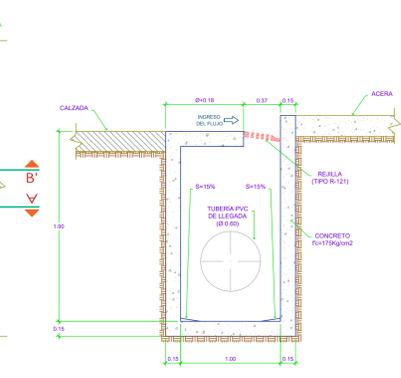
TIPO 5 (T5)



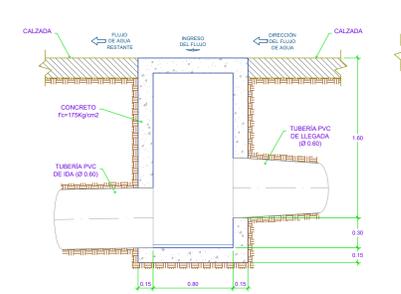
PLANTA
ESCALA: 1/25



CORTE B-B'
ESCALA: 1/25

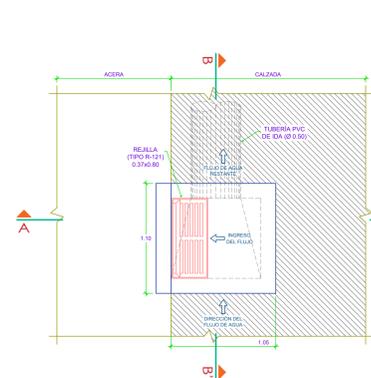


CORTE A-A'
ESCALA: 1/25

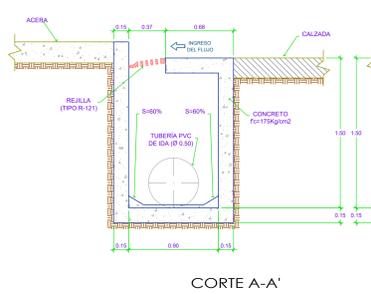


CORTE C-C'
ESCALA: 1/25

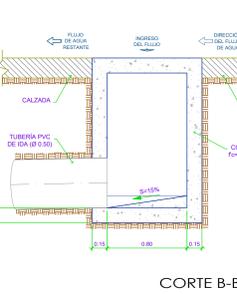
TIPO 6 (T6)



PLANTA
ESCALA: 1/25

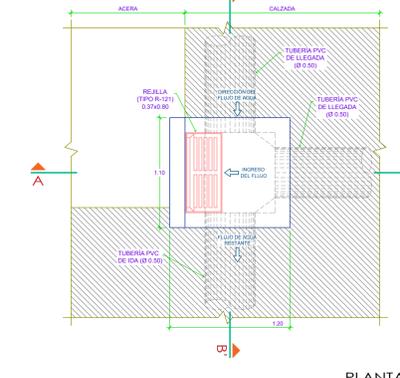


CORTE A-A'
ESCALA: 1/25

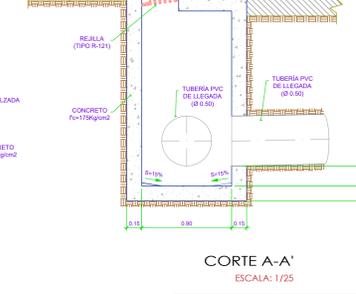


CORTE B-B'
ESCALA: 1/25

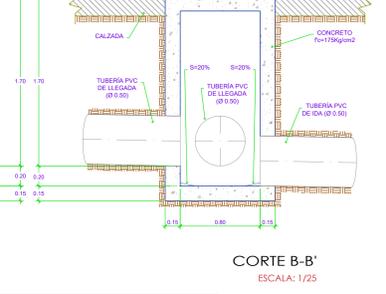
TIPO 7 (T7)



PLANTA
ESCALA: 1/25

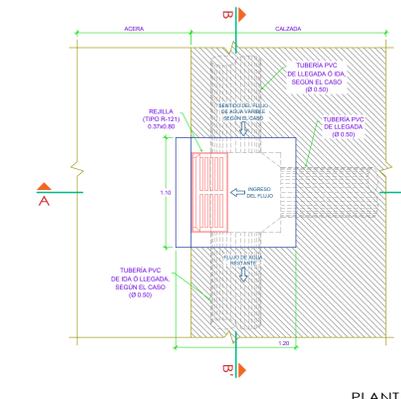


CORTE A-A'
ESCALA: 1/25

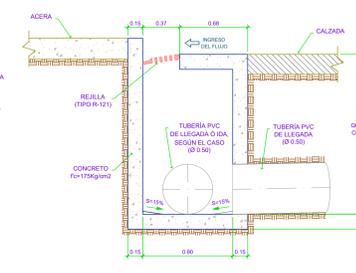


CORTE B-B'
ESCALA: 1/25

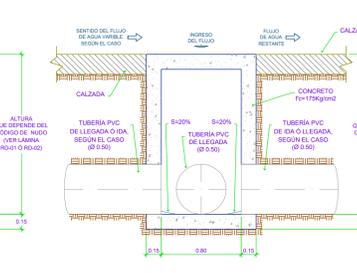
TIPO 8 (T8)



PLANTA
ESCALA: 1/25



CORTE A-A'
ESCALA: 1/25



CORTE B-B'
ESCALA: 1/25

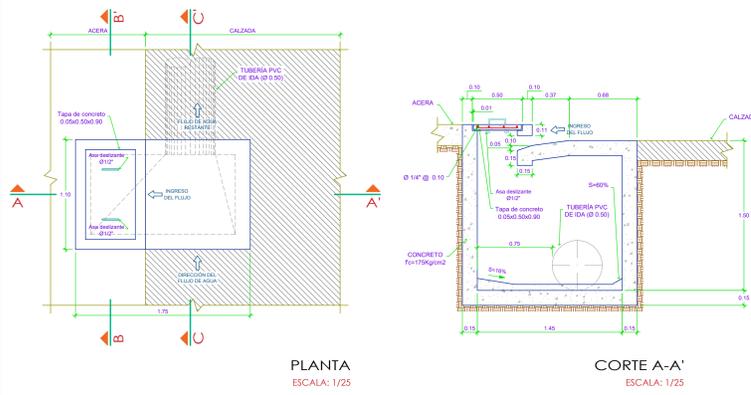
DETALLE DE COMPONENTES
ESCALA: INDICADA

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS - SUMIDERO (ZONA URBANA)	
SUMIDERO DE FONDO (SF)	
A) PAREDES Y LOSA DE FONDO	COMENTARIO: Los sumideros de fondo (SF) sólo se limitan a la representación de sus características geométricas, cuyas configuraciones fueron obtenidas del SWMM, RNE y demás estimaciones afines.
- Concreto: F _c = 175 Kg/cm ²	
B) TECHO	
- Concreto: F _c = 175 Kg/cm ²	
C) REJILLA	
- Tipo: R-121	

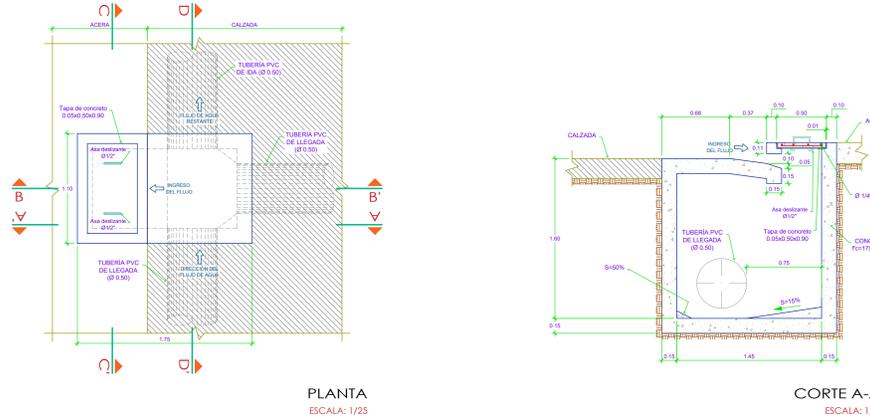
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL				
TESIS: "DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO - 2019"				
PLANO: DETALLE DE COMPONENTES				
UBICACIÓN:	LUGAR: AV. 28 DE AGOSTO	PROVINCIA: HUÁNUCO	LÁMINA:	DC-01
DISTRITO:	AMARILIS	REGIÓN: HUÁNUCO		
ESCALA:	INDICADA	FECHA: ENERO 2020	DIBUJO: JWRV	

SUMIDERO LATERAL O DE VENTANA (SL)

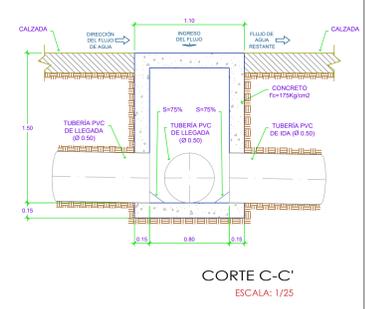
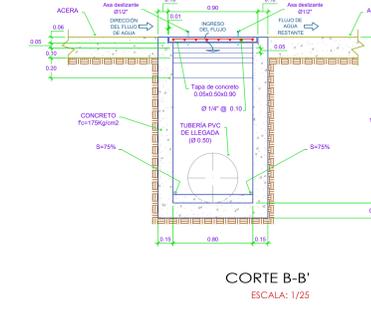
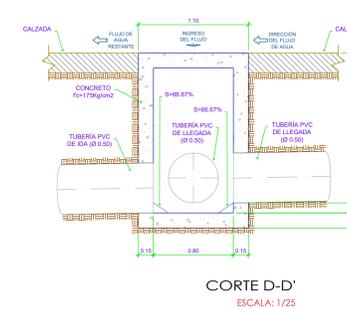
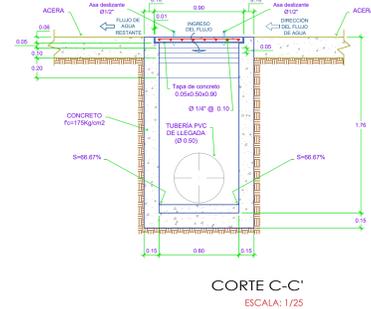
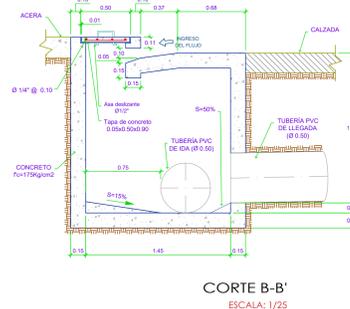
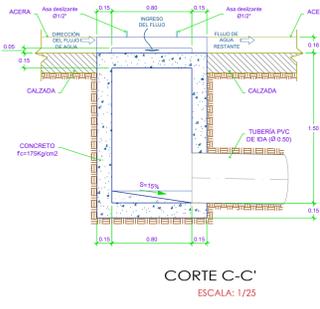
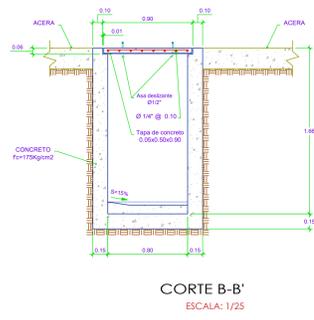
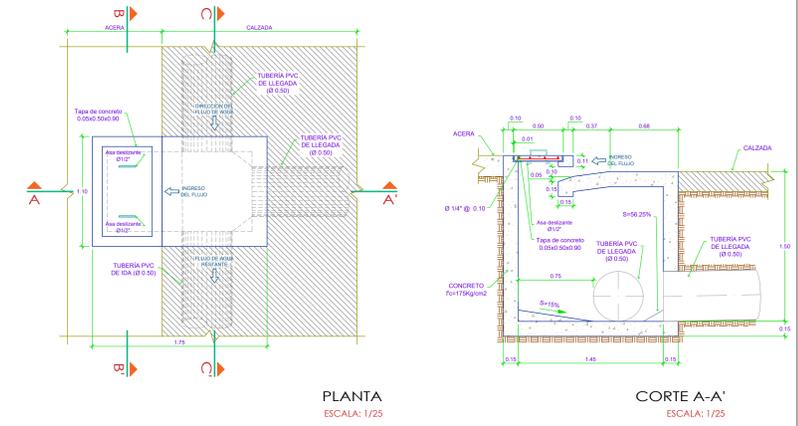
TIPO 1 (T1)



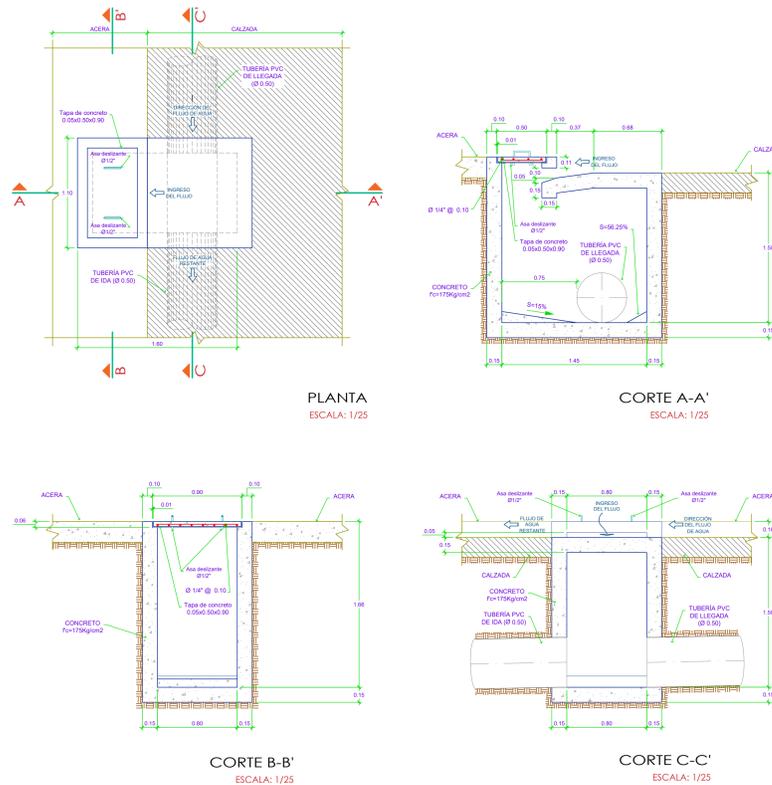
TIPO 2 (T2)



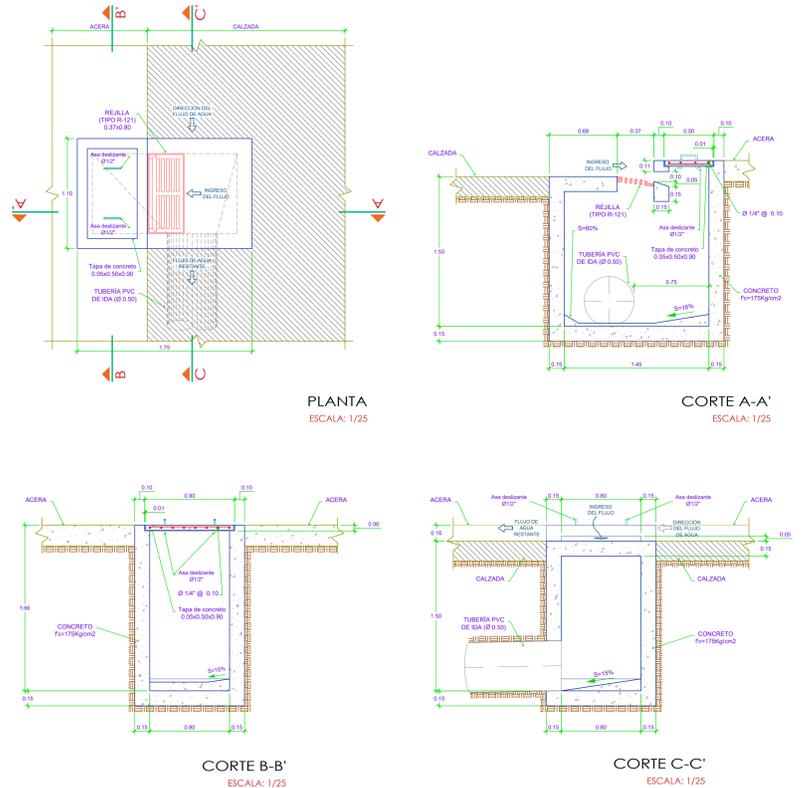
TIPO 3 (T3)



TIPO 4 (T4)

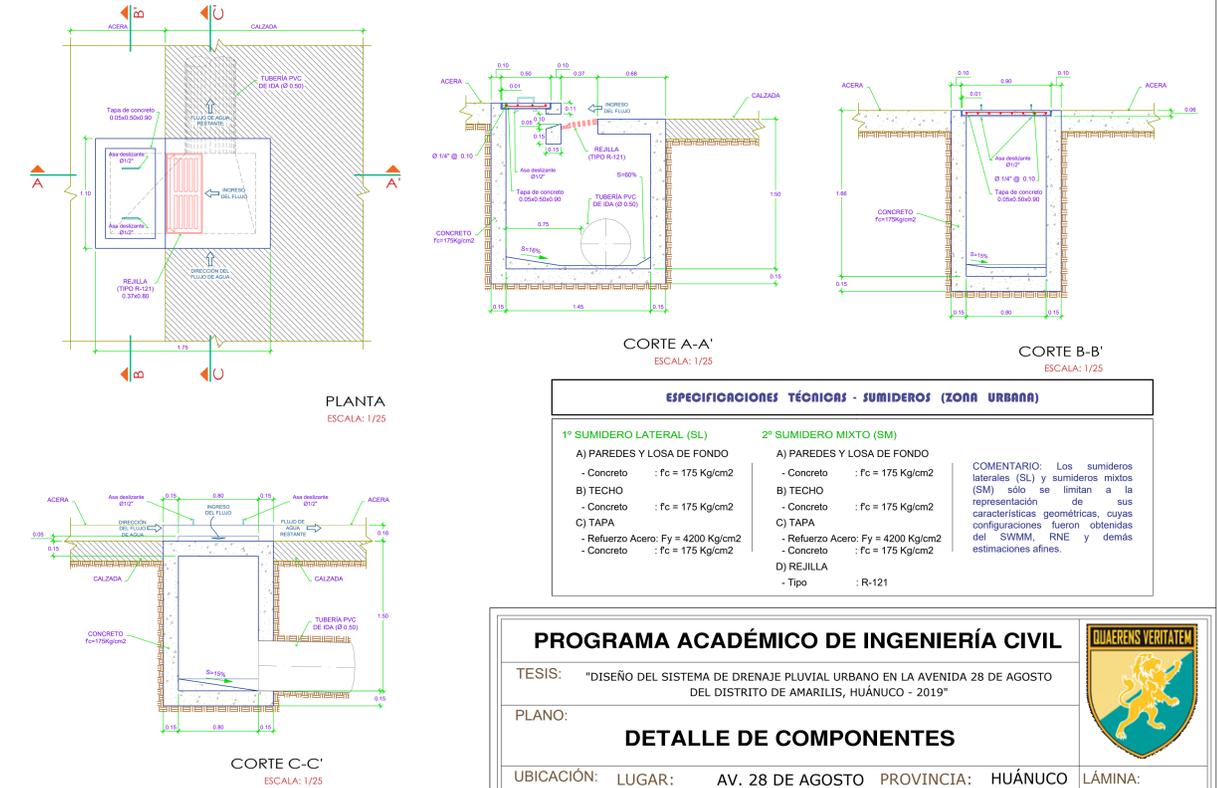


TIPO 1 (T1)



SUMIDERO MIXTO (SM)

TIPO 2 (T2)



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS - SUMIDEROS (ZONA URBANA)		
1º SUMIDERO LATERAL (SL)	2º SUMIDERO MIXTO (SM)	COMENTARIO: Los sumideros laterales (SL) y sumideros mixtos (SM) sólo se limitan a la representación de sus características geométricas, cuyas configuraciones fueron obtenidas del SWMM, RNE y demás estimaciones afines.
A) PAREDES Y LOSA DE FONDO	A) PAREDES Y LOSA DE FONDO	
- Concreto : $f_c = 175 \text{ Kg/cm}^2$	- Concreto : $f_c = 175 \text{ Kg/cm}^2$	
B) TECHO	B) TECHO	
- Concreto : $f_c = 175 \text{ Kg/cm}^2$	- Concreto : $f_c = 175 \text{ Kg/cm}^2$	C) TAPA
C) TAPA	- Refuerzo Acero: $F_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$	- Concreto : $f_c = 175 \text{ Kg/cm}^2$
- Refuerzo Acero: $F_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$	- Concreto : $f_c = 175 \text{ Kg/cm}^2$	D) REJILLA
- Concreto : $f_c = 175 \text{ Kg/cm}^2$		- Tipo : R-121

DETALLE DE COMPONENTES
ESCALA: INDICADA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO - 2019"

PLANO: **DETALLE DE COMPONENTES**

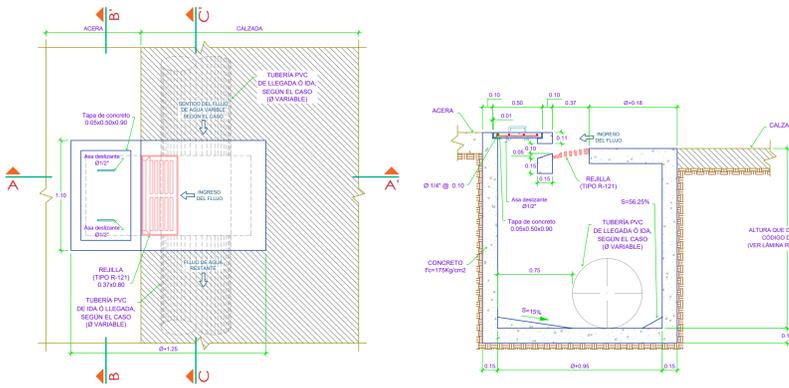
UBICACIÓN: LUGAR: AV. 28 DE AGOSTO PROVINCIA: HUÁNUCO
DISTRITO: AMARILIS REGIÓN: HUÁNUCO

ESCALA: INDICADA FECHA: ENERO 2020 DIBUJO: JWRV

LÁMINA: **DC-02**

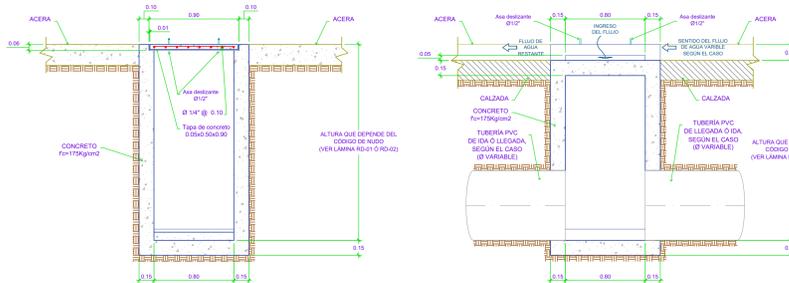
SUMIDERO MIXTO (SM)

TIPO 3 (T3)



PLANTA
ESCALA: 1/25

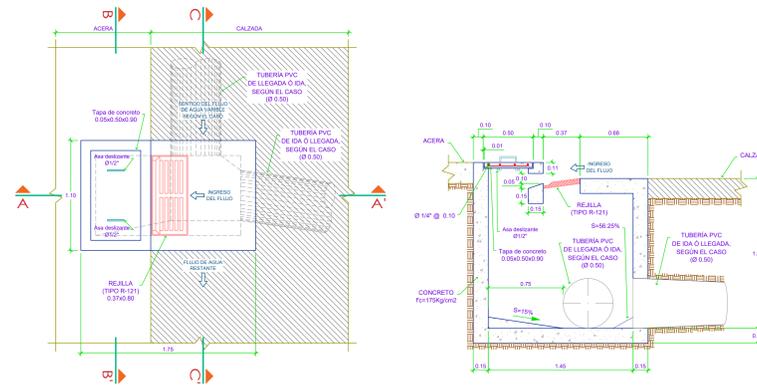
CORTE A-A'
ESCALA: 1/25



CORTE B-B'
ESCALA: 1/25

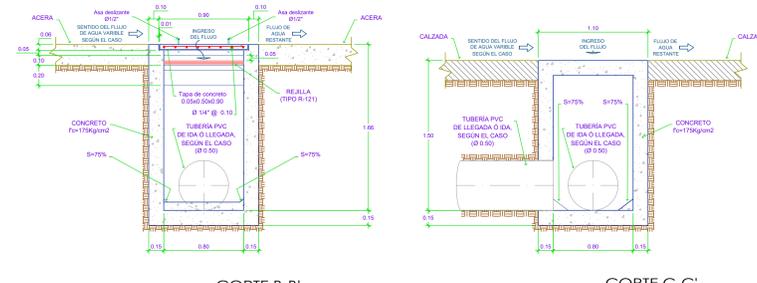
CORTE C-C'
ESCALA: 1/25

TIPO 4 (T4)



PLANTA
ESCALA: 1/25

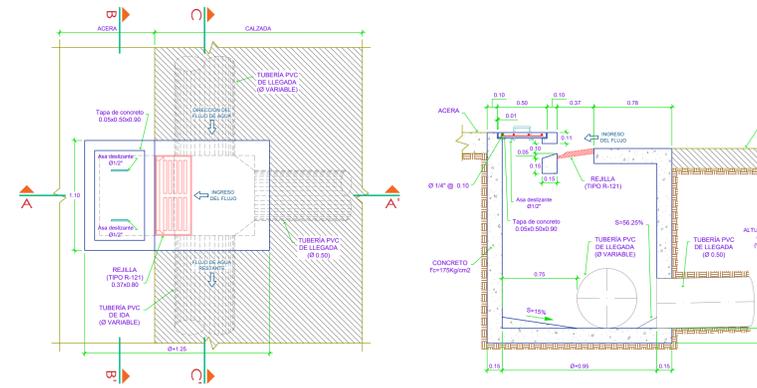
CORTE A-A'
ESCALA: 1/25



CORTE B-B'
ESCALA: 1/25

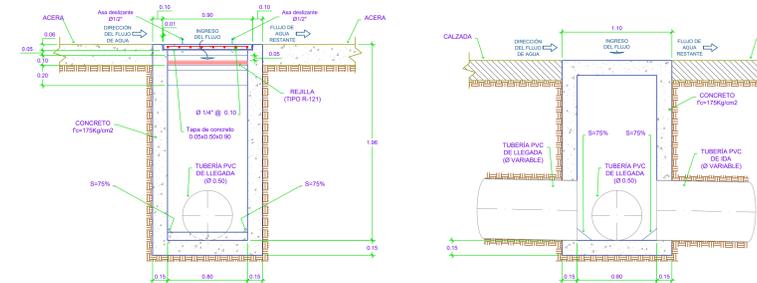
CORTE C-C'
ESCALA: 1/25

TIPO 5 (T5)



PLANTA
ESCALA: 1/25

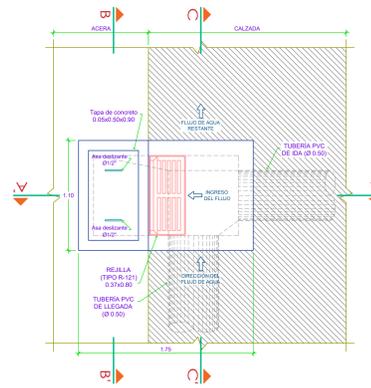
CORTE A-A'
ESCALA: 1/25



CORTE B-B'
ESCALA: 1/25

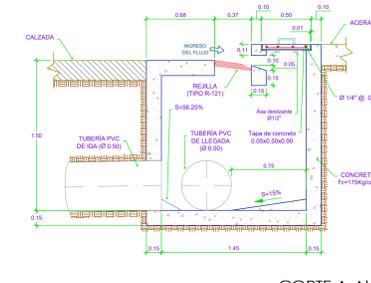
CORTE C-C'
ESCALA: 1/25

TIPO 6 (T6)



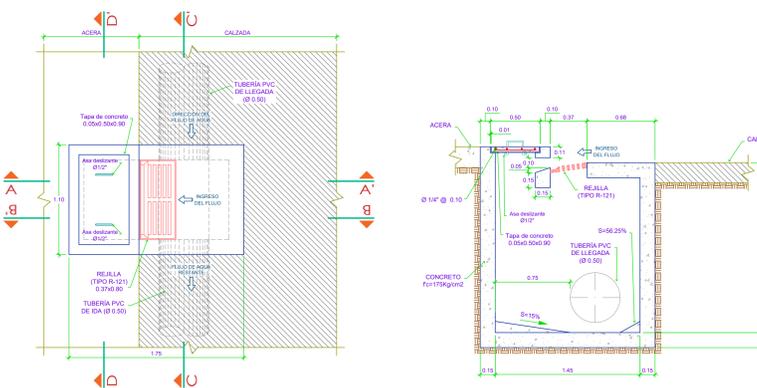
PLANTA
ESCALA: 1/25

CORTE A-A'
ESCALA: 1/25



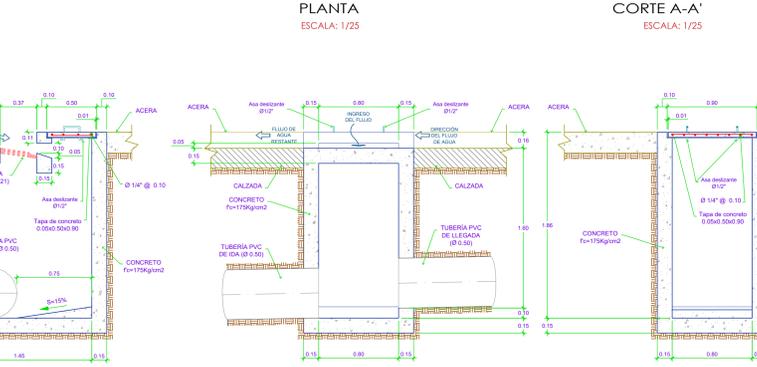
CORTE A-A'
ESCALA: 1/25

TIPO 7 (T7)



PLANTA
ESCALA: 1/25

CORTE A-A'
ESCALA: 1/25

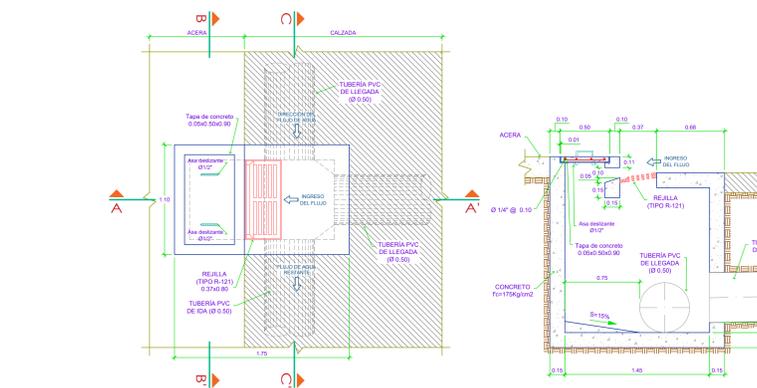


CORTE B-B'
ESCALA: 1/25

CORTE C-C'
ESCALA: 1/25

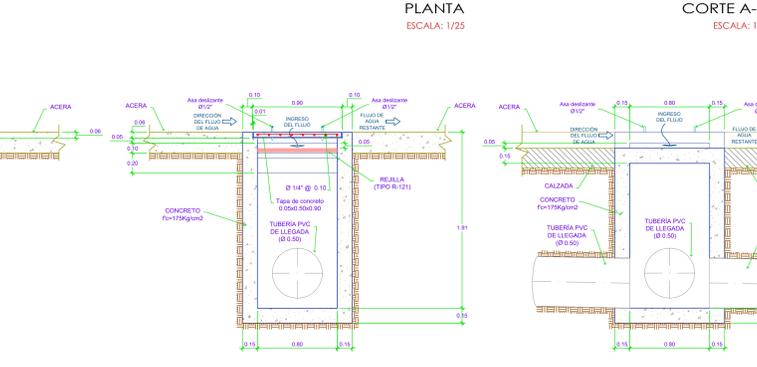
CORTE D-D'
ESCALA: 1/25

TIPO 8 (T8)



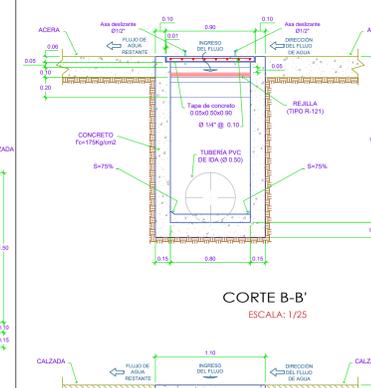
PLANTA
ESCALA: 1/25

CORTE A-A'
ESCALA: 1/25



CORTE B-B'
ESCALA: 1/25

CORTE C-C'
ESCALA: 1/25



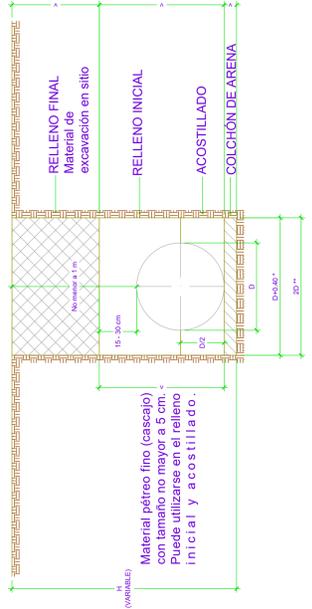
CORTE B-B'
ESCALA: 1/25

CORTE C-C'
ESCALA: 1/25

DETALLE DE COMPONENTES
ESCALA: INDICADA

SECCIÓN TÍPICA DE EXCAVACIÓN Y RELLENO PARA TUBERÍAS

- Relleño Final: Puede contener piedras de tamaño no mayor a 10 cm. Las capas de relleno para compactar no serán mayores de 30 cm de altura.
- Relleño Inicial: Puede contener piedras de tamaño no mayor a 5 cm. Las capas de relleno para compactar no serán mayores de 15 cm de altura.
- Acostillado: Encamado de material selecto granular de 10 cm.



RELLENO FINAL: Es el material que se coloca hasta el nivel del terreno natural. Puede ser el mismo material de la excavación, pero debe estar limpio de materias orgánicas.

RELLENO INICIAL Y ACOSTILLADO: El recubrimiento debe estar hecho de materiales libres de plasticidad y materia orgánica, tales como: arenas arcillosas SC, arenas limosas SM, gravas arcillosas GC, gravas limosas GM, arenas limpias SP y SW, gravas limpias GP y GW o bien piedra quebrada o cualquier subproducto de triturado entre 6 - 50 mm.

DETALLE DE COMPONENTES
ESCALA: INDICADA

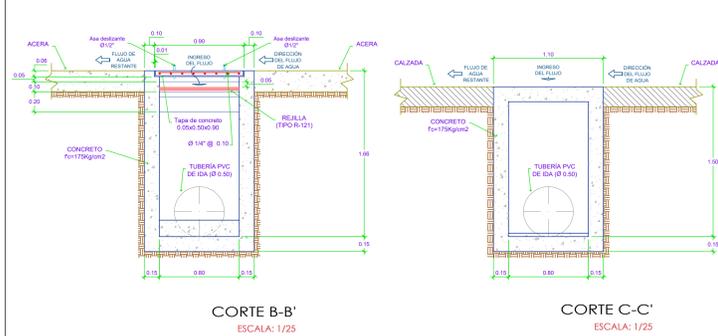
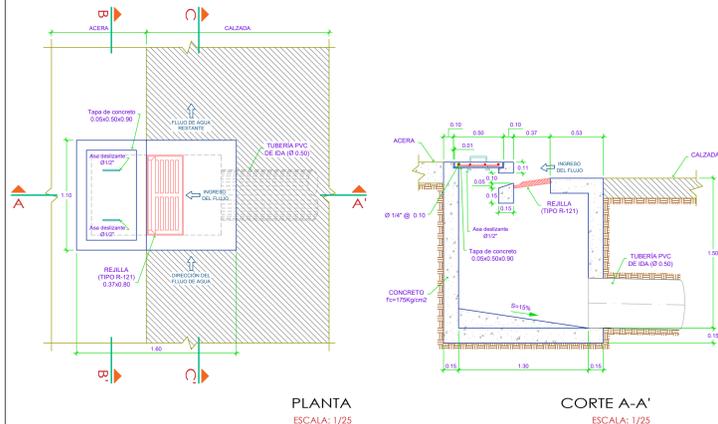
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS - SUMIDERO (ZONA URBANA)	
SUMIDERO MIXTO (SM)	
A) PAREDES Y LOSA DE FONDO	
- Concreto	: $f_c = 175 \text{ Kg/cm}^2$
B) TECHO	
- Concreto	: $f_c = 175 \text{ Kg/cm}^2$
C) TAPA	
- Refuerzo Acero	: $F_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$
- Concreto	: $f_c = 175 \text{ Kg/cm}^2$
D) REJILLA	
- Tipo	: R-121
COMENTARIO: Los sumideros mixtos (SM) sólo se limitan a la representación de sus características geométricas, cuyas configuraciones fueron obtenidas del SWMM, RNE y demás estimaciones afines.	

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL			
TESIS: "DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO - 2019"			
PLANO: DETALLE DE COMPONENTES			
UBICACIÓN:	LUGAR: AV. 28 DE AGOSTO	PROVINCIA: HUÁNUCO	LÁMINA:
ESCALA:	DISTRITO: AMARILIS	REGIÓN: HUÁNUCO	DC-03
INDICADA	FECHA: ENERO 2020	DIBUJO: JWRV	



SUMIDERO MIXTO (SM)

TIPO 9 (T9)



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS - SUMIDERO (ZONA URBANA)

SUMIDERO MIXTO (SM)

A) PAREDES Y LOSA DE FONDO
- Concreto : $f_c = 175 \text{ Kg/cm}^2$

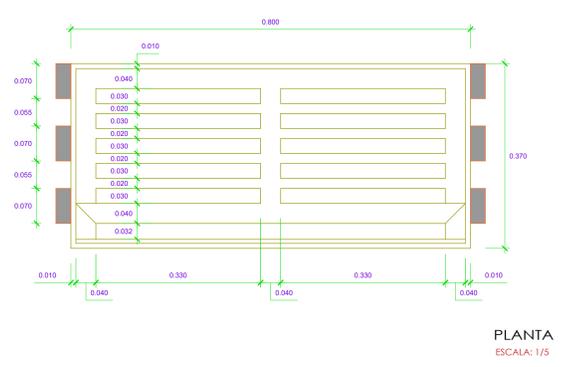
B) TECHO
- Concreto : $f_c = 175 \text{ Kg/cm}^2$

C) TAPA
- Refuerzo Acero: $F_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$
- Concreto : $f_c = 175 \text{ Kg/cm}^2$

D) REJILLA
- Tipo : R-121

COMENTARIO: Los sumideros mixtos (SM) sólo se limitan a la representación de sus características geométricas, cuyas configuraciones fueron obtenidas del SWMM, RNE y demás estimaciones afines.

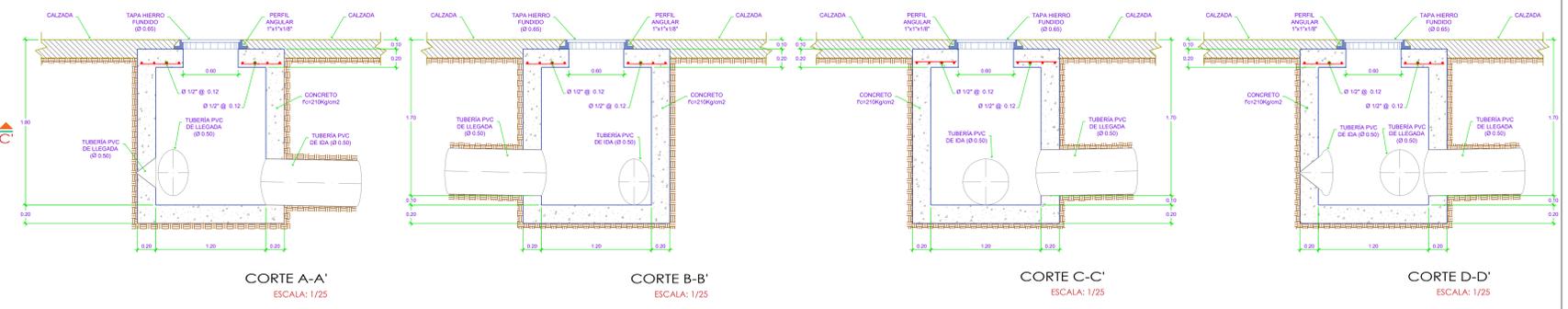
REJILLA TIPO R-121



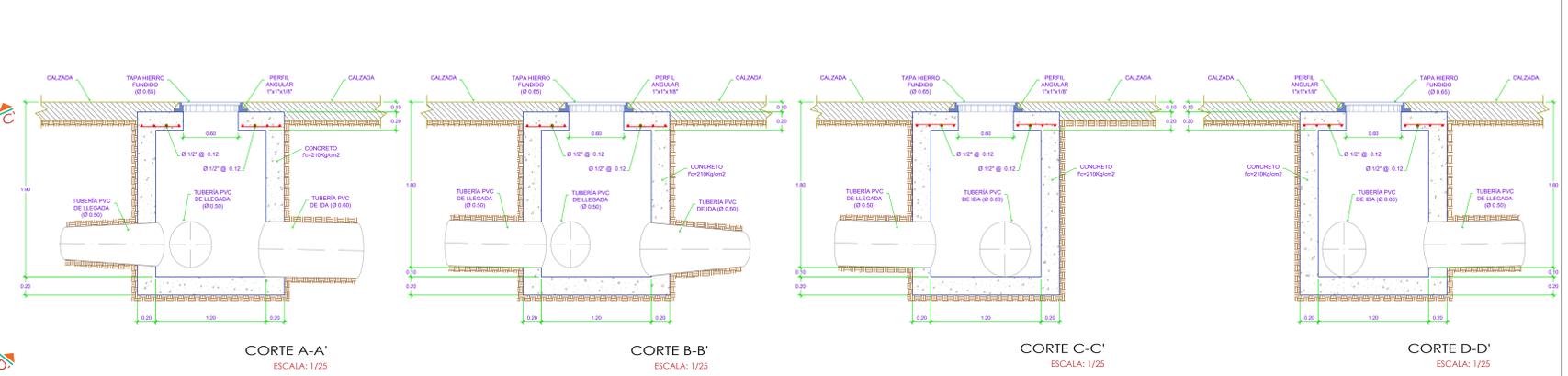
DETALLE DE COMPONENTES
ESCALA: INDICADA

BUZÓN DE REGISTRO - Di=1.20m

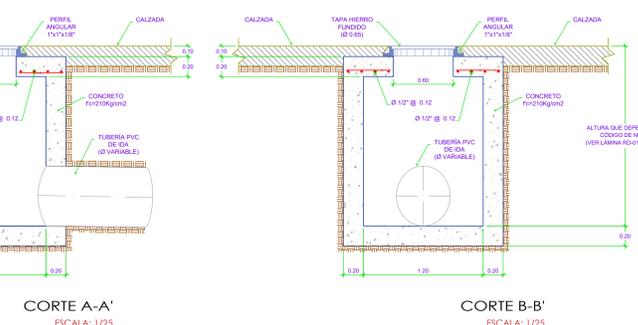
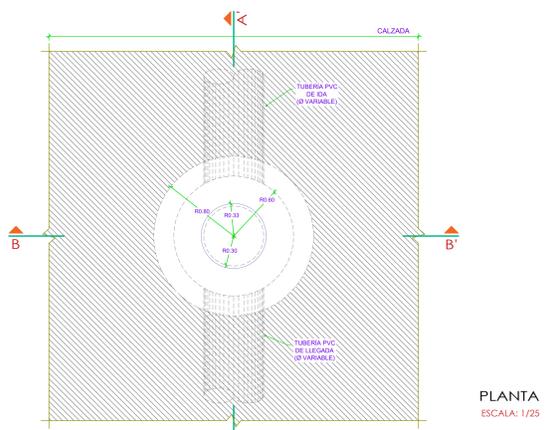
TIPO 1 (B1)



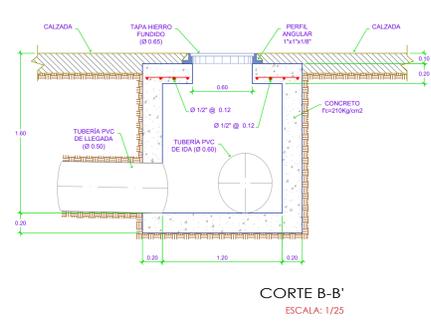
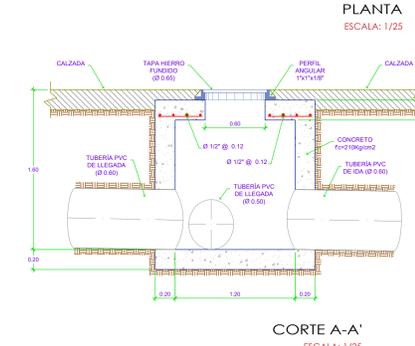
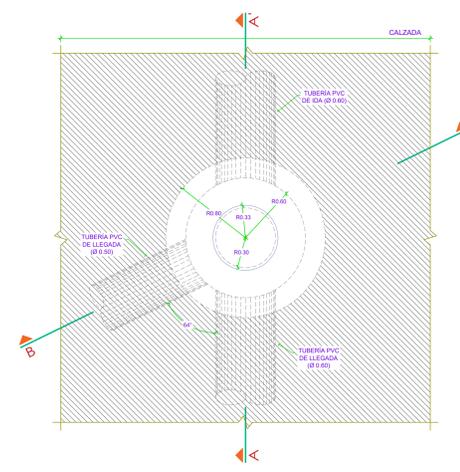
TIPO 2 (B2)



TIPO 3 (B3)



TIPO 4 (B4)



CARACTERÍSTICAS BUZÓN DE REGISTRO

TIPO	1, 2, 3 y 4
DIAMETRO	INTERIOR: 1.20 m
	EXTERIOR: 1.60 m
ALTURA	1.30 m a 1.60 m
LOSA TECHO	h1: CONCRETO C.A. $f_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$
	REFUERZO: se indica
LOSA FONDO	h2: CONCRETO C.S. $f_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$
	REFUERZO: ---
CUERPO	e: 0.20
	REFUERZO: CONCRETO C.S. $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

DETALLE DE COMPONENTES
ESCALA: INDICADA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO - 2019"

PLANO: **DETALLE DE COMPONENTES**

UBICACIÓN: LUGAR: AV. 28 DE AGOSTO PROVINCIA: HUÁNUCO
DISTRITO: AMARILIS REGIÓN: HUÁNUCO

ESCALA: INDICADA FECHA: ENERO 2020 DIBUJO: JWRV

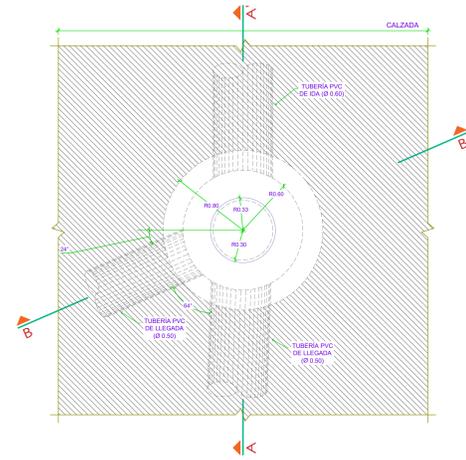
LÁMINA: **DC-04**

BUZÓN DE REGISTRO - Di=1.20m

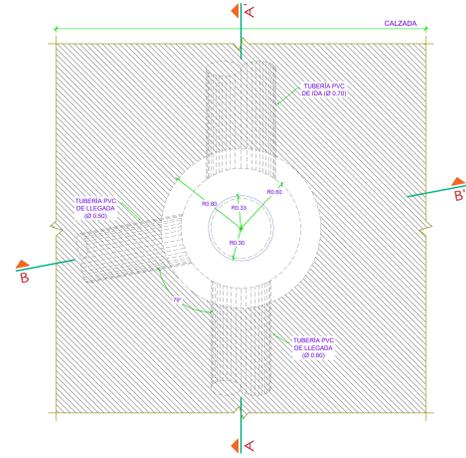
TIPO 6 (B6)

TIPO 7 (B7)

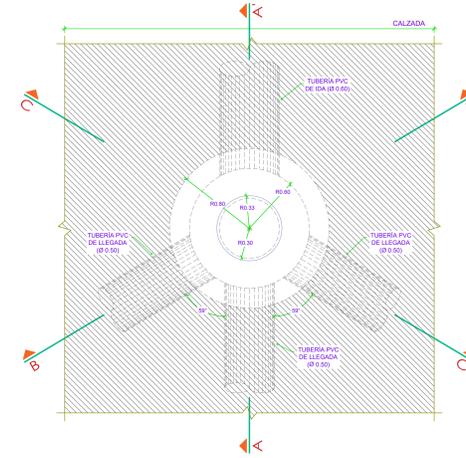
TIPO 5 (B5)



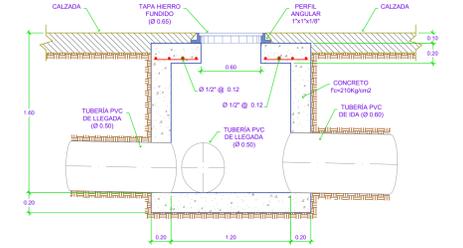
PLANTA
ESCALA: 1/25



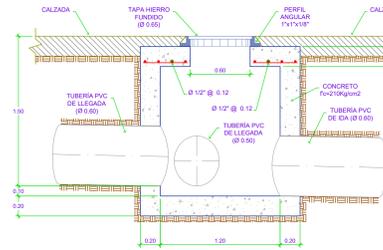
PLANTA
ESCALA: 1/25



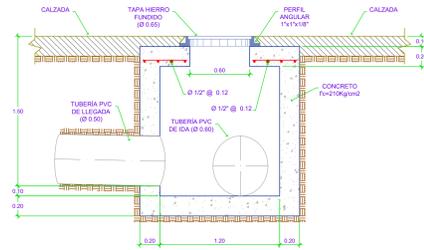
PLANTA
ESCALA: 1/25



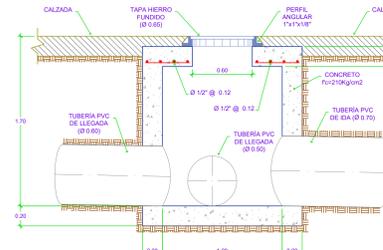
CORTE A-A'
ESCALA: 1/25



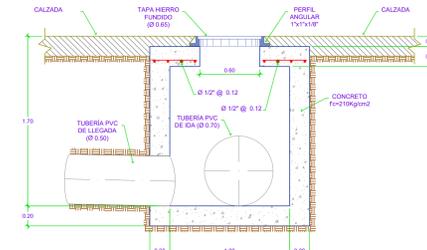
CORTE A-A'
ESCALA: 1/25



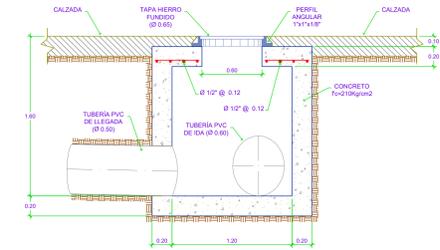
CORTE B-B'
ESCALA: 1/25



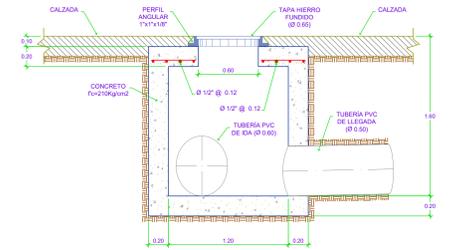
CORTE A-A'
ESCALA: 1/25



CORTE B-B'
ESCALA: 1/25

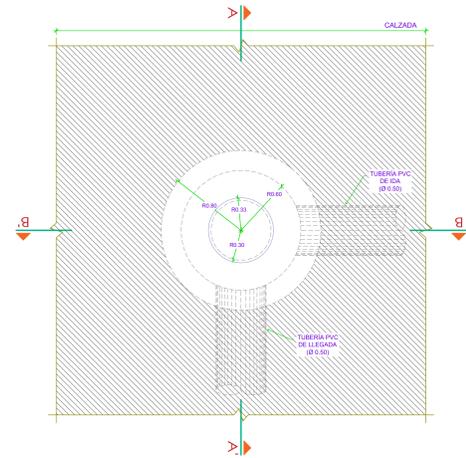


CORTE B-B'
ESCALA: 1/25



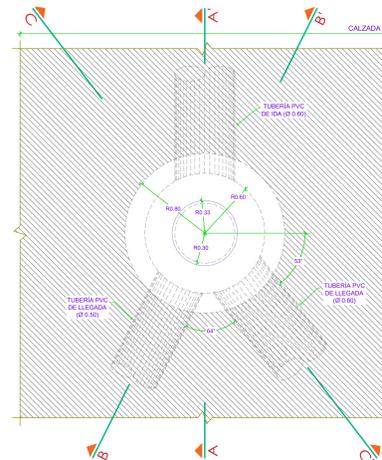
CORTE C-C'
ESCALA: 1/25

TIPO 8 (B8)

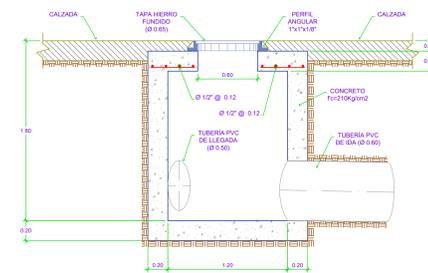


PLANTA
ESCALA: 1/25

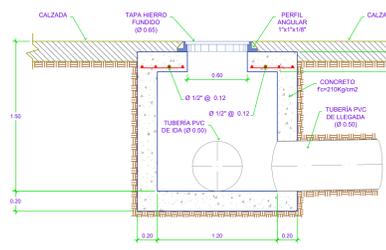
TIPO 9 (B9)



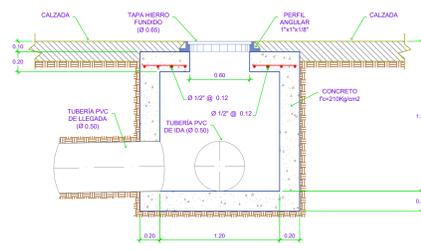
PLANTA
ESCALA: 1/25



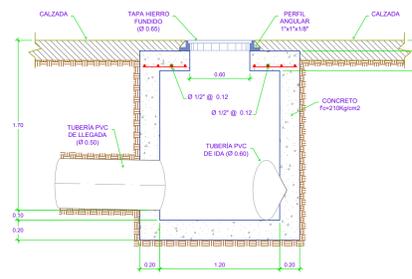
CORTE A-A'
ESCALA: 1/25



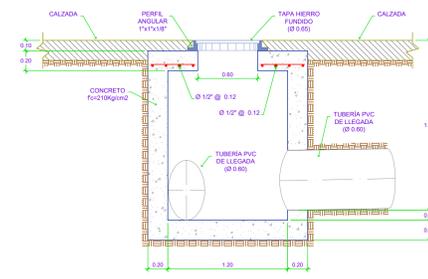
CORTE A-A'
ESCALA: 1/25



CORTE B-B'
ESCALA: 1/25



CORTE B-B'
ESCALA: 1/25



CORTE C-C'
ESCALA: 1/25

CARACTERÍSTICAS BUZÓN DE REGISTRO

TIPO	5, 6, 7, 8 y 9	
DIAMETRO	INTERIOR	1.20 m
	EXTERIOR	1.60 m
ALTURA	1.20 m a 1.50 m	
LOSA TECHO	h1	0.20
	CONCRETO	C.A. Fc = 210 Kg/cm ²
LOSA FONDO	h2	0.20
	CONCRETO	C.S. Fc = 210 Kg/cm ²
CUERPO	e	0.20
	CONCRETO	C.S. Fc = 210 kg/cm ²
REFUERZO	---	

DETALLE DE COMPONENTES

ESCALA: INDICADA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO - 2019"

PLANO:

DETALLE DE COMPONENTES

UBICACIÓN: LUGAR: AV. 28 DE AGOSTO PROVINCIA: HUÁNUCO
DISTRITO: AMARILIS REGIÓN: HUÁNUCO

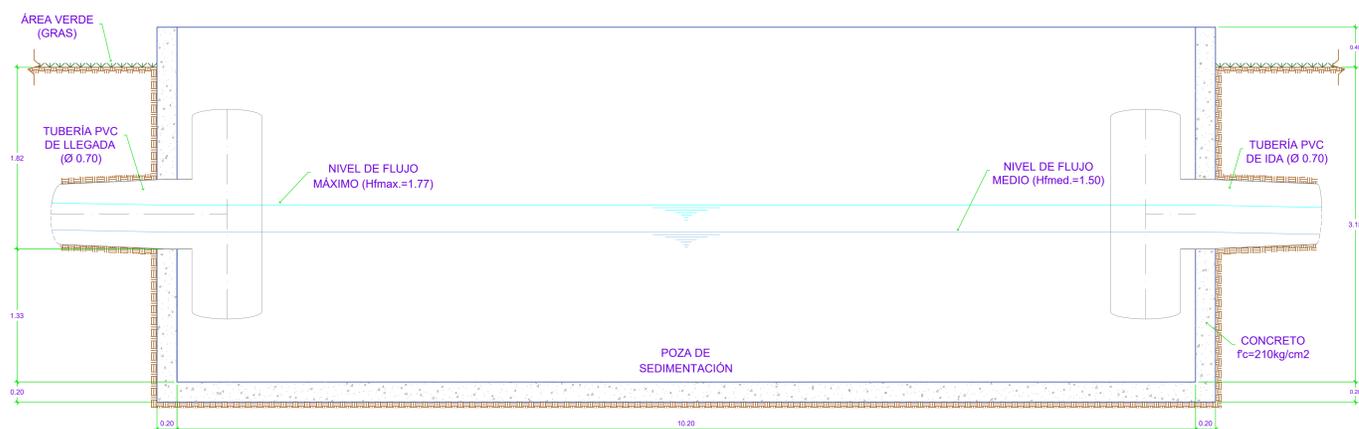
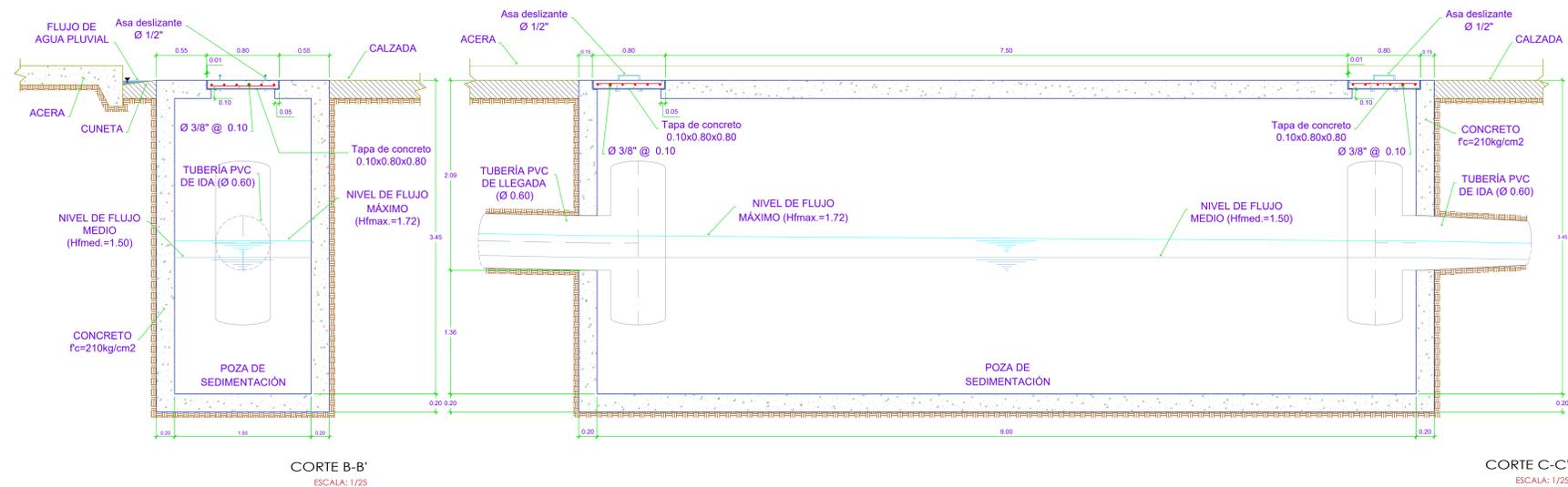
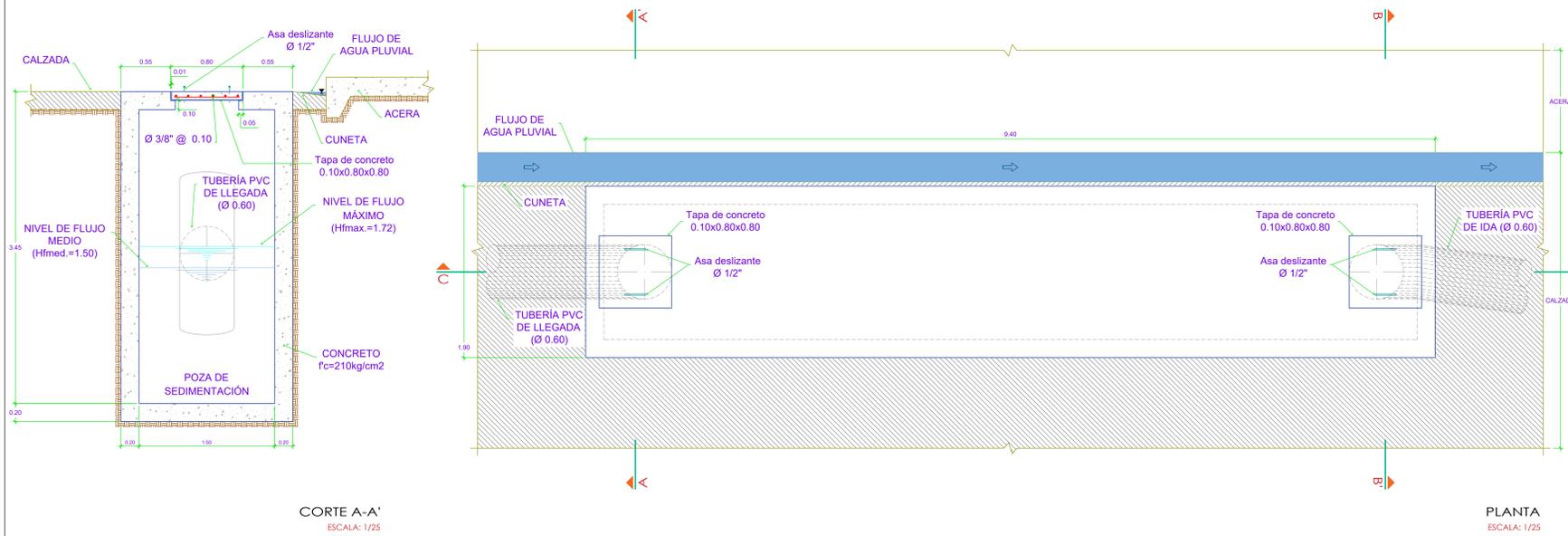
ESCALA: INDICADA FECHA: ENERO 2020 DIBUJO: JWRV



LÁMINA: DC-05

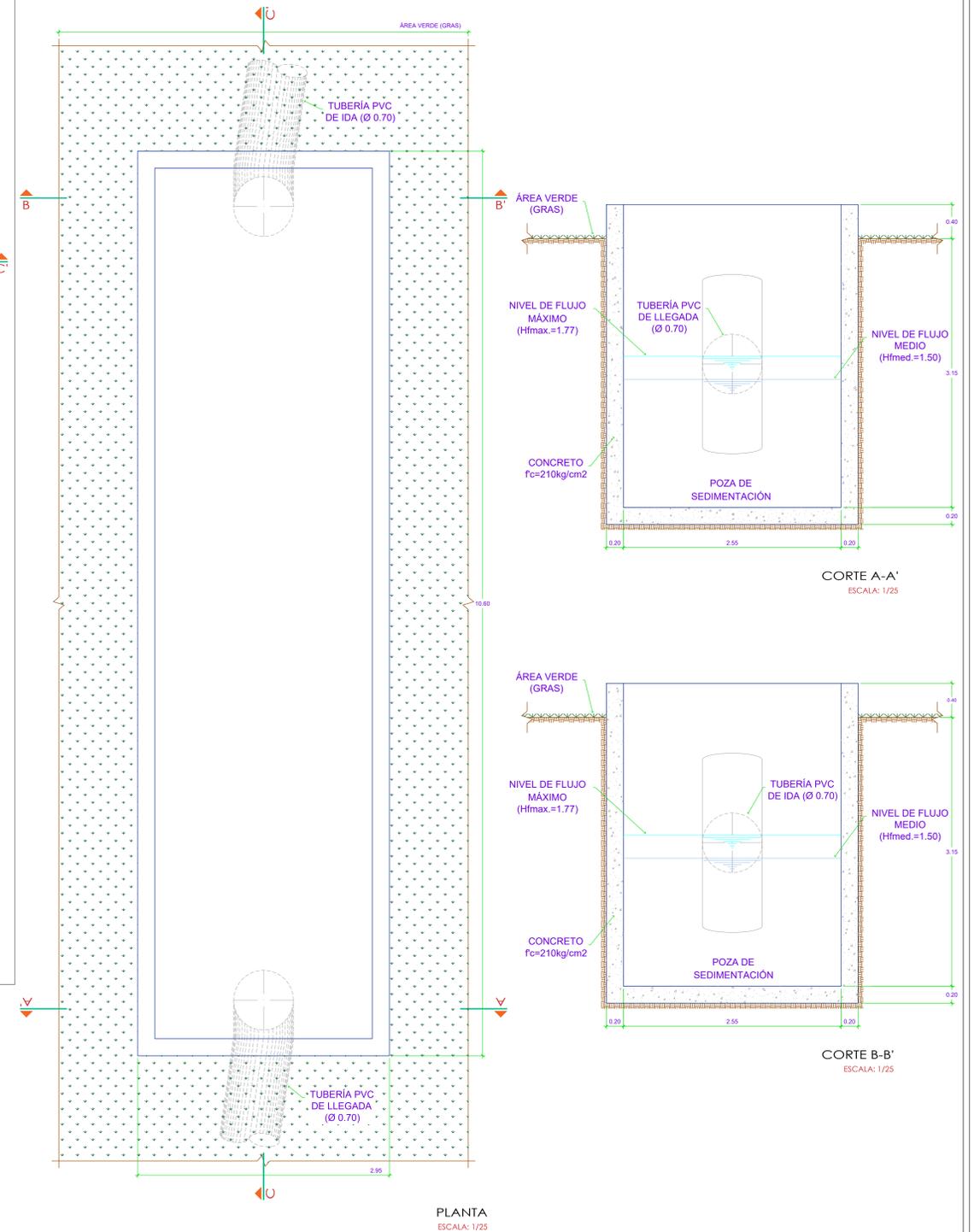
SEDIMENTADORES

SEDIMENTADOR N°01 (S1)



DETALLE DE COMPONENTES
ESCALA: INDICADA

SEDIMENTADOR N°02 (S2)



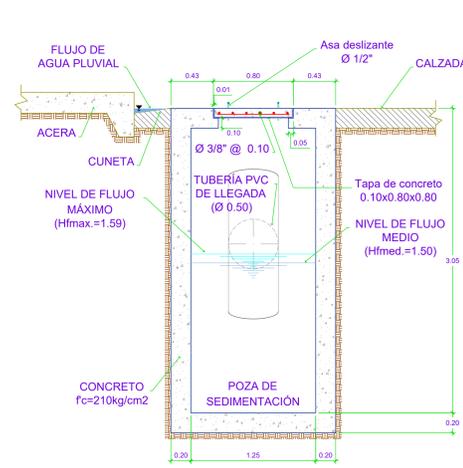
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS - SEDIMENTADORES	
SEDIMENTADOR N°01 (S1)	
A) PAREDES Y LOSA DE FONDO	- Concreto: $f_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$
B) TECHO	- Concreto: $f_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$
C) TAPA	- Refuerzo Acero: $F_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$ - Concreto: $f_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$
SEDIMENTADOR N°02 (S2)	
A) PAREDES Y LOSA DE FONDO	- Concreto: $f_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$
COMENTARIO: Los sedimentadores (S1 y S2) sólo se limitan a la representación de sus características geométricas, cuyas configuraciones fueron obtenidas del SWMM y demás estimaciones afines.	

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL				
TESIS: "DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO - 2019"				
PLANO: DETALLE DE COMPONENTES				
UBICACIÓN:	LUGAR: AV. 28 DE AGOSTO	PROVINCIA: HUÁNUCO	REGIÓN: HUÁNUCO	LÁMINA:
ESCALA:	DISTRITO: AMARILIS	FECHA: ENERO 2020	DIBUJO: JWRV	DC-06

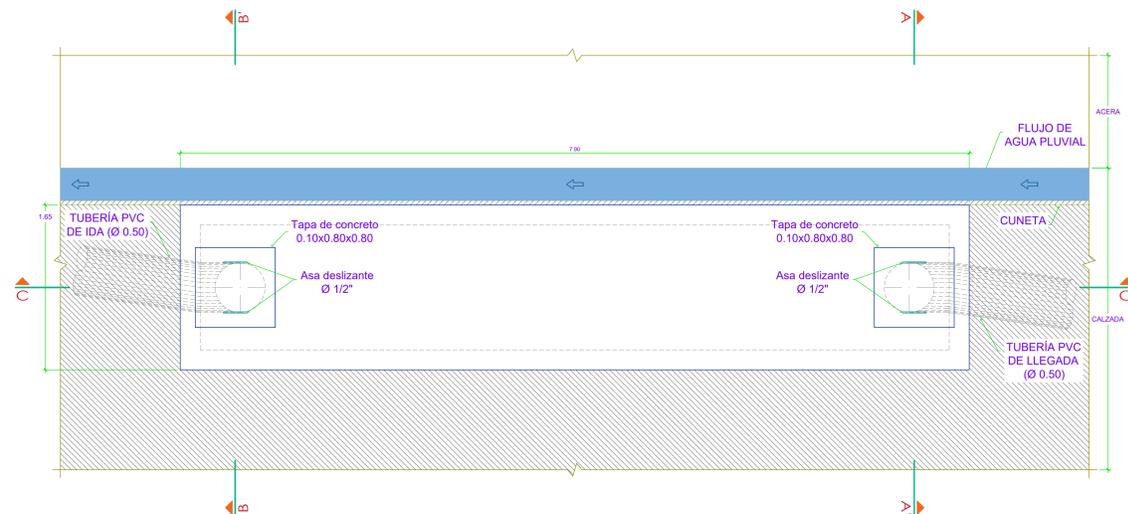


SEDIMENTADORES

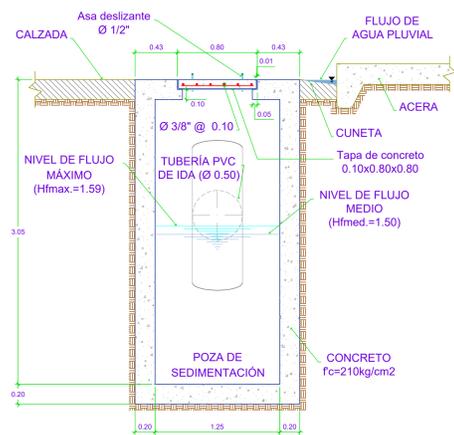
SEDIMENTADOR N°03 (S3)



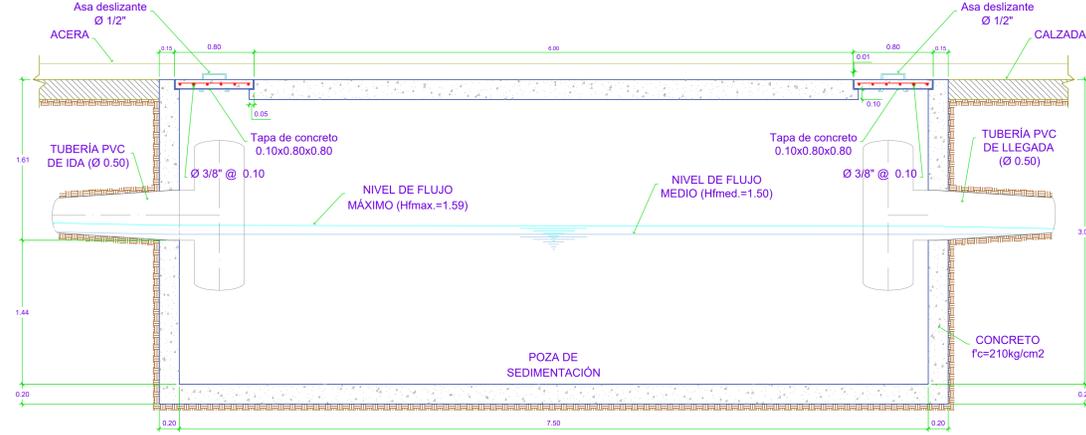
CORTE A-A'
ESCALA: 1/25



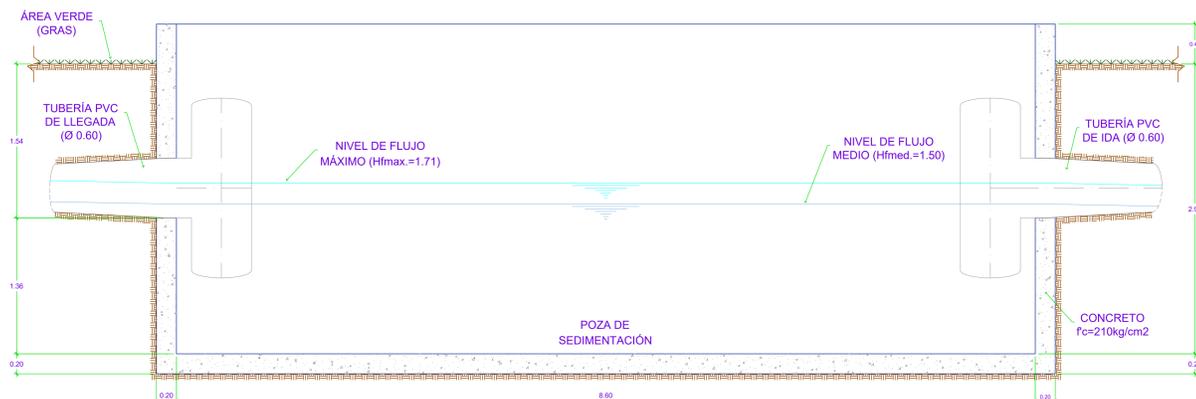
PLANTA
ESCALA: 1/25



CORTE B-B'
ESCALA: 1/25



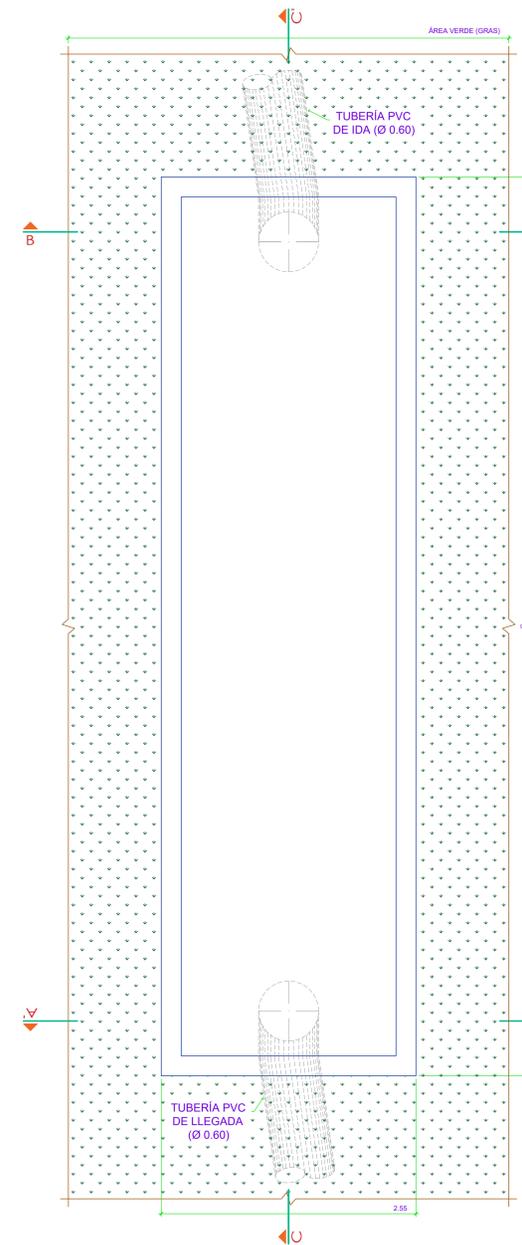
CORTE C-C'
ESCALA: 1/25



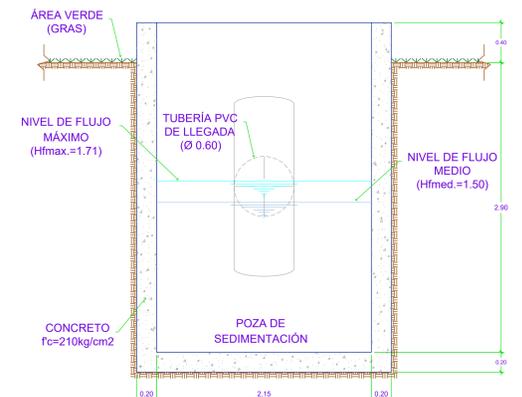
CORTE C-C'
ESCALA: 1/25

DETALLE DE COMPONENTES
ESCALA: INDICADA

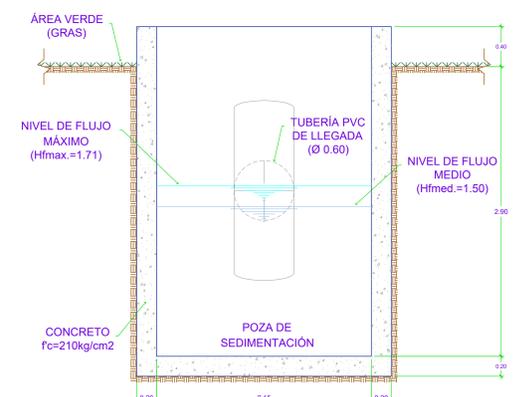
SEDIMENTADOR N°04 (S4)



PLANTA
ESCALA: 1/25



CORTE A-A'
ESCALA: 1/25



CORTE B-B'
ESCALA: 1/25

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS - SEDIMENTADORES

SEDIMENTADOR N°03 (S3)

- A) PAREDES Y LOSA DE FONDO
 - Concreto: f_c = 210 Kg/cm²
- B) TECHO
 - Concreto: f_c = 210 Kg/cm²
- C) TAPA
 - Refuerzo Acero: F_y = 4200 Kg/cm²
 - Concreto: f_c = 210 Kg/cm²

SEDIMENTADOR N°04 (S4)

- A) PAREDES Y LOSA DE FONDO
 - Concreto: f_c = 210 Kg/cm²

COMENTARIO: Los sedimentadores (S3 y S4) sólo se limitan a la representación de sus características geométricas, cuyas configuraciones fueron obtenidas del SWMM y demás estimaciones afines.

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO - 2019"

PLANO:

DETALLE DE COMPONENTES

UBICACIÓN: LUGAR: AV. 28 DE AGOSTO PROVINCIA: HUÁNUCO
DISTRITO: AMARILIS REGIÓN: HUÁNUCO

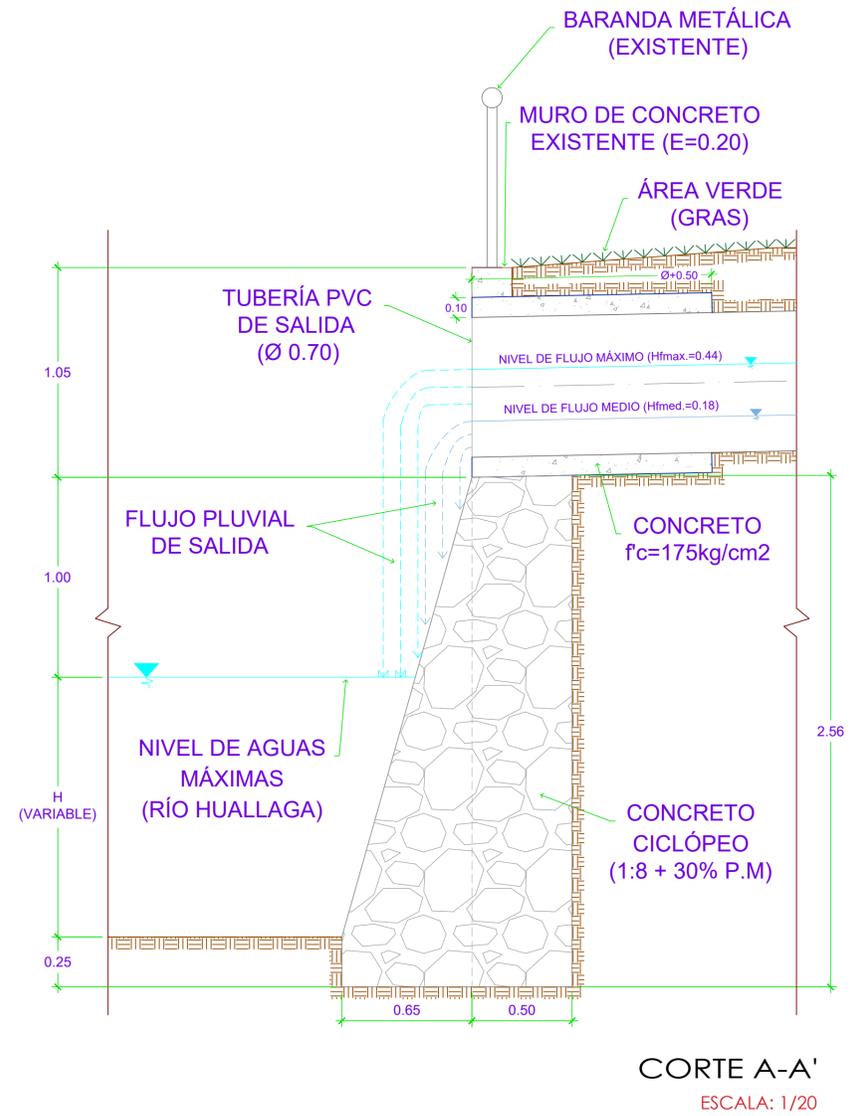
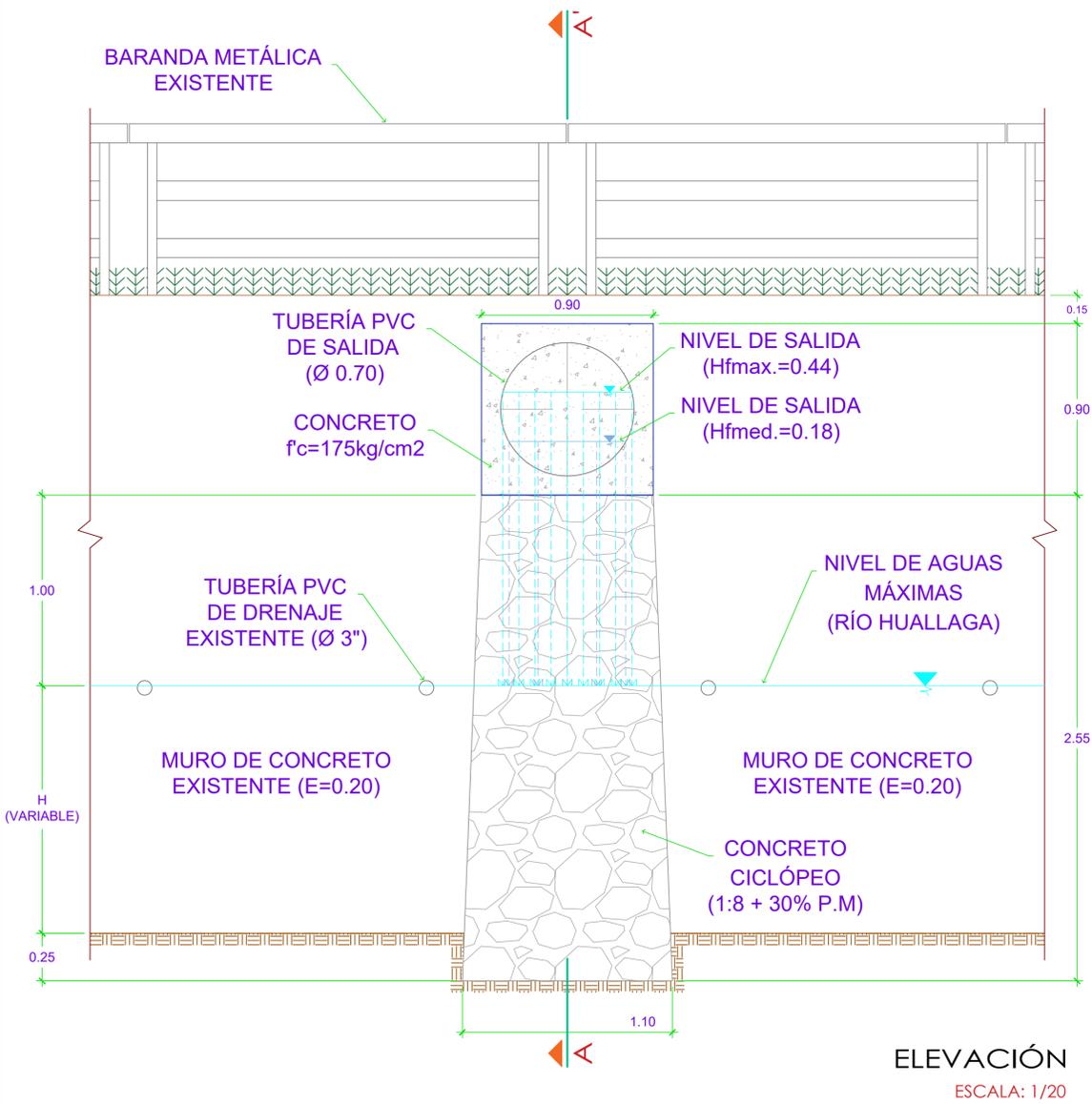
ESCALA: INDICADA FECHA: ENERO 2020 DIBUJO: JWRV



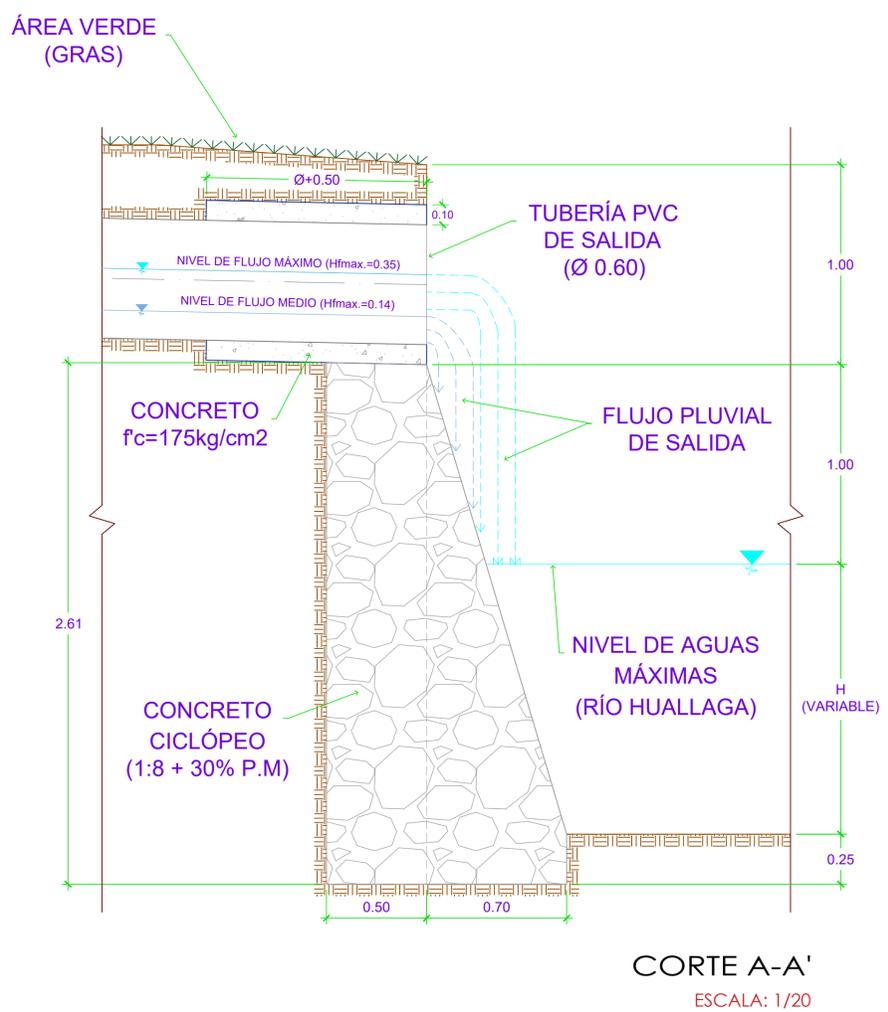
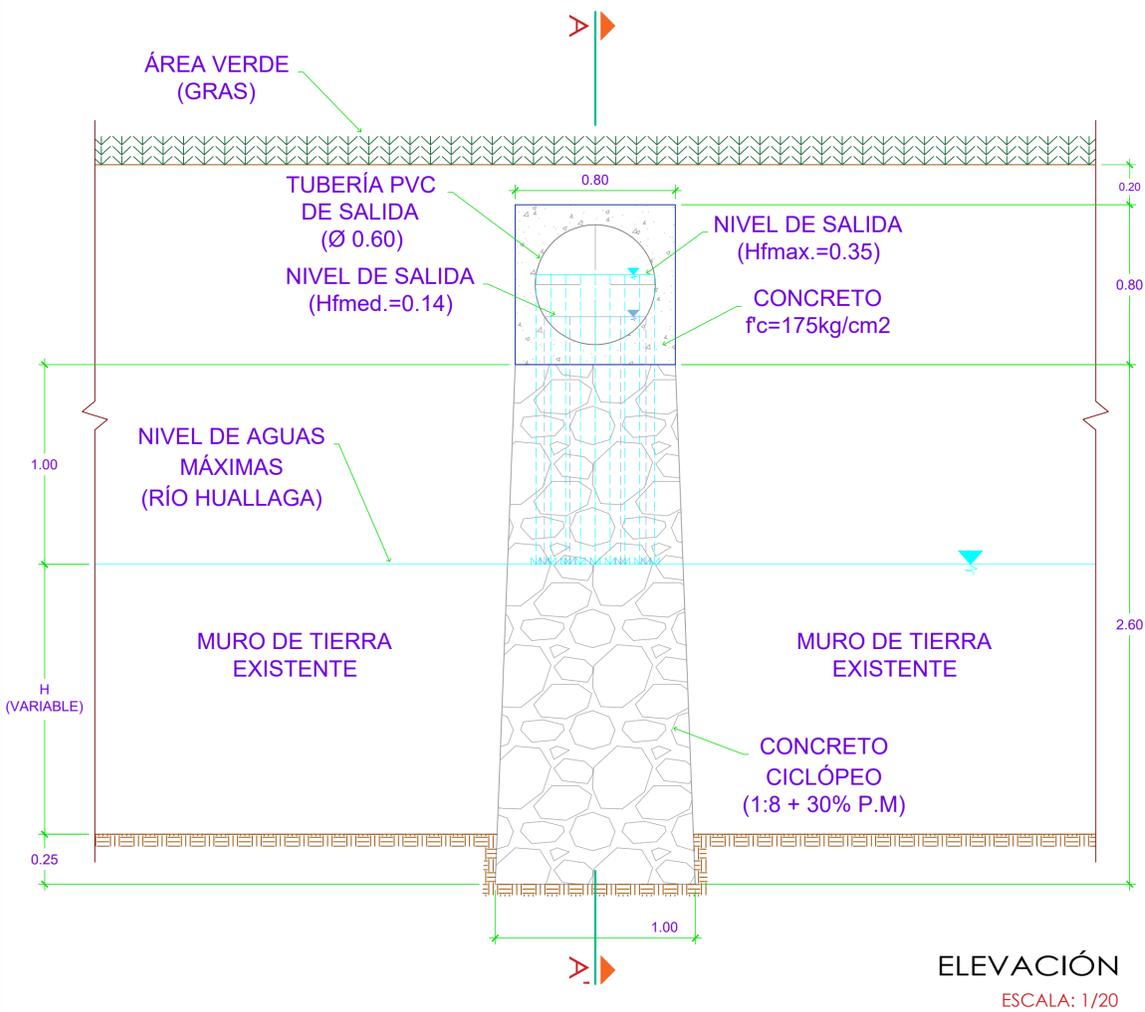
LÁMINA: DC-07

ESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN DE AGUAS PLUVIALES

ESTRUCTURA DE EVACUACIÓN N°01 (EE1)



ESTRUCTURA DE EVACUACIÓN N°02 (EE2)



DETALLE DE COMPONENTES
ESCALA: INDICADA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL					
TESIS: "DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN LA AVENIDA 28 DE AGOSTO DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUÁNUCO - 2019"					
PLANO: DETALLE DE COMPONENTES					
UBICACIÓN:	LUGAR: AV. 28 DE AGOSTO	PROVINCIA: HUÁNUCO	LÁMINA: DC-08		
	DISTRITO: AMARILIS	REGIÓN: HUÁNUCO			
ESCALA: INDICADA	FECHA: ENERO 2020	DIBUJO: JWRV			