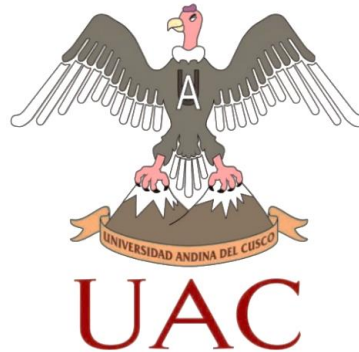




UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE DISEÑO DEL SISTEMA DE
ALCANTARILLADO PLUVIAL DE LA AV. LA CULTURA EN EL TRAMO:
GARCILASO – RIO CACHIMAYO, CUSCO”**

PRESENTADO POR:

- MAMANI HEREDIA, Marcia Sthefany
- MASIAS FLORES, Rocio

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

ASESOR:

Mg. Ing. Arangoitia Valdivia, Victor Manuel

CUSCO – PERÚ

2017



DEDICATORIA

A:

Dios, Por haberme permitido llegar hasta este punto, por haberme dado salud para lograr mis objetivos, por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarte cada día más, además de su infinita bondad y amor.

Mis padres, Rene Masias Salazar y Maruja Flores Encalada, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

Mi abuela Fortunata (QEPD), por quererme y apoyarme siempre.

Mi hermana, Sandra, por estar conmigo y apoyarme siempre.

Todos mis amigos y amigas por apoyarme y compartir los buenos y malos momentos.

Con cariño, Rocio.



DEDICATORIA

A mi familia, en especial a mi madre Teodora Heredia Huallpayunca quien ha sido inspiración en vida para seguir adelante.

A mi padre Antonio Mamani Aimituma, mis tíos Revelino Mamani Aimituma y Efrain Mamani Aimituma quienes confiaron en mí y me apoyaron en mi formación académica y guiaron mi vida.

A mis hermanos Wilde, Jafet, Boris y Damaris quienes han llenado de felicidad mi vida, por sus consejos y por su motivación para terminar este trabajo.

A mis amigas de la Universidad quienes hicieron más divertidos los días de estudio. A mis compañeros de facultad por los conocimientos compartidos y por los buenos momentos vividos.

A todos ustedes gracias; Marcia.



AGRADECIMIENTOS

A nuestra Universidad.

Por habernos aceptado ser parte de ella y abierto las puertas para poder estudiar la carrera y ser profesionales.

A nuestro Asesor.

Al Ingeniero Victor Manuel Arangoitia Valdivia, por la orientación y ayuda que nos brindó para la realización de esta tesis, sus conocimientos, su manera de trabajar, su persistencia, su paciencia y su motivación han sido fundamentales para nuestra formación como profesionales.

A nuestros maestros.

Por su apoyo ofrecido en las aulas de la universidad, por su tiempo compartido y por impulsar el desarrollo de nuestra formación profesional.

A nuestros amigos.

Por haber compartido buenos momentos a lo largo de nuestra formación profesional, así como en los momentos de diversión, a todos aquellos que estuvieron presentes durante toda o la mayor parte de la realización y desarrollo de esta tesis, gracias a aquellos que con respeto y decencia realizaron aportes a esta, gracias a todos.



RESUMEN

En la presente investigación se evalúa el sistema de alcantarillado pluvial de la Av. de la Cultura, en el tramo: Garcilaso – Rio Cachimayo.

Como resultado de la evaluación se formula una propuesta de un diseño que permitirá un funcionamiento más eficiente del sistema.

Con este propósito se hizo un diagnóstico del colector principal y los colectores tributarios, la ubicación de los sumideros y tapas de inspección del colector principal. Se estimaron los caudales de aporte con un intervalo de recurrencia de 25 años, por diferentes métodos tales como: Método Racional, Burkli Ziegler y Mac Math. El caudal de diseño calculado fue el estimado por el Metodo Racional, también se evaluó los volúmenes de transporte de sólido, estimando un volumen de 0.215 m³/ms de arrastre de sólido de fondo.

Como resultado de la investigación se propone la ampliación de la sección transversal del colector principal, empleando un canal rectangular de concreto. Así mismo se propone el redimensionamiento de las estructuras de sedimentación y el incremento del número de sumideros en un 21% de los existentes.

El funcionamiento hidráulico del sistema propuesto, fue simulado por medio del programa SWMM versión 5.0 que permitió ajustar el diseño originalmente propuesto.



ABSTRACT

In this research, we evaluate the pluvial sewage system of the Av. De la Cultura in the section: Garcilaso - Rio Cachimayo.

As a result of the evaluation, a proposal of a design is formulated that will allow a more efficient operation of the system.

For this purpose, we realized the inspection of the main manifold and tributary collectors, the location of the sumps and inspection covers of the main manifold. The contribution flows were estimated with a 25-year recurrence interval, by different methods such as: Rational Method, Burkli Ziegler and Mac Math. The calculated design flow was the estimated with the Rational Method. The solid transport volumes were also evaluated, estimating a bottom solid entrainment volume of 0.215 m³ / m-s.

As a result of the investigation, it is proposed the widening of the cross-section of the main manifold, using a rectangular channel of concrete. Likewise, it is proposed the resizing of sedimentation structures and the increase in the number of sinks in 21% of the existing ones.

The hydraulic operation of the proposed system was simulated through the SWMM software version 5.0 that allowed to adjust the originally proposed design. Being the existing one an old system, we recommend the evaluation of the different channels contributing to it.



INTRODUCCIÓN

El crecimiento demográfico de nuestra ciudad del Cusco, ha forzado la invasión de áreas verdes principalmente en partes altas de la ciudad como las laderas de los cerros. Esta circundante urbanización incrementa la cantidad de escurrimiento superficial, ya que un terreno urbanizado está generalmente cubierto de superficies impermeables como calles pavimentadas, techos y estacionamientos, los cuales impiden la infiltración de la lluvia; este fenómeno tiene la tendencia a continuar incrementando.

Por estas razones, la presente investigación consideró la evaluación de uno de los principales colectores de aguas pluviales de la ciudad Cusco, el Canal de la Av. La Cultura en el tramo: Garcilaso – Rio Cachimayo.

Según la Municipalidad Provincial del Cusco, encargada del mantenimiento del sistema de evacuación de aguas pluviales de la Av. La Cultura y sus aportantes, identifiqué a esta zona como una de las más problemáticas.

La presente investigación está orientada a la evaluación del estado actual del sistema de alcantarillado pluvial; en base a los datos recolectados, se realiza la propuesta de un nuevo sistema, más eficiente, para un manejo adecuado de las aguas pluviales, que a la vez permita evitar la contaminación de las fuentes naturales receptoras. Para realizar la optimización del sistema se hizo uso del software SWMM.

Con esta investigación se permite conocer la problemática PLUVIAL que afecta a la población cusqueña dentro de la zona de estudio. Esta investigación es necesaria y factible, ya que se trata de un problema latente, que una vez atendido, traerá múltiples beneficios económicos y sociales para nuestra población.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA I

AGRADECIMIENTOS III

RESUMEN IV

ABSTRACT V

INTRODUCCIÓN VI

ÍNDICE GENERAL VII

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 1

 1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA 1

 1.1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA 1

 1.1.2. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA 1

 1.1.2.1. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA GENERAL 1

 1.1.2.2. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DE LOS PROBLEMAS ESPECÍFICOS 2

 1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN 2

 1.2.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA 2

 1.2.2. JUSTIFICACIÓN SOCIAL 3

 1.2.3. JUSTIFICACIÓN POR VIABILIDAD 3

 1.2.4. JUSTIFICACIÓN POR RELEVANCIA 3

 1.3. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN 3

 1.3.1. LIMITACIÓN GEOGRÁFICA 3

 1.3.2. LIMITACIÓN DE ESTUDIO 3

 1.3.3. LIMITACIÓN DE INFORMACIÓN 4

 1.4. OBJETIVOS 4

 1.4.1. OBJETIVO GENERAL 4

 1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 4



1.5. HIPÓTESIS5

 1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL.....5

 1.5.2. SUB- HIPÓTESIS5

1.6. VARIABLES E INDICADORES.....5

 1.6.1. VARIABLES DEPENDIENTES5

 1.6.2. VARIABLES INDEPENDIENTES.....6

 1.6.3. CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES7

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....8

2.1. ANTECEDENTES.....8

 2.1.1 ANTECEDENTES A NIVEL NACIONAL8

 2.1.2. ANTECEDENTES A NIVEL INTERNACIONAL.....13

2.2. ASPECTOS TEÓRICOS PERTINENTES.....15

 2.2.1. HIDROLOGÍA15

 2.2.1.1. DEFINICIÓN.....15

 2.2.1.2. IMPORTANCIA DE LA HIDROLOGÍA15

 2.2.1.3. CICLO HIDROLÓGICO16

 2.2.1.4. CUENCA HIDROGRÁFICA17

 2.2.1.4.1. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LA CUENCA17

 2.2.1.4.2. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DEL CAUCE18

 2.2.1.5. AGUAS PLUVIALES19

 2.2.1.5.1. DEFINICIÓN19

 2.2.1.5.2. FORMAS DE PRECIPITACIÓN19

 2.2.1.5.2.1. LLOVIZNA19

 2.2.1.5.2.2. LLUVIA.....19

 2.2.1.5.2.3. ESCARCHA19

 2.2.1.5.2.4. NIEVE19



2.2.1.5.2.5. GRANIZO 19

2.2.1.5.3. CLASIFICACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN20

 2.2.1.5.3.1. PRECIPITACIÓN DE CONVECCIÓN20

 2.2.1.5.3.2. PRECIPITACIÓN OROGRÁFICA20

 2.2.1.5.3.3. PRECIPITACIÓN CICLÓNICA20

2.2.1.5.4. MEDICIÓN DE LA PRECIPITACIÓN20

 2.2.1.5.4.1. PLUVIÓMETRO21

 2.2.1.5.4.2. PLUVIÓGRAFO.....21

2.2.1.5.5. ESTUDIO DE UNA TORMENTA.....21

 2.2.1.5.5.1. DEFINICIÓN.....21

 2.2.1.5.5.2. ELEMENTOS DEL ANÁLISIS DE LAS TORMENTAS.21

 • A. INTENSIDAD.....21

 • B. LA DURACIÓN22

 • C. LA FRECUENCIA.....22

 • D. PERÍODO DE RETORNO22

 • E. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN22

2.2.1.5.6. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA25

2.2.1.5.7. ESCURRIMIENTO26

 2.2.1.5.7.1. DEFINICIÓN.....26

 2.2.1.5.7.2. CLASIFICACIÓN26

 • A. ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL (Q)26

 • B. ESCURRIMIENTO SUBSUPERFICIAL (Qs)27

 • C. ESCURRIMIENTO SUBTERRÁNEO27

2.2.1.5.8. CAUDALES MÁXIMOS27

 2.2.1.5.8.1. MÉTODO RACIONAL.....27

 2.2.1.5.8.2. MÉTODO BURKLI ZIEGLER.....28

 2.2.1.5.8.3. MÉTODO DE MAC MATH.....29



2.2.1.5.9. DETERMINACIÓN DE LA INTENSIDAD DE LLUVIA30

 2.2.1.5.9.1. MÉTODOS UTILIZADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN30

 • A. MÉTODO GUMBEL.....30

 • B. MÉTODO DE LOG PEARSON III32

 • C. MÉTODO IILA33

2.2.1.5.10. PRECIPITACIÓN NETA MEDIANTE EL MÉTODO DEL S.C.S.....36

2.2.2. HIDRÁULICA40

 2.2.2.1. DEFINICIÓN.....40

 2.2.2.2. ESTUDIO HIDRÁULICO.....40

 2.2.2.3. CANALES.....41

 2.2.2.3.1. SECCIONES ABIERTAS41

 2.2.2.3.2. SECCIONES CERRADAS42

 2.2.2.3.3. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE CANALES ..42

 2.2.2.3.3.1. CAUDAL (Q).....42

 2.2.2.3.3.2. VELOCIDAD MEDIA DE LOS CANALES (V)43

 2.2.2.3.3.3. PENDIENTE ADMISIBLE (S)43

 2.2.2.3.3.4. ANCHO DE SOLERA (A.S.)43

 2.2.2.3.3.5. BORDE LIBRE44

 2.2.2.3.3.6. RUGOSIDAD44

 2.2.2.3.4. CLASIFICACIÓN DEL FLUJO DE CANALES ABIERTOS
 45

 2.2.2.3.5. CÁLCULO DE CAUDALES EN CANALES46

 2.2.2.3.5.1. FÓRMULA DE GANGUILLET- KUTTER46

 2.2.2.3.5.2. FÓRMULA DE BAZIN.....47

 2.2.2.3.5.3. ECUACIÓN DE MANNING47

 2.2.2.4. DESARENADOR49



2.2.2.4.1. ELEMENTOS DE UN DESARENADOR.....49

2.2.2.5. TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.....53

2.2.2.5.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS SEDIMENTOS54

2.2.2.5.2. MODOS DE TRANSPORTE55

2.2.2.5.3. FORMULAS EXPERIMENTALES PARA EL TRANSPORTE DE MATERIAL DE FONDO55

2.2.2.5.3.1. FORMULA DE KALINSKE – FRIJLINK56

2.2.2.5.3.2. FORMULA DE MEYER – PETER.....56

2.2.2.5.3.2. FORMULA DE EINSTEIN – BROWN56

2.2.3. NORMA OS.060 DRENAJE PLUVIAL URBANO57

2.2.3.1. OBJETIVO.....57

2.2.3.2. APLICACIÓN DE LA NORMA57

2.2.3.3. INFORMACIÓN BÁSICA57

2.2.3.4. OBLIGATORIEDAD DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL58

2.2.3.5. CONSIDERACIONES HIDRÁULICAS EN SISTEMAS DE DRENAJE URBANO MAYOR58

2.2.3.5.1. CONSIDERACIONES BÁSICAS DE DISEÑO58

2.2.3.5.2. CAPTACIÓN Y TRANSPORTE DE AGUAS PLUVIALES DE CALZADA Y ACERAS59

2.2.3.5.3. SISTEMAS DE EVACUACIÓN68

2.2.4. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO MTC E107-200068

2.2.4.1. OBJETIVO.....68

2.2.5. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR MEDIO DEL HIDRÓMETRO MTC E109-199969

2.2.5.1. OBJETIVO.....69

2.2.6. GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SUELOS MTC E 113 – 2000..69



2.2.6.1. OBJETIVO.....69

CAPITULO III: METODOLOGÍA.....70

3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN70

3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN70

3.1.2. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN70

3.1.3. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN71

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....71

3.2.1. DISEÑO METODOLÓGICO71

3.2.2. DISEÑO DE INGENIERÍA.....72

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.....73

3.3.1. POBLACIÓN73

3.3.1.1. DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN73

3.3.2. MUESTRA73

3.3.2.1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA73

3.3.2.2. MÉTODO DE MUESTREO.....73

3.3.3. CRITERIOS DE INCLUSIÓN73

3.4. INSTRUMENTOS.....74

3.4.1. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS74

3.4.2. INSTRUMENTOS DE INGENIERÍA79

3.4.2.1. PROGRAMAS PARA EL PROCESAMIENTO DE DATOS79

3.4.2.1.1. SWMM 5.079

3.4.2.1.2. HCANALES V3.079

3.4.2.1.3. AutoCAD Civil 3D 201780

3.5. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS80

3.5.1. RECONOCIMIENTO DE LA ZONA DE ESTUDIO80

3.5.2. VERIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES DEL CANAL82



3.5.3. RECOLECCIÓN DE DATOS PLUVIOMÉTRICOS83

3.5.4. RECOLECCIÓN DE PLANOS CATASTRALES E INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA.....85

3.5.5. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE SEDIMENTOS85

3.5.6. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO MTC E107-200087

 3.5.6.1. EQUIPOS Y MATERIALES87

 3.5.6.2. PROCEDIMIENTO88

 3.5.6.3. TOMA DE DATOS.....90

3.5.7. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR MEDIO DEL HIDRÓMETRO MTC E109-199991

 3.5.7.1. EQUIPOS Y MATERIALES91

 3.5.7.2. PROCEDIMIENTO92

 3.5.7.3. TOMA DE DATOS.....95

3.5.8. ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SUELOS (PICNÓMETRO) MTC E 113-200099

 3.5.8.1. EQUIPOS Y MATERIALES99

 3.5.8.2. PROCEDIMIENTO99

 3.5.8.3. TOMA DE DATOS.....101

3.6. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS102

 3.6.1. ANÁLISIS DE LA VERIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES DEL CANAL E INVENTARIO102

 3.6.1.1. ANÁLISIS DE LA VERIFICACIÓN EN CAMPO E INVENTARIO DE LOS SUMIDEROS EXISTENTES.....102

 3.6.1.2. ANÁLISIS DE LA VERIFICACIÓN EN CAMPO E INVENTARIO DE LAS TAPAS DE INSPECCIÓN EXISTENTES.....110

 3.6.1.3. RESUMEN DEL INVENTARIO115

 3.6.2. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL SEDIMENTO118



3.6.2.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO 118

 3.6.2.1.1. PROCESAMIENTO Y CÁLCULOS DE LA PRUEBA..... 118

 3.6.2.1.2. DIAGRAMAS Y TABLAS..... 118

 3.6.2.1.3. ANÁLISIS DE LA PRUEBA 123

3.6.2.2. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR MEDIO DEL HIDRÓMETRO..... 124

 3.6.2.2.1. PROCESAMIENTO Y CÁLCULOS DE LA PRUEBA..... 124

 3.6.2.2.2. DIAGRAMAS Y TABLAS..... 127

 3.6.2.2.3. ANÁLISIS DE LA PRUEBA 131

3.6.3. CALCULO DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA DEL SEDIMENTO . 131

 3.6.3.1. PROCESAMIENTO Y CÁLCULOS DE LA PRUEBA 131

 3.6.3.2. DIAGRAMAS Y TABLAS 132

 3.6.3.3. ANÁLISIS DE LA PRUEBA 132

3.6.4. CALCULO DEL CAUDAL DE ESCORRENTÍA ORIGINADO POR LLUVIAS..... 133

 3.6.4.1. CALCULO DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA Y PUNTOS DE INTERÉS PARA LA ZONA DE ESTUDIO 133

 3.6.4.2. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN 136

 3.6.4.2.1. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN PARA LA ZONA 1 137

 3.6.4.2.2. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN PARA LA ZONA 2 139

 3.6.4.2.3. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN PARA LA ZONA 3 140

 3.6.4.2.4. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN PARA LA ZONA 4 141

 3.6.4.3. DETERMINACIÓN DE LA INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN POR ZONAS..... 143

 3.6.4.3.1. MÉTODO GUMBEL 144

 3.6.4.3.2. MÉTODO LOG PEARSON III 156

 3.6.4.3.3. MÉTODO IILA..... 167



3.6.4.4. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL GENERADO POR LAS PRECIPITACIONES EN LA ZONA DE ESTUDIO. 170

 3.6.4.4.1. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA 170

 3.6.4.4.2. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL POR EL MÉTODO RACIONAL 174

 3.6.4.4.3. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL POR EL MÉTODO MAC MATH 175

 3.6.4.4.4. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL POR EL MÉTODO BURKLI – ZIEGLER 176

 3.6.4.4.5. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL POR HIDROGRAMA UNITARIO 177

3.6.5. EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL EXISTENTE Y SUS APORTANTES. 184

 3.6.5.1. EVALUACIÓN DEL CANAL OSQOLLO 184

 3.6.5.2. EVALUACIÓN DEL CANAL AV. UNIVERSITARIA 190

 3.6.5.3. EVALUACIÓN DEL CANAL RIO CHILE 193

 3.6.5.4. EVALUACIÓN DEL CANAL DE LA AV. LA CULTURA 196

3.6.6. PROPUESTA DE DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL DE LA AV. LA CULTURA 199

 3.6.6.1. DISEÑO DEL CANAL DE DRENAJE 199

 3.6.6.2. TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DE FONDO 201

 3.6.6.3. DISEÑO DE DESARENADORES 205

 3.6.6.3.1. DISEÑO DEL DESARENADOR DEL CANAL OSQOLLO 205

 3.6.6.3.2. DISEÑO DEL DESARENADOR DEL CANAL AV. UNIVERSITARIA 209

 3.6.6.3.3. DISEÑO DEL DESARENADOR DEL CANAL RIO CHILE 213

 3.6.6.4. DISEÑO DE SUMIDEROS 217



3.6.7. SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL DE LA AV. LA CULTURA CON LA APLICACIÓN DEL SOFTWARE SWMM222

 3.6.7.1. VALORES POR DEFECTO222

 3.6.7.2. DIBUJO DE LOS OBJETOS.....222

 3.6.7.3. DATOS UTILIZADOS PARA EL MODELAMIENTO.....223

CAPITULO IV: RESULTADOS225

 4.1. ANÁLISIS DE LA VERIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES DEL CANAL225

 4.1.1. ANÁLISIS DE LA VERIFICACIÓN EN CAMPO DE LOS SUMIDEROS EXISTENTES225

 4.1.2. ANÁLISIS DE LA VERIFICACIÓN EN CAMPO DE LAS TAPAS DE INSPECCIÓN EXISTENTES226

 4.2. CAUDAL MÁXIMO DE DISEÑO226

 4.3. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL EXISTENTE DE LA AV. LA CULTURA228

 4.3.1. ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL CANAL EXISTENTE DE LA AV. LA CULTURA TRAMO 1228

 4.3.2. ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL CANAL EXISTENTE DE LA AV. LA CULTURA TRAMO 2228

 4.3.3. ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL CANAL EXISTENTE DE LA AV. LA CULTURA TRAMO 3229

 4.4. OBRAS PROPUESTAS DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL DE LA AV. LA CULTURA229

 4.4.1. PROPUESTA DEL DISEÑO DEL CANAL PLUVIAL DE LA AV. LA CULTURA.....229

 4.4.2. TRANSPORTE DE SEDIMENTOS230

 4.4.3. DESARENADORES PROPUESTOS232

 4.4.4. SUMIDEROS PROPUESTOS.....233

 4.4.5. RESUMEN DE OBRAS PROPUESTAS.....233



4.5. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE
ALCANTARILLADO PLUVIAL DE LA AV. LA CULTURA CON LA
APLICACIÓN DEL SOFTWARE SWMM235

CAPITULO V: DISCUSIÓN241

GLOSARIO244

CONCLUSIONES246

RECOMENDACIONES248

REFERENCIAS249

ANEXOS.....251



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N° 1: Cuadro de Operacionalización de Variables.7

TABLA N° 2: Tiempo De Concentración, Método Kirpich (1940).....23

TABLA N° 3 Tiempo De Concentración, Ecuación de retardo SCS (1973)24

TABLA N° 4: Tiempo De Concentración, Federal Aviation Administration (1970)
.....24

TABLA N° 5: Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana, para la ecuación de retardo.....25

TABLA N° 6: Coeficientes de Escorrentía Promedio para Áreas Urbanas26

TABLA N° 7:Valores de “C” para La Fórmula De Burkli-Ziegler29

TABLA N° 8: Factor De Escorrentía De Mac Math30

TABLA N° 9: Subdivisión del territorio en zonas y subzonas pluviométricas y valores de los parámetros K'_g y e_o 34

TABLA N° 10: Valores de los parámetros a y n.....34

TABLA N° 11: Valor Inicial del Umbral de escorrentía P_o (mm).37

TABLA N° 12: Modelo de Tabla para determinar P n:38

TABLA N° 13: Valores de Rugosidad “N” de Manning45

TABLA N° 14: Valores de “n” para ser usados en la fórmula de Manning48

TABLA N° 15: Características de los sedimentos54

TABLA N° 16: Clasificación de Sedimentos según su Modo de Transporte55

TABLA N° 17: Velocidad Máxima para tuberías de alcantarillado67

TABLA N° 18: Datos Mensuales de Precipitaciones Máximas en 24 Horas en mm, Estación Perayoc84

TABLA N° 19: Toma de datos para el análisis de granulometría por tamizados
.....90

TABLA N° 20: Toma de datos para el análisis granulométrico por medio del Hidrómetro de la muestra N° 0196

TABLA N° 21: Toma de datos para el análisis granulométrico por medio del Hidrómetro de la muestra N° 02.....97

TABLA N° 22: Toma de datos para el análisis granulométrico por medio del Hidrómetro de la muestra N° 03.....98

TABLA N° 23: Toma de datos para la determinación de la Gravedad especifica
.....101



TABLA N° 24: Inventario Sumidero Prog.: 0+000 – 0+308..... 103

TABLA N° 25: Inventario Sumidero Prog.: 0+400 – 0+925..... 104

TABLA N° 26: Inventario Sumidero Prog.: 1+090 – 1+400..... 105

TABLA N° 27: Inventario Sumidero Prog.: 1+410 – 1+850..... 106

TABLA N° 28: Inventario Sumidero Prog.: 1+850 – 2+050..... 107

TABLA N° 29: Inventario Sumidero Prog.: 2+150 – 2+647..... 108

TABLA N° 30: Inventario Sumidero Prog.: 0+180 – 0+500..... 109

TABLA N° 31: Inventario de Tapas de Inspección Prog.: 0+014 – 0+308 110

TABLA N° 32: Inventario de Tapas de Inspección Prog.: 0+420 – 0+990 111

TABLA N° 33: Inventario de Tapas de Inspección Prog.: 1+310 – 1+600 112

TABLA N° 34: Inventario de Tapas de Inspección Prog.: 1+670 – 2+600 113

TABLA N° 35: Inventario de Tapas de Inspección Prog.: 0+180 – 0+500 114

TABLA N° 36: Resumen de Inventario de Sumideros Existentes 115

TABLA N° 37: Resumen de Inventario de Tapas de Inspección 116

TABLA N° 38: Inventario de Canales Existentes en el Área de Estudio 117

TABLA N° 39: Resultado del Análisis Granulométrico por tamizado de la Muestra N° 01 119

TABLA N° 40: Resultado del Análisis Granulométrico por tamizado de la Muestra N° 02 120

TABLA N° 41: Resultado del Análisis Granulométrico por tamizado de la Muestra N° 03 121

TABLA N° 42: Valores de Ct para la corrección por temperatura de las lecturas del hidrómetro..... 125

TABLA N° 43: Valores de L basados en Hidrómetro 126

TABLA N° 44: Valor del peso unitario y viscosidad del agua en función de la temperatura 127

TABLA N° 45: Resultado del análisis granulométrico por hidrómetro de la muestra N° 01 128

TABLA N° 46: Resultado del análisis granulométrico por hidrómetro de la muestra N° 02..... 129

TABLA N° 47: Resultado del análisis granulométrico por hidrómetro de la muestra N° 03..... 130

TABLA N° 48: Resultado del cálculo de la Gravedad específica 132

TABLA N° 49: Delimitación de la zona de estudio..... 133



TABLA N° 50: Resumen de las Características Físicas de la Microcuenca.... 134

TABLA N° 51: Calculo de la pendiente de la Zona 1 – Ecuación de Taylor y Schwarz..... 134

TABLA N° 52: Calculo de la pendiente de la Sub Zona 1-1 – Ecuación de Taylor y Schwarz 135

TABLA N° 53: Calculo de la pendiente de la Sub Zona 1-2 – Ecuación de Taylor y Schwarz 135

TABLA N° 54: Calculo de la pendiente de la Zona 2 – Ecuación de Taylor y Schwarz..... 135

TABLA N° 55: Calculo de la pendiente de la Zona 3 – Ecuación de Taylor y Schwarz..... 136

TABLA N° 56: Calculo de la pendiente de la Zona 4 – Ecuación de Taylor y Schwarz..... 136

TABLA N° 57: Características Físicas de la Zona 01 (Sub zona 1-1 – Sub zona 1-2). 137

TABLA N° 58: Características Físicas de la Zona 02 139

TABLA N° 59: Características Físicas de la Zona 03 140

TABLA N° 60: Características Físicas de la Zona 04 141

TABLA N° 61: Resumen de los Métodos de Tiempo de Concentración 143

TABLA N° 62: Precipitaciones máximas Obtenidas 144

TABLA N° 63: Cálculo de Variables Probabilísticas 145

TABLA N° 64: Determinación de Frecuencias..... 145

TABLA N° 65: Precipitación máxima por tiempo de duración 146

TABLA N° 66: Intensidad de lluvia según el periodo de retorno 146

TABLA N° 67: Regresión potencial - Periodo de retorno T=2 años 147

TABLA N° 68: Regresión potencial - Periodo de retorno T=5 años 148

TABLA N° 69: Regresión potencial - Periodo de retorno T=10 años 149

TABLA N° 70: Regresión potencial - Periodo de retorno T=25 años 150

TABLA N° 71: Regresión potencial - Periodo de retorno T=50 años 151

TABLA N° 72: Regresión potencial - Periodo de retorno T=100 años 152

TABLA N° 73: Regresión potencial - Periodo de retorno T=500 años 153

TABLA N° 74: Resumen – Regresión potencial 154

TABLA N° 75: Regresión potencial para determinar los parámetros de ajuste 154



TABLA N° 76: Intensidad Máxima para 25 años (mm/hr) 155

TABLA N° 77: Distribución de Probabilidades – Método Log Pearson Tipo III 157

TABLA N° 78: Resultado de las variables probabilísticas 158

TABLA N° 79: Tabla de Coeficientes de Foster - Rybkin 158

TABLA N° 80: Interpolación del coeficiente de asimetría 159

TABLA N° 81: Determinación de la Precipitación en función al Coeficiente de asimetría..... 159

TABLA N° 82: Precipitación máxima por tiempo de duración – Método Pearson III 160

TABLA N° 83: Intensidades a partir del Pd, Según Duración y Periodo de Retorno – Método Pearson III..... 161

TABLA N° 84: Regresión Potencial - Periodo de Retorno de 2 años..... 161

TABLA N° 85: Regresión Potencial - Periodo de Retorno de 5 años..... 162

TABLA N° 86: Regresión Potencial - Periodo de Retorno de 10 años..... 162

TABLA N° 87: Regresión Potencial - Periodo de Retorno de 20 años..... 163

TABLA N° 88: Regresión Potencial - Periodo de Retorno de 33 años..... 163

TABLA N° 89: Regresión Potencial - Periodo de Retorno de 100 años..... 164

TABLA N° 90: Regresión Potencial - Periodo de Retorno de 200 años..... 164

TABLA N° 91: Resumen – Regresión potencial 165

TABLA N° 92: Regresión potencial para determinar los parámetros de ajuste 165

TABLA N° 93: Intensidad Máxima para 25 años (mm/hr) 166

TABLA N° 94: Parámetros de la zona de estudio..... 168

TABLA N° 95: Precipitación Máxima Horaria 168

TABLA N° 96: Coeficiente de Duración de Lluvia..... 169

TABLA N° 97: Precipitaciones máximas por el coeficiente de duración de lluvia 169

TABLA N° 98: Hietograma de Precipitaciones para 8 horas..... 170

TABLA N° 99: Hietograma de precipitaciones..... 170

TABLA N° 100: Coeficientes de Escorrentía de la Zona de Estudio..... 171

TABLA N° 101: Caudal Generado por el Método Racional 175

TABLA N° 102: Coeficientes de Escorrentía para el Método Mac Math 175

TABLA N° 103: Caudal generado por el Método Mac Math 176

TABLA N° 104: Coeficientes de escorrentía para el Método Burkli Ziegler 176



TABLA N° 105: Caudal generado por el Método Burkli Ziegler 177

TABLA N° 106: Características geomorfológicas por zonas de la cuenca..... 177

TABLA N° 107: Hidrograma unitario triangular Sub zona 1-1 178

TABLA N° 108: Hidrograma unitario triangular Sub zona 1-2..... 179

TABLA N° 109: Hidrograma unitario triangular Zona 1 180

TABLA N° 110: Hidrograma unitario triangular Zona 2..... 181

TABLA N° 111: Hidrograma unitario triangular Zona 3..... 182

TABLA N° 112: Hidrograma unitario triangular Zona 4..... 183

TABLA N° 113: Borde libre en función de la Plantilla del Canal 192

TABLA N° 114: Diseño del Canal de la Av. la Cultura..... 199

TABLA N° 115: Resumen de dimensiones del Canal Rectangular de la Av. la Cultura entre las progresivas 0+000 – 0+900 200

TABLA N° 116: Resumen de dimensiones del Canal Rectangular de la Av. la Cultura entre las progresivas 0+900 – 2+647 200

TABLA N° 117: Diseño de caídas inclinadas 201

TABLA N° 118: Datos Diseño Desarenador Osqollo 205

TABLA N° 119: Datos Diseño Desarenador Canal Av. Universitaria 210

TABLA N° 120: Datos Diseño Desarenador Canal Río Chile. 213

TABLA N° 121: Características Física de las áreas para Sumideros. 217

TABLA N° 122: Características Físicas 02 de las áreas para Sumideros..... 218

TABLA N° 123: Determinación del tiempo de Concentración para cada Área de los Sumideros..... 218

TABLA N° 124: Caudales para Sumideros..... 219

TABLA N° 125: Determinación de Tirante sobre el Umbral – Sumideros. 219

TABLA N° 126: Determinación del área efectiva – Sumideros. 220

TABLA N° 127: Determinación de Dimensiones de los Sumideros. 220

TABLA N° 128: Dimensiones Final y Ubicación de los Sumideros. 221

TABLA N° 129: Características de las Subcuencas 223

TABLA N° 130: Características de nudos 223

TABLA N° 131: Característica del vertido 223

TABLA N° 132: Características de los conductos 224

TABLA N° 133: Características de secciones de los conductos 224

TABLA N° 134: Resumen de Caudales calculados por el Método lila 226



TABLA N° 135: Resumen de Caudales calculados por el Método Racional, Mac Math, Burkli Ziegler227

TABLA N° 136: Capacidad hidráulica del Canal existente Av. La cultura tramo 1228

TABLA N° 137: Capacidad hidráulica del Canal existente Av. La cultura tramo 2228

TABLA N° 138: Capacidad hidráulica del Canal existente Av. La cultura tramo 3229

TABLA N° 139: Resumen de dimensiones del Canal Rectangular de la Av. la Cultura entre las progresivas 0+000 – 0+900230

TABLA N° 140: Resumen de dimensiones del Canal Rectangular de la Av. la Cultura entre las progresivas 0+900 – 2+647230

TABLA N° 141: Tabla de resultados del sedimento de fondo231

TABLA N° 142: Resultado del Transporte de sedimentos de fondo231

TABLA N° 143: Volúmenes mensuales de sedimentos transportados en el canal232

TABLA N° 144: Volúmenes anuales de sedimentos transportados en el canal232

TABLA N° 145: Características geométricas de Desarenadores232

TABLA N° 146: Características geométricas y Ubicación de los Sumideros. .233

TABLA N° 147: Resumen de obras propuestas234

TABLA N° 148: Escorrentía superficial de la zona de estudio235

TABLA N° 149: Calculo hidráulico de la zona de estudio235

TABLA N° 150: Resumen de escorrentía en la zona de estudio236

TABLA N° 151: Resumen de nivel en nudos de la zona de estudio236

TABLA N° 152: Resumen de aporte en nudos de la zona de estudio236

TABLA N° 153: Resumen de Sobrecarga e inundación en nudos de la zona de estudio237

TABLA N° 154: Resumen de vertido de la zona de estudio237

TABLA N° 155: Resumen de caudal en líneas de la zona de estudio237

TABLA N° 156: Resumen sobrecarga de conductos238



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 1: Ciclo Meteorológico 16

FIGURA N° 2: Plano (n-2-C) de Zonificación Método lila – Senamhi 198335

FIGURA N° 3: Hidrograma Unitario Triangular del SCS40

FIGURA N° 4: Flujo en Conductos41

FIGURA N° 5: Secciones Transversales Abiertas más Frecuentes.....42

FIGURA N° 6: Secciones Transversales Cerradas42

FIGURA N° 7: Desarenador49

FIGURA N° 8: Cresta de Creager52

FIGURA N° 9: Sumidero Tipo Grande Conectado a Cámara – S161

FIGURA N° 10: Sumidero Tipo Grande Conectado A Tubería – S2.....62

FIGURA N° 11: Sumidero Tipo Chico Conectado A La Cámara – S363

FIGURA N° 12: Sumidero Tipo Chico Conectado A La Tubería – S4.....64

FIGURA N° 13: Ficha de Verificación en Campo74

FIGURA N° 14: Formato de Recolección de datos Pluviométricos.....75

FIGURA N° 15: Formato de Recolección de datos de Análisis Granulométrico por tamizado76

FIGURA N° 16: Formato de Recolección de Datos de Análisis Granulométrico por el Método del Hidrómetro77

FIGURA N° 17: Formato de Recolección de Datos de Gravedad Especifica del Suelo78

FIGURA N° 18: Formato de Recolección de Datos de Áreas de la Zona de Estudio.....78

FIGURA N° 19: Portada del SWMM 5.079

FIGURA N° 20: Portada de HCANALES79

FIGURA N° 21: Portada de AutoCAD Civil 3D 201780

FIGURA N° 22: Quebrada Osqollo.....81

FIGURA N° 23: Desarenador De Osqollo81

FIGURA N° 24: Registro en campo de los componentes del sistema pluvial ...82

FIGURA N° 25: Verificación de las Condiciones Actuales – Canal Osqollo – Ayuda Mutua.....83



FIGURA N° 26: Verificación de las Condiciones Actuales – Canal Av. Universitaria.....83

FIGURA N° 27: Apertura de las Tapas de Inspección para las Muestras 1,2 Y 3 respectivamente86

FIGURA N° 28: Recolección de la Muestra N° 3.....86

FIGURA N° 29: Toma de Muestra N° 1.....87

FIGURA N° 30: Toma de Muestra N° 3.....87

FIGURA N° 31: Toma de Muestra N° 2.....87

FIGURA N° 32: Toma de Muestra N° 4.....87

FIGURA N° 33: Serie de Tamices y balanza.....88

FIGURA N° 34: Tamices retirados del agitador mecánico.....89

FIGURA N° 35: Pesado de las Muestras tamizadas.89

FIGURA N° 36: Muestras pesadas y ensayos debidamente.89

FIGURA N° 37: Equipos y Materiales - Método Hidrómetro91

FIGURA N° 38: Preparación de solución de Hexametáfosfato.....92

FIGURA N° 39: Muestras con humedad y Muestra seca92

FIGURA N° 40: Muestra con 125 ml de solución.93

FIGURA N° 41: Transferir la muestra y batir durante 1 min.....93

FIGURA N° 42: Muestra en la probeta de 1000 ml94

FIGURA N° 43: Toma de la lectura del hidrómetro y la temperatura.....94

FIGURA N° 44: Lecturas del hidrómetro para la corrección de cero.95

FIGURA N° 45: Muestra n° 02 del suelo en el picnómetro con agua.....100

FIGURA N° 46: Muestra n° 03 del suelo en el picnómetro con agua.....100

FIGURA N° 47: Peso total de la muestra n° 02 y 03.100

FIGURA N° 48: Curva Granulométrica de la Muestra N° 01122

FIGURA N° 49: Curva Granulométrica de la Muestra N° 02122

FIGURA N° 50: Curva Granulométrica de la Muestra N° 03123

FIGURA N° 51: Zonificación del Área de Estudio.....133

FIGURA N° 52: Cálculo del tiempo de Concentración Sub Zonas (1-1 y 1-2) Método Kirpich.....137

FIGURA N° 53: Cálculo del tiempo de Concentración Sub Zonas (1-1 y 1-2), Ecuación de retardo SCS.....138

FIGURA N° 54: Cálculo del tiempo de Concentración Sub Zonas (1-1 y 1-2) Método Federal Aviation Administration.....138



FIGURA N° 55: Cálculo del tiempo de Concentración Zona 02 Método Kirpich 139

FIGURA N° 56: Cálculo del tiempo de Concentración Zona 02, Ecuación de retardo SCS 139

FIGURA N° 57: Cálculo del tiempo de Concentración Zona 02, Método Federal Aviation Administration 140

FIGURA N° 58: Cálculo del tiempo de Concentración Zona 03 Método Kirpich 140

FIGURA N° 59: Cálculo del tiempo de Concentración Zonas 03, Ecuación de retardo SCS 141

FIGURA N° 60: Cálculo del tiempo de Concentración Zona 03 Método Federal Aviation Administration 141

FIGURA N° 61: Cálculo del tiempo de Concentración Zona 04 Método Kirpich 142

FIGURA N° 62: Cálculo del tiempo de Concentración Zonas 04, Ecuación de retardo SCS 142

FIGURA N° 63: Cálculo del tiempo de Concentración Zona 04 Método Federal Aviation Administration 143

FIGURA N° 64: Curvas IDF para la zona de estudio 155

FIGURA N° 65: Curva IDF para un periodo de retorno de 25 años de la zona de estudio 156

FIGURA N° 66: Modelo de distribución de probabilidades Log Pearson III 160

FIGURA N° 67: Curvas IDF para la zona de estudio (Intensidad – Duración) 166

FIGURA N° 68: Curva IDF para un periodo de retorno de 25 años de la zona de estudio 167

FIGURA N° 69: Zona de estudio – Plano (n-2-C) 168

FIGURA N° 70: Tipos de Cobertura Zona 1- 1 172

FIGURA N° 71: Tipos de Cobertura Zona 1 – 2 172

FIGURA N° 72: Tipos de Cobertura Zona 2. 173

FIGURA N° 73: Tipos de Cobertura Zona 3. 173

FIGURA N° 74: Tipos de Cobertura Zona 4. 174

FIGURA N° 75: Desarenador Canal Osqollo -Balconcillo -Ayuda mutua..... 185

FIGURA N° 76: Canal Osqollo – se visualiza su estado de conservación 185

FIGURA N° 77: Toma de medidas del Canal de Osqollo. 185



FIGURA N° 78: Canal Osqollo – Canal de transición de ingreso al desarenador 186

FIGURA N° 79: Canal Abierto Superficial Osqollo – Atraviesa Propiedad Privada 186

FIGURA N° 80: Canal Osqollo Subterráneo – Atraviesa Propiedad Privada .. 186

FIGURA N° 81: Caja de Inspección de Canal Osqollo Subterráneo que pasa longitudinalmente a la Calle Mariátegui Arriga -Recoleta 186

FIGURA N° 82: Desarenador Canal Osqollo – Ubicado al costado de la Av. Collasuyo parte baja. 187

FIGURA N° 83: Formato de Evaluación de Canales- Canal Osqollo Sub -Zona 1-1 188

FIGURA N° 84: Formato de Evaluación de Canales- Canal Osqollo Sub -Zona 1-2 189

FIGURA N° 85: Recolección de las Características Físicas del Canal Av. Universitaria..... 190

FIGURA N° 86: Canal Av. Universitaria Presencia de Residuos Sólidos 191

FIGURA N° 87: Fallas presentes en el canal y los sumideros laterales. 191

FIGURA N° 88: Formato de Evaluación Canales – Canal Av. Universitaria ... 192

FIGURA N° 89: Canal Rio Chile -Apv. Buena Vista 193

FIGURA N° 90: Canal Rio Chile – Rápida Hidráulica..... 193

FIGURA N° 91: Canal Osqollo – Rapida presencia de residuos sólidos 194

FIGURA N° 92: Presencia de Residuos Sólidos al ingreso del desarenador.. 194

FIGURA N° 93: Recolección de Datos ancho y altura..... 194

FIGURA N° 94: Formato de Evaluación de Canales – Canal Rio Chile..... 195

FIGURA N° 95: Formato de Evaluación de Canales – Canal Av. la Cultura Tramo 01 196

FIGURA N° 96: Formato de Evaluación de Canales – Canal Av. la Cultura Tramo 02 197

FIGURA N° 97: Formato de Evaluación de Canales – Canal Av. la Cultura Tramo 03 198

FIGURA N° 98: Vista en planta del Desarenador Osqollo 209

FIGURA N° 99: Corte longitudinal Desarenador Osqollo 209

FIGURA N° 100: Vista en plata Desarenador Av. Universitaria 213

FIGURA N° 101: Corte longitudinal Desarenador Av. Universitaria..... 213



FIGURA N° 102: Vista en planta Desarenador Rio Chile216

FIGURA N° 103: Corte longitudinal Desarenador Rio chile216

FIGURA N° 104: Áreas para sumideros.....217

FIGURA N° 105: Valores por defecto del proyecto222

FIGURA N° 106: Canal colector de aguas pluviales Av. la cultura222

FIGURA N° 107: Comparación Cualitativa De Sumideros225

FIGURA N° 108: Comparación Cualitativa de Tapas de Inspección226

FIGURA N° 109: Caudales de las precipitaciones por zonas227

FIGURA N° 110: Detalle de Sumidero233

FIGURA N° 111: Perfil de lámina de agua: Nudo N1 – D1238

FIGURA N° 112: Perfil de lámina de agua: Nudo N1 – N3.....239

FIGURA N° 113: Perfil de lámina de agua: Nudo N3 – N5.....239

FIGURA N° 114: Perfil de lámina de agua: Nudo N5 – D1240

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El problema materia de investigación consiste en el deficiente funcionamiento del sistema de evacuación de aguas pluviales de la Av. la Cultura en el tramo: Garcilaso – Rio Cachimayo.

La zona en estudio a lo largo de los años ha presentado numerosos problemas en su sistema de alcantarillado pluvial como es el drenaje lento, atasco o atoros, saturación de escorrentía provocando la inundación de la avenida y charcos de aguas, los cuales se presentan en su mayoría en épocas de lluvias.

De manera que, el sistema de alcantarillado pluvial de la Av. la Cultura no tiene la suficiente capacidad para soportar el volumen de agua que fluye en épocas de lluvias, por lo que se desbordan formando enormes charcos por las calles aledañas y la avenida, dificultando el tránsito vehicular e imposibilita el tránsito peatonal.

En el caso de los aportantes, los canales abiertos: Av. Universitaria y Av. Víctor Raúl Haya de la Torre, son receptores de desechos sólidos, estos a su vez obstruyen el flujo normal del agua, siendo crítica esta situación en temporada de lluvias.

1.1.2. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA

1.1.2.1. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA GENERAL

¿Cuáles son las condiciones existentes del sistema de alcantarillado pluvial y cuáles son las características adecuadas para lograr un sistema eficiente de evacuación de aguas pluviales en la Av. La Cultura en el tramo de Garcilaso - Rio Cachimayo de la ciudad del Cusco?



1.1.2.2. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DE LOS PROBLEMAS ESPECÍFICOS

❖ PROBLEMA ESPECÍFICO N° 01

¿Cuáles son las características del sistema de alcantarillado pluvial en la Av. La Cultura en el tramo de Garcilaso y Rio Cachimayo de la ciudad del Cusco?

❖ PROBLEMA ESPECÍFICO N° 02

¿Que Caudal de aguas pluviales conduce la red de alcantarillado pluvial en la Av. La Cultura en el tramo de Garcilaso y Rio Cachimayo?

❖ PROBLEMA ESPECÍFICO N° 03

¿Cuál será la propuesta de diseño del sistema de alcantarillado pluvial que cumpla con los criterios técnicos correspondientes?

❖ PROBLEMA ESPECÍFICO N° 04

¿Cuál es la capacidad de transporte de fondo de sedimentos en el canal de aguas pluviales?

1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se justifica porque permitirá resolver un problema latente, ocasionado por las precipitaciones pluviales que ocasionan encharcamiento y la obstrucción del flujo en el canal de la Av. la Cultura.

La solución a esta problemática es de particular importancia para el bienestar de los pobladores y la comodidad de vehículos y peatones que transitan por la avenida.

1.2.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

El mejoramiento del sistema de evacuación de aguas pluviales de la Av. la Cultura en el tramo de intervención, permitirá su adecuado funcionamiento en base al mejoramiento de las condiciones geométricas e hidráulicas del flujo.

1.2.2. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

La Av. de la Cultura por ser una avenida principal donde están ubicados Centros Comerciales, Instituciones Educativas, Instituciones Financieras, Restaurantes, Clínicas y el Hospital Regional; es de alto tránsito peatonal y vehicular.

Por lo tanto, se desea preservar la seguridad de la población, brindando buena transitabilidad peatonal y vehicular con la propuesta del nuevo diseño de alcantarillado pluvial.

1.2.3. JUSTIFICACIÓN POR VIABILIDAD

El estudio de investigación es factible, debido a que se cuenta con los instrumentos de campo y gabinete, requeridos para la realización de la investigación.

1.2.4. JUSTIFICACIÓN POR RELEVANCIA

El estudio de investigación es relevante, ya que realiza un aporte consistente en dar una solución técnica a la problemática del transporte urbano en la zona de investigación, ocasionado por las precipitaciones pluviales.

1.3. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. LIMITACIÓN GEOGRÁFICA

De acuerdo al contexto geográfico, la presente tesis se limita al estudio del sistema de alcantarillado pluvial existente en la Av. La Cultura en el tramo: Garcilaso – Rio Cachimayo.

1.3.2. LIMITACIÓN DE ESTUDIO

- La presente investigación se limita al estudio de aguas pluviales aportantes al colector principal de la zona de estudio.
- Se limita a las recomendaciones de diseño especificadas en el Reglamento Nacional de Edificaciones OS. 060 y el Manual: Criterios de diseños de obras hidráulicas para la formulación de proyectos hidráulicos multisectoriales y de afianzamiento hídrico del ANA.
- Se considera un periodo de retorno de 25 años para la estimación de caudales.



1.3.3. LIMITACIÓN DE INFORMACIÓN

- La presente investigación se limita al uso como referencia de planos catastrales obtenidos de la Municipalidad Provincial del Cusco.
- Plano de planta y perfil longitudinal del canal de la Av. la Cultura, (levantamiento realizado este año; por la Municipalidad Provincial del Cusco).
- Se limita a la información de ubicación de los canales, sumideros y tapas de inspección por parte de la Municipalidad Provincial del Cusco, datos corroborados en campo.
- Se limita a la información meteorológica de la estación de PERAYOC de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar las condiciones existentes del sistema de alcantarillado pluvial y proponer un nuevo diseño de alcantarillado.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

❖ OBJETIVO ESPECÍFICO N°1

Determinar las características del sistema de alcantarillado pluvial en la Av. La Cultura en el tramo de Garcilaso y Rio Cachimayo, Cusco.

❖ OBJETIVO ESPECÍFICO N°2

Determinar el caudal pluvial que ingresa al colector de aguas pluviales en la Av. La Cultura en el tramo de Garcilaso y Rio Cachimayo, Cusco.

❖ OBJETIVO ESPECÍFICO N°3

Plantear una propuesta técnica para el mejoramiento de la red de alcantarillado pluvial en la Av. La Cultura en el tramo de Garcilaso y Rio Cachimayo, Cusco.

❖ OBJETIVO ESPECÍFICO N°4

Evaluar el transporte de sedimentos de fondo que atravesara por el canal de aguas pluviales.

1.5. HIPÓTESIS

1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL

Las condiciones actuales que presenta el sistema de alcantarillado pluvial son deficientes y pueden ser mejoradas por medio de un diseño apropiado y la simulación hidráulica de acuerdo a las características propuestas.

1.5.2. SUB- HIPÓTESIS

❖ SUB- HIPÓTESIS N° 01

No posee los parámetros de diseño adecuados, como son pendientes, dimensiones de la red, velocidad de flujo, capacidad del sistema.

❖ SUB- HIPÓTESIS N° 02

El caudal pluvial que ingresa a la red de alcantarillado actual ocasiona problemas de colapso del sistema.

❖ SUB- HIPÓTESIS N° 03

Es necesario un nuevo diseño del Canal Pluvial Av. La Cultura, de acuerdo a los caudales existentes y de acuerdo a la norma OS.060 del Reglamento Nacional de Edificaciones y Manuales de diseño hidráulico.

❖ SUB- HIPÓTESIS N° 04

El sedimento de fondo presenta un mayor porcentaje de suelo tipo arena fina.

1.6. VARIABLES E INDICADORES

1.6.1. VARIABLES DEPENDIENTES

- **Y1: Caudal de aguas pluviales:** El volumen que ingresa al sistema originado por precipitaciones.
Indicador: Velocidad (m/seg), Área (m²), Intensidad de lluvia (mm)
- **Y2: Parámetros de diseño:** Características para el diseño de la estructura.
Indicador: Capacidad del sistema (m³/seg), Velocidades de flujo (m/seg), Pendientes (%), Tirantes de agua (cm)



- **Y3: Sólidos de arrastre:** Material que es transportado por la escorrentía superficial o flujo de aguas, depositada a lo largo de la zona de estudio.
Indicador: Arrastre de Fondo (Tipo de Material)

1.6.2. VARIABLES INDEPENDIENTES

- **X1: Condiciones Actuales:** Componentes del sistema, estado de conservación y funcionamiento del sistema.
Indicador: Inventarios, Mantenimiento, Vida Útil y uso. (adimensional)
- **X2: Áreas impermeables de la zona de estudio:** Áreas donde no se produce la infiltración al terreno.
Indicador: Levantamiento topográfico (UTM)
- **X3: Área de la cuenca:** Terreno formado por el escurrimiento de aguas.
Indicador: Levantamiento topográfico (UTM)
- **X4: Sistema de evacuación de aguas pluviales:** Estructura capaz de captar y conducir, las aguas originadas por las lluvias.
Indicador: Pendiente del canal (m/m), Dimensiones del canal (m) y Rugosidad del canal (adimensional).



1.6.3. CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

TABLA N° 1: Cuadro de Operacionalización de Variables.

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES					
TIPO DE VARIABLE	DENOMINACIÓN DE LA VARIABLE	DESCRIPCIÓN DE LA VARIABLE	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTOS
INDEPENDIENTE	X1: Condiciones Actuales.	Cantidades de elementos, estado de conservación y funcionamiento del sistema.	Inventarios Mantenimiento Vida Útil Uso	adimensional	Ficha de campo
	X2: Áreas impermeables de la zona de estudio	Áreas donde no se produce la infiltración al terreno.	Levantamiento Topográfico	UTM	Estación Total e instrumentos topográficos
	X3: Área de la Cuenca	Terreno formado por el escurrimiento de aguas.	Levantamiento Topográfico	UTM	Estación Total e instrumentos topográficos
	X4: Sistema de evacuación de aguas pluviales	Estructura capaz de captar y conducir, las aguas originadas por las lluvias.	Pendiente del canal	m/m	Hoja de cálculo
			Dimensiones del canal	m	Ficha de campo
			Rugosidad del canal	adimensional	Hoja de cálculo
	DEPENDIENTE	Y1: Caudal de aguas pluviales	Volumen de agua que ingresa al sistema originado por precipitaciones.	Velocidad	m/seg
Área				m ²	Hoja de cálculo
Intensidad de lluvia				mm	Hoja de cálculo
Y2: Parámetros de diseño		Características para el diseño de la estructura.	Capacidad del sistema	m ³ /seg	Hoja de cálculo
			Velocidades del flujo	m/seg	Hoja de cálculo
			Pendientes	%	Hoja de cálculo
			Tirantes de agua	cm	Hoja de cálculo
Y3: Solidos de arrastre		Material que es transportado por la escorrentía superficial o flujo de aguas, depositada a lo largo de la zona de estudio.	Arrastre de Fondo	Tipo de Material	Ficha de campo

FUENTE: Elaboración Propia

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1 ANTECEDENTES A NIVEL NACIONAL

“SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA DE ALCANTARILLADO URBANO” - Fernando Javier Chávez – Facultad de Ingeniería Civil - Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima 2006. (Fernando Javier Chávez, 2006)

Se optimizará una red de alcantarillado pluvial dada, ubicada en la ciudad de Tumbes, localidad que se ha elegido por estar en zona de influencia del fenómeno El Niño, tomando en cuenta:

- Las restricciones existentes, en este caso dadas por el Reglamento Nacional.
- Los parámetros hidráulicos de acuerdo al tipo de material elegido y la geometría de los conductos.
- La intensidad de la lluvia de diseño
- Los caudales de escorrentía variables en el tiempo y con valor máximo calculado con el método Racional.

El Diseño consta de dos partes:

- Optimización: En esta parte se obtienen las pendientes y diámetros de los conductos de la red optimizada, empleando un programa que emplea el cálculo por diferencias finitas y combinaciones para obtener costos mínimos, como datos requiere: las coordenadas de los nudos, la numeración de nudos y conductos, la profundidad máxima y mínima de instalación, la velocidad máxima y mínima, el coeficiente de rugosidad de los conductos, los diámetros disponibles y los caudales de escorrentía.
- Documentación: Se emplea el programa de simulación hidráulico Extran teniendo como datos los diámetros y pendientes obtenidos en la optimización, con el que se verifica que no existen sobrecargas ni inundaciones en los nudos. Para el cálculo de los costos se han realizado los análisis por metro lineal de tubería de acuerdo a las diferentes profundidades de instalación posibles. Asimismo, se hace un estudio de



los métodos de cálculo empleados en los programas de simulación y optimización.

CONCLUSIONES:

- La optimización permite obtener a partir de un trazo de red de alcantarillado pluvial o sanitario, los diferentes parámetros hidráulicos que producen un mínimo costo, garantizando que no habrá desbordes ni sobrecargas en la red.
- 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 lluvia a emplear, lo que incide en las dimensiones de los diámetros de las tuberías de la red.
- De los resultados se observa que la propuesta de drenaje pluvial considerando la red completa, nudos 1-320, para el nivel de intensidad calculado no es adecuado, porque las profundidades de instalación superan los 8 m en el punto de entrega, lo que haría muy dificultoso su rebombeo al tenerse caudales de 20 m³ /s, y los diámetros obtenidos superan en muchos casos los 2 m lo que sería poco usual.
- Para el tramo de red 238-320 las profundidades de instalación varían entre los 2 m y 7 m con diámetros generalmente menores a 1.20m, lo que hace viable la construcción de dicha red al tenerse caudales del orden de los 5 m³ /s para el nivel de intensidad considerado.

“EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LAS AGUAS PLUVIALES EN LA RED COLECTORA DE AGUAS RESIDUALES DE LA URBANIZACIÓN TUPAC AMARU DEL DISTRITO DE SAN SEBASTIÁN”

– Omar Anthony dueñas Palomino – Harold Paul Mayhuire Ponce – Escuela Profesional de Ingeniería Civil – Universidad Andina del Cusco, Cusco 2015. (Dueñas Y Mayhuire, 2015)

La presente investigación fue desarrollada en la urbanización Túpac Amaru en el distrito de San Sebastián de la ciudad del Cusco, tuvo como finalidad la evaluación de la influencia de las aguas pluviales que ingresan de manera



descontrolada a la red colectora de aguas residuales de la zona, ya que estas afectan en el normal funcionamiento de esta.

Para la investigación se realizó la recolección de información de la población presente en la zona, así como la búsqueda de los datos hidrológicos correspondientes a las estaciones meteorológicas de Kayra y Perayoc, las cuales se encuentran próximas a la urbanización; se contó también con datos proporcionados por la EPS SEDACUSCO, donde se indica la cantidad de reportes de atascamientos presentados por la población en la zona.

Posteriormente se realizó el levantamiento topográfico para obtener las pendientes de las calles de la urbanización. También se hizo la verificación de la dirección de las tuberías de la red de aguas residuales junto con la inspección de los buzones para corroborar con los planos de conexiones de desagüe y la altura de buzones, proporcionados también por la EPS SEDACUSCO.

Se determinó el caudal de aguas pluviales por los métodos: Racional, Burkli Ziegler y Mac Math, siendo el caudal obtenido por el Método Racional el utilizado para la investigación, el cual también es mencionado en la Norma OS-060 de Drenaje Pluvial Urbano del Reglamento Nacional de Edificaciones. Para la obtención del caudal de conducción de red colectora actual se utilizaron los métodos: Ganguillet-Kutter, Bazin, Manning y Pavloski, siendo los valores obtenidos por el Método de Manning los empleados en el proceso de evaluación de la red.

El aporte de la presente investigación en base a los resultados obtenidos es brindar el planteamiento de un estudio y diseño capaz de conducir y recolectar los volúmenes de Aguas Pluviales; de tal manera solucionar el problema que afecta a la población de la urbanización Túpac Amaru.

CONCLUSIONES:

- Se logró demostrar la hipótesis general afirmando que los volúmenes de aguas pluviales que ingresan a la red recolectora de aguas residuales en la urbanización Túpac Amaru del distrito de San Sebastián, rebasan la capacidad de conducción en la época de lluvias; siendo crítica en la Calle Tinta, donde el volumen rebasado es del 24% hasta 170% en relación a la capacidad de la red actual, datos mostrados en la tabla N° 183; así como también se muestra las demás relaciones de volúmenes



excedentes de las otras calles evaluadas en la tabla N°184 a la tabla N°198.

- Se alcanzó demostrar la sub-hipótesis hipótesis N°1 determinando que la capacidad de la red de conducción de aguas residuales de la Urbanización Túpac Amaru es insuficiente para conducir los volúmenes originados por la demanda de aguas residuales de la población, incrementado con el volumen de agua generado por el de las aguas pluviales, como se muestra en la tablas N° 183 hasta la N°198.

El caudal generado por las precipitaciones pluviales junto al caudal de aguas residuales del aporte de la población de las calles afectadas, es superior a la capacidad de conducción de la red actual.

- Las áreas impermeables de la urbanización Túpac Amaru generan un coeficiente de escorrentía alto en la zona 04 por las escasas superficies de infiltración, hallándose mayor número áreas pavimentadas y construcciones con techos; alcanzando así un valor de 0.78 señalado en la tabla N° 127. Por el contrario de las zonas 01 con un coeficiente de 0.50, las zonas 02 y 03 con un coeficiente de 0.49 mostrados en las tablas N° 124, N° 125 y N° 126 respectivamente. Queda así demostrado la sub-hipótesis N°2.
- Se logró demostrar la sub hipótesis N°3, determinando que la escorrentía de la cuenca aportante de Túpac Amaru es directamente proporcional a la intensidad de las precipitaciones. Obteniendo una intensidad de 23.05 mm/hr para toda la urbanización Túpac Amaru se determinó un escurrimiento de 0.040 m³/seg para la zona 01, de 0.117 m³/seg para la zona 02, de 0.154 m³/seg para la zona 03 y de 1.256 m³/seg para la zona 04. Valores mostrados en las tablas N° 128, N°129, N°130 y N°131 respectivamente.
- El área total de la zona de estudio es de 0.4022 km², en la que se genera un caudal de 1.567 m³/seg. Por efecto de las precipitaciones pluviales por las zonas de estudio, como se muestran en las tablas N° 128, N° 129 N° 130 y N°131. Determinando que el valor de este caudal es alto con respecto a la capacidad de los evacuadores pluviales existentes en la zona. Logrando así demostrar la sub-hipótesis N°4.



- La sub hipótesis N°5 quedó demostrada existiendo la necesidad de un sistema separativo que capte adecuadamente la escorrentía superficial de las precipitaciones mediante sumideros y rejillas, para su conducción y evacuación a su depósito de drenaje natural, en este caso el río Huatanay, hecho que ha sido demostrado en el análisis que se hizo en la presente investigación, que implicó la determinación de los caudales originados por la escorrentía de las aguas pluviales y caudales por aporte de la población a la red de alcantarillado para después hacer la comprobación de la influencia de estos volúmenes con la capacidad de la red actual.

El diseño del sistema de evacuación de aguas pluviales propuesto se encuentra detallado en el ítem 4.6 de la presente investigación, complementado por los planos en el Anexo N°02.

- Los colectores de aguas residuales de la urbanización Túpac Amaru poseen la capacidad suficiente para atender la demanda de agua residual generada por la población, como se demuestra en la tabla N° 183 a la tabla N°198, ya que los colectores poseen capacidades, las cuales fueron halladas por diversos métodos cuyos resultados se encuentran en la tabla N° 150 a la tabla N° 165. Se adoptaron los resultados del Método Manning, como lo indica la norma OS.070 “Redes de Aguas Residuales”. Logrando así demostrar la sub-hipótesis N°6.
- Con los resultados obtenidos en las encuestas, se pudo identificar, mencionar y clasificar los diferentes impactos que afectan directa e indirectamente a los pobladores de la urbanización Túpac Amaru, así se llegó a tener una lista de clasificación impactos como se muestra en la tabla N° 199, para tener un concepto claro de cómo mitigar estos impactos, de forma segura y económica. La sub-hipótesis N°7 logró ser demostrada.

2.1.2. ANTECEDENTES A NIVEL INTERNACIONAL

“DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO, AGUAS LLUVIAS Y PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN ISIDRO, DEPARTAMENTO DE CABAÑAS.” - Jenny Mercedes Alfaro Melgar - Jose Luis Carranza Cisneros - Italo Gonzalez Reyes - Escuela de Ingeniería Civil – San Salvador, agosto de 2012. (Jenny Mercedes Alfaro Melgar & Jose Luis Carranza Cisneros & Italo Gonzalez Reyes, 2012)

Las aguas residuales son producto de las actividades domésticas, contienen una mezcla de materiales fecales y desperdicios de diferentes tipos.

En la zona urbana, municipio de San Isidro, departamento de Cabañas, las excretas son dispuestas a través de letrinas o tratadas por medio de fosas sépticas, el resto es descargado directamente a quebradas cercanas, cabe mencionar que un pequeño sector posee una red combinada de aguas negras y aguas lluvias. Las aguas provenientes de uso doméstico son descargadas directamente a las calles, generando un ambiente idóneo para la proliferación de vectores, produciendo malos olores y mal aspecto visual. En época invernal la problemática aumenta ya que, al no contar con un sistema de alcantarillado pluvial, el deterioro de las calles se acelera.

En el presente trabajo de graduación se presentan propuestas de diseño de alcantarillado de aguas lluvias, alcantarillado de aguas negras y planta de tratamiento de aguas residuales para la zona urbana del municipio de San Isidro. Inicialmente se detallan las condiciones geográficas, climatológicas, poblacionales entre otras características del municipio de San Isidro. Luego se presentan la teoría sobre los diseños de los sistemas de alcantarillado sanitario y aguas lluvias. Se presentan además los diseños de los sistemas de alcantarillado de aguas lluvias y aguas negras para el área urbana del municipio de San Isidro, especificaciones técnicas, planos y detalles constructivos, así como el presupuesto de cada alternativa.

También se presentan dos propuestas para el tratamiento de las aguas residuales de origen doméstico, sus especificaciones técnicas, planos y detalles constructivos y presupuesto para cada una de las alternativas.



Para sectores que no son cubiertos por el sistema de alcantarillado de aguas negras, se presentan tres alternativas para el tratamiento y disposición de las aguas residuales, el uso de fosas sépticas, letrina de tipo abonera seca familiar y letrina solar.

CONCLUSIONES

- La implementación del sistema de alcantarillado sanitario y pluvial es de gran importancia, ya que, con él, se mitigarán los impactos negativos, generados por las aguas residuales producto de la actividad humana, que actualmente se descargan sin ningún tratamiento a las quebradas que circundan el área urbana de San Isidro y por la escorrentía superficial generada en las tormentas.
- Ambos sistemas de red de alcantarillado, se han logrado desarrollar de tal forma que trabajen enteramente por gravedad, sin necesidad de elementos de bombeo en ningún punto.
- Con la red de alcantarillado sanitario se ha logrado cubrir el 83% de la totalidad de las viviendas existentes, en todos los sectores del área urbana del municipio de San Isidro y el restante 17% se cubrirá con los sistemas alternativos de fosas sépticas, letrina abonera seca familiar (LASF) y letrina solar.
- Dada la topografía del lugar, para el sistema de alcantarillado pluvial es necesario contar con derechos de servidumbre en algunos puntos de descarga, la mayoría son de fácil evacuación, debido a la cercanía de las quebradas; para el alcantarillado sanitario se hace necesario contar con los derechos de servidumbre para evacuar las aguas residuales hasta el lugar propuesto, para la ubicación de la planta de tratamiento, que ha sido el lugar más favorable encontrado.



2.2. ASPECTOS TEÓRICOS PERTINENTES

2.2.1. HIDROLOGÍA

2.2.1.1. DEFINICIÓN

La hidrología es la ciencia natural que estudia al agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas, físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo los seres vivos. (Villón Béjar, 2002)

2.2.1.2. IMPORTANCIA DE LA HIDROLOGÍA

Según (Villón Béjar, 2002) la hidrología proporciona al ingeniero o hidrólogo, los métodos para resolver los problemas prácticos que se presentan en el diseño, la planeación y la operación de estructuras hidráulicas.

Entre estos problemas se puede mencionar:

- ❖ Determinar si el volumen aportado por una cierta corriente es suficiente para:
 - El abastecimiento de agua potable a una población
 - El abastecimiento de agua potable a una industria
 - Satisfacer la demanda de un proyecto de irrigación
 - Satisfacer la demanda de un proyecto de generación de energía eléctrica
 - Permitir la navegación
- ❖ Definir la capacidad de diseño de obras como
 - Alcantarillas
 - Puentes
 - Estructuras para el control de avenidas
 - Presas
 - Vertederos
 - Sistemas de drenaje: Agrícola, poblaciones, carreteras, aeropuertos

Estos diseños requieren del análisis hidrológico cuantitativo para la selección del evento de diseño necesario.

El objetivo de la hidrología aplicada es la determinación de esos eventos. Los resultados son normalmente solo estimaciones, en muchos casos, con aproximaciones limitadas.

2.2.1.3. CICLO HIDROLÓGICO

Se denomina ciclo hidrológico, al conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido, gaseoso), como en su forma (agua superficial, agua subterránea, etc.).

Han sido sugeridos numerosos esquemas del ciclo hidrológico, siendo su finalidad común, la de proporcionar un gráfico sencillo que muestre las diferentes formas y estados en que se presenta el agua. (Villón Béjar, 2002)

FIGURA N° 1: Ciclo Meteorológico



FUENTE: United States Geological Survey – USGS

Como todo ciclo, el hidrológico no tiene principio ni fin, y su descripción puede comenzar en cualquier punto. El agua que se encuentra sobre la superficie terrestre, ríos, lagos y mares, se evapora bajo el efecto de la radiación solar y el viento. El vapor resultante es transportado por las masas de aire en movimiento. En determinadas condiciones, el vapor se condensa formando las nubes, que a su vez pueden ocasionar precipitaciones que caen a la tierra. Durante su trayecto hacia la superficie de la tierra, el agua precipitada puede volver a evaporarse, o ser interceptada por las plantas o construcciones, luego fluye por la superficie hasta las corrientes, o se infiltra. El agua interceptada y una parte de la infiltrada y de la que corre por la superficie se evapora nuevamente.

De la precipitación que llega a las corrientes, una parte se infiltra y otra llega hasta los océanos y otras formas grandes de masa de agua como los lagos. El agua que se infiltra satisface la humedad del suelo y abastece los depósitos subterráneos, de donde puede fluir hacia las corrientes de los ríos, o bien



descargar en los océanos; la que queda detenida en la capa vegetal del suelo es regresada a la atmosfera por transpiración.

2.2.1.4. CUENCA HIDROGRÁFICA

Una cuenca hidrográfica es un territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que drena sus aguas al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago endorreico. Una cuenca hidrográfica es delimitada por la línea de las cumbres, también llamada divisoria de aguas. El uso de los recursos naturales se regula administrativamente separando el territorio por cuencas hidrográficas, y con miras al futuro las cuencas hidrográficas se perfilan como las unidades de división funcionales con más coherencia, permitiendo una verdadera integración social y territorial por medio del agua. También recibe los nombres de hoya hidrográfica, cuenca de drenaje y cuenca imbrifera. Una cuenca hidrográfica y una cuenca hidrológica se diferencian en que la primera se refiere exclusivamente a las aguas superficiales, mientras que la cuenca hidrológica incluye las aguas subterráneas. (Chow, 1994)

2.2.1.4.1. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LA CUENCA

a) Área de la cuenca. (Villón Béjar, 2002)

- Muy pequeña $A < 25 \text{ km}^2$
- Pequeña $25 < A < 250 \text{ km}^2$
- Intermedia pequeña $250 < A < 500 \text{ km}^2$
- Intermedia grande $500 < A < 2500 \text{ km}^2$
- Grande $2500 < A < 5000 \text{ km}^2$
- Muy grande $A > 5000 \text{ km}^2$

b) La pendiente de la cuenca tiene una importante pero compleja relación con la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea al flujo en los cauces. Esta característica controla el tiempo de flujo sobre el terreno y tiene influencia directa en la magnitud de las avenidas.

c) Cobertura vegetal y uso y tipo de suelo (edafología).

2.2.1.4.2. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DEL CAUCE

a) **CAUCE PRINCIPAL:** Es la corriente que pasa por la salida de la cuenca y es la de mayor orden.

b) **LONGITUD:** Distancia horizontal del río principal entre un punto aguas abajo (estación de aforo) y otro punto aguas arriba, donde corta la línea de contorno de la cuenca.

c) **PENDIENTE:** Es uno de los indicadores más importantes del grado de respuesta de una cuenca ante una tormenta. La pendiente varía a lo largo del cauce, por lo que es necesario definir una pendiente media. (Villón Béjar, 2002)

Existen varios métodos para obtener la pendiente:

- ✚ **MÉTODO PENDIENTE UNIFORME:** Este método considera la pendiente como la relación entre el desnivel que hay entre los extremos del cauce y la proyección horizontal de su longitud, es decir:

$$S = H/L$$

Donde:

- S = Pendiente
- H = Diferencia de cotas entre los extremos del cauce
- L = Longitud del cauce

- ✚ **MÉTODO POR LA ECUACIÓN DE TAYLOR Y SCHWARZ:**

Este método considera que el cauce está formado por n tramos de igual longitud, cada uno de ellos con pendiente uniforme.

$$S = \left[\frac{n}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{S_n}}} \right]^2$$

Donde:

- n = Número de tramos iguales
- S_1, S_2, \dots, S_n = Pendiente de cada tramo, según $S=H/L$
- S = Pendiente media del cauce

Para tramos de diferentes longitudes se recomienda utilizar 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
- L_i = Longitud del tramo
- S_i = Pendiente del tramo

2.2.1.5. AGUAS PLUVIALES

2.2.1.5.1. DEFINICIÓN

La precipitación es toda forma de humedad que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie del suelo. Desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones y análisis, forman el punto de partida de los estudios concernientes al uso y control del agua. (Villón Béjar, 2002)

2.2.1.5.2. FORMAS DE PRECIPITACIÓN

2.2.1.5.2.1. LLOVIZNA

Son pequeñas gotas de agua, cuyo diámetro varía entre 0.1 y 0.5 mm, las cuales tienen velocidades de caída muy bajas.

2.2.1.5.2.2. LLUVIA

Son gotas de aguas con diámetro mayor a 0.5 mm.

2.2.1.5.2.3. ESCARCHA

Es una capa de hielo por lo general transparente y suave, pero que usualmente contiene bolsas de aire.

2.2.1.5.2.4. NIEVE

Está compuesta de cristales de hielo blanco traslúcido, principalmente de forma compleja.

2.2.1.5.2.5. GRANIZO

Es una precipitación en forma de bolas o formas irregulares de hielo, que se producen por nubes convectivas, pueden ser esféricos, cónicos o de forma irregular, su diámetro varía entre 5 y 125 mm.

2.2.1.5.3. CLASIFICACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN

2.2.1.5.3.1. PRECIPITACIÓN DE CONVECCIÓN

La precipitación convectiva está ejemplificada por las tormentas tropicales. Las masas de aire cercanas a la superficie de la tierra absorben calor durante el día, se dilatan y toman cantidades crecientes de vapor de agua con un peso específico relativo, cercano a 0.6 en relación al aire seco. La masa de aire se vuelve más ligera; se inducen corrientes verticales, casi exclusivamente, y arrastran la masa a altitudes mayores, donde se expone a un medio circundante más frío y se expande bajo presión mayor. Por enfriamiento tanto externo como dinámico, el vapor de agua se condensa y a continuación se produce la precipitación.

2.2.1.5.3.2. PRECIPITACIÓN OROGRÁFICA

Se producen cuando el vapor de aguas que se forma sobre la superficie de agua es empujado por el viento hacia cadenas de colinas o montañas, aquí las nubes siguen por laderas de las montañas, y ascienden a grandes alturas, hasta encontrar condiciones para la condensación y la consiguiente precipitación.

2.2.1.5.3.3. PRECIPITACIÓN CICLÓNICA

Se producen cuando hay un encuentro de dos masas de aire, con diferente temperatura y humedad, las nubes más calientes son violentamente impulsadas a las partes más altas, donde pueden producirse la condensación y precipitación, estas asociadas con el paso de ciclones o zonas de baja presión.

2.2.1.5.4. MEDICIÓN DE LA PRECIPITACIÓN

La precipitación se mide en términos de la altura de lámina de aguas (hp), y se expresa comúnmente en milímetros. Esta altura de lámina de aguas, indica la altura que se acumularía en una superficie horizontal, si la precipitación permaneciera donde cayó.

Los aparatos de medición, se basan en la exposición a la intemperie de un recipiente cilíndrico abierto en su parte superior, en el cual se recoge el agua producto de la lluvia u otro tipo de precipitación, registrando su altura. Los aparatos de medición, se clasifican de acuerdo con el registro de las precipitaciones, en pluviómetros y pluviógrafos. (Villón Béjar, 2002)



2.2.1.5.4.1. PLUVIÓMETRO

Consiste en un recipiente cilíndrico de lámina, de aproximadamente 20 cm de diámetro y de 60 cm de alto. La tapa del cilindro es un embudo receptor, el cual se comunica con una probeta de sección 10 veces menor que la de la tapa.

Esto permite medir la altura de lluvia en la probeta, con una aproximación hasta decimos de milímetro, ya que cada centímetro medido en la probeta, corresponde a un milímetro de altura de lluvia; para medirla se saca la probeta y se introduce una regla graduada, con el cual se toma la lectura; generalmente se acostumbra hacer una lectura cada 24 horas.

2.2.1.5.4.2. PLUVIÓGRAFO

Es un instrumento, que registra de lluvia en función del tiempo, lo cual permite determinar la intensidad de precipitación. Los pluviógrafos más comunes son de forma cilíndrica, y el embudo receptor está ligado a un sistema de flotadores, que originan el movimiento de una aguja sobre el papel registrador, montado en un sistema de reloj. Como el papel registrador tiene un cierto rango en cuanto la altura de registro, una vez que la aguja llega al borde superior, automáticamente regresa al borde inferior y sigue registrando. El gráfico resultante toma el nombre de pluviograma.

2.2.1.5.5. ESTUDIO DE UNA TORMENTA

2.2.1.5.5.1. DEFINICIÓN

Se entiende por tormenta o borrasca, al conjunto de lluvias que obedecen a una misma perturbación meteorológica y de características bien definidas. De acuerdo a esta definición, una tormenta puede durar desde unos pocos minutos hasta varias horas y aun días, y puede abarcar extensiones de terrenos muy variables.

2.2.1.5.5.2. ELEMENTOS DEL ANÁLISIS DE LAS TORMENTAS

- **A. INTENSIDAD**

Es la cantidad de agua caída por unidad de tiempo. Lo que interesa particularmente de cada tormenta, es la intensidad máxima que se haya presentado, ella es la altura máxima de agua caída por unidad de tiempo. De acuerdo a esto intensidad se expresa así:

$$I_{max} = P/t$$

Donde:

- I_{max} = Intensidad máxima (mm/hora)
- P = Precipitación en altura de agua (mm)
- T = Tiempo (hora)

• B. LA DURACIÓN

Corresponde al tiempo que transcurre entre el comienzo y el fin de la tormenta. Aquí conviene definir el período de duración, que es un determinado período de tiempo, tomado en minutos u horas, dentro del total que dura la tormenta. Tiene mucha importancia en la determinación de las intensidades máximas.

• C. LA FRECUENCIA

Es el número de veces que se repite una tormenta, de características de intensidad y duración en un período de tiempo más o menos largo, tomado generalmente en años.

• D. PERÍODO DE RETORNO

Intervalo de tiempo promedio, dentro del cual un evento de magnitud x , puede ser igualado o excedido, por lo menos una vez en promedio. Representa el inverso de la frecuencia. (Villón Béjar, 2002)

$$T = 1/f$$

Donde:

- T = Periodo de retorno
- f = Frecuencia

• E. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Es el tiempo requerido por una gota para recorrer desde el punto hidráulicamente más lejano hasta la salida de la cuenca.

Transcurrido el tiempo de concentración se considera que toda la cuenca contribuye a la salida. Como existe una relación inversa entre la duración de una tormenta y su intensidad (a mayor duración disminuye la intensidad), entonces

se asume que la duración crítica es igual al tiempo de concentración t_c . El tiempo de concentración real depende de muchos factores, entre otros de la geometría en planta de la cuenca (una cuenca alargada tendrá un mayor tiempo de concentración), de su pendiente pues una mayor pendiente produce flujos más veloces y en menor tiempo de concentración, el área, las características del suelo, cobertura vegetal, etc. Las fórmulas más comunes sólo incluyen la pendiente, la longitud del cauce mayor desde la divisoria y el área. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2007)

El tiempo de concentración en un sistema de drenaje pluvial es:

$$T_c = T_o + T_f$$

Donde:

- T_o = Tiempo de entrada, hasta alguna alcantarilla
- T_f = Tiempo de flujo en los alcantarillados hasta el punto de interés = $\sum L_i/V_i$

Las ecuaciones para calcular el tiempo de concentración se muestran en las siguientes tablas.

TABLA N° 2: Tiempo De Concentración, Método Kirpich (1940)

MÉTODO Y FECHA	FÓRMULA PARA t_c (minutos)	OBSERVACIONES
Kirpich (1940)	$t_c = 0.01947 L^{0.77} S^{-0.385}$ L = longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida, m. S = pendiente promedio de la cuenca, m/m	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.

FUENTE: Manual De Hidrología, Hidráulica Y Drenaje - MTC – 2009

TABLA N° 3 Tiempo De Concentración, Ecuación de retardo SCS (1973)

MÉTODO Y FECHA	FÓRMULA PARA t_c (minutos)	OBSERVACIONES
Ecuación de retardo SCS (1973)	$t_c = \frac{0.0136.L^{0.8}\left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0.7}}{S^{0.5}}$ <p>L = longitud hidráulica de la cuenca mayor trayectoria de 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 800 Ha; 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 $t_c = 1.67 \times$ retardo de la cuenca.

FUENTE: Manual De Hidrología, Hidráulica Y Drenaje - MTC – 2009

TABLA N° 4: Tiempo De Concentración, Federal Aviation Administration (1970)

MÉTODO Y FECHA	FÓRMULA PARA t_c (minutos)	OBSERVACIONES
Federal Aviation Administration (1970)	$t_c = 0.7035 \frac{(1.1 - C).L^{0.50}}{S^{0.333}}$ <p>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.

FUENTE: Manual De Hidrología, Hidráulica Y Drenaje - MTC – 2009



TABLA N° 5: Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana, para la ecuación de retardo.

DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA	GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO			
	A	B	C	D
Tierra cultivada ¹ : sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
con tratamiento 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 hierbas,	45	66	77	83
cubierta buena ²	25	55	70	77
Área abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.	39	61	74	80
óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	49	69	79	84
condiciones aceptables cubierta de pasto en el 50 al 75%				
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos Industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial ³ :				
Tamaño promedio del lote Porcentaje promedio impermeable ⁴				
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. ⁵	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados ⁵	98	98	98	98
Grava	76	85	89	91
Tierra	72	82	87	89

FUENTE: Manual De Hidrología, Hidráulica Y Drenaje - MTC – 2009

2.2.1.5.6. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

Coeficiente que indica la parte de la lluvia que escurre superficialmente. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006).

TABLA N° 6: Coeficientes de Escorrentía Promedio para Áreas Urbanas

CARACTERÍSTICAS DE LA SUPERFICIE	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)						
	2	5	10	25	50	100	500
AREAS 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
AREAS 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: RNE, OS.060 Drenaje Pluvial Urbano

2.2.1.5.7. ESCURRIMIENTO

2.2.1.5.7.1. DEFINICIÓN

Es el agua proveniente de la precipitación, que circula sobre o bajo la superficie terrestre, y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca. (Villón Béjar, 2002)

2.2.1.5.7.2. CLASIFICACIÓN

- **A. ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL (Q)**

Es aquel que proviene de la precipitación no infiltrada y que escurre sobre la superficie del suelo. El efecto sobre el escurrimiento total es inmediato, y existirá durante la tormenta e inmediatamente después de que esta termine.



- **B. ESCURRIMIENTO SUBSUPERFICIAL (Q_s)**

Es aquel que 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.

- **C. ESCURRIMIENTO SUBTERRÁNEO**

Es aquel que proviene del agua subterránea, la cual es recargada por la parte de La precipitación que se infiltra, una vez que el suelo se ha saturado

2.2.1.5.8. CAUDALES MÁXIMOS

La magnitud del caudal de diseño, es función directa del periodo de retorno que se le asigne, el que a su vez depende de la importancia de la obra y de la vida útil de esta. (Villón Béjar, 2002)

2.2.1.5.8.1. MÉTODO RACIONAL

El uso de este método, tiene una antigüedad de más de 100 años, se ha generalizado en todo el mundo. En mayo de 1989, la universidad de Virginia, realizó una conferencia internacional, en conmemoración del Centenario de la Fórmula Racional.

El método puede ser aplicado en pequeñas cuencas de drenaje, aproximadamente si no exceden a 1300 has o 13 km².

En el método racional, se supone la máxima escorrentía ocasionada por una lluvia, se produce cuando la duración de esta es igual al tiempo de concentración (tc). Cuando así ocurre, toda la cuenca contribuye con el caudal en el punto de salida. Si la duración es mayor que el "tc" contribuye asimismo a toda la cuenca, pero en ese caso la intensidad de la lluvia es menor, por ser mayor la duración y por tanto también es menor el caudal.

Si la duración de la lluvia es menor que el tc la intensidad de la lluvia es mayor, pero en el momento en el que acaba la lluvia, el agua caída en los puntos más alejados aún no ha llegado a su salida; solo contribuye una parte de la cuenca a la escorrentía, por lo que el caudal será menor. (Villón Vejar, 2002)

Aceptando este planteamiento, el caudal máximo se calcula por medio de la siguiente expresión, que representa la fórmula racional:



$$Q = \frac{C \times I \times A}{360}$$

Donde:

- Q = Caudal máximo (m³/s)
- C = Coeficiente de escorrentía, que depende de la cobertura vegetal, la pendiente y el tipo de suelo
- I = Intensidad máxima de la lluvia, para una duración igual al tiempo de concentración, y para un periodo de retorno dado (mm/hr)
- A = Área de la cuenca (has)

El coeficiente 1/360 corresponde a la transformación de unidades.

Para el caso en que el área de la cuenca este expresado en km² la fórmula es:

$$Q = \frac{C \times I \times A}{3.6}$$

2.2.1.5.8.2. MÉTODO BURKLI ZIEGLER

La fórmula planteada por Burkli - Ziegler para el caudal máximo es:

$$Q = 0.022 \times C \times I \times A \times \sqrt[4]{\frac{S}{A}}$$

Donde:

- Q = Caudal máximo (m³/s)
- C = Variable que depende de la naturaleza de la superficie drenada
- I = Intensidad máxima de la lluvia (cm/hr)
- A = Área de drenaje (has)
- S = Pendiente media de la cuenca (%)



TABLA N° 7: Valores de "C" para La Fórmula De Burkli-Ziegler

TIPO DE SUPERFICIE	C
Calles pavimentadas y barrios bastante edificados	0.750
Calles comunes de ciudades	0.625
Poblado con plaza y calles en grava	0.300
Campos deportivos	0.250

FUENTE: Hidrología – Villón Béjar

2.2.1.5.8.3. MÉTODO DE MAC MATH

La fórmula de Mac Math para el sistema métrico, es la siguiente:

$$Q = 0.0091 \times C \times I \times A^{4/5} \times S^{1/5}$$

Dónde:

- Q = Caudal máximo para un período de retorno (m³/s)
- C = Factor de escorrentía de Mac Math, represan las características de la cuenca.
- I = Intensidad máxima de la lluvia, para una duración igual al tiempo de concentración t_c y un período de retorno en T años (mm/hr)
- A = Área de la cuenca en (has)
- S = Pendiente promedio de cauce principal (%)

De los parámetros que interviene en esta fórmula, sobre el que se tiene que incidir es sobre el factor C, el cual comprende de tres componentes, es decir:

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

Dónde:

C1: está en función de la cobertura vegetal

C2: está en función de la textura del suelo

C3: está en función de la topografía del terreno

TABLA N° 8: Factor De Escorrentía De Mac Math

Vegetación		Suelo		Topografía	
Cobertura (%)	C1	Textura	C2	Pendiente (%)	C3
100	0.08	Arenoso	0.08	0.0 – 0.2	0.04
80 – 100	0.12	Ligera	0.12	0.2 – 0.5	0.06
50 – 80	0.16	Media	0.16	0.5 – 2.0	0.06
20 – 50	0.22	Fina	0.22	2.0 – 5.0	0.10
0 – 20	0.30	Rocosa	0.30	5.0 – 10.0	0.15

FUENTE: Hidrología – Villón Béjar

2.2.1.5.9. DETERMINACIÓN DE LA INTENSIDAD DE LLUVIA

La intensidad de precipitación está definida por:

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

Dónde:

- $i_{(t,T)}$ = Intensidad de la precipitación, de duración y período de retorno.
- $P_{(t,T)}$ = Profundidad de precipitación.

Este valor se determina a partir de la curva de intensidad- duración- período de retorno, entrando con una duración igual al tiempo de concentración y con un período de retorno de 10 años, que es lo frecuente en terrenos. El período de retorno se elige dependiendo del tipo de estructura a diseñar.

2.2.1.5.9.1. MÉTODOS UTILIZADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN

• A. MÉTODO GUMBEL

Una familia importante de distribuciones usadas en el análisis de frecuencia hidrológico es la distribución general de valores extremos, la cual ha sido ampliamente utilizada para representar el comportamiento de crecientes y sequías (máximo y mínimo).

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:

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

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

Dónde:

- α = Parámetros de concentración.
- β = Parámetros de localización.
- K = Factor de frecuencia, este depende del período de retorno.

Según Ven Te Chow, la distribución puede expresarse de la siguiente forma:

$$x = \bar{x} + k\sigma$$

Dónde:

- x = Valor de una probabilidad dada.
- \bar{x} = Media de la serie.
- k = Factor de frecuencia.

La variable aleatoria reducida de Log Gumbel, se define como:

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

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

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

El procedimiento para el método Gumbel se realiza de la siguiente manera.

- Se selecciona todas las precipitaciones máximas diarias (24h) y mensuales, se ordenan de forma ascendente.
- Se obtienen los parámetros estadísticos, tales como la media y la desviación estándar.



- Se ajusta a una distribución de probabilidades para el caso de Gumbel.
- Se obtienen los parámetros de la distribución.
- Se convertirán los datos de precipitaciones máximas de las series a intensidades máximas.
- Se realiza el cálculo de las intensidades máximas para cada período de retorno y duración.

• B. MÉTODO DE LOG PEARSON III

Foster desarrolló este método en el año 1924, el cual consiste principalmente en transformar los valores extremos X en sus correspondientes logaritmos, según se expresa en la ecuación (2) con la diferencia de que el valor de K no solo depende de T_r , sino que también de función del coeficiente de asimetría g , el cual indica que tan separados están los datos o valores de la distribución con respecto a la normal de Gauss.

La función de la densidad es:

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

Valido para:

$$X_0 \leq X < \infty$$

$$-\infty < X < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

$$0 \leq \gamma < \infty$$

Dónde:

- X_0 = Parámetros de posición.
- γ = Parámetros de forma.
- β = Parámetros de escala



- **C. MÉTODO IILA**

Son escasas las estaciones que ofrecen información automatizada de registros pluviales, por lo que existe bastante dispersión en los datos. Con el método IILA, la intensidad de lluvia que tiene una duración t (en horas), para un periodo de retorno T (en años), es:

$$i_{t,T} = a(1 + K \log T)t^{n-1}$$

Y la precipitación $P_{t,T}$ tiene la siguiente relación:

$$P_{t,T} = a(1 + K \log T)t^n$$

Según la metodología empleada las fórmulas son válidas para $3 \leq t \leq 24$ horas.

Para $t \leq 3$ horas se usa:

$$i_{t,T} = a(1 + K \log T)(t + b)^{n-1}$$

Donde:

- **I** : Intensidad de la lluvia en (mm/h)
- **A** : Parámetros de intensidad (mm)
- **K** : Parámetros de intensidad (mm)
- **N** : Parámetros de duración (adimensional)
- **T** : Duración (hora)
- **T** : Tiempo de Retorno

Otra expresión que se utiliza es:

$$i_{t,T} = \frac{\varepsilon_t}{t}(1 + K \log T)$$

Nuevamente ε_t y K son valores característicos de cada sub-región hidrológica.

Muchas veces ε_t es función de la altitud Y .

TABLA N° 9: Subdivisión del territorio en zonas y subzonas pluviométricas y valores de los parámetros K'_g y e_o

ZONA	K'_g	Subzona	e_o
123	$K'_g = 0,553$	123 ₁	$e_o = 85,0$
		123 ₂	$e_o = 75,0$
		123 ₃	$e_o = 100 - 0,022 Y$
		123 ₄	$e_o = 70 - 0,019 Y$
		123 ₅	$e_o = 24,0$
		123 ₆	$e_o = 30,5$
		123 ₇	$e_o = -2 + 0,006 Y$
		123 ₈	$e_o = 26,6$
		123 ₉	$e_o = 23,3$
		123 ₁₀	$e_o = 6 + 0,005 Y$
		123 ₁₁	$e_o = 1 + 0,005 Y$
		123 ₁₂	$e_o = 75,0$
		123 ₁₃	$e_o = 70$
4	$K'_g = 0,861$	4 ₁	$e_o = 20$
5a	$K'_g = 11.e_g^{-0,85}$	5a ₁	$e_o = -7,6 + 0,006 Y$ (Y>2300)
		5a ₂	$e_o = 32 - 0,177 D_c$
		5a ₃	$e_o = -13 + 0,010 Y$ (Y>2300)
		5a ₄	$e_o = 3,8 + 0,0053 Y$ (Y>1500)
		5a ₅	$e_o = -6 + 0,007 Y$ (Y>2300)
		5a ₆	$e_o = 1,4 + 0,0067$
		5a ₇	$e_o = -2 + 0,007 Y$ (Y>2000)
		5a ₈	$e_o = 24 + 0,0025 Y$
		5a ₉	$e_o = 9,4 + 0,0067 Y$
		5a ₁₀	$e_o = 18,8 + 0,0028 Y$
		5a ₁₁	$e_o = 32,4 + 0,004 Y$
		5a ₁₂	$e_o = 19,0 + 0,005 Y$
		5a ₁₃	$e_o = 23,0 + 0,0143 Y$
		5a ₁₄	$e_o = 4,0 + 0,010 Y$
5b	$K'_g = 130.e_g^{-1,4}$	5b ₁	$e_o = 4 + 0,010$ (Y>1000)
		5b ₂	$e_o = 41,0$
		5b ₃	$e_o = 23,0 + 0,143 Y$
		5b ₄	$e_o = 32,4 + 0,004 Y$
		5b ₅	$e_o = 9,4 + 0,0067 Y$
6	$K'_g = 5,4.e_g^{-0,6}$	6 ₁	$e_o = 30 - 0,50 D_c$
9	$K'_g = 22,5.e_g^{-0,85}$	9 ₁	$e_o = 61,5$
		9 ₂	$e_o = -4,5 + 0,323 D_m$ (30XD _m x110)
		9 ₃	$e_o = 31 + 0,475(D_m - 110)$ D _m x110)
10	$K'_g = 1,45$	10 ₁	$e_o = 12,5 + 0,95 D_m$

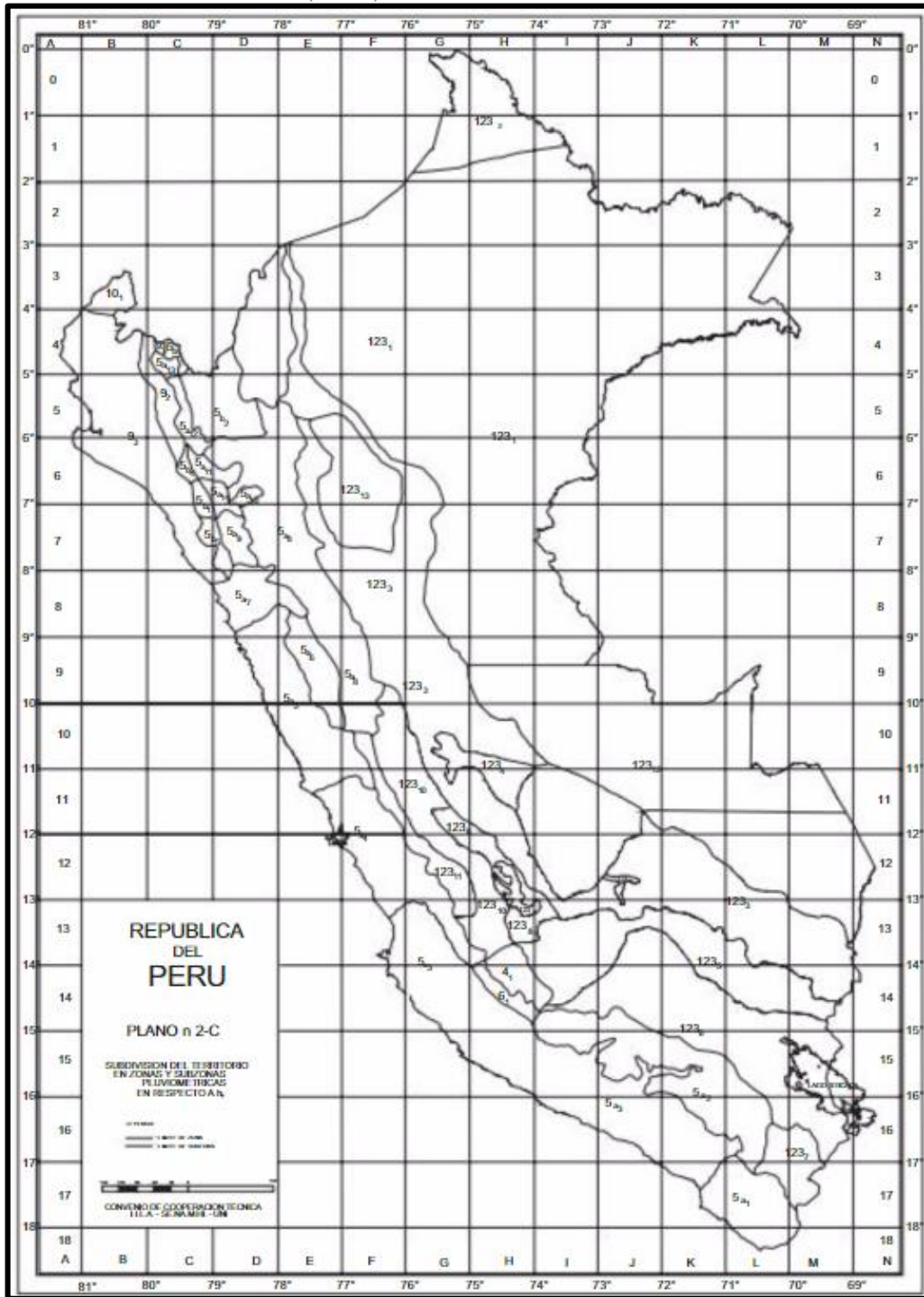
FUENTE: Norma OS.060

TABLA N° 10: Valores de los parámetros a y n

SUB ZONA	ESTACION	Nº 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	4	0.380	11.0
123 ₈	958			
	654-674-679	9	0.232	14.0
	709-713-714			
123 ₉	732-745-752			
	769	1	0.242	12.1
123 ₁₀	446-557-594	14	0.254	a = 3,01 + 0,0025 Y
	653-672-696			
	708-711-712			
	715-717-724			
	757-773			
123 ₁₁	508-667-719	5	0.286	a = 0,46 + 0,0023 Y
	750-771			
5a ₂	935-968	2	0.301	a = 14,1 - 0,078 D _c
5a ₅	559	1	0.303	a = -2,6 + 0,0031 Y
5a ₁₀	248	1	0.434	a = 5,80 + 0,0009 Y

FUENTE: Norma OS.060

FIGURA N° 2: Plano (n-2-C) de Zonificación Método lila – Senamhi 1983



FUENTE: Norma OS.060



2.2.1.5.10. PRECIPITACIÓN NETA MEDIANTE EL MÉTODO DEL S.C.S.

El exceso de precipitación neta o precipitación efectiva (P_e), es la precipitación que no se retiene en la superficie terrestre y tampoco se infiltra en el suelo. Después de fluir a través de la superficie de la cuenca, el exceso de precipitación se convierte en escorrentía directa a la salida de la cuenca bajo la suposición de flujo superficial hortoniano. Las gráficas de exceso de precipitación vs. el tiempo o hietograma de exceso de precipitación es un componente clave para el estudio de las relaciones lluvia-escorrentía. La diferencia entre el hietograma de lluvia total y el hietograma de exceso de precipitación se conoce como abstracciones o pérdidas. Las pérdidas son primordialmente agua absorbida por filtración con algo de interceptación y almacenamiento superficial.

El hietograma de exceso de precipitación puede calcularse a partir del hietograma de precipitación en una o dos formas, dependiendo de si existe o no información de caudales disponibles para la tormenta.

Procedimiento de Cálculo

1) **Cálculo del umbral de escorrentía: P_o .** (o “abstracción inicial”). Se obtiene de la siguiente tabla, que está agrupando varios usos del suelo con valor idénticos y eliminando algunos muy pocos usuales.

TABLA N° 11: Valor Inicial del Umbral de escorrentía P_o (mm).

Uso de suelo	[1]	Pen- diente (%)	Grupo de suelo			
			A	B	C	D
Tejido urbano continuo			1	1	1	1
Tejido urbano discontinuo, urbanizaciones, aeropuertos			24	14	8	6
Zonas industriales y comerciales			6	4	3	3
Granjas agrícolas			24	14	8	6
Zonas industriales			12	7	5	4
Grandes superficies de equipamiento y servicios			6	4	3	3
Autopistas, Redes viarias, ferroviarias			1	1	1	1
Complejos ferroviarios			12	7	5	4
Zonas de extracción minera			16	9	6	5
Escombreras y vertederos			20	11	8	6
Zonas de construcción			24	14	8	6
Zonas verdes urbanas			53	23	14	10
Instalaciones deportivas y recreativas, campos de golf			79	32	18	13
Resto de instalaciones deportivas y recreativas			53	23	14	10
Tierras de labor en seco (cereales)	R	≥ 3	29	17	10	8
	N		32	19	12	10
	R/N	< 3	34	21	14	12
Tierras de labor en seco (hortalizas)	R	≥ 3	23	13	8	6
	N		25	16	11	8
	R/N	< 3	29	19	14	11
Tierras abandonadas		≥ 3	16	10	7	5
		< 3	20	14	11	8
Terrenos regados permanentemente , cultivos herbáceos en regadío	R	≥ 3	37	20	12	9
	N		42	23	14	11
	R/N	< 3	47	25	16	13
Arrozales			47	25	16	13
Viñedos		≥ 3	62	28	15	10
		< 3	75	34	19	14
Frutales en seco		≥ 3	62	28	15	10
		< 3	75	34	19	14
Frutales en regadío		≥ 3	80	34	19	14
		< 3	95	42	22	15
Olivares		≥ 3	62	28	15	10
		< 3	75	34	19	14
Prados y praderas, prados arbolados		≥ 3	70	33	18	13
		< 3	120	55	22	14
Pastos en tierras abandonadas		≥ 3	24	14	8	6
		< 3	58	25	12	7
Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes en seco		≥ 3	39	20	12	8
		< 3	66	29	15	10
Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes en regadío		≥ 3	75	33	18	14
		< 3	106	48	22	15
Mosaico de cultivos anuales con prados o praderas en seco	R	≥ 3	26	15	9	6
	N		28	17	11	8
	R/N	< 3	30	19	13	10
Mosaico de cultivos permanentes en seco		≥ 3	62	28	15	10
		< 3	75	34	19	14

FUENTE: Univ. Salamanca España – Javier Sánchez San Ramón.

2) A partir de los datos de precipitación (P), se calcula la precipitación acumulada ($\sum P$), como se indica en la tabla adjunta:

TABLA N° 12: Modelo de Tabla para determinar P_n :

horas	P	ΣP	ΣP_n	P_n
1	11	11		
2	8	19		
3	40	59		
4	34	93		
5	13	106		
6	27	133		
7	3	136		
8	6	142		

FUENTE: Univ. Salamanca España – Javier Sánchez San Ramón.

3) Si ΣPt es menor que la abstracción inicial, la **Precipitación neta** (P_n) es 0. Si la precipitación total caída hasta el momento (ΣPt) supera la abstracción inicial, aplicaremos la fórmula siguiente a la precipitación acumulada, para lo que reescribimos dicha fórmula así:

$$P_n = \frac{(P - P_0)^2}{P + 4P_0}$$

- P : Precipitación total Registrada
- P_n : Precipitación Neta
- P_0 : Abstracción inicial o umbral de escorrentía

4) Calculada la precipitación neta acumulada (ΣP_n), hay que desacumular esos datos en la última columna, simplemente restando cada valor de la columna ΣP_n del anterior.

Hidrograma sintético triangular del SCS

Con base en la revisión de un gran número de HU, el SCS sugiere este hidrograma donde el tiempo está dado en horas y el caudal en $m^3/s.cm$. El volumen generado por la separación de la lluvia en neta y abstracciones es propagado a través del río mediante el uso del hidrograma unitario.



Construcción del Hidrograma unitario

Teniendo como dato los registros de precipitación y escurrimiento, se puede calcular el hidrograma unitario correspondiente a una precipitación aislada, a partir del hidrograma originado por dicha tormenta, mediante el siguiente procedimiento:

1. Obtener el volumen de escurrimiento directo (**Ve**), del hidrograma de la tormenta, para lo cual, transformar los escurrimientos directos a volumen y acumularlo.
2. Obtener la altura de precipitación en exceso (**hpe**), dividiendo el volumen de escurrimiento directo, entre el área de la cuenca (**A**), es decir:
3. Mediante las siguientes ecuaciones planteadas por este método se definen los parámetros para el hidrograma unitario triangular (sintético).

- Caudal Pico (Q_p):

$$Q_p = 0.555 * H_{pe} * \frac{A}{t_b}$$

Donde:

- H_{pe} : Exceso de precipitación (mm)
- A : Área (km²)
- t_b : Tiempo base (hr).

- Tiempo base (T_b):

$$T_b = 2.67T_p$$

- Tiempo pico (T_p):

$$T_p = \left(\frac{de}{2}\right) + t_r$$

Donde:

- de : Duración en exceso.

$$de = 2\sqrt{tc}$$

Para cuencas grandes (> 250 km²), como:

Para cuencas pequeñas (< 250 km²), como:

$$de = tc$$

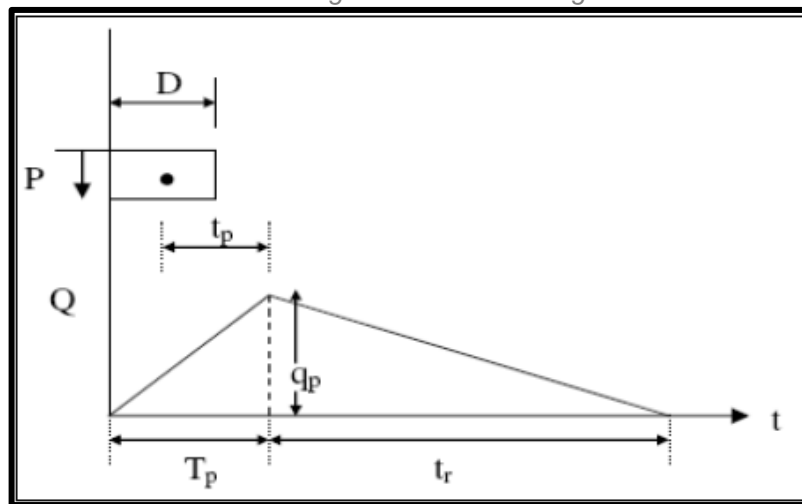
- Tiempo de Retraso (Tr):

$$TR = 0.6 * TC$$

Donde:

- tc: Tiempo de concentración de la cuenca

FIGURA N° 3: Hidrograma Unitario Triangular del SCS



FUENTE: Hidrología Aplicada (Ven te Chow)

Este método es recomendable tan solo para cuencas de hasta a 30 Km². Es muy usado en cuencas sin muchos datos hidrológicos.

2.2.2. HIDRÁULICA

2.2.2.1. DEFINICIÓN

Es una rama de la mecánica de fluidos y ampliamente presente en la ingeniería que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas de los líquidos.

2.2.2.2. ESTUDIO HIDRÁULICO

El flujo con superficie libre probablemente es el fenómeno del flujo que con más frecuencia se produce en la superficie de la tierra. Las corrientes de los ríos y las corrientes de agua de lluvia son ejemplos que suceden en la naturaleza.

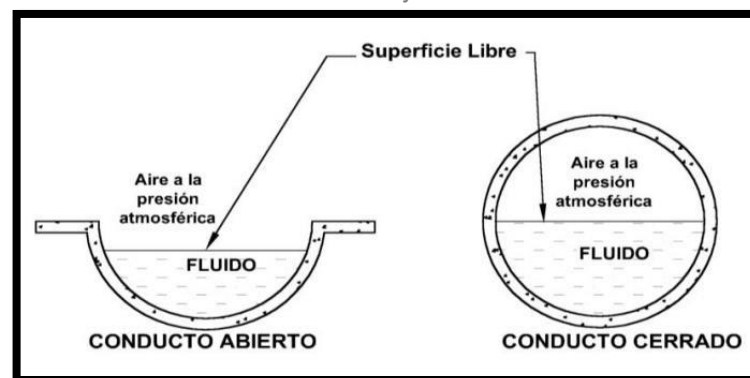
Las situaciones provocadas por los seres humanos incluyen flujos en canales y alcantarillas, escurrimientos sobre materiales impermeables. En todas estas

situaciones, el flujo se caracteriza por un interfaz entre el aire y la capa superior del agua la cual se llama Superficie Libre. En esta superficie libre, la presión es constante, y en casi todas las situaciones, esta es la presión Atmosférica. En la práctica de la ingeniería, el fluido que la mayoría de los canales abiertos conduce es agua. (Dueñas Y Mayhuire, 2015)

2.2.2.3. CANALES

Los canales son conductos abiertos o cerrados en los cuales el agua circula debido a la acción de la gravedad y sin ninguna presión, pues la superficie libre del líquido está en contacto con la atmósfera; esto quiere decir que el agua fluye impulsada por la presión atmosférica y de su propio peso. (Rodriguez Ruiz, 2008)

FIGURA N° 4: Flujo en Conductos



FUENTE: Hidráulica, Pedro Rodriguez Ruiz

2.2.2.3.1. SECCIONES ABIERTAS

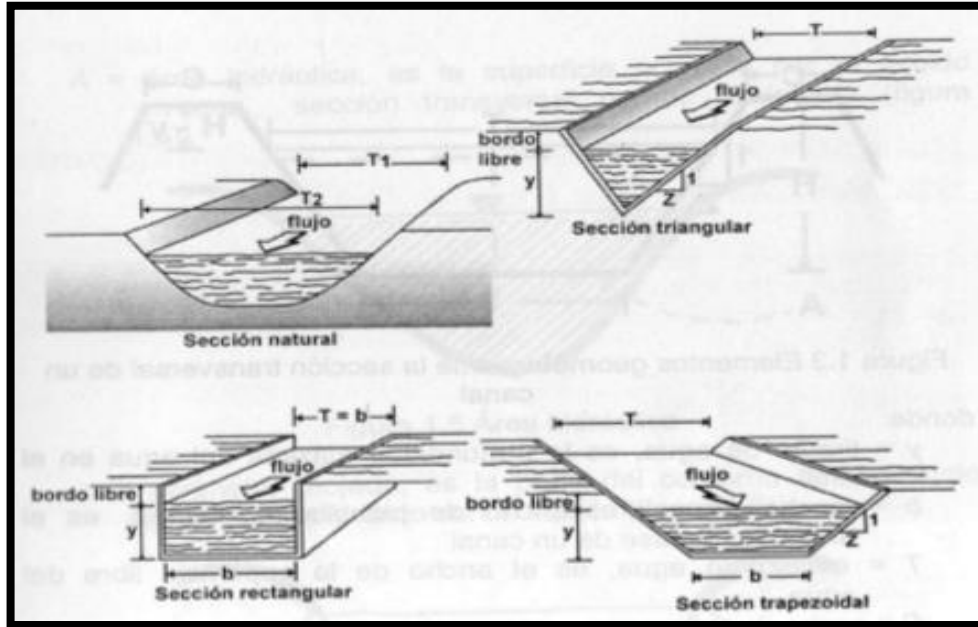
Sección Trapezoidal: Se usa en canales de tierra debido a que proveen las pendientes necesarias para estabilidad, en canales revestidos.

Sección Rectangular: Debido a que el rectángulo tiene lados verticales, por lo general se utiliza para canales construidos con materiales estables, acueductos de madera, para canales excavados en roca y para canales revestidos.

Sección Triangular: Se usa para cunetas revestidas en las carreteras, también en canales de tierra pequeños, fundamentalmente por facilidad de trazo. También se emplean revestidas, como alcantarillados de las carreteras.

Sección Parabólica: Se emplea en algunas ocasiones para canales revestidos y es la forma que toman aproximadamente muchos canales naturales y canales bajo tierra.

FIGURA N° 5: Secciones Transversales Abiertas más Frecuentes

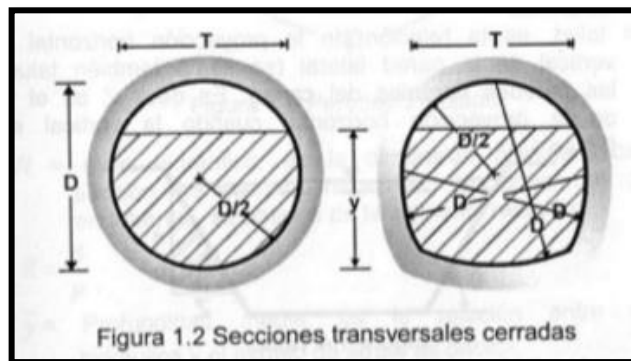


FUENTE: Hidráulica De Canales – Villón Béjar

2.2.2.3.2. SECCIONES CERRADAS

Sección Circular: El círculo es la sección más común para alcantarillados y alcantarillas de tamaño pequeño y mediano.

FIGURA N° 6: Secciones Transversales Cerradas



FUENTE: Hidráulica De Canales – Villón Béjar

2.2.2.3.3. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE CANALES

2.2.2.3.3.1. CAUDAL (Q)

El cálculo del caudal de diseño se efectúa tomando en cuenta las consideraciones hidrológicas, por lo que se busca encontrar dimensiones del canal, para conducir el caudal.



2.2.2.3.3.2. VELOCIDAD MEDIA DE LOS CANALES (V)

La velocidad media se puede calcular usando la fórmula de Manning:

$$V = \frac{R^{2/3} * S^{1/2}}{n}$$

Dónde:

- V = Velocidad media (m/seg).
- R = Radio hidráulico en (m).
- S = Pendiente (m/m).
- n = Coeficiente de rugosidad de Manning (adimensional).

Las velocidades en los canales varían en un ámbito cuyos límites son la velocidad mínima que no produzca depósitos de materiales sólidos en suspensión (sedimentación); y la máxima que no produzca erosión en las paredes y el fondo del canal, las velocidades superiores a los valores máximos permisibles, modifican y crean dificultades en el funcionamiento de las estructuras del canal. A la inversa la sedimentación debido a las velocidades muy bajas, provoca problemas por embaucamiento y disminución de la capacidad de conducción y origina mayores gastos de conservación.

2.2.2.3.3.3. PENDIENTE ADMISIBLE (S)

La pendiente en general, debe ser la máxima que permita dominar la mayor superficie posible del área de drenaje y que, a su vez de valores para la velocidad que no causen erosión de las paredes y base del canal ni permita el depósito de sedimentos.

2.2.2.3.3.4. ANCHO DE SOLERA (A.S.)

Resulta muy útil para cálculos posteriores fijar de antemano un valor para el ancho de solera, base o plantilla con lo cual se pueden manejar con facilidad las fórmulas para calcular el tirante.

Para canales pequeños, el ancho estará en función del ancho de la pala de la maquinaria disponible para su construcción.



2.2.2.3.3.5. BORDE LIBRE

En la determinación de la sección transversal de los canales resulta siempre necesario dejar cierto desnivel entre la superficie libre para el tirante normal y la corona de los bordos, como margen de seguridad, a fin de absorber los desniveles extraordinarios, que pueda presentarse por encima del caudal de diseño de canal.

$$B.L. = H - y$$

Donde:

- B.L. = Borde libre (m)
- H = Altura total (m)
- y = Tirante (m)

En canales revestidos es dejar un borde libre igual a un quinto del tirante, es decir:

$$B.L. = y/5$$

2.2.2.3.3.6. RUGOSIDAD

Esta depende del cauce y el talud, dado a las paredes laterales del mismo, vegetación, irregularidad y trazado del canal, radio hidráulico y obstrucciones en el canal, generalmente cuando se diseñan canales en tierra se supone que el canal está recientemente abierto, limpio y con un trazado uniforme, sin embargo el valor de rugosidad inicialmente asumido difícilmente se conservará con el tiempo, lo que quiere decir que en la práctica constantemente se hará frente a un continuo cambio de la rugosidad.

En canales proyectados con revestimiento, la rugosidad es función del material usado, que puede ser de concreto, geomanta, tubería PVC ó HDP ó metálica, o si van a trabajar a presión atmosférica o presurizados. La siguiente tabla nos da valores de "n" estimados, estos valores pueden ser refutados con investigaciones y manuales, sin embargo, no dejan de ser una referencia para el diseño:



TABLA N° 13: Valores de Rugosidad "N" de Manning

n	SUPERFICIE
0.010	Muy lisa, vidrio, plástico, cobre.
0.011	Concreto muy liso.
0.013	Madera suave, metal. concreto frotachado.
0.017	Canales de tierra en buenas condiciones.
0.020	Canales naturales de tierra, libres de vegetación.
0.025	Canales naturales con alguna vegetación y piedras esparcidas en el fondo.
0.035	Canales naturales con abundante vegetación y piedras esparcidas en el fondo.
0.040	Arroyos de montaña con muchas piedras.

FUENTE: *Manual de Criterios de Diseños de Obras Hidráulicas para la Formulación de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales y de Afianzamiento Hídrico*

2.2.2.3.4. CLASIFICACIÓN DEL FLUJO DE CANALES ABIERTOS

El flujo en canales abiertos puede clasificarse en muchos tipos y describirse de varias maneras. La siguiente clasificación se hace de acuerdo con el cambio de parámetros profundidad, velocidad, área etc. del flujo con respecto al tiempo y al espacio.

La clasificación del flujo en canales abiertos se resume de la siguiente manera

- Flujo Permanente
 1. Flujo Uniforme.
 2. Flujo Variado.
 - a. Flujo gradualmente variado.
 - b. Flujo rápidamente variado.
- Flujo no permanente
 1. Flujo uniforme no permanente (raro).
 2. Flujo variado no permanente.
 - a. Flujo gradualmente variado no permanente.
 - b. Flujo rápidamente variado no permanente.



2.2.2.3.5. CÁLCULO DE CAUDALES EN CANALES

Todas las fórmulas utilizadas para el diseño de caudales tienen como origen la fórmula de Chezy.

Esta ecuación fue obtenida en 1775, la cual no pudo ser utilizada por la dificultad de obtener un valor confiable del coeficiente C, fue obtenida originalmente para su aplicación en canales y su validez se restringe al flujo uniforme.

$$V = C * \sqrt{R * S}$$

Donde:

- V = Velocidad media (m/seg).
- C = Coeficiente de Chezy que depende de las características del escurrimiento y de la naturaleza de las paredes del canal.
- R = Radio hidráulico en (m).
- S = Pendiente (m/m).

Por tanto, diferentes investigadores durante años encaminaron sus esfuerzos a evaluar el coeficiente de Chezy de acuerdo con distintas fórmulas, las más conocidas son las siguientes: (Rocha Felices, 2007)

2.2.2.3.5.1. FÓRMULA DE GANGUILLET- KUTTER

En 1869, Gangillet y Kutter, ingenieros suizos, realizaron una investigación compleja de todos los experimentos disponibles sobre conductos abiertos, como resultado de estos estudios dedujeron una fórmula empírica para calcular el coeficiente de resistencia "C" en la fórmula de Chezy.

$$C = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0.00155}{S}}{1 + \left[23 + \frac{0.00155}{S} \right] \frac{n}{\sqrt{R}}}$$

Donde:

- C = Coeficiente de Gangillet-Kutter a usarse en la fórmula de Chezy
- S = Pendiente
- n = Coeficiente de rugosidad de Kutter



2.2.2.3.5.2. FÓRMULA DE BAZIN

Esta fórmula fue establecida por Bazin en 1897:

$$C = \frac{87}{1 + \frac{G}{\sqrt{R}}}$$

Donde:

- C = Coeficiente a usarse en la fórmula de Chezy
- R = Radio hidráulico
- G = Coeficiente de rugosidad de Bazin

2.2.2.3.5.3. ECUACIÓN DE MANNING

En 1889 el ingeniero irlandés Robert Manning presenta una ecuación para determinar el valor de “C”, en función del radio hidráulico y la rugosidad del material que se construye el canal.

$$C = \frac{R^{1/6}}{n}$$

Sustituyendo el valor de “C” de Manning en la ecuación de Chezy para calcular la velocidad se tiene:

$$V = C * \sqrt{R * S}$$

Sustituyendo:

$$V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

Donde:

- V = Velocidad media del agua en canales con régimen uniforme (m/seg.)
- N = Coeficiente de rugosidad de Manning
- R = Radio hidráulico (m).
- S = Pendiente de la línea de energía, que corresponde a la del fondo por estar en régimen uniforme (m/m)

TABLA N° 14: Valores de “n” para ser usados en la fórmula de Manning

Superficie	Condiciones de las paredes			
	Perfectas	Buenas	Medianas	Malas
Tubería hierro forjado negro comercial	0.012	0.013	0.014	0.015
Tubería fierro forjado galvanizado comercial	0.013	0.014	0.015	0.017
Tubería de latón o vidrio	0.009	0.010	0.011	0.013
Tubería acero remachado en espiral	0.013	0.015*	0.017*	
Tubería de barro vitrificado	0.010	0.013*	0.015	0.017
Tubos comunes de barro para drenaje	0.011	0.012*	0.014*	0.017
Tabique vidriado	0.011	0.012	0.013	0.015
Tabique con mortero de cemento; albañales de tabique	0.012	0.013	0.015*	0.017
Superficies de cemento pulido	0.010	0.011	0.012	0.013
Superficies aplanadas con mortero de cemento	0.011	0.012	0.013*	0.015
Tuberías de concreto	0.012	0.013	0.015*	0.016
Tuberías de duela	0.010	0.011	0.012	0.013
<i>Acueductos de tablón:</i>				
Labrado	0.010	0.012*	0.013	0.014
Sin labrar	0.011	0.013*	0.014	0.015
Con astillas	0.012	0.015*	0.016	
Canales revestidos con concreto	0.012	0.014*	0.016*	0.018
Superficie de mampostería con cemento	0.017	0.020	0.025	0.030
Superficie de mampostería en seco	0.025	0.030	0.033	0.035
Acueducto semicirculares metálicos, lisos	0.011	0.012	0.013	0.015
Acueducto semicirculares metálicos corrugados	0.0225	0.025	0.0275	0.030
<i>Canales y zanjas:</i>				
En tierra, alineados y uniformes	0.017	0.020	0.0225	0.025*
En roca, lisos y uniformes	0.025	0.030	0.033*	0.035
En roca, con salientes y sinuosos	0.035	0.040	0.045	
Sinuosos y de escurrimiento lento	0.0225	0.025*	0.0275	0.030
Degradados en tierra	0.025	0.0275*	0.030	0.033
Con lecho pedregoso y bordos de tierra enhiervados	0.025	0.030	0.035*	0.040
Plantilla de tierra, taludes	0.028	0.030*	0.033*	0.035

FUENTE: Hidrología de Máximo Villón Béjar

El cálculo del gasto en el diseño de canales, para este tipo de régimen, puede plantearse la ecuación de continuidad y la ecuación de Manning.

$$Q = V * A$$

Sustituyendo el valor de la V en la ecuación anterior, tenemos:

$$V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

$$Q = \frac{A * R^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

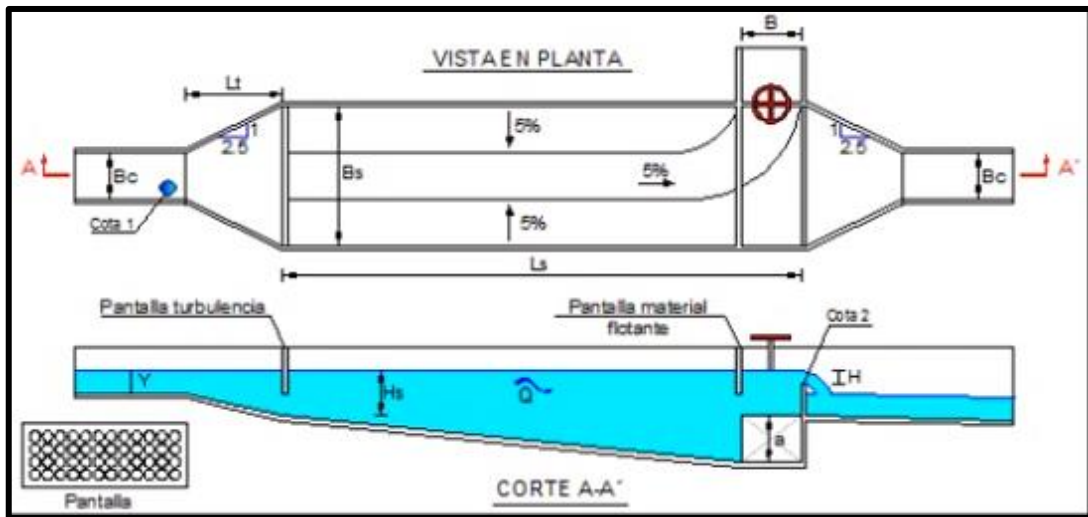
Ecuación general para el diseño hidráulico de canales en el sistema métrico, dónde:

- Q = Gasto en m³/seg
- n = Coeficiente de rugosidad de Manning
- S = Pendiente hidráulica del canal
- A = Área hidráulica del canal en m²
- R = Radio hidráulico en m

2.2.2.4. DESARENADOR

Los desarenadores, son obras hidráulicas que sirven para separar (decantar) y remover (evacuar) después, el material sólido que lleva el agua de un canal. El material sólido que se transporta ocasiona perjuicios de las obras; una gran parte del material sólido va depositándose en el fondo de los canales disminuyendo su sección. Esto aumenta el costo anual de mantenimiento y produce molestas interrupciones en el servicio del canal. (Autoridad Nacional del Agua, 2010)

FIGURA N° 7: Desarenador



FUENTE: Blogspot.GuidoriosCiaffaroni

2.2.2.4.1. ELEMENTOS DE UN DESARENADOR

Para cumplir su función, el desarenador se compone de los siguientes elementos:

- a. **Transición de entrada:** Une el canal con el desarenador.



b. Cámara de sedimentación: Lugar en la cual las partículas sólidas caen al fondo, debido a la disminución de la velocidad producida por el aumento de la sección transversal.

Según Dubuat, las velocidades límites por debajo de las cuales el agua cesa de arrastrar diversas materias son:

- Para la arcilla 0.081 m/s
- Para la arena fina 0.16 m/s
- Para la arena gruesa 0.216 m/s

De acuerdo a lo anterior, la sección transversal de un desarenador, se diseña para velocidades que varían entre 0.1 m/s y 0.4 m/s, con una profundidad media de 1.5 m y 4 m. Observar que, para una velocidad elegida y un caudal dado, una mayor profundidad implica un ancho menor y viceversa. La forma de la sección transversal puede ser cualquiera, aunque generalmente se escoge una rectangular o una trapezoidal simple o compuesta. La primera simplifica considerablemente la construcción, pero es relativamente cara pues las paredes deben soportar la presión de la tierra exterior y se diseñan por lo tanto como muros de sostenimiento. La segunda es hidráulicamente más eficiente y más económica pues las paredes trabajan como simple revestimiento. Con el objeto de facilitar el lavado, concentrando las partículas hacia el centro, conviene que el fondo no sea horizontal, sino que tenga una caída hacia el centro. La pendiente transversal usualmente escogida es de 1:5 a 1:8.

c. Vertedero: Al final de la cámara se construye un vertedero sobre el cual pasa el agua limpia hacia el canal. Las capas superiores son las que primero se limpian, es por esto que la salida del agua desde el desarenador se hace por medio de un vertedero, que hasta donde sea posible debe trabajar con descarga libre.

También mientras más pequeña es la velocidad de paso por el vertedero, menos turbulencia causa en el desarenador y menos materiales en suspensión arrastran. Como máximo se admite que esta velocidad puede llegar a $v = 1$ m/s. De la ecuación de Francis para un vertedero rectangular sin contracciones, se tiene:

$$Q = C L h^{\frac{3}{2}}$$

Donde:

- **Q** = caudal (m³/s)
- **C** = 1.84 (para vertederos de cresta aguda)
- **C** = 2.0 (para vertederos de perfil Creager)
- **L** = longitud de la cresta (m)
- **h** = carga sobre el vertedero (m)

Siendo el área hidráulica sobre vertedero:

$$A = L h \dots (2)$$

La velocidad, por la ecuación de continuidad, será:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{CLh^{\frac{3}{2}}}{Lh} = Ch^{\frac{1}{2}} \dots (3)$$

y la carga sobre el vertedero:

$$h = \left(\frac{v}{C}\right)^2 \dots (4)$$

De donde para los valores indicados de **v** y **C**, se puede concluir que el máximo valor de **h** no debería pasar de 25 cm.

Casi siempre el ancho de la cámara del desarenador no es suficiente para construir el vertedero recto y perpendicularmente a la dirección del agua. Por esto se le ubica en curva que comienza en uno de los muros laterales y continúan hasta cerca de la compuerta de desfogue. Esta forma facilita el lavado permitiendo que las arenas sigan trayectorias curvas y al mismo tiempo el flujo espiral que se origina las alejas del vertedero.

d. Compuerta de lavado o fondo: Sirve para desalojar los materiales depositados en el fondo. Para facilitar el movimiento de las arenas hacia la compuerta, al fondo del desarenador se le da una gradiente fuerte del 2 al 6%. El incremento de la profundidad obtenido por efecto de esta gradiente no se incluye en el tirante de cálculo, sino que el volumen adicional obtenido se lo toma como depósito para las arenas sedimentadas entre dos lavados sucesivos.

Es necesario hacer un estudio de la cantidad y tamaño de sedimentos que trae el agua para asegurar una adecuada capacidad del desarenador y no necesitar

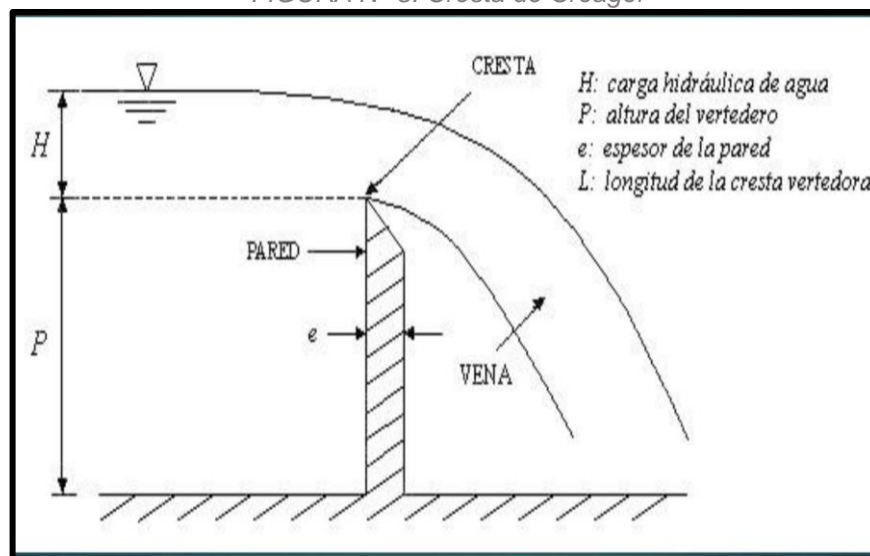
lavarlo con demasiada frecuencia. Para lavar una cámara del desarenador se cierran las compuertas de admisión y se abren las de lavado con lo que el agua sale con gran velocidad arrastrando la mayor parte de los sedimentos. Entre tanto el caudal normal sigue pasando al canal sea a través del canal directo o a través de otra cámara del desarenador.

e. Canal directo, por el cual se da servicio mientras se está lavando el desarenador. El lavado se efectúa generalmente en un tiempo corto, pero con si cualquier motivo, reparación o inspección, es necesario secar la cámara del desarenador, el canal directo que va por su contorno, permite que el servicio no se suspenda. Con este fin a la entrada se colocan dos compuertas una de entrada al desarenador y otra al canal directo.

En el caso de ser el desarenador de dos o más cámaras, el canal directo ya no es necesario pues una de las cámaras trabaja con el caudal total mientras la otra se lava.

d. Cresta de Creager: Llamados también cimacios, se usa para evacuar caudales de creciente, pues la forma especial de su cresta permite la máxima descarga al compararlo con otra forma de vertederos para igual altura de carga de agua.

FIGURA N° 8: Cresta de Creager



FUENTE: Hidráulica de Canales – Eduardo Carrillo Obando



2.2.2.5. TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Si las condiciones de escurrimiento en un canal aluvial superan la condición umbral de arrastre entonces el fluido es capaz de inducir el transporte generalizado del sedimento del lecho. Este transporte se puede clasificar en, al menos, dos modos: transporte de fondo y transporte en suspensión. En forma general puede definirse el transporte de fondo como aquel durante el cual las partículas de sedimento transportadas por el flujo se mantienen en frecuente contacto con el lecho.

Transporte en suspensión, en contraste, es aquel durante el cual las partículas de sedimento son difundidas en la totalidad de la columna de agua, teniendo un infrecuente contacto con el lecho.

Esta distinción entre modos de transporte es bastante subjetiva, sin embargo, en la práctica, ella resulta ser menos problemática, dado que el transporte de fondo está asociado a sedimento relativamente grueso (en el rango de arenas hacia arriba), en tanto el transporte en suspensión se relaciona con sedimento fino (desde arenas finas hacia abajo). Ello porque si bien, en principio, cualquier partícula podría ser puesta en suspensión (independientemente de su tamaño) si el escurrimiento tiene suficiente capacidad de arrastre, en la práctica dicha capacidad es limitada en cauces naturales a los rangos antes indicados. (Prof. Y. Niño, 2004)

2.2.2.5.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS SEDIMENTOS

TABLA N° 15: Características de los sedimentos

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Tamaño	Corresponde a la característica física más importante, sin embargo, cuando la forma, densidad y distribución granulométrica son parecidas, se puede afirmar que la variación del tamaño define el sedimento.
Distribución granulométrica	Las características del material de un tramo del río se determinan de acuerdo al promedio de muestras características tomadas en secciones transversales y longitudinales. Su objetivo es encontrar la rugosidad del cauce y la distribución granulométrica del material transportado. Se emplean métodos estadísticos que relacionan peso de la partícula retenida en cada tamiz y el tamaño de la malla del tamiz. En un río usualmente los sedimentos describen una distribución log-normal.
Forma de la partícula	Determinante para conocer el modo del movimiento de la partícula. Ej. Los granos aplanados no se mueven por rotación, pero se desplazan fácilmente con la corriente. La definen la redondez (relación radio medio y radio de circunferencia inscrita en el área proyectada de la partícula), esfericidad (relación área superficial de una esfera y volumen equivalente a la partícula y su área superficial), factor de forma.
Angulo de reposo	Depende de la forma de partícula, es el ángulo de máxima pendiente encima de la cual el material no cohesivo permanece en reposo. Corresponde al valor del ángulo que forma el material sin movimiento. Ejemplo: Para tres partículas cilíndricas el ángulo de reposo es de 30°, para cuatro esferas 19.46° y para cinco esferas cercano a 35.26°.
Densidad	Relación masa y volumen de la partícula.
Peso específico	Relación entre peso de la partícula y su volumen y es igual al producto de la densidad y la aceleración de la gravedad.
Gravedad específica	Relación entre la densidad de la particular y la densidad del agua.
Porosidad	Relación entre volumen de vacíos y volumen del sedimento.
Velocidad de caída de una partícula	Máxima velocidad que la partícula alcanza cuando cae libremente en el agua.

FUENTE: (Departamento de Hidráulica de la Universidad del Cauca)



2.2.2.5.2. MODOS DE TRANSPORTE

El transporte de sedimentos se clasifica según el modo de transporte y/o origen del material. Según el origen del material, ya sea del cauce o de la cuenca, los materiales de la cuenca son muy finos (limos y arcillas de $D < 0.0625\text{mm}$) son transportados en suspensión y son considerados como cargas de lavado (si es de la cuenca) o foránea (al cauce). Según el modo de transporte, las partículas pueden ser transportadas por la corriente, o pueden moverse cercanas al fondo ya sea rodando, deslizándose o saltando (depende del tamaño de la partícula). En general si una partícula está en reposo pueden iniciar su movimiento rodando o saltando al superar el umbral de movimiento, pero si la corriente aumenta su velocidad y volumen, la partícula puede ser ahora transportada por suspensión, a mayor intensidad en la corriente, la probabilidad que las partículas vayan suspendidas es mayor. Dado lo anterior, puede afirmarse que el transporte en suspensión representa casi el 90% de la carga sólida, mientras que la carga de fondo define y es causante de múltiples variaciones en el lecho, por ejemplo, puede definir el ancho, la pendiente, la granulometría, el caudal, etc.

TABLA N° 16: Clasificación de Sedimentos según su Modo de Transporte

q_w =Carga o material de lavado	Partículas muy finas transportadas por el agua, que no existen en el lecho, son muy difíciles de medir por ser tan imperceptibles.
q_{sf} =Material del lecho	Es la parte de la carga total que está en mayor contacto con el lecho, se determina según la relación entre el esfuerzo cortante efectivo sobre la superficie.
q_{ss} =Material Suspendido	Es la parte de la carga total que se mueve sin contacto continuo con el lecho.

FUENTE: (Departamento de Hidráulica de la Universidad del Cauca)

2.2.2.5.3. FORMULAS EXPERIMENTALES PARA EL TRANSPORTE DE MATERIAL DE FONDO

El transporte de material de fondo q_B es regularmente expresado en su forma adimensional así:

$$\phi_B = \frac{q_B}{d\sqrt{(S-1)gd}}$$

2.2.2.5.3.1. FORMULA DE KALINSKE – FRIJLINK

Sugerida en 1952, es una fórmula que se ajusta a los datos disponibles de la época.

$$q_B = 2d_{50} \sqrt{\frac{\tau_b}{\rho}} \exp\left(\frac{-0.27(S-1)d_{50}\rho g}{\tau'_b}\right)$$

Donde τ_b y τ'_b son esfuerzos cortantes del fondo y esfuerzo cortante efectivo.

- D = Diámetro de las partículas en m = d_{50}
- ρ = Peso específico del agua en kgf/m³
- ρ_s = Peso específico de las partículas en kgf/m³
- g = Aceleración de la gravedad en m/s²
- S = Pendiente de la pérdida de carga

2.2.2.5.3.2. FORMULA DE MEYER – PETER

Se adecua a la gran cantidad de datos experimentales de Meyer-Peter (1948) siendo:

$$\phi_B = 8(\theta' - \theta_c)^{1.5}$$

Donde el τ'_b es el esfuerzo cortante efectivo, θ_c el parámetro crítico de Shields y θ' es el parámetro efectivo de Shields definido como:

$$\theta' = \frac{\tau'_b/\rho}{(S-1)gd}$$

2.2.2.5.3.2. FORMULA DE EINSTEIN – BROWN

El principio del análisis de Einstein consiste en que el número de partículas depositadas por unidad de área depende del número de partículas en movimiento y la probabilidad que fuerzas hidrodinámicas permitan que la partícula sedimente. El número de partículas erosionadas en la misma unidad de área depende del número de partículas y la probabilidad que fuerzas hidrodinámicas sean lo suficientemente fuertes para moverlas. En condiciones



de equilibrio el número de partículas depositadas debe ser igual al número de partículas erosionadas. La ecuación obtenida:

$$\phi_B = 40K(\theta')^3$$

$$K = \sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36v^2}{(S-1)gd^3_{50}}} - \sqrt{\frac{36v^2}{(S-1)gd^3_{50}}}$$

Donde θ' es el parámetro efectivo de Shields.

- D = Diámetro de las partículas en m = d₅₀
- v = Viscosidad cinemática del agua en m²/s
- g = Aceleración de la gravedad en m/s²
- S = Pendiente de la pérdida de carga

2.2.3. NORMA OS.060 DRENAJE PLUVIAL URBANO

2.2.3.1. OBJETIVO

El objetivo de la presente norma, es establecer los criterios generales de diseños que permitan la elaboración de proyectos de Drenaje Pluvial Urbano que comprenden la recolección, transporte y evacuación a un cuerpo receptor de las aguas pluviales que se precipitan sobre un área urbana.

2.2.3.2. APLICACIÓN DE LA NORMA

En la presente norma se establecen los criterios que deberán tenerse en consideración para el diseño de los sistemas de alcantarillado pluvial que forman parte del drenaje urbano de una ciudad.

2.2.3.3. INFORMACIÓN BÁSICA

Todo proyecto de alcantarillado pluvial deberá contar con la información básica indicada a continuación, la misma que deberá obtenerse de las Instituciones Oficiales como el SENAMHI, Municipalidades, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento:

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



2.2.3.4. OBLIGATORIEDAD DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL

Toda nueva habilitación urbana ubicada en localidades en donde se produzcan precipitaciones frecuentes con lluvias iguales o mayores a 10 mm en 24 horas, deberá contar en forma obligatoria con un sistema de alcantarillado pluvial.

La entidad prestadora de servicios podrá exigir el drenaje pluvial en localidades que no reúnan las exigencias de precipitación mencionadas en el párrafo anterior, por consideraciones técnicas específicas y de acuerdo a las condiciones existentes.

2.2.3.5. CONSIDERACIONES HIDRÁULICAS EN SISTEMAS DE DRENAJE URBANO MAYOR

Los sistemas de drenaje mayor y menor instalados en centros urbanos deberán tener la capacidad suficiente para prevenir inundaciones por lluvias de poca frecuencia.

2.2.3.5.1. CONSIDERACIONES BÁSICAS DE DISEÑO

- a) Los caudales para sistema mayor deberán ser calculados por los métodos del Hidrograma Unitario o Modelos de Simulación. El Método Racional sólo deberá aplicarse para cuencas menores de 13 Km².
- b) El Período de Retorno no debe ser menor de 25 años.
- c) El caudal que no pueda ser absorbido por el sistema menor, deberá fluir por calles y superficie del terreno.
- d) La determinación de la escorrentía superficial dentro del área de drenaje urbano o residencial producida por la precipitación generada por una tormenta referida a un cierto periodo de retorno nos permitirá utilizando la ecuación de Manning determinar la capacidad de la tubería capaz de conducir dicho caudal fluyendo a tubo lleno.
- e) Para reducir el caudal pico en las calles, en caso de valores no adecuados, se debe aplicar el criterio de control de la descarga mediante el uso de lagunas de retención (Ponding).
- f) Las Lagunas de Retención son pequeños reservorios con estructuras de descarga regulada, que acumulan el volumen de agua producida por el

incremento de caudales pico y que el sistema de drenaje existente no puede evacuar sin causar daños.

g) Proceso de cálculo en las Lagunas de Retención.

Para la evacuación del volumen almacenado a fin de evitar daños en el sistema drenaje proyectado o existente, se aplicarán procesos de cálculo denominados Tránsito a través de Reservorios.

h) Evacuación del Sistema Mayor.

Las vías calle, de acuerdo a su área de influencia, descargarán, por acción de la gravedad, hacia la parte más baja, en donde se preverá la ubicación de una calle de gran capacidad de drenaje, denominada calle principal o evacuador principal.

2.2.3.5.2. CAPTACIÓN Y TRANSPORTE DE AGUAS PLUVIALES DE CALZADA Y ACERAS

La evacuación de las aguas que discurren sobre la calzada y aceras se realizará mediante cunetas, las que conducen el flujo hacia las zonas bajas donde los sumideros captarán el agua para conducirla en dirección a las alcantarillas pluviales de la ciudad.

a) Las cunetas construidas para este fin podrán tener las siguientes secciones transversales.

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

b) Determinación de la capacidad de la cuneta

La capacidad de las cunetas depende de su sección transversal, pendiente y rugosidad del material con que se construyan.

c) Evacuación de las aguas transportadas por las cunetas

Para evacuación de las aguas de las cunetas deberá preverse Entradas o Sumideros de acuerdo a la pendiente de las cunetas y condiciones de flujo.



d) **Sumideros de Rejillas en Calzada:** Consiste en una canalización transversal a la calzada y a todo lo ancho, cubierta con rejillas.

Se utilizarán los siguientes tipos de sumideros:

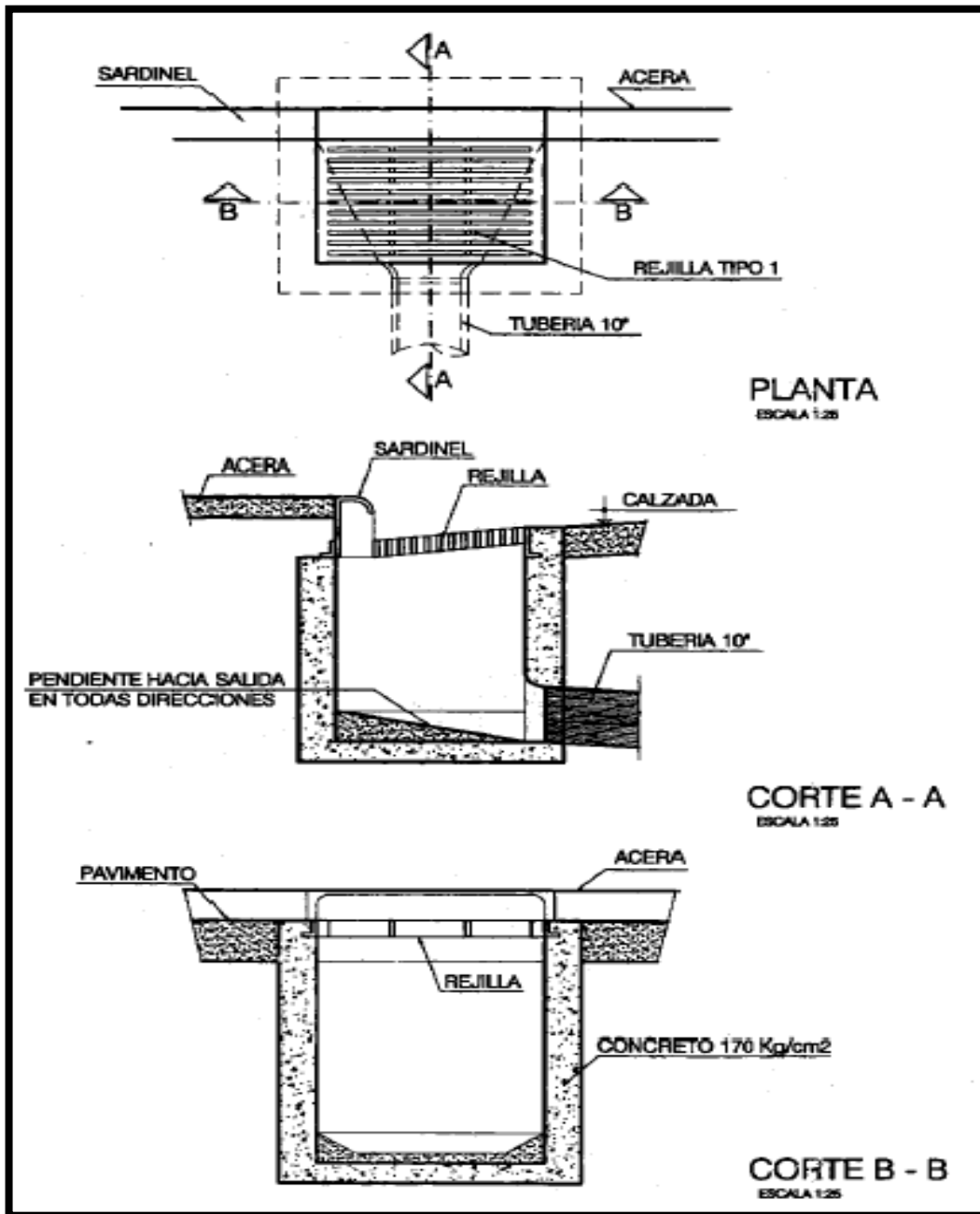
- **Tipo S1:** Tipo grande conectado a la cámara. Corresponde a sumideros del tipo mixto
- **Tipo S2:** Tipo grande conectado a la tubería. Corresponde a sumideros de] tipo mixto.
- **Tipo S3:** Tipo chico conectado a la cámara.
- **Tipo S4:** Tipo chico conectado a la tubería.

Los sumideros tipo S3 y S4 se utilizarán únicamente en los casos siguientes:

- Cuando el sumidero se ubica al centro de las avenidas de doble calzada.
- Cuando se conectan en serie con tipo grande S1 o S2.
- Para evacuar las aguas pluviales provenientes de las calles ciegas y según especificación del proyectista.

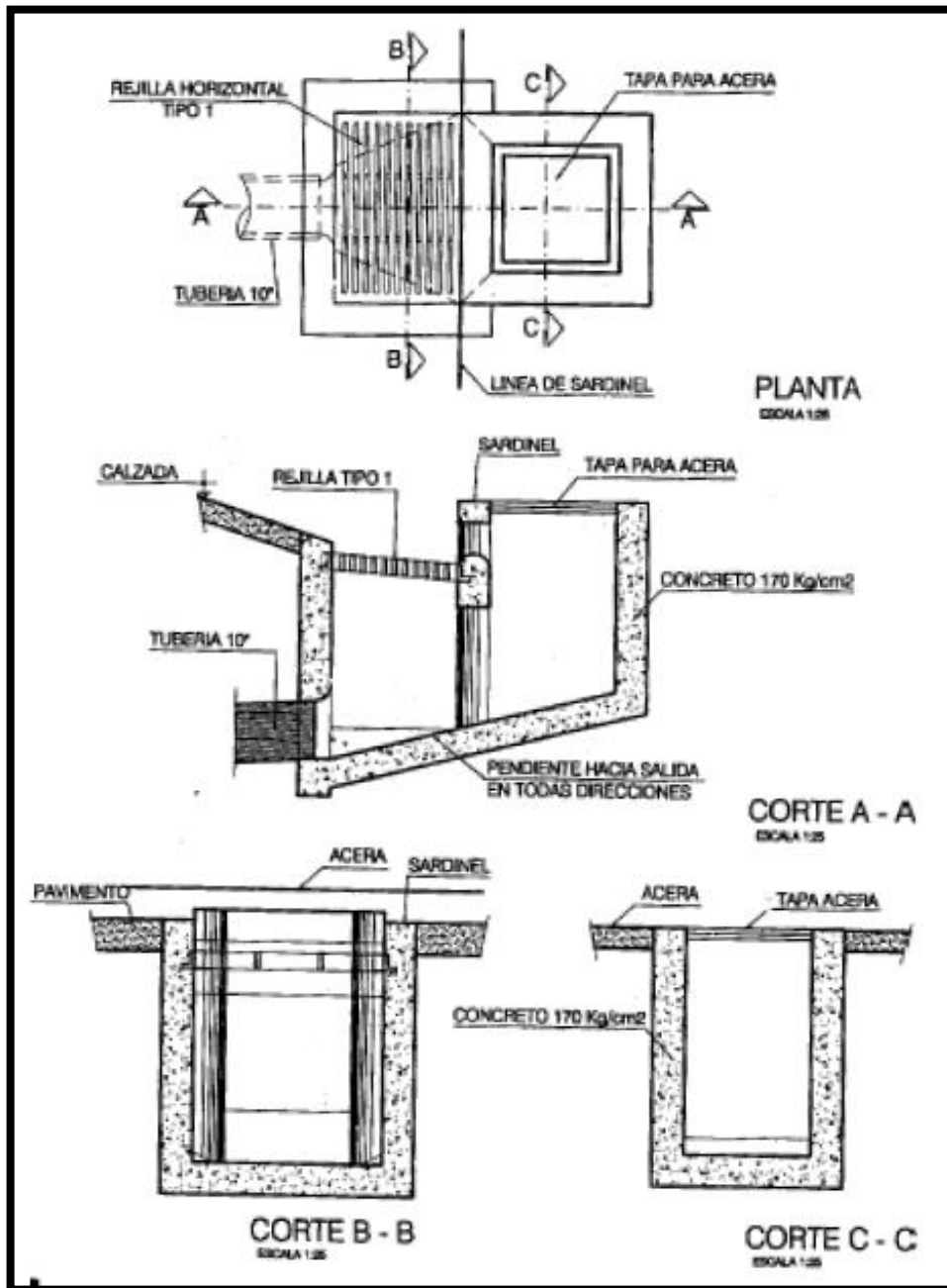
En caso de situaciones que requieren un tratamiento distinto se diseñarán sumideros especiales.

FIGURA N° 9: Sumidero Tipo Grande Conectado a Cámara – S1



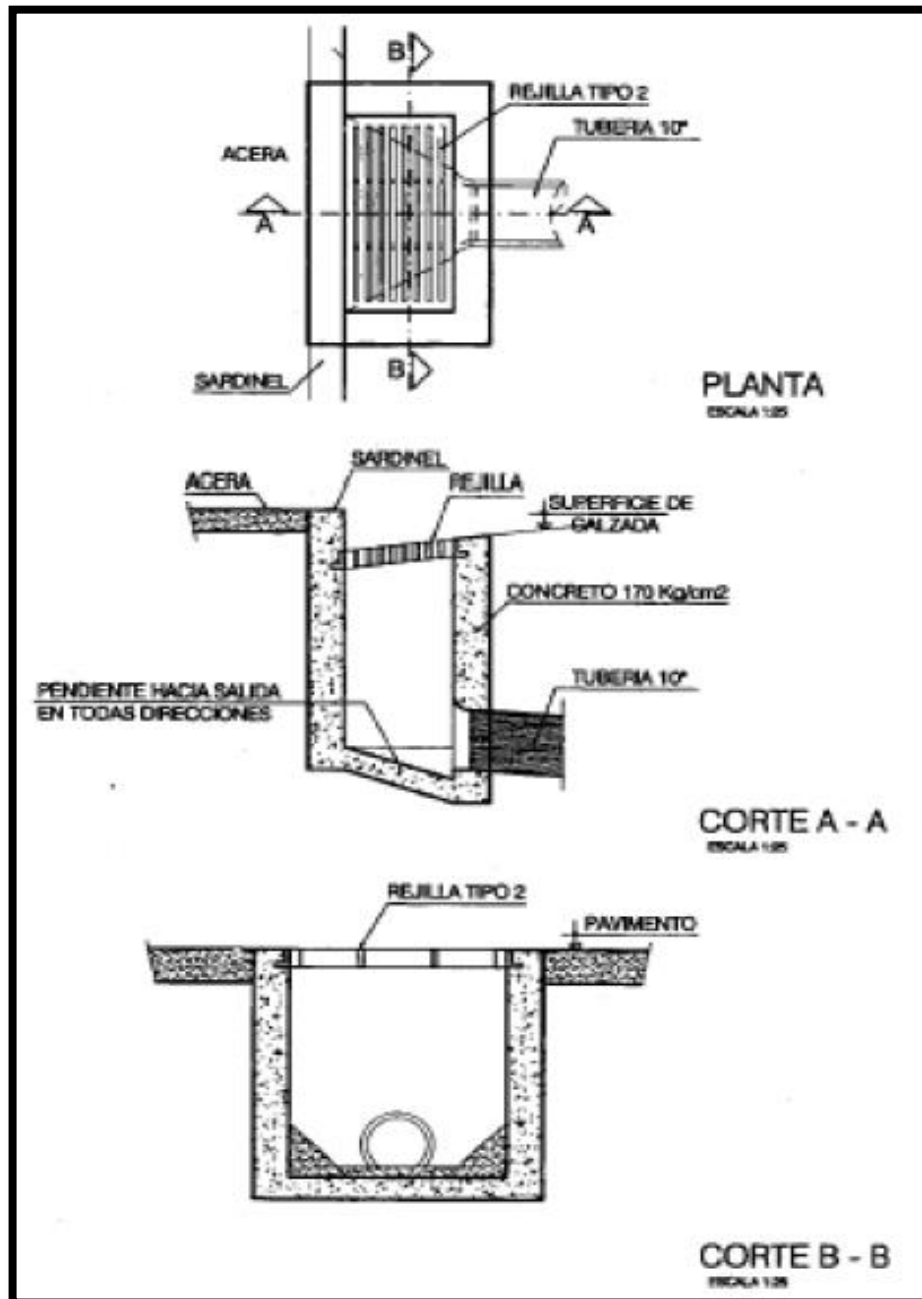
FUENTE: Norma OS.060

FIGURA N° 10: Sumidero Tipo Grande Conectado A Tubería – S2



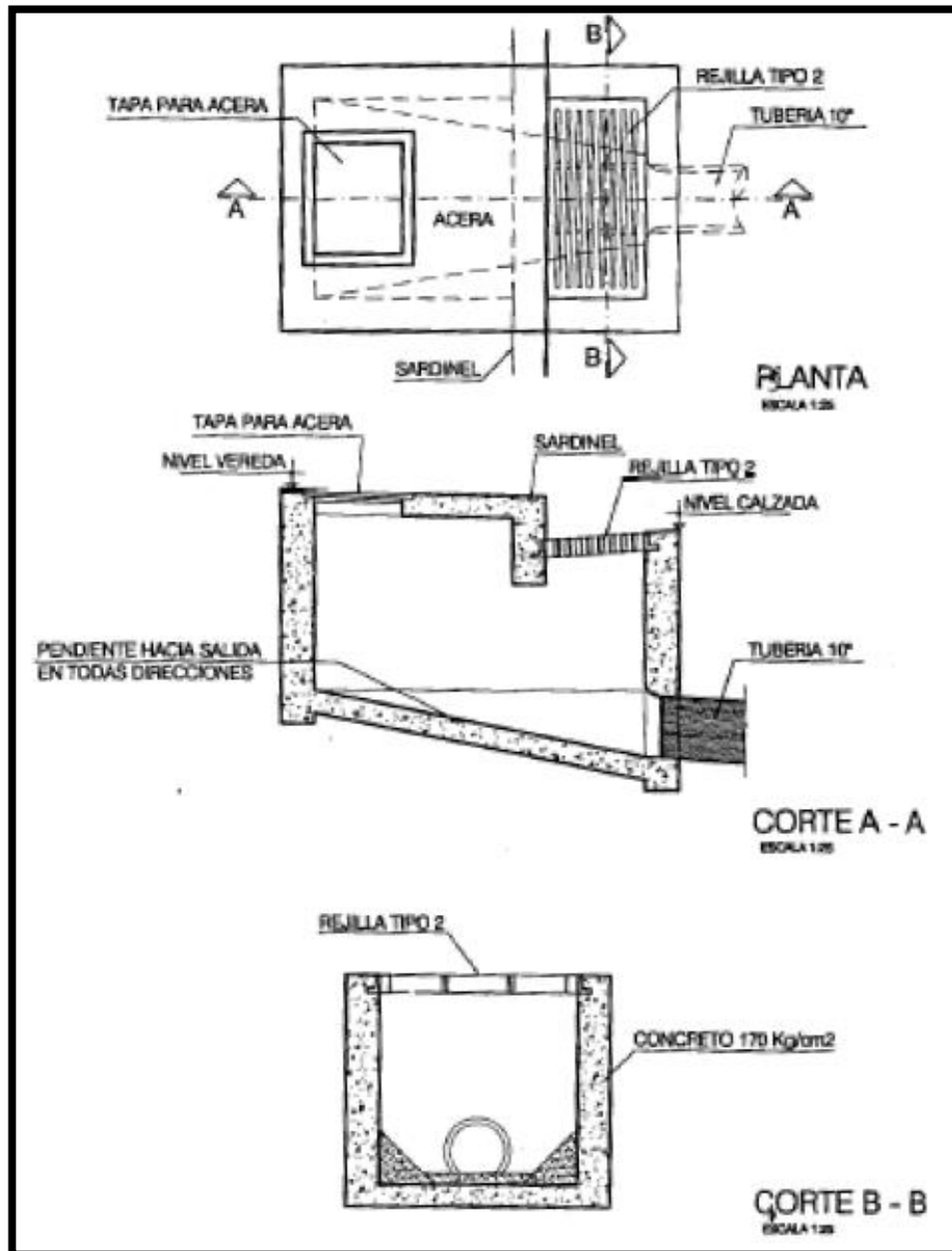
FUENTE: Norma OS.060

FIGURA N° 11: Sumidero Tipo Chico Conectado A La Cámara – S3



FUENTE: Norma OS.060

FIGURA N° 12: Sumidero Tipo Chico Conectado A La Tubería – S4



FUENTE: Norma OS.060

d.1 Ubicación de los Sumideros

La ubicación de los sumideros dependerá del caudal, pendiente, la ubicación y geometría de enlaces e intersecciones, ancho de flujo permisible del sumidero, volumen de residuos sólidos, acceso vehicular y de peatones.

En general los sumideros deben ponerse en los puntos bajos. Su ubicación normal es en las esquinas de cruce de calles, pero al fin de entorpecer el tráfico



de las mismas, deben empezar retrasadas con respecto a las alineaciones de las fachadas.

Cuando las manzanas tienen grandes dimensiones se colocarán sumideros intermedios.

Cuando el flujo de la cuneta es pequeño y el tránsito de vehículos y de peatones es de poca consideración, la corriente puede conducirse a través de la intersección mediante una cuneta, hasta un sumidero ubicado aguas abajo del cruce.

Por razones de economía se recomienda ubicar los sumideros en la cercanía de alcantarillas y conductos de desagüe del sistema de drenaje pluvial.

d.2 Espaciamiento de los Sumideros

Se determinará teniendo en cuenta los factores indicados para el caso de la Ubicación de los Sumideros, ítem d.4.

Para la determinación de espaciamiento de sumideros ubicados en cuneta medianera, el proyectista deberá considerar la permeabilidad del suelo y su erosionabilidad.

Cuando las condiciones determinan la necesidad de una instalación múltiple o serie de sumideros, el espaciamiento mínimo será de 6m.

d.3 Diseño Hidráulico de los Sumideros.

Se deberá tener en cuenta las siguientes variables:

- Perfil de la pendiente.
- Pendiente transversal de cunetas con solera.
- Depresiones locales.
- Retención de Residuos Sólidos.
- Altura de Diseño de la Superficie de Aguas dentro del sumidero.
- Pendiente de los sumideros.
- Coeficiente de rugosidad de la superficie de las cunetas.

e) Rejillas

Las rejillas pueden ser clasificadas bajo dos consideraciones:

1. Por el material del que están hechas; pueden ser:

- a. de Fierro Fundido
 - b. de Fierro Laminado (Platines de fierro)
2. Por su posición en relación con el sentido de desplazamiento principal de flujo; podrán ser:
- a. De rejilla horizontal.
 - b. De rejilla vertical.
 - c. De rejilla horizontal y vertical.

Las rejillas se adaptan a la geometría y pueden ser enmarcadas en figuras: Rectangulares, Cuadradas y Circulares

Generalmente se adoptan rejillas de dimensiones rectangulares y por proceso de fabricación industrial se fabrican en dimensiones de 60 mm x 100 mm y 45 mm x 100 mm (24"x 40" y 18" x 40").

La separación de las barras en las rejillas varía entre 20 mm - 35 mm - 50 mm (3/4" – 1 3/8" - 2") dependiendo si los sumideros se van a utilizar en zonas urbanas o en carreteras.

f) Velocidad mínima

La velocidad mínima de 0,90 m/s fluyendo las aguas a tubo lleno es requerida para evitar la sedimentación de las partículas que como las arenas y gravas acarrea el agua de lluvia.

g) Velocidad máxima

La velocidad máxima en los colectores con cantidades no significativas de sedimentos en suspensión es función del material del que están hechas las tuberías y no deberá exceder los valores indicados en la tabla N° 13 a fin de evitar la erosión de las paredes.

TABLA N° 17: Velocidad Máxima para tuberías de alcantarillado

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: Norma OS.060

h) Pendiente mínima

Las pendientes mínimas de diseño de acuerdo a los diámetros, serán aquellas que satisfagan la velocidad mínima de 0,90 m/s fluyendo a tubo lleno. Por este propósito, la pendiente de la tubería algunas veces incrementa en exceso la pendiente de la superficie del terreno.

i) Intensidad de la Lluvia

La intensidad de la lluvia de diseño para un determinado punto del sistema de drenaje es la intensidad promedio de una lluvia cuya duración es igual al tiempo de concentración del área que se drena hasta ese punto, y cuyo periodo de retorno es igual al del diseño de la obra de drenaje.

Es decir que para determinarla usando la curva intensidad - duración - frecuencia (IDF) aplicable a la zona urbana del estudio, se usa una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca, y la frecuencia igual al recíproco del periodo de retorno del diseño de la obra de drenaje.

En ningún caso el tiempo de concentración debe ser inferior a 10 minutos.



2.2.3.5.3. SISTEMAS DE EVACUACIÓN

Clasificación:

1) Sistemas de Evacuación por Gravedad.

- a) En caso de descarga al mar, el nivel de agua en la entrega (tubería o canal) debe estar 1.50 m sobre el nivel medio del mar.
- b) En el caso de descarga a un río, el nivel de agua en la descarga (tubería o canal) deberá estar por lo menos a 1,00 m sobre el máximo nivel del agua esperado para un periodo 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, por encima del nivel del agua que alcanzará el lago para un periodo de 50 años.
- d) En general el sistema de evacuación debe descargar libremente (> de 1.00 m sobre los máximos niveles esperados), para evitar la obstrucción y destrucción del sistema de drenaje pluvial.

2) Sistema de Bombeo

Cuando no es posible la evacuación por gravedad, se debe considerar la alternativa de evacuación mediante el uso de un equipo de bombas movibles o fijas (plantas de bombeo).

2.2.4. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO MTC E107-2000

2.2.4.1. OBJETIVO

La determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo. Esta norma describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 74 mm (N° 200).



2.2.5. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR MEDIO DEL HIDRÓMETRO MTC E109-1999

2.2.5.1. OBJETIVO

El análisis hidrométrico se basa en la ley de Stokes. Se asume que la ley de Stokes puede ser aplicada a una masa de suelo dispersado, con partículas de varias formas y tamaños. El hidrómetro se usa para determinar el porcentaje de partículas de suelos dispersados, que permanecen en suspensión en un determinado tiempo. Para ensayos de rutina con fines de clasificación, el análisis con hidrómetro se aplica a partículas de suelos que pasan el tamiz de 2.00 mm (N° 10). Para más precisión, el análisis con hidrómetro se debe realizar a la fracción de suelo que pase el tamiz de 75 μm (N° 200).

2.2.6. GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SUELOS MTC E 113 – 2000

2.2.6.1. OBJETIVO

Este modo operativo se utiliza para determinar el peso específico de los suelos y del relleno mineral (filler) por medio de un picnómetro. Cuando el suelo está compuesto de partículas mayores que el tamiz de 2.38 mm (N° 8), deberá seguirse el método de ensayo para determinar el peso específico y la absorción del agregado grueso, MTC E 206. Cuando el suelo está compuesto por partículas mayores y menores que el tamiz de 2.38 mm (N° 8), se utilizará el método de ensayo correspondiente a cada porción. El valor del peso específico para el suelo será el promedio ponderado de los dos valores así obtenidos. Cuando el valor del peso específico sea utilizado en cálculos relacionados con la porción hidrométrica del análisis granulométrico de suelos (modo operativo MTC E 109), debe determinarse el peso específico de la porción de suelo que pasa el tamiz de 2.00 mm (N° 10) de acuerdo con el método que se describe en la presente norma.

CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

(Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014) Dicen que: el enfoque cuantitativo usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías.

Plantea un problema de estudio delimitado y concreto. La recolección se basa en instrumentos estandarizados. Es uniforme para todos los casos. Los datos son obtenidos por observación, medición y documentación de mediciones. Se utilizan instrumentos que han demostrado ser válidos y confiables en estudios previos. Las preguntas o ítems utilizados son específicos con posibilidades de respuesta predeterminadas.

La investigación a realizar según el enfoque es **CUANTITATIVA** porque se tomarán los datos básicos para el diseño del sistema de alcantarillado pluvial, luego se tomarán los datos en campo, se determinarán los parámetros de diseño y se diseñará el sistema de alcantarillado pluvial; con el resultado se hará un nuevo diseño del sistema de alcantarillado.

3.1.2. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

Es de nivel descriptivo; muy frecuentemente el propósito del investigador es describir situaciones y eventos. Esto es, cómo es y se manifiesta determinado fenómeno. Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis. Miden o evalúan diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno o fenómenos a investigar. Desde el punto de vista científico, describir es medir. Esto es, en un estudio descriptivo se selecciona una serie de cuestiones y se mide cada una de ellas independientemente, para así describir lo que se investiga. (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014)

El nivel de la investigación es **DESCRIPTIVO**, ya que se determinará el Caudal de diseño para la red de alcantarillado de aguas pluviales y se realizaran los cálculos hidráulicos correspondientes. Además, alcanza un nivel **CORRELACIONAL** porque relaciona todos los parámetros antes mencionados



para verificar la relación que existen entre ellos y la determinación del caudal y finalmente proponer un diseño de infraestructura óptimo.

3.1.3. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

El método de investigación es **HIPOTÉTICO DEDUCTIVO**, ya que observaremos los parámetros para el diseño del sistema de alcantarillado pluvial, crearemos una hipótesis a partir de las variables a estudiar, deduciremos las consecuencias y proposiciones más elementales para poder probar la certeza de la hipótesis, estos pasos nos obligan a verificar la verdad de los enunciados expuestos comparándolos con la experiencia.

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. DISEÑO METODOLÓGICO

El diseño de la investigación es de tipo **NO EXPERIMENTAL** ya que las variables han sido observadas en su contexto real sin ser manipuladas deliberadamente. Dentro del marco no experimental también se ha considerado que es del tipo **TRANSVERSAL** ya que se ha realizado la recolección de datos en un solo momento y tiempo único con el fin de describir las variables y analizar su incidencia en el momento dado.