

**IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE INUNDACIÓN EN LA INTERSECCIÓN
DE LA CALLE 10 Y LA CARRERA 9 EN LA CIUDAD DE LETICIA
DEPARTAMENTO DEL AMAZONAS**

OSCAR SANTIAGO SILVA MATUTE

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2016**

**IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE INUNDACIÓN EN LA INTERSECCIÓN
DE LA CALLE 10 Y LA CARRERA 9 EN LA CIUDAD DE LETICIA
DEPARTAMENTO DEL AMAZONAS**

OSCAR SANTIAGO SILVA MATUTE

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al
Título de Ingeniero Civil**

**Tutor
Gonzalo Ríos Marín Ph. D.**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2016**

Bogotá, D.C., Septiembre de 2015

Señores:
COMITÉ DE OPCIÓN DE GRADO
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
Ciudad.-

Ref.: Presentación propuesta

En cumplimiento del reglamento de la Facultad para el desarrollo de la Opción de Grado, me permito presentar para los fines pertinentes la propuesta titulada: **“Identificación de las causas de inundación en la intersección de la calle 10 y la carrera 9 en la ciudad de Leticia departamento del Amazonas”**

El Tutor es el Ingeniero José Gonzalo Ríos Marín

Atentamente,

Oscar Santiago Silva Matute

Código: 1101258

Estudiante de ingeniería civil

Bogotá, Enero 21 de 2016

Ref. Carta aprobación para socializar trabajo de grado.

Señores Comité de Opción de grado,

Ingeniería Civil, UMNG

El estudiante Oscar Santiago Silva Matute está listo para socializar su opción de grado, de modalidad de trabajo de grado, con el título **“Identificación de las causas de inundación en la intersección de la calle 10 y la carrera 9 en la ciudad de Leticia departamento del Amazonas”**.

Oscar Santiago Silva Matute

Estudiante

Gonzalo Ríos Marín Ph.D.

Tutor Universidad Militar Nueva Granada

Nota de Aceptación:

Aprobado por el Comité según los requisitos exigidos por la Universidad Militar Nueva Granada.

Director

Jurado

Jurado

Bogotá, 14 de Diciembre de 2015

AGRADECIMIENTOS

Por su gran cooperación y colaboración en el desarrollo y ejecución de este proyecto, agradezco a:

- Dios, guía de mis acciones, fuente de inspiración y motor de mi vida.
- A mis padres, hermanos y familiares, por su formación, amor, apoyo, compañía y dedicación.
- Al Ingeniero José G. Ríos por su asesoría y acompañamiento en el desarrollo del trabajo de grado
- Gobernación del Amazonas, Dirección de Infraestructura y Alcaldía de Leticia, Secretaría de Infraestructura y Vivienda, por la información suministrada para el desarrollo del proyecto de grado.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	14
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	14
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	14
1.3.1 Técnica	14
1.3.2 Socioeconómica.....	15
1.3.3 Política	15
1.4 OBJETIVOS.....	15
1.4.1 Objetivo General	15
1.4.2 Objetivos Específicos.....	16
1.5 ANTECEDENTES.....	16
2. MARCO REFERENCIAL	19
2.2 MARCO CONCEPTUAL.....	19
2.3 MARCO TEORICO	22
2.3.1 Método Racional.....	22
2.3.1.1 Intensidad de la lluvia	24

2.3.1.2 Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia.....	24
2.3.1.3 Distribución de Gumbel.....	24
2.3.1.4 Área de aporte.	25
2.3.1.5 Coeficiente de Escorrentía.....	25
2.3.1.6 Tiempo de Concentración.....	26
2.3.1.7 Caudal de diseño.	26
2.3.2 Características Específicas de los Sumideros	26
2.3.2.1 Eficiencia de los sumideros.....	27
2.3.2.2 Ubicación de los sumideros	29
2.3.3 Ecuación de Manning	30
2.4 MARCO LEGAL.....	31
3. METODOLOGIA	32
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	32
3.2 FASES DE LA INVESTIGACIÓN.....	32
4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	34
4.1 RESULTADOS.....	34
4.1.1 Cálculo del caudal de inundación	34
4.1.1.1 Cálculo de Intensidad de la lluvia de diseño	34
4.1.1.2 Cálculo de Intensidades máximas	34
4.1.1.3 Parámetro de Gumbel.....	35
4.1.1.4 Intensidades ajustadas a la distribución de Gumbel	35

4.1.1.5 Curva Intensidad-Duración-Frecuencia	36
4.1.1.6 Área de aporte	36
4.1.1.7 Coeficiente de escorrentía	36
4.1.1.8 Tiempo de concentración.....	37
4.1.1.9 Intensidad de diseño.....	38
4.1.1.10 Caudal de diseño	38
4.1.2 SUMIDEROS	39
4.1.1.1 Capacidad de los sumideros.....	39
4.1.1.2 Cantidad de los sumideros	39
4.1.3 Ecuación de manning	40
4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	45
5. SOLUCIÓN	47
6. CONCLUSIONES	48
7. RECOMENDACIONES.....	49
8. BIGLIOGRAFÍA:.....	49

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Precipitaciones máximas de los años 2010 a 2015	34
Tabla 2. Intensidades máximas de los años 2010 a 2015	35
Tabla 3. Intensidades ajustadas a la distribución de gumbel.....	35
Tabla 4. Cálculo del coeficiente de escorrentía	37
Tabla 5. Cálculo del tiempo de concentración	38
Tabla 6. Cálculo del caudal de diseño	38
Tabla 7. Especificaciones técnicas de los sumideros	39
Tabla 8. Especificaciones tubería alcantarillado actual.....	41
Tabla 9. Cálculo tubería de llegada Calle 10	41
Tabla 10. Cálculo tubería de llegada Carrera 9	42
Tabla 11. Cálculo tubería de llegada Calle 10	42
Tabla 12. Cálculo tubería de salida Calle 10	43
Tabla 13. Cálculo tubería de conducción.....	44
Tabla 14. Cálculo caudal residual del área de estudio.....	44
Tabla 15. Cálculo tubería de los sumideros.....	45

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Sumidero Lateral.	27
Figura 2. Parámetros sumideros.....	27
Figura 3. Capacidad máxima de sumideros para sumideros especiales	28
Figura 4. Curva Intensidad-Duración-Frecuencia	36
Figura 5. Áreas de drenaje	37
Figura 6. Red Alcantarillado actual	40

LISTA DE IMÁGENES

	Pág.
Imagen 1. Inundación presentada el 8 de Noviembre de 2013.....	18
Imagen 2. Inundación presentada el 5 de Enero de 2014	18
Imagen 3. Inundación presentada el 11 de Marzo de 2015.....	19

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de grado, abarca la temática de inundación que se presenta en la Ciudad de Leticia – Amazonas, en la intersección de la Carrera 9 con Calle 10; la investigación de esta problemática, se realiza con el interés de identificar las diferentes variables que permiten que la inundación se dé, para que finalmente se logre proyectar una alternativa de solución.

Para analizar esta complicación, es necesario mencionar sus causas. Dentro de ellas podemos encontrar las altas precipitaciones que se generan en la zona, además del largo periodo que el sistema de drenaje de la intersección no ha recibido intervención alguna.

En el marco de la teoría hidráulica, la investigación se realizó de acuerdo al método racional y a la ecuación planteada por Manning, apoyándose en la básica información proporcionada por las entidades gubernamentales, así como en los aspectos físicos, hidráulicos e hidrológicos que se presentan en la intersección.

La mayor limitación que se presenta, es la precaria información existente sobre la red de alcantarillado pluvial que posee el área de estudio; haciendo que la investigación deba ser más enfocada a la inspección visual e iniciar así una descripción más acertada de la zona.

1. PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La intersección vial de la calle 10 con carrera 9, muestra una gran problemática relacionada con la presencia constante de inundaciones. Estas son producidas por la acción de las precipitaciones, que se generan en este sector.

La acumulación de estas aguas lluvias sobre la intersección, provoca una serie de inconvenientes correspondientes a la movilidad, debido a que se interrumpe la normalidad del tránsito vehicular y peatonal, esto causado por las grandes láminas de agua provocadas por la inundación.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuáles son las causas de del problema de inundación de la intersección de la Calle 10 y Carrera 9 del municipio de Leticia departamento del Amazonas?

1.3 JUSTIFICACIÓN

1.3.1 Técnica

Con este trabajo de grado se pretende definir las causas de inundación en la intersección de la calle décima con carrera novena, con la finalidad de proponer un diseño óptimo de drenaje, que permita la correcta evacuación de las aguas lluvias que reciba la intersección y adicionalmente evitar problemáticas colaterales en las demás estructuras del área de estudio.

1.3.2 Socioeconómica

La movilidad vehicular a través de esta zona de la ciudad, garantiza a un gran número de personas el acceso al centro del municipio, en donde se lleva a cabo la mayor concentración comercial y donde los habitantes realizan su actividad de compra y venta de bienes y servicios, además, por esta vía también acceden a sus empleos los trabajadores de las diferentes empresas que están localizadas en el sector. Adicionalmente, se busca mejorar las condiciones de acceso a aquellas instituciones que albergan gran número de personas entre las que se encuentran, la “CLINICA AMAZONAS”, las instituciones educativas “NORMAL SUPERIOR” y el “COLEGIO NAVAL”, y por último a la población civil que a diario transita sobre este sector tan concurrido de la ciudad de Leticia.

1.3.3 Política

El trabajo realizado busca convertirse en un insumo importante que le aporte a aquellos entes gubernamentales de la administración pública territorial, encargados de mantener en excelentes condiciones las vías de la capital del departamento del Amazonas, una vez concluida la investigación, el informe podrá ser utilizado como fuente de información para la correcta toma de decisiones.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Determinar las causas del problema del drenaje vial en la en la intersección de la calle 10 y la carrera 9 en la ciudad de Leticia departamento de Amazonas, mediante la inspección visual y aplicación de los conocimientos adquiridos, para proponer una solución.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Evaluar las variables presentes del problema, mediante observación y análisis de la información existente, para establecer cómo éstas influyen en la situación presentada.
- Analizar y valorar el sistema de drenaje actual con que cuentan las vías del área de estudio, por medio de cálculos y criterios de diseños, para dar solución a la problemática.

1.5 ANTECEDENTES

La inundación sobre esta intersección se presenta debido a los grandes volúmenes de agua causados por lluvias extremas y la deficiencia de la capacidad de evacuación del sistema de drenaje, en que se ven afectados dos colegios del municipio, una clínica, oficinas públicas y el Vice Consulado de Brasil en Leticia. Adicionalmente el municipio no cuenta con ningún tipo de información referente a los diseños del alcantarillado pluvial de esta intersección, por lo cual se desconocen los periodos de retorno, y por consiguiente los niveles de protección de las distintas obras hidráulicas.

Correspondiente a los antecedentes del área de estudio, no se encontró ningún tipo de referente bibliográfico para la obtención de esta información en ningún ente municipal o departamental, por lo cual fue necesario efectuar entrevistas con algunos habitantes afectados, en dónde estos finalmente, revelaron características en las que se concluye que la problemática viene presentándose aproximadamente hace 5 años, y que en este periodo no se ha intervenido de ninguna manera. Además la magnitud de este inconveniente va aumentando con el transcurso del tiempo. A continuación se presenta un registro fotográfico de algunas inundaciones presentadas en la intersección desde el año 2013 a 2015:

Imagen 1. Inundación presentada el 8 de Noviembre de 2013



Fuente: Tomada por Armando Silva.

Imagen 2. Inundación presentada el día 5 de Enero de 2014



Fuente: Tomada por Armando Silva.

Imagen 3. Inundación presentada el día 11 de Marzo de 2015



Fuente: Tomada por Armando Silva.

2. MARCO REFERENCIAL

2.2 MARCO CONCEPTUAL

Para un mejor desarrollo y entendimiento del trabajo de grado, es necesario definir ciertos términos, los cuales estarán presente a lo largo del desarrollo del informe; esta terminología fue tomada del Glosario del IDEAM y el Glosario de Drenaje Urbano Sostenible.

ALCANTARILLADO: sistema de transporte (tuberías, canales, etc.) utilizado para evacuar las aguas residuales desde su fuente de origen (lluvias, viviendas, industria, etc.) hasta la planta de tratamiento o hasta una corriente receptora.

ALCANTARILLADO SANITARIO: sistema de alcantarillado que transporta únicamente aguas residuales domésticas y algunos desechos líquidos industriales compatibles con las aguas domésticas o que han sido sometidos a tratamientos preliminares. También se transportan las aguas subterráneas que se filtran en el alcantarillado.

ALCANTARILLADO PLUVIAL (DE AGUAS LLUVIAS): sistema de alcantarillado que solamente recoge las aguas lluvias y las aguas subterráneas que se filtran en él.

ALCANTARILLADO COMBINADO: sistema de alcantarillado que recoge las aguas residuales tanto domésticas como lluvias.

COLECTOR: conducto cerrado que se usa en el transporte del agua. Conducción a la que se conecta la red de alcantarillado municipal para la recogida y transporte de las aguas residuales urbanas, que dan servicio a un sólo municipio y que están comprendidas en su término municipal.

CONDUCCIÓN: componente destinado al transporte de aguas residuales urbanas. Puede clasificarse según su geometría (circulares o no circulares),

ubicación alcantarillas, colectores o emisarios) y funcionamiento hidráulico (en lámina libre o bajo presión hidráulica interior).

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

CUNETETA: zanja construida al borde de una vía para recoger y encauzar el agua superficial.

DRENAJE: acción y efecto de avenar una obra o terreno. 2. Capacidad de la sección estructural del pavimento para evacuar las aguas superficiales y subterráneas que puedan afectar su comportamiento. 3. Medios naturales o artificiales destinados a interceptar y remover las aguas superficiales y subterráneas.

FRECUENCIA DE DISEÑO: la frecuencia asociada a un evento hidrológico usada con fines de diseño. Como ejemplo, una frecuencia de diseño de 50 años supone que una tormenta de una magnitud dada tiene un 2% (1/50) de probabilidades de ser igualada o excedida en un año cualquiera.

HIDROLOGÍA: es el estudio del movimiento, de la distribución, y de la calidad de agua a través de la tierra.

INTERSECCIÓN: área general donde dos o más vías se unen o crucen, ya sea a nivel o desnivel o que comprende toda la superficie necesaria para facilitar todos los movimientos de los vehículos que se cruzan por ellos.

INUNDACIÓN: es un evento natural y recurrente que se produce en las corrientes de agua, como resultado de lluvias intensas o continuas que, al sobrepasar la capacidad de retención del suelo y de los cauces, desbordan e inundan llanuras de inundación, en general, aquellos terrenos aledaños a los cursos de agua. Las inundaciones se pueden dividir de acuerdo con el régimen de los cauces en: lenta o de tipo aluvial, súbita o de tipo torrencial y encharcamiento.

LÁMINA DE AGUA: superficie de una masa de agua que está en contacto con la atmósfera.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO: conjunto de acciones destinadas a conservar el estado de un pavimento sobre un nivel mínimo aceptable en todo momento.

MANTENIMIENTO RUTINARIO: conjunto de actividades que se deben realizar al menos una vez al año para conservar la funcionalidad de las zonas aledañas a la calzada, incluyendo el control de la vegetación, la limpieza de bermas, obras de drenaje, señales verticales y otros dispositivos de seguridad; la remoción de derrumbes de poco volumen, el despedrado de taludes y la limpieza permanente de la calzada.

PAVIMENTO: estructura constituida por un conjunto de capas superpuestas, de diferentes materiales, adecuadamente compactados, que se construyen sobre la subrasante con el objeto de soportar las cargas del tránsito durante un período de varios años, brindando una superficie de rodamiento uniforme, cómoda y segura.

PERÍMETRO MOJADO: longitud de la línea del lecho del cauce en contacto con el fluido.

POZO: registro visitable que permite la inspección y mantenimiento de la red de saneamiento y cuyo acceso se realiza a través de la abertura que deja la tapa de registro normalizada.

RASANTE: perfil longitudinal del eje del pavimento después de terminada su construcción.

RED DE ALCANTARILLADO: red constituida por las alcantarillas y que desagua directamente en el sistema de emisarios y colectores.

RURAL: zona donde las edificaciones son muy escasas y el terreno está en su estado natural o dedicado a cultivos.

SUMIDERO: elemento que permite el desagüe de un dispositivo superficial de drenaje hacia un colector.

TRÁNSITO: acción de desplazamiento de personas, vehículos y animales por las vías.

URBANO: zona en la que gran parte del terreno está ocupado por edificaciones.

VÍA: zona de uso público o privado abierta al público destinada al tránsito de público, personas y/o animales.

2.3 MARCO TEORICO

En este capítulo, se despliega todo lo relacionado a la fundamentación teórica necesaria, para el desarrollo del trabajo de grado.

2.3.1 Método Racional

Para el cálculo de escorrentía superficial generado por las precipitaciones, se empleará el Método Racional, descrito en el libro “Hidrología Urbana de Manuel Gómez Valentín, página 83”, el cual es altamente acertado en el cálculo de Caudales para áreas inferiores a 50 Ha, dónde se presentan características homogéneas y con una superficie mayoritariamente impermeable. Este método el cual es utilizado en hidrología urbana, es desarrollado por la siguiente fórmula empírica, para el cálculo del caudal máximo de escorrentía pluvial continua:

$$Q = \frac{C * i * A}{3.6}$$

Dónde:

Q: Caudal máximo (m³/s)

C: Coeficiente de escorrentía

i: Intensidad de la lluvia de diseño, con duración igual al tiempo de concentración de la cuenca y con frecuencia igual al período de retorno seleccionado para el diseño

A: Área de aporte

En el texto de “Raúl López Alonso” “Propuesta de Modificación del Método Racional” se establecen una serie de hipótesis y restricciones entre las que se encuentran:

Hipótesis:

- La intensidad de la precipitación es uniforme en toda el área y no varía con el tiempo
- El coeficiente de escorrentía se mantiene uniforme en el tiempo y en el área drenante considerada.
- El periodo de retorno del caudal máximo calculado es el mismo que el de la intensidad media máxima del cálculo

Restricciones:

- Si la intensidad de precipitación debe ser uniforme en el espacio esto implica que la superficie de la cuenca no debe ser muy extensa, pues son habituales las tormentas de gran variabilidad espacial.

2.3.1.1 Intensidad de la lluvia

Para el cálculo de la intensidad de lluvia, esta debe estar en función del periodo de retorno de las precipitaciones de diseño el cual será de 5 años. (Tomado de MOPU, Dirección General de Carreteras)

Para el desarrollo del método racional, es necesario un registro de datos de precipitaciones, en donde se obtenga información referente a la máxima precipitación presentada en cada año, durante una determinada duración.

2.3.1.2 Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia

Posterior a esto, se obtienen las curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia, para lo cual es necesario convertir los datos anteriores a Intensidades Máximas, mediante la siguiente fórmula:

$$i = \frac{\textit{Precipitación}}{\textit{Periodo de duración}}$$

Este procedimiento se realiza para cada una de las precipitaciones, igualmente es necesario el cálculo de los parámetros de media aritmética (X_m) y desviación estándar (S), para cada periodo de duración correspondiente.

2.3.1.3 Distribución de Gumbel

Así mismo el método racional, implica que se realice un ajuste mediante la distribución de Gumbel, el cual permite el cálculo de valores extremos; para ello es necesario determinar el valor del parámetro K , el cual es calculado por la siguiente ecuación:

$$KT = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left\{ 0.5772 + \ln \left[\ln \left(\frac{Tr}{Tr - 1} \right) \right] \right\}$$

Dónde:

Tr: Periodo de retorno (Establece el valor mínimo de un parámetro que debe ser soportado por la obra para considerar que es suficientemente segura "Ingeniería de recursos hídricos. Ray K. Linsley)

Una vez obtenido este parámetro, se determinan las intensidades probables para las distintas duraciones mediante la siguiente ecuación:

$$x = \bar{X} + KT * S$$

Dónde:

X: Intensidad calculada con la media aritmética, desviación estándar y el factor de frecuencia

2.3.1.4 Área de aporte.

Una vez establecida la intensidad de la lluvia de diseño, se determina el factor del área de aporte en Km²; para ello es necesario el uso de Civil Metric 3D, en el cual mediante el plano topográfico de Leticia, se obtendrá este valor.

2.3.1.5 Coeficiente de Escorrentía.

Para el coeficiente de escorrentía, se establecen distintos valores para el tipo de superficie, el cual para este caso es pavimento rígido y en el cual se manejan coeficientes de escorrentía que oscilan entre 0,70 a 0,95. Adicionalmente se manejan unos coeficientes de escorrentías para áreas construidas, en este caso se adoptó 0,5. (Tomado de MOPU, Dirección General de Carreteras, página 4)

2.3.1.6 Tiempo de Concentración

Para determinar el tiempo de concentración el cual básicamente es el tiempo que se tarda una gota en recorrer el trayecto más alejado de ella hasta el punto de consideración, es necesario obtener la pendiente y la longitud de la cuenca; una vez obtenidos estos valores se reemplaza en la ecuación de Kirpich:

$$T_c = 0,000323 \left(\frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \right)$$

Dónde:

L: Longitud principal

S: Pendiente de la longitud principal

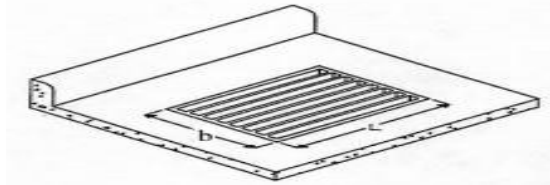
2.3.1.7 Caudal de diseño.

Una vez obtenidos estos parámetros se calcula el Caudal máximo, dado por la fórmula antes mencionada.

2.3.2 Características Específicas de los Sumideros

Una vez obtenido el valor del caudal de escorrentía que se va a presentar sobre las vías, es necesaria la determinación de las especificaciones técnicas de la red de sumideros, que va a tratar este caudal; dichas especificaciones se obtuvieron de la Guía de Diseño y Especificaciones de Elementos Urbanos de Infraestructura de Aguas Lluvias, del Ministerio de Vivienda y Urbanismo del Gobierno de Chile, página 40. En este caso se seguirá implementando sumideros horizontales con rejilla, los cuales tienen un funcionamiento efectivo en estructuras de pavimento de rangos de alta pendiente. Estos sumideros son como el que se presenta a continuación:

Figura 1. Sumidero Lateral.



Fuente “Ministerio de Obras públicas, Gobierno de Chile, página 37”.

Para sumideros horizontales las dimensiones que se van a emplear son las siguientes:

Figura 2. Parámetros sumideros

Características	Sumidero S1 ó S2	Sumidero S3 ó S4	Sum. especial SERVIU
Sumidero Horizontal			
Largo L, en metros	0,98	0,66	3,0
Ancho b, en metros	0,41	0,41	0,70
Área libre, rejilla Fe laminado, m ²	0,22	0,15	0,93
Sumidero Lateral			
Largo L, en metros	0,98	---	3,0
Altura a, en metros	0,1	---	0,1
Eficiencia de Sumideros			
Condición de diseño (1m en la cuneta)			
para cualquier pendiente longitudinal	0,90	0,80	1,00
Flujo a cuneta llena			
Pend. long. de la calzada < 0,01	0,45	0,40	0,75
0,01 ≤ Pend. long. de la calzada ≤ 0,05	0,25	0,20	0,75
Pend. long. de la calzada > 0,05	0,10	0,05	0,50

Fuente “Ministerio de Obras públicas, Gobierno de Chile. Pág. 40.”.

Se emplearán sumideros tipo S3 o S4, ya que son los empleados para sumideros de tipo horizontal.

2.3.2.1 Eficiencia de los sumideros

La eficiencia de un sumidero, es la magnitud de caudal que este es capaz de captar sobre la vía, dependiendo de factores como características geométricas de la vía, caudal de diseño, y la capacidad del sumidero. En la tabla anterior se establecen coeficientes para el cálculo de la capacidad de los sumideros; en este caso se empleará una eficiencia de 0,20 ya que la vía cuenta con una pendiente longitudinal de 0,04. Para determinar cuál será la capacidad del sumidero, se puede realizar mediante las siguientes fórmulas:

Si funciona como vertedero:

$$Q_m = 1,66(L + 2b)h^{1.5} \text{ donde } h < 1,6 \frac{A}{L + 2b}$$

Si funciona como orificio:

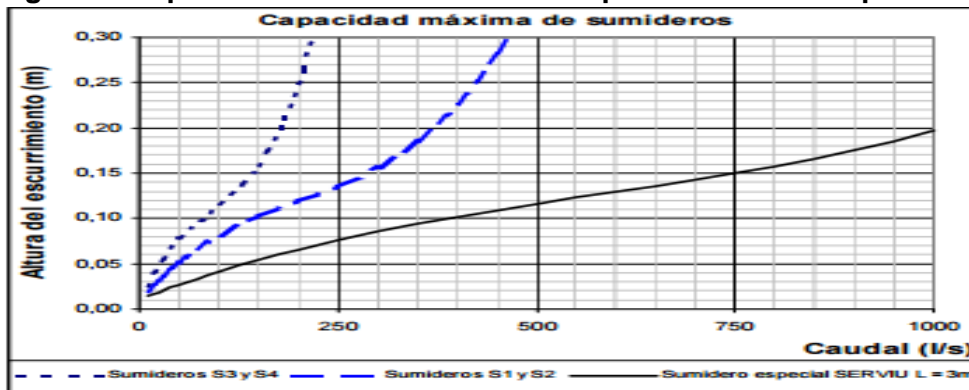
$$Q_m = 2,66Ah^{0.5} \text{ donde } h > 1,6 \frac{A}{L + 2b}$$

Dónde:

h: Altura de agua del escurrimiento frente al sumidero, en metros.

Adicionalmente, la capacidad de los sumideros de mayor longitud, puede ser calculada mediante la siguiente gráfica:

Figura 3. Capacidad máxima de sumideros para sumideros especiales



Fuente "Ministerio de Obras públicas, Gobierno de Chile. Pág.40".

Para el cálculo de Eficiencia del sumidero tan sólo se deberá multiplicar los Valores de Q_m * coeficiente de eficiencia:

$$Q_s = EQ \text{ si } EQ < Q_m$$

$$Q_s = Q_m \text{ si } EQ > Q_m$$

Dónde:

Q_s : Caudal captado por el sumidero

Q : Caudal que escurre por la cuneta aguas arriba del sumidero

Q_m : Capacidad máxima de captación del sumidero.

2.3.2.2 Ubicación de los sumideros

De ser necesaria una nueva red de sumideros, los criterios que se deben adoptar para determinar la ubicación los mismos en la intersección vial, serán los siguientes:

- Para captar el 100% del flujo, se ubicarán aguas arriba del cruce de peatones
- Evitar zonas bajas en las que se pueda acumular agua
- No ubicar sumideros atravesados transversalmente en las calzadas

Teniendo en cuenta estos aspectos se determinará la cantidad de sumideros que se localizarán en la intersección.

Para determinar si esta cantidad de sumideros es capaz de captar el caudal de escorrentía, tan sólo es necesario calcular el caudal que será captado por

ellos y si este es menor a su capacidad, el sumidero cumplirá con las necesidades de la intersección, esto representado en la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Caudal de escorrentía}}{\text{Cantidad sumideros}}$$

2.3.3 Ecuación de Manning

Una vez se determine que la capacidad de los sumideros supere la del caudal de escorrentía, es necesario determinar el diámetro de tubería de conducción, de los sumideros hacia el pozo de recolección; este procedimiento será realizado mediante la Ecuación de Manning, tomada del libro de Hidráulica de los canales abiertos de Ven Te Chow, página 96, la cual es empleada para el cálculo de la velocidad de flujo uniforme en canales abiertos. La ecuación de Manning está dada por la siguiente ecuación:

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

Dónde:

V: Velocidad media (m/s)

R: Radio hidráulico

i: Pendiente

n: Coeficiente de rugosidad de Manning

Para el cálculo de la velocidad se define un diámetro de tubería y se estima que esta va a trabajar con un tirante de agua mayor a D/2. Para determinar el Caudal que trabajará la tubería en esta condición es necesario, determinar el ángulo en radianes para obtener el valor del Área mojada, Perímetro mojado, y el radio hidráulico, mediante las siguientes ecuaciones:

$$\theta = \arccos\left(\frac{1 - y}{r}\right)$$

$$\text{Área} = \frac{(\theta - \text{seno}(\theta))D^2}{8}$$

$$\text{Perímetro Mojado} = \frac{\theta D}{2}$$

$$\text{Radio hidráulico} = \frac{\text{Área mojada}}{\text{Perímetro mojado}}$$

$$Q = VA$$

Dónde:

y: Tirante de agua

r: Radio de la tubería

D: Diámetro de la tubería

V: Velocidad del fluido

A: Área mojada

2.4 MARCO LEGAL

- TÍTULO D RAS 2000: REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO.

3. METODOLOGIA

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación que se desarrolla en este trabajo de grado es “APLICADA”, la cual está interesada en la aplicación inmediata sobre una problemática, con la finalidad de conocer, actuar, construir y modificar (BORJA, Manuel. Metodología de Investigación Científica para Ing. Civil, página 10).

3.2 FASES DE LA INVESTIGACIÓN

Durante la ejecución de la opción de grado se adoptó una metodología que combinaron factores cuantitativos y cualitativos, es decir se tuvieron en cuenta aspectos actuales del área de estudio, tales como un análisis de las estructuras existentes y una parte cuantitativa al momento de realizar cualquier tipo de diseño como alternativa de solución a la problemática que se presenta; para un desarrollo exitoso de la opción de grado la metodología se dividió en 4 fases realizándose de la siguiente manera:

- FASE 1: Recolección de información necesaria: En esta fase se obtuvo información suficiente para el desarrollo del trabajo de grado, la Biblioteca del Banco de la República, la Biblioteca de la Universidad Militar y en los entes gubernamentales del municipio y departamento
- FASE 2: Evaluación de cada uno de los factores influyentes de la problemática: Una vez obtenida toda la información necesaria, se evaluaron cada una de las variables presentes del problema, identificando cuales influyen de manera directa.
- FASE 3: Generar una Solución: La solución, se tomó luego de determinar las causas de inundación del problema de la intersección vial.

- FASE 4: Diseño de la red de sumideros: En esta fase, se identificó que el problema no requiere un diseño de la red de sumideros; la modificación necesaria se debe realizar al sistema de alcantarillado combinado, por lo cual no hubo un diseño de sumideros.

4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

4.1 RESULTADOS

4.1.1 Cálculo del caudal de inundación

A continuación se presenta paso a paso el cálculo del caudal que deberán evacuar las estructuras hidráulicas

4.1.1.1 Cálculo de Intensidad de la lluvia de diseño

Para el cálculo de la intensidad de la lluvia de diseño, se tiene un registro de precipitaciones máximas del año 2010 al 2015, durante duraciones de una hora, diez horas y veinticuatro horas; esta información se encuentra recopilada en la siguiente tabla:

Tabla 1. Precipitaciones máximas de los años 2010 a 2015

Precipitaciones máximas (mm)			
Año	Duración (h)		
	1	10	24
2010	73	95	104,1
2011	77	103	125
2012	58	81	90
2013	69	105	112,4
2014	82	138	158,3
2015	75	108	113

Fuente: IDEAM

4.1.1.2 Cálculo de Intensidades máximas

El cálculo de las intensidades máximas respectivas para cada año son resumidas en la siguiente tabla:

Tabla 2. Intensidades máximas de los años 2010 a 2015

Intensidades máximas (mm/h)			
Año	Duración (h)		
	1	10	24
2010	73	9,5	4,33
2011	77	10,3	5,20
2012	58	8,1	3,75
2013	69	10,5	4,68
2014	82	13,8	6,59
2015	75	10,8	4,70
Xm	72,33	10,5	4,88
S	8,24	1,89	0,97

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.3 Parámetro de Gumbel

El cálculo del parámetro de Gumbel será determinado para un periodo de retorno, de 5 años, el cual es considerado para estructuras tales como caces y sumideros. Para este periodo de retorno se obtiene un valor del parámetro $KT = 0,73$.

4.1.1.4 Intensidades ajustadas a la distribución de Gumbel

Los cálculos de estas intensidades se representan en la siguiente tabla:

Tabla 3. Intensidades ajustadas a la distribución de gumbel

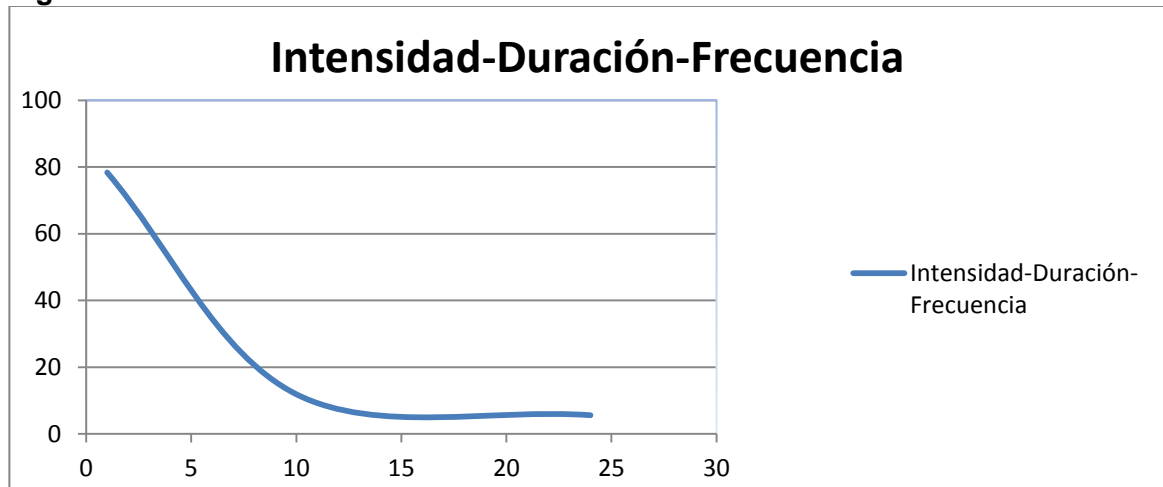
Intensidades ajustadas a la distribución de Gumbel Tr:5	
Duración (h)	Tr: 5 años
1	78,34
10	11,89
24	5,59

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.5 Curva Intensidad-Duración-Frecuencia

Finalmente se obtiene la curva de Intensidad- Duración-Frecuencia, para el periodo de retorno de 5 años:

Figura 4. Curva Intensidad-Duración-Frecuencia



Fuente: Elaboración propia.

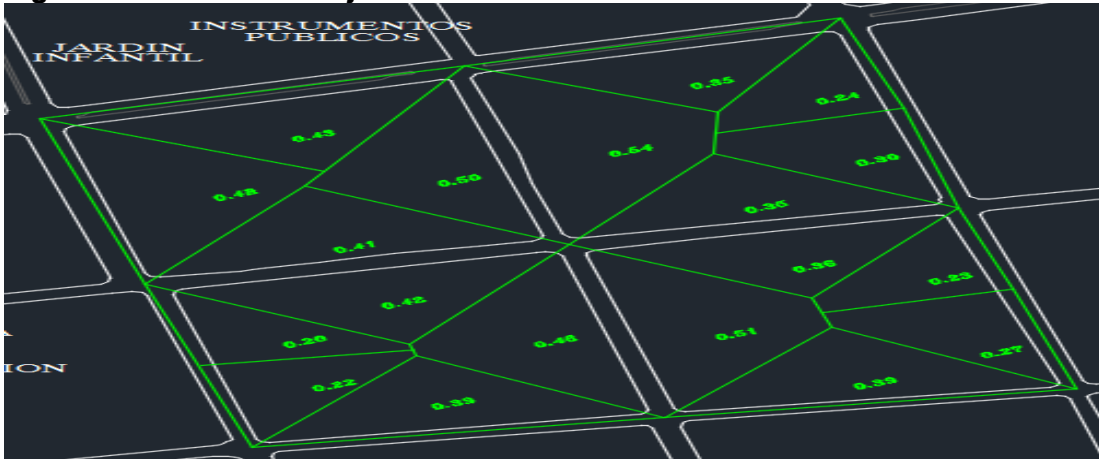
4.1.1.6 Área de aporte

Para el cálculo del área de aporte, se establecieron dos tipos de áreas en la zona de estudio, una correspondiente al área pavimentada en hormigón y otra al área construida en la intersección. El área calculada para la zona pavimentada fue de 1975 m² y 13329 m² para el área construida.

4.1.1.7 Coeficiente de escorrentía

Al tener presencia de dos tipos de uso de la tierra dentro de la zona de interés, es necesario determinar un coeficiente de escorrentía total para toda el área. Para esto es necesario calcular las áreas de cada una de las zonas y multiplicar este resultado por su coeficiente, obteniendo finalmente una sumatoria de ambas, para dividir este en el área total de la zona de estudio. A continuación se muestra las áreas de drenaje.

Figura 5. Áreas de drenaje



Fuente: Elaboración propia.

Correspondiente a las zonas establecidas, para el área de la zona pavimentada se obtuvo un área de 1975 m² y para el área construida un área de 13329 m². A continuación en la siguiente tabla se muestra el cálculo del coeficiente de escorrentía total.

Tabla 4. Cálculo del coeficiente de escorrentía

Usos de la tierra dentro de la cuenca		Coeficiente de escorrentía (Ci)	Ci x Ai
Área construida (m ²)	13329	0,5	6664,5
Área pavimentada (m ²)	1975	0,7	1382,5
TOTAL	15304	-	8047
Coeficiente de Escorrentía ponderado			
C ponderado	8047 Km ² /15304 Km ²		0,53

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.8 Tiempo de concentración

El cálculo del tiempo de concentración obtenido se presenta a continuación:

Tabla 5. Cálculo del tiempo de concentración

Duración de la lluvia			
Cota Mínima (msnm)	Cota máxima (msnm)	Longitud (m)	Pendiente
75,8	76,8	92	0,010869565
Tiempo de concentración			
Tc (h)	0,06	Tc (min)	4

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.9 Intensidad de diseño

La intensidad de diseño finalmente es calculada, con la ecuación obtenida de la curva Intensidad-Duración-Frecuencia, para una duración de 4 minutos, donde se calcula una intensidad de 140 mm/h, la cual será reemplazada en la ecuación del caudal de escorrentía.

4.1.1.10 Caudal de diseño

El cálculo del caudal de diseño es presentado en la siguiente tabla.

Tabla 6. Cálculo del caudal de diseño

Método Racional	
$Q = C i A / 3,6$	
Q= Caudal en m3/s	0,313
C= Coeficiente de escorrentía	0,53
A= Área de aporte en Km2	0,015
i : Intensidad de la lluvia de diseño en mm/h	140

Fuente: Elaboración propia.

El caudal máximo de diseño, para un periodo de retorno de 5 años será de 313 L/s.

4.1.2 SUMIDEROS

Una vez calculado el caudal de escorrentía que es necesario evacuar, se evalúa las estructuras de drenaje actual.

4.1.1.1 Capacidad de los sumideros

En la siguiente tabla se hace mención a las especificaciones técnicas de los sumideros, así mismo se establece su eficiencia tanto para vertedero como para orificio:

Tabla 7. Especificaciones técnicas de los sumideros

Sumidero Lateral			
L	0,66		
b	0,41		
Área libre	0,15		
Eficiencia			
<0,01	0,01-0,05	>0,05	Cualquiera
0,4	0,2	0,05	0,8
Vertedero		Orificio	
Qm (m3/s)	0,143	Qm (m3/s)	0,16
Eficiencia			
Qs	0,062	Qs	0,062

Fuente: Elaboración propia.

El cálculo de la capacidad de los sumideros depende de la función en la cual estos van a trabajar, Si el sumidero va a trabajar como vertedero $Q_m = 0,143$ m³/s; si este trabajará como orificio $Q_m = 0,160$ m³/s.

4.1.1.2 Cantidad de los sumideros

Para determinar si la cantidad de sumideros (16 sumideros) presentes en la intersección, son capaces de captar el caudal de escorrentía, tan sólo es

necesario calcular el caudal que será captado por ellos; si este es menor a su capacidad total, el sumidero cumplirá con las necesidades de la intersección.

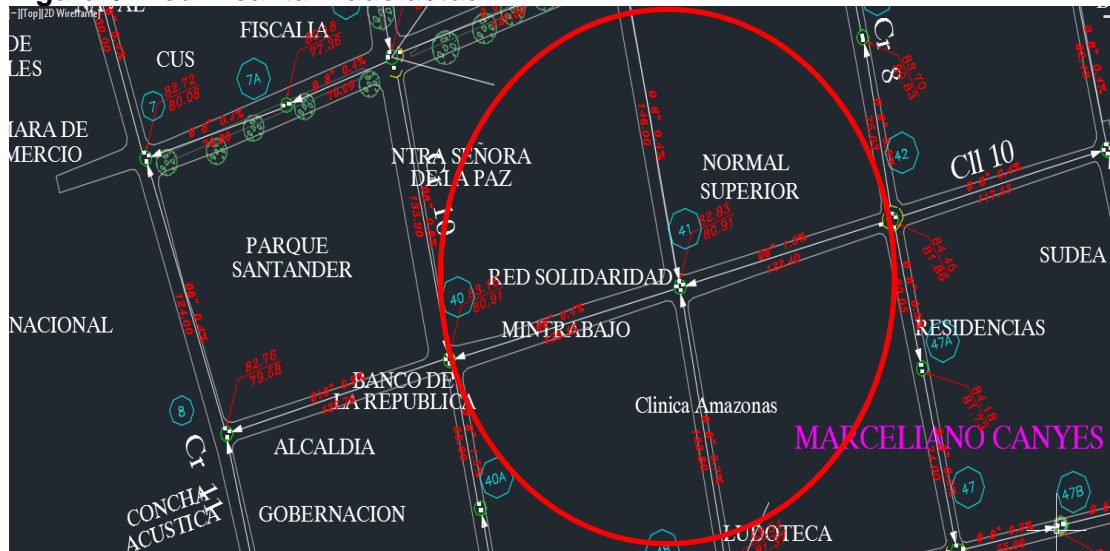
$$\frac{\text{Caudal de escorrentía}}{\text{Cantidad sumideros}} = \frac{313 \frac{L}{s}}{16} = 20 \text{ L/s}$$

En este caso el caudal que será captado por los sumideros es de 20 L/s, el cual es alrededor de un tercio de su capacidad total siendo esta de 60 L/s.

4.1.3 Ecuación de Manning

Para evaluar las estructuras hidráulicas presentes en la intersección vial, es necesario conocer de antemano lo existente. Correspondiente al alcantarillado del área de estudio, se cuenta con el siguiente plano para la obtención de toda la información referente a él.

Figura 6. Red Alcantarillado actual



Fuente: Plan maestro de Acueducto y Alcantarillado. Municipio de Leticia.

Del plano anterior se obtuvo la siguiente información resumida en la siguiente tabla.

Tabla 8. Especificaciones tubería alcantarillado actual

Tubería	Diámetro (")	Pendiente (%)	Material
Llegada Calle 10	8	1,3	Arena Cemento
Llegada Carrera 9	8	0,4	Arena Cemento
Llegada Carrera 9	8	0,7	Arena Cemento
Salida Calle 10	8	0,01	Arena Cemento

Fuente: Plan maestro de Acueducto y Alcantarillado. Municipio de Leticia.

Para cada una de las tuberías mencionadas en la tabla anterior, es necesario calcular su capacidad total, con el fin de determinar cuál será el caudal que deba transportar la tubería de salida. Para determinar este parámetro, es necesario definir una rugosidad del material de la tubería, en el que se adoptó 0,013 (Tomado de RAS 2000, Título D, Página D 25).

Tabla 9. Cálculo tubería de llegada Calle 10

Diámetro Tubería	8
Diámetro(m)	0,2032
Tirante agua y (m)	0,2
Pendiente (m/m)	0,013
Rugosidad n manning	0,015
Angulo	5,78
Área mojada (m ²)	0,032
Perímetro Mojado P (m)	0,587
Radio Hidráulico (m)	0,055
Velocidad (m/s)	1,09
Caudal Q (L/s)	35,21

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Cálculo tubería de llegada Carrera 9

Diámetro Tubería	8
Diámetro(m)	0,2032
Tirante agua y (m)	0,2
Pendiente (m/m)	0,004
Rugosidad n manning	0,015
Angulo	5,78
Área mojada (m ²)	0,032
Perímetro Mojado P (m)	0,587
Radio Hidráulico (m)	0,055
Velocidad (m/s)	0,60
Caudal Q (L/s)	19,53

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Cálculo tubería de llegada Calle 10

Diámetro Tubería	8
Diámetro(m)	0,2032
Tirante agua y (m)	0,2
Pendiente (m/m)	0,007
Rugosidad n manning	0,015
Angulo	5,78
Área mojada (m ²)	0,032
Perímetro Mojado P (m)	0,587
Radio Hidráulico (m)	0,055
Velocidad (m/s)	0,80
Caudal Q (L/s)	25,83

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. Cálculo tubería de salida Calle 10

Diámetro Tubería	8
Diámetro(m)	0,2032
Tirante agua y (m)	0,2
Pendiente (m/m)	0,0001
Rugosidad n manning	0,015
Angulo	5,78
Área mojada (m ²)	0,032
Perimetro Mojado P (m)	0,587
Radio Hidráulico (m)	0,055
Velocidad (m/s)	0,10
Caudal Q (L/s)	3,09

Fuente: Elaboración propia.

Correspondiente a los caudales obtenidos para cada una de las tuberías de alcantarillado de la intersección, se determinó que el caudal que deberá evacuar la tubería de conducción de salida es la sumatoria de los caudales de las tuberías de llegada más el caudal de escorrentía superficial del área de estudio. El valor de este caudal es de 394 L/S.

El cálculo de una tubería de conducción de salida que sea capaz de evacuar el caudal de 394 L/S, es calculado a continuación, donde se contempla un mejoramiento en la pendiente (0,5 %), y se sigue trabajando con una rugosidad de 0,013.

Tabla 13. Cálculo tubería de conducción

Diámetro Tubería	24
Diámetro(m)	0,6096
Tirante agua y (m)	0,6
Pendiente (m/m)	0,005
Rugosidad n manning	0,015
Angulo	5,78
Área mojada (m ²)	0,291
Perímetro Mojado P (m)	1,762
Radio Hidráulico (m)	0,165
Velocidad (m/s)	1,41
Caudal Q (L/s)	410,24

Fuente: Elaboración propia.

El diámetro de una tubería de conducción que sea capaz de transportar el caudal calculado, es de 24" el cual transporta un caudal de 410 L/s.

Así mismo, se contempla el caudal de aguas residuales generado por las estructuras de la intersección vial. A continuación se muestra el resumen de los cálculos obtenidos.

Tabla 14. Cálculo caudal residual del área de estudio

Zona	Área (Ha)	Contribución	Caudal (L/S)
Residencial	1,8	0,8	1,0225
Institucional	1,75	0,4	0,7
Caudal medio diario		2 L/s	
Caudal infiltración		1,42 L/s	
Conexiones erradas		0,4 L/s	
Factor mayoración		3,3	
Q Máximo Horario		6,6 L/s	
Q de diseño		9 L/s	

Fuente: Elaboración propia.

El caudal de aguas residuales generado es de 9 L/s. Finalmente la intersección debe evacuar un caudal de 403 L/S, para el cual la tubería anteriormente calculada de 24" es capaz de tratar el mismo.

Referente a las tuberías de conducción de los sumideros hacia el pozo de inspección no se cuenta con información relevante. Ante esta situación se define trabajar con tuberías de diámetro de 10", una pendiente de 0,2% y un coeficiente de rugosidad de 0,013. A continuación se define si con estas especificaciones, esta podrá ser capaz de cumplir con las necesidades de evacuación de las aguas lluvias.

Tabla 15. Cálculo tubería de los sumideros

Diámetro Tubería	10
Diámetro(m)	0,254
Tirante agua y (m)	0,24
Pendiente (m/m)	0,002
Rugosidad n manning	0,015
Angulo	5,34
Área mojada (m2)	0,050
Perímetro Mojado P (m)	0,678
Radio Hidráulico (m)	0,073
Velocidad (m/s)	0,52
Caudal Q (L/s)	25,63

Fuente: Elaboración propia.

Las especificaciones para esta tubería mencionadas anteriormente, cumplen con las necesidades de evacuación de los sumideros hacia el pozo de inspección.

4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Los cálculos obtenidos anteriormente demuestran que el caudal de escorrentía causado por las precipitaciones el cual es de 313 L/s más los caudales que manejan las distintas tuberías del alcantarillado y el aporte de agua residual de la zona en total es de 403 L/s, es mayor a la capacidad de las estructuras hidráulicas correspondientes al alcantarillado que tan sólo es

capaz de evacuar 3,1 L/s, donde estas no son capaces de evacuar este caudal.

El caudal de escorrentía superficial es captado satisfactoriamente por los sumideros presentes en la intersección vial, los cuales en total son 16 y cada uno cuenta con una capacidad de evacuación de 60 L/s; estos evacuan el caudal hacia el pozo de inspección. En este punto los caudales provenientes de las tuberías de conducción del alcantarillado que son en total 80,6 L/s, aportan un mayor caudal a la tubería de conducción de salida de la intersección y es esta quien finalmente no puede cumplir con el correcto y continuo transporte del mismo puesto que tan solo es capaz de evacuar 3,1 L/s como se mencionó anteriormente.

Para mejorar la condición hidráulica de la tubería de conducción de salida, es necesario contar con una tubería de diámetro de 20" y pendiente de 0,05% donde está finalmente podrá garantizar que la capacidad hidráulica supera la hidrológica.

5. SOLUCIÓN

Correspondiente al inconveniente que se presenta en la intersección de la calle 10 con carrera 9, se definió una solución con la ayuda de cálculos hidráulicos, de las estructuras presentes. A partir de ellos se determinó que es posible corregir esta situación mediante la modificación de la tubería de conducción de salida del pozo de inspección, donde esta requiere un diámetro de 24" y una pendiente del 0,05% para garantizar el adecuado transporte del caudal de escorrentía superficial y de los caudales transportados por las tuberías de conducción de llegada de la intersección.

Con respecto a las estructuras de los sumideros, es necesario realizar mantenimientos rutinarios con el fin de prevenir que distintos residuos lleguen a ellos, se acumulen y finalmente perjudiquen su correcto funcionamiento. Para garantizar esto, además es necesaria la limpieza de las vías tanto de la Calle 10 como de la Carrera 9.

Por otro lado la idea de implementar los sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial por separado, posteriormente podrá ser evaluada por los distintos entes gubernamentales.

6. CONCLUSIONES

Una vez obtenida la información de distintas fuentes, referente a la problemática de drenaje urbano de la intersección de la calle 10 y carrera 9, fue posible determinar las causas de inundación, donde las estructuras del alcantarillado no son capaces de evacuar en su totalidad los 403 L/s, donde se cuenta el de escorrentía superficial (313 L/s) y los diferentes caudales aportados por las tuberías de conducción de llegada al pozo de la intersección (80,6 L/s), así mismo los aportes de agua residual de la zona de estudio (9 L/s), ya que la tubería de conducción de salida que es de tan solo 8 pulgadas y puesto que no cuenta con una pendiente que garantice una correcta evacuación, tan solo es capaz de evacuar 3,1 L/s.

Para las necesidades que presenta la intersección, es necesaria una tubería de 24 pulgadas que trabaje con una pendiente de 0,05 % donde finalmente esta podrá trabajar adecuadamente con caudales de hasta 410 L/s.

Por otro lado se concluye que los sumideros presentes en la vía, que en su totalidad son 16, son capaces de trabajar cada uno con caudales de hasta 60 L/s. Finalmente de trabajar todos de manera adecuada, se podrán evacuar por ellos un caudal de escorrentía superficial de hasta 960 L/s. Adicionalmente de tenerse presencia de algún tipo de residuo o despojo en ellos, los cuales no garantiza su correcto y continuo funcionamiento, tan sólo serán necesarios 6 sumideros para permitir que la intersección no colapse ante la presencia de precipitaciones.

Por último se concluye que con estas correcciones al sistema de alcantarillado de la zona de estudio, una vez sean implementadas se espera que la presencia de inundaciones en la intersección no se vuelvan a generar.

7. RECOMENDACIONES

- El desarrollo de una solución por parte de los entes municipales debe ser pronta y efectiva, de tal manera que se concluya de una vez con esta problemática que afecta al municipio de Leticia.
- Es necesario crear planes estratégicos de cultura ciudadana, con el fin de evitar que los despojos de los ciudadanos ingresen a las estructuras de drenaje y afecten su funcionamiento.
- De ser necesario se deben implementar reparaciones y mantenimientos preventivos a los sumideros, por lo menos cada 15 días, esto con el fin de garantizar su funcionamiento adecuado y continuo.
- Adicionalmente se deben proyectar sistemas de alcantarillado pluvial y sanitario independientes, esto facilitando el manejo de aguas lluvias en todo el municipio de Leticia.
- El no contar con vías diseñadas para soportar altas cargas vehiculares, estos pueden perjudicar las tuberías de conducción del sistema de alcantarillado combinado, de ser necesario se deben implementar vías que cumplan con las necesidades de tránsito del sector.

8. BIGLIOGRAFÍA

- IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Sede Leticia 2015.
- BORJA, Manuel. “Metodología de la investigación científica para ingenieros”. Chiclayo 2012.
- MOPU, Dirección General de Carreteras. “Instrucción de carreteras. DRENAJE”. Segunda Edición.
- GÓMEZ, Manuel. “Hidrología Urbana”. Barcelona 2007.
- TE CHOW, Vente. “Hidráulica de los canales abiertos”. Mc Graw Hill 1982.
- MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO GOBIERNO DE CHILE. Guía de Diseño y Especificaciones de Elementos Urbanos de Infraestructura de Aguas Lluvias, 2005.
- RAS 2000. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Pluviales, 2000.
- Plan de desarrollo municipal “POR EL DESARROLLO SOCIAL DE NUESTRO MUNICIPIO 2012-2015”, Alcaldía de Leticia.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Compendio, tesis y otros trabajos de grado. Quinta Actualización. Bogotá. ICONTEC, 2002.
- GLOSARIO DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE. En <http://drenajeurbanosostenible.org/glosario/>