

**AFECTACIÓN DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD PARA LA ECUACIÓN DE MANNING
CON EL ENVEJECIMIENTO DE TUBERÍAS DE DIFERENTES MATERIALES**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

ELABORADO POR:

DANNA GABRIELA MORA BALAMBÁ: 506115

VALERIA ÁVILA CRUZ: 506095

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ
2019

**AFECTACIÓN DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD PARA LA ECUACIÓN DE MANNING
CON EL ENVEJECIMIENTO DE TUBERÍAS DE DIFERENTES MATERIALES**

ELABORADO POR:

**DANNA GABRIELA MORA BALAMBÁ: 506115
VALERIA ÁVILA CRUZ: 506095**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil

DIRECTOR:

**DIEGO ALEJANDRO PULGARIN MONTOYA.
INGENIERO**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ
2019**



Atribución-NoComercial-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-NC-SA 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-NC-SA 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



Compartir bajo la Misma Licencia — Si altera o transforma esta obra, o genera una obra derivada, sólo puede distribuir la obra generada bajo una licencia idéntica a ésta.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, doy gracias a Dios por permitirme llegar hasta este momento, me concedes sonreír ante todos mis logros que son resultados de tu ayuda, su creencia en él me ofrece todo esto.

Gracias a Dios por la vida de mis padres y de mi familia que me apoyan, quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía. A mi hermano Edward por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento.

De igual manera, gracias a mis compañeros de Universidad, compañera y amiga Danna Gabriela Mora Balambá, a mis profesores quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Por último, agradecerle a la empresa Aguas del Capira S.A. E.S.P. por darnos la oportunidad de poder desarrollar dicho proyecto y brindarnos confianza para el desarrollo de este.

Valeria Ávila Cruz.

Al poner en manos de Dios este trabajo y la etapa de mi vida, quiero agradecer de todo corazón esta oportunidad de crecer y ser una mejor persona; no solo por los conocimientos y habilidades de una profesión maravillosa con la cual espero aportar a la sociedad; sino también por todas las vivencias que han pasado por mi camino.

Lo que soy y lo que tengo lo agradezco de manera muy especial a mi madre Zulay Balambá y mi madrina María Beltrán, pues gracias a ellas, a su esfuerzo silencioso y constante, a su bondad y entrega incondicional, a su confianza y apoyo me han permitido este logro y seguir confiada hacia adelante. Este trabajo es un homenaje a todas las mujeres que forman en el amor.

Gratitud con Valeria Ávila Cruz, por su amistad a lo largo de la carrera, a la universidad, docentes y demás compañeros que hicieron parte de este proceso. A Aguas del Capira S.A. E.S.P, nuestro agradecimiento también y el deseo que las empresas sigan creyendo en los jóvenes y ayudando a cumplir nuestros sueños y metas para un futuro y una sociedad mejor. Gracias.

Danna Gabriela Mora Balambá.

Nota de Aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C. 28 de octubre de 2019

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	11
1. GENERALIDADES	12
1.2. INTRODUCCIÓN	12
1.3. ANTECEDENTES	13
1.4. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.5. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	15
2. OBJETIVOS.....	15
2.2. OBJETIVO GENERAL	15
2.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3. JUSTIFICACIÓN	15
3.2. DELIMITACIÓN	16
3.2.1. ALCANCES.....	16
3.2.2. LIMITACIONES	16
4. MARCO DE REFERENCIA	17
4.2. MARCO TEÓRICO.....	17
4.2.1. COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING	17
4.2.2. LA ECUACION DE MANNING	17
4.3. MARCO CONCEPTUAL	21
4.3.1. ECUACIÓN DE CHEZY.....	21
4.3.2. CÁLCULO DEL FACTOR DE RESISTENCIA DE CHÉZY	22
4.3.3. FACTORES QUE AFECTAN EL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD	27
5. ESTADO DEL ARTE	28
6. METODOLOGÍA	31
6.1. DEFINICIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	31
6.1.1. RED DE ALCANTARILLADO.....	32
6.2. REVISIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA.....	32
6.3. CAMPAÑAS DE MONITOREO.....	32
6.3.1. DEFINICIÓN DE LOS TRAMOS A ANALIZAR	32
6.3.2. DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES A MEDIR.....	38
6.3.3. AFORO DE CAUDAL	38

6.4.	CALCULO DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING	39
6.4.1.	VARIABLES DETERMINATIVAS	40
6.5.	CALCULO DE LA CURVA DE CAPACIDAD	42
7.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	43
7.1.	INFORMACIÓN DE CAMPO	43
7.1.1.	VARIACIÓN TEMPORAL DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD.....	43
7.2.	TUBERIA PVC.....	43
7.2.1.	POZO 1. PZ709.....	43
7.2.2.	POZO 2. PZ292.....	46
7.2.3.	POZO 3. PZ.....	48
7.2.4.	POZO 4. PZ.....	50
7.3.	TUBERIA GRES.....	54
7.3.1.	POZO1. PZ509.....	54
7.3.2.	POZO 2. PZ433.....	56
7.3.3.	POZO 3. PZ345.....	58
7.3.4.	POZO 4. PZ339.....	60
7.4.	CURVA DE CAPACIDAD	62
7.4.1.	TUBERIA PVC	62
7.4.2.	TUBERIA GRES	66
8.	RECOMENDACIONES.....	70
9.	CONCLUSIONES.....	70
10.	ANEXOS	72
10.1.	ANEXO A - PLANTA GENERAL RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO PROYECTADO.....	72
10.2.	ANEXO B CÁLCULO Y REGISTRO DE CAUDALES	73
11.	BIBLIOGRAFÍA.....	81

LISTA DE TABLAS.

Tabla 4-1 Valores de n para varios niveles en el rio Nishnabotna, Iowa, para la estación de crecimiento promedio.....	19
Tabla 4-2 Valores para el cálculo del coeficiente de rigurosidad.	21
Tabla 4-3. Valores recomendados para el coeficiente de Manning	25
Tabla 4-4. Redimensionamiento de acometidas.	26
Tabla 6-1 Descripción tubería pozo 1 PVC.	33
Tabla 6-2 Descripción tubería pozo 2 PVC.	33
Tabla 6-3 Descripción tubería pozo 3 PVC.	34
Tabla 6-4 Descripción tubería pozo 4 PVC.	34
Tabla 6-5 Descripción tubería pozo 1 Gres.	35
Tabla 6-6 Descripción tubería pozo 2 Gres.	36
Tabla 6-7 Descripción tubería pozo 3 Gres.	36
Tabla 6-8 Descripción tubería pozo 4 Gres.	37
Tabla 6-9. Variables para la determinación del coeficiente "n" Manning.....	38
Tabla 6-10. Fechas de aforo	38
Tabla 6-11. Rangos de valores teóricos para el coeficiente de rigurosidad "n" Manning	40
Tabla 6-12. Datos de entrada para realización de curva de capacidad.	42
Tabla 7-1.Registro de cálculo de “n” Manning tubería 1 PVC, PZ709.....	44
Tabla 7-2.Registro de cálculo de “n” Manning tubería 2 PVC, PZ292.	47
Tabla 7-3. Registro de cálculo de “n” Manning tubería 3 PVC, PZ.....	49
Tabla 7-4.Registro de cálculo de “n” Manning tubería 4 PVC, PZ.....	52
Tabla 7-5. Registro de cálculo de “n” Manning tubería 1 Gres, PZ509.....	55
Tabla 7-6. Registra de cálculo de “n” Manning tubería 2 Gres, pozo PZ433.	57
Tabla 7-7. Registro de cálculo de “n” Manning tubería 3 Gres, pozo PZ345.....	59
Tabla 7-8. Registro de cálculo de “n” Manning tubería 4 Gres, pozo PZ339.....	61
Tabla 7-9 Comparación de variables curva de capacidad. Tubería 1 PVC, pozo PZ709.	62
Tabla 7-10 Comparación de variables curva de capacidad. Tubería 2 PVC, pozo PZ292.	63
Tabla 7-11 Comparación de variables curva de capacidad. Tubería 3 PVC, pozo PZ3. .	64
Tabla 7-12 Comparación de variables curva de capacidad. Tubería 4 PVC, pozo PZ4. .	65
Tabla 7-13 Comparación de variables curva de capacidad. Tubería 1 Gres, pozo PZ509.	66
Tabla 7-14 Comparación de variables curva de capacidad. Tubería 2 Gres, pozo PZ433.	67
Tabla 7-15 Comparación de variables curva de capacidad. Tubería 3 Gres, pozo PZ345.	68
Tabla 7-16 Comparación de variables curva de capacidad. Tubería 4 Gres, pozo PZ339.	69

LISTA DE ILUSTRACIONES.

Ilustración 4-1 Valoraciones de valor de n con el nivel medio o la profundidad. (2)	19
Ilustración 4-2. Solución grafica de la ecuación de G.K	22
Ilustración 6-1. Ubicación de la zona de estudio.	31
Ilustración 6-2 Pozo 1 PVC, PZ709.	32
Ilustración 6-3 Pozo 2 PVC, PZ292.	33
Ilustración 6-4 Pozo 3 PVC.	33
Ilustración 6-5 Pozo 4 PVC.	34
Ilustración 6-6 Pozo 1 Gres, PZ509	35
Ilustración 6-7 Pozo 2 Gres, PZ433.	35
Ilustración 6-8 Pozo 3 Gres, PZ345.	36
Ilustración 6-9 Pozo 4 Gres, PZ339.	37
Ilustración 6-10 Representación gráfica de las variables.....	40
Ilustración 6-11 Representación gráfica sección transversal.....	41

LISTA DE IMÁGENES

Imágenes 6-1 Campañas de monitoreo.	37
Imágenes 7-1. Tubería 1 PVC, pozo PZ709.....	43
Imágenes 7-2. Tubería 2 PVC, pozo PZ292.....	46
Imágenes 7-3.Tubería 3 PVC, pozo PZ3.....	48
Imágenes 7-4. Tubería 4 PVC, pozo PZ4.....	50
Imágenes 7-5.Tubería 1 Gres, pozo PZ509.	54
Imágenes 7-6. Tubería 2 Gres, pozo PZ433.....	56
Imágenes 7-7.Tubería 3 Gres, pozo PZ345.	58
Imágenes 7-8. Tubería 4 Gres, pozo PZ339.....	60

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 7-1 Coeficiente de rugosidad “n” de Manning VS tiempo. Tubería 1 PVC, Pozo PZ709.....	45
Gráfica 7-2 Coeficiente de rugosidad “n” de Manning VS tiempo. Tubería 2 PVC, pozo PZ292.....	47
Gráfica 7-3 Coeficiente de rugosidad “n” de Manning VS tiempo. Tubería 3 PVC, PZ. 50	
Gráfica 7-4 Representación gráfica del coeficiente de rugosidad “n” de Manning a través del tiempo. Tubería PVC, pozo 4, PZ	52
Gráfica 7-5 Coeficiente de rugosidad “n” de Manning VS tiempo. Tubería 1 Gres, pozo PZ509.....	55

Gráfica 7-6 Coeficiente de rugosidad “n” de Manning a través del tiempo. Tubería Gres, pozo 2, PZ433.....	57
Gráfica 7-7 Coeficiente de rugosidad “n” de Manning VS tiempo. Tubería 3 Gres, pozo PZ345.....	59
Gráfica 7-8 Coeficiente de rugosidad “n” de Manning VS tiempo. Tubería 4 Gres, pozo PZ339.....	61
Gráfica 7-9 Curva de Capacidad en relación con “n” teórico y práctico (máx y mín) Tubería 1 PVC, pozo PZ709.	62
Gráfica 7-10 Curva de Capacidad en relación con “n” teórico y práctico (máx y mín) Tubería 2 PVC, PZ292.	63
Gráfica 7-11 Curva de Capacidad en relación con “n” teórico y práctico (máx y mín) Tubería 3 PVC, PZ3.	64
Gráfica 7-12 Curva de Capacidad en relación con “n” teórico y práctico (máx y mín) Tubería 4 PVC, pozo PZ4.	65
Gráfica 7-13 Curva de Capacidad en relación con “n” teórico y práctico (máx y mín) Tubería 1 Gres, pozo PZ509.	66
Gráfica 7-14 Curva de Capacidad en relación con “n” teórico y práctico (máx y mín) Tubería 2 Gres, pozo PZ433	67
Gráfica 7-15 Curva de Capacidad en relación con “n” teórico y práctico (máx y mín) Tubería 3 Gres, pozo PZ345.	68
Gráfica 7-16 Curva de Capacidad en relación con “n” teórico y práctico (máx y mín) Tubería 4 Gres, pozo PZ339.	69

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 4-1	20
Ecuación 4-2	21
Ecuación 4-3	22
Ecuación 4-4	23
Ecuación 4-5	23
Ecuación 4-6	24
Ecuación 4-7	24
Ecuación 4-8	24
Ecuación 4-9	24
Ecuación 5-1	29
Ecuación 5-2	30
Ecuación 6-1	39
Ecuación 6-2	41
Ecuación 6-3	41
Ecuación 6-4	42

RESUMEN

El trabajo de investigación presenta la estimación del coeficiente de rugosidad “n” de Manning a partir del cálculo de caudales en tuberías de dos materiales diferentes, PVC y Gres, para el análisis de la afectación que determina variación en las condiciones hidráulicas de los conductos mencionados.

En primer lugar, se realizó una síntesis del coeficiente de rugosidad y las variables que se relacionan para su cálculo, para así realizar la formulación y las tablas necesarias para la presentación de resultados.

Posteriormente se determinaron los pozos a inspeccionar, se presentan 4 tuberías de PVC y 4 tuberías de Gres, distribuidas en el alcantarillado del municipio de Guaduas Cundinamarca. Se realizaron mediciones periódicamente, donde se realizó el cálculo del caudal, la altura de lámina de agua, pendiente y diámetro.

El resultado más importante de este proyecto es el establecimiento del coeficiente de rugosidad “n” Manning , que permitirá la realización de estudios específicos en tuberías de diferentes materiales y diámetros, y la influencia en este tipo de canales, ya que esto traduce pérdidas de carga, variación en las condiciones iniciales de diseño, costos adicionales, y esto debe tenerse en cuenta ya que forma parte esencial para comprender el comportamiento de forma experimental y el comportamiento del fluido.

1. GENERALIDADES

1.2. INTRODUCCIÓN

La rugosidad de las tuberías que se utilizan para grandes modelos u obras influye de manera positiva o negativa a la hora de ejecutar el proyecto que se va a realizar y que a su vez garantiza la eficiencia de dicho proyecto. El coeficiente de rugosidad de Manning se encarga de determinar el grado de resistencia que tiene un tipo de tubería o canal a la hora de transportar cualquier fluido, puesto que este coeficiente es una de las variables que más influyen en el comportamiento del modelo, de igual forma, el caudal también es un parámetro importante que se debe tener en cuenta, el cual se puede medir directamente o estimar mediante procedimientos indirectos.

Uno de los métodos más conocidos y de aplicación universal para estimar el caudal es la Ecuación de Manning, la cual se fundamenta en los parámetros de la sección hidráulica de la estructura de conducción y en la rugosidad de dicha sección. Los parámetros hidráulicos del cauce son el área, el perímetro mojado, el radio hidráulico y la pendiente hidráulica, cuyos valores son fáciles de determinar una vez que se ha definido el tipo de sección. De este modo, el parámetro que puede ser estimado es el coeficiente de rugosidad “n”, y el más difícil de establecer.

La normalización de los valores de la rugosidad de las tuberías para transporte de agua a presión se ha fijado tradicionalmente sin un apoyo experimental suficiente. Existe una gran diferencia de los valores de los parámetros representativos de la rugosidad. La rugosidad se ha considerado históricamente una constante asociada a un material e independientemente, por tanto, de las condiciones de flujo, el diámetro de la conducción y el tiempo en servicio de la tubería. (Isabel León Martín, 2013)

Por tal motivo se desea examinar de manera precisa cómo afecta el coeficiente de rugosidad en tuberías de dos materiales diferentes, realizando estudios en tuberías de PVC con instalación de aproximadamente ocho años y Gres con instalación aproximada de treinta años, teniendo en cuenta que para los diseños de un alcantarillado el coeficiente se determina por el tipo de material de la tubería que se va a utilizar.

En Guaduas- Cundinamarca las obras de drenaje se ejecutan utilizando tuberías de materiales de PVC y Gres, es así como este trabajo de investigación a través de distintos escenarios de instalación de tuberías desea revisar el comportamiento y afectación del coeficiente de rugosidad por medio de la ecuación de Manning.

Para lograr lo anterior, se realizaron varias mediciones de caudales, estas se llevaron a cabo mediante el método volumétrico puesto que es un método que aplica para tubería o canal abierto, teniendo en cuenta los parámetros que se mencionan anteriormente. De dicha forma se miden los caudales luego se usa la ecuación de Manning y se halla el coeficiente de rugosidad.

1.3. ANTECEDENTES

Se dan diferentes valores para coeficientes de rugosidad en el caso de canales naturales o artificiales respecto al perímetro de la sección transversal. Para hallar el coeficiente de rugosidad “ n ” se estiman diferentes métodos, entre esos métodos está el del Ex – Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (S.C.S.) (CHOW, 1994), renombrado como Servicio de Conservación de los Recursos Naturales (N.R.C.S.), este método tiene como objetivo principal calcular y estimar la magnitud del coeficiente de rugosidad “ n ” por medio de un básico tubulado el cual contiene una serie de notificaciones de acuerdo a las características del tramo que se está evaluando. (Mónica G. Osío Yépez, 2000)

El valor de “ n ” muchas veces se establece respecto a tablas elaboradas las cuales van acompañadas de fotografías que facilitan al diseñador la selección del valor más apropiado para las condiciones reales del canal mediante un proceso de similitud o comparación de las características del canal. (Mónica G. Osío Yépez, 2000)

Posteriormente, se han desarrollado investigaciones y aplicaciones para determinar el efecto de la vegetación en el coeficiente de rugosidad:

- En la **Universidad de Illinois**, en uno de los canales de drenaje se midió un valor promedio de n de 0,033 en marzo de 1925, cuando el canal estaba en buenas condiciones. En abril de 1926, había materiales de sauces y hierbas secas en los taludes laterales, y se encontró que n era de 0,055. Este incremento en el coeficiente n representa un año de crecimiento de vegetación. (CHOW, 1994)
- El problema de la resistencia al flujo de canal abierto fue reconocido como hecho importante por muchos ingenieros en los siglos XVIII y XIX. El trabajo de Chezy sobre la resistencia al flujo comenzó en 1768, a partir de un problema de ingeniería de dimensionar un canal para suministrar agua desde el río Yvette a París. (Sturm, 1985)
- **Fuentes y López (1979)** desarrollaron una base teórica que permite obtener el valor del coeficiente de rugosidad “ n ” para un tramo de canal. Este valor se obtiene llevando a cabo un proceso iterativo en la ecuación, y la mayor o menor exactitud dependerá del número de iteraciones y de pasos para calcular las integrales usadas. Esta expresión incluye términos como: pendiente del fondo del canal, pendiente de la línea de energía, el coeficiente de Manning “ n ”, el número de Froude y las profundidades correspondientes a los extremos del tramo de canal seleccionado. En la expresión final intervienen variables como el factor de fricción de Darcy-Weisbach, el factor de fricción del flujo sobre una lámina de lecho inmóvil y el tamaño mediano de las partículas del material del lecho. Esta ecuación, expresada en unidades inglesas o métricas, suministra un procedimiento que relaciona la rugosidad en el flujo con el tamaño del sedimento y con el régimen del lecho en el marco de la ecuación de Manning. (Mónica G. Osío Yépez, 2000)

- **(Karim, 1990)**. Existen otras expresiones que permiten calcular el valor de “n”, tal como la que se origina al relacionar la descarga de sedimento y las relaciones de velocidad. (Mónica G. Osío Yépez, 2000)

1.4. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Entre todos los recursos naturales, el más importante para el bienestar de la humanidad es el agua. Durante milenios constituyó un patrimonio enteramente disponible del que los habitantes de la Tierra se servían despreocupadamente. Con el progreso surgieron los agrupamientos urbanos, cuyas múltiples actividades cada día exigen mayor cantidad de agua. El abastecimiento para suplir esta necesidad, se vuelve en extremo complejo e implica factores técnicos, sociales, económicos, legales y políticos administrativos. En muchas ocasiones, el problema no se limita solamente al aprovisionamiento del agua para uso doméstico e industrial, sino que se extiende a la agricultura y a la ganadería, las que dependen de la cantidad y distribución. (Ruiz, 2008)

La recolección para el sistema de drenaje de agua en los alcantarillados viene siendo uno de los problemas con más atención a nivel mundial, para el cálculo del caudal que puede transportar una tubería, es imprescindible establecer un valor del coeficiente de rugosidad. Cuanto menor sea este valor, mayor será la capacidad hidráulica de la tubería y, por tanto, mayor el volumen de fluido que ésta podrá conducir. Fijar un valor demasiado conservador supone sobredimensionar la tubería mientras que si ese valor es inferior al real puede ocasionar un resultado deficiente en el servicio de la misma (ANDECE). La modelación hidráulica como una herramienta que permite representar de una manera simplificada el complejo funcionamiento de la naturaleza, aplica los conceptos de la mecánica de fluidos para elaborar el modelo y verificar si los resultados se ajustan a la realidad antes de construir cualquier estructura hidráulica. La n de Manning es uno de los parámetros más importantes y necesarios en cualquier modelo hidráulico, por lo tanto, este valor debe ser determinado adecuadamente para obtener resultados satisfactorios. Un error del 10% en la n implica un error similar en la velocidad o gasto. (Martínez, 2013)

La mayor dificultad en la aplicación de la Ecuación de Manning para estimar el caudal de una corriente está en la determinación del coeficiente de rugosidad "n", ya que no existe ningún método exacto para la selección de éste término. Seleccionar un valor de "n" significa estimar la resistencia al flujo en un canal determinado. (Mónica G. Osío Yépez, 2000)

La responsabilidad del control y distribución de las aguas normalmente compete a los gobiernos y las comunidades, pero los aspectos técnicos de estas actividades encajan dentro de las responsabilidades del ingeniero civil. Le corresponde entre otras cosas, proyectar, diseñar, construir y administrar las obras relacionadas con ríos, canales, presas,

sistemas de irrigación y drenaje, redes de abastecimiento de agua, alcantarillado pluvial y sanitario; en realidad, él es el ingeniero por excelencia del ambiente. (Ruiz, 2008)

1.5. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

La respuesta definitiva de esta investigación tendrá resultado el análisis para la determinación de la afectación del coeficiente “n” de Manning que conducirá a establecer:

¿Cómo cambian con el tiempo, los coeficientes de rugosidad de diferentes tuberías de un sistema de alcantarillado y como se afecta las características hidráulicas de un flujo libre?

2. OBJETIVOS

2.2. OBJETIVO GENERAL

Determinar la variación temporal del coeficiente de rugosidad de Manning para tuberías de distintos materiales (Gres y PVC), en el alcantarillado combinado del municipio de Guaduas-Cundinamarca.

2.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar las mediciones de las variables necesarias para la estimación del coeficiente de rugosidad de Manning.
- Determinar los valores de “n” para las tuberías seleccionadas en las fechas de aforo estipuladas.
- Comparar los resultados con los valores teóricos asociados al diseño de sistemas de alcantarillado a flujo libre.
- Establecer el efecto que presenta la variación del coeficiente en la capacidad hidráulica de los conductos evaluados.

3. JUSTIFICACIÓN

El agua es uno de los recursos más importantes y abundantes ya que es necesaria para la satisfacción y las necesidades del ser humano en las distintas aplicaciones como el consumo doméstico, publico, agrícola, industrial, entre otros. De dicha forma también es un recurso descuidado y desperdiciado, sumándole el poco tratamiento que se le da una vez que es utilizado, transportando consigo una infinidad de materiales, sustancias, residuos, microorganismos y otros agentes contaminantes que disminuyen la calidad del agua. *“La mayoría de las ciudades tratan el agua residual recogida a través de la red alcantarillado*

por eso es que se debe tener en cuenta la rugosidad que tiene el tipo de tubería que maneja dicho alcantarillado, para determinar la velocidad o presión con la que llega a ser distribuida en la red de alcantarillado” (AMÍLCAR, 2008). Un agua residual tiene principalmente materia orgánica, aparte de las cantidades de objetos que las suelen verter a los desagües. Teniendo así la necesidad y obligación de establecer diferentes actuaciones sobre el agua y sobre el medio en el cual es transportada. (Echarri, 2007)

Así, la ecuación de Manning se profundiza en el conocimiento de los coeficientes de rugosidad de conducciones de alcantarillados de agua en servicio como resultados preliminares en función de la velocidad en la red, puesto que se asume que la rugosidad es una constante que depende exclusivamente del material de la conducción. (Isabel León Martín, 2013).

La reducción de la capacidad hidráulica en un alcantarillado afecta directamente a la tubería, debido al aumento del coeficiente de rugosidad “n” de Manning y por tal motivo se reduce la capacidad de caudal que circula en ella, generando así posibles remansos y diferentes fenómenos hidráulicos.

Adicionalmente, no se encontraron estudios de la afectación y variación determinación del coeficiente de rugosidad para tuberías de material PVC y material de Gres en alcantarillados existentes, se han realizado pruebas en laboratorios con tuberías NOVAFORT para determinar dicho coeficiente y tener valores estimados para la instalación de tuberías en distintas obras hidráulicas. Por tal motivo dicha investigación influye positivamente en un análisis determinativo de la influencia de esta variable a través del tiempo en los alcantarillados y su comportamiento hidráulico.

3.2. DELIMITACIÓN

3.2.1. ALCANCES

Según lo planteado dentro la investigación se estimó una labor de cuatro (4) meses para el desarrollo del trabajo de investigación esto con el fin de presentar los resultados y análisis de la afectación del coeficiente de rugosidad “n” de Manning y así mismo determinar la importancia de la influencia de esta variable en las tuberías de diferentes materiales y a lo largo del tiempo, con el fin de que esta investigación sea utilizada por la Universidad Católica de Colombia para la formación universitaria y el desarrollo a través de la investigación. Por otro lado, el alcance es también demostrar como varía el coeficiente de rugosidad “n” en el alcantarillado del municipio de Guaduas- Cundinamarca, el cual es un alcantarillado sanitario con antigüedad de más de 30 años y algunos sectores con alcantarillado nuevo, debido a la construcción de nuevas viviendas, el alcantarillado a trabajar cuenta con tuberías de distintos tipos de materiales.

3.2.2. LIMITACIONES

La principal limitación para la elaboración de este trabajo de investigación, fue el lapso de tiempo limitado con el que se contó para el desarrollo de este, ya que se realizaron varias mediciones de caudales en el transcurso de un mes.

- Periodo de recolección de datos.
- El sistema de alcantarillado de la Empresa de Servicios Públicos de Guaduas S.A. E.S.P. Aguas del Capira S.A. E.S.P., presenta las siguientes condiciones de prestación del servicio para alcantarillado sanitario y pluvial, según lo registrado por la empresa en el SUI para el año 2011. Sin embargo, esta información no está disponible para el año 2019.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.2. MARCO TEÓRICO.

4.2.1. COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING

El Coeficiente de rugosidad de Manning, valor n es una medida de la resistencia fraccional. Ejercido por un canal sobre el flujo. El valor del coeficiente también puede reflejar otras pérdidas de energía, tales como los que resultan del flujo inestable, la turbulencia extrema y el transporte de material suspendido y escombros, que son difíciles o imposibles de aislar y cuantificar. (COON, 1998)

4.2.2. LA ECUACION DE MANNING

El ingeniero francés Antoine de Chézy, conocido internacionalmente por su contribución a la hidráulica de los canales abiertos, desarrolla la primera fórmula de fricción que se conoce y fue presentada en 1769. La fórmula permite obtener la velocidad media en la sección de un canal donde se establece que v , siendo la velocidad media del agua en m/s, el radio hidráulico en metros, la pendiente longitudinal de la solera o fondo del canal en m/m y el coeficiente de Chézy.

En el año 1889, el ingeniero irlandés Robert Manning, presentó por primera vez la ecuación durante la lectura de un artículo en una reunión del Institute of Civil Engineers de Irlanda. El artículo fue publicado más adelante en Transactions, del Instituto. La ecuación en principio fue dada en una forma complicada y luego simplificada a $V = C * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$, donde V es la velocidad media, C el factor de resistencia al flujo, R el radio hidráulico y S la pendiente longitudinal. Esta fue modificada posteriormente por otros autores y expresada en unidades métricas como $V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$ (siendo n el coeficiente de rugosidad Manning). Más tarde, fue convertida otra vez en unidades inglesas, resultando en $V = \frac{1,486}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$. (CHOW, 1994)

La ecuación de Manning es el resultado del proceso de un ajuste de curvas, y por tanto es completamente empírica en su naturaleza. Debido a su simplicidad de forma y a los resultados satisfactorios que arroja para aplicaciones prácticas, la fórmula Manning se ha hecho la más usada de todas las fórmulas de flujo uniforme para cálculos de escurrimiento en canal abierto. (CHOW, 1994)

Para calcular entonces el coeficiente de rugosidad n se dispone de tablas (como la publicada por el U.S Department of Agriculture en 1955; Chow, 1959) y una serie de fotografías que muestran valores típicos del coeficiente n para un determinado tipo de canal (Ramser, 1929 y Scobey, 1939).

4.2.2.1. SELECCIÓN DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING

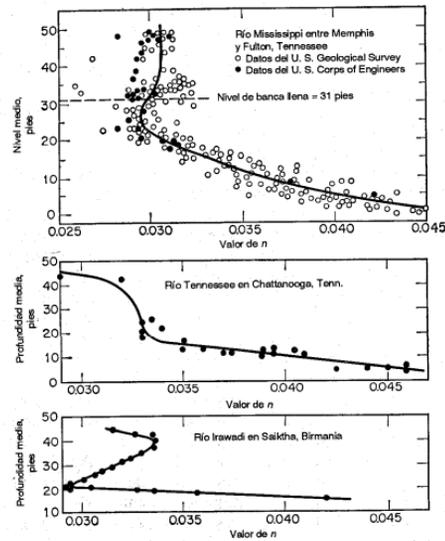
Seleccionar un valor de n significa estimar la resistencia al flujo en un canal determinado, para determinar correctamente el coeficiente de rugosidad se estudian 4 enfoques:

1. Entender los factores que afectan el valor de n con el fin de adquirir el conocimiento básico del problema o de la situación a presentar y así disminuir el rango de incertidumbre.
2. Consultar una tabla de valores comunes de n para canales de diferentes tipos.
3. Tener discernimiento de algunos canales comunes cuyos coeficientes de rugosidad se conocen.
4. Determinar el valor de n mediante un procedimiento analítico basado en la distribución de velocidades teóricas en la sección transversal de un canal y en los datos de medición de velocidad o de rugosidad. (CHOW, 1994)

4.2.2.2. TAMAÑO Y FORMA DEL CANAL

Un incremento en el radio hidráulico puede aumentar o disminuir el coeficiente " n ", según la condición del canal.

Ilustración 4-1 Valoraciones de valor de n con el nivel medio o la profundidad. (2)



Fuente: Tomada del libro *Hidráulica de canales abiertos* (Ven te Chow)

4.2.2.3. NIVEL Y CAUDAL.

Cuando el agua es poco profunda, las irregularidades del fondo del canal quedan expuestas y sus efectos se vuelven pronunciados, pero el valor de n puede ser grande en niveles altos si las bancas están cubiertas por pastos o son rugosas. El valor n para planicies de inundación es mayor que el del canal y su magnitud depende de la vegetación o de la condición superficial. En las planicies de inundación el valor de n varía con el nivel de sumergencia de la vegetación correspondiente a niveles bajos. En la tabla 4-1 se pueden evidenciar valores de n para varios niveles de inundación, un claro ejemplo es en el río **Nishnabotna, en Iowa**, para la estación de crecimiento promedio. (CHOW, 1994)

Tabla 4-1 Valores de n para varios niveles en el río Nishnabotna, Iowa, para la estación de crecimiento promedio.

Profundidad de agua, pies	Sección del canal	Cubierta de la planicie de inundación				
		Maíz	Pastos	Vegas	Pastos de grano	Maleza y basuras
Por debajo de 1	0.03	0.06	0.05	0.10	0.10	0.12
1 a 2	0.03	0.06	0.05	0.08	0.09	0.11
2 a 3	0.03	0.07	0.04	0.07	0.08	0.10
3 a 4	0.03	0.07	0.04	0.06	0.07	0.09
Por encima de 4	0.03	0.06	0.04	0.05	0.06	0.08

Fuente: Tomada del libro *Hidráulica de canales abiertos* (Ven te Chow)

4.2.2.4. CAMBIO ESTACIONAL

El valor de n puede variar ya sea aumentando en la estación de crecimiento y disminuyendo en la estación inactiva, esta variación se da por el crecimiento estacional de plantas acuáticas, hierbas, malezas, sauces y árboles en el canal o en las bancas. (CHOW, 1994)

4.2.2.5. MATERIAL EN SUSPENSIÓN Y CARGA DE LECHO

Consumirá energía y causará una pérdida de altura e incrementará la rugosidad aparente del canal, todos estos factores deben estudiarse y evaluarse con respecto a las condiciones relacionadas con el tipo de canal y así se determina el valor de n , con una guía general para la escogencia, debe aceptarse que las condiciones que tiendan a inducir turbulencia y a causar retardo incrementarán el valor de n , y aquellas que tiendan a reducir la turbulencia y el retardo disminuirán de n . (CHOW, 1994)

Cowan desarrolló un procedimiento para estimar el valor de n , calculándose así:

Ecuación 4-1

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m_5$$

Fuente: Tomada del libro Hidráulica de canales abiertos (Ven te Chow)

n_0 Es un valor básico de n para un canal recto, uniforme y liso en los materiales naturales involucrados, n_1 es un valor que debe agregarse al n_0 para corregir el efecto de las rugosidades superficiales, n_2 es un valor para considerar las variaciones en forma y tamaño de la sección transversal del canal, n_3 es un valor para considerar las obstrucciones, n_4 es un valor para considerar la vegetación y las condiciones de flujo, y m_5 es un factor de corrección de los efectos por meandros en el canal. Los valores apropiados de n_0 a n_4 y m_5 pueden seleccionarse en la tabla 4-2, de acuerdo con las condiciones dadas. (CHOW, 1994)

Tabla 4-2 Valores para el cálculo del coeficiente de rigurosidad.

Condiciones del canal		Valores	
Material involucrado	Tierra	n_0	0.020
	Corte en roca		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
Grado de irregularidad	Suave	n_1	0.000
	Menor		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variaciones de la sección transversal	Gradual	n_2	0.000
	Ocasionalmente alternante		0.005
	Frecuentemente alternante		0.010-0.015
Efecto relativo de las obstrucciones	Insignificante	n_3	0.000
	Menor		0.010-0.015
	Apreciable		0.020-0.030
	Severo		0.040-0.060
Vegetación	Baja	n_4	0.005-0.010
	Media		0.010-0.025
	Alta		0.025-0.050
	Muy alta		0.050-0.100
Grado de los efectos por meandros	Menor	m_5	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

Fuente: Tomada del libro *Hidráulica de canales abiertos* (Ven te Chow)

4.3. MARCO CONCEPTUAL

Como marco conceptual podemos tener en cuenta una serie de conceptos y definiciones que nos son de gran ayuda para el procedimiento que se utilizará en la investigación que se está realizando. En general, son ideas básicas que forman la base para los argumentos y la metodología que se va a desarrollar. (Albaladejo, 2010)

4.3.1. ECUACIÓN DE CHEZY

El ingeniero francés Antoine Chézy en 1769 desarrollaba la primera ecuación de flujo uniforme, dicha ecuación se expresa de la siguiente manera:

Ecuación 4-2

$$V = C\sqrt{RS}$$

Fuente: Tomada del libro *Hidráulica de canales abiertos* (Ven te Chow)

Donde V es la velocidad media que se expresa en pies/s, R es el radio hidráulico en pies, S es la pendiente de la línea de energía y C es un factor de resistencia al flujo, el cual se conoce como C de Chézy. (CHOW, 1994)

Esta ecuación se da a partir de so suposiciones, la primera fue hecha por Chézy, establece la fuerza que resiste al flujo, siendo esta fuerza igual a KV^2 , donde K es una constante de proporcionalidad. La segunda suposición es el principio básico del flujo uniforme, este establece que en el flujo uniforme la componente efectiva de la fuerza gravitacional que causa el flujo debe ser igual a la fuerza total de resistencia. (CHOW, 1994)

4.3.2. CÁLCULO DEL FACTOR DE RESISTENCIA DE CHÉZY

Este cálculo se realiza mediante tres ecuaciones, la primera ecuación es *la ecuación de G.K.* que expresa el valor de C en términos de la pendiente S , el radio hidráulico R y el coeficiente de rugosidad n . En unidades inglesas, la ecuación es:

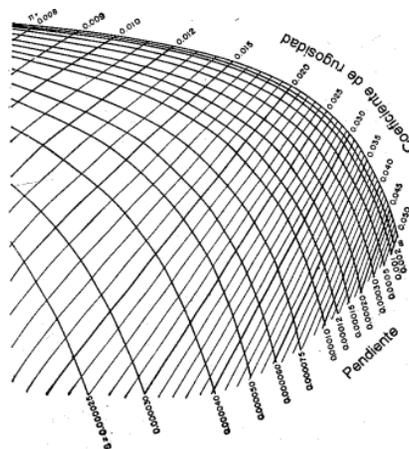
Ecuación 4-3

$$C = \frac{41,65 + \frac{0,00281}{S} + \frac{1.811}{n}}{1 + (41,65 + \frac{0,00281}{S}) \frac{n}{\sqrt{R}}}$$

Fuente: Tomada del libro *Hidráulica de canales abiertos* (Ven te Chow)

El coeficiente n de la ecuación mencionada anteriormente se conoce como n de Kutter. (CHOW, 1994)

Ilustración 4-2. Solución grafica de la ecuación de G.K



Fuente: Tomada del libro *Hidráulica de canales abiertos* (Ven te Chow)

Para encontrar C cuando se conoce R, S y n : una recta que une el valor de R en el eje de las abscisas con el punto donde la curva de pendiente S intersecta la línea n indicará el valor de C en el eje de las ordenadas y para encontrar n cuando se conoce C, R y S : una línea recta desde R en el eje de las abscisas, hasta C en el eje de las ordenadas, llegando hasta la curva de pendiente S , indicara encima de sí misma el valor de n . (CHOW, 1994)

4.3.2.1. LA ECUACIÓN DE MANNING

El ingeniero Robert Manning presentó una ecuación el 4 de diciembre de 1889 en una reunión del Institute of Civil Engineers de Irlanda. Dicha ecuación fue simplificada a $V = CR^2/S^{1/2}$ donde V es la velocidad media, C es el factor de resistencia al flujo, R es el radio hidráulico y S es la pendiente. Actualmente está dada por la siguiente expresión: (CHOW, 1994)

Ecuación 4-4

$$V = \frac{1.49}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

Fuente: Tomada del libro Hidráulica de canales abiertos (Ven te Chow)

4.3.2.2. EXPRESIONES DE LA FÓRMULA DE MANNING

La expresión más simple de la fórmula de Manning se refiere al coeficiente de Chézy:

Ecuación 4-5

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

Fuente: Tomada de Chambilla, Cristian. Academia.edu. *Formula de Manning*

De donde, por substitución en la fórmula de Chézy $V(h) = C\sqrt{R(h) * S}$, se deduce su forma más habitual: $V(h) = \frac{1}{n} R(h)^{2/3} \sqrt{S}$ ó $Q(h) = \frac{1}{n} AR(h)^{2/3} \sqrt{S}$ (12)

Siendo:

- C = coeficiente de rugosidad que se aplica en la fórmula de Chézy
 $V(h) = C\sqrt{R(h) * S}$ CITATION Cri19 \l 3082 (12)
- $R(h)$ = radio hidráulico, en m, función del tirante hidráulico
- n , es un parámetro que depende de la rugosidad dela pared
- $V(h)$ = velocidad media del agua en m/s, que es función del tirante hidráulico h
- S = la pendiente de la línea de agua en m/m
- A = área de la sección del flujo de agua

- Q (h) = Caudal del agua en m³/s (Chambilla)

También se puede escribir de la siguiente forma (usando el Sistema Internacional de Unidades):

Ecuación 4-6

$$V(h) = \frac{1}{n} * \left(\frac{A(h)}{P(h)} \right)^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ó}$$

Ecuación 4-7

$$Q(h) = \frac{1}{n} * \frac{A(h)^{\frac{5}{3}}}{B(h)^{\frac{2}{3}}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Fuente: Tomada de Chambilla, Cristian. Academia.edu. *Formula de Manning*

Siendo:

- A(h)= Área mojada (área de la sección del flujo de agua), en m², función del tirante hidráulico h
- P(h)=Perímetro mojado en m, función del tirante hidráulico h
- n= Un parámetro que depende de la rugosidad dela pared, su valor varía entre 0,01 para paredes muy pulidas (p.e., plástico) y 0,06 para ríos con fondo muy irregular y con vegetación.
- V(h)= Velocidad media del agua en m/s, que es función del tirante hidráulico h
- Q(h)= Caudal del agua en m³/s, en función del tirante hidráulico h
- S= la pendiente de la línea de agua en m/m

Para el sistema unitario anglosajón

Ecuación 4-8

$$V(h) = \frac{1.486}{n} * \left(\frac{A(h)}{P(h)} \right)^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Ecuación 4-9

$$Q(h) = \frac{1.486}{n} * \frac{A(h)^{\frac{5}{3}}}{P(h)^{\frac{2}{3}}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Fuente: Tomada de Chambilla, Cristian. Academia.edu. *Formula de Manning*

Siendo:

- $A(h)$ = Área mojada, en pies², función del tirante hidráulico h
- $P(h)$ = Perímetro mojado, en pies, función del tirante hidráulico h
- n = Un parámetro que depende de la rugosidad de la pared
- $V(h)$ = Velocidad media del agua en pies/s, que es función del tirante hidráulico h
- $Q(h)$ = Caudal del agua en pies³/s, en función del tirante hidráulico h
- S = la pendiente de la línea de agua en pies/pies
(Chambilla)

4.3.2.3. VALORES RECOMENDADOS DEL COEFICIENTE DE MANNING

La siguiente tabla muestra los valores recomendados del coeficiente “ n ” de Manning por la ACPA (American Concrete Pipe Association), para distintos materiales, indicando la diferencia entre los valores del laboratorio y los valores recomendados para el diseño y proyecto. (ANDECE)

Tabla 4-3. Valores recomendados para el coeficiente de Manning

Tuberías	“ n ” laboratorio	“ n ” diseño recomendada
Hormigón	0,009 – 0,011	Red alcantarillado: 0,011-0,012 Red A. residual: 0,012-0,013
HDPE	0.009 – 0,015	Red alcantarillado: 0,012-0,020
PVC	0.009 – 0,011	Red alcantarillado / Red A. residual: 0,011-0,013
Corrugada	0.012- 0,030	0,021 – 0,029

Fuente: Tomado de Cálculo hidráulico en sistemas de saneamiento. Coeficiente de rugosidad

El “Boletín oficial de Navarra - Número 36” establece el uso de un coeficiente $n = 0,014$ independientemente del material:

“II.7. Criterios de cálculo de las redes.

- El cálculo hidráulico de las conducciones de saneamiento, se realizará mediante la fórmula de MANNING.
- Se tomará como coeficiente de rugosidad, $n = 0,014$, independientemente del material de las tuberías de saneamiento proyectadas”

En las “Normas para Redes de Saneamiento del Canal de Isabel II (Versión 2006)” encontramos el siguiente texto:

“IV.2 Dimensionamiento hidráulico

En cualquier caso, para el pre dimensionamiento de una acometida en función del caudal a evacuar por la misma, y en ausencia de cálculos justificativos, podrán

utilizarse los valores de la tabla adjunta, los cuales han sido obtenidos por aplicación de la fórmula de Manning para las pendientes del 2, 3 y 4%, una rugosidad del 0,015 y un llenado de la sección del 75% (ver artículo III.5.1). (ANDECE)

Tabla 4-4. Redimensionamiento de acometidas.

DN (mm)	Pendiente 2%		Pendiente 3%		Pendiente 4%	
	Q (l/s)	v (m/s)	Q (l/s)	v (m/s)	Q (l/s)	v (m/s)
300	108	1,90	132	2,33	153	2,69
350	163	2,11	200	2,58	231	2,98
400	233	2,30	285	2,82	329	3,26
450	319	2,49	390	3,05	451	3,52
500	422	2,67	517	3,27	597	3,78
600	686	3,02	840	3,69	970	4,27
700	1.035	3,34	1.268	4,09	1.464	4,73
800	1.478	3,65	1.810	4,48	2.090	5,17

Fuente: Tomado de Cálculo hidráulico en sistemas de saneamiento. Coeficiente de rugosidad

4.3.2.4. TIPOS DE FLUJO

Un flujo es una sustancia que no presenta esfuerzo cortante, si en algún caso se llega a presentar puede causar deformación en el fluido. En general, el flujo es el movimiento de un fluido generalmente ubicado en un contorno sólido. (Saldarriaga, 2008)

El flujo en una tubería, se puede determinar mediante las siguientes características físicas:

- Desplazamiento de una partícula de fluido.
- Velocidad de una partícula de fluido en un punto del campo de flujo.
- Aceleración de una partícula de fluido en un punto del campo de flujo. (Saldarriaga, 2008)

Se presentan los tipos de flujo, según Saldarriaga, en Hidráulica de tuberías, 2008.

4.3.2.4.1. FLUJO UNIFORME PERMANENTE

Ninguna de las características del flujo (presión y velocidad) varían en el espacio o el tiempo.

4.3.2.4.2. FLUJO UNIFORME NO PERMANENTE

Las características no varían con el espacio, pero si con el tiempo, es muy difícil encontrar este tipo de flujo en la naturaleza debido a que todos los cambios tendrían que ocurrir en forma similar a todo lo largo de la tubería.

4.3.2.4.3. FLUJO VARIADO PERMANENTE

Las características de flujo varían con el espacio, pero no con el tiempo.

4.3.2.4.4. FLUJO VARIADO NO PERMANENTE

Las características del flujo varían con el espacio y con el tiempo.

4.3.3. FACTORES QUE AFECTAN EL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD

El valor n es muy variable y depende de un cierto número de factores, estos factores ejercen mayor influencia sobre el coeficiente de rugosidad tanto en canales artificiales como en canales naturales.

A continuación, se profundizarán los diferentes factores que influyen y afectan el coeficiente de rugosidad de Manning, encontrados en Hidráulica de canales abiertos, Ven Te Chow, 1994.

4.3.3.1. RUGOSIDAD SUPERFICIAL

La rugosidad superficial se presenta por la forma y tamaño de los granos del material que forman el perímetro mojado y que producen un efecto retardado del flujo, esto se considera como el único factor para la selección del coeficiente de rugosidad, pero se estudiaron otros factores para tener mejor precisión a la hora de dicha selección.

En general, los granos finos dan como resultado un valor bajo de n y los granos gruesos un valor alto de n .

4.3.3.2. VEGETACIÓN

La vegetación reduce de manera notable la capacidad del canal y retarda el flujo. Este efecto depende de la altura, la densidad, la distribución y del tipo de vegetación siendo muy importante para el diseño de pequeños canales de drenaje.

4.3.3.3. IRREGULARIDAD DEL CANAL

Estas irregularidades influyen en el perímetro mojado y variaciones en la sección transversal, tamaño y forma de esta a lo largo del canal, en canales naturales las irregularidades son producidas por la presencia de barras de arena, ondas de arena, crestas, depresiones, fosos y montículos en el lecho del canal. Un cambio gradual y uniforme en la sección transversal o en su tamaño y forma no produce efectos apreciables en el valor de n , pero estos cambios si pueden necesitar el uso de un valor grande de n cuando hay alteraciones pequeñas o grandes.

4.3.3.4. ALINEAMIENTO DEL CANAL

Los valores bajos de n se producen gracias a las curvas grandes con radios grandes y el incremento del coeficiente n será por curvas bruscas con meandros severos, se realizan pruebas de laboratorio en canaletas y se sugirió que el valor de n incrementara en 0,001 por cada 20 grados de curvatura en 100 pies de canal. Cuando la curvatura puede inducir la acumulación de material flotante el valor de n , puede llegar a aumentar en más de 0,002 o 0,003, en general un aumento de 0,002 en el valor de n constituye una provisión adecuada para la perdida de curvas en la mayor parte de las canaletas que contengan curvaturas pronunciadas sin importar que estén construidos en concreto o en otros materiales.

4.3.3.5. SEDIMENTACIÓN Y SOCAVACIÓN.

La sedimentación depende de la naturaleza del material depositado como barras de arena y ondulaciones de arena, estas irregularidades pueden causar incremento en la rugosidad y puede cambiar un canal muy irregular en un canal relativamente uniforme y de tal manera disminuir el coeficiente n , mientras que la socavación puede hacer lo contrario e incrementar el coeficiente n y esta dependerá del material que conforma el perímetro mojado.

4.3.3.6. OBSTRUCCIÓN.

La presencia de troncos, pilas de puentes y estructuras similares tiende a incrementar el coeficiente n este aumento depende de las obstrucciones, de la naturaleza, de su tamaño, forma, número y distribución.

5. ESTADO DEL ARTE

En el transcurso del tiempo se han desarrollado diferentes investigaciones y estudios acerca del coeficiente de rugosidad n de la ecuación de Manning y cómo afecta esta variable en canales o grandes obras que abarcan diversas áreas de la ingeniería. A continuación, se resaltan alguna de ellas:

- En la **Revista Brasileña de Ingeniería Agrícola y Ambiental** realiza una investigación para desarrollar un estudio acerca de la afectación que tiene el coeficiente de rugosidad de Manning para periodos de caudal mínimo y máxima media mensual, en algunos tramos del río Paracatu a partir de la teoría de flujo en canales abiertos puesto que el coeficiente de rugosidad de Manning es uno de los principales parámetros para descripción del caudal sobre una superficie.

El grupo de investigación propone un modelo basado en: “redes neuronales artificiales para estimar el coeficiente de rugosidad”. Dicho coeficiente fue determinado a partir de las características geométricas del canal (área mojada, radio

hidráulico y declividad del canal). Se utilizaron datos de caudal de 21 años (1976-1996), las características del lecho del río influyen en gran parte en los valores de coeficiente de rugosidad. De tal forma el modelo propuesto basado en red neuronal presentó desempeño satisfactorio, lo que puede llegar a estimar el coeficiente de rugosidad en función de la cota, caudal, la declividad y el radio hidráulico del río. (Manning roughness coefficient for Paracatu river, 2010)

➤ **Influencia del método de estimación en el coeficiente de Manning para cauces naturales.**

En dicha investigación se calculó la n de Manning empleando diferentes métodos aplicando cada uno en una sección transversal del río Yanuncay en la ciudad de Cuenca, Ecuador. Concluyendo que el método de las velocidades es el que más se acercaría a un valor real, ya que es menos subjetivo que los otros que basan su cálculo en tablas o fotografías, el método de las velocidades trata y calcula flujos turbulentos e hidráulicamente rugosos con una distribución de velocidades logarítmica, permite obtener el coeficiente de resistencia a través de la velocidad media a diferentes profundidades, aplicando la siguiente ecuación:

Ecuación 5-1

$$n = \frac{(X - 1) * d^{\frac{1}{5}}}{5,57 * (X + 0,95)}$$

Fuente: Tomada de Influencia del método de estimación en el coeficiente de Manning. INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL. 2018

Dónde: d : es la profundidad total del flujo en la sección considerada en metros, $X=V_{0,2}/V_{0,8}$: es la relación entre las velocidades del flujo, $V_{0,2}$ es la velocidad a 0,2 d de profundidad a partir de la superficie del agua (a 0,8 d desde el fondo), $V_{0,8}$ es la velocidad a 0,8 d de profundidad a partir de la superficie del agua (a 0,2 d desde el fondo).

Se consideró la variación de la resistencia al flujo tanto en ancho como en profundidad de la sección transversal del río y así se realizaron varios ensayos con diferentes caudales en la misma sección teniendo en cuenta la variación de la n de Manning como consecuencia del flujo que escurre en la sección estudiada. (Carlos Javier Fernández de Córdova Webster, 2018)

- **El efecto de la vegetación flexible sobre el flujo en los canales de drenaje: estimación de Coeficientes de rugosidad a escala real.**

Esta investigación se desarrolló hacia la implementación de una campaña a lo largo de un tramo de un canal de drenaje, teniendo como propósito la estimación de los coeficientes de rugosidad de los canales con vegetación a escala real para diferentes escenarios de gestión.

Dicha investigación se realizó a partir de tres escenarios: un escenario con presupuesto completo, una eliminación parcial y la eliminación total tradicional, teniendo como medio principal un área agrícola donde se llevó a cabo el estudio mencionado. La distribución de la vegetación y la morfología del canal fueron determinadas para modelaciones; cuatro descargas crecientes que fueron controladas por un sistema de bombeo hasta las condiciones bancarias monitoreando parámetros hidráulicos y midiendo las características del flujo entre secciones transversales, los coeficientes de rugosidad se hallaron mediante la fórmula de Manning:

Ecuación 5-2

$$C = \frac{1}{n} R_m^{\frac{1}{6}}$$

Fuente: Tomada *The effect of flexible vegetation on flow in drainage channels: Estimation of. Engineering, Ecological*

Los resultados muestran como la presencia de vegetación sin perturbaciones aumentan significativamente los niveles de agua, por tal motivo aumentan las inundaciones, al contrario, la resistencia al flujo disminuyó para aumentar la velocidad y se lleva un efecto considerable para la reconfiguración de las plantas y así tener un manejo más enfocado de canal de drenaje, apoyando la reducción del impacto ecológico sobre las comunidades acuáticas. (The effect of flexible vegetation on flow in drainage channels: Estimation of, 2018)

- ***Determinación del coeficiente de Manning de tubería de alcantarillado NOVAFORT de 200 mm de diámetro.***

El estudio sobre la determinación de la rugosidad en tuberías de alcantarillado NOVAFORT de la empresa PAVCO S.A; forma parte de los proyectos de investigación que desarrolla el Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados de la Universidad de los Andes a través de la cátedra PAVCO, para el año 2007 y 2008.

Se realizaron pruebas de laboratorios experimentales con tuberías de material NOVAFORT de 200 mm de diámetro teniendo resultados del Coeficiente de Manning

para diseño de aproximadamente 0,0086, siendo este coeficiente de Manning valido para valores superiores a 1.15 L/S. en dichas pruebas se realizaron comprobaciones para caudales de hasta 21 L/S. El rango del Coeficiente de Manning utilizado para los análisis y las pruebas realizadas fueron de 0,006 a 0,014. (Alcantarillados., 2007-2008)

6. METODOLOGÍA

El proceso para llevar a cabo esta investigación se basó en diferentes etapas con el fin de determinar los parámetros y variables necesarias para la determinación del coeficiente de rugosidad “n” Manning para los dos tipos de tuberías seleccionados.

6.1. DEFINICIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio, se encuentra ubicada en Guaduas, municipio del departamento de Cundinamarca, Colombia, y forma parte de la provincia del Bajo Magdalena, de la que es capital. (Ver ilustración 6-1).

Se decidió la realización de este estudio por las características del sistema de alcantarillado ya que, está formado por una red de tuberías de dos tipos de material. El sistema recoge y transporta por la misma tubería aguas sanitarias (líquidos y residuos sólidos provenientes de residencias, espacios comerciales, espacios industriales, etc.) y aguas superficiales/pluviales. Además, los permisos y recolección de información fueron facilitados por la empresa Aguas del Capira S.A. E.S.P. otorgando confianza para la realización de este proyecto.

Ilustración 6-1. Ubicación de la zona de estudio.



Fuente: Planta General Red de Alcantarillado Sanitario Proyectado

6.1.1. RED DE ALCANTARILLADO

El municipio cuenta con la red de alcantarillado llamado Colector La Pola, este atraviesa el municipio y llega al Río San Francisco. Este colector recoge las aguas residuales de aproximadamente el 53.4 % de la Población urbana y es Mixto.

Las demás redes están localizadas en varios sectores, cuyos desagües van directamente al río San Francisco.

6.2. REVISIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

Por medio de la planimetría adquirida por la empresa Aguas del Capira S.A (Planta General Red de Alcantarillado Sanitario Proyectado) Anexo A, se planteó la campaña de monitoreo para la selección de los pozos a inspeccionar.

6.3. CAMPAÑAS DE MONITOREO

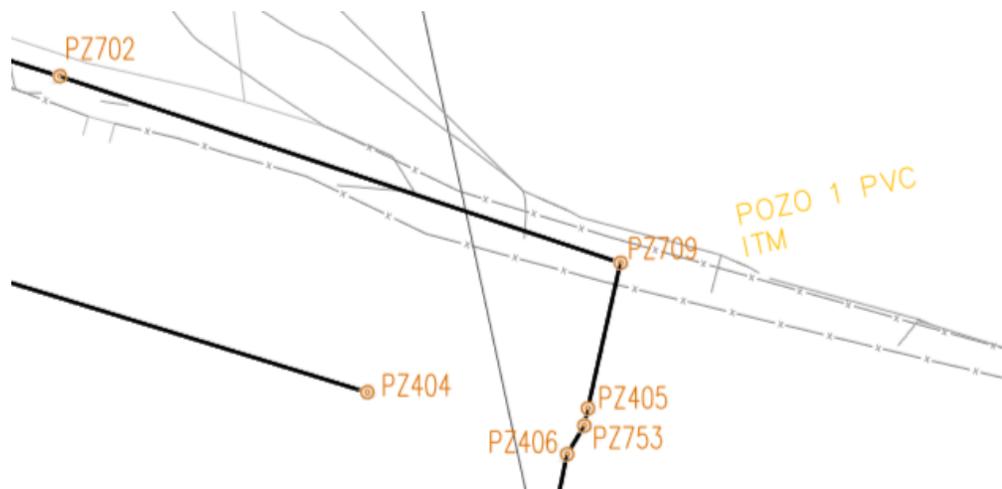
6.3.1. DEFINICIÓN DE LOS TRAMOS A ANALIZAR

En primera instancia, se realizó una salida de campo para la determinación de los pozos a inspeccionar, para cada material se seleccionaron 4 pozos que contaban con las características necesarias para realizar las mediciones y obtener las variables a utilizar, la siguiente descripción de las tuberías, comprende tramos tanto en tubería de PVC y tubería de Gres. Los pozos seleccionados para inspección de cada tipo de material se encuentran distribuidos en el casco urbano del municipio de Guaduas Cundinamarca.

6.3.1.1. POZOS TUBERIA DE PVC

6.3.1.1.1. POZO 1. PZ709

Ilustración 6-2 Pozo 1 PVC, PZ709.



Fuente: Planta General Red de Alcantarillado Sanitario Proyectado

Tabla 6-1 Descripción tubería pozo 1 PVC.

POZO TUBERIA 1	PZ709	MATERIAL	PVC	
ID POZO DE ENTRADA	PZ405	DIAMETRO (m)	PENDIENTE (m/m)	n Manning según fabricante
ID POZO DE SALIDA	PZ702	0,2032	0,01	0,009

Fuente: elaboración propia

6.3.1.1.2. POZO 2. PZ292

Ilustración 6-3 Pozo 2 PVC, PZ292.



Fuente: Planta General Red de Alcantarillado Sanitario Proyectado

Tabla 6-2 Descripción tubería pozo 2 PVC.

POZO TUBERIA 2	PZ292	MATERIAL	PVC	
ID POZO DE ENTRADA	PZ293	DIAMETRO (m)	PENDIENTE (m/m)	n Manning según fabricante
ID POZO DE SALIDA	PZ279	0,3048	0,01	0,009

Fuente: elaboración propia

6.3.1.1.3. POZO 3. NO IDENTIFICADO

Ilustración 6-4 Pozo 3 PVC.



Fuente: Planta General Red de Alcantarillado Sanitario Proyectado

Tabla 6-3 Descripción tubería pozo 3 PVC.

POZO TUBERIA 3	PZ NI	MATERIAL	PVC	
ID POZO DE ENTRADA	PZ NI	DIAMETRO (m)	PENDIENTE (m/m)	n Manning según fabricante
ID POZO DE SALIDA	PZ NI	0,1524	0,01	0,009

Fuente: elaboración propia

6.3.1.1.4. POZO 4. NO IDENTIFICADO

Ilustración 6-5 Pozo 4 PVC.



Fuente: Planta General Red de Alcantarillado Sanitario Proyectado

Tabla 6-4 Descripción tubería pozo 4 PVC.

POZO TUBERIA 4	PZ NI	MATERIAL	PVC	
ID POZO DE ENTRADA	PZ NI	DIAMETRO (m)	PENDIENTE (m/m)	n Manning según fabricante
ID POZO DE SALIDA	PZ NI	0,1524	0,01	0,009

Fuente: elaboración propia

6.3.1.2. POZOS TUBERIA DE GRES

6.3.1.2.1. POZO 1. PZ509

Ilustración 6-6 Pozo 1 Gres, PZ509



Fuente: Planta General Red de Alcantarillado Sanitario Proyectado

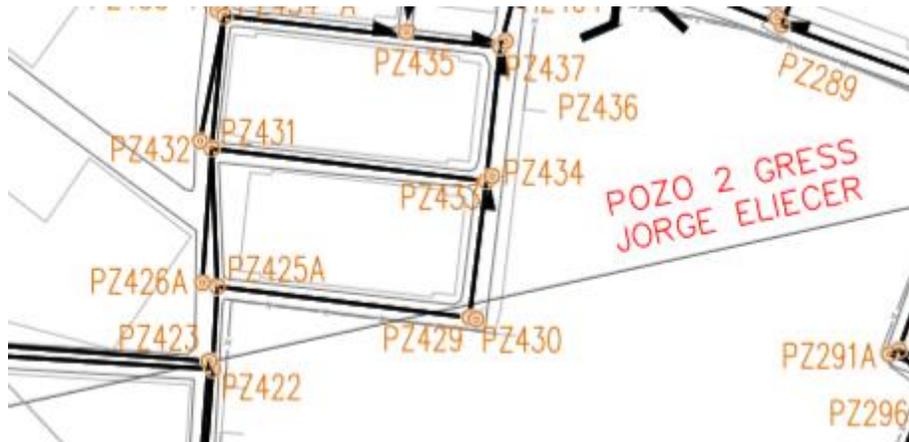
Tabla 6-5 Descripción tubería pozo 1 Gres.

POZO TUBERIA 1	PZ509	MATERIAL	GRES	
ID POZO DE ENTRADA	PZ652	DIAMETRO (m)	PENDIENTE (m/m)	n Manning según fabricante
ID POZO DE SALIDA	PZ519	0,2032	0,0001	0,011

Fuente: elaboración propia

6.3.1.2.2. POZO 2. PZ433

Ilustración 6-7 Pozo 2 Gres, PZ433.



Fuente: Planta General Red de Alcantarillado Sanitario Proyectado

Tabla 6-6 Descripción tubería pozo 2 Gres.

POZO TUBERIA 2	PZ433	MATERIAL	GRES	
ID POZO DE ENTRADA	PZ429	DIAMETRO (m)	PENDIENTE (m/m)	n Manning según fabricante
ID POZO DE SALIDA	PZ437	0,2032	0,01	0,011

Fuente: elaboración propia

6.3.1.2.3. POZO 3. PZ345

Ilustración 6-8 Pozo 3 Gres, PZ345.



Fuente: Planta General Red de Alcantarillado Sanitario Proyectado

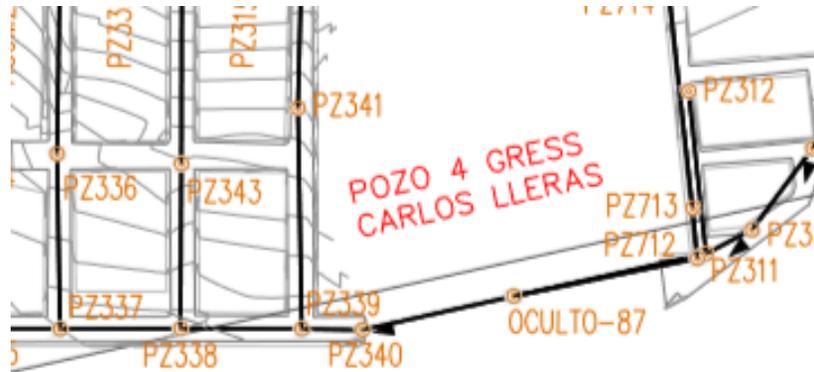
Tabla 6-7 Descripción tubería pozo 3 Gres.

POZO TUBERIA 3	PZ345	MATERIAL	PVC	
ID POZO DE ENTRADA	PZ337	DIAMETRO (m)	PENDIENTE (m/m)	n Manning según fabricante
ID POZO DE SALIDA	VERT 14 PZ9AS	0,2032	0,015	0,011

Fuente: elaboración propia

6.3.1.2.4. POZO 4. PZ339

Ilustración 6-9 Pozo 4 Gres, PZ339.



Fuente: Planta General Red de Alcantarillado Sanitario Proyectado

Tabla 6-8 Descripción tubería pozo 4 Gres.

POZO TUBERIA 4	PZ339	MATERIAL	PVC	
ID POZO DE ENTRADA	PZ340	DIAMETRO (m)	PENDIENTE (m/m)	n Manning según fabricante
ID POZO DE SALIDA	PZ338	0,2032	0,015	0,011

La inspección de los pozos se realizó, bajo la supervisión de un funcionario de Aguas del Capira S.A, quien nos acompañó en el proceso de selección de todos los pozos; La distribución de estos, se puede ver reflejada en el Anexo A (Planta General Red de Alcantarillado Sanitario Proyectado Marcación Pozos Inspeccionados).

Imágenes 6-1 Campañas de monitoreo.



6.3.2. DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES A MEDIR

Teniendo los pozos seleccionados, para cada uno de ellos se realizó la toma del diámetro de la tubería, pendiente y altura de lámina de agua, variables necesarias para la medición del coeficiente de rugosidad n de Manning.

Tabla 6-9. Variables para la determinación del coeficiente "n" Manning

CATEGORIA DE ANÁLISIS	VARIABLES		UNIDAD
Análisis del coeficiente de rugosidad en tuberías de PVC y Gres, para la determinación de su afectación.	Diámetro	D	(m)
	Pendiente	S	(m/m)
	Altura de lámina de agua	Y	(m)
	Caudal	Q	(m ³ /s)

Fuente: elaboración propia

6.3.3. AFORO DE CAUDAL

Se repitió el mismo proceso para cada uno de los pozos seleccionados tanto como para tubería de PVC como para tubería de Gres, las campañas de monitoreo se realizaron a lo largo de todo el mes de agosto del 2019, a continuación, se presentan las fechas de aforo.

Tabla 6-10. Fechas de aforo

AFORO	FECHA
1	02-ago-19
2	03-ago-19
3	09-ago-19
4	10-ago-19
5	16-ago-19
6	17-ago-19
7	24-ago-19

Fuente: elaboración propia

6.3.3.1. EL METODO DE AFORO

El aforo de los caudales al ser muestras de agua residual se realizó bajo el instructivo del IDEAM Código: TI0187 TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES Versión: 03, el procedimiento llevado a cabo fue el siguiente:

En cada punto de muestreo, se solicitó la colaboración necesaria de un funcionario especializado que tomo el caudal del efluente por el método volumétrico manual, empleando el cronómetro y un balde aforador de 10 litros. En cada medición, se realizó la purga del balde.

Se colocó el balde bajo la descarga de tal manera que este recibía todo el flujo; simultáneamente se activó el cronómetro.

Se determinó el volumen de muestra entre 1 y 10 L, dependiendo de la velocidad de llenado, midiendo el tiempo transcurrido desde el inicio hasta la finalización de la recolección de la descarga; siendo Q el caudal (en litros por segundo, L/s), V el volumen (en litros, L), y t el tiempo (en segundos, s).

Las tablas del cálculo de caudal para las tuberías de PVC y Gres, se presentan en los anexos, estas mediciones se realizaron para cada fecha de aforo estipulada.

6.4. CALCULO DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING

Para el cálculo del coeficiente de rugosidad se partirá de la fórmula para hallar la pérdida de carga a realizar por medio de la fórmula de Manning para cada una de las tuberías de Gres y de PVC. Para la cual,

Ecuación 6-1

$$Q = \frac{1}{n} R_h^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

Fuente: Tomada de Chambilla, Cristian. Academia.edu. *Formula de Manning*

Donde:

$$Q = \text{Caudal} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$$R_h = \text{Radio Hidráulico (m)} \left(\frac{\text{Superficie mojada}}{\text{Perimetro Mojado}} \right)$$

$$S = \text{Pendiente (m, en tanto por 1 del canal)}$$

Se realizó el correspondiente despeje, para a partir de la formula anterior, para así, realizar el cálculo del coeficiente de rugosidad:

$$n = \frac{1}{Q} R_h^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

$$n = \text{Coeficiente de Manning}$$

La variación del coeficiente de Manning se da dependiendo del tipo de material del lecho y otras circunstancias, con el paso del tiempo las condiciones hidráulicas cambian tienden a ser iguales con independencia del material de la tubería.

Para las tuberías de PVC y Gres los valores teóricos que se adoptan son los siguientes:

Tabla 6-11. Rangos de valores teóricos para el coeficiente de rugosidad "n" Manning

COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING		
MATERIAL	N (UNIVERSAL)	
	MINIMO	MAXIMO
PVC	0,009	0,011
Gres	0,011	0,015

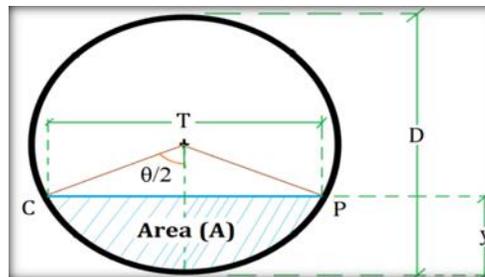
Fuente: *Sistemas de Acueductos. Ing. Jaime Barajas Leon. 2015*

6.4.1. VARIABLES DETERMINATIVAS

A partir de la determinación del caudal por el método volumétrico, se calcularon las variables necesarias que permitieron la determinación del coeficiente de rugosidad para cada una de las tuberías y cada una de las fechas en las que se realizaron los aforos.

Se aborda el cálculo de las distintas ecuaciones hidráulicas que permiten determinar las pérdidas de carga necesarias en la ecuación de n de Manning:

Ilustración 6-10 Representación gráfica de las variables.



Para determinar las variables a utilizar para realizar el reemplazo en la ecuación planteada se necesita, donde el tirante representa la altura del agua desde el nivel del espejo de agua hasta el fondo del cauce.

Determinación del ángulo de llenado:

$$\theta = 2 \arccos\left(\frac{1 - \gamma}{\frac{\emptyset}{2}}\right)$$

Donde:

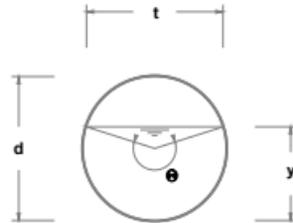
θ = Ángulo de llenado

γ = Tirante (m)

\emptyset = Diámetro (m)

El radio hidráulico, que se define como la relación entre el área de la sección hidráulica, y el perímetro mojado, requiere la determinación previa de estos parámetros, cuyas expresiones se deducen fácilmente a partir de la siguiente figura: (20)

Ilustración 6-11 Representación gráfica sección transversal



Fuente: tomada de Juan Carlos Ovalle Cortissoz. Ingeniero de Caminos, C. y P. *Cálculos. S.L. : Navarra de Suelo y Vivienda, S.A. (Nasuvinsa), 2014.*

El área hidráulica se puede expresar en función del ángulo de llenado como:

Ecuación 6-2

$$A = \frac{1}{8} * (\theta - \sin \theta) * \varnothing^2$$

Fuente: tomada de Juan Carlos Ovalle Cortissoz. Ingeniero de Caminos, C. y P. *Cálculos. S.L. : Navarra de Suelo y Vivienda, S.A. (Nasuvinsa), 2014.*

Donde:

$A = \text{Área Hidráulica (m}^2\text{, área mojada)}$

$\theta = \text{Ángulo de llenado}$

$\varnothing = \text{Diámetro (m)}$

Y el perímetro mojado:

Ecuación 6-3

$$P = \frac{1}{2} * \theta * \varnothing$$

Fuente: tomada de Juan Carlos Ovalle Cortissoz. Ingeniero de Caminos, C. y P. *Cálculos. S.L. : Navarra de Suelo y Vivienda, S.A. (Nasuvinsa), 2014.*

Donde:

$P = \text{Perímetro mojado (m)}$

$\theta = \text{Ángulo de llenado}$

$\emptyset = \text{Diámetro (m)}$

Fuente: tomada de Juan Carlos Ovalle Cortissoz. Ingeniero de Caminos, C. y P. *Cálculos*. S.L. : Navarra de Suelo y Vivienda, S.A. (Nasuvinsa), 2014.

Y, por lo tanto, el radio hidráulico es:

Ecuación 6-4

$$R_h = \frac{1}{4} \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right) * \emptyset$$

Fuente: tomada de Juan Carlos Ovalle Cortissoz. Ingeniero de Caminos, C. y P. *Cálculos*. S.L. : Navarra de Suelo y Vivienda, S.A. (Nasuvinsa), 2014.

Donde:

$R_h = \text{Radio Hidráulico (m)}$

$\theta = \text{Ángulo de llenado}$

$\emptyset = \text{Diámetro (m)}$

6.5. CALCULO DE LA CURVA DE CAPACIDAD

Se construye la curva de capacidad para el valor "n" máximo y mínimo calculados en el alcantarillado y el "n" teórico definido en las condiciones de diseño para cada una de las tuberías con el fin de determinar el efecto que representa la variación del coeficiente en la capacidad hidráulica del conducto.

Tabla 6-12. Datos de entrada para realización de curva de capacidad.

DATOS DE ENTRADA		
Sección transversal		Circular
Diámetro interno del conducto	D	(m)
Pendiente Longitudinal	So	(m/m)
	Θ	
Coef. De Rugosidad De Manning	N	

Fuente: elaboración propia

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A partir del coeficiente de rugosidad obtenido se realiza el análisis con los datos de cada una de las tuberías y se realiza la comparación de cada uno de estos. El análisis del coeficiente de rugosidad en tuberías de diferentes materiales ayudará a que no se llegue al error de sobreestimar o subestimar el coeficiente, facilitando el proceso de diseño del canal ya sea revestido en diferentes materiales o natural.

El agua que transita por los canales puede causar complejidad debido a los factores que la influyen, por eso se tuvieron en cuenta variables como pendiente, rugosidad de superficie y radio hidráulico entre otras, la ecuación de Manning incluye todos estos factores y su relación.

7.1. INFORMACIÓN DE CAMPO

7.1.1. VARIACIÓN TEMPORAL DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD

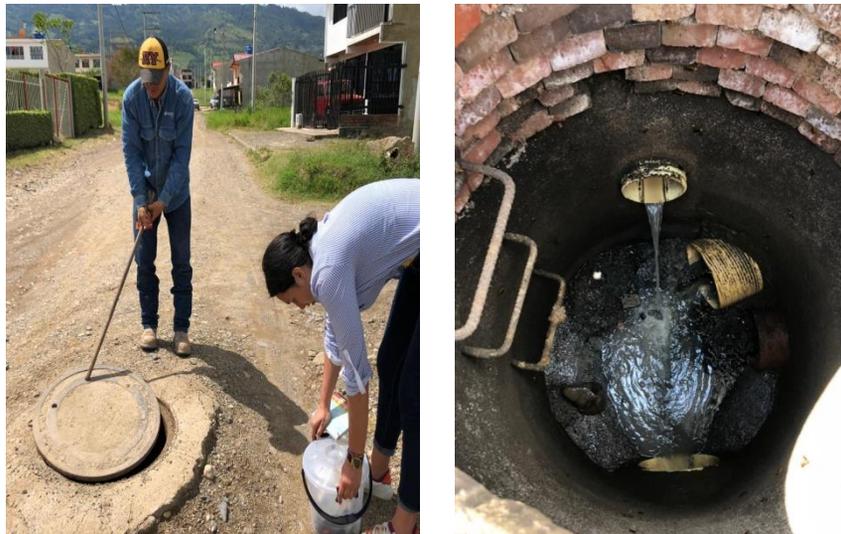
Para cada tubería se presenta una gráfica de la variación del coeficiente en las fechas de aforo seleccionadas.

7.2. TUBERIA PVC.

Para los canales de PVC, el coeficiente se evaluó para 4 tuberías con pendientes de 1,0% y 1,5%, las cuales fueron usadas para la determinación de éste, puesto que la pendiente de un canal y la rugosidad de la superficie, es uno de los principales factores que determinan el coeficiente de rugosidad.

7.2.1. POZO 1. PZ709

Imágenes 7-1. Tubería 1 PVC, pozo PZ709





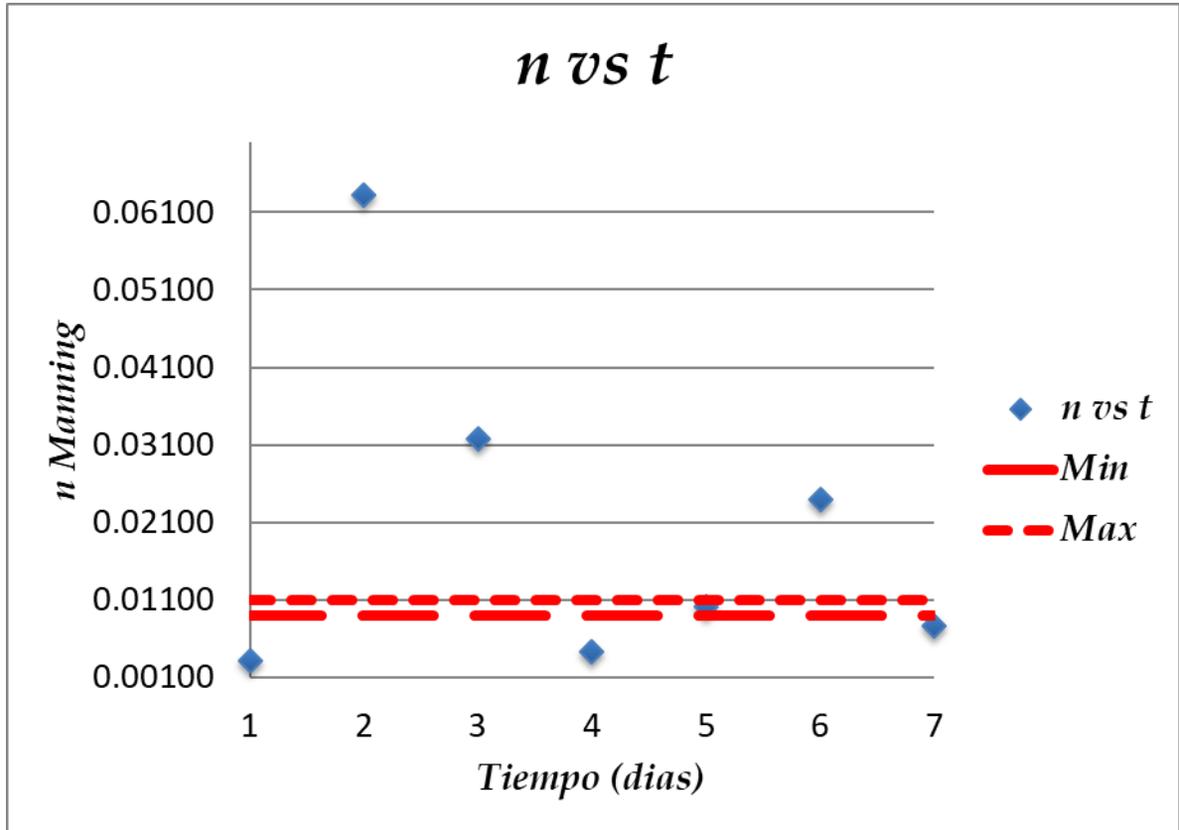
Fuente: elaboración propia

Tabla 7-1.Registro de cálculo de “n” Manning tubería 1 PVC, PZ709.

Red de Alcantarillado Sanitario Municipio Guaduas - Cundinamarca			Alcantarillado: Residual - Lluvias		
POZO 1		PZ709	PVC		
DÍA	Tirante (m)	Q (m3/s)	Q (L/s)	Diámetro (m)	
1	2-ago-19	0,005	0,00015218	1109,90682	0,2032
2	3-ago-19	0,010	3,2664E-05	711,526992	0,2032
3	9-ago-19	0,020	0,00028328	1142,66601	0,2032
4	10-ago-19	0,005	0,00010767	1398,13975	0,2032
5	16-ago-19	0,005	4,642E-05	888,92906	0,2032
6	17-ago-19	0,020	0,00037412	908,615315	0,2032
7	24-ago-19	0,010	0,00027128	908,615315	0,2032

Fuente: elaboración propia

Gráfica 7-1 Coeficiente de rugosidad “n” de Manning VS tiempo. Tubería 1 PVC, Pozo PZ709.



Fuente: elaboración propia

El coeficiente de rugosidad de Manning es un índice el cual determina la resistencia de un flujo en un canal, es por esto, que se analizan los resultados obtenidos y se ve claramente el aumento de rugosidad en la tubería evaluada. El valor de “n” es muy variable y depende de un cierto número de factores

Se refleja una serie de tendencia para todos los valores de la lámina de agua y perímetro mojado con respecto al coeficiente de rugosidad de Manning n para cada fecha aforada. En la gráfica se observa como a medida que el caudal aumenta, la profundidad de la lámina de agua y el perímetro mojado aumentan y por ende los valores del coeficiente de rugosidad de Manning también aumentan, por ende, se evidencia la relación de estas variables.

7.2.2. POZO 2. PZ292

Imágenes 7-2. Tubería 2 PVC, pozo PZ292.



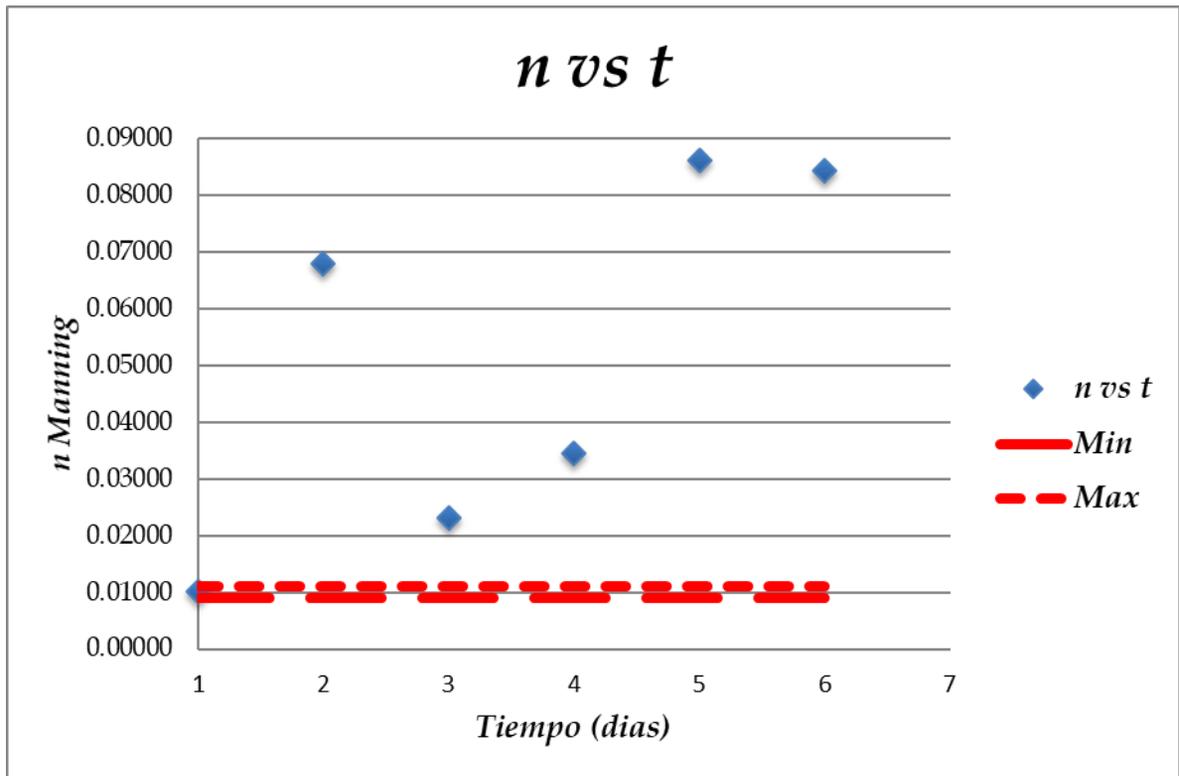
Fuente: elaboración propia

Tabla 7-2 Registro de cálculo de “n” Manning tubería 2 PVC, PZ292.

Red de Alcantarillado Sanitario Municipio Guaduas - Cundinamarca			Alcantarillado: Residual - Lluvias		
POZO 2		PZ292	PVC		
DÍA	Tirante (m)	Q (m3/s)	Q (L/s)	Diámetro (m)	
1	2-ago-19	0,02	0,00110991	1,10990682	0,3048
2	3-ago-19	0,04	0,00071153	0,71152699	0,3048
3	9-ago-19	0,03	0,00114267	1,14266601	0,3048
4	10-ago-19	0,04	0,00139814	1,39813975	0,3048
5	16-ago-19	0,05	0,00088893	0,88892906	0,3048
6	17-ago-19	0,05	0,00090862	0,90861531	0,3048

Fuente: elaboración propia

Gráfica 7-2 Coeficiente de rugosidad “n” de Manning VS tiempo. Tubería 2 PVC, pozo PZ292.



Fuente: elaboración propia

Si existe una gran cantidad de transporte de sedimentos y los tamaños considerados en el arrastre son grandes, evidentemente estos presentan influencia en la variación del “n”.

Debido a que los sedimentos se encargan de detener el movimiento del fluido aumentando el valor del coeficiente de rugosidad.

La determinación de este coeficiente “n” nos da resultados variantes en cada fecha, la determinación de la rugosidad de las paredes de la tubería depende de diferentes variables; Si n aumenta, la velocidad disminuye y la profundidad normal aumenta.

7.2.3. POZO 3. PZ

Imágenes 7-3.Tubería 3 PVC, pozo PZ3





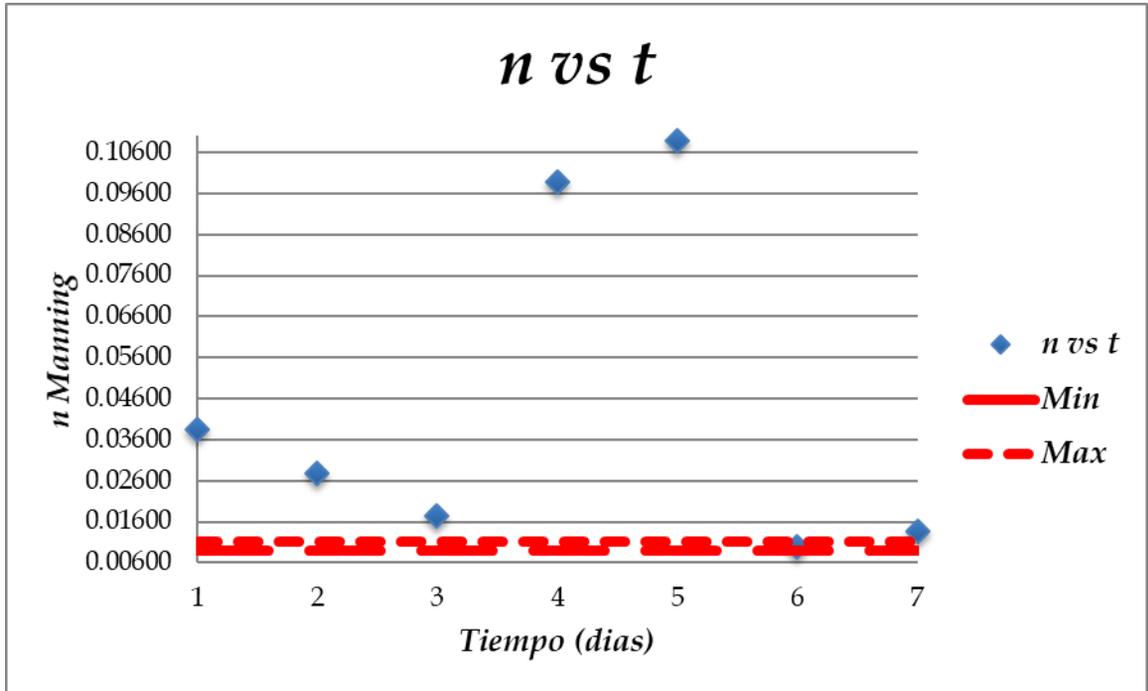
Fuente: elaboración propia

Tabla 7-3. Registro de cálculo de “n” Manning tubería 3 PVC, PZ.

Red de Alcantarillado Sanitario Municipio Guaduas - Cundinamarca			Alcantarillado: Residual - Lluvias		
POZO 3		PZ	PVC		
DÍA	Tirante (m)	Q (m3/s)	Q (L/s)	Diámetro (m)	
1	2-ago-19	0,030	0,00045688	0,45687916	0,1524
2	3-ago-19	0,020	0,00027308	0,27308411	0,1524
3	9-ago-19	0,010	0,00010103	0,10102549	0,1524
4	10-ago-19	0,020	7,6945E-05	0,07694487	0,1524
5	16-ago-19	0,020	6,997E-05	0,06997015	0,1524
6	17-ago-19	0,010	0,00017839	0,17838754	0,1524
7	24-ago-19	0,010	0,00012919	0,17838754	0,1524

Fuente: elaboración propia

Gráfica 7-3 Coeficiente de rugosidad “n” de Manning VS tiempo. Tubería 3 PVC, PZ.



Fuente: elaboración propia

Los depósitos de material en el conducto pueden influir de manera drástica en la variación del n, el mantenimiento en las tuberías de alcantarillado es un poco complejo, pero debe realizarse de forma ocasional, ya que la influencia de todo el conducto puede reflejar un tipo de variación como el que vemos en esta tubería.

7.2.4. POZO 4. PZ

Imágenes 7-4. Tubería 4 PVC, pozo PZ4





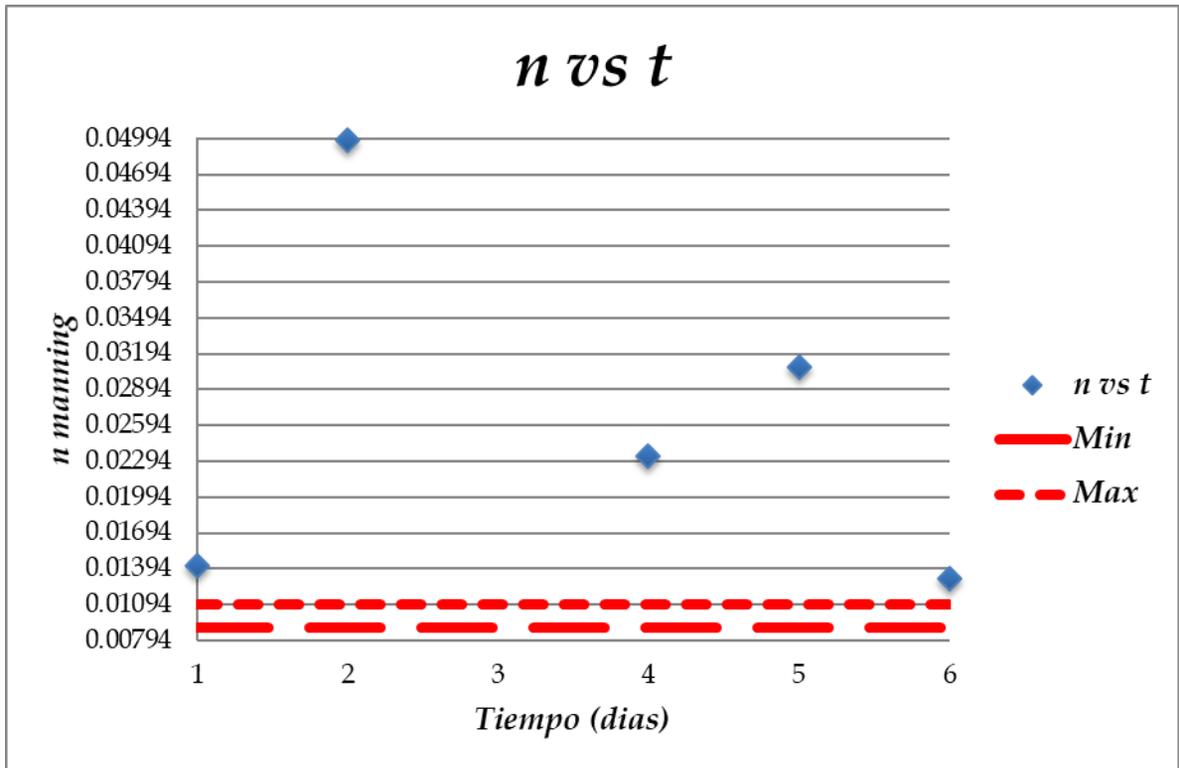
Fuente: elaboración propia

Tabla 7-4.Registro de cálculo de “n” Manning tubería 4 PVC, PZ

Red de Alcantarillado Sanitario Municipio Guaduas – Cundinamarca			Alcantarillado: Residual - Lluvias		
POZO 4		PZ	PVC		
DÍA	Tirante (m)	Q (m3/s)	Q (L/s)	Diámetro (m)	
1	2-ago-19	0,006	4,185E-05	0,041847649	0,1524
2	3-ago-19	0,030	0,0003514	0,351443916	0,1524
3	9-ago-19	0,005	5,069E-05	0,050690506	0,1524
4	10-ago-19	0,005	1,725E-05	0,017250482	0,1524
5	16-ago-19	0,010	5,739E-05	0,057392448	0,1524
6	17-ago-19	0,005	3,066E-05	0,030656884	0,1524

Fuente: elaboración propia

Gráfica 7-4 Representación gráfica del coeficiente de rugosidad “n” de Manning a través del tiempo. Tubería PVC, pozo 4, PZ



Fuente: elaboración propia

La profundidad de la lámina de agua y el perímetro mojado, si son factores que afectan al coeficiente de rugosidad de Manning, cosa que concuerda con la Tabla 7-4, y lo dicho por (Bolinaga., 2007), en donde afirma que a medida que se ha ido ampliando la aplicación de la fórmula de Manning, se han incorporado un conjunto de factores que afectan el valor de

“n”, como los mencionados anteriormente que incluyen al caudal y otros factores; sin embargo, dicho factor puede variar con la profundidad de la lámina de agua.

Es posible observar que la pendiente del 0.1% es la que presenta menores errores en la estimación del n y por ende de la velocidad, sin importar las rugosidades, diámetros y relaciones de conducción del caudal. El coeficiente de rugosidad de Manning depende de la profundidad y de la pendiente del canal, esta relación es inversamente proporcional para ambos factores, pues a mayores valores de profundidad y de pendiente, menor es el coeficiente. (García, 2005).

Un aumento en el caudal, la velocidad y la sección transversal implica una disminución del coeficiente de rugosidad “n”. Además, de los anteriores, son distintos los factores que afectan el valor del coeficiente, como la irregularidad en los canales, la presencia de objetos que obstruyen el paso del agua, los sedimentos presentes, la pendiente del fondo del canal y por supuesto el tiempo. (Hatzigiannakis, E., Pantelakis, D., Arampatzis, G., & Ilias, A., 2014)

7.3. TUBERIA GRES

Para los canales de Gres, el coeficiente se evaluó para 4 tuberías con pendientes de 0,03% y 1,5%, las cuales fueron usadas para la determinación de éste, puesto que la pendiente de un canal y la rugosidad de la superficie, es uno de los principales factores que determinan el coeficiente de rugosidad.

En cuanto a la pendiente, según los dos datos de variación de esta, pudimos notar que, para los valores más altos de ésta, aumenta el coeficiente de rugosidad, sin embargo, la relación no es lineal y; es evidente que si el material del fondo presenta mayores irregularidades, dicho coeficiente aumenta.

7.3.1. POZO1. PZ509

Imágenes 7-5.Tubería 1 Gres, pozo PZ509.



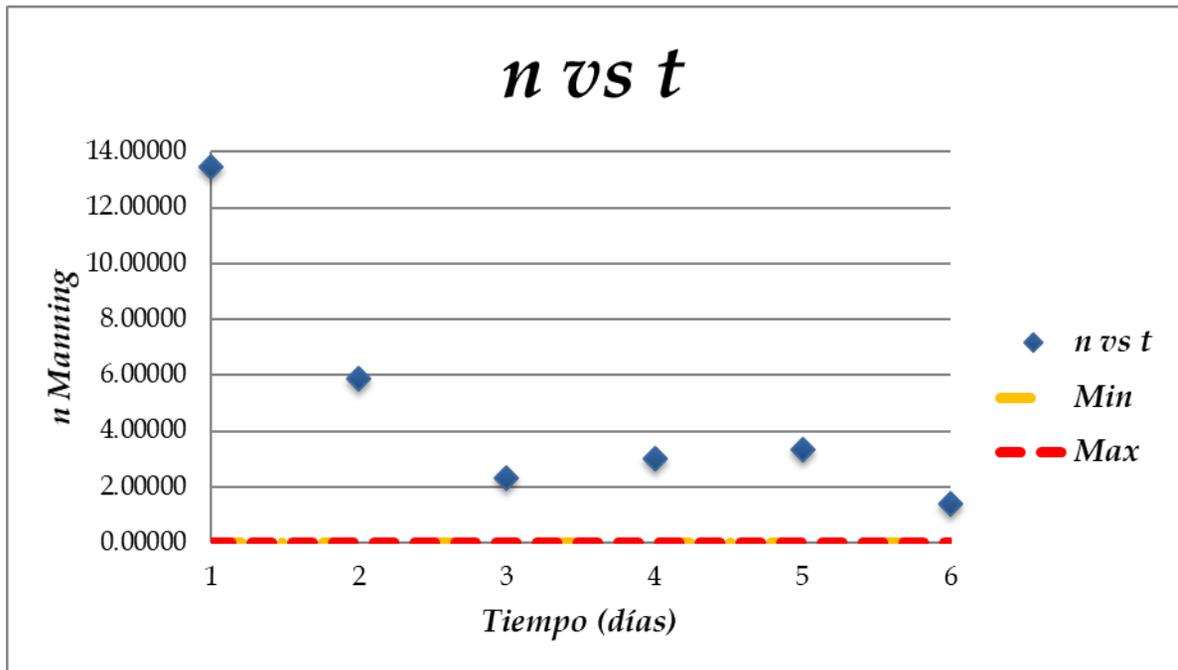
Fuente: elaboración propia

Tabla 7-5. Registro de cálculo de “n” Manning tubería 1 Gres, PZ509.

Red de Alcantarillado Sanitario Municipio Guaduas - Cundinamarca			Alcantarillado: Residual - Lluvias		
POZO 1		PZ509	GRES		
DÍA	Tirante (m)	Q (m3/s)	Q (L/s)	Diámetro (m)	
1	2-ago-19	0,020	6,66721E-08	6,6672E-05	0,2032
2	3-ago-19	0,015	8,29215E-08	8,2921E-05	0,2032
3	9-ago-19	0,010	8,93593E-08	8,9359E-05	0,2032
4	10-ago-19	0,010	6,8674E-08	6,8674E-05	0,2032
5	16-ago-19	0,010	6,22399E-08	6,224E-05	0,2032
6	17-ago-19	0,010	1,50735E-07	0,00015074	0,2032

Fuente: elaboración propia

Gráfica 7-5 Coeficiente de rugosidad “n” de Manning VS tiempo. Tubería 1 Gres, pozo PZ509.



Fuente: elaboración propia

En este caso, para las fechas de aforo, en uno de los días no se presentó presencia de caudal, si no existe flujo, no hay resistencia, mientras que conforme aumenta el flujo, los valores de la resistencia aumenta, es por esta razón que el coeficiente n de Manning se debe entender como un coeficiente de resistencia dinámica de los cauces (Córdoba. et al, 2018).

7.3.2. POZO 2. PZ433

Imágenes 7-6. Tubería 2 Gres, pozo PZ433.



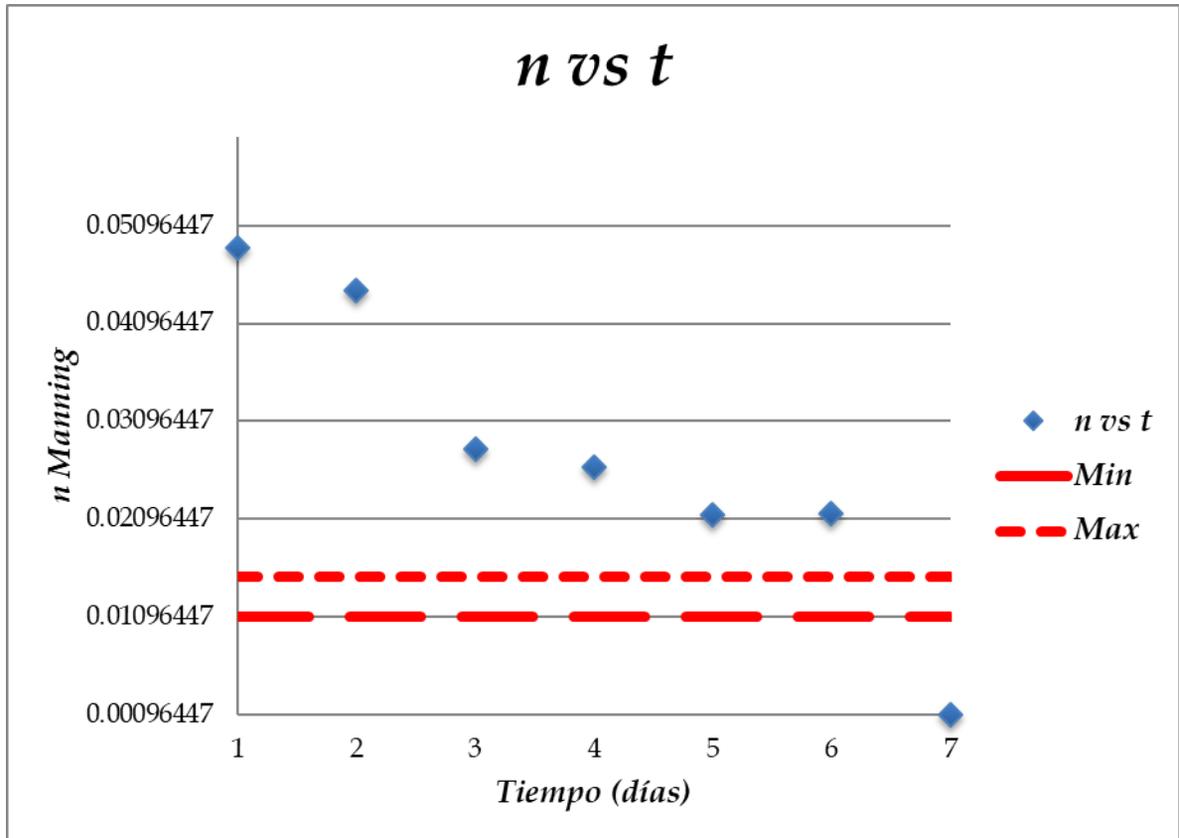
Fuente: elaboración propia

Tabla 7-6. Registra de cálculo de “n” Manning tubería 2 Gres, pozo PZ433.

Red de Alcantarillado Sanitario Municipio Guaduas - Cundinamarca			Alcantarillado: Residual - Lluvias		
POZO 2		PZ433	GRES		
DÍA	Tirante (m)	Q (m3/s)	Q (L/s)	Diámetro (m)	
1	2-ago-19	0,015	0,000100369	0,10036898	0,2032
2	3-ago-19	0,015	0,000110255	0,11025491	0,2032
3	9-ago-19	0,010	7,35509E-05	0,07355088	0,2032
4	10-ago-19	0,020	0,0003419	0,34190031	0,2032
5	16-ago-19	0,012	0,000141986	0,14198629	0,2032
6	17-ago-19	0,010	9,60617E-05	0,09606166	0,2032
7	24-ago-19	0,030	6,18101E-05	0,09606166	0,2032

Fuente: elaboración propia

Gráfica 7-6 Coeficiente de rugosidad “n” de Manning a través del tiempo. Tubería Gres, pozo 2, PZ433.



Fuente: elaboración propia

La profundidad de la lámina de agua puede presentar una influencia en la variación del coeficiente de rugosidad, vemos en este caso el cambio de esta variable.

Schmidt (2014) afirma: Se producen variaciones en la rugosidad de Manning con cambios en la profundidad del flujo en alcantarillas, lo cual, se debe tratar con especial atención en el diseño de alcantarillados. Una de las diferentes causas por la cual puede cambiar el coeficiente de rugosidad es debido a una serie de condiciones provocadas en el proceso constructivo, lo cual, puede generar cambios en el n utilizado al momento del diseño de la alcantarilla. (p.997). Finalmente, Schmidt (1959), observa que los depósitos en el fondo u otras condiciones que alteran considerablemente la superficie invertida de la alcantarilla probablemente causen una mayor variación en la rugosidad que las causadas por los cambios de profundidad de flujo.

7.3.3. POZO 3. PZ345

Imágenes 7-7.Tubería 3 Gres, pozo PZ345.



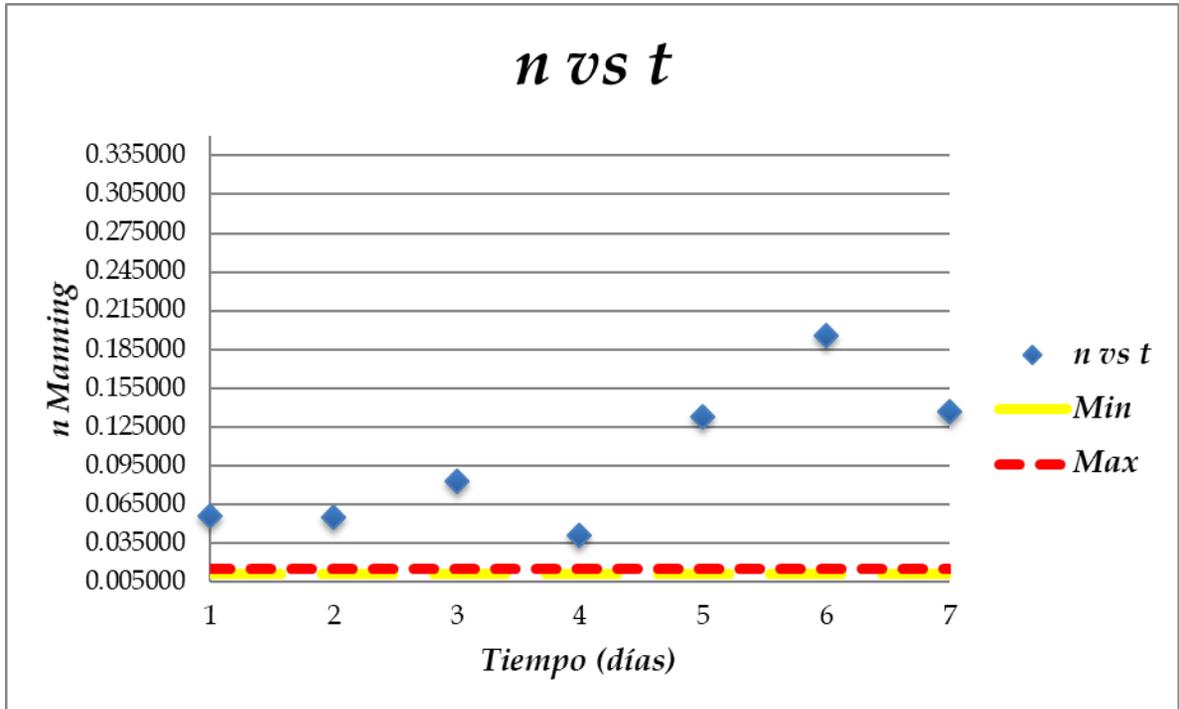
Fuente: elaboración propia

Tabla 7-7. Registro de cálculo de “n” Manning tubería 3 Gres, pozo PZ345.

Red de Alcantarillado Sanitario Municipio Guaduas - Cundinamarca			Alcantarillado: Residual - Lluvias		
POZO 3		PZ345	GRES		
DÍA	Tirante (m)	Q (m3/s)	Q (L/s)	Diámetro (m)	
1	2-ago-19	0,030	0,000462265	0,46226526	0,2032
2	3-ago-19	0,030	0,000470216	0,47021634	0,2032
3	9-ago-19	0,040	0,000556763	0,55676319	0,2032
4	10-ago-19	0,030	0,000624529	0,62452896	0,2032
5	16-ago-19	0,040	0,000347061	0,34706059	0,2032
6	17-ago-19	0,060	0,000528962	0,52896155	0,2032
7	24-ago-19	0,040	0,000337778	0,52896155	0,2032

Fuente: elaboración propia

Gráfica 7-7 Coeficiente de rugosidad “n” de Manning VS tiempo. Tubería 3 Gres, pozo PZ345.



Fuente: elaboración propia

La fricción en una tubería puede estar relacionada con varios factores, en este caso vemos presente depósitos de materia fecal, insectos, residuos sólidos y el flujo se puede ver

afectado por cada una de estas deposiciones, ocasionando frenos en el flujo dados por la fricción que ocasionan. Si n disminuye, la velocidad aumenta y la profundidad normal disminuye.

La capacidad hidráulica de una tubería aumenta cuando hay mayor caudal, esta se puede relacionar con el material de la tubería, la forma y el diámetro de esta, la profundidad del flujo que maneja e incluso los tipos de uniones.

En la mayor parte de los flujos, el coeficiente de Manning disminuye con el aumento de la lámina de agua y del caudal, ya que aumenta el radio hidráulico, es decir, para un radio hidráulico alto el coeficiente de rugosidades bajo. (Coeficiente de rugosidade de Manning para o rio Paracatu river,Brazil., 2010)

7.3.4. POZO 4. PZ339

Imágenes 7-8. Tubería 4 Gres, pozo PZ339.



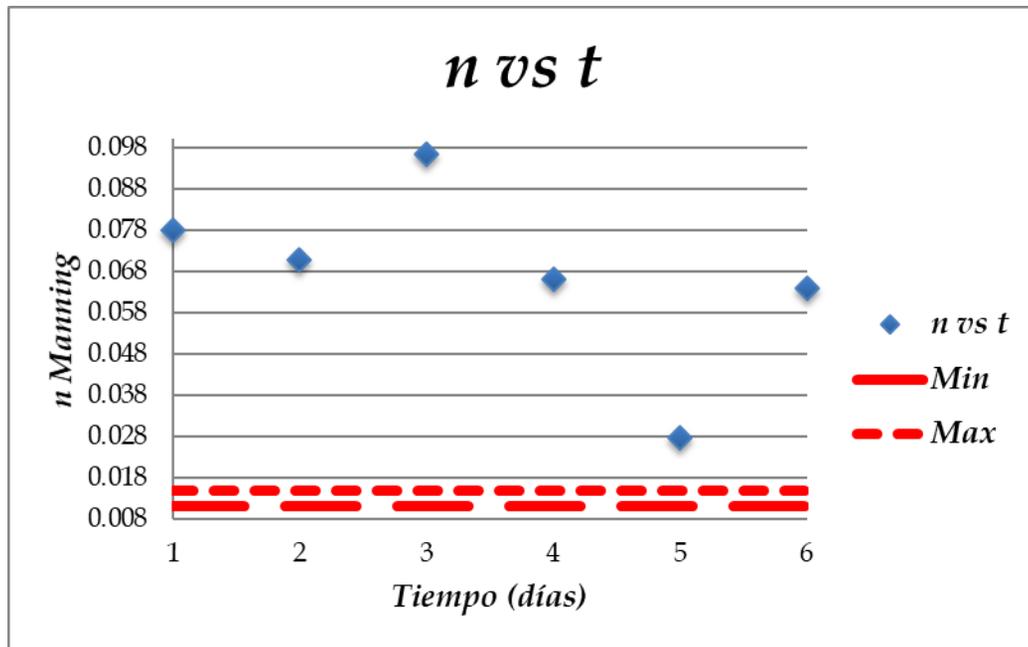
Fuente: elaboración propia

Tabla 7-8. Registro de cálculo de “n” Manning tubería 4 Gres, pozo PZ339.

Red de Alcantarillado Sanitario Municipio Guaduas - Cundinamarca			Alcantarillado: Residual - Lluvias		
POZO 4		PZ339	GRES		
DÍA	Tirante (m)	Q (m3/s)	Q (L/s)	Diámetro (m)	
1	2-ago-19	0,040	0,000593491	0,59349113	0,2032
2	3-ago-19	0,040	0,000653188	0,65318807	0,2032
3	9-ago-19	0,050	0,000749623	0,74962258	0,2032
4	10-ago-19	0,040	0,00069914	0,69914005	0,2032
5	16-ago-19	0,030	0,000926634	0,92663434	0,2032
6	17-ago-19	0,040	0,000724762	0,72476173	0,2032

Fuente: elaboración propia

Gráfica 7-8 Coeficiente de rugosidad “n” de Manning VS tiempo. Tubería 4 Gres, pozo PZ339.



Fuente: elaboración propia

El periodo climático también influye en el coeficiente de Manning pues afecta significativamente los resultados, debido a que, la velocidad, la altura y el área de sequía varían drásticamente; Para esta tubería en varias mediciones de aforo en la que no hubo presencia de caudal suficiente, los valores de n se registran mayores, esto para periodos de sequía como los obtenidos.

7.4. CURVA DE CAPACIDAD

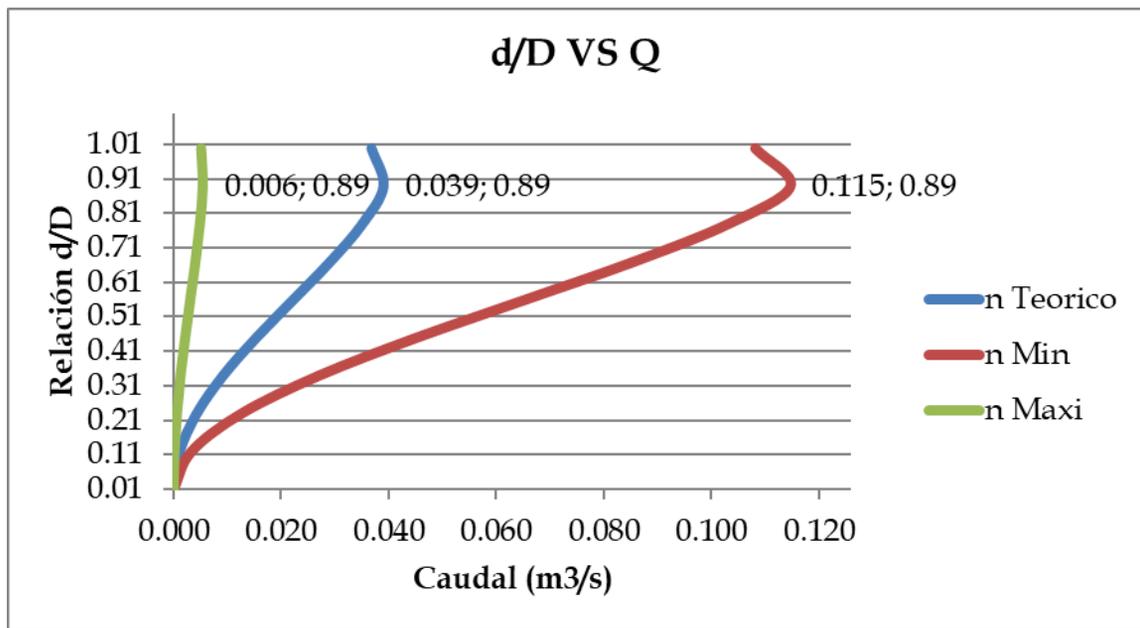
Para la elaboración de la curva de capacidad, a continuación, se presentan las gráficas de los valores establecidos anteriormente con respecto al coeficiente de Manning mínimo, máximo y teóricos para cada tubería y se analiza la influencia de la variación de la capacidad para cada una de estas.

7.4.1. TUBERIA PVC

En estas graficas se evidencia la capacidad de caudal que circula por las tuberías de PVC con instalación aproximadamente de 8 años, en donde se puede observar que al tener una relación de altura de lámina de agua y diámetro igual el caudal varía dependiendo del coeficiente de rugosidad “n”, sea “n” teórico, “n” mínimo y “n” máximo.

Se observó que para algunas de las mediciones el coeficiente de rugosidad disminuyó respecto al valor de “n” teórico, representando así, características de una tubería lisa, es decir, con valores bajos de rugosidad.

Gráfica 7-9 Curva de Capacidad en relación con “n” teórico y práctico (máx y mín) Tubería 1 PVC, pozo PZ709.



Fuente: elaboración propia

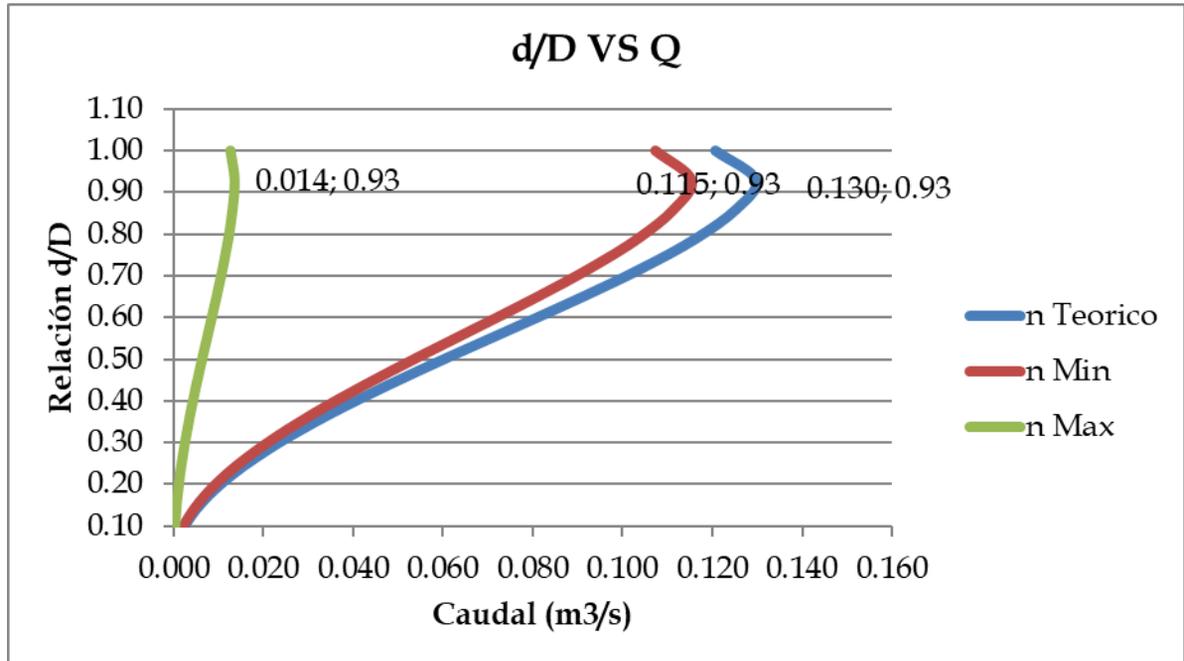
Tabla 7-9 Comparación de variables curva de capacidad. Tubería 1 PVC, pozo PZ709.

n		d/D	Caudal (m ³ /s)
Máximo	0,06322	0,89	0,006
Mínimo	0,00307	0,89	0,115
Teórico	0,009	0,89	0,039

Fuente: elaboración propia

Para la tubería 1 de PVC, pozo PZ709 se evidencian valores de n máximos, mínimos y teóricos los cuales señalan la capacidad hidráulica que circula por dicha tubería, resaltando que al pasar los años la tubería tuvo una disminución en la rugosidad, es decir, una tubería con características más lisa que las iniciales.

Gráfica 7-10 Curva de Capacidad en relación con “ n ” teórico y práctico (máx y mín) Tubería 2 PVC, PZ292.



Fuente: elaboración propia

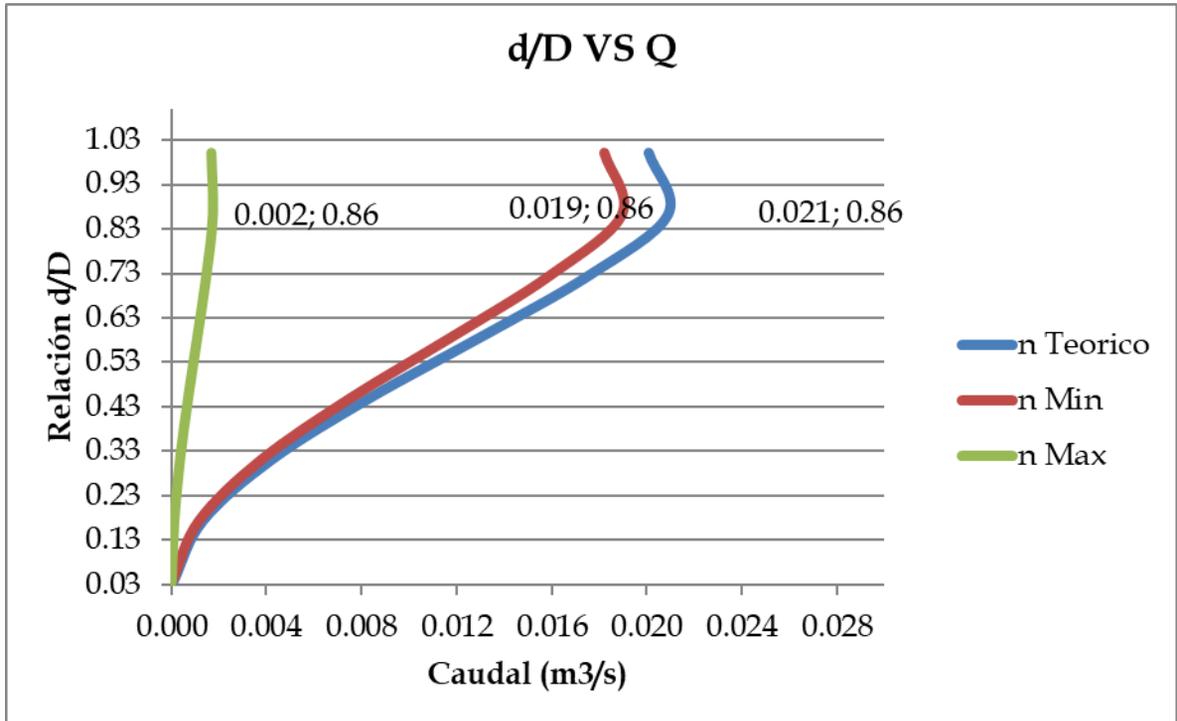
Tabla 7-10 Comparación de variables curva de capacidad. Tubería 2 PVC, pozo PZ292.

n		d/D	Caudal (m ³ /s)
Máximo	0,08623	0,93	0,014
Mínimo	0,01012	0,93	0,115
Teórico	0,009	0,93	0,13

Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta la relación entre altura de lámina de agua de la tubería y diámetro, se observa que para una misma relación se obtienen valores de caudales diferentes, esto se debe al valor estimado de rugosidad, a mayor rugosidad menor caudal y a menor rugosidad mayor caudal.

Gráfica 7-11 Curva de Capacidad en relación con “n” teórico y práctico (máx y mín) Tubería 3 PVC, PZ3.



Fuente: elaboración propia

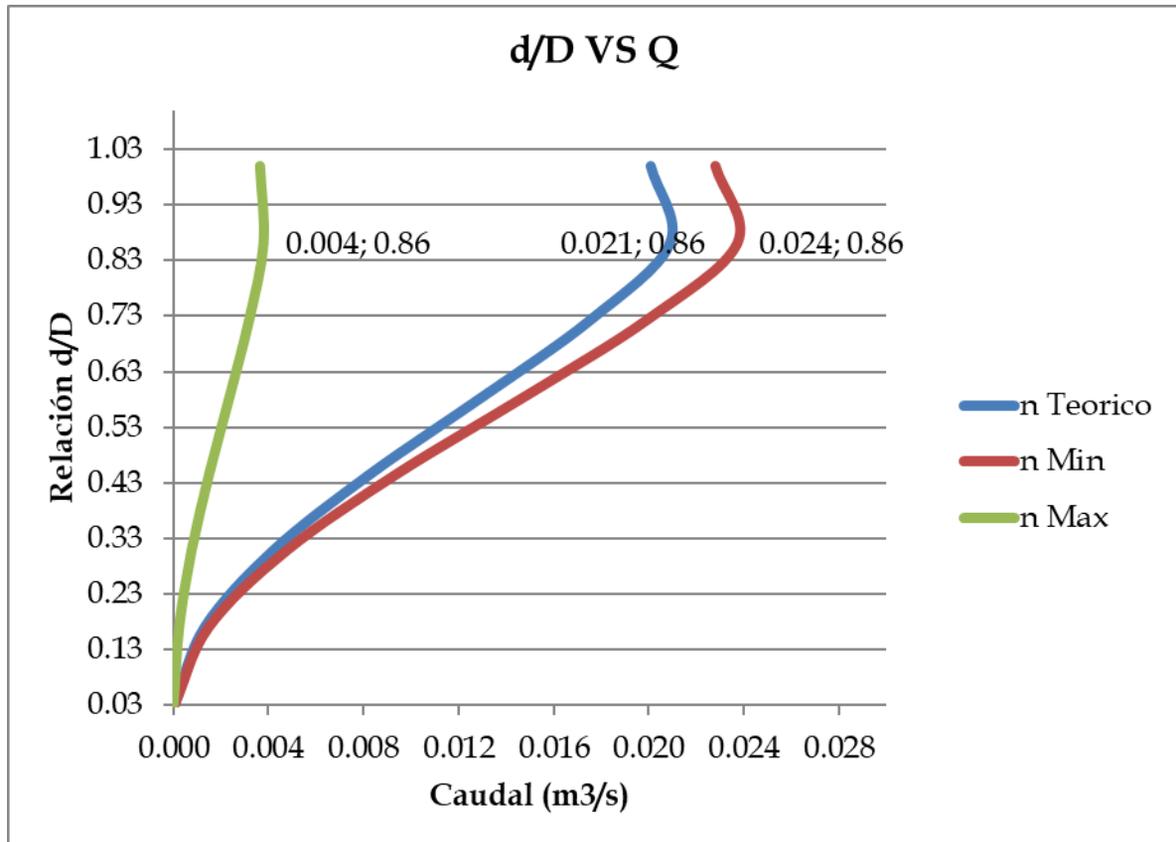
Tabla 7-11 Comparación de variables curva de capacidad. Tubería 3 PVC, pozo PZ3.

	n	d/D	Caudal (m3/s)
Máximo	0,1088	0,86	0,002
Mínimo	0,0099	0,86	0,019
Teórico	0,009	0,86	0,021

Fuente: elaboración propia

En el pozo PZ3 se evidencia que la rugosidad mínima obtenida en campo es muy similar a la rugosidad teórica, pero a pesar de dicha situación la tubería tuvo aumento de rugosidad por lo tanto su capacidad hidráulica es menor.

Gráfica 7-12 Curva de Capacidad en relación con “n” teórico y práctico (máx y mín) Tubería 4 PVC, pozo PZ4.



Fuente: elaboración propia

Tabla 7-12 Comparación de variables curva de capacidad. Tubería 4 PVC, pozo PZ4.

n		d/D	Caudal (m3/s)
Máximo	0,04984	0,86	0,002
Mínimo	0,00794	0,86	0,019
Teórico	0,009	0,86	0,021

Fuente: elaboración propia

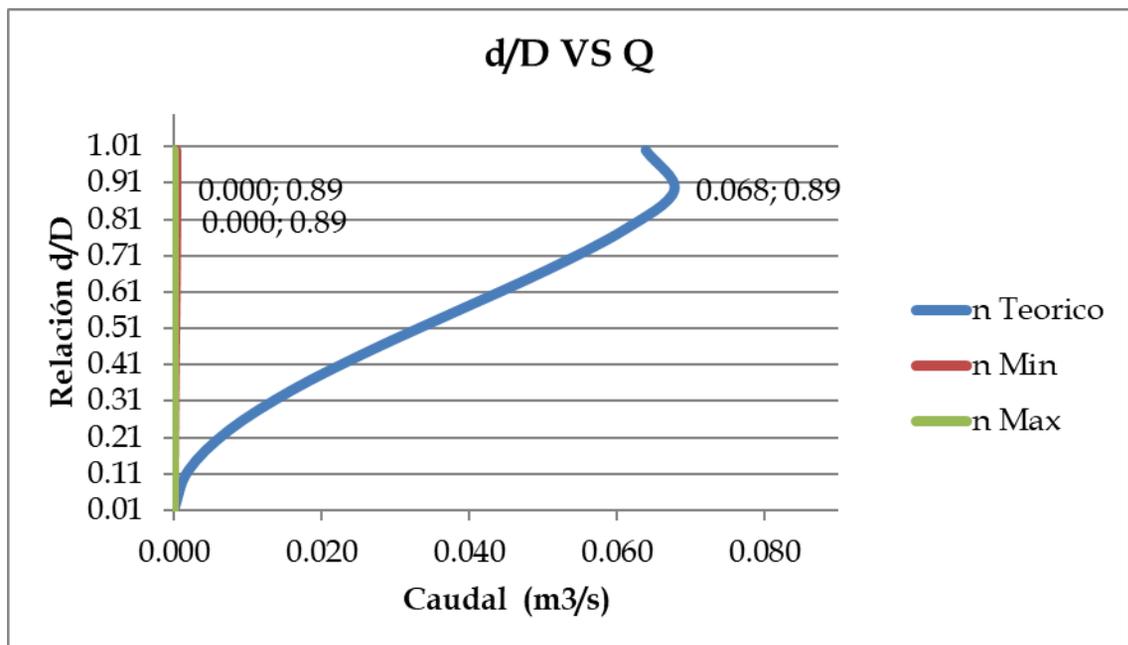
Esta tubería tiene características muy similares a la tubería 1 PVC, pozo PZ709, puesto que al pasar los años se obtuvo una menor rugosidad comparada con la rugosidad teórica o en condiciones iniciales de instalación, por lo tanto, se evidencia menor capacidad hidráulica.

7.4.2. TUBERIA GRES

En estas grafica se evidencia la capacidad de caudal que circula por las tuberías de Gres con instalación aproximadamente de 30 años, en donde se puede observar que al tener una relación de altura de lámina de agua y diámetro igual el caudal varía dependiendo del coeficiente de rugosidad “n”, sea “n” teórico, “n” mínimo y “n” máximo.

Se observó que para algunas de las mediciones el coeficiente de rugosidad disminuyo respecto al valor de “n” teórico, representando así, características de una tubería lisa, es decir, con valores bajos de rugosidad.

Gráfica 7-13 Curva de Capacidad en relación con “n” teórico y práctico (máx y mín) Tubería 1 Gres, pozo PZ509.



Fuente: elaboración propia

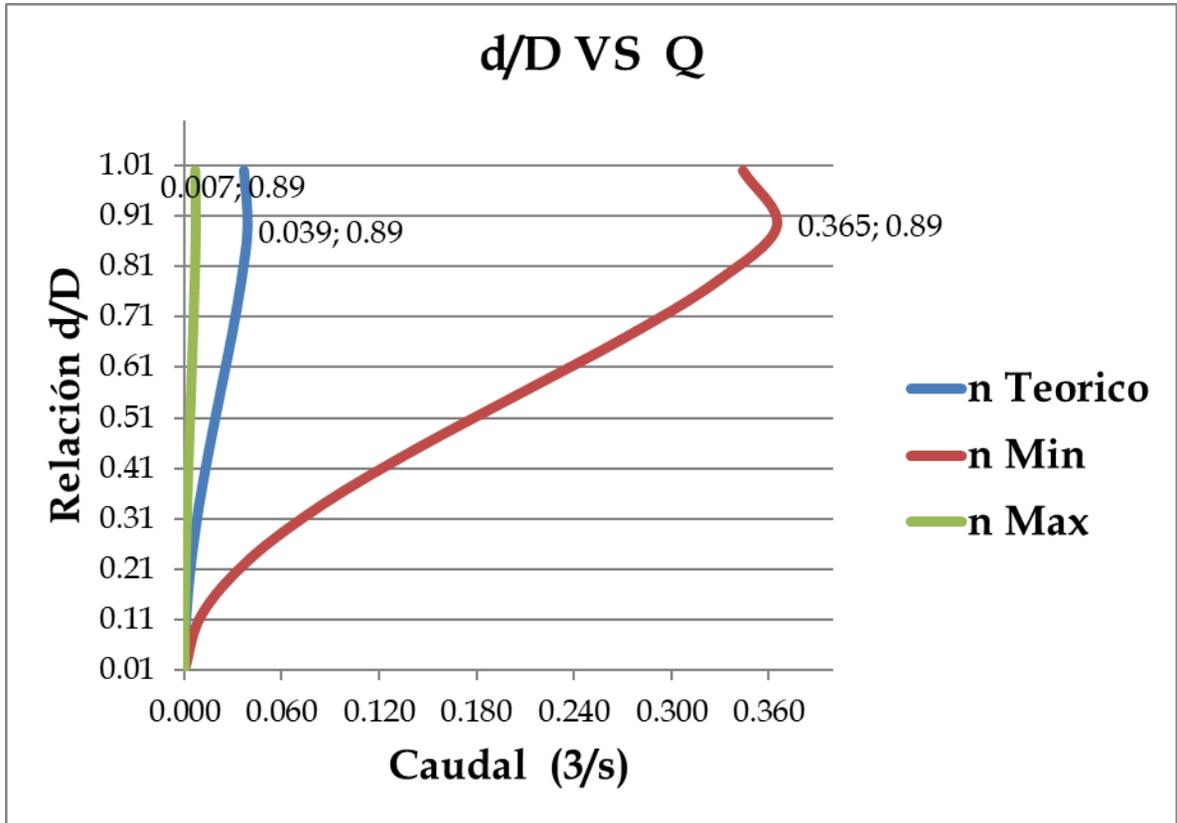
Tabla 7-13 Comparación de variables curva de capacidad. Tubería 1 Gres, pozo PZ509.

	n	d/D	Caudal (m3/s)
Máximo	13,472	0,89	0
mínimo	1,370	0,89	0
Teórico	0,009	0,89	0,068

Fuente: elaboración propia

En la tubería 1 de Gres, pozo PZ509 se obtuvieron valores mayores para la rugosidad indicando una posible menor capacidad hidráulica en circulación.

Gráfica 7-14 Curva de Capacidad en relación con “n” teórico y práctico (máx y mín) Tubería 2 Gres, pozo PZ433



Fuente: elaboración propia

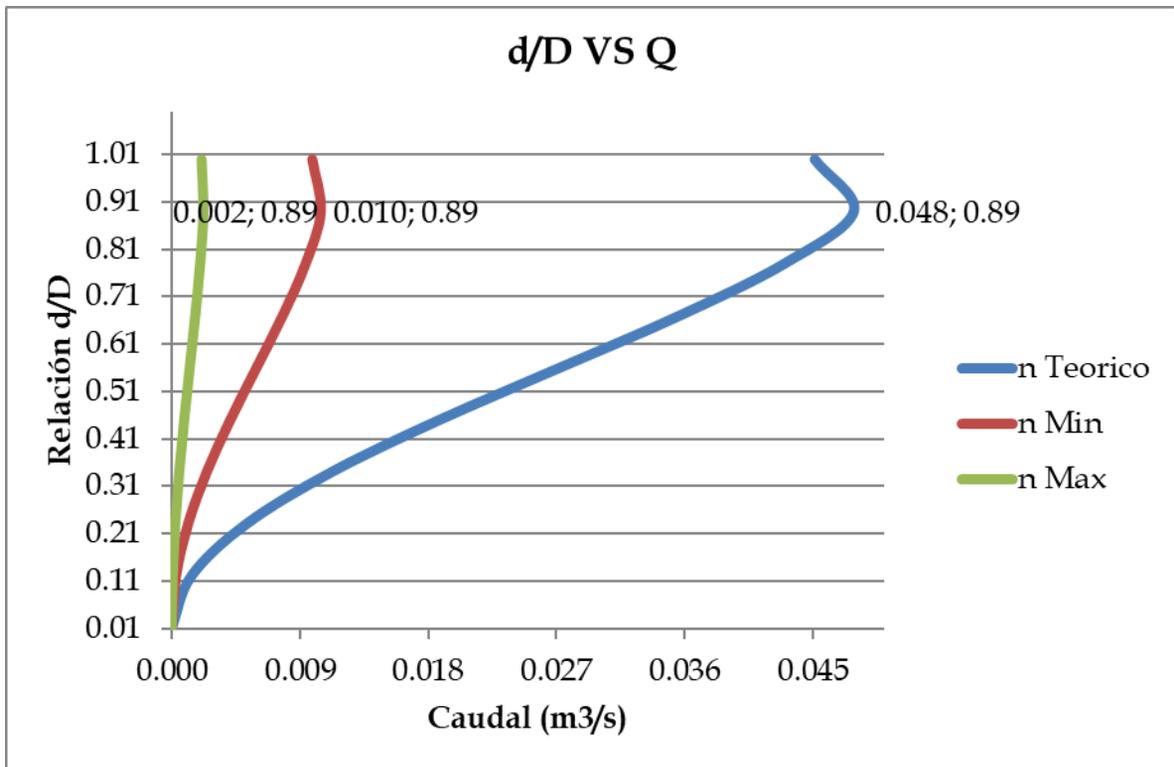
Tabla 7-14 Comparación de variables curva de capacidad. Tubería 2 Gres, pozo PZ433.

	n	d/D	Caudal (m3/s)
Máximo	0,04875	0,89	0,007
Mínimo	0,00096	0,89	0,039
Teórico	0,00900	0,89	0,365

Fuente: elaboración propia

El coeficiente de rugosidad respecto al n teórico disminuyó con el tiempo debido a los fenómenos hidráulicos presentes día a día, permitiendo así una capacidad hidráulica mayor a la inicial.

Gráfica 7-15 Curva de Capacidad en relación con “n” teórico y práctico (máx y mín) Tubería 3 Gres, pozo PZ345.



Fuente: elaboración propia

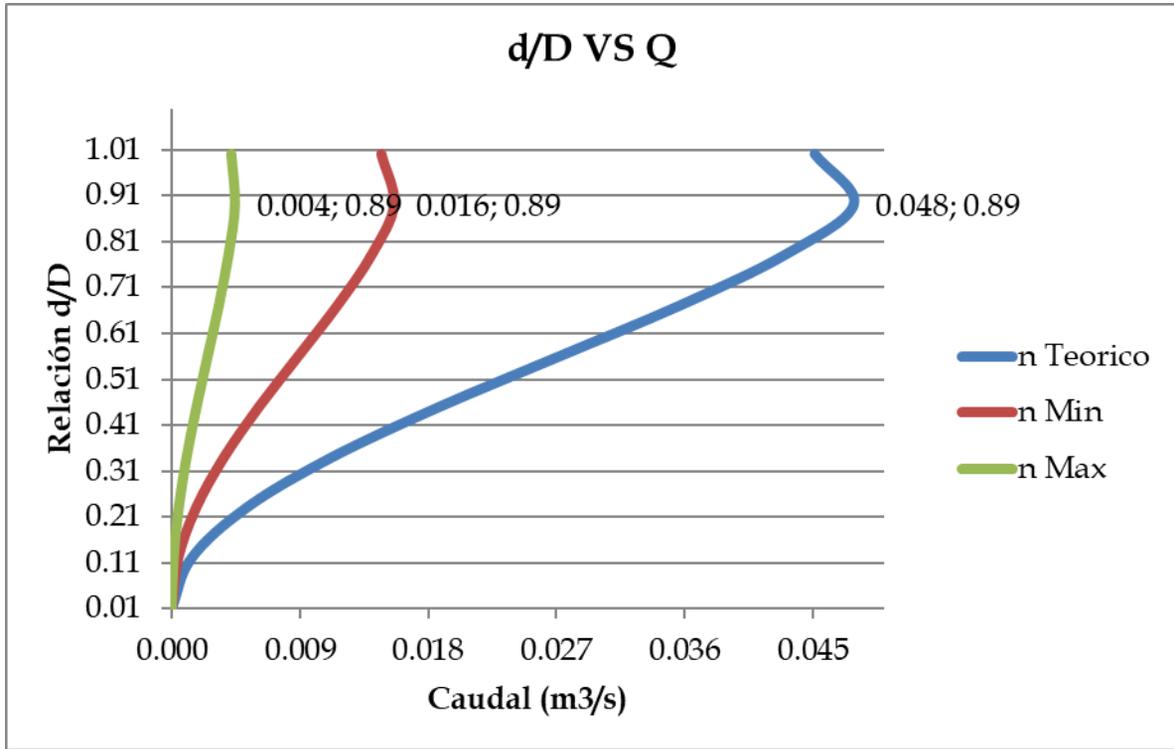
Tabla 7-15 Comparación de variables curva de capacidad. Tubería 3 Gres, pozo PZ345.

n		d/D	Caudal (m ³ /s)
Máximo	0,19558	0,89	0,002
Mínimo	0,04103	0,89	0,01
Teórico	0,009	0,89	0,048

Fuente: elaboración propia

A mayor rugosidad, menor caudal impidiendo el transporte mayor de aguas lluvias y aguas residuales, debido a la cantidad de sedimentos o arenas que circulan por dicha tubería.

Gráfica 7-16 Curva de Capacidad en relación con “n” teórico y práctico (máx y mín) Tubería 4 Gres, pozo PZ339.



Fuente: elaboración propia

Tabla 7-16 Comparación de variables curva de capacidad. Tubería 4 Gres, pozo PZ339.

	n	d/D	Caudal (m3/s)
Máximo	9,65E-02	0,89	0,004
Mínimo	2,77E-02	0,89	0,016
Teórico	0,009	0,89	0,048

Fuente: elaboración propia

Para todas las tuberías, se obtuvo un resultado con las mismas características para en “n” máximo, mínimo y el valor teórico. Evidentemente para los valores de “n” mayor, es decir, mayor rugosidad se presenta menor capacidad hidráulica, para el “n” máximo, se presenta un caudal menor en cada tubería. Esta relación depende de las condiciones en las que se encuentra el flujo de cada pozo evaluado.

Para la condición de diseño, esta se realiza con el “n” teórico, a través del tiempo el efecto que tiene el coeficiente de rugosidad en las tuberías en cuanto a la capacidad se ve reducido debido a la variación de éste.

Partiendo de las curvas obtenidas, se obtiene que, a mayor rugosidad, en las condiciones donde el valor de “n” de Manning fue mayor, se transporta menos caudal por la tubería; Pero para los valores de “n” mínimo, que son los “n” teóricos, las condiciones obtenidas son semejantes a las obtenidas en campo de “n” mínimo.

8. RECOMENDACIONES

El nivel y caudal que circula por una tubería es un factor importante que afecta el coeficiente de rugosidad y por lo tanto merece un análisis particular. Cuando el flujo del agua circula, a medida que aumenta el caudal o nivel la “n” de Manning tiende a disminuir.

La relación entre los valores del coeficiente de Manning y la profundidad de flujo puede ser directamente proporcional cuando el lecho del canal es grande e inversamente proporcional cuando es pequeño, es decir, dicha relación depende de la sección transversal. (Kennedy y Coelho, 2018).

El transporte de sedimentos representa influencia en la variabilidad del coeficiente “n” de Manning, el tamaño de éstos, puede presentar aumento o disminución en la variable, es importante tener en cuenta la presencia de estos en cada muestra de caudal aforado.

Es de suma importancia la adecuada selección del coeficiente de rugosidad de Manning, ya que si se tiende a sobreestimar indirectamente se generan secciones hidráulicas de mayores dimensiones, lo cual se traduce en sobrecostos innecesarios y el ineducado funcionamiento hidráulico de la estructura.

La elección del material de revestimiento se debe hacer en función del caudal de diseño, la altura de flujo y las propiedades económicas disponibles para el proyecto.

En conductos cerrados, la sobrestimación del coeficiente de Manning no es recomendable en ciertas relaciones de llenado, ya que se pueden generar problemas de sobrecarga e incluso de costos adicionales.

9. CONCLUSIONES

Una vez realizado el estudio completo y tras conocer los resultados obtenidos, ha quedado demostrada la finalidad del mismo:

Los estudios relacionados con el coeficiente de rugosidad han estado limitados a ser evaluados en laboratorios, demostrando de manera práctica y teórica la variación de esta con respecto a las diferentes condiciones; realizar el proyecto en campo nos permitió evidenciar y demostrar la afectación y el cambio que presenta el coeficiente de rugosidad en las tuberías seleccionadas a través del tiempo obteniendo como resultado una evidencia

reflejada en la realidad con respecto a las investigaciones y antecedentes relacionados en este documento.

El tiempo tiene un papel protagónico en los efectos de variación del coeficiente de rugosidad, aunque cada tubería tiene sus propias características hidráulicas, para cada fecha de aforo se evidencio un cambio en ésta variable. Las tuberías de PVC en condiciones iniciales, teóricamente tienen un coeficiente de rugosidad entre 0.009 y 0.011, en los cálculos realizados, algunas de las tomas se encuentran dentro de estos rangos, pero para la mayoría no. Para las tuberías de Gres, el coeficiente de rugosidad en condiciones iniciales se encuentra teóricamente entre 0.011 y 0.015, para ninguna de las tomas realizadas en las fechas de aforo se evidencio un valor de la variable dentro de estos rangos, por el contrario, se encuentran valores mayores.

El cálculo del coeficiente de rugosidad “n” de Manning, para cualquier tubería de diferente material, depende fundamentalmente de las características del caudal que circula, por lo cual, es primordial prestar mucha atención a la hora de la toma de muestras y la evaluación de esta variable.

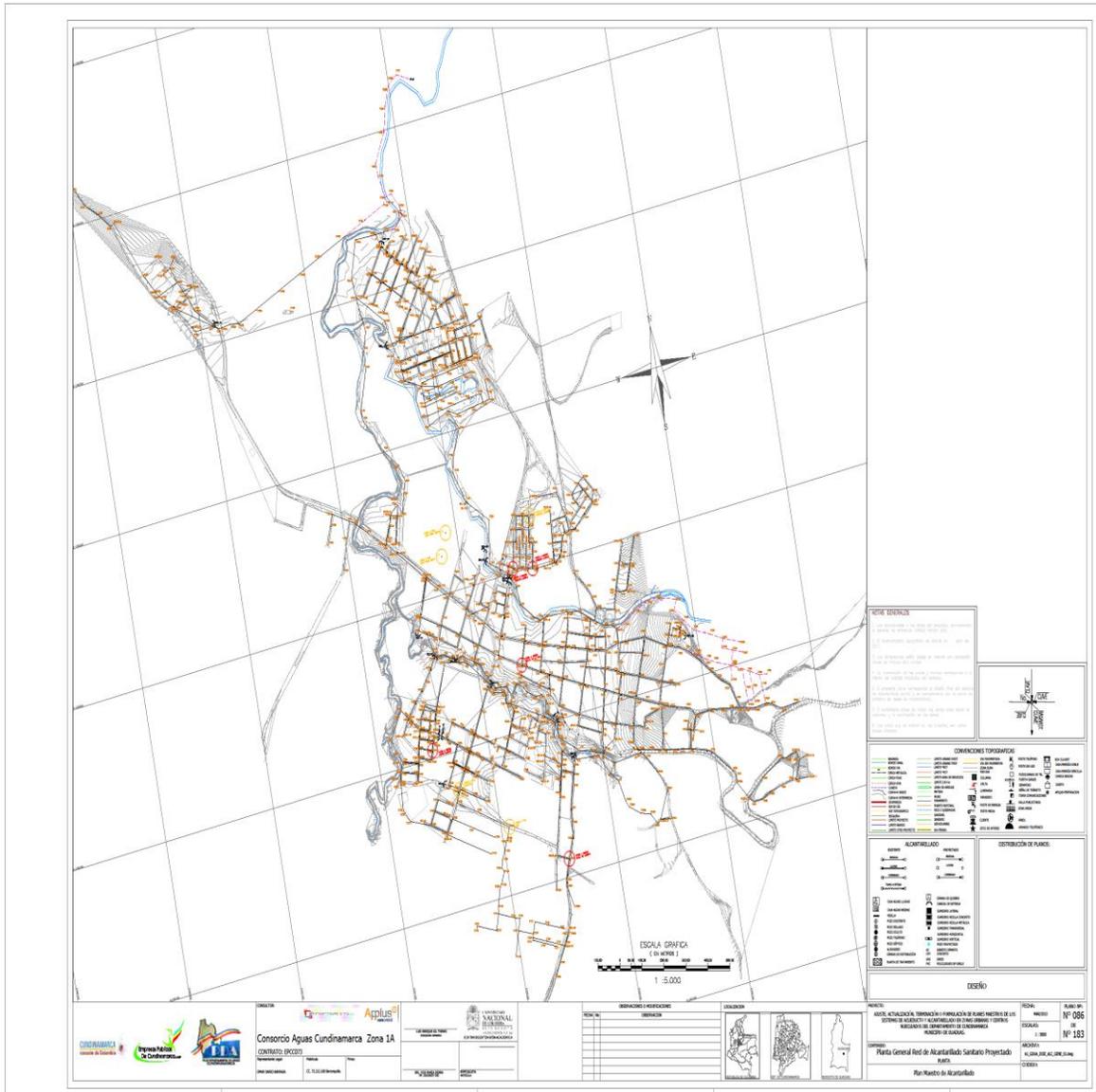
Cada tubería cuenta con características especiales y únicas que deben tenerse en cuenta. La sección transversal, longitudinal, pendiente y altura de lámina de agua, son variables que se encuentran presente dentro de los múltiples factores que afectan el coeficiente.

Al aumentar el coeficiente de rugosidad “n” de Manning, tiene un efecto en la capacidad hidráulica, debido a que reduce la capacidad de transporte que circula en la tubería, y esto podría generar posibles remansos y diferentes fenómenos hidráulicos. El nivel y caudal que circula por un cauce es un factor importante que afecta la “n”, cuando el flujo del agua circula por la tubería a medida que aumenta el caudal o nivel la “n” de Manning tiende a disminuir, sin embargo, hay que considerar la sección completa del cauce, porque si el caudal es tan grande que alcanza las llanuras de inundación y la irregularidad en la misma es considerable, la “n” de Manning puede aumentar, por lo tanto es indispensable analizar el efecto del nivel o caudal en conjunto con toda la sección compuesta de la tubería.

10. ANEXOS

10.1. ANEXO A - PLANTA GENERAL RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO PROYECTADO

[001-AUTOCAD\A1 GDUa DISE ALC GENE 01AAA.pdf](#)



10.2. ANEXO B CÁLCULO Y REGISTRO DE CAUDALES

Cálculo de caudales tubería 1 PVC, pozo PZ709.

Registro Cálculo de caudales en tuberías de diferente material									
Red de Alcantarillado Sanitario Municipio Guaduas - Cundinamarca						Alcantarillado: Residual - Lluvias			
POZO 1	PZ709		PVC						
DÍA 1	2/08/2019		Material	PVC		No. Pozo	PZ709		
Diametro (m)	0,2032					Diametro (Pulg)	8		
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tiempo (s)	8,46	4,45	7,71	5,75	8,61	6,98	6,13	6,74	
Q (l/s)	0,11820331	0,2247191	0,1297	0,17391	0,11614	0,143266476	0,16313	0,14837	
Q (m3/s)	0,0001182	0,00022472	0,00013	0,00017	0,00012	0,000143266	0,00016	0,00015	0,00015
DÍA 2	3/08/2019		Material	PVC		No. Pozo	PZ709		
Diametro (m)	0,2032					Diametro (Pulg)	8		
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tiempo (s)	41,02	45,11	38,02	40,38	51,42	30,25	18,58	17,43	
Q (l/s)	0,02437835	0,02216803	0,0263	0,02476	0,01945	0,033057851	0,05382	0,05737	
Q (m3/s)	2,4378E-05	2,2168E-05	2,6E-05	2,5E-05	1,9E-05	3,30579E-05	5,4E-05	5,7E-05	3,3E-05
DÍA 3	9/08/2019		Material	PVC		No. Pozo	PZ709		
Diametro (m)	0,2032					Diametro (Pulg)	8		
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tiempo (s)	9,56	10,22	7,02	3,27	2,72	2,34	2,36	2,52	
Q (l/s)	0,10460251	0,09784736	0,14245	0,30581	0,36765	0,427350427	0,42373	0,39683	
Q (m3/s)	0,0001046	9,7847E-05	0,00014	0,00031	0,00037	0,00042735	0,00042	0,0004	0,00028
DÍA 4	10/08/2019		Material	PVC		No. Pozo	PZ709		
Diametro (m)	0,2032					Diametro (Pulg)	8		
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tiempo (s)	8,82	7,19	8,96	9,60	8,59	11,06	14,53	8,51	
Q (l/s)	0,11337868	0,13908206	0,11161	0,10417	0,11641	0,090415913	0,06882	0,11751	
Q (m3/s)	0,00011338	0,00013908	0,00011	0,0001	0,00012	9,04159E-05	6,9E-05	0,00012	0,00011
DÍA 5	16/08/2019		Material	PVC		No. Pozo	PZ709		
Diametro (m)	0,2032					Diametro (Pulg)	8		
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tiempo (s)	19,82	20,41	14,86	29,29	20,36	24,51	21,63	29,13	
Q (l/s)	0,05045409	0,04899559	0,06729	0,03414	0,04912	0,040799674	0,04623	0,03433	
Q (m3/s)	5,0454E-05	4,8996E-05	6,7E-05	3,4E-05	4,9E-05	4,07997E-05	4,6E-05	3,4E-05	4,6E-05
DÍA 6	17/08/2019		Material	PVC		No. Pozo	PZ709		
Diametro (m)	0,2032					Diametro (Pulg)	8		
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tiempo (s)	4,33	1,78	2,16	3,14	2,53	2,56	3,66	2,78	
Q (l/s)	0,23094688	0,56179775	0,46296	0,31847	0,39526	0,390625	0,27322	0,35971	
Q (m3/s)	0,00023095	0,0005618	0,00046	0,00032	0,0004	0,000390625	0,00027	0,00036	0,00037
DÍA 7	24/08/2019		Material	PVC		No. Pozo	PZ709		
Diametro (m)	0,2032					Diametro (Pulg)	8		
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tiempo (s)	5,21	3,17	3,50	2,93	4,54	3,23	4,05	3,86	
Q (l/s)	0,19193858	0,31545741	0,28571	0,3413	0,22026	0,309597523	0,24691	0,25907	
Q (m3/s)	0,00019194	0,00031546	0,00029	0,00034	0,00022	0,000309598	0,00025	0,00026	0,00027

Cálculo de caudales tubería 2 PVC, pozo PZ292.

Registro Cálculo de caudales en tuberías de diferente material									
Red de Alcantarillado Sanitario Municipio Guaduas - Cundinamarca						Alcantarillado: Residual - Lluvias			
POZO 2	PZ292		PVC						
DÍA 1	2/08/2019		Material	PVC		No. Pozo	PZ292		
Diametro (m)	0,3048					Diametro (Pulg)	12		
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tiempo (s)	1,00	0,58	0,87	1,12	1,25	1,00	0,88	0,85	
Q (L/s)	1,0000000	1,7241379	1,1494253	0,8928571	0,8000000	1,0000000	1,1363636	1,1764706	
Q (m3/s)	0,0010000	0,0017241	0,0011494	0,0008929	0,0008000	0,0010000	0,0011364	0,0011765	0,0011099
DÍA 2	3/08/2019		Material	PVC		No. Pozo	PZ292		
Diametro (m)	0,3048					Diametro (Pulg)	12		
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tiempo (s)	1,63	1,65	1,23	1,34	1,75	1,26	1,23	1,36	
Q (L/s)	0,61349693	0,60606061	0,81300813	0,74626866	0,57142857	0,79365079	0,81300813	0,73529412	
Q (m3/s)	0,00061350	0,00060606	0,00081301	0,00074627	0,00057143	0,00079365	0,00081301	0,00073529	0,00071153
DÍA 3	9/08/2019		Material	PVC		No. Pozo	PZ292		
Diametro (m)	0,3048					Diametro (Pulg)	12		
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tiempo (s)	1,06	1,18	0,88	0,53	0,81	0,76	0,96	1,36	
Q (L/s)	0,9433962	0,8474576	1,13636364	1,8867925	1,2345679	1,315789474	1,04166667	0,7352941	
Q (m3/s)	0,0009434	0,0008475	0,00113636	0,0018868	0,0012346	0,001315789	0,00104167	0,0007353	0,0011427
DÍA 4	10/08/2019		Material	PVC		No. Pozo	PZ292		
Diametro (m)	0,3048					Diametro (Pulg)	12		
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tiempo (s)	1,58	0,49	0,44	0,62	0,76	0,58	1,46	1,11	
Q (L/s)	0,6329114	2,0408163	2,27272727	1,6129032	1,3157895	1,724137931	0,68493151	0,9009009	
Q (m3/s)	0,0006329	0,0020408	0,00227273	0,0016129	0,0013158	0,001724138	0,00068493	0,0009009	0,0013981
DÍA 5	16/08/2019		Material	PVC		No. Pozo	PZ292		
Diametro (m)	0,3048					Diametro (Pulg)	12		
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tiempo (s)	2,52	0,61	0,68	1,24	1,13	1,70	2,16	1,16	
Q (L/s)	0,3968254	1,6393443	1,47058824	0,8064516	0,8849558	0,588235294	0,46296296	0,862069	
Q (m3/s)	0,0003968	0,0016393	0,00147059	0,0008065	0,000885	0,000588235	0,00046296	0,0008621	0,0008889
DÍA 6	17/08/2019		Material	PVC		No. Pozo	PZ292		
Diametro (m)	0,3048					Diametro (Pulg)	12		
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tiempo (s)	2,10	1,18	0,61	0,75	1,73	1,53	1,43	0,96	
Q (L/s)	0,4761905	0,8474576	1,63934426	1,3333333	0,5780347	0,653594771	0,6993007	1,0416667	
Q (m3/s)	0,0004762	0,0008475	0,00163934	0,0013333	0,000578	0,000653595	0,0006993	0,0010417	0,0009086

Cálculo de caudales tubería 3 PVC, pozo PZ.

Registro Cálculo de caudales en tuberías de diferente material									
Red de Alcantarillado Sanitario Municipio Guaduas - Cundinamarca					Alcantarillado: Residual - Lluvias				
POZO 3		PZ		PVC					
DÍA 1	2/08/2019		Material	PVC		No. Pozo	PZ		
Diametro (m)	0,1524					Diametro (Pulg)	6		
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tiempo (s)	1,53	1,93	1,90	1,88	2,32	3,15	3,90	2,38	
Q (L/s)	0,65359477	0,51813472	0,52632	0,53191	0,43103	0,317460317	0,25641	0,42017	
Q (m3/s)	0,00065359	0,00051813	0,00053	0,00053	0,00043	0,00031746	0,00026	0,00042	0,00046
DÍA 2	3/08/2019		Material	PVC		No. Pozo	PZ		
Diametro (m)	0,1524					Diametro (Pulg)	6		
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	8
Tiempo (s)	4,36	3,29	3,13	3,61	3,36	4,56	3,63	3,81	
Q (L/s)	0,2293578	0,30395137	0,31949	0,27701	0,29762	0,219298246	0,27548	0,26247	
Q (m3/s)	0,00022936	0,00030395	0,00032	0,00028	0,0003	0,000219298	0,00028	0,00026	0,00027
DÍA 3	9/08/2019		Material	PVC		No. Pozo	PZ		
Diametro (m)	0,1524					Diametro (Pulg)	6		
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tiempo (s)	5,88	6,90	9,05	8,05	12,16	14,15	16,85	21,63	
Q (L/s)	0,17006803	0,14492754	0,1105	0,12422	0,08224	0,070671378	0,05935	0,04623	
Q (m3/s)	0,00017007	0,00014493	0,00011	0,00012	8,2E-05	7,06714E-05	5,9E-05	4,6E-05	0,0001
DÍA 4	10/08/2019		Material	PVC		No. Pozo	PZ		
Diametro (m)	0,1524					Diametro (Pulg)	6		
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tiempo (s)	17,00	14,23	9,86	14,88	10,46	9,91	20,00	14,02	
Q (L/s)	0,05882353	0,07027407	0,10142	0,0672	0,0956	0,100908174	0,05	0,07133	
Q (m3/s)	5,8824E-05	7,0274E-05	0,0001	6,7E-05	9,6E-05	0,000100908	0,00005	7,1E-05	7,7E-05
DÍA 5	16/08/2019		Material	PVC		No. Pozo	PZ		
Diametro (m)	0,1524					Diametro (Pulg)	6		
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tiempo (s)	19,83	11,63	11,30	16,77	12,05	16,23	13,30	18,04	
Q (L/s)	0,05042864	0,08598452	0,0885	0,05963	0,08299	0,061614295	0,07519	0,05543	
Q (m3/s)	5,0429E-05	8,5985E-05	8,8E-05	6E-05	8,3E-05	6,16143E-05	7,5E-05	5,5E-05	7E-05
DÍA 6	17/08/2019		Material	PVC		No. Pozo	PZ		
Diametro (m)	0,1524					Diametro (Pulg)	6		
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tiempo (s)	7,65	5,84	4,58	8,60	4,96	4,93	5,77	4,70	
Q (L/s)	0,13071895	0,17123288	0,21834	0,11628	0,20161	0,202839757	0,17331	0,21277	
Q (m3/s)	0,00013072	0,00017123	0,00022	0,00012	0,0002	0,00020284	0,00017	0,00021	0,00018
DÍA 7	24/08/2019		Material	PVC		No. Pozo	PZ		
Diametro (m)	0,1524					Diametro (Pulg)	6		
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tiempo (s)	9,62	7,47	5,86	7,38	9,83	9,19	8,26	6,33	
Q (L/s)	0,1039501	0,13386881	0,17065	0,1355	0,10173	0,108813928	0,12107	0,15798	
Q (m3/s)	0,00010395	0,00013387	0,00017	0,00014	0,0001	0,000108814	0,00012	0,00016	0,00013

Cálculo de caudales tubería 4 PVC, pozo PZ.

Registro Cálculo de caudales en tuberías de diferente material									
Red de Alcantarillado Sanitario Municipio Guaduas - Cundinamarca						Alcantarillado: Residual - Lluvias			
POZO 4	PZ	PVC							
DÍA 1	2/08/2019		Material	PVC		No. Pozo	PZ		
Diametro (m)	0,1524					Diametro (Pulg)	6		
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tiempo (s)	16,46	18,31	21,26	28,84	31,65	22,19	28,28	38,94	
Q (L/s)	0,06075334	0,05461496	0,04704	0,03467	0,0316	0,045065345	0,03536	0,02568	
Q (m3/s)	6,0753E-05	5,4615E-05	4,7E-05	3,5E-05	3,2E-05	4,50653E-05	3,5E-05	2,6E-05	4,2E-05
DÍA 2	3/08/2019		Material	PVC		No. Pozo	PZ		
Diametro (m)	0,1524					Diametro (Pulg)	6		
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tiempo (s)	3,75	2,18	2,06	2,23	3,11	3,38	3,51	4,00	
Q (L/s)	0,26666667	0,4587156	0,48544	0,44843	0,32154	0,295857988	0,2849	0,25	
Q (m3/s)	0,00026667	0,00045872	0,00049	0,00045	0,00032	0,000295858	0,00028	0,00025	0,00035
DÍA 3	9/08/2019		Material	PVC		No. Pozo	PZ		
Diametro (m)	0,1524					Diametro (Pulg)	6		
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tiempo (s)	64,39	59,34	20,04	27,40	9,10	12,02	18,18	25,87	
Q (L/s)	0,01553036	0,01685204	0,0499	0,0365	0,10989	0,083194676	0,05501	0,03865	
Q (m3/s)	1,553E-05	1,6852E-05	5E-05	3,6E-05	0,00011	8,31947E-05	5,5E-05	3,9E-05	5,1E-05
DÍA 4	10/08/2019		Material	PVC		No. Pozo	PZ		
Diametro (m)	0,1524					Diametro (Pulg)	6		
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tiempo (s)	68,33	103,50	65,20	50,48	48,29	62,30	41,20	57,05	
Q (L/s)	0,01463486	0,00966184	0,01534	0,01981	0,02071	0,016051364	0,02427	0,01753	
Q (m3/s)	1,4635E-05	9,6618E-06	1,5E-05	2E-05	2,1E-05	1,60514E-05	2,4E-05	1,8E-05	1,7E-05
DÍA 5	16/08/2019		Material	PVC		No. Pozo	PZ		
Diametro (m)	0,1524					Diametro (Pulg)	6		
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tiempo (s)	15,46	8,33	18,01	19,98	20,12	26,25	19,86	32,59	
Q (L/s)	0,06468305	0,12004802	0,05552	0,05005	0,0497	0,038095238	0,05035	0,03068	
Q (m3/s)	6,4683E-05	0,00012005	5,6E-05	5E-05	5E-05	3,80952E-05	5E-05	3,1E-05	5,7E-05
DÍA 6	17/08/2019		Material	PVC		No. Pozo	PZ		
Diametro (m)	0,1524					Diametro (Pulg)	6		
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tiempo (s)	33,50	31,40	29,15	36,40	30,50	35,42	32,58	33,26	
Q (L/s)	0,02985075	0,03184713	0,03431	0,02747	0,03279	0,028232637	0,03069	0,03007	
Q (m3/s)	2,9851E-05	3,1847E-05	3,4E-05	2,7E-05	3,3E-05	2,82326E-05	3,1E-05	3E-05	3,1E-05

Cálculo de caudales tubería 1 Gres, pozo PZ509.

Registro Cálculo de caudales en tuberías de diferente material											
Red de Alcantarillado Sanitario Municipio Guaduas - Cundinamarca						Alcantarillado: Residual - Lluvias					
DIA 1	2/08/2019		Material	GRESS		No. Pozo	PZ509				
Diametro (m)	0,2032					Diametro (Pulg)	8				
Volumen (MI)	650	650	620	620	580	640	680				
Tiempo (s)	10,78	8,22	10,28	8,38	11,44	9,62	8,97				
Q (L/s)	6,03E-05	7,9075E-05	6,03113E-05	7,4E-05	5,07E-05	6,65281E-05	7,58E-05				
Q (m3/s)	6,03E-08	7,9075E-08	6,03113E-08	7,4E-08	5,07E-08	6,65281E-08	7,58E-08	6,67E-08			
DIA 2	3/08/2019		Material	GRESS		No. Pozo	PZ509				
Diametro (m)	0,2032					Diametro (Pulg)	8				
Volumen (MI)	600	640	580	620	600	580	600				
Tiempo (s)	7,25	7,78	5,26	6,94	7,88	8,22	8,68				
Q (L/s)	8,276E-05	8,2262E-05	0,000110266	8,93E-05	7,61E-05	7,05596E-05	6,91E-05				
Q (m3/s)	8,276E-08	8,2262E-08	1,10266E-07	8,93E-08	7,61E-08	7,05596E-08	6,91E-08	8,29E-08			
DIA 3	9/08/2019		Material	GRESS		No. Pozo	PZ509				
Diametro (m)	0,2032					Diametro (Pulg)	8				
Volumen (MI)	690	610	690	690	680	700	680	640	640	620	
Tiempo (s)	7,37	8,76	7,79	7,45	8,49	7,58	6,06	7,18	5,99	9,05	
Q (L/s)	9,362E-05	6,9635E-05	8,85751E-05	9,26E-05	8,01E-05	9,23483E-05	0,000112	8,91E-05	0,000107	6,85E-05	
Q (m3/s)	9,362E-08	6,9635E-08	8,85751E-08	9,26E-08	8,01E-08	9,23483E-08	1,12E-07	8,91E-08	1,07E-07	6,85E-08	8,93593E-08
DIA 4	10/08/2019		Material	GRESS		No. Pozo	PZ509				
Diametro (m)	0,2032					Diametro (Pulg)	8				
Volumen (MI)	620	640	600	600	580	600	620	640	690	620	
Tiempo (s)	5,98	9,46	9,95	13,08	10,33	9,73	8,86	7,58	10,43	8,75	
Q (L/s)	0,0001037	6,7653E-05	6,03015E-05	4,59E-05	5,61E-05	6,1665E-05	7E-05	8,44E-05	6,62E-05	7,09E-05	
Q (m3/s)	1,037E-07	6,7653E-08	6,03015E-08	4,59E-08	5,61E-08	6,1665E-08	7E-08	8,44E-08	6,62E-08	7,09E-08	6,8674E-08
DIA 5	16/08/2019		Material	GRESS		No. Pozo	PZ509				
Diametro (m)	0,2032					Diametro (Pulg)	8				
Volumen (MI)	680	710	680	620	700	700	700	680	690	680	
Tiempo (s)	13,61	12,36	16,79	10,69	9,13	13,68	10,32	8,35	9,62	10,05	
Q (L/s)	4,996E-05	5,7443E-05	4,05003E-05	5,8E-05	7,67E-05	5,11696E-05	6,78E-05	8,14E-05	7,17E-05	6,77E-05	
Q (m3/s)	4,996E-08	5,7443E-08	4,05003E-08	5,8E-08	7,67E-08	5,11696E-08	6,78E-08	8,14E-08	7,17E-08	6,77E-08	6,22399E-08
DIA 6	17/08/2019		Material	GRESS		No. Pozo	PZ509				
Diametro (m)	0,2032					Diametro (Pulg)	8				
Volumen (MI)	840	800	740	800	800	820	700	720	700		
Tiempo (s)	5,78	4,18	4,09	5,63	5,55	5,20	6,72	4,52	5,32		
Q (L/s)	0,0001453	0,00019139	0,000180929	0,000142	0,000144	0,000157692	0,000104	0,000159	0,000132		
Q (m3/s)	1,453E-07	1,9139E-07	1,80929E-07	1,42E-07	1,44E-07	1,57692E-07	1,04E-07	1,59E-07	1,32E-07	1,51E-07	

Cálculo de caudales tubería 2 Gres, pozo PZ433.

Registro Cálculo de caudales en tuberías de diferente material									
Red de Alcantarillado Sanitario Municipio Guaduas - Cundinamarca						Alcantarillado: Residual - Lluvias			
POZO 2	PZ433		GRES						
DÍA 1	2/08/2019		Material	GRES		No. Pozo	PZ433		
Diametro (m)	0,2032					Diametro (Pulg)	8		
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tiempo (s)	8,03	10,12	10,65	11,02	10,29	10,52	9,57	10,18	
Q (L/s)	0,124533	0,09881423	0,0939	0,09074	0,09718	0,095057034	0,10449	0,09823	
Q (m3/s)	0,00012453	9,8814E-05	9,4E-05	9,1E-05	9,7E-05	9,5057E-05	0,0001	9,8E-05	0,0001
DÍA 2	3/08/2019		Material	GRES		No. Pozo	PZ433		
Diametro (m)	0,2032					Diametro (Pulg)	8		
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tiempo (s)	11,68	9,30	9,32	8,22	8,16	8,60	9,06	9,03	
Q (L/s)	0,08561644	0,10752688	0,1073	0,12165	0,12255	0,11627907	0,11038	0,11074	
Q (m3/s)	8,5616E-05	0,00010753	0,00011	0,00012	0,00012	0,000116279	0,00011	0,00011	0,00011
DÍA 3	9/08/2019		Material	GRES		No. Pozo	PZ433		
Diametro (m)	0,2032					Diametro (Pulg)	8		
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tiempo (s)	13,70	15,97	16,42	14,29	17,25	20,99	17,00	6,35	
Q (L/s)	0,0729927	0,06261741	0,0609	0,06998	0,05797	0,047641734	0,05882	0,15748	
Q (m3/s)	7,2993E-05	6,2617E-05	6,1E-05	7E-05	5,8E-05	4,76417E-05	5,9E-05	0,00016	7,4E-05
DÍA 4	10/08/2019		Material	GRES		No. Pozo	PZ433		
Diametro (m)	0,2032					Diametro (Pulg)	8		
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tiempo (s)	2,30	3,50	3,25	4,08	2,56	3,22	2,68	2,58	
Q (L/s)	0,43478261	0,28571429	0,30769	0,2451	0,39063	0,310559006	0,37313	0,3876	
Q (m3/s)	0,00043478	0,00028571	0,00031	0,00025	0,00039	0,000310559	0,00037	0,00039	0,00034
DÍA 5	16/08/2019		Material	GRES		No. Pozo	PZ433		
Diametro (m)	0,2032					Diametro (Pulg)	8		
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tiempo (s)	6,15	12,24	7,83	7,85	6,80	7,03	5,41	6,16	
Q (L/s)	0,16260163	0,08169935	0,12771	0,12739	0,14706	0,142247511	0,18484	0,16234	
Q (m3/s)	0,0001626	8,1699E-05	0,00013	0,00013	0,00015	0,000142248	0,00018	0,00016	0,00014
DÍA 6	17/08/2019		Material	GRES		No. Pozo	PZ433		
Diametro (m)	0,2032					Diametro (Pulg)	8		
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tiempo (s)	9,91	10,40	10,48	9,58	10,47	11,12	10,56	10,93	
Q (L/s)	0,10090817	0,09615385	0,09542	0,10438	0,09551	0,089928058	0,0947	0,09149	
Q (m3/s)	0,00010091	9,6154E-05	9,5E-05	0,0001	9,6E-05	8,99281E-05	9,5E-05	9,1E-05	9,6E-05
DÍA 7	24/08/2019		Material	GRES		No. Pozo	PZ433		
Diametro (m)	0,2032					Diametro (Pulg)	8		
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tiempo (s)	14,68	16,33	15,91	15,43	16,98	17,50	17,47	15,58	
Q (L/s)	0,06811989	0,06123699	0,06285	0,06481	0,05889	0,057142857	0,05724	0,06418	
Q (m3/s)	6,812E-05	6,1237E-05	6,3E-05	6,5E-05	5,9E-05	5,71429E-05	5,7E-05	6,4E-05	6,2E-05

Cálculo de caudales tubería 1 Gres, pozo PZ345

Registro Cálculo de caudales en tuberías de diferente material									
Red de Alcantarillado Sanitario Municipio Guaduas - Cundinamarca						Alcantarillado: Residual - Lluvias			
POZO 3	PZ345		GRES			No. Pozo		PZ345	
DÍA 1	2/08/2019		Material	GRES		No. Pozo		PZ345	
Diametro (m)	0,2032					Diametro (Pulg)		8	
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tiempo (s)	1,95	2,42	3,03	2,66	1,88	1,82	1,80	2,33	
Q (L/s)	0,51282051	0,41322314	0,33003	0,37594	0,53191	0,549450549	0,55556	0,42918	
Q (m3/s)	0,00051282	0,00041322	0,00033	0,00038	0,00053	0,000549451	0,00056	0,00043	0,00046
DÍA 2	3/08/2019		Material	GRES		No. Pozo		PZ345	
Diametro (m)	0,2032					Diametro (Pulg)		8	
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tiempo (s)	1,91	2,73	1,76	2,05	2,90	2,05	2,15	1,93	
Q (L/s)	0,52356021	0,36630037	0,56818	0,4878	0,34483	0,487804878	0,46512	0,51813	
Q (m3/s)	0,00052356	0,0003663	0,00057	0,00049	0,00034	0,000487805	0,00047	0,00052	0,00047
DÍA 3	9/08/2019		Material	GRES		No. Pozo		PZ345	
Diametro (m)	0,2032					Diametro (Pulg)		8	
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tiempo (s)	1,66	1,53	2,00	2,80	1,70	1,30	2,53	1,70	
Q (L/s)	0,60240964	0,65359477	0,5	0,35714	0,58824	0,769230769	0,39526	0,58824	
Q (m3/s)	0,00060241	0,00065359	0,0005	0,00036	0,00059	0,000769231	0,0004	0,00059	0,00056
DÍA 4	10/08/2019		Material	GRES		No. Pozo		PZ345	
Diametro (m)	0,2032					Diametro (Pulg)		8	
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tiempo (s)	1,23	1,88	1,66	1,53	2,20	1,59	1,50	1,55	
Q (L/s)	0,81300813	0,53191489	0,60241	0,65359	0,45455	0,628930818	0,66667	0,64516	
Q (m3/s)	0,00081301	0,00053191	0,0006	0,00065	0,00045	0,000628931	0,00067	0,00065	0,00062
DÍA 5	16/08/2019		Material	GRES		No. Pozo		PZ345	
Diametro (m)	0,2032					Diametro (Pulg)		8	
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tiempo (s)	3,69	4,28	3,69	2,50	2,89	2,68	2,00	2,62	
Q (L/s)	0,27100271	0,23364486	0,271	0,4	0,34602	0,373134328	0,5	0,38168	
Q (m3/s)	0,000271	0,00023364	0,00027	0,0004	0,00035	0,000373134	0,0005	0,00038	0,00035
DÍA 6	17/08/2019		Material	GRES		No. Pozo		PZ345	
Diametro (m)	0,2032					Diametro (Pulg)		8	
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tiempo (s)	1,97	1,87	1,84	1,98	2,15	1,94	1,68	1,77	
Q (L/s)	0,50761421	0,53475936	0,54348	0,50505	0,46512	0,515463918	0,59524	0,56497	
Q (m3/s)	0,00050761	0,00053476	0,00054	0,00051	0,00047	0,000515464	0,0006	0,00056	0,00053
DÍA 7	24/08/2019		Material	GRES		No. Pozo		PZ345	
Diametro (m)	0,2032					Diametro (Pulg)		8	
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tiempo (s)	3,30	2,99	2,86	3,30	3,40	2,50	2,60	3,00	
Q (L/s)	0,3030303	0,33444816	0,34965	0,30303	0,29412	0,40000000	0,38462	0,33333	
Q (m3/s)	0,00030303	0,00033445	0,00035	0,0003	0,00029	0,0004	0,00038	0,00033	0,00034

Cálculo de caudales tubería 4 Gres, pozo PZ339.

Registro Cálculo de caudales en tuberías de diferente material									
Red de Alcantarillado Sanitario Municipio Guaduas - Cundinamarca						Alcantarillado: Residual - Lluvias			
POZO 4	PZ339	GRES							
DÍA 1	2/08/2019		Material	GRES		No. Pozo		PZ339	
Diametro (m)	0,2032					Diametro (Pulg)		8	
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tiempo (s)	2,93	2,06	1,52	1,53	1,40	1,92	1,46	1,45	
Q (L/s)	0,34129693	0,48543689	0,65789	0,65359	0,71429	0,520833333	0,68493	0,68966	
Q (m3/s)	0,0003413	0,00048544	0,00066	0,00065	0,00071	0,000520833	0,00068	0,00069	0,00059
DÍA 2	3/08/2019		Material	GRES		No. Pozo		PZ339	
Diametro (m)	0,2032					Diametro (Pulg)		8	
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tiempo (s)	1,93	1,46	1,52	1,60	1,43	1,56	1,40	1,46	
Q (L/s)	0,51813472	0,68493151	0,65789	0,625	0,6993	0,641025641	0,71429	0,68493	
Q (m3/s)	0,00051813	0,00068493	0,00066	0,00063	0,0007	0,000641026	0,00071	0,00068	0,00065
DÍA 3	9/08/2019		Material	GRES		No. Pozo		PZ339	
Diametro (m)	0,2032					Diametro (Pulg)		8	
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tiempo (s)	1,65	1,40	1,50	1,16	1,53	1,20	1,33	1,10	
Q (L/s)	0,60606061	0,71428571	0,66667	0,86207	0,65359	0,833333333	0,75188	0,90909	
Q (m3/s)	0,00060606	0,00071429	0,00067	0,00086	0,00065	0,000833333	0,00075	0,00091	0,00075
DÍA 4	10/08/2019		Material	GRES		No. Pozo		PZ339	
Diametro (m)	0,2032					Diametro (Pulg)		8	
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tiempo (s)	1,20	1,73	1,69	1,46	1,38	1,40	1,46	1,28	
Q (L/s)	0,83333333	0,57803468	0,59172	0,68493	0,72464	0,714285714	0,68493	0,78125	
Q (m3/s)	0,00083333	0,00057803	0,00059	0,00068	0,00072	0,000714286	0,00068	0,00078	0,0007
DÍA 5	16/08/2019		Material	GRES		No. Pozo		PZ339	
Diametro (m)	0,2032					Diametro (Pulg)		8	
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tiempo (s)	1,63	0,64	0,88	1,06	1,22	1,25	1,23	1,38	
Q (L/s)	0,61349693	1,5625	1,13636	0,9434	0,81967	0,8	0,81301	0,72464	
Q (m3/s)	0,0006135	0,0015625	0,00114	0,00094	0,00082	0,0008	0,00081	0,00072	0,00093
DÍA 6	17/08/2019		Material	GRES		No. Pozo		PZ339	
Diametro (m)	0,2032					Diametro (Pulg)		8	
Volumen (Litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tiempo (s)	1,23	1,56	1,32	1,13	1,34	1,78	1,65	1,27	
Q (L/s)	0,81300813	0,64102564	0,75758	0,88496	0,74627	0,561797753	0,60606	0,7874	
Q (m3/s)	0,00081301	0,00064103	0,00076	0,00088	0,00075	0,000561798	0,00061	0,00079	0,00072

11. BIBLIOGRAFÍA

Manning roughness coefficient for Paracatu river. **Ambiental, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e.** 2010. Brazil : s.n., 2010, Vol. 14.

Albaladejo, Norma. 2010. SCRIBD. SCRIBD. [En línea] 2010. <https://es.scribd.com/doc/39490780/Que-es-el-marco-conceptual-en-una-investigacion>.

Alcantarillados., Universidad de los Andes Facultad de Ingeniería Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Centro de Investigación en Acueductos y. 2007-2008. *Determinación del coeficiente de Manning de tubería de alcantarillado NOVAFORT de 200 mm de diámetro.* Bogota : s.n., 2007-2008.

AMÍLCAR, MUÑOZ CRUZ. 2008. *CARACTERIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES* ". s.l. : UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO, 2008.

ANDECE. Cálculo hidráulico en sistemas de saneamiento. *Coficiente de rugosidad* . [En línea] [Citado el: 15 de 03 de 2019.] http://prhomarco.com/descargas/capacidad_hidraulica_de_tuberias.pdf.

Bolinaga., J. J. 2007. *Mecánica Elemental de los Fluidos.* Caracas : Universidad Católica Andrés Bello, 2007.

Carlos Javier Fernández de Córdoba Webster, Alcides J. F. León Méndez, Yakelín Rodríguez López, Paul Geovanny Martínez Ramírez, Diego Martín Meneses Meneses. 2018. *Influencia del método de estimación en el coeficiente de Manning.* *INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL.* 2018, Vol. XXXIX.

Chambilla, Cristian. Academia.edu. *Formula de Manning* . [En línea] [Citado el: 20 de 03 de 2019.] https://www.academia.edu/28325579/F%C3%B3rmula_de_Manning.

CHOW, VEN TE. 1994. *HIDRAULICA DE CANALES ABIERTOS.* BOGOTA : Nomos S.A., 1994.

Coficiente de rugosidade de Manning para o rio Paracatu river, Brazil. **Lyra, G. B., Cecílio, R. A., Zanetti, S. S., & Lyra, G. B.** 2010. 343–350., s.l. : Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2010. <https://doi.org/10.1590/s1415-43662010000400001>.

Coniiti. [En línea] Universidad Católica de Colombia. [Citado el: 16 de 13 de 2019.] <http://coniiti.com/>.

COON, WILLIAM F. 1998. *Estimation of Roughness Coefficients for Natural Stream Channels with Vegetated Banks.* s.l. : GEOLOGICAL SURVEY WATER-SUPPLY PAPER 2441, 1998.

Echarri, Luis. 2007. *QUIMICA DE LAS AGUAS NATURALES-TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.* 2007.

Hatzigiannakis, E., Pantelakis, D., Arampatzis, G., & Ilias, A. 2014. Variation of the Manning roughness coefficient in the river Strymonas in Northern Greece. 2014.

IGAC. GEOPORTAL. *Mapas Departamentales Físicos de Uso Escolar.* [En línea] [Citado el: 16 de 03 de 2019.] <https://geoportal.igac.gov.co/es/contenido/mapas-departamentales-fisicos-de-uso-escolar>.

Isabel León Martín, Luis Balairón Pérez. 2013. Caracterización de coeficientes de rugosidad de conducciones de abastecimiento de agua en servicio. 2013.

Jiménez-Medina, Oscar. 2015. General Formulas for Chezy and Manning Coefficients. *Scielo.* [En línea] 01 de 02 de 2015. [Citado el: 24 de 03 de 2019.] http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222015000300003&script=sci_arttext&lng=pt.

Juan Carlos Ovalle Cortissoz. Ingeniero de Caminos, C. y P. 2014. *Cálculos.* s.l. : NAVARRA DE SUELO Y VIVIENDA, S.A. (NASUVINSA), 2014.

Martínez, León A. y. 2013. *Hidráulica de las conducciones libres.* La Habana, Cuba : Poligráfica Félix Varela ISBN 978-959-07-1867-0, 2013.

Mónica G. Osío Yépez, Federico F. Valencia Ventura Edilberto Guevara y Humberto Cartaya. 2000. *CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD "n" DE MANNING EN LOS GRANDES RÍOS DE VENEZUELA.* Valencia, Venezuela : s.n., 2000.

2005. Neotropicos . *Infraestructura y servicios G.* [En línea] 21 de 09 de 2005. [Citado el: 28 de 03 de 2019.] http://wiki.neotropicos.org/index.php?title=Infraestructura_y_servicios_G.

Ruiz, Pedro Rodríguez. 2008. *Hidráulica II .* 2008.

Saldarriaga, Juan. 2008. *Hidraulica de tuberias.* 2008.

Sturm, Terrv W. 1985. *Open Channel Hydraulics.* New York : McGraw-Hill Higher, 1985.

The effect of flexible vegetation on flow in drainage channels: Estimation of. **Engineering, Ecological. 2018.** s.l. : EL SEVIER, 2018, Vol. 120.

UTMACH. DISEÑO DE LA SECCIÓN ÓPTIMA DE UN CANAL ABIERTO PARA RIEGO POR INUNDACIÓN A DOS PROPIEDADES DE PLANTACIONES DE CÍTRICOS. [En línea] [Citado el: 20 de 03 de 2019.] http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/5614/1/TTUAIC_2015_IC_CD0080.pdf.

VAN DALEN, Debold B. y J. MEYER William. 2006. Estrategia de la investigación Experimental. [En línea] 2006. [Citado el: 28 de 03 de 2019.] <http://noemagico.blogia.com/2006/092201-la-investigacion-experimental.php>.

