



**UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPÍRITU SANTO  
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TITULO:  
EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO Y  
MECÁNICO DE TUBOS DE HORMIGÓN ARMADO REVESTIDOS  
INTERNAMENTE CON POLIETILENO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN QUE SE PRESENTA COMO  
REQUISITO PARA EL TÍTULO DE:  
INGENIERO CIVIL**

**AUTOR:  
CARMEN ANDREA GARCÍA JACHO**

**TUTOR:  
ING. ANDRÉS RIVERA BENÍTEZ**

**SAMBORONDÓN, SEPTIEMBRE DE 2019**

## **CERTIFICADO FINAL DE APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de tutor de la estudiante Carmen Andrea García Jacho que cursa en la Escuela de Ingeniería Civil, dictado en la Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil de la UEES.

CERTIFICO:

Que he revisado el trabajo de Tesis con el título EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO Y MECÁNICO DE TUBOS DE HORMIGÓN ARMADO REVESTIDOS INTERNAMENTE CON POLIETILENO, presentado por la estudiante CARMEN ANDREA GARCÍA JACHO con cédula de ciudadanía N°. 0926742479, como requisito previo para optar al Grado Académico de Ingeniería Civil y considero que dicho trabajo investigativo reúne los requisitos y méritos suficientes necesarios de carácter académico y científico para presentarse a la Defensa Final.

Tutor: Ing. Andrés Rivera

Samborondón, Septiembre 2019

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco en esta Tesis de Grado a Dios en primer sitio por todas las bendiciones que me ha brindado a lo largo de mi vida.

En segundo lugar, a mi madre Arq. Linda Jacho Lozada por siempre hallar la manera de brindarme lo mejor de ella, su amor y enseñanzas han formado bases de gran importancia en mí de las que ahora soy consciente. Te amo mamá.

Agradezco a mi familia, amigos y docentes, en especial al Ing. Andrés Rivera y al Arq. Patricio Yépez Muñoz, quienes estuvieron ayudándome desde el inicio hasta culminar con este objetivo.

# ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN .....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>CAPÍTULO 1: BASES DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>4</b>
1.1 Planteamiento del problema.....	4
1.2 Formulación del problema.....	4
1.3 Preguntas directrices.....	5
1.4 Objetivos del trabajo de investigación .....	5
1.4.1 Objetivo General .....	5
1.4.2 Objetivo Especifico .....	6
1.5 Justificación.....	6
<b>CAPÍTULO 2: MARCO REFERENCIAL .....</b>	<b>7</b>
2.1 Tipos de tuberías más utilizadas en Sistemas de Alcantarillado.....	7
2.2 Tubos de Hormigón.....	9
2.2.1 Tubo de Hormigón Armado .....	10
2.3 Características técnicas de los Tubos de Hormigón Armado.....	14
2.4 Especificaciones técnicas del Tubo de Hormigón Armado .....	14
2.5 Revestimientos protectores del tubo de Hormigón Armado.....	16
2.5.1 Tipos de revestimiento interior para Tubos de Hormigón .....	16
2.5.2 Revestimiento de polietileno de alta densidad (PEAD).....	16
2.5.3 Propiedades del revestimiento de polietileno de alta densidad .....	18
2.6 Tubo de Hormigón Armado con revestimiento interno PEAD.....	19
2.6.1 Características del Tubo de Hormigón Armado con revestimiento interno PEAD.....	20
2.7 Junta hermética de neopreno .....	21
2.8 Instalación de la Tubería de Hormigón en zanja .....	23
2.8.1 Zanja estándar .....	24
<b>CAPÍTULO 3: ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS TUBOS DE HORMIGÓN ARMADO CON Y SIN REVESTIMIENTO INTERNO DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD .....</b>	<b>25</b>
3.1 Metodología.....	25
3.1.1 Procesos que se desarrollaron para la aplicación de la metodología:.....	25
3.2 Análisis Comparativo.....	25
3.2.1 Comportamiento Mecánico – Prueba a la Flexión.- .....	26

3.2.2 Resumen del ensayo.....	27
3.3 Resultados del ensayo de los tres apoyos.....	28
<b>CAPÍTULO 4: EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE LAS TUBERÍAS DE HORMIGÓN CON Y SIN RECUBRIMIENTO INTERNO PEAD EN EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALCANTARILLADO.....</b>	<b>30</b>
4.1 Metodología.....	30
4.2 Consideraciones para el diseño del Colector de AA. LL.....	30
4.3 Bases del diseño.....	31
4.3.1 Velocidad.....	31
4.3.2 Caudal de diseño.....	32
4.3.3 Tiempo de concentración.....	33
4.3.4 Frecuencia de la lluvia de diseño.....	33
4.4 Diseño.....	33
4.4.1 Diseño de alcantarillado pluvial.....	34
4.5 Evaluación del comportamiento hidráulico de la Tubería de Hormigón Armado simple y la Tubería de Hormigón Armado con revestimiento PEAD.....	38
<b>CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIO.....</b>	<b>46</b>
<b>CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>52</b>
6.1 Conclusiones.....	52
6.2 Recomendaciones.....	52
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>53</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de los tubos más usados para la construcción de Sistemas de Alcantarillado.....	7
Tabla 2. Clasificación de tuberías de Hormigón Armado.....	10
Tabla 3. Tabla de cargas “D” para relleno con: material granular sin cohesión.....	11
Tabla 4. Tabla de cargas “D” para relleno con: arena y gravilla .....	12
Tabla 5. Tabla de cargas “D” para relleno con: material saturado .....	12
Tabla 6. Tabla de cargas “D” para relleno con: arcilla .....	13
Tabla 7. Tabla de cargas “D” para relleno con: arcilla saturada.....	13
Tabla 8. Características técnicas del tubo de Hormigón Armado.....	14
Tabla 9. Propiedades del Polietileno de alta densidad.....	18
Tabla 10. Coeficientes de rugosidad de los tipos de tubería.....	21
Tabla 11. Resumen de resultados obtenidos del ensayo a la flexión de las tuberías	29
Tabla 12. Velocidades máximas .....	31
Tabla 13. Coeficientes de escurrimiento.....	32
Tabla 14. Periodos de retorno aconsejables .....	33
Tabla 15. Tabla de variaciones de caudales y velocidades en función de la altura de llenado de la tubería .....	37
Tabla 16. Resumen de la planilla de cálculo en relación a caudales .....	38
Tabla 17. Resumen de la planilla de cálculo en relación a velocidades .....	39
Tabla 18. Resumen de la planilla de cálculo de las variaciones de $q/Q$ , $d/D$ , $v/V$ ..	40
Tabla 19. Resumen de la planilla de cálculo en relación a caudales .....	41
Tabla 20. Resumen de la planilla de cálculo en relación a velocidades .....	42
Tabla 21. Resumen de la planilla de cálculo con pendientes diferentes.....	43
Tabla 22. Datos del diseño 1 para el cálculo de volúmenes de excavación, relleno y desalojo .....	44
Tabla 23. Datos del diseño 4 para el cálculo de volúmenes de excavación, relleno y desalojo .....	44
Tabla 24. Comparación de volúmenes de excavación, tubería, relleno y desalojo de los Diseños de Alcantarillado Pluvial 1 y 4.....	45
Tabla 25. Precios de tuberías de Hormigón Armado clase 1 con junta hermética ..	46
Tabla 26. Precio de rollo PEAD con anclajes de 13 mm y cordón de soldadura ....	46
Tabla 27. Precio de recubrimiento PEAD de 2 mm para cada diámetro de tubería	47
Tabla 28. Precio de recubrimiento PEAD de 3 mm para cada diámetro de tubería	47
Tabla 29. Precios de tuberías de Hormigón Armado con recubrimiento interno de PEAD de 2 mm .....	48
Tabla 30. Precios de tuberías de Hormigón Armado con recubrimiento interno de PEAD de 3 mm .....	48

Tabla 31. Comparación de precios de las Tuberías de Hormigón Armado con y sin recubrimiento interno PEAD por metro lineal.....	48
Tabla 32. Comparación de precios por metro lineal de las Tuberías de Hormigón Armado vs Tuberías con recubrimiento interno PEAD de menor diámetro.....	49
Tabla 33. Análisis de precio unitario del rubro de instalación de Tubería de Hormigón .....	50
Tabla 34. Análisis de precio unitario del rubro de instalación de Tubería de hormigón con revestimiento PEAD.....	50
Tabla 35. Análisis de precios de los diseños de alcantarillado pluvial 1, 3 y 4.....	51

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Figura 1:</b> Gráfica de Costos por metro lineal vs Diámetro entre Tuberías de Hormigón y PVC .....	8
<b>Figura 2.</b> Tubo de Hormigón Armado de gran diámetro .....	10
<b>Figura 3.</b> Ensayo de los tres apoyos a Tubo de Hormigón Armado de 90” .....	15
<b>Figura 4.</b> Rollo de recubrimiento PEAD con anclaje en v.....	17
<b>Figura 5.</b> Anclajes de 13 mm en forma de “V” de la película PEAD.....	17
<b>Figura 6.</b> Tubo de Hormigón Armado con revestimiento interno PEAD.....	19
<b>Figura 7:</b> Uniones de tramos de tubería mediante el uso de junta de neopreno .	22
<b>Figura 8:</b> Uniones de tramos de tubería con recubrimiento interno PEAD mediante el uso de junta hermética.....	22
<b>Figura 9.</b> Especificaciones técnicas de instalación de tuberías.....	23
<b>Figura 10:</b> Tubo de Hormigón Armado de 90” utilizado para el ensayo.....	26
<b>Figura 11:</b> Tubo de Hormigón Armado de 90” con revestimiento interno PEAD utilizado para el ensayo.....	27
<b>Figura 12:</b> Método de aplicación de carga.....	28
<b>Figura 13:</b> Espesor del revestimiento PEAD de 3 mm.....	29
<b>Figura 14:</b> Área total de aportaciones del Sistema de Aguas Lluvias .....	34
<b>Figura 15:</b> Gráfica de caudales manejados a sección llena del tubo vs diámetros .....	38
<b>Figura 16:</b> Gráfica de velocidades manejadas a sección llena del tubo vs diámetros.....	39
<b>Figura 17:</b> Gráfica de caudales manejados a sección llena del tubo vs diámetros .....	41
<b>Figura 18:</b> Gráfica de velocidades manejadas a sección llena del tubo vs diámetros.....	42
<b>Figura 19:</b> Detalle del área lateral para un tubo.....	47

## **Resumen**

Los fluidos residuales que se forman por el uso doméstico, generan un sin número de agentes bacterianos que son arrastrados con las mismas aguas como son: Sulfuros, estos deben ser tratados con el máximo cuidado ya que los sedimentos por efecto de órganos anaeróbicos dan como resultado el sulfuro de hidrógeno, el cual se fija en la cara interior de la tubería dando origen a la creación del ácido sulfhídrico.

La tubería que trabaja en un sistema de drenaje sanitario o pluvial no solo debe tener la resistencia suficiente a las cargas que soporta como son las del tráfico y su material de relleno, sino que debe considerarse también con mucha cautela su comportamiento ante las amenazas como la corrosión y el ataque de los químicos, factores que a corto plazo podrían deteriorar y terminar con la vida útil del sistema lo que se convertiría en un gasto y no en una inversión a largo plazo.

Nuestra propuesta y estudio se basa en considerar las bondades propias del Tubo de Hormigón Armado entre las que cuentan su alta resistencia mecánica y su capacidad de trabajar en suelos con niveles freáticos altos; por lo cual consideramos que sería una gran oportunidad utilizar un revestimiento de PEAD por ser un producto de alta calidad, amigable con el medio ambiente que protegerá al hormigón de los ataques corrosivos y optimizará en un 30% sus características mecánicas e hidráulicas.

**Palabras Claves:** Agentes bacterianos, alta resistencia mecánica a la compresión, capacidad hidráulica, polietileno de alta densidad PEAD.

## **Abstract**

The residual fluids that are formed by domestic use, generate a number of bacterial agents that are carried with the same waters as they are: Sulfides, these must be treated with the utmost care since sediments caused by anaerobic organs result hydrogen sulfide, which is fixed on the inside of the pipe giving rise to the creation of hydrogen sulfide.

The pipeline that works in a sanitary or pluvial drainage system must not only have sufficient resistance to the loads it supports, such as traffic and its filling material, its behavior must also be considered very cautiously against threats such as corrosion and the attack of the chemicals, factors that in the short term could deteriorate and end the useful life of the system which would turn into an expense and not a long-term investment.

Our proposal and study is based on considering the benefits of the reinforced concrete pipe, among which its high mechanical resistance and ability to work on soils with high water tables; For this reason, we consider that it would be a great opportunity to use a HDPE coating because it is a high quality, environmentally friendly product that will protect the concrete from corrosive attacks, and will optimize its mechanical and hydraulic characteristics by 30%.

**Keywords:** Bacterial agents, high mechanical resistance to compression, hydraulic capacity, HDPE high density polyethylene

## **Introducción**

El desarrollo poblacional y habitacional de los últimos años, nos han creado nuevos hábitos de vida incidiendo en la creación de complejos urbanísticos tanto urbanos como rurales y estos a su vez en la multiplicación de vías modernas.

Como consecuencia de esta evolución también han sufrido modificaciones importantes los métodos de diseño de los Sistemas de Drenajes Sanitarios y Pluviales más las técnicas constructivas que difieren mucho de los que se utilizaban en épocas anteriores.

Conscientes de lo expresado creemos y consideramos que con la innovación en la que pretendemos enfocarnos como es la utilización del Polietileno de alta densidad para las tuberías de hormigón, lograríamos en primer lugar perdurar más su tiempo de vida útil, ya que les excluiríamos del ataque de los agentes químicos como son los ácidos y en segundo lugar aprovecharíamos las características propias de su estructura (ventajosa para cierto tipo de obras sanitarias), resistencia y ventajas hidráulicas: unidos estos dos elementos su resultado permitirá incluso fomentar un gran ahorro y bajar los costos de las obras.

## **Capítulo 1: Bases de la investigación**

### **1.1 Planteamiento del problema**

Partimos de la premisa de que todas las tuberías para sistemas de alcantarillado sanitario o pluvial dependiendo de su materia prima ya sea Hormigón o PVC tienen un tiempo de vida útil.

Los tubos de Hormigón Armado utilizados para sistemas que conducen aguas lluvias o residuales (que contienen agentes químicos y biológicos) quedan expuestos a ataques bacteriológicos ocasionando que su durabilidad se vea afectada al reducirse sus años de vida útil.

Otro de los problemas más frecuentes en los sistemas de Alcantarillado Pluvial o Residual es el mantenimiento, reparación o reemplazo de tramos por la existencia de obstrucciones, las cuales se originan por acumulación de sedimentos y desperdicios. Las obstrucciones se presentan con mayor frecuencia en las tuberías de hormigón por causa de la rugosidad de sus paredes interiores, este acopio se presenta comúnmente en tramos de baja pendiente o de baja velocidad del flujo, reduciendo la capacidad hidráulica para la cual fue diseñada.

### **1.2 Formulación del problema**

Las Tuberías de Hormigón Armado usadas en sistemas de Alcantarillado presentan con mayor frecuencia problemas por ataques químicos como los ácidos sulfúricos; como consecuencia de esto el material que se encuentra en contacto con dichas aguas se debilita por desgaste de la matriz del cemento, lo que conlleva a la pérdida de las propiedades mecánicas de la tubería de hormigón.

En la actualidad, existen diversos tipos de técnicas para la protección o reparación de las paredes internas de las tuberías de hormigón tales como: películas de polietileno, pinturas epóxicas y sistema manga.

En el área de la construcción en países como Estados Unidos y México el uso de tuberías de hormigón con revestimiento interno especial es frecuente, el objetivo de revestir internamente el tubo con polietileno de alta densidad (PEAD) radica en proteger a la tubería de los ataques químicos

y por consecuencia poder otorgarles a los sistemas de alcantarillado mayor durabilidad y mejor capacidad hidráulica, reduciendo al mínimo las pérdidas de carga y dificultando la formación de depósitos al tener las paredes interiores lisas. (Monroy G, 2014)

Evidentemente en el Ecuador el uso de tubos con revestimiento interno de PEAD no es común debido a la falta de análisis de costos de producción. A la fecha de elaboración de este documento no existe referencia de la utilización de este revestimiento en tuberías de hormigón, en el país.

El diseño de tuberías con revestimiento interno de PEAD puede incrementar la relación calidad – precio por metro lineal, pero si analizamos el incremento en la durabilidad y el rendimiento, dicha relación podría ser compensada.

### **1.3 Preguntas directrices**

Ante esta problemática, esta investigación se propone mediante un estudio teórico - práctico responder a las siguientes interrogantes:

- ¿En qué porcentaje incrementa la resistencia mecánica del Tubo de Hormigón al revestirlo internamente con polietileno de alta densidad (PEAD)?
- ¿Al reemplazar la rugosidad “n” de la Tubería de Hormigón por la rugosidad “n” del PEAD en qué porcentaje mejora la capacidad hidráulica de la tubería?
- ¿Al reemplazar la rugosidad “n” de la Tubería de Hormigón por la rugosidad “n” del PEAD puede reducirse los diámetros de diseño de la tubería en un Sistema de Drenaje?
- ¿Al reemplazar la rugosidad “n” de la tubería de hormigón por la rugosidad “n” en que porcentaje puede reducirse el volumen de excavación de la zanja para la instalación de las Tuberías de Hormigón con revestimiento interno PEAD?

### **1.4 Objetivos del trabajo de investigación**

#### **1.4.1 Objetivo General**

Evaluar el comportamiento hidráulico y mecánico de los Tubos de Hormigón Armado con y sin revestimiento interno de PEAD y realizar un análisis de costos de fabricación de las

tuberías en función de los diámetros en los que se justifica utilizar el revestimiento de polietileno.

#### **1.4.2 Objetivo Especifico**

- Determinar los diámetros de los tubos en los que se justifica la implementación de un revestimiento interno.
- Realizar un análisis técnico comparativo los Tubos de Hormigón Armado con y sin revestimiento de polietileno de alta densidad. (Pruebas técnicas)
- Evaluar y comparar el comportamiento hidráulico de los tubos de hormigón con y sin revestimiento interno PEAD en un sistema de alcantarillado, mediante el diseño de distintos escenarios: uno teniendo en cuenta la rugosidad de Hormigón, el segundo con la rugosidad de PEAD, el tercero mermando diámetros de la tubería y finalmente un cuarto diseño con menor pendiente.
- Realizar un análisis de costos de fabricación de tuberías con revestimiento interno.
- Evaluar como el diseño de tuberías con revestimiento interior de PEAD puede equiparar la relación calidad- precio

#### **1.5 Justificación**

La realización de este trabajo de investigación servirá de guía para los profesionales relacionados al campo de la ingeniería civil e hidrosanitaria. Se enfoca en hacer uso de nuevas tecnologías, y en base a los resultados y conclusiones obtenidas al final de este trabajo acerca de la comparación del comportamiento hidráulico y mecánico de los tubos con y sin revestimiento interno PEAD, lograr promover la implementación de este tipo de tuberías en el Ecuador.

## Capítulo 2: Marco Referencial

### 2.1 Tipos de tuberías más utilizadas en Sistemas de Alcantarillado

En Ecuador el crecimiento de la población en las zonas urbanas de las ciudades y el incremento de infraestructura vial demandan la construcción de nuevos Sistemas de Alcantarillado incluso demanda la renovación de los ya existentes por obsoletos o porque ya no abastecen las necesidades a las que están sometidas en la actualidad.

Los tubos para la construcción de los Sistemas de Alcantarillado pueden ser de distintos materiales y características técnicas siendo los más utilizados los de PVC, Hormigón y Acero.

(Tabla 1).

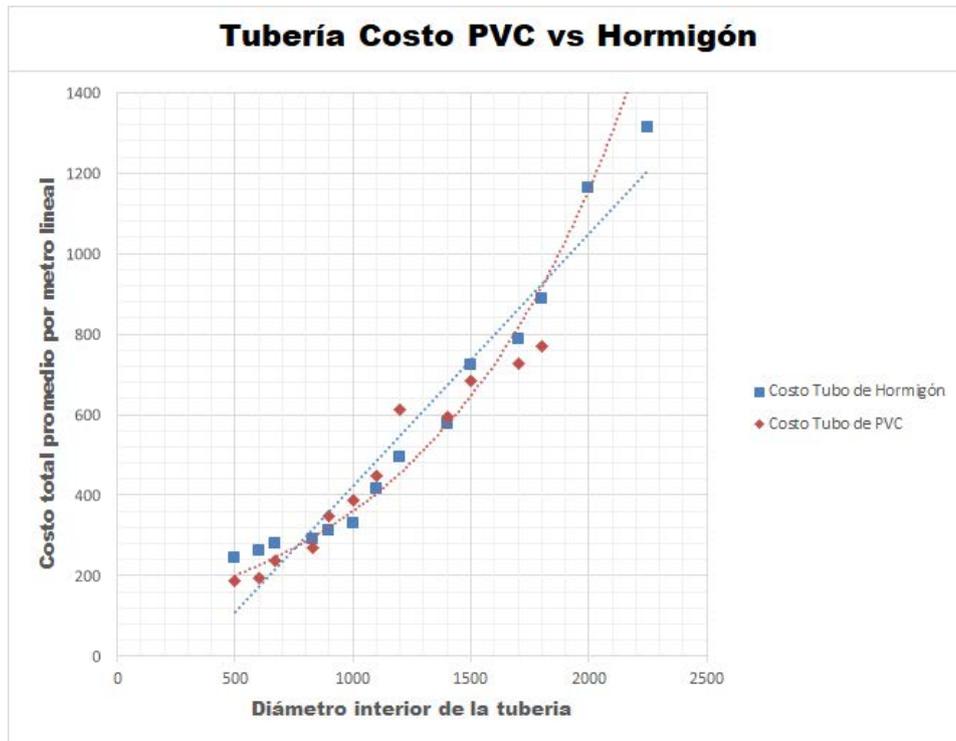
La Tabla 1 muestra la comparación entre los 3 tipos de tubos más usados para Sistemas de Alcantarillado y se detallan sus ventajas e inconvenientes.

**Tabla 1. Características de los tubos más usados para la construcción de Sistemas de Alcantarillado.**

PVC	HORMIGÓN	ACERO
Facilidad de transporte	Dificultad media de transporte.	Facilidad de transporte.
Fácil instalación.	Uso de maquinaria para el montaje e instalación.	Uso de maquinaria para el montaje e instalación.
Ningún problema de corrosión.	Presenta problemas de corrosión.	Presenta problemas de corrosión.
Resistencia alta a productos químicos.	Resistencia media a productos químicos.	Resistencia baja a productos químicos.
Resistencia mecánica media.	Resistencia mecánica Alta	Resistencia mecánica Alta
Flexibilidad alta.	Son rígidos	Flexibilidad media
Poco mantenimiento.	Constante mantenimiento.	Constante mantenimiento.
Costos bajos en tubos de menor diámetro.	Costos medios en tubos de menor diámetro.	Costos medios en tubos de menor diámetro.
Costos altos en tubos de mayor diámetro.	Costos medios en tubos de mayor diámetro.	Costos altos en tubos de mayor diámetro.

Fuente: Basado en folletos de Plastigama, Inkatonsa, Dismetal

Haciendo énfasis en lo expresado en la Tabla 1 acerca de los costos de fabricación por metro lineal de cada tipo de tubería. Se procede a graficar los costos de los dos tipos tuberías más utilizadas en Sistemas de Alcantarillado (hormigón y PVC) con relación a costo – diámetro, en un solo gráfico lineal. (Figura 1)



**Figura 1:** Gráfica de Costos por metro lineal vs Diámetro entre tuberías de Hormigón y PVC

**Fuente:** García, 2019

En la gráfica se detalla que la tubería de Hormigón presenta mayores costos por metro lineal a comparación de la tubería de PVC cuando trabaja con diámetros menores a 1800mm y maneja costos relativamente semejantes cuando trabaja con diámetros entre 500 y 700 mm. Además, la tubería de hormigón posee la ventaja de manejar diámetros internos mayores a los 2000 mm, mientras que el máximo diámetro interno de una tubería plástica es de 1800mm.

Estos análisis se realizaron en base a la lista de precios de venta al público, normalmente los fabricantes de tuberías al comercializar sus productos ofrecen determinados descuentos debido

al volumen que sea requerido. Se considera que los dos tipos de tuberías tienen un uso específico dependiendo de la obra, por ejemplo, en diámetros mayores a 1900 mm el único material que se prepara para Alcantarillado son las tuberías de Hormigón Armado; así también, se debe tener en cuenta que el PVC necesita alturas de coberturas mínimas (aproximadamente 1.2 metros) lo que representa mayor volumen de excavación de zanja, mientras que las tuberías de hormigón no tienen esta limitación.

En base a lo expuesto, este trabajo de investigación se enfoca únicamente en el estudio de los Tubos de Hormigón de diámetros internos mayores a 1400mm.

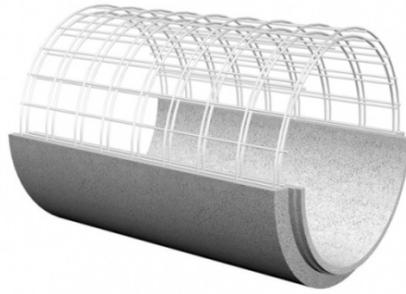
## **2.2 Tubos de Hormigón**

Los Tubos de Hormigón se clasifican de acuerdo a sus características en:

- Hormigón Simple
- Hormigón Armado

Son catalogados como elementos prefabricados por ser elaborados o elaborados en fábricas a base de moldes bajo sistemas de vibro-compresión o centrifugados; de las clases de tubos antes mencionados, su utilización dependerá de varios factores siendo el más importante la profundidad a la que van a estar instalados, el tipo de carga viva o muerta a la que van a estar sometidos, niveles freáticos, condiciones del terreno, etc.

Generalmente el más utilizado para diseño de redes de Sistemas de Alcantarillado cuya instalación sea mayor a 1 metro de profundidad es el Tubo de Hormigón Armado (Figura 2), este se encuentra reforzado en su interior con una armadura de acero haciendo apto al tubo para resistir esfuerzos de compresión y tracción (León y Campoverde, 2017, p. 23)



**Figura 2.** Tubo de Hormigón Armado de gran diámetro

Fuente: <http://www.tppalau.com/productos/>

### 2.2.1 Tubo de Hormigón Armado

El tubo de hormigón armado se lo define como un elemento compuesto, el cual posee varillas de refuerzo en forma espiral colocadas longitudinalmente de manera progresiva. (Vega Luis, 2016, p. 37)

Los Tubos de Hormigón Armado se clasifican en 5 clases en función de su capacidad resistente por metro de diámetro tal como lo detalla la norma *INEN 1591 (Tubos de Hormigón reforzado y accesorios)* y la norma *ASTM C-76*. (Tabla 2)

La Tabla 2 detalla la clase del tubo, la carga de grieta y la carga última las cuales son representaciones de la capacidad de carga mecánica que es capaz de soportar la tubería de hormigón armado.

**Tabla 2. Clasificación de Tuberías de Hormigón Armado**

CLASE	CARGA DE GRIETA (N/m/mm)	CARGA ÚLTIMA (N/m/mm)
I	40	60
II	50	75
III	65	100
IV	100	150
V	140	175

**Fuente:** Norma INEN 1591 Tubos de hormigón reforzado y accesorios

Para facilitar la selección de la clase del tubo y cumplir con los criterios de diseño, existen varias tablas de carga “D” (Tabla 3, 4, 5, 6, 7) las cuales permiten obtener directamente la clase de tubo que se requiera (I, II, III, IV o V) con relación a su diámetro, condiciones de instalación y la altura de relleno sobre el tubo.

Los criterios con los cuales fueron calculadas las cargas “D” están basados en:

- La instalación del tubo en condición de zanja para un factor de carga muerta = 1.50
- El tipo del suelo del relleno
- El factor de seguridad asumido con un valor de 1
- El ancho de la zanja Bd según el diámetro del tubo

$$Bd = \text{Diámetros exteriores del tubo} + 0.40 \text{ m (para diámetros } \leq 33\text{'')}$$

$$Bd = \text{Diámetros exteriores del tubo} + 0.60 \text{ m (para diámetros } > 33\text{'')}$$

- Para este cálculo la carga recomendada por eje es de 7500 kg, que es mayor que la producida por un camión H20-S16.

**Tabla 3. Tabla de cargas “D” para relleno con: Material granular sin cohesión**

Altura de Relleno (metros)		Diámetro nominal de tubería, (pulgadas), metros																Altura de Relleno (metros)			
		(24")	(27")	(30")	(33")	(36")	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2.00			2.15	2.30
0,60	Carga Muerta	1148	1102	1059	1183	1148	1094	1058	1029	1008	991	976	963	952	941	932	924	910	896	887	0,60
	Carga Viva	4322	4061	3834	3835	3472	3266	3073	2912	2758	2445	2184	1963	1775	1612	1471	1348	1194	1088	957	
	Total	5470	5163	4893	4818	4619	4350	4132	3941	3766	3437	3161	2927	2728	2553	2404	2272	2104	1963	1844	
0,80	Carga Muerta	1482	1428	1374	1543	1498	1429	1384	1347	1322	1300	1281	1265	1251	1238	1227	1216	1199	1180	1170	0,80
	Carga Viva	1429	1351	1282	1222	1173	1104	1047	997	955	916	880	846	816	787	760	735	700	667	639	
	Total	2911	2779	2657	2765	2671	2532	2431	2344	2276	2216	2161	2111	2066	2025	1987	1952	1899	1848	1809	
1,00	Carga Muerta	1797	1735	1672	1886	1833	1750	1697	1652	1624	1599	1577	1558	1542	1527	1513	1501	1481	1459	1447	1,00
	Carga Viva	1052	999	952	911	878	828	789	754	725	698	673	649	627	607	588	570	544	520	499	
	Total	2849	2734	2624	2797	2711	2578	2486	2406	2348	2296	2249	2207	2169	2133	2101	2071	2025	1978	1946	
1,20	Carga Muerta	2092	2024	1954	2213	2153	2057	1998	1947	1915	1887	1863	1842	1824	1807	1793	1779	1756	1730	1718	1,20
	Carga Viva	869	828	792	760	736	695	665	637	615	593	574	555	538	521	506	491	470	451	434	
	Total	2961	2852	2746	2973	2889	2753	2662	2585	2529	2480	2436	2397	2361	2329	2299	2271	2227	2181	2152	
1,50	Carga Muerta	2500	2426	2347	2676	2608	2495	2427	2369	2333	2302	2275	2252	2232	2214	2198	2183	2157	2127	2114	1,50
	Carga Viva	769	741	716	694	679	646	624	605	589	575	561	547	535	522	511	500	483	467	453	
	Total	3269	3167	3064	3371	3287	3141	3051	2974	2922	2878	2838	2799	2767	2736	2709	2683	2640	2594	2587	
2,00	Carga Muerta	3100	3022	2934	3381	3303	3166	3087	3021	2982	2949	2920	2895	2874	2855	2838	2822	2793	2757	2745	2,00
	Carga Viva	559	540	524	509	499	476	462	449	439	429	420	411	403	394	387	379	368	356	347	
	Total	3659	3562	3458	3890	3803	3642	3548	3470	3420	3378	3340	3306	3276	3249	3224	3201	3160	3114	3091	
2,50	Carga Muerta	3611	3536	3444	4008	3926	3769	3685	3614	3575	3543	3515	3491	3471	3453	3436	3422	3391	3353	3342	2,50
	Carga Viva	424	411	400	389	383	365	355	346	339	333	326	320	314	308	303	298	289	281	274	
	Total	4035	3947	3844	4397	4309	4135	4040	3961	3915	3875	3841	3811	3785	3761	3739	3720	3680	3634	3616	
3,00	Carga Muerta	4046	3978	3888	4567	4484	4313	4225	4154	4119	4090	4064	4043	4025	4010	3996	3984	3954	3915	3907	3,00
	Carga Viva	333	323	315	307	303	289	282	275	270	265	261	256	252	248	244	240	234	228	223	
	Total	4380	4301	4203	4874	4786	4602	4507	4430	4389	4355	4325	4300	4278	4258	4240	4224	4188	4143	4129	
4,00	4953	4902	4818	5713	5634	5435	5349	5279	5253	5233	5217	5204	5194	5185	5178	5172	5146	5104	5104	4,00	
5,00	5388	5366	5301	6400	6337	6131	6050	6004	5998	5997	5999	6002	6007	6013	6020	6027	6014	5982	5966	5,00	
6,00	5709	5718	5674	6955	6912	6705	6652	6614	6632	6653	6675	6697	6720	6744	6766	6789	6793	6773	6806	6,00	
7,00	5945	5982	5959	7400	7377	7174	7142	7125	7168	7212	7256	7300	7343	7385	7425	7465	7489	7483	7538	7,00	
8,00	6117	6179	6176	7755	7753	7556	7547	7551	7619	7688	7765	7820	7884	7946	8006	8063	8108	8120	8197	8,00	
8,00	6242	6325	6340	8038	8057	7866	7880	7905	7998	8091	8181	8269	8354	8436	8515	8590	8659	8688	8789	8,00	
10,00	6332	6434	6464	8263	8300	8118	8153	8199	8316	8432	8545	8655	8761	8863	8961	9056	9148	9196	9322	10,00	
11,00	6398	6514	6557	8441	8497	8323	8377	8443	8583	8721	8856	8987	9113	9236	9353	9467	9582	9650	9799	11,00	
12,00	6444	6573	6628	8582	8654	8489	8561	8645	8807	8966	9121	9273	9418	9560	9698	9828	9967	10054	10228	12,00	

NOTA: A PARTIR DE 4.00 METROS DE ALTURA DE RELLENO LA CARGA VIVA ESTA INCLUIDA EN LA CARGA "D" TOTAL MOSTRADA YA QUE SU EFECTO ES DESPRECIABLE

Fuente: Normas ASTM C-76 E ICONTEC 401

**Tabla 4. Tabla de cargas “D” para relleno con: Arena y gravilla**

Relleno : Arena y Gravilla  
 $K_{ft}$  = 0,165  
 $w$  = 1800  
 $F.C.$  = 1,5

CARGAS D EN kg/m DE TUBO /m DE DIAMETRO  
 SOBRE TUBERIA DE CONCRETO REFORZADO INSTALADA EN ZANJA  
 NORMAS ASTM C-76 E ICONTEC 401

Clase	Carga D (kg/m/m)
I	3906
II	4882
III	6591
IV	9765
V	14647

Altura de Relleno (metros)		Diámetro nominal de tubería, (pulgadas), metros																Altura de Relleno (metros)			
		(24")	(27")	(30")	(33")	(36")	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00		2,15	2,30	2,45
0,60	Carga Muerta	1307	1256	1206	1344	1303	1242	1201	1167	1143	1123	1106	1091	1077	1066	1054	1045	1029	1012	1003	0,60
	Carga Viva	4322	4061	3834	3635	3472	3256	3073	2912	2758	2445	2184	1963	1775	1612	1471	1348	1194	1068	957	
	Total	5629	5317	5040	4979	4775	4498	4274	4079	3901	3569	3290	3054	2852	2678	2526	2393	2224	2080	1960	
0,80	Carga Muerta	1696	1633	1570	1758	1705	1627	1574	1531	1502	1476	1455	1435	1419	1404	1390	1379	1358	1337	1325	0,80
	Carga Viva	1429	1351	1282	1222	1173	1104	1047	997	955	916	880	846	816	787	760	735	700	667	639	
	Total	3125	2984	2852	2980	2878	2730	2621	2528	2456	2392	2334	2282	2234	2191	2150	2114	2058	2004	1964	
1,00	Carga Muerta	2066	1992	1918	2155	2093	1997	1936	1883	1849	1820	1794	1771	1752	1734	1719	1705	1680	1654	1641	1,00
	Carga Viva	1052	999	952	911	878	828	789	754	725	698	673	649	627	607	588	570	544	520	499	
	Total	3118	2990	2870	3066	2971	2826	2725	2638	2574	2517	2466	2420	2379	2341	2307	2274	2224	2174	2140	
1,20	Carga Muerta	2415	2332	2248	2537	2466	2355	2284	2225	2186	2152	2124	2099	2076	2057	2039	2023	1996	1966	1951	1,20
	Carga Viva	869	828	792	760	736	695	665	637	615	593	574	555	538	521	506	491	470	451	434	
	Total	3284	3160	3041	3298	3202	3051	2949	2862	2801	2746	2698	2654	2614	2578	2545	2515	2467	2417	2385	
1,50	Carga Muerta	2904	2812	2716	3082	3001	2888	2785	2717	2673	2635	2603	2574	2549	2527	2507	2489	2457	2422	2405	1,50
	Carga Viva	769	741	716	694	679	646	624	605	589	575	561	547	535	522	511	500	483	467	453	
	Total	3672	3553	3432	3776	3680	3514	3410	3322	3262	3210	3163	3121	3084	3049	3017	2989	2940	2888	2858	
2,00	Carga Muerta	3634	3534	3424	3922	3826	3663	3567	3486	3436	3393	3357	3325	3298	3273	3251	3231	3195	3152	3134	2,00
	Carga Viva	559	540	524	509	499	476	462	449	439	429	420	411	403	394	387	379	368	356	347	
	Total	4193	4074	3948	4431	4325	4139	4028	3934	3874	3822	3777	3736	3700	3667	3638	3610	3562	3508	3481	
2,50	Carga Muerta	4271	4168	4052	4682	4578	4390	4284	4195	4143	4100	4062	4029	4001	3976	3954	3934	3895	3847	3830	2,50
	Carga Viva	424	411	400	389	383	365	354	346	339	333	326	320	314	308	303	298	289	281	274	
	Total	4695	4580	4451	5072	4961	4755	4639	4541	4482	4432	4388	4349	4315	4285	4257	4232	4184	4128	4104	
3,00	Carga Muerta	4825	4727	4609	5370	5262	5053	4941	4849	4798	4756	4720	4689	4662	4639	4618	4599	4559	4509	4494	3,00
	Carga Viva	333	323	315	307	303	289	282	275	270	265	261	256	252	248	244	240	234	228	223	
	Total	5158	5051	4924	5678	5564	5343	5223	5124	5068	5021	4981	4946	4914	4886	4862	4839	4793	4736	4716	
4,00		5952	5867	5749	6762	6654	6408	6290	6194	6150	6115	6085	6060	6039	6020	6004	5991	5951	5895	5887	4,00
5,00		6576	6522	6421	7677	7580	7319	7213	7128	7103	7085	7071	7061	7054	7049	7046	7044	7015	6966	6972	5,00
6,00		7058	7037	6958	8438	8360	7987	8002	7934	7932	7935	7942	7951	7962	7973	7986	7999	7986	7947	7972	6,00
7,00		7428	7440	7385	9068	9010	8742	8674	8626	8650	8677	8707	8738	8769	8800	8830	8860	8867	8841	8886	7,00
8,00		7711	7755	7723	9587	9553	9287	9243	9217	9270	9323	9377	9432	9484	9536	9587	9635	9664	9655	9723	8,00
8,00		7927	7999	7989	10013	10003	9743	9724	9723	9802	9883	9964	10042	10118	10192	10263	10332	10384	10393	10487	8,00
10,00		8090	8189	8199	10364	10378	10125	10130	10153	10262	10369	10475	10579	10679	10775	10868	10958	11035	11064	11184	10,00
11,00		8214	8336	8364	10652	10688	10444	10474	10520	10656	10791	10923	11051	11174	11294	11408	11519	11623	11672	11819	11,00
12,00		8309	8449	8494	10888	10945	10711	10764	10832	10996	11156	11313	11465	11613	11755	11891	12022	12152	12223	12398	12,00

NOTA: A PARTIR DE 4.00 METROS DE ALTURA DE RELLENO LA CARGA VIVA ESTA INCLUIDA EN LA CARGA "D" TOTAL MOSTRADA YA QUE SU EFECTO ES DESPRECIABLE

Fuente: Normas ASTM C-76 E ICONTEC 401

**Tabla 5. Tabla de cargas “D” para relleno con: Material saturado**

Relleno : Material Saturado  
 $K_{ft}$  = 0,150  
 $w$  = 1900  
 $F.C.$  = 1,5

CARGAS D EN kg/m DE TUBO /m DE DIAMETRO  
 SOBRE TUBERIA DE CONCRETO REFORZADO INSTALADA EN ZANJA  
 NORMAS ASTM C-76 E ICONTEC 401

Clase	Carga D (kg/m/m)
I	3906
II	4882
III	6591
IV	9765
V	14647

Altura de Relleno (metros)		Diámetro nominal de tubería, (pulgadas), metros																Altura de Relleno (metros)			
		(24")	(27")	(30")	(33")	(36")	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00		2,15	2,30	2,45
0,60	Carga Muerta	1389	1335	1281	1426	1382	1317	1273	1237	1211	1190	1172	1155	1141	1129	1117	1106	1089	1071	1061	0,60
	Carga Viva	4322	4061	3834	3635	3472	3256	3073	2912	2758	2445	2184	1963	1775	1612	1471	1348	1194	1068	957	
	Total	5711	5395	5115	5061	4854	4573	4347	4149	3969	3635	3356	3119	2915	2741	2588	2455	2284	2139	2017	
0,80	Carga Muerta	1808	1739	1671	1868	1812	1728	1672	1626	1593	1566	1543	1523	1504	1488	1474	1461	1439	1416	1403	0,80
	Carga Viva	1429	1351	1282	1222	1173	1104	1047	997	955	916	880	846	816	787	760	735	700	667	639	
	Total	3237	3090	2953	3090	2986	2832	2719	2623	2548	2482	2422	2369	2320	2275	2234	2196	2139	2083	2042	
1,00	Carga Muerta	2206	2126	2045	2295	2227	2125	2058	2003	1965	1933	1905	1881	1860	1840	1823	1808	1782	1754	1740	1,00
	Carga Viva	1052	999	952	911	878	828	789	754	725	698	673	649	627	607	588	570	544	520	499	
	Total	3257	3125	2998	3205	3105	2954	2847	2757	2690	2631	2578	2530	2487	2447	2411	2378	2326	2274	2239	
1,20	Carga Muerta	2585	2494	2403	2707	2629	2510	2433	2369	2326	2290	2258	2231	2207	2185	2166	2148	2118	2086	2069	1,20
	Carga Viva	869	828	792	760	736	695	665	637	615	593	574	555	538	521	506	491	470	451	434	
	Total	3454	3323	3196	3467	3365	3205	3098	3006	2941	2883	2832	2786	2744	2706	2672	2640	2589	2537	2503	
1,50	Carga Muerta	3119	3017	2912	3296	3206	3064	2973	2880	2808	2772	2740	2713	2688	2666	2647	2611	2573	2555	1,50	
	Carga Viva	769	741	716	694	679	646	624	605	589	575	561	547	535	522	511	500	483	467		453
	Total	3888	3758	3628	3990	3885	3710	3598	3503	3439	3383	3333	3288	3247	3211	3177	3146	3094	3039		3008
2,00	Carga Muerta	3925	3811	3689	4211	4105	3927	3821	3731	3675	3628	3586	3550	3519	3491	3467	3444	3403	3356	3336	2,00
	Carga Viva	559	540	524	509	499	476	462	449	439	429	420	411	403	394	387	379	368	356	347	
	Total	4484	4351	4212	4720	4604	4403	4282	4180	4113	4057	4006	3961	3922	3886	3853	3823	3771	3712	3683	
2,50	Carga Muerta	4635	4517	4384	5046	4929	4723	4604	4505	4445	4395	4352	4314	4281	4252	4226	4203	4158	4105	4085	2,50
	Carga Viva	424	411	400	389	383	365	355	346	339	333	326	320	314	308	303	298	289	281	274	
	Total	5059	4928	4784	5435	5312	5089	4959	4851	4784	4727	4678	4634	4595	4560	4529	4500	4447	4386	4359	
3,00	Carga Muerta	5262	5145	5008	5809	5685	5456	5328	5223	5164	5113	5070	5033	5000	4972	4947	4924	4878	4821	4802	3,00
	Carga Viva	333	323	315	307	30															

Tabla 6. Tabla de cargas "D" para relleno con: Arcilla

Relleno : Arcilla $K_{u1} = 0,130$ $w = 1900$ $F.C. = 1,5$		CARGAS D EN kg/m DE TUBO /m DE DIAMETRO SOBRE TUBERIA DE CONCRETO REFORZADO INSTALADA EN ZANJA NORMAS ASTM C-76 E ICONTEC 401																				Carga D (kg/m/m) Clase I 3906 II 4882 III 6591 IV 9765 V 14647
Altura de Relleno (metros)		Diámetro nominal de tubería, (pulgadas), metros																		Altura de Relleno (metros)		
		(24")	(27")	(30")	(33")	(36")	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00	2,15	2,30		2,45	
0,60	Carga Muerta	1403	1346	1291	1436	1392	1325	1281	1244	1218	1197	1177	1161	1146	1133	1121	1111	1093	1075	1065	0,60	
	Carga Viva	4322	4061	3834	3635	3472	3256	3073	2912	2758	2645	2545	2454	2370	2293	2222	2157	2097	2041	1988		
Total		5725	5407	5125	5071	4864	4581	4354	4156	3976	3842	3722	3615	3516	3426	3343	3268	3199	3134	3073		
0,80	Carga Muerta	1832	1760	1690	1887	1829	1743	1685	1638	1605	1577	1553	1532	1513	1497	1482	1468	1446	1422	1410	0,80	
	Carga Viva	1429	1351	1282	1222	1173	1104	1047	997	955	916	880	846	816	787	760	735	700	667	639		
Total		3261	3111	2973	3108	3002	2846	2733	2635	2560	2493	2432	2378	2329	2284	2242	2204	2146	2090	2048		
1,00	Carga Muerta	2242	2158	2074	2322	2253	2148	2079	2022	1983	1950	1921	1895	1873	1854	1836	1820	1793	1764	1749	1,00	
	Carga Viva	1052	999	952	911	878	828	789	754	725	698	673	649	627	607	588	570	544	520	499		
Total		3294	3157	3026	3232	3131	2976	2869	2776	2708	2647	2593	2545	2500	2461	2423	2390	2337	2284	2248		
1,20	Carga Muerta	2635	2540	2444	2744	2665	2542	2462	2396	2352	2313	2281	2252	2226	2204	2184	2165	2134	2101	2084	1,20	
	Carga Viva	869	828	792	760	736	695	665	637	615	593	574	555	538	521	506	491	470	451	434		
Total		3504	3368	3236	3504	3400	3237	3127	3034	2966	2907	2854	2807	2764	2725	2689	2657	2605	2552	2517		
1,50	Carga Muerta	3193	3084	2973	3353	3260	3113	3018	2940	2889	2844	2806	2773	2743	2717	2693	2673	2636	2596	2577	1,50	
	Carga Viva	769	741	716	694	679	646	624	605	589	575	561	547	535	522	511	500	483	467	453		
Total		3962	3825	3689	4047	3938	3759	3643	3545	3478	3419	3367	3320	3278	3239	3204	3172	3119	3063	3029		
2,00	Carga Muerta	4046	3921	3790	4308	4194	4011	3896	3802	3741	3689	3644	3605	3571	3541	3513	3489	3445	3393	3373	2,00	
	Carga Viva	559	540	524	509	499	476	462	449	439	429	420	411	403	394	387	379	368	356	347		
Total		4605	4462	4314	4817	4694	4487	4358	4250	4180	4118	4064	4016	3973	3935	3900	3868	3813	3752	3720		
2,50	Carga Muerta	4813	4680	4534	5190	5063	4847	4718	4610	4544	4487	4438	4396	4359	4326	4297	4270	4221	4165	4141	2,50	
	Carga Viva	424	411	400	389	383	365	355	346	339	333	326	320	314	308	303	298	289	281	274		
Total		5237	5091	4933	5579	5448	5212	5073	4956	4883	4820	4764	4716	4673	4634	4600	4568	4510	4446	4416		
3,00	Carga Muerta	5501	5364	5209	6005	5868	5625	5485	5368	5299	5241	5191	5148	5109	5076	5046	5019	4967	4905	4882	3,00	
	Carga Viva	333	323	315	307	303	289	282	275	270	265	261	256	252	248	244	240	234	228	223		
Total		5834	5687	5524	6312	6171	5914	5767	5643	5570	5506	5451	5404	5362	5324	5290	5259	5200	5133	5104		
4,00		6892	6757	6593	7662	7513	7219	7063	6934	6864	6807	6756	6714	6676	6643	6614	6588	6536	6452	6437		
5,00		7770	7660	7504	8844	8699	8377	8222	8096	8038	7991	7952	7920	7892	7869	7848	7831	7779	7708	7697		
6,00		8489	8409	8270	9869	9735	9289	9248	9132	9093	9063	9039	9021	9007	8996	8988	8982	8941	8875	8879		
7,00		9074	9027	8908	10752	10634	10282	10152	10051	10034	10025	10021	10024	10030	10037	10045	10018	9960	9981			
8,00		9548	9536	9441	11510	11414	11057	10946	10864	10872	10887	10906	10927	10950	10973	10998	11022	11014	10968	11010		
8,00		9930	9952	9882	12161	12088	11730	11643	11582	11618	11659	11702	11747	11792	11836	11879	11922	11934	11903	11967		
10,00		10239	10294	10249	12718	12670	12315	12252	12216	12281	12349	12419	12487	12555	12622	12687	12749	12784	12769	12858		
11,00		10488	10575	10552	13196	13173	12823	12786	12774	12869	12966	13062	13156	13249	13338	13425	13508	13567	13571	13686		
12,00		10690	10804	10804	13605	13607	13264	13253	13253	13391	13517	13640	13761	13878	13991	14100	14200	14314	14456	12,00		

NOTA: A PARTIR DE 4.00 METROS DE ALTURA DE RELLENO LA CARGA VIVA ESTA INCLUIDA EN LA CARGA "D" TOTAL MOSTRADA YA QUE SU EFECTO ES DESPRECIABLE

Fuente: Normas ASTM C-76 E ICONTEC 401

Tabla 7. Tabla de cargas "D" para relleno con: Arcilla saturada

Relleno : Arcilla Saturada $K_{u1} = 0,110$ $w = 2100$ $F.C. = 1,5$		CARGAS D EN kg/m DE TUBO /m DE DIAMETRO SOBRE TUBERIA DE CONCRETO REFORZADO INSTALADA EN ZANJA NORMAS ASTM C-76 E ICONTEC 401																				Carga D (kg/m/m) Clase I 3906 II 4882 III 6591 IV 9765 V 14647
Altura de Relleno (metros)		Diámetro nominal de tubería, (pulgadas), metros																		Altura de Relleno (metros)		
		(24")	(27")	(30")	(33")	(36")	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00	2,15	2,30		2,45	
0,60	Carga Muerta	1566	1502	1440	1599	1549	1475	1425	1383	1354	1329	1308	1289	1273	1258	1244	1233	1213	1193	1181	0,60	
	Carga Viva	4322	4061	3834	3635	3472	3256	3073	2912	2758	2645	2545	2454	2370	2293	2222	2157	2097	2041	1988		
Total		5888	5563	5274	5234	5020	4730	4498	4295	4111	3975	3922	3825	3747	3677	3611	3549	3490	3431	3383		
0,80	Carga Muerta	2051	1969	1890	2105	2039	1943	1878	1824	1787	1756	1728	1704	1683	1664	1646	1632	1607	1579	1565	0,80	
	Carga Viva	1429	1351	1282	1222	1173	1104	1047	997	955	916	880	846	816	787	760	735	700	667	639		
Total		3480	3320	3172	3327	3212	3047	2925	2821	2742	2671	2608	2550	2498	2451	2407	2367	2306	2247	2204		
1,00	Carga Muerta	2517	2422	2325	2597	2518	2400	2322	2256	2212	2173	2140	2112	2086	2064	2043	2025	1994	1961	1944	1,00	
	Carga Viva	1052	999	952	911	878	828	789	754	725	698	673	649	627	607	588	570	544	520	499		
Total		3569	3420	3277	3508	3396	3228	3111	3010	2937	2871	2813	2761	2713	2671	2631	2594	2538	2481	2444		
1,20	Carga Muerta	2968	2858	2747	3076	2984	2847	2755	2679	2627	2584	2545	2512	2483	2456	2433	2412	2376	2338	2318	1,20	
	Carga Viva	869	828	792	760	736	695	665	637	615	593	574	555	538	521	506	491	470	451	434		
Total		3837	3686	3540	3836	3720	3542	3420	3316	3242	3177	3119	3067	3021	2978	2939	2904	2847	2789	2752		
1,50	Carga Muerta	3614	3485	3355	3772	3663	3495	3387	3296	3236	3184	3139	3100	3065	3035	3008	2983	2941	2895	2872	1,50	
	Carga Viva	769	741	716	694	679	646	624	605	589	575	561	547	535	522	511	500	483	467	453		
Total		4383	4226	4071	4466	4342	4141	4011	3901	3825	3758	3700	3647	3600	3557	3519	3483	3424	3362	3324		
2,00	Carga Muerta	4614	4463	4305	4872	4738	4527	4393	4282	4209	4147	4093	4046	4005	3969	3936	3907	3855	3797	3770	2,00	
	Carga Viva	559	540	524	509	499	476	462	449	439	429	420	411	403	394	387	379	368	356	347		
Total		5173	5003	4829	5381	5238	5003	4854	4730	4648	4576	4513	4457	4408	4363	4322	4286	4222	4154	4117		
2,50	Carga Muerta	5527	5360	5183	5900	5748	5497	5344	5216	5134	5065	5004	4953	4906	4866	4829	4797	4737	4671	4642	2,50	
	Carga Viva	424	411	400	389	383	365	355	346	339	333	326	320	314	308	303	298	289	281	274		
Total		5951	5771	5583	6289	6131	5862	5699	5562	5473	5397	5331	5273	5220	5174	5133	5094	5027	4952	4916		
3,00	Carga Muerta	6359	6185	5992	6863	6696	6411	6241	6100	6013	5939	5876	5820	5771	5728	5689	5655	5590	5516	5486	3,00	
	Carga Viva	333	323	315	307	303	289	282	275	270	265	261	256	252	248	244	240	234	228	223		
Total		6693	6508	6307	7170	6998	6701	6517	6375	6284	6204	6136	6076	6024	5978	5933	5895	5824	5744	5708		
4,00		8033	7850	7639	8814	8626	8276	8080	79													

### 2.3 Características técnicas de los Tubos de Hormigón Armado

La Tabla 8 muestra las características técnicas de los Tubos de Hormigón Armado detalla el número comercial del tubo en pulgadas, diámetro interno, peso del tubo, espesor de pared y la longitud del tubo. Todos estos valores se encuentran dentro de los parámetros detallados en la norma *INEN 1591 (Tubos de hormigón reforzado y accesorios)*.

Tabla 8. Características técnicas del Tubo de Hormigón Armado

PULGADAS	DIAMETRO INTERIOR		PESO DEL TUBO KG / ML	ESPESOR DE PARED CM	LONGITUD DEL TUBO MTS	PESO DEL TUBO KG
	ESPIGA MM	CAMPANA MM	HORMIGON ARMADO			
20"	500	500	327	6.00	1.5	490.5
24"	600	600	407	6.50	1.5	610.5
27"	670	670	544	10.30	2.5	1360.0
33"	830	830	710	10.50	2.5	1775.0
36"	900	900	883	11.50	2.5	2207.5
40"	1000	1000	1000	12.00	2.5	2500.0
44"	1090	1100	132	13.50	2.5	3300.0
48"	1200	1200	1440	14.00	2.5	3600.0
54"	1400	1400	1654	15.00	2.5	4135.0
60"	1500	1500	1954	16.00	2.5	4885.0
66"	1700	1700	2410	17.50	2	4820.0
72"	1800	1800	2735	18.50	2	5470.0
80"	2000	2000	3358	20.50	2	6716.0
90"	2245	2250	4098	22.50	2	8196.0

Fuente: Inkatonsa

### 2.4 Especificaciones técnicas del Tubo de Hormigón Armado

Las especificaciones técnicas establecen los requisitos que deben cumplir y los tipos de ensayos a los que deben someterse los tubos de hormigón tales como:

- **Ensayo de resistencia mecánica a la flexión:** Este ensayo es conocido como el “Método de los tres apoyos”. Mediante la realización de este ensayo se clasifican los

Tubos de Hormigón según la resistencia obtenida, con él se determinan las cargas de rotura y fisuración. (Amancha, 2012, p. 11).

Las cargas para originar la primera grieta de 0,25 mm y la carga para originar una ruptura, no deben ser inferiores de los valores especificados en la Tabla 2, para cada clase de tubo. Tal como se detalla en la norma INEN 1587 (*Tubos de hormigón y de gres, determinación de la resistencia a flexión, método de los tres apoyos*)



**Figura 3.** Ensayo de los tres apoyos a Tubo de Hormigón Armado de 90”.

**Fuente:** Fábrica de Tubos de Hormigón

- **Ensayo de resistencia hidrostática:** Es el ensayo al cual debe someterse el Tubo de Hormigón Armado para resistir presiones hidrostáticas durante un determinado periodo de tiempo, como garantía de que será capaz de resistir presiones internas que puedan presentarse. El tubo debe someterse a la siguiente presión: 0,09 MPa durante 5 min para diámetros nominales menores de 1800 mm y de 10 min para diámetros iguales o mayores a 1800 mm. (Amancha, 2012, p. 10)
- **Ensayo de Absorción:** Es la medición en porcentaje del aumento de masa del hormigón por su inmersión en el agua.
- **Ensayo de Estanqueidad:** Con la realización del ensayo de estanqueidad se asegura la ausencia de fugas de fluidos; esta prueba se realiza en caso de existir dificultad de poder

realizar el ensayo de presión hidrostática, este ensayo se realiza con mayor frecuencia en tuberías de hormigón con diámetros mayores a 1800 mm. (Amancha, 2012, p. 14)

## **2.5 Revestimientos protectores del tubo de Hormigón Armado**

El proceso del revestimiento interno del tubo es la aplicación de un espesor fino o grueso de algún material sobre el Hormigón con el objetivo de proporcionar refuerzo, protección, mejorar la rugosidad y apariencia de las paredes internas del tubo. (Bedoya, Cárdenas, Galeano, Giraldo, 2015, p. 1)

### **2.5.1 Tipos de revestimiento interior para Tubos de Hormigón**

Actualmente existen diversos tipos de revestimientos protectores para Tubos de Hormigón, entre ellos los más empleados son:

- Polímeros (películas poliméricas)
- Pinturas epóxicas
- Resinas
- Mangas

### **2.5.2 Revestimiento de polietileno de alta densidad (PEAD)**

Este trabajo de investigación se basará en la posibilidad de utilizar un revestimiento protector de polietileno de alta densidad (Figura 4) para la fabricación de Tubos de Hormigón, cuyo uso será en sistemas de drenaje sanitario.

El polietileno de alta densidad es un material que a lo largo del tiempo ha ganado gran acogida debido a sus múltiples ventajas especialmente ecológicas ya que es un producto cuyos componentes son amigables con el medio ambiente, logrando una gran diferencia con los de PVC que posee elementos contaminantes y nocivos con la naturaleza.

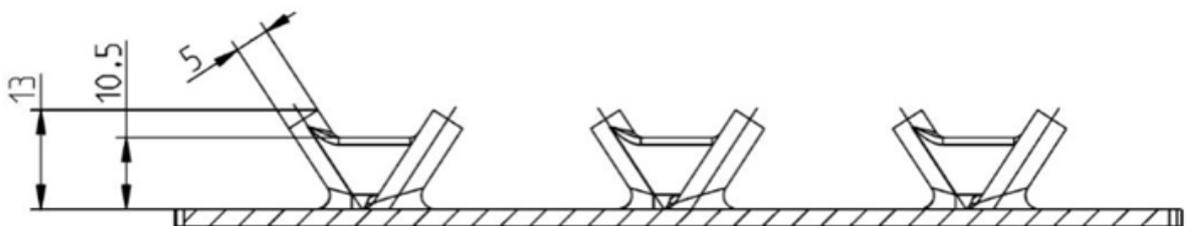
El PEAD es un polímero sintético, es un termoplástico económico, es de fácil obtención y procesamiento, con excelentes propiedades físicas, químicas y térmicas; Se lo obtiene a partir de la reacción comúnmente conocida por el nombre de polimerización del etano. (Roca I, 2005, p.17)

El revestimiento protector de Hormigón de PEAD fabricado por Agru, posee un diseño innovador, su superficie es totalmente lisa lo que asegura un mejor desplazamiento y velocidad de los fluidos, al reverso posee unos anclajes en forma de “v” (Figura 5), se cuenta con 1,200 anclajes por m<sup>2</sup>, los cuales permiten una adherencia totalmente segura con el Hormigón. Además, en función de los requisitos de cada proyecto se dispone de láminas de revestimiento que van desde los 2 mm a 4mm. (Norma ASTM-D5199. *Método de ensayo para determinar el espesor nominal de geosintéticos*)



**Figura 4.** Rollo de recubrimiento PEAD con anclaje en “V”

**Fuente:** Agru



**Figura 5.** Anclajes de 13 mm en forma de “V” de la película PEAD

**Fuente:** Agru

### 2.5.3 Propiedades del revestimiento de polietileno de alta densidad

El revestimiento PEAD proporciona una protección segura para los tubos de Hormigón debido a las propiedades mecánicas que posee, tales como:

- Rigidez
- Resistencia a la tensión
- Resistencia a la flexión
- Alta resistencia química y térmica lo que la convierte en idónea para condiciones ambientales altamente corrosivas y abrasivas.

(Bedoya, Cárdenas, Galeano y Giraldo. (2015). *Protección contra la corrosión – Recubrimiento con Polímeros.*)

Las propiedades del PEAD dependen esencialmente de su estructura y peso molecular.

En la Tabla 9 se muestran las propiedades físicas, mecánicas y térmicas del polietileno de alta densidad y los valores obtenidos de los diversos tipos de ensayos realizados a este material.

**Tabla 9. Propiedades del Polietileno de alta densidad**

PROPIEDADES	METODO DE PRUEBA	VALOR	UNIDAD
DENSIDAD	ISO 1183	> 0.935	g/cm <sup>3</sup>
RESISTENCIA A LA TRACCION	ISO R 527 - ASTM D 638	> 300	Kg/cm <sup>2</sup>
ELONGACION A LA ROTURA	ISO R 527 - ASTM D 638	> 625	%
RESISTENCIA A LA PRESION INTERNA	ISO 1167 - ISO 4427	> 90 (100 h, a 20°C)	Kg/cm <sup>2</sup>
IMPACTO IZOD	ASTM D 256	> 13.6	J/m
MODULO DE PLASTO DEFORMACION (1 MIN)		10000	Kg/cm <sup>2</sup>
ESTABILIDAD TERMICA, TIEMPO DE INDUCCION A LA OXIDACION A 200°C	ISO TR 10837	> 20	minutos
ESTABILIDAD DIMENSIONAL	ISO 2505	< 3	%
COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA		0.0002	m/m/°C
CONDUCTIVIDAD TERMICA		0.37	Kcal/(m*h*°C)
RIGIDEZ DIELECTRICA		800	KV / cm

Fuente: (Agru)

## 2.6 Tubo de Hormigón Armado con revestimiento interno PEAD

El tubo de Hormigón Armado con revestimiento interno PEAD se lo fabrica bajo las mismas especificaciones, según la *norma ASTM C-76* y la *norma NMX-C402-2004-ONNCCE* (Norma Mexicana).

El proceso de fabricación es a base de vibración y compresión hidráulica y no difiere en nada entre hacer tubos normales o tubos con el revestimiento, simplemente la diferencia radica en el momento de ingresar el molde a la máquina, se coloca primero el tubo de polietileno de alta densidad que ha sido preparado y sellado externamente, cuyo espesor mínimo de recubrimiento debe ser de 1.5 mm y deberá ser unido entre ambas extremidades interiores con una banda o cordón de unión soldados a ambos extremos por el método de extrusión. (Monroy G, 2014, p.13).

Siguiendo el proceso, se introduce la armadura de hierro y se procede con el vaciado de hormigón, el que a su vez se va fundiendo en forma simultánea.

Es importante destacar que el revestimiento de polietileno no aumenta ni disminuye el diámetro interior del tubo, siempre se mantendrán con las medidas y espesores de pared de acuerdo a las normas INEN 1591.

El tiempo de vida útil adicional que el revestimiento de PEAD le proporciona a la tubería de Hormigón es mayor a 100 años a 25 °C en contacto con agua. (Norpatagonica, 2016)



**Figura 6.** Tubo de Hormigón Armado con revestimiento interno PEAD

Fuente: <https://tubospiramide.com/producto/tuberia-de-concreto-con-recubrimiento-interior-de-p-a-d/>

### **2.6.1 Características del Tubo de Hormigón Armado con revestimiento interno PEAD**

El revestimiento interno tiene como características brindar al tubo una protección efectiva y mejorar su capacidad hidráulica debido a la combinación de las ventajas de revestimientos termoplásticos especiales (los cuales son altamente dúctiles y flexibles) con los del Hormigón Armado.

El revestimiento evita la fuga de los fluidos y la infiltración de estos protegiendo al medio ambiente y a su vez logrando alargar considerablemente la vida útil de la tubería en los Sistemas de Alcantarillado Sanitario Pluvial o Residual.

#### **2.6.1.1 Características Mecánicas**

**Resistencia a cargas externas:** La aplicación en fábrica de un recubrimiento interno PEAD a los tubos de hormigón armado, proporciona mejor resistencia a las cargas de empuje externas de la tierra y tráfico que generan esfuerzos flexionantes y de impacto a la tubería.

#### **2.6.1.2 Características Químicas**

**Resistencia química:** La película PEAD le otorga una protección adicional permanente protegiendo de manera eficaz las paredes internas de la tubería de Hormigón y al acero de refuerzo contra la corrosión a la que se ve expuesta en un sistema subterráneo, debido a su alta resistencia química, adherencia y baja permeabilidad garantiza la hermeticidad de la tubería, por lo tanto, el Tubo de Hormigón con recubrimiento interno PEAD es idóneo para la construcción de redes pluviales y sanitarias ya que son inmunes a la corrosión química y a la abrasión.

#### **2.6.1.3 Características Hidráulicas**

**Mayor capacidad Hidráulica:** La capacidad hidráulica de la tubería la determinan el diámetro interior y el coeficiente de rozamiento (“n” de Manning).

La película PEAD no modifica el diámetro interno del tubo, además reemplaza la rugosidad del hormigón por un coeficiente de fricción menor (Tabla 10, debido a que la superficie interna de la película es lisa reduciendo al mínimo las pérdidas de carga y dificultando la formación de obstrucciones o depósitos en las paredes de la tubería. Esto implica que, aunque se escoja el mismo diámetro nominal de un tubo de hormigón, al optar por un recubrimiento interno PEAD se estará sobredimensionando a la tubería.

**Tabla 10. Coeficientes de Rugosidad de los tipos de tubería**

TIPO DE CONDUCTO	n	n
Tubería de Hormigón	0,012-0,015	<b>0,013</b>
Tuberías de Plástico o PVC corrugada		<b>0,013</b>
Tubería de PVC o Pe de interior liso		<b>0,010</b>
Colectores y tuberías de hormigón armado, fundido en sitio	0,013-0,015	<b>0,015</b>
Ladrillo	0,014-0,019	<b>0,016</b>
Mampostería de piedra	0,017-0,020	<b>0,018</b>
Tubería de acero Corrugado	0,024-0,027	<b>0,026</b>
Canal en tierra sin revestir	0,025-0,040	<b>0,033</b>
Canal en roca sin revestir	0,030-0,045	<b>0,038</b>
Canal revestido con hormigón	0,013-0,015	<b>0,015</b>
Túnel en roca sin revestir	0,025-0,040	<b>0,033</b>
Túnel revestido con hormigón	0,014-0,016	<b>0,015</b>

**Fuente: (Ruiz Larrea, 2011)**

La Tabla 10 muestra los valores de rugosidad “n” de Manning de las paredes de tuberías, estas van en función del tipo de material con que están fabricados y el tipo de acabado.

## **2.7 Junta hermética de neopreno**

La junta de neopreno es el complemento empleado para realizar la unión entre tubos para asegurar la hermeticidad de la tubería, esto depende del acoplamiento perfecto entre ambos extremos macho y hembra de los tubos, de la espiga y campana, según sea el caso. (Figura 7 y 8)

Las juntas de neopreno son frecuentemente empleadas para líneas de alcantarillado a gravedad o de baja carga hidráulica, y las funciones específicas que deben cumplir las juntas herméticas de neopreno son:

- Resistencia a la infiltración de aguas subterráneas.
- Control de fugas externas e internas
- Flexibilidad para asimilar deflexiones laterales o movimientos longitudinales sin crear problemas de fugas
- Resistencia al esfuerzo de corte entre secciones adyacentes de los tubos

*Norma INEN 1592. (Tubería de hormigón. Juntas flexibles. Requisitos)*



**Figura 7:** Uniones de tramos de tubería mediante el uso de junta de neopreno

**Fuente:** Inkatonsa



**Figura 8:** Uniones de tramos de tubería con recubrimiento interno PEAD mediante el uso de junta hermética

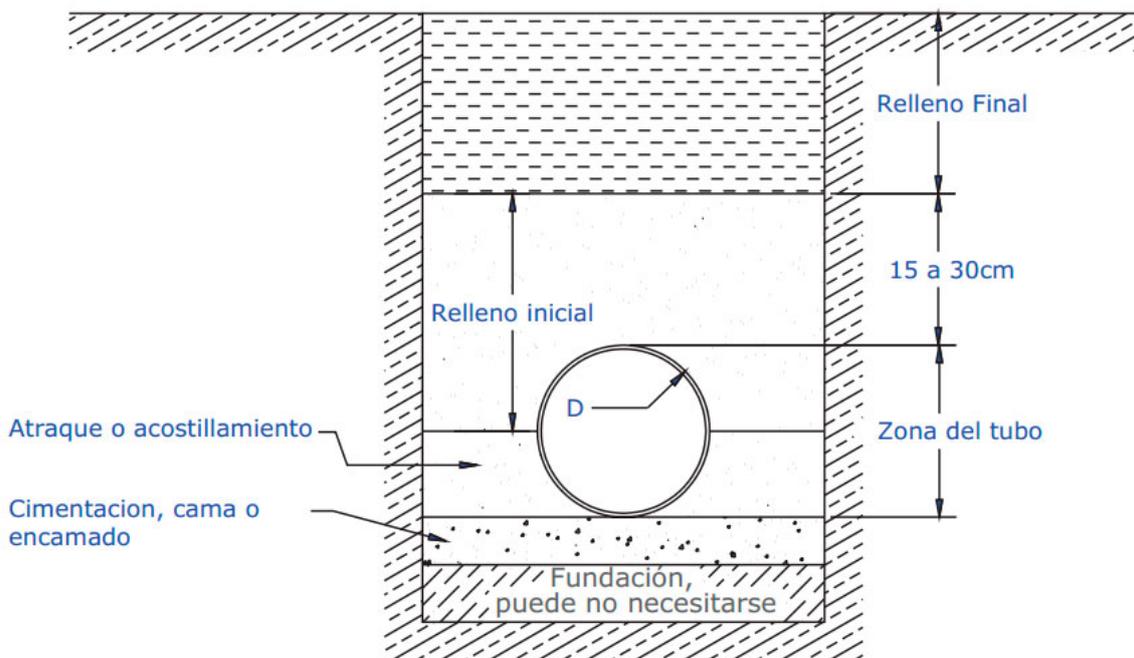
**Fuente:** <https://solucionestermoplasticas.com>

## 2.8 Instalación de la Tubería de Hormigón en zanja

Los Tubos de Hormigón Armado poseen mayor capacidad portante a diferencia de otros tipos de tuberías, su alta resistencia mecánica hace que la estabilidad de su estructura dependa de sí misma y no de las condiciones del suelo en el que se cimenta.

Para la selección de la clase de tubería de hormigón armado (I, II, III, IV o V), se la relacionada de acuerdo a:

- La profundidad a la que será instalada.
- La calidad del material de relleno (peso del material).
- Calidad del replantillo que irá bajo el tubo y
- El tipo de instalación en terraplén o en zanja



**Figura 9.** Especificaciones técnicas de instalación de tuberías

**Fuente:** <http://www.tuberiasyaccesorios.com/tuberia-doble-pared/>

### **2.8.1 Zanja estándar**

Las tuberías de Hormigón tienen la ventaja que pueden instalarse en diversos escenarios tales como zanjas, terraplén, zanja terraplenada, zanja inducida en terraplén, entre otros mientras que las tuberías de PVC poseen una única modalidad para su instalación que es en zanja.

Para este tipo de instalación en zanja existen algunas terminologías empleadas para designar los componentes y geometría de la instalación. (Figura 9)

La altura del encamado deberá ser de 5 a 10 cm, el relleno inicial debe estar bien compacto y se debe extender desde la mitad de la tubería, la altura de relleno será de 15 a 30 cm sobre el lomo del tubo y finalmente el relleno final varía para cada proyecto, pero debe tener una altura mínima de 30 cm.

Como norma general, en terrenos con tráfico concentrado, la profundidad mínima de la zanja será tal que la parte superior del tubo estará por lo menos a 1 metro de la superficie.

Los parámetros que Interagua (International Water Services) establece para la profundidad y ancho de zanja para instalaciones de tubos de hormigón son los siguientes:

- Rasante o fundación = 10 a 40 cm (dependerá de cada proyecto)
- Replanteo o encamado = 10 cm
- Relleno inicial = 30 cm
- Relleno final = dependerá de cada proyecto

Las profundidades de las zanjas varían en función de la pendiente de diseño, según las especificaciones técnicas de Interagua, el ancho que debe tener la zanja para la instalación de tuberías es de 0.60 m más el diámetro nominal del tubo (diámetro exterior) para tuberías mayores o iguales a 60 pulgadas. Esto nos da la pauta para analizar el cálculo del volumen de excavación y del desalojo a realizarse.

## **Capítulo 3: Análisis comparativo del comportamiento mecánico de los Tubos de Hormigón Armado con y sin revestimiento interno de Polietileno de alta densidad**

### **3.1 Metodología**

Para la ejecución de este capítulo, la metodología o modelo de investigación que se aplicará será experimental, bibliográfico, deductivo y se lo realizará directamente en la planta de fabricación de la tubería.

El ensayo de absorción no fue realizado porque el recubrimiento PEAD no permite el contacto del fluido con el hormigón, y el ensayo de estanqueidad certificó la hermeticidad del tubo.

#### **3.1.1 Procesos que se desarrollaron para la aplicación de la metodología:**

Observación presencial de la fabricación:

- 1.- Análisis en el laboratorio de los agregados (arena y piedra).
- 2.- Elaboración del diseño del hormigón y tipo de armadura.
- 3.- Proceso de mezclado de los agregados incluyendo el cemento y agua.
- 4.- Preparación del cilindro de polietileno de alta densidad que va a ser utilizado en el tubo.
- 5.- Proceso de fabricación, donde se procede al vaciado del hormigón en el molde a través de una banda transportadora.
- 6.- Marcación de la nomenclatura del tubo de acuerdo a las Normas INEN: fecha de fabricación – Norma INEN – clase o tipo – diámetro – lote – y número del tubo.
- 7.- Proceso de curado
- 8.- Pruebas técnicas (Ensayo a la flexión o Método de los tres apoyos)

### **3.2 Análisis Comparativo**

Se ha considerado trabajar tomando como base a la tubería de 90” por ser la de mayor diámetro en el país y por lo tanto sería la más representativa, además se desarrollará un análisis comparativo de las ventajas que puedan existir, considerando los aspectos técnicos –

económicos entre los tubos de hormigón con y sin revestimiento interno de espesores de 2 mm y 3 mm.

### **3.2.1 Comportamiento Mecánico – Prueba a la Flexión.-**

Se ha considerado realizar en análisis a los tubos de hormigón armado de clase I, los que de acuerdo a la norma INEN 1591 deben cumplir con los valores mínimos requeridos de Carga D iguales o mayores a 40 N/m/m (consultar Tabla 2). Con la obtención de la carga D, se determina la resistencia del tubo al agrietamiento.



**Figura 10:** Tubo de Hormigón Armado de 90'' utilizado para el ensayo.

**Fuente:** Inkatonsa



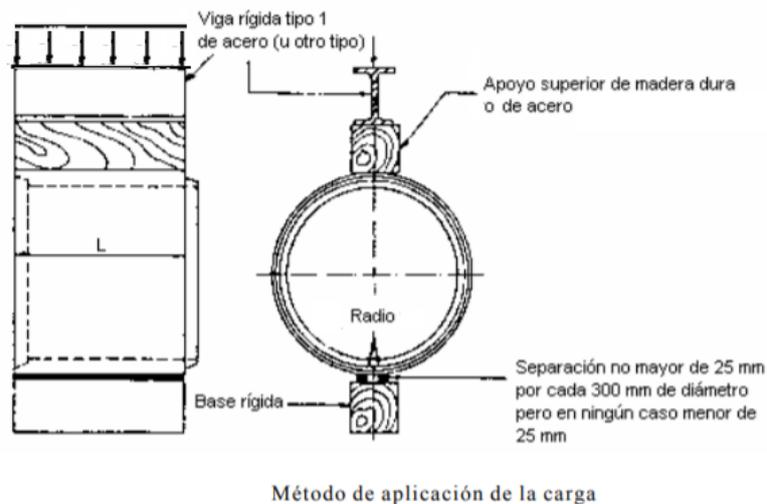
**Figura 11:** Tubo de hormigón armado de 90” con revestimiento interno PEAD utilizado para el ensayo.

**Fuente:** Inkatonsa

### 3.2.2 Resumen del ensayo

El ensayo a la flexión al que se debe someter a los tubos de Hormigón Armado se rige bajo la norma INEN 1587.

Para la realización de este ensayo, en la prensa hidráulica se coloca el tubo entre dos apoyos paralelos que se extienden a lo largo del mismo y un tercer apoyo ubicado en la parte superior del tubo lo someterá a una carga de compresión perpendicular al eje longitudinal con el fin de determinar su resistencia. La aplicación de la carga sobre el tubo de hormigón se debe incrementar a una velocidad no inferior a 120N/m por segundo y no debe exceder de 610N/m por segundo, hasta alcanzar una fisuración con carga controlada mayor a 0,25mm de ancho.



**Figura 12:** Método de aplicación de carga

**Fuente:** Norma INEN 1587

### 3.3 Resultados del ensayo de los tres apoyos

Se realizaron 3 pruebas a distintos tubos de hormigón con y sin revestimiento (1 tubo de hormigón de 90", un tubo de hormigón de 90" con recubrimiento PEAD de 2mm y un tubo de hormigón de 90" con recubrimiento PEAD de 3mm").

A continuación, en la tabla 11, se detalla un resumen de los valores obtenidos en los ensayos a la flexión (Revisar anexos); además, en la misma tabla se detallan las características técnicas de ambas tuberías y se demuestra que, aunque posean el mismo diámetro, longitudes y espesores de pared semejantes, al aplicarle un recubrimiento PEAD al tubo de hormigón en fábrica, este gana mayor resistencia y le permite un mejor comportamiento mecánico para el soporte de cargas de relleno y de tráfico.

El valor de la carga de fisura o carga D se obtiene de dividir la carga total aplicada al tubo hasta obtener un agrietamiento mayor o igual a 0.25 mm de ancho por el producto del diámetro interior en milímetros y la longitud ensayada en metros.

**Tabla 11. Resumen de resultados obtenidos del ensayo a la flexión de las tuberías**

METODO DE LOS TRES APOYOS			
	Tubo de H.A	Tubo H.A+ PEAD (2mm)	Tubo H.A+ PEAD (3mm)
Diametro (pulg)	90	90	90
Diametro (mm)	2250	2250	2250
Longitud Total (mm)	2000	2000	2000
Espesor de pared (mm)	225	225	225
Clase	1	1	1
Norma de Ensayo	INEN 1587 / ASTM C 301-79	INEN 1587 / ASTM C 301-79	INEN 1587 / ASTM C 301-79
Carga total aplicada (KN)	190	208	213
Carga requerida Fisura (N/m*mm)	40	40	40
Carga obtenida Fisura (N/m*mm)	<b>41</b>	<b>44</b>	<b>45</b>
Carga requerida Rotura (N/m*mm)	60	60	60

**Fuente:** Ensayos técnicos en planta

Queda demostrado en la tabla 11 que la utilización del recubrimiento de polietileno de alta densidad brinda a la tubería un mejor comportamiento y resistencia a la flexión, en el caso de aplicar un recubrimiento de 2 mm espesor se incrementa la resistencia en un 10%, mientras que al aplicarle un recubrimiento de 3mm de espesor incrementa la resistencia en un 13%, con lo cual se garantiza una mayor capacidad de carga.



**Figura 13:** Espesor del revestimiento PEAD de 3 mm

## **Capítulo 4: Evaluación del comportamiento hidráulico de las tuberías de hormigón con y sin recubrimiento interno PEAD en el diseño de un sistema de alcantarillado**

### **4.1 Metodología**

Para la ejecución de este capítulo, el modelo de investigación que se aplicará será bibliográfico y deductivo. Este trabajo de investigación está enfocado a la utilización de tuberías con revestimiento PEAD para cualquier tipo de alcantarillado (Sanitario o Pluvial) aunque es más usual en sistemas de alcantarillado sanitario por las ventajas que posee ante los ataques químicos a los que se encuentra expuesto al estar en contacto con aguas residuales. (Trejo, 2017, p. 26)

Partiendo de lo expuesto se ha considerado demostrar que también se pueden obtener resultados óptimos en un sistema de alcantarillado pluvial con la utilización del revestimiento PEAD en tuberías de gran diámetro debido a que mejoran las condiciones hidráulicas, mecánicas y de conservación de los sistemas de drenaje.

### **4.2 Consideraciones para el diseño del Colector de AA. LL**

Para el desarrollo del diseño de alcantarillado pluvial es necesario la disposición de la siguiente información (Tutiven, 2017, p. 27):

- Aspecto de la localidad, indicando tipo de edificaciones
- Área por drenar
- Clima
- Planos de la red de alcantarillado pluvial, en el que se detallen:
  - Escala
  - Trazo de la red
  - Longitud de cada tramo
  - Pendiente de cada tramo

- Diámetro y tipo de tubería
- Sentido del escurrimiento en cada tramo
- Sitio de descarga

### 4.3 Bases del diseño

#### 4.3.1 Velocidad

La ecuación empírica de Robert Manning es la más empleada para el cálculo de la velocidad en el diseño de canales abierto y cerrados. La ecuación posee la siguiente expresión:

$$V = \frac{1}{n} (Rh)^{\frac{2}{3}} (S)^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

- **V:** Velocidad (m/s)
- **n:** Coeficiente de rugosidad “n” de Manning en función del tipo de tubería. (Tabla 10)
- **Rh:** Radio hidráulico (m)
- **S:** Pendiente (m/m)

##### 4.3.1.1 Velocidades mínimas y máximas del diseño

En Alcantarillado Pluvial se considera como velocidad mínima de auto limpieza de **0.90 m/s**, y su velocidad máxima permisible dependerá del tipo de material de la tubería. (Tabla 12)

**Tabla 12. Velocidades máximas**

Conductos	velocidades
V max. Tubería de Hormigón	6 m/s
V max. Canales y colectores, de tuberías termoplásticas o PVC	9 m/s

**Fuente:** Tutiven, 2017

### 4.3.2 Caudal de diseño

#### 4.3.2.1 Método de análisis

El método de análisis que se emplea para la determinación de los caudales de diseño de aguas lluvias, es el Método Racional, el mismo que hace uso de la siguiente expresión matemática:

$$Q = C i A$$

Donde:

- **Q:** Caudal (m<sup>3</sup>/sg)
- **C:** Coeficiente de escurrimiento
- **A:** Área de drenaje (Hectáreas)
- **i:** Intensidad de lluvia (mm/h)

El Método Racional asume que el tiempo de duración de la precipitación sea igual o mayor al tiempo de concentración del escurrimiento.

#### 4.3.2.2 Coeficiente de escurrimiento

El coeficiente de escurrimiento es la relación entre la lámina de agua precipitada sobre una superficie y la lámina de agua que escurre superficialmente. (Tutiven, 2017, p. 34).

El coeficiente de escurrimiento “C” para el Método Racional permite determinar el escurrimiento superficial que se origina después de una precipitación, absorbiendo pérdidas que se originan por, intercepciones e infiltraciones en el suelo; el coeficiente de escurrimiento en zonas residenciales de grandes áreas (urbanizaciones), no deberá ser menor a 0,80.

**Tabla 13. Coeficientes de escurrimiento**

CARACTERÍSTICAS DE LA SUPERFICIE	PERIODO DE RETORNO (AÑOS )						
	2	5	10	25	50	100	500
<b>AREAS URBANAS</b>							
ASFALTO	0.73	0.77	0.80	0.86	0.90	0.95	1.00
CONCRETO/ TECHOS	0.75	0.79	0.83	0.88	0.90	0.97	1.00

**Fuente:** Vera, 2019

### 4.3.3 Tiempo de concentración

El tiempo de concentración que se adopta es de 10 minutos, acorde a las normas recomendadas por el Ex Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (IEOS).

### 4.3.4 Frecuencia de la lluvia de diseño

Para el área en estudio, el período de retorno de 10 años se lo asume de conformidad a la normativa pertinente dada por Interagua para zonas de residencia habitual. (Tabla 14)

**Tabla 14. Periodos de retorno aconsejables**

5 años	Zonas de baja riqueza del suelo, de baja densidad demográfica
10 años	Zonas de riqueza media del suelo, zonas de residencia habitual
20 - 25 años	Zonas de alto valor del suelo, zonas históricas
25 años	Emisarios y colectores principales

**Fuente:** García Cruz, 2013

#### 4.3.4.1 Intensidad de la lluvia

La determinación de los caudales mediante la utilización del Método Racional, demanda el conocer la intensidad de lluvia, una duración de lluvia determinada y su período de retorno fijado, es decir, se requiere conocer las curvas de intensidad-duración-frecuencia.

De conformidad a las normas de Interagua.

$$I = 521,00 / (td^{0,45} + 1,49) \text{ mm/hora para } t \leq 34 \text{ min (Tr = 10 años)}$$

Donde:

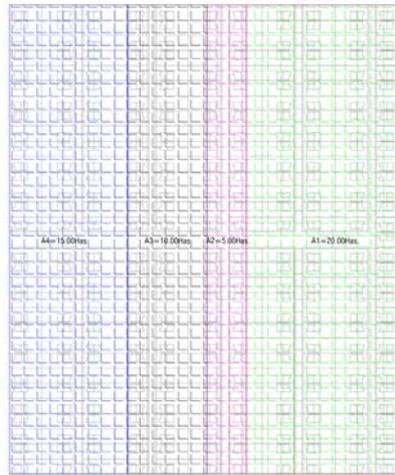
- **I:** Intensidad de lluvia (mm/hora)
- **td:** Tiempo de duración de la lluvia

### 4.4 Diseño

Conforme a las preguntas directrices y objetivos que se plantearon en el capítulo 1 de este trabajo de investigación, se realiza un diseño de sistema de alcantarillado para poder evaluar y

comparar el comportamiento hidráulico de estos dos tipos de tuberías con diámetros nominales de 60, 66, 72, 80 y 90 pulgadas, con la finalidad de poder dar respuestas a dichas interrogantes. Como el propósito de este trabajo de investigación es evaluar a las tuberías de mayor diámetro, se ha considerado tomar un área total de aportaciones que comprenda 50 hectáreas que se dividen de la siguiente manera:

Area 1 = 20 Has - Area 2 = 5 Has - Area 3 = 10 Has - Area 4 = 15 Has



**Figura 14:** Área total de aportaciones del Sistema de aguas lluvias

**Fuente:** Autor, 2019

#### 4.4.1 Diseño de alcantarillado pluvial

Se presentan cuatro distintos diseños de alcantarillado pluvial, pero todos mantendrán la misma área de aportaciones para el manejo de caudales semejantes.

En el diseño 1 se considera únicamente la tubería de hormigón armado, con la rugosidad que la caracteriza ( $n = 0.013$ ) y una pendiente asumida del 5% m/m.

En el diseño 2 se manejarán las mismas condiciones del primero, exceptuando la rugosidad que será remplazada por la del recubrimiento PEAD ( $n = 0.010$ ).

En el diseño 3 se considera la tubería con recubrimiento PEAD con diámetros de diseño menores al diseño 1.

En el diseño 4 la pendiente deberá ser menor al diseño 1.

A continuación, se detallan las fórmulas empleadas para la realización de los cálculos y se adjunta la planilla de diseño de los 4 sistema de alcantarillado pluvial en la parte de anexos.

### Fórmulas:

#### Hidráulica de los conductos

- **Velocidad (m/sg)**

$$V = \frac{1}{n} (Rh)^{\frac{2}{3}} (S)^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

Para tubería de hormigón: **n = 0.013**

Para tubería de hormigón + PEAD: **n = 0.010**

Pendiente asumida: **S = 5%, S = 3% y 4%** (Diseño 4)

Radio hidráulico sección llena = diámetro interno de la tubería (metros), entre cuatro

$$Rh = \frac{Am}{Pm} = \frac{\frac{\pi D^2}{4}}{\pi D} = \frac{D}{4}$$

- **Caudal a sección llena del tubo (lts/sg)**

$$Q = V \times A$$

Donde:

V = Velocidad (m/sg)

A = Área del tubo (m<sup>2</sup>)

$$A = \pi \times \text{radio}^2$$

#### Diseño de red

- **Caudal de aportaciones del área en estudio**

$$q = 2.78 \times C \times i \times A$$

Donde:

$q$  = Caudal de diseño

2.78 = Coeficiente de Conversión.

$C$  = Coeficiente de escorrentía, para este diseño  $C = 0.80$

$A$  = Área de aportación acumulada

$I$  = Intensidad de lluvia

$$I = 521,00 / (td^{0,45} + 1,49) \text{ mm/hora para } t \leq 34 \text{ min (Tr = 10 años)}$$

Donde:

$td$  = Tiempo de llegada = **10** + Tiempo de escurrimiento

Durante el diseño, generalmente se conoce la relación entre el caudal de diseño y el caudal a tubo lleno ( $q/Q$ ), en base a ese valor obtenido, es fácil determinar la relación entre la velocidad real y la velocidad a tubo lleno ( $v/V$ ), y la relación entre diámetro requerido y diámetro de diseño ( $d/D$ ), utilizando la tabla de relaciones hidráulicas para conductos circulares de Thormann y Franke (Tabla 15)

**Tabla 15. Tabla de variaciones de caudales y velocidades en función de la altura de llenado de la tubería**

d/D	v/V	q/Q									
0,000	0,00	0,000	0,158	0,55	0,056	0,268	0,74	0,160	0,613	1,06	0,680
0,023	0,17	0,001	0,159	0,56	0,057	0,272	0,75	0,165	0,620	1,06	0,690
0,032	0,21	0,002	0,160	0,56	0,058	0,276	0,76	0,170	0,626	1,06	0,700
0,038	0,24	0,003	0,162	0,56	0,059	0,281	0,76	0,175	0,633	1,06	0,710
0,044	0,26	0,004	0,163	0,57	0,060	0,285	0,77	0,180	0,640	1,07	0,720
0,049	0,28	0,005	0,164	0,57	0,061	0,289	0,77	0,185	0,646	1,07	0,730
0,053	0,29	0,006	0,166	0,57	0,062	0,293	0,78	0,190	0,653	1,07	0,740
0,057	0,30	0,007	0,167	0,57	0,063	0,297	0,78	0,195	0,660	1,07	0,750
0,061	0,32	0,008	0,168	0,58	0,064	0,301	0,79	0,200	0,667	1,07	0,760
0,065	0,33	0,009	0,170	0,58	0,065	0,309	0,80	0,210	0,675	1,07	0,770
0,068	0,34	0,010	0,171	0,58	0,066	0,316	0,81	0,220	0,682	1,07	0,780
0,071	0,35	0,011	0,172	0,58	0,067	0,324	0,82	0,230	0,689	1,07	0,790
0,074	0,35	0,012	0,174	0,59	0,068	0,331	0,83	0,240	0,697	1,07	0,800
0,077	0,36	0,013	0,175	0,59	0,069	0,339	0,84	0,250	0,701	1,08	0,805
0,080	0,37	0,014	0,176	0,59	0,070	0,346	0,85	0,260	0,705	1,08	0,810
0,083	0,38	0,015	0,177	0,59	0,071	0,353	0,86	0,270	0,709	1,08	0,815
0,086	0,39	0,016	0,179	0,59	0,072	0,360	0,86	0,280	0,713	1,08	0,820
0,088	0,39	0,017	0,180	0,60	0,073	0,367	0,87	0,290	0,717	1,08	0,825
0,091	0,40	0,018	0,181	0,60	0,074	0,374	0,88	0,300	0,721	1,08	0,830
0,093	0,41	0,019	0,182	0,60	0,075	0,381	0,89	0,310	0,725	1,08	0,835
0,095	0,41	0,020	0,183	0,60	0,076	0,387	0,89	0,320	0,729	1,07	0,840
0,098	0,42	0,021	0,185	0,61	0,077	0,394	0,90	0,330	0,734	1,07	0,845
0,100	0,42	0,022	0,186	0,61	0,078	0,401	0,91	0,340	0,738	1,07	0,850
0,102	0,43	0,023	0,187	0,61	0,079	0,407	0,92	0,350	0,742	1,07	0,855
0,104	0,43	0,024	0,188	0,61	0,080	0,414	0,92	0,360	0,747	1,07	0,860
0,106	0,44	0,025	0,189	0,62	0,081	0,420	0,93	0,370	0,751	1,07	0,865
0,108	0,44	0,026	0,191	0,62	0,082	0,426	0,93	0,380	0,756	1,07	0,870
0,110	0,45	0,027	0,192	0,62	0,083	0,433	0,94	0,390	0,761	1,07	0,875
0,112	0,45	0,028	0,193	0,62	0,084	0,439	0,95	0,400	0,766	1,07	0,880
0,114	0,46	0,029	0,194	0,62	0,085	0,445	0,95	0,410	0,770	1,07	0,885
0,116	0,46	0,030	0,195	0,63	0,086	0,451	0,96	0,420	0,775	1,07	0,890
0,118	0,47	0,031	0,196	0,63	0,087	0,458	0,96	0,430	0,781	1,07	0,895
0,120	0,47	0,032	0,197	0,63	0,088	0,464	0,97	0,440	0,786	1,07	0,900
0,122	0,48	0,033	0,199	0,63	0,089	0,470	0,97	0,450	0,791	1,07	0,905
0,123	0,48	0,034	0,200	0,63	0,090	0,476	0,98	0,460	0,797	1,07	0,910
0,125	0,48	0,035	0,201	0,64	0,091	0,482	0,99	0,470	0,802	1,06	0,915
0,127	0,49	0,036	0,202	0,64	0,092	0,488	0,99	0,480	0,808	1,06	0,920
0,129	0,49	0,037	0,203	0,64	0,093	0,494	1,00	0,490	0,814	1,06	0,925
0,130	0,50	0,038	0,204	0,64	0,094	0,500	1,00	0,500	0,821	1,06	0,930
0,132	0,50	0,039	0,205	0,64	0,095	0,506	1,00	0,510	0,827	1,06	0,935
0,134	0,51	0,040	0,206	0,65	0,096	0,512	1,01	0,520	0,834	1,05	0,940
0,135	0,51	0,041	0,207	0,65	0,097	0,519	1,01	0,530	0,841	1,05	0,945
0,137	0,51	0,042	0,208	0,65	0,098	0,525	1,02	0,540	0,849	1,05	0,950
0,138	0,51	0,043	0,210	0,65	0,099	0,531	1,02	0,550	0,856	1,05	0,955
0,140	0,52	0,044	0,211	0,65	0,100	0,537	1,02	0,560	0,865	1,04	0,960
0,141	0,52	0,045	0,216	0,66	0,105	0,543	1,03	0,570	0,874	1,04	0,965
0,143	0,52	0,046	0,221	0,67	0,110	0,550	1,03	0,580	0,883	1,04	0,970
0,145	0,53	0,047	0,226	0,68	0,115	0,556	1,03	0,590	0,894	1,03	0,975
0,146	0,53	0,048	0,231	0,69	0,120	0,562	1,04	0,600	0,905	1,03	0,980
0,148	0,53	0,049	0,236	0,69	0,125	0,568	1,04	0,610	0,919	1,02	0,985
0,149	0,54	0,050	0,241	0,70	0,130	0,576	1,04	0,620	0,935	1,02	0,990
0,151	0,54	0,051	0,245	0,71	0,135	0,581	1,05	0,630	0,955	1,01	0,995
0,152	0,54	0,052	0,250	0,72	0,140	0,587	1,05	0,640	1,000	1,00	1,000
0,153	0,55	0,053	0,254	0,72	0,145	0,594	1,05	0,650			
0,155	0,55	0,054	0,259	0,73	0,150	0,600	1,05	0,660			
0,156	0,55	0,055	0,263	0,74	0,155	0,607	1,06	0,670			

**Fuente:** Tabla de Thormann y Franke

#### 4.5 Evaluación del comportamiento hidráulico de la Tubería de Hormigón Armado simple y la Tubería de Hormigón Armado con revestimiento PEAD.

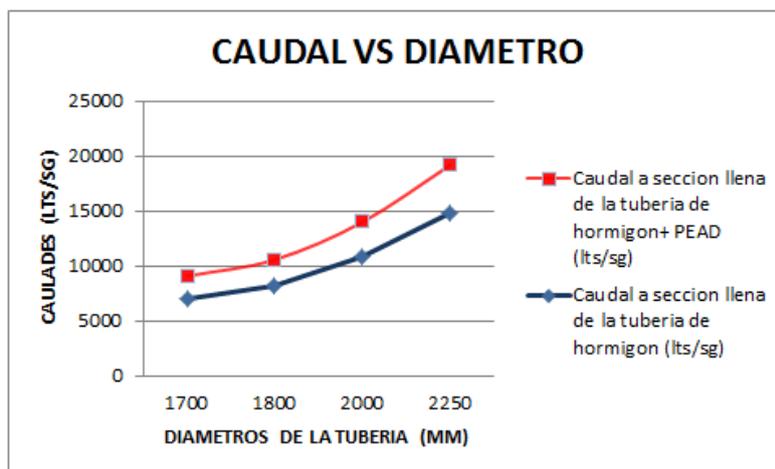
Con la finalidad de poder evaluar el comportamiento hidráulico de las tuberías utilizadas para los diseños de alcantarillado 1 y 2, con distinta rugosidad de paredes interiores, pero con igual de condiciones de pendiente y de diámetros, se muestra a continuación tablas de resumen de cálculos obtenidos de la planilla de diseño (Revisar anexos).

**Tabla 16, Resumen de la planilla de cálculo en relación a caudales**

COMPARACION DE CAUDALES A SECCION LLENA DE LA TUBERIA					
TIPO DE TUBERIA	Diametro pulg	Diametro interno (mm)	Pendiente S %	Rugosidad "n"	Q (lts/sg)
HORMIGON	66	1700	5	0.013	6985.95
	72	1800	5	0.013	8135.89
	80	2000	5	0.013	10774.44
	90	2250	5	0.013	14749.16
HORMIGON + PEAD	66	1700	5	0.010	9081.73
	72	1800	5	0.010	10576.66
	80	2000	5	0.010	14006.77
	90	2250	5	0.010	19173.9

Fuente: Autor, 2019

En la tabla 16 se demuestra que, aunque se mantengan el mismo diámetro de diseño, al aplicar el recubrimiento PEAD la tubería aumenta su capacidad en un 30%.



**Figura 15:** Gráfica de caudales manejados a sección llena del tubo vs diámetros

Fuente: Autor, 2019

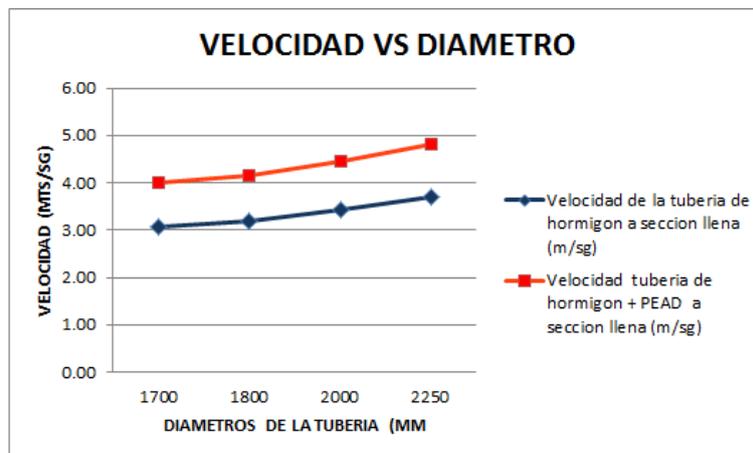
En la gráfica de caudales manejados a sección llena del tubo vs diámetros (Figura 15) se demuestra que la tubería con recubrimiento PEAD maneja caudales mayores que la de hormigón. La grafica expone que la tubería de hormigón de mayor diámetro (2250 mm) maneja un caudal semejante al de un tubo con revestimiento PEAD, pero de un diámetro inferior inmediato (2000mm).

**Tabla 17. Resumen de la planilla de cálculo en relación a velocidades**

COMPARACION DE VELOCIDADES A SECCION LLENA DE LA TUBERIA					
TIPO DE TUBERIA	Diametro pulg	Diametro interno (mm)	Pendiente S %	Rugosidad "n"	Velocidad (m/sg)
HORMIGON	66	1700	5	0.013	3.08
	72	1800	5	0.013	3.20
	80	2000	5	0.013	3.43
	90	2250	5	0.013	3.71
HORMIGON + PEAD	66	1700	5	0.010	4.00
	72	1800	5	0.010	4.15
	80	2000	5	0.010	4.46
	90	2250	5	0.010	4.82

**Fuente:** Autor, 2019

En la tabla 17 se indica que, aunque las tuberías mantengan el mismo diámetro de diseño, al aplicar el revestimiento PEAD el cual posee una rugosidad menor que el hormigón, la velocidad a sección llena de la tubería aumenta en un 30%, proyectando mayor desplazamiento y velocidad en las evacuaciones.



**Figura 16:** Grafica de velocidades manejadas a sección llena del tubo vs diámetros

**Fuente:** Autor, 2019

En la Figura 16 se manifiesta que la tubería con revestimiento PEAD maneja velocidades superiores que la del hormigón. La gráfica demuestra que la tubería de hormigón con revestimiento PEAD de menor diámetro (1700 mm) maneja una velocidad mayor incluso superior a la obtenida por la tubería de hormigón, con mayor diámetro (2250mm).

**Tabla 18. Resumen de la planilla de cálculo de las variaciones de  $q/Q$ ,  $d/D$ ,  $v/V$**

COMPARACIÓN DE LAS VARIACIONES DE CAUDALES Y VELOCIDADES EN FUNCIÓN DE LA ALTURA DE LLENADO DE LA TUBERÍA					
TIPO DE TUBERIA	Diametro pulg	Diametro interno (mm)	$q/Q$	$d/D$	$v/V$
HORMIGON	66	1700	0.77	0.680	1.07
	72	1800	0.81	0.710	1.08
	80	2000	0.84	0.730	1.07
	90	2250	0.87	0.760	1.07
HORMIGON + PEAD	66	1700	0.59	0.560	1.03
	72	1800	0.63	0.560	1.05
	80	2000	0.65	0.590	1.05
	90	2250	0.67	0.610	1.06

**Fuente:** Autor, 2019

La tabla 18 muestra la relación entre el caudal de diseño y el caudal a tubo lleno ( $q/Q$ ), la relación entre la velocidad real y la velocidad a tubo lleno ( $v/V$ ), y la relación entre diámetro requerido y diámetro de diseño ( $d/D$ ) para cada tipo de tubería. Se observa que la tubería con revestimiento PEAD mejora estos valores en función de la altura de llenado de la misma. (Revisar anexos)

En base a los resultados obtenidos en los diseño de alcantarillado pluvial 1 y 2, se realiza un tercer diseño de alcantarillado pluvial, con la finalidad de evaluar el comportamiento hidráulico de la tubería con recubrimiento PEAD pero con diámetros menores, manteniendo la misma pendiente, con relación al diseño de alcantarillado pluvial 1.

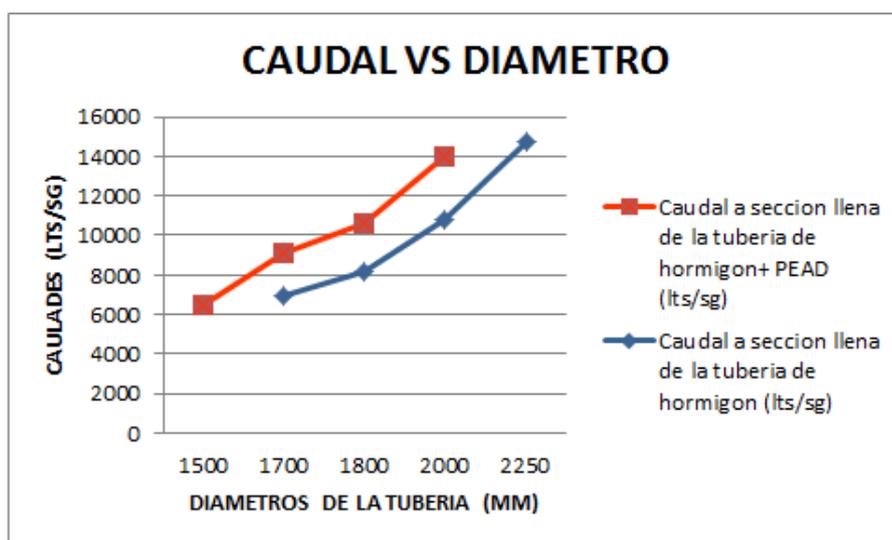
A continuacion se detalla un resumen de los resultados obtenidos de los diseños de alcantarillado pluvial 1 y 3.

**Tabla 19. Resumen de la planilla de cálculo en relación a caudales**

COMPARACION DE CAUDALES A SECCION LLENA DE LA TUBERIA					
TIPO DE TUBERIA	Diametro pulg	Diametro interno (mm)	Pendiente S %	Rugosidad "n"	Q (lts/sg)
HORMIGON	66	1700	5	0.013	6985.95
	72	1800	5	0.013	8135.89
	80	2000	5	0.013	10774.44
	90	2250	5	0.013	14749.16
HORMIGON + PEAD	60	1500	5	0.010	6505.06
	66	1700	5	0.010	9081.73
	72	1800	5	0.010	10576.66
	80	2000	5	0.010	14006.77

**Fuente:** Autor, 2019

En la tabla 19 se demuestra que al usar tuberías con revestimiento interno PEAD, es posible reducir el diámetro de diseño de la tubería por uno de menor diámetro inferior inmediato y aún así manejar caudales semejantes. (Figura 17)



**Figura 17:** Gráfica de caudales manejados a sección llena del tubo vs diámetros

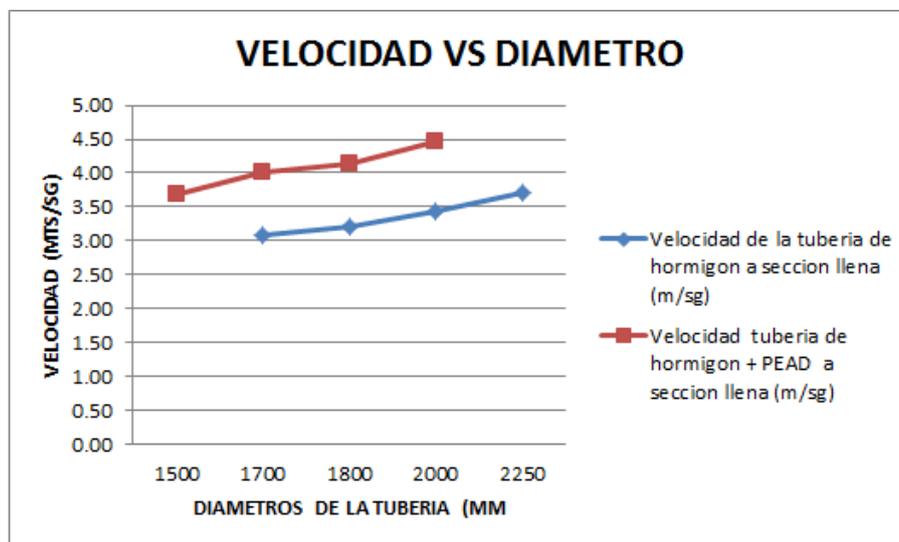
**Fuente:** Autor, 2019

**Tabla 20. Resumen de la planilla de cálculo en relación a velocidades**

COMPARACION DE CAUDALES A SECCION LLENA DE LA TUBERIA					
TIPO DE TUBERIA	Diametro pulg	Diametro interno (mm)	Pendiente S %	Rugosidad "n"	Velocidad (m/sg)
HORMIGON	66	1700	5	0.013	3.08
	72	1800	5	0.013	3.20
	80	2000	5	0.013	3.43
	90	2250	5	0.013	3.71
HORMIGON + PEAD	60	1500	5	0.010	3.68
	66	1700	5	0.010	4.00
	72	1800	5	0.010	4.15
	80	2000	5	0.010	4.46

**Fuente: Autor, 2019**

En la tabla 20 se logra apreciar que una tubería de menor diámetro al estar recubierta internamente con PEAD adquiere mayor velocidad de desplazamiento que la tubería de hormigón. La velocidad a sección llena de la tubería es aún 20% más que en la tubería de hormigón, proyectando mayor desplazamiento y velocidad en las evacuaciones.



**Figura 18:** Gráfica de velocidades manejadas a sección llena del tubo vs diámetros

Fuente: Autor, 2019

A continuación se detalla un resumen de los resultados obtenidos de los diseños de alcantarillado pluvial 1 y 4 con pendientes de diseño diferentes.

**Tabla 21. Resumen de la planilla de cálculo con pendientes diferentes**

CAMARA		LONG		AREA (Has)		q	MATERIAL	Diametro		n	S	Q	V	q/Q	d/D	v/V	ΔH	RELLENO	
I	F	(m)	PRO	ACU	Lt/s	comercial		int	o/oo	Lt/s	m/s	-	-	-	m	I	F		
C1	C2	120	20	20	5378.83	H.A	66"	1700	0.013	5	6985.95	3.08	0.77	0.68	1.07	0.6	1.18	1.78	
C2	C3	120	5	25	6599.43	H.A	72"	1800	0.013	5	8135.89	3.20	0.81	0.71	1.08	0.6	1.67	2.27	
C3	C4	120	10	35	9083.04	H.A	80"	2000	0.013	5	10774.44	3.43	0.84	0.73	1.07	0.6	2.05	2.65	
C4	DESC	120	15	50	12780.27	H.A	90"	2250	0.013	5	14749.16	3.71	0.87	0.76	1.07	0.6	2.38	2.98	
C1	C2	120	20	20	5378.83	H.A + PEAD	60"	1500	0.01	4	5818.30	3.29	0.92	0.80	1.06	0.48	1.19	1.67	
C2	C3	120	5	25	6607.26	H.A + PEAD	66"	1700	0.01	3	7034.68	3.10	0.94	0.83	1.06	0.36	1.46	1.82	
C3	C4	120	10	35	9088.51	H.A + PEAD	72"	1800	0.01	4	9460.05	3.72	0.96	0.86	1.04	0.48	1.71	2.19	
C4	DESC	120	15	50	12802.41	H.A + PEAD	80"	2000	0.01	5	14350.10	4.46	0.89	0.78	1.07	0.6	2.45	3.05	

**Fuente: Autor, 2019**

En la tabla 21 se expone que utilizando una tubería con revestimiento interno PEAD con diámetros menores a los de la tubería de hormigón, es posible disminuir las pendientes de diseño, lo que conlleva a que la diferencia de alturas entre cada cámara sea menor.

En el diseño con tuberías de hormigón la diferencia de altura promedio desde la cámara 1 hasta el punto de descarga es de 0.60 m con relación a la pendiente del 5% para la longitud de cada tramo, mientras que para el diseño de tubería de hormigón con recubrimiento interno PEAD la diferencia de altura promedio desde la cámara 1 hasta el punto de descarga es de 0.48 m debido a que se pudo disminuir las pendientes de diseño.

A continuación, se detallan las fórmulas utilizadas para el cálculo de volúmenes de excavación, volúmenes de relleno y volúmenes de desalojo.

- Diferencia = la resta entre la cota de calle y la cota invert de cada cámara.
- Altura = es la altura promedio entre cámaras,
- Ancho de Zanja = diámetro nominal + 0.60m (Considerando un relleno lateral de 0.30 por cada lado de la tubería.
- Volumen de Excavación = Ancho de zanja x Altura x Longitud del tramo de tuberías

- Volumen tubería =  $\pi \times (\text{Radio de la tubería})^2 \times \text{Longitud}$
- Relleno = Volumen de excavación – Volumen de tubería
- Volumen de material a desalojar = Volumen de la tubería x (Coef. de esponjamiento = 30%)

**Tabla 22. Datos del diseño 1 para el cálculo de volúmenes de excavación, relleno y desalojo**

RESUMEN DE DATOS DEL DISEÑO "1" DE ALCANTARILLADO PLUVIAL				
Tubería (pulg)	90	80	72	66
Diámetro nom (m)	2,695	2,41	2,17	2,044
Radio (m)	1,3475	1,205	1,085	1,022
Ancho zanja (m)	3,295	3,01	2,77	2,644
pi	3,1416	3,1416	3,1416	3,1416
Longitud del tramo (ml)	120	120	120	120
<b>Pendiente</b>	<b>5%</b>	<b>5%</b>	<b>5%</b>	<b>5%</b>
Altura 1 (m)	5,45	4,85	4,25	3,65
Altura 2 (m)	4,85	4,25	3,65	3,05
Diferencia de altura (m)	0,6	0,6	0,6	0,6
Coef. De esponjamiento	1,3	1,3	1,3	1,3

Fuente: Autor, 2019

**Tabla 23. Datos del diseño 4 para el cálculo de volúmenes de excavación, relleno y desalojo**

RESUMEN DE DATOS DEL DISEÑO "4" DE ALCANTARILLADO PLUVIAL				
Tubería (pulg)	80	72	66	60
Diámetro nom (m)	2,41	2,17	2,044	1,82
Radio (m)	1,205	1,085	1,022	0,91
Ancho zanja (m)	3,01	2,77	2,644	2,42
pi	3,1416	3,1416	3,1416	3,1416
Longitud del tramo (ml)	120	120	120	120
<b>Pendiente</b>	<b>5%</b>	<b>4%</b>	<b>3%</b>	<b>4%</b>
Altura 1 (m)	4,77	4,17	3,69	3,33
Altura 2 (m)	4,17	3,69	3,33	2,85
Diferencia de altura (m)	0,6	0,48	0,36	0,48
Coef. De esponjamiento	1,3	1,3	1,3	1,3

Fuente: Autor, 2019

En la tabla 22 y 23 se expone los datos utilizados para el cálculo de volúmenes de excavación, relleno y desalojo, utilizando las fórmulas detalladas.

**Tabla 24. Comparación de volúmenes de excavación, tubería, relleno y desalojo de los Diseño de alcantarillado pluvial 1 y 4**

Alcantarillado Pluvial	Material	Cámara	Longitud (m)	Tubería (Pulg)	Volumen de excavación en zanja (m3)	Volumen de la Tubería (m3)	Volumen de relleno (m3)	Volumen del material sobrante (m3)
Diseño 1	HORMIGÓN	C1 - C2	120	66"	1062,89	393,76	669,13	511,89
		C2 - C3	120	72"	1312,98	443,80	869,18	576,95
		C3 - C4	120	80"	1643,46	547,40	1096,06	711,62
		C4 - DESC	120	90"	2036,31	684,53	1351,78	889,88
<b>TOTAL</b>					<b>6055,64</b>	<b>2069,49</b>	<b>3986,14</b>	<b>2690,34</b>
Diseño 4	HORMIGÓN + PEAD	C1 - C2	120	60"	897,34	312,19	585,15	405,84
		C2 - C3	120	66"	1113,65	393,76	719,89	511,89
		C3 - C4	120	72"	1306,33	443,80	862,53	576,95
		C4 - DESC	120	80"	1614,56	547,40	1067,16	711,62
<b>TOTAL</b>					<b>4931,88</b>	<b>1697,16</b>	<b>3234,73</b>	<b>2206,30</b>
					<b>19%</b>	<b>18%</b>	<b>19%</b>	<b>18%</b>

Se realizó una comparación de los volúmenes de excavación, relleno y desalojo del material sobrante y se demuestra que utilizando una tubería de hormigón con revestimiento PEAD permite reducir estos volúmenes hasta en 19% en consecuencia la relación calidad- precio podrá ser compensada como se detalla en el siguiente capítulo.

## Capítulo 5: Análisis de Precios unitario

En el siguiente capítulo se expondrá cómo la aplicación de un recubrimiento interno de PEAD aparte de mejorar a las características mecánicas e hidráulicas de tubería, es beneficiosa para el presupuesto de una obra de infraestructura.

A continuación, se detallan los precios por metro lineal de la tubería de hormigón y de las juntas de neopreno

**Tabla 25. Precios de tuberías de hormigón armado clase 1 con junta hermética**

PRECIO DE TUBERIAS DE HORMIGON ARMADO				
LONGITUD ml	DESCRIPCION	TUBERIA (Precio x ml)	JUNTAS (Precio x ml)	PRECIO TOTAL TUBO + JUNTA
2.5	TUBERIA DE 1500 mm x 2.5 H.A (60)	\$ 721.80	\$ 26.30	\$ 1,872.75
2	TUBERIA DE 1700 mm x 2.0 H.A (66)	\$ 787.00	\$ 27.30	\$ 1,630.60
2	TUBERIA DE 1800 mm x 2.0 H.A (72)	\$ 887.70	\$ 40.70	\$ 1,858.80
2	TUBERIA DE 2000 mm x 2.0 H.A (80)	\$ 1,164.20	\$ 48.40	\$ 2,427.20
2	TUBERIA DE 2250 mm x 2.0 H.A (90)	\$ 1,312.90	\$ 50.00	\$ 2,727.80

**Fuente: Inkatonsa**

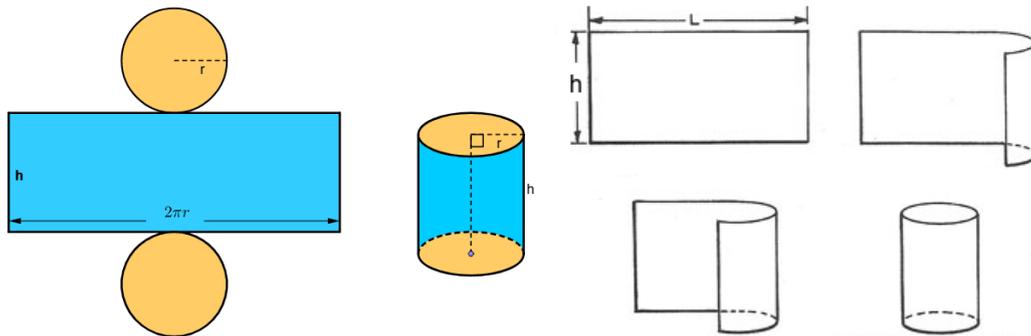
En la siguiente tabla se detallan los precios del rollo de polietileno de alta densidad de 50000x3000 mm con espesores de 2 y 3 mm y el detalle del precio del cordón de soldadura. El precio del recubrimiento PEAD de 3mm excede en \$19 el metro cuadrado en comparación al recubrimiento PEAD de 2mm.

**Tabla 26. Precio de rollo PEAD con anclajes de 13 mm y cordón de soldadura**

DESCRIPCION	UND	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
Ultra Grip PEAD amarillo rollo 50000x3000x2mm	m2	150	25.97	3895.5
Ultra Grip PEAD amarillo rollo 50000x3000x3mm	m2	150	44.97	6745.5
Cordon de soldadura PE natural 3 mm - rollo 3kg	kg	11	5.28	58.08

**Fuente: Agru**

Para calcular los metros cuadrados que se requieren del revestimiento PEAD para la fabricación de cada tubo, se utilizó la fórmula del área lateral de un cilindro.



**Figura 19:** Detalle del área lateral para un tubo

Fuente: <https://www.geogebra.org>

La fórmula para determinar el área del revestimiento PEAD necesario para cada tubo es:

$$\text{Área del recubrimiento PEAD} = 2 \times \pi \times \text{radio} \times \text{longitud del tubo}$$

**Tabla 27. Precio de recubrimiento PEAD de 2 mm para cada diámetro de tubería**

LONGITUD ml	DESCRIPCION	RECUBRIMIENTO PEAD DE 2 mm		
		AREA (m2)	PRECIO U. (USD)	PRECIO TOTAL
2.5	TUBERIA DE 1500 mm x 2.5 H.A (60)	11.78	25.97	305.93
2	TUBERIA DE 1700 mm x 2.0 H.A (66)	10.68	25.97	277.40
2	TUBERIA DE 1800 mm x 2.0 H.A (72)	11.31	25.97	293.71
2	TUBERIA DE 2000 mm x 2.0 H.A (80)	12.57	25.97	326.35
2	TUBERIA DE 2250 mm x 2.0 H.A (90)	14.11	25.97	366.33

Fuente: Autor, 2019

**Tabla 28. Precio de recubrimiento PEAD de 3 mm para cada diámetro de tubería**

LONGITUD ml	DESCRIPCION	RECUBRIMIENTO PEAD DE 3 mm		
		AREA (m2)	PRECIO U. (USD)	PRECIO TOTAL
2.5	TUBERIA DE 1500 mm x 2.5 H.A (60)	11.78	44.97	529.75
2	TUBERIA DE 1700 mm x 2.0 H.A (66)	10.68	44.97	480.34
2	TUBERIA DE 1800 mm x 2.0 H.A (72)	11.31	44.97	508.60
2	TUBERIA DE 2000 mm x 2.0 H.A (80)	12.57	44.97	565.11
2	TUBERIA DE 2250 mm x 2.0 H.A (90)	14.11	44.97	634.34

Fuente: Autor, 2019

**Tabla 29. Precios de tuberías de Hormigón Armado con recubrimiento interno de PEAD de 2 mm**

PRECIO DE TUBERIAS DE HORMIGON ARMADO CON RECUBRIMIENTO INTERNO PEAD DE 2 MM							
LONGITUD ml	DESCRIPCION	TUBERIA H.A (Precio x ml)	JUNTAS (Precio x ml)	PRECIO RECUBRIMIENTO PEAD 2 mm	PRECIO DE CORDON DE SOLDADURA	TUBERIA H.A + PEAD (Precio x ml)	PRECIO TOTAL DE TUBO DE HORMIGON + PEAD
2.5	TUBERIA DE 1500 mm x 2.5 H.A (60)	\$ 721.80	\$ 26.30	\$ 305.93	\$ 3.52	\$ 872.88	\$ 2,182.20
2	TUBERIA DE 1700 mm x 2.0 H.A (66)	\$ 787.00	\$ 27.30	\$ 277.40	\$ 3.98	\$ 955.99	\$ 1,911.98
2	TUBERIA DE 1800 mm x 2.0 H.A (72)	\$ 887.70	\$ 40.70	\$ 293.71	\$ 4.22	\$ 1,078.37	\$ 2,156.73
2	TUBERIA DE 2000 mm x 2.0 H.A (80)	\$ 1,164.20	\$ 48.40	\$ 326.35	\$ 4.69	\$ 1,379.12	\$ 2,758.24
2	TUBERIA DE 2250 mm x 2.0 H.A (90)	\$ 1,312.90	\$ 50.00	\$ 366.33	\$ 5.28	\$ 1,549.70	\$ 3,099.41

Fuente: Autor, 2019

**Tabla 30. Precios de tuberías de Hormigón Armado con recubrimiento interno de PEAD de 3 mm**

PRECIO DE TUBERIAS DE HORMIGON ARMADO CON RECUBRIMIENTO INTERNO PEAD DE 3 MM							
LONGITUD ml	DESCRIPCION	TUBERIA H.A (Precio x ml)	JUNTAS (Precio x ml)	PRECIO RECUBRIMIENTO PEAD 3 mm	PRECIO DE CORDON DE SOLDADURA	TUBERIA H.A + PEAD (Precio x ml)	PRECIO TOTAL DE TUBO DE HORMIGON + PEAD
2.5	TUBERIA DE 1500 mm x 2.5 H.A (60)	\$ 721.80	\$ 26.30	\$ 529.75	\$ 3.52	\$ 962.41	\$ 2,406.02
2	TUBERIA DE 1700 mm x 2.0 H.A (66)	\$ 787.00	\$ 27.30	\$ 480.34	\$ 3.98	\$ 1,057.46	\$ 2,114.92
2	TUBERIA DE 1800 mm x 2.0 H.A (72)	\$ 887.70	\$ 40.70	\$ 508.60	\$ 4.22	\$ 1,185.81	\$ 2,371.62
2	TUBERIA DE 2000 mm x 2.0 H.A (80)	\$ 1,164.20	\$ 48.40	\$ 565.11	\$ 4.69	\$ 1,498.50	\$ 2,997.00
2	TUBERIA DE 2250 mm x 2.0 H.A (90)	\$ 1,312.90	\$ 50.00	\$ 634.34	\$ 5.28	\$ 1,683.71	\$ 3,367.42

Fuente: Autor, 2019

**Tabla 31. Comparación de precios de las tuberías de hormigón armado con y sin recubrimiento interno PEAD por metro lineal**

PRECIO DE TUBERIAS DE HORMIGON ARMADO CON Y SIN RECUBRIMIENTO INTERNO PEAD POR METRO LINEAL				
LONGITUD ml	DESCRIPCION	TUBERIA H.A (Precio x ml)	TUBERIA H.A + PEAD DE 2MM (Precio x ml)	TUBERIA H.A + PEAD DE 3MM (Precio x ml)
2.5	TUBERIA DE 1500 mm x 2.5 H.A (60)	\$ 721.80	\$ 872.88	\$ 962.41
2	TUBERIA DE 1700 mm x 2.0 H.A (66)	\$ 787.00	\$ 955.99	\$ 1,057.46
2	TUBERIA DE 1800 mm x 2.0 H.A (72)	\$ 887.70	\$ 1,078.37	\$ 1,185.81
2	TUBERIA DE 2000 mm x 2.0 H.A (80)	\$ 1,164.20	\$ 1,379.12	\$ 1,498.50
2	TUBERIA DE 2250 mm x 2.0 H.A (90)	\$ 1,312.90	\$ 1,549.70	\$ 1,683.71
% DE PRECIO AUMENTADO POR ML		-	18%	28%

Fuente: Autor, 2019

En la tabla 31 se evidencia que al aplicarle un revestimiento de PEAD de 2mm a la tubería de hormigón armado, esta incrementa su precio en un 18%, mientras que si se le aplica un recubrimiento de 3mm su precio incrementa en un 28%.

Pese a que el precio de la tubería con recubrimiento PEAD aumenta en un 18% en comparación a la tubería de hormigón armado, en base a los resultados obtenidos en el capítulo 4, se realiza una comparación de los precios por metro lineal de los diámetros de la tubería de hormigón vs los diámetro menores de la tubería con recubrimiento PEAD que fueron evaluados anteriormente.

**Tabla 32. Comparación de precios por metro lineal de las tuberías de hormigón armado vs tuberías con recubrimiento interno PEAD de menor diámetro**

DIAMETRO DEL TUBO DE HORMIGON ARMADO (mm)	PRECIO POR METRO LINEAL (USD)	DIAMETRO DEL TUBO DE H.A + PEAD 2 MM (mm)	PRECIO POR METRO LINEAL (USD)	DIFERENCIA DE PRECIOS POR ML DE TUBERIA (USD)	DIFERENCIA DE PRECIOS POR ML DE TUBERIA (%)
1700	\$ 787.00	1500	\$ 872.88	\$ 85.88	11%
1800	\$ 887.70	1700	\$ 955.99	\$ 68.29	8%
2000	\$ 1,164.20	1800	\$ 1,078.37	\$ (85.83)	-7%
2250	\$ 1,312.90	2000	\$ 1,379.12	\$ 66.22	5%

La tabla 32 indica que las tuberías de hormigón con revestimiento interior PEAD de diámetros menores logran casi equiparar los precios con los de la tubería de Hormigón Armado tradicional, también se debe resaltar que la tubería de 1500 mm aunque la diferencia de precio exceda en un 11%, la longitud del tubo es mayor, por tanto se necesitaría menor unidades de tubos para completar el tramo, y para las tuberías de 1800 mm existe un ahorro del 7% que compensa al valor excedente de los demás diámetros, esto se debe a que el área del revestimiento que se necesita es notablemente menor.

De acuerdo a los datos obtenidos en el capítulo 4 acerca del volumen de excavación, relleno y desalojo de material sobrante, se procede a realizar un análisis de precios unitario del diseño 1 y 4 para conocer el precio por metro lineal del rubro de instalación de tuberías, el cual abarca el trazado y replanteo, excavación, desalojo del material, relleno con material del sitio y suministro e instalación de tuberías.

**Tabla 33. Análisis de precios unitario del rubro de instalación de tubería de hormigón**

DISEÑO "1" DE ALCANTARILLADO PLUVIAL - TUBERÍA DE HORMIGON ARMADO										
Instalacion de tubería			C1 - C2 (66")		C2 - C3 (72")		C3 - C4 (80")		C4 -DESC (90")	
RUBROS	PRECIO UNITARI	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO TOTAL	CANTIDAD	PRECIO TOTAL	CANTIDAD	PRECIO TOTAL	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
Trazado y Replanteo	\$ 1,36	ml	120	\$ 163,20	120	\$ 163,20	120	\$ 163,20	120	\$ 163,20
Excavación sin clasificar	\$ 4,52	m3	1062,89	\$ 4.804,25	1312,98	\$ 5.934,67	1643,46	\$ 7.428,44	2036,31	\$ 9.204,12
Desalojo de material sobrante	\$ 3,18	m3	511,89	\$ 1.627,81	576,95	\$ 1.834,69	711,62	\$ 2.262,96	889,88	\$ 2.829,83
Relleno con material del sitio	\$ 6,90	m3	669,13	\$ 4.616,97	869,18	\$ 5.997,31	1096,06	\$ 7.562,80	1351,78	\$ 9.327,31
Suministro e instalación de tubería	\$ 41,89	ml	120	\$ 5.026,80	120,00	\$ 5.026,80	120	\$ 5.026,80	120	\$ 5.026,80
<b>TOTAL</b>				<b>\$16.239,03</b>		<b>\$18.956,67</b>		<b>\$22.444,20</b>		<b>\$26.551,26</b>
<b>PRECIO (metro lineal)</b>				<b>\$ 135,33</b>		<b>\$ 157,97</b>		<b>\$ 187,03</b>		<b>\$ 221,26</b>

Fuente: Autor, 2019

**Tabla 34. Análisis de precios unitario del rubro de instalación de tubería de hormigón con revestimiento PEAD**

DISEÑO "4" DE ALCANTARILLADO PLUVIAL - TUBERÍA DE HORMIGON ARMADO + REVESTIMIENTO PEAD										
Instalacion de tubería			C1 - C2 (60")		C2 - C3 (66")		C3 - C4 (72")		C4 -DESC (80")	
RUBROS	PRECIO UNITARI	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO TOTAL	CANTIDAD	PRECIO TOTAL	CANTIDAD	PRECIO TOTAL	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
Trazado y Replanteo	\$ 1,36	ml	120	\$ 163,20	120	\$ 163,20	120	\$ 163,20	120	\$ 163,20
Excavación sin clasificar	\$ 4,52	m3	897,34	\$ 4.055,96	1113,65	\$ 5.033,71	1306,33	\$ 5.904,62	1614,56	\$ 7.297,83
Desalojo de material sobrante	\$ 3,18	m3	405,84	\$ 1.290,58	511,89	\$ 1.627,81	576,95	\$ 1.834,69	711,62	\$ 2.262,96
Relleno con material del sitio	\$ 6,90	m3	585,15	\$ 4.037,53	719,89	\$ 4.967,25	862,53	\$ 5.951,44	1067,16	\$ 7.363,42
Suministro e instalación de tubería	\$ 41,89	ml	120	\$ 5.026,80	120,00	\$ 5.026,80	120	\$ 5.026,80	120	\$ 5.026,80
<b>TOTAL</b>				<b>\$14.574,07</b>		<b>\$16.818,77</b>		<b>\$18.880,75</b>		<b>\$22.114,21</b>
<b>PRECIO (metro lineal)</b>				<b>\$ 121,45</b>		<b>\$ 140,16</b>		<b>\$ 157,34</b>		<b>\$ 184,29</b>

Fuente: Autor, 2019

**Tabla 35. Análisis de precios de los diseños de alcantarillado pluvial 1, 3 y 4**

PRECIOS DE TUBERIAS - DISEÑO "1" DE ALCANTARILLADO PLUVIAL								
Tramo		Tubería de Hormigón			Precios			
Camara	Longitud (m)	Tubería (Pulg)	Longitud (ml)	Cantidad (UND)	Junta de Neopreno (Precio x ml)	Tubería de H.A (Precio x ml)	Inst. de Tubería H.A (Precio x ml)	Precio total
-	120	60"	2,5	0	\$ 26,30	\$ 721,80	-	\$ -
C1 - C2	120	66"	2	60	\$ 27,30	\$ 787,00	\$ 135,33	\$ 113.955,03
C2 - C3	120	72"	2	60	\$ 40,70	\$ 887,70	\$ 157,97	\$ 130.364,67
C3 - C4	120	80"	2	60	\$ 48,40	\$ 1.164,20	\$ 187,03	\$ 167.956,20
C4 - DESC	120	90"	2	60	\$ 50,00	\$ 1.312,90	\$ 221,26	\$ 190.099,26
TOTAL								\$ 602.375,17

PRECIOS DE TUBERIAS - DISEÑO "4" DE ALCANTARILLADO PLUVIAL								
Tramo		Tubería de Hormigón + PEAD (2mm)			Precios			
Camara	Longitud (m)	Tubería (Pulg)	Longitud (ml)	Cantidad (UND)	Junta de Neopreno (Precio x ml)	Tubería de H.A + PEAD (Precio x)	Inst. de Tubería H.A+ PEAD	Precio total
C1 - C2	120	60"	2,5	48	\$ 26,30	\$ 872,88	\$ 121,45	\$ 122.475,67
C2 - C3	120	66"	2	60	\$ 27,30	\$ 955,99	\$ 140,16	\$ 134.813,57
C3 - C4	120	72"	2	60	\$ 40,70	\$ 1.078,37	\$ 157,34	\$ 153.169,15
C4 - DESC	120	80"	2	60	\$ 48,40	\$ 1.379,12	\$ 184,29	\$ 193.416,61
-	120	90"	2	0	\$ 50,00	\$ 1.549,70		
TOTAL								\$ 603.874,99

PRECIOS DE TUBERIAS - DISEÑO "4" DE ALCANTARILLADO PLUVIAL								
Tramo		Tubería de Hormigón + PEAD (3mm)			Precios			
Camara	Longitud (m)	Tubería (Pulg)	Longitud (ml)	Cantidad (UND)	Junta de Neopreno (Precio x ml)	Tubería de H.A + PEAD (Precio x)	Inst. de Tubería H.A+ PEAD	Precio total
C1 - C2	120	60"	2,5	48	\$ 26,30	962,41	\$ 121,45	\$ 133.219,27
C2 - C3	120	66"	2	60	\$ 27,30	1057,46	\$ 140,16	\$ 146.989,97
C3 - C4	120	72"	2	60	\$ 40,70	1185,81	\$ 157,34	\$ 166.061,95
C4 - DESC	120	80"	2	60	\$ 48,40	1498,5	\$ 184,29	\$ 207.742,21
-	120	90"	2	0	\$ 50,00	1683,71		
TOTAL								\$ 654.013,39

**Fuente:** Autor, 2019

Finalmente, en la tabla 34 se detalla el precio total de los diseños de alcantarillado pluvial 1 y 4 con distintos espesores de recubrimiento, con los valores obtenidos se evidencia que entre el diseño 1 con tuberías de hormigón armado y el diseño 4 con tuberías de hormigón armado revestidos internamente con PEAD de 2 mm existe una diferencia de \$1.499,83, esto equivale al 0.24% adicional, consientes del beneficio que le otorga a los sistemas de drenaje, esta relación se ve compensada. Sin embargo, al utilizar un revestimiento de PEAD de 3 mm implica aumentar el precio del sistema de drenaje en \$51.638,23 que representa un 8% adicional.

## **Capítulo 6: Conclusiones y Recomendaciones**

### **6.1 Conclusiones**

Dejando constancia que con el estudio y análisis que hemos realizado con la finalidad de proponer la utilización del PEAD en las tuberías de hormigón, se llega a las siguientes conclusiones:

- Mejora la resistencia a las cargas externas de hasta un 13% dependiendo el espesor del recubrimiento, dando más seguridad al proyecto.
- La capacidad hidráulica aumenta en un 30%, por la velocidad de desplazamiento, lo que permite proyectar mejor desplazamiento y velocidad en las evacuaciones.
- Al mejorar la rugosidad del tubo de hormigón a través del revestimiento interno de PEAD, permite a la tubería el manejo de mayores caudales y velocidades, esto conllevaría a que se pueda utilizar una tubería de menor diámetro, logrando reducir en un 19% el costo de obras de infraestructura en relación a los rubros de excavación y por consiguiente el desalojo.
- La aplicación del revestimiento PEAD a los tubos de hormigón le otorga mayor durabilidad al sistema de drenaje y representa un ahorro en gastos por reparación
- Finalmente, si analizamos las ventajas indicadas anteriormente estas permiten compensar el precio del tubo PEAD. Vs. Un tubo normal.

### **6.2 Recomendaciones**

Considerando las ventajas del incremento en la resistencia, mayor capacidad hidráulica, baja rugosidad, su doble utilización, duración y precios, pienso que se debe hacer un gran esfuerzo para llegar hasta las instituciones públicas y privadas, diseñadores y profesionales para demostrar que la innovación en la utilización del PEAD mejorará sustancialmente todos los sistemas de drenaje y las obras tendrán un mejor costo- calidad que beneficia a todos.

## Referencias Bibliográficas

Norma INEN 1591 *Tubos de hormigón reforzado y accesorios, Requisitos.*

Norma INEN 1592. *Tubería de hormigón. Juntas flexibles. Requisitos.*

Norma ASTM C-76. *Standard Specification for reinforced concrete culvert, storm drain, and sewer pipe.*

NTC 401:2000, *Ingeniería civil y arquitectura. Tubos de concreto reforzado para alcantarillado.* (ASTM C76).

Norma NMX-C402-2004-ONNCCE. (2011). *Tubos de concreto reforzado con junta hermética para alcantarillado sanitario y drenaje pluvial – Especificaciones y métodos de ensayo.*

Norma INEN 1587. *Tubos de hormigón y de gres. Determinación de la resistencia a la flexión. Método de los tres apoyos.*

International Water Services (INTERAGUA) empresa de agua potable de Guayaquil

Amancha H. (2012). *Estudio de fabricación de tubos de hormigón mediante vibro-compactación en la fábrica “San Jacinto” en la parroquia Izamba para mejorar los niveles de producción.* [Tesis de Grado]. Universidad técnica de Ambato. Ecuador.

<http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3032/1/Tesis%20I.%20M.%20147%20-%20Amancha%20Torres%20Hugo%20Fabi%20C3%A1n.pdf>.

Campoverde J, León L. (2017). *Estudio fisicoquímico en tuberías de hormigón en agua con pH alcalino elevado.* [Tesis de Grado]. Universidad de Cuenca. Ecuador.

<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/28613/1/TESIS.pdf>

Monroy G. (2014). *Problemáticas de los sistemas de alcantarillado.* [Tesis de Grado].

Universidad Nacional Autónoma de México. México.

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/6934/Problem%20C3%A1tica%20de%20los%20sistemas%20de%20alcantarillado.pdf?sequence=1>

Argiz Cristina, Sanjuán Miguel y Rodríguez José. (2014). Conductos prefabricados de hormigón, respuesta ante las acciones químicas. Tecnoaqua, 32-37.

[https://www.tecnoaqua.es/descargar\\_documento/articulo-tecnico-conductos-prefabricados-hormigon-respuesta-acciones-quimicas-tecnoaqua-es.pdf](https://www.tecnoaqua.es/descargar_documento/articulo-tecnico-conductos-prefabricados-hormigon-respuesta-acciones-quimicas-tecnoaqua-es.pdf).

Lorenzetti C. (2012). *Propuesta de un programa de mantenimiento preventivo para la manutención, limpieza y recuperación hidráulica de las tuberías de alcantarillado sanitario y pluvial en las empresas sanitaria*. [Tesis de Grado]. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Perú

[https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/302513/lorenzetti\\_lc-pub-delfos.pdf;jsessionid=7B8371ADF4D92CE8C7122996A7671A7E?sequence=1](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/302513/lorenzetti_lc-pub-delfos.pdf;jsessionid=7B8371ADF4D92CE8C7122996A7671A7E?sequence=1)

Bedoya L, Cárdenas J, Galeano B y Giraldo L. (2015). *Protección contra la corrosión – Recubrimiento con Polímeros*. Metalografía. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia.

<http://blog.utp.edu.co/metalografia/proteccion-contra-la-corrosion-recubrimiento-con-polimeros/>

Roca I. (2005). *Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad (PEAD)*. Universidad de San Carlos de Guatemala.

[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0639\\_Q.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0639_Q.pdf)

Tutiven S. (2017). *Sistema de drenaje pluvial urbano con la incorporación de reservas individuales*. Universidad de Especialidades Espíritu Santo. Ecuador

<http://repositorio.uees.edu.ec/123456789/2429>

Chipantasig R. (2015). *Determinación del coeficiente de rugosidad interna de la tubería de polietileno de alta densidad- reciclada para alcantarillado*. Universidad central del Ecuador

<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/4502/1/T-UCE-0011-181.pdf>

Vega L. (2016). *Análisis de la metodología constructiva y de costos del sistema de alcantarillado sanitario y pluvial con tubería de hormigón armado ubicado en la urbanización*

*Las Delicias del Cantón Daule y su alternativa en tubería PVC 2.* Universidad Católica Santiago de Guayaquil. Ecuador

<http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/6864>

Castillo y Cepeda. (2011). *Plan maestro de alcantarillado de la parroquia El Chaupi – cantón mejía.* Universidad Técnica Salesiana. Ecuador

<file:///C:/Users/usuario/Downloads/UPS-ST000826.pdf>

García E. (2017). *Rehabilitación de red de alcantarillado, colonia El sol.* Universidad Autónoma de México







Anexo 4: Planilla de cálculo del diseño de alcantarillado pluvial 1, 2,3 y 4.

DISEÑO "1" DE ALCANTARILLADO PLUVIAL

Rugosidad del Hormigon 0.013

CAMARA	LONG (m)	AREA (Has)		Tc min	C	i	q	MATERIAL	Diametro		S	Q	V	q/Q	d/D	v/V	d	v	ΔH	TAPA		ESP		RELLENO		H CAMARA	
		PRO	ADC						int	o/oo										I	F	I	F	I	F	I	F
C1	120	20	0	20	0.8	120.93	5378.83	H.A	66"	2044	1700	5	6985.95	3.08	0.77	1.07	1380	3.29	0.6	6.00	6.00	172	1.18	1.18	1.78	3.05	3.65
C2	120	5	0	25	0.8	118.69	6599.43	H.A	72"	2170	1800	5	8135.89	3.20	0.81	1.08	1530	3.45	0.6	6.00	6.00	185	1.67	1.67	2.27	3.65	4.25
C3	120	10	0	35	0.8	116.69	9083.04	H.A	80"	2410	2000	5	10774.44	3.43	0.84	1.07	1757	3.67	0.6	6.00	6.00	205	2.05	2.05	2.65	4.25	4.85
C4	DESC	120	15	0	0.8	114.93	12780.27	H.A	90"	2695	2250	5	14749.16	3.71	0.87	1.07	2037	3.97	0.6	6.00	6.00	223	2.38	2.38	2.98	4.85	5.45

DISEÑO "2" DE ALCANTARILLADO PLUVIAL

Rugosidad del PEAD 0.010

CAMARA	LONG (m)	AREA (Has)		Tc min	C	i	q	MATERIAL	Diametro		S	Q	V	q/Q	d/D	v/V	d	v	ΔH	TAPA		ESP		RELLENO		H CAMARA	
		PRO	ADC						int	o/oo										I	F	I	F	I	F	I	F
C1	120	20	0	20	0.8	120.93	5378.83	H.A + PEAD	66"	2044	1700	5	9081.73	4.00	0.59	1.03	1145	4.12	0.6	6.00	6.00	172	1.18	1.18	1.78	3.05	3.65
C2	120	5	0	25	0.8	119.20	6627.29	H.A + PEAD	72"	2170	1800	5	10576.66	4.15	0.63	1.05	1217	4.36	0.6	6.00	6.00	185	1.67	1.67	2.27	3.65	4.25
C3	120	10	0	35	0.8	117.62	9155.25	H.A + PEAD	80"	2410	2000	5	14006.77	4.46	0.65	1.05	1432	4.68	0.6	6.00	6.00	205	2.05	2.05	2.65	4.25	4.85
C4	DESC	120	15	0	0.8	116.21	12922.94	H.A + PEAD	90"	2695	2250	5	19173.90	4.82	0.67	1.06	1636	5.11	0.6	6.00	6.00	223	2.38	2.38	2.98	4.85	5.45

DISEÑO "3" DE ALCANTARILLADO PLUVIAL

Rugosidad del PEAD 0.010

CAMARA	LONG (m)	AREA (Has)		Tc min	C	i	q	MATERIAL	Diametro		S	Q	V	q/Q	d/D	v/V	d	v	ΔH	TAPA		ESP		RELLENO		H CAMARA	
		PRO	ADC						int	o/oo										I	F	I	F	I	F	I	F
C1	120	20	0	20	0.8	120.93	5378.83	H.A + PEAD	60"	1820	1500	5	6502.24	3.68	0.83	0.72	1312	3.97	0.6	6.00	6.00	160	1.19	1.19	1.79	2.85	3.45
C2	120	5	0	25	0.8	119.05	6619.17	H.A + PEAD	66"	2044	1700	5	9077.80	4.00	0.73	0.65	1320	4.28	0.6	6.00	6.00	172	1.58	1.58	2.18	3.45	4.05
C3	120	10	0	35	0.8	117.42	9139.82	H.A + PEAD	72"	2170	1800	5	10572.08	4.15	0.86	0.74	1606	4.45	0.6	6.00	6.00	185	2.07	2.07	2.67	4.05	4.65
C4	DESC	120	15	0	0.8	115.93	12890.90	H.A + PEAD	80"	2410	2000	5	14000.71	4.46	0.92	0.80	1928	4.81	0.6	6.00	6.00	205	2.45	2.45	3.05	4.65	5.25

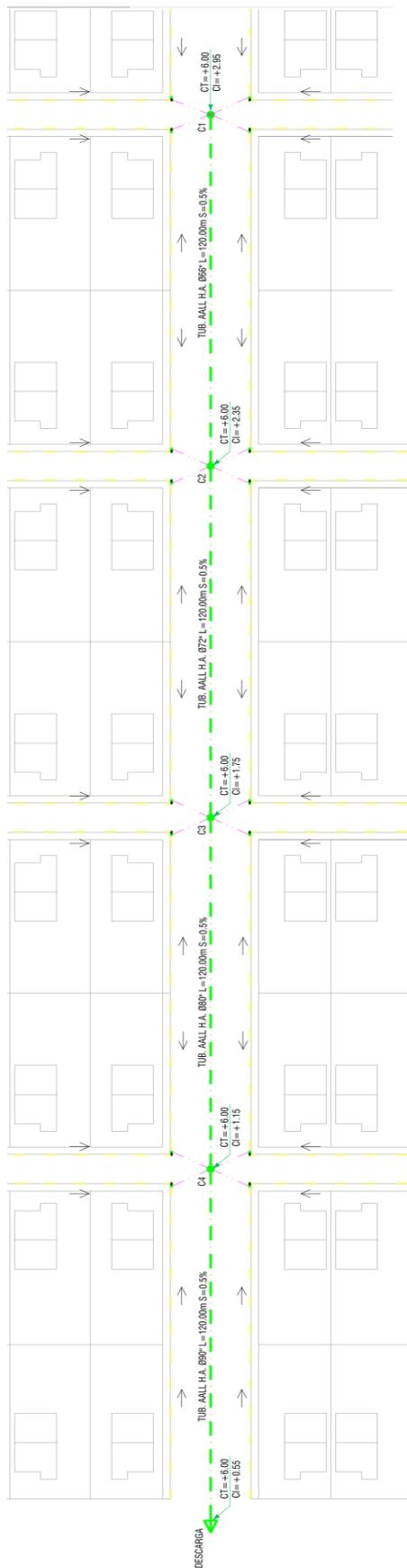
DISEÑO "4" DE ALCANTARILLADO PLUVIAL

Rugosidad del PEAD 0.010

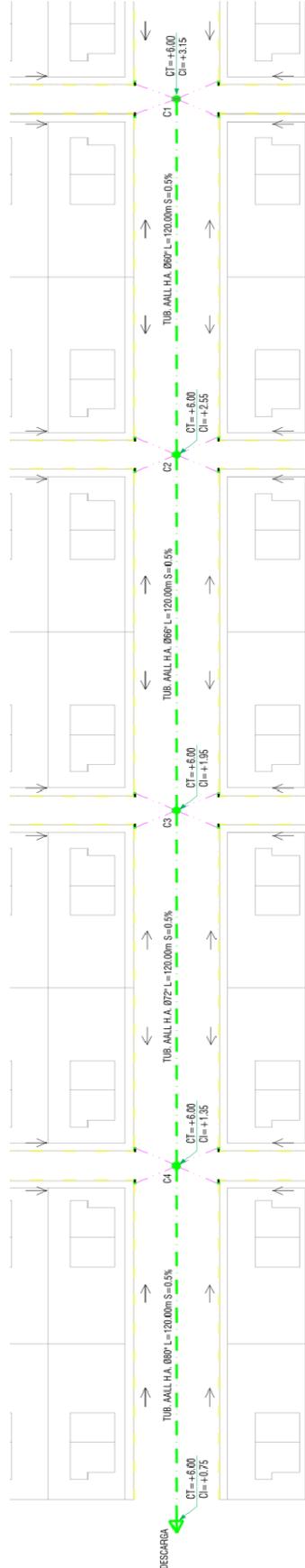
CAMARA	LONG (m)	AREA (Has)		Tc min	C	i	q	MATERIAL	Diametro		S	Q	V	q/Q	d/D	v/V	d	v	ΔH	TAPA		ESP		RELLENO		H CAMARA	
		PRO	ADC						int	o/oo										I	F	I	F	I	F	I	F
C1	120	20	0	20	0.8	120.93	5378.83	H.A + PEAD	60"	1820	1500	4	5818.30	3.29	0.92	0.80	1456	3.49	0.48	6.00	6.00	160	1.19	1.19	1.67	2.85	3.33
C2	120	5	0	25	0.8	118.84	6607.26	H.A + PEAD	66"	2044	1700	3	7034.68	3.10	0.94	0.83	1697	3.28	0.36	6.00	6.00	172	1.46	1.46	1.82	3.33	3.69
C3	120	10	0	35	0.8	116.76	9088.51	H.A + PEAD	72"	2170	1800	4	9460.05	3.72	1.06	0.86	1866	3.86	0.48	6.00	6.00	185	1.71	1.71	2.19	3.69	4.17
C4	DESC	120	15	0	0.8	115.13	12802.41	H.A + PEAD	80"	2410	2000	5	14350.10	4.46	0.89	0.78	1868	4.77	0.6	6.00	6.00	205	1.97	1.97	2.57	4.17	4.77

# Anexo 5: Cortes del plano del sistema de alcantarillado pluvial

## SISTEMA DE AGUAS LLUVIAS - COLECTORES DE HORMIGON ARMADO



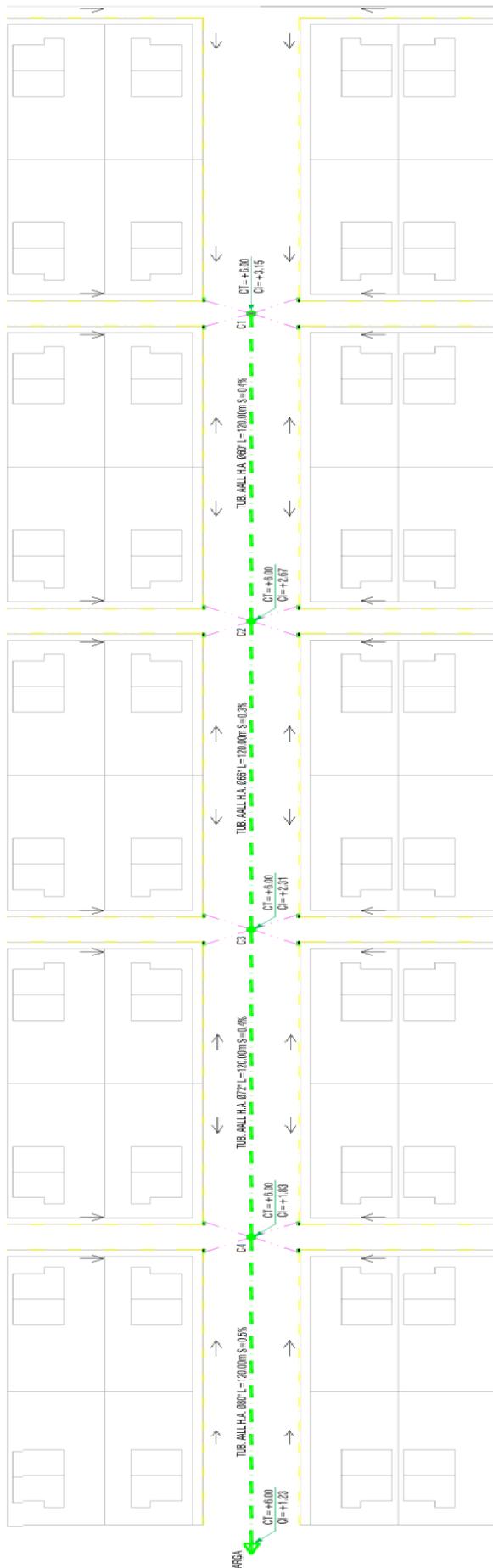
## SISTEMA DE AGUAS LLUVIAS - COLECTORES DE HORMIGON ARMADO CON RECUBRIMIENTO DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD



### SIMBOLOGIA

- COLECTOR DE A.A.L.L.
- TIRANTE DE A.A.L.L.
- SUMIDERO SIMPLE TIPO B
- CAMARA A.A.L.L.
- LONGITUD
- DIAMETRO
- PENDIENTE
- COTA DE TAPA
- COTA DE INVERT
- CT
- CI

SISTEMAS DE AGUAS LLUVIAS - COLECTORES DE HORMIGON ARMADO CON REVESTIMIENTO DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD CON PENDIENTES MENORES

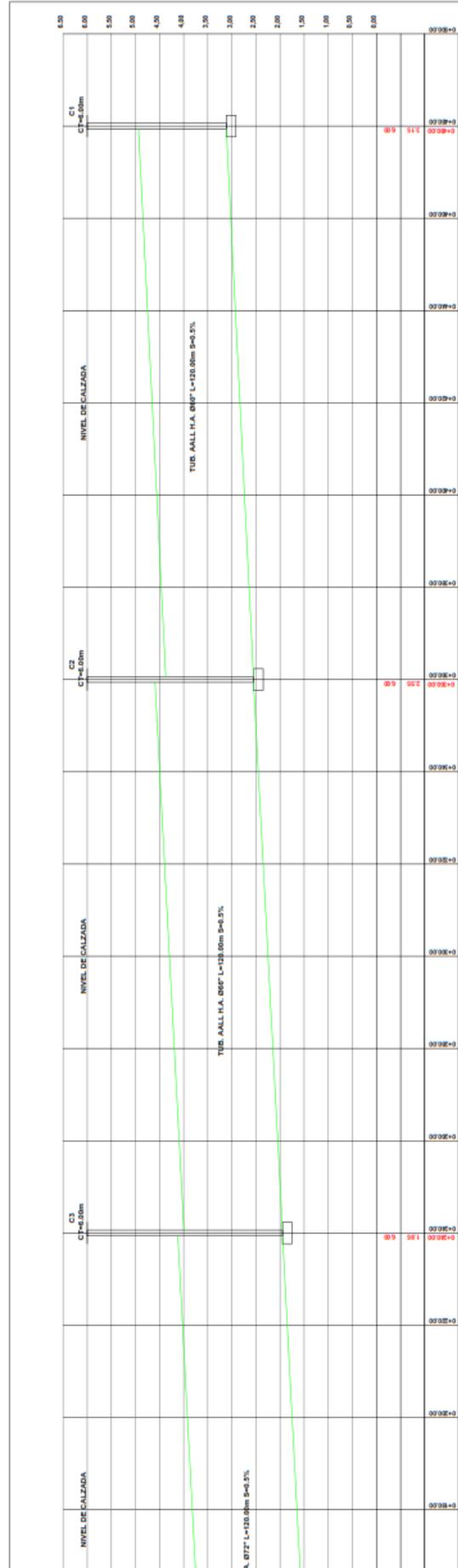
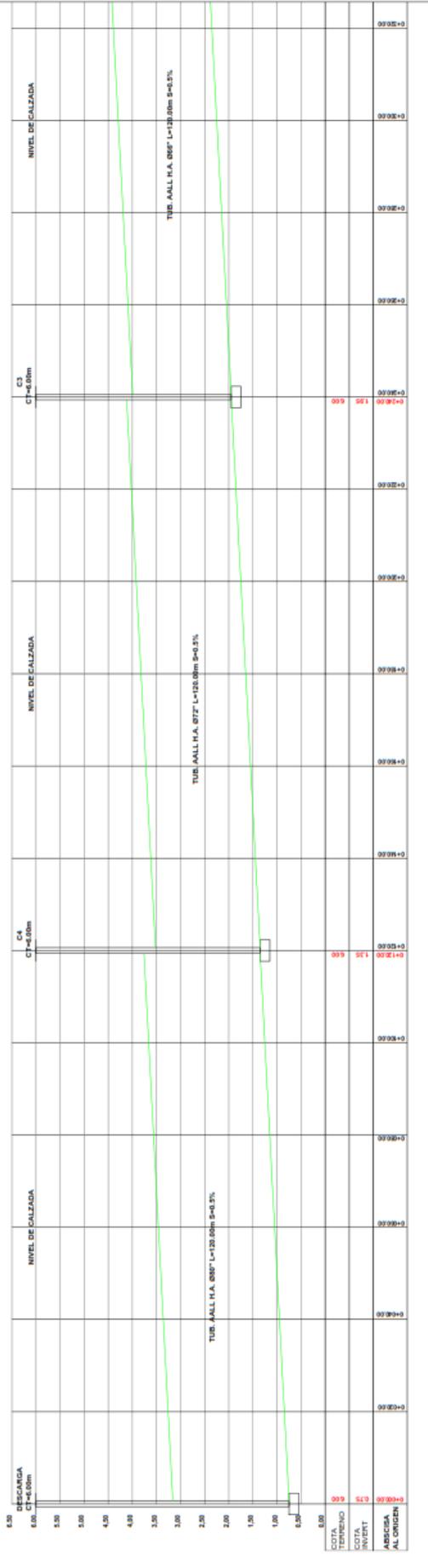


SIMBOLOGIA

-  COLECTOR DE A.A.L.L.
-  TIRANTE DE A.A.L.L.
-  SUMIDERO SIMPLE TIPO B
-  CAMARA A.A.L.L.
-  CT
-  CI
-  LONGITUD
-  DIAMETRO
-  PENDIENTE
-  COTA DE TAPA
-  COTA DE INVERT



PERFIL DE COLECTOR DE AGUAS LLUVIAS DE HORMIGÓN ARMADO CON RECUBRIMIENTO DE POLIETILENO





## Anexo 7: Precios por metro cuadrado del recubrimiento PEAD 2 mm

### PROFORMA



<b>ATENCIÓN</b> Ing. Patricio Yépez Guayaquil
<b>REMITENTE</b> Ing. Paula Pérez / paula@solcon-ec.com
<b>CONCRETE PROTECTION LINER</b>

<b>PROFORMA N°</b>	19880607
<b>FECHA</b>	14/06/2019
<b>ORIGEN</b>	Austria - Europa
<b>MARCA</b>	
<b>FORMA DE PAGO</b>	70% anticipo 30% contraentrega

POS	CODIGO	DESCRIPCIÓN	U	CANT	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
2	21.562.5030.20	Ultra Grip CPL PE amarillo rollo 5000x3000x2mm	m2	150	25.97	3895.50
6	29.410.0000.30	Cordón de soldadura PE natural 3mm - rollo 3kg	kg	11	5.28	58.08

#### CONDICIONES DE COMPRA

Oferta válida por 5 días

Los precios están sujetos a la variación en las cantidades

Tiempo aproximado de travesía terrestre-marítima desde Austria a Ecuador: 45 días

**TOTAL \$ 3,953.58**

Las Antillas 1-14 y Av. de las Américas | Cuenca - Ecuador  
Telf: 07 2819 - 901 / 07 2812 - 374

## Anexo 8: Precios por metro cuadrado del recubrimiento PEAD 2 mm

### PROFORMA



<b>ATENCIÓN</b> Ing. Patricio Yépez Guayaquil
<b>REMITENTE</b> Ing. Paula Pérez / paula@solcon-ec.com
<b>CONCRETE PROTECTION LINER</b>

<b>PROFORMA N°</b>	19880607
<b>FECHA</b>	14/06/2019
<b>ORIGEN</b>	Austria - Europa
<b>MARCA</b>	
<b>FORMA DE PAGO</b>	70% anticipo 30% contraentrega

POS	CODIGO	DESCRIPCIÓN	U	CANT	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
2	21.562.5030.20	Ultra Grip CPL PE amarillo rollo 50000x3000x3mm	m2	150	44.97	6745.50
6	29.410.0000.30	Cordón de soldadura PE natural 3mm - rollo 3kg	kg	11	5.28	58.08

#### CONDICIONES DE COMPRA

Oferta válida por 5 días

Los precios están sujetos a la variación en las cantidades

Tiempo aproximado de travesía terrestre-marítima desde Austria a Ecuador: 45 días

<b>TOTAL</b>	<b>\$ 6,803.58</b>
--------------	--------------------

Las Antillas 1-14 y Av. de las Américas | Cuenca - Ecuador  
Telf: 07 2819 - 901 / 07 2812 - 374