



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**REPARACIÓN DE TUBERÍA TRANSVERSAL DE SESENTA PULGADAS O  
DE MAYOR DIÁMETRO UTILIZANDO MANTA GEOSINTÉTICA CON  
COMPUESTO CEMENTICIO (GCCM)**

Julio Cesar Arroyo Morales  
Asesorado por Inga. María del Mar Girón Córdón

Guatemala, noviembre de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**REPARACIÓN DE TUBERÍA TRANSVERSAL DE SESENTA PULGADAS O DE MAYOR  
DIÁMETRO UTILIZANDO MANTA GEOSINTÉTICA CON COMPUESTO CEMENTICIO (GCCM)**

TRABAJO DE GRADUACIÓN  
PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JULIO CESAR ARROYO MORALES**  
ASESORADO POR EL INGA. MARIA DEL MAR GIRÓN CORDÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martinez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. José Gabriel Ordoñez Morales
EXAMINADOR	Ing. Luis Estuardo Saravia Ramírez
EXAMINADOR	Ing. Dennis Salvador Argueta Mayorga
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### REPARACIÓN DE TUBERÍA TRANSVERSAL DE SESENTA PULGADAS O DE MAYOR DIÁMETRO UTILIZANDO MANTA GEOSINTÉTICA CON COMPUESTO CEMENTICIO (GCCM)

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 27 de julio de 2015.



**Julio Cesar Arroyo Morales**

Guatemala enero de 2019

Es de mi agrado informar que he revisado el trabajo de graduación **REPARACION DE TUBERIA TRANSVERSAL DE SESENTA PULGADAS O DE MAYOR DIAMETRO UTILIZANDO MANTA GEOSINTETICA CON COMPUESTO CEMENTICIO (GCCM)** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Julio Cesar Arroyo Morales quien contó con la asesoría de mi persona Maria del Mar Girón Cordón, colegiado No. 8445.

Habiendo cumplido con los objetivos del trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el tramite respectivo.

Atentamente

Maria del Mar Girón Cordón  
Ingeniera Civil  
Colegiada No. 8445



Maria del Mar Girón Cordón

Asesora



Guatemala,  
23 de abril de 2019

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director Escuela Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos

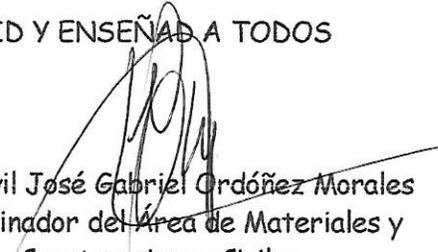
Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **REPARACIÓN DE TUBERÍA TRANSVERSAL DE SESENTA PULGADAS O DE MAYOR DIÁMETRO UTILIZANDO MANTA GEOSINTÉTICA CON COMPUESTO CEMENTICIO (GCCM)** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Julio Cesar Arroyo Morales quien contó con la asesoría de la Inga. María del Mar Girón Cerdón.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAR A TODOS



Ing. Civil José Gabriel Ordóñez Morales  
Coordinador del Área de Materiales y  
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE MATERIALES Y  
CONSTRUCCIONES CIVILES  
**USAC**

/mrrm.





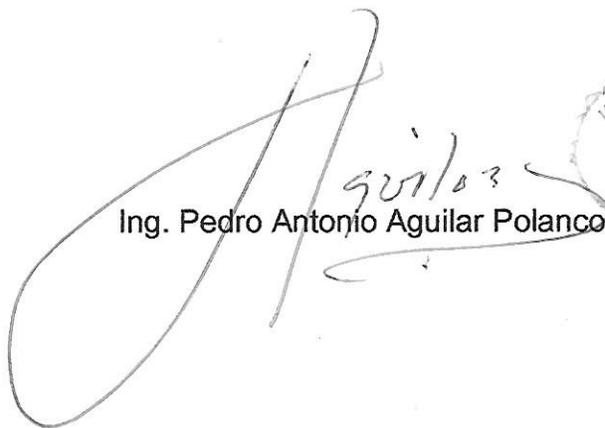
**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de la Asesora Inga. María del Mar Girón Cordón y Coordinador del Departamento de Materiales y Construcciones Civiles Ing. José Gabriel Ordóñez Morales al trabajo de graduación del estudiante Julio César Arroyo Morales **REPARACIÓN DE TUBERÍA TRANSVERSAL DE SESENTA PULGADAS O DE MAYOR DIÁMETRO UTILIZANDO MANTA GEOSINTÉTICA CON COMPUESTO CEMENTICIO (GCCM)** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco



Guatemala, noviembre 2019

/mrm.

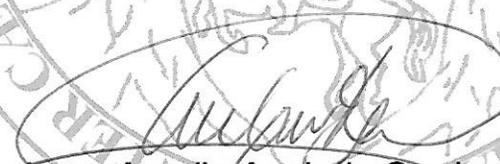


*Mas de 136 años de Trabajo y Mejora Continua*



La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **REPARACIÓN DE TUBERÍA TRANSVERSAL DE SESENTA PULGADAS O DE MAYOR DIÁMETRO UTILIZANDO MANTA GEOSINTÉTICA CON COMPUESTO CEMENTICIO (GCCM)**, presentado por el estudiante universitario: **Julio Cesar Arroyo Morales**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, Noviembre de 2019

AACE/asga  
cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por ser una importante influencia en mi vida y a lo largo de mi carrera.
- Mis padres** César Oswaldo Arroyo Morales y Carmen del Rosario Morales Rafael, por su valioso apoyo y comprensión durante toda mi carrera.
- Mis hermanos y hermanas** Kenia Esther, Luis Alexander, Paulo Enrique, Carmen Lorena, Josué Oswaldo, Kely Lorraine, Kely Guiselle, Diana Regina Arroyo Morales, por toda la ayuda que me brindaron a lo largo de mi carrera.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser mi casa de estudios.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por brindarme los conocimientos para convertirme en ingeniero civil.
<b>Inga. María del Mar Girón Cordón</b>	Por su paciencia y esmero en la supervisión y revisión de este trabajo de graduación.
<b>Ing. Omar Enrique Medrano</b>	Por brindarme los conocimientos necesarios dentro del campo de la mecánica de suelos.
<b>Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila</b>	Por sus conocimientos en la parte experimental de este trabajo de graduación.
<b>Lic. Daniel Iván Noriega Matute</b>	Por ser una parte valiosa para la finalización de este trabajo de graduación.
<b>Empresa Mega Productos</b>	Por su valiosa colaboración en la parte experimental de este trabajo de graduación.
<b>Empresa G &amp; G México</b>	Por su apoyo y comprensión en la finalización de este trabajo de graduación.

**Empresa Prisma Total y  
Humming Bird S.A.**

Por la oportunidad de crecimiento laboral y la flexibilidad de horario brindada para la finalización de esta etapa de mi carrera. Ing. Gonzalo Orlando Cobar Hernández, Inga. Dora Ileana Maldonado Bran de Cobar, Brian Alexander Cobar Maldonado.

**Mis amigos de la  
facultad**

Ing. Omar Enrique Medrano Méndez, Ing. Jose Juan Istupe Ibañez, Ing. Mario Raúl Pacay García, Byron Arnaldo García Vielman, Mynor René Castillo Samayoa, Moisés Mejía Lorenzo y Migdalia Azucena del Cid por todo el apoyo incondicional brindado a lo largo de mi carrera.

## ÍNDICE GENERAL

INDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS .....	V
GLOSARIO .....	VII
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1.    CAPÍTULO UNO.....	1
1.1.    Obras de drenajes transversales en carreteras.....	1
1.2.    Tipos de tuberías.....	1
1.3.    Reconocimiento del lugar donde se encuentra la obra de drenaje transversal, ODT, a inspeccionar.....	4
1.4.    Inspección del estado físico de la obra de drenaje transversal ODT .....	7
1.5.    Inspección del servicio de la obra de drenaje transversal (ODT) .....	9
1.6.    Caudal que transporta la obra .....	10
1.7.    Determinación de diámetro de tubería transversal .....	12
1.8.    Otros factores a considerar .....	13
1.9.    Método de reparación de tuberías transversales utilizando manta geosintética con compuesto cementicio (GCCM) .....	32

2.	CAPÍTULO DOS .....	39
2.1.	Equipo a utilizar .....	39
2.2.	Materiales.....	40
2.3.	Método de los tres (3) apoyos.....	40
2.4.	Procedimiento del método de los tres (3) apoyos, utilizando las mantas geosintéticas con compuesto cementicio, GCCM .....	41
2.5.	Memoria de cálculos .....	46
3.	CAPÍTULO TRES .....	53
3.1.	Presentación de resultados.....	53
3.2.	Costos de remoción de tubería transversal utilizando movimiento de tierras .....	54
3.3.	Costos de remoción de tubería transversal utilizando la manta geosintética con compuesto cementicio, GCCM .....	55
	CONCLUSIONES.....	63
	RECOMENDACIONES .....	65
	BIBLIOGRAFÍA.....	69
	ANEXOS.....	73

## INDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Supervisión de obra de drenaje transversal ODT.....	3
2.	Sección de entrada o salida de una obra de drenaje transversal ODT..	17
3.	Planta de una obra de drenaje transversal, ODT.....	17
4.	Obra de drenaje transversal, ODT, en perfil.....	18
5.	Reparación de tubería transversal utilizando movimiento de tierra.....	19
6.	Aplicaciones del GCCM.....	35
7.	Carga vs. deformación horizontal.....	48
8.	Carga vs. deformación vertical.....	48
9.	Costos de remoción de tubería por porcentaje utilizando movimientos de tierra.....	54
10.	Costos de reparación de tubería por porcentaje utilizando la manta geosintética con compuesto cementicio GCCM.....	55
11.	Comparativa de costos de renglones de trabajo general.....	61

### TABLAS

I.	Métodos de determinación de precipitación en cuencas.....	5
II.	Tipos de flujos.....	7
III.	Métodos utilizados para la determinación de caudales de diseño.....	10
IV.	Especificaciones más destacadas de la manta geosintética con compuesto cementicio (GCCM).....	31

V.	Propiedades destacadas.....	32
VI.	Reparación de tubería transversal utilizando manta..... geosintética con compuesto cementicio (GCCM).....	36
VII.	Resumen de datos generales del tubo y resultados del..... ensayo de las tres aristas sin GCCM.....	41
VIII.	Colocación de la Manta geosintética con compuesto cementicio GCCM.....	42
IX.	Datos del ensayo a compresión.....	46
X.	Datos del ensayo usando GCCM.....	47
XI.	Discusión de resultados.....	50
XII.	Comparación de deformaciones GCCM vs. concreto.....	51
XIII.	Comparación de deformaciones GCCM vs. acero.....	52
XIV.	Costos por renglón utilizando el método tradicional.....	56
XV.	Costos por renglón utilizando la manta geosintética con compuesto cementicio .....	59
XVI.	Cuadro comparativo de costos .....	60

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Hf</b>	Pérdida de energía por fricción
<b>Lb.</b>	Libra
<b>m.</b>	Metro
<b>mm.</b>	Milímetro
<b>m/s.</b>	Metro sobre segundo
<b>plg.</b>	Pulgada



## GLOSARIO

<b>Afluentes</b>	Curso de agua, que no desemboca en el mar, sino en otro río más importante.
<b>Aguas abajo</b>	Depósitos de agua ubicados en territorios de baja altura.
<b>Aluvión</b>	Sedimentos arrastrados por una corriente de agua.
<b>ASTM</b>	Siglas en inglés de American Society of Testing materials (sociedad americana para pruebas y materiales)
<b>Aterramiento</b>	Acumulación de tierras, lodo o arena en el fondo de una depresión por acarreo natural o voluntario.
<b>Cadencia</b>	Ausencia de algo.
<b>Caída hidráulica</b>	Cuando se produce un cambio en la profundidad del flujo de un alto nivel a uno bajo.
<b>Canales</b>	Sistema de flujo donde la superficie superior del fluido está expuesta a la atmósfera.
<b>Carga D</b>	Cociente que resulta de dividir la carga total aplicada al tubo hasta obtener su agrietamiento.

<b>Caudal</b>	Es el volumen de un líquido que pasa en una sección por unidad de tiempo y es igual al producto de su velocidad por el área.
<b>Causes</b>	Camino formado por una escorrentía.
<b>Ciclo hidrológico</b>	Describe el movimiento vertical y horizontal del agua en estado gaseoso, líquido o sólido entre la superficie, el subsuelo, la atmósfera y los océanos terrestres.
<b>Clinómetro</b>	Es un instrumento de metal que se utiliza para medir el ángulo desde la vertical.
<b>Coefficiente de escorrentía</b>	Es la relación entre la parte de la precipitación que circula superficialmente y la precipitación total.
<b>Coefficiente de rugosidad</b>	Valor numérico que indica cuanta oposición al movimiento del fluido puede causar en un canal o tubería.
<b>Cuenca</b>	Extensión de terreno, cuyas aguas se vierten en un río, en un lago o en el mar.
<b>DGC</b>	Dirección General de Caminos
<b>Drenaje</b>	Conducto que se construye por debajo de la subrasante de una carretera u otras obras viales, con el objeto de evacuar las aguas superficiales y profundas.

<b>Erosión</b>	Desgaste y modelación de la corteza terrestre causada por la acción del viento, la lluvia, los procesos fluviales, marítimos y glaciales.
<b>Encamamiento</b>	Sinónimo de cimentación.
<b>Fluido</b>	Es una sustancia que se deforma continuamente cuando se somete a un esfuerzo cortante, sin importar cuán pequeño sea ese esfuerzo.
<b>Flujo</b>	Movimiento de un fluido.
<b>GCCM</b>	Siglas en inglés de geosynthetic cementitious composite mat (manta geosintética con compuesto cementicio)
<b>Hidrología</b>	Ciencia que estudia las aguas superficiales y subterráneas de la Tierra, y su aparición, circulación y distribución en el entorno, incluyendo su relación con los seres vivos.
<b>IARNA</b>	Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente
<b>Infiltración</b>	Introducción de un líquido dentro de un cuerpo sólido.
<b>ING.</b>	Ingeniero
<b>Intensidad de Lluvia</b>	Relación entre la precipitación pluvial y su duración.

<b>Lecho</b>	Sinónimo de estrato; masa de sedimentos, de espesor más o menos uniforme y escaso, extendida en sentido horizontal.
<b>Material orgánico</b>	Es material elaborado de compuestos que provienen de los restos de organismos que alguna vez estuvieron vivos, tales como plantas y animales y sus productos de residuo en el ambiente natural.
<b>Mediatrices</b>	Recta perpendicular a un segmento que se traza en un punto medio.
<b>NTG</b>	Norma COGUANOR
<b>Número de Froude</b>	Número adimensional que relaciona el efecto de las fuerzas de inercia y las fuerzas de gravedad que actúan sobre un fluido.
<b>ODT</b>	Obra de drenaje transversal
<b>Pluviómetro</b>	Instrumento para medir la cantidad de lluvia que cae en un lugar y en un espacio de tiempo determinados; el agua recogida por él se mide en litros o milímetros por metro cuadrado.
<b>Perímetro mojado</b>	El perímetro mojado (P) es la longitud de la línea de la intersección de la superficie mojada del canal con la sección transversal normal a la dirección del flujo.

<b>Precipitación</b>	Son todas las aguas meteóricas que caen a la superficie terrestre.
<b>PVC</b>	Siglas en inglés de polyvinyl chloride (policloruro de vinilo)
<b>Resalto hidráulico</b>	Fenómeno ocurrido cuando un fluido a alta velocidad desciende a una superficie de baja velocidad, produciendo un frenado abrupto.
<b>Radio hidráulico</b>	Cociente entre área mojada y perímetro mojado.
<b>Sedimentos</b>	Es un material sólido acumulado sobre la superficie terrestre derivado de las acciones de fenómenos y procesos que actúan en la atmósfera.
<b>Sub drenaje</b>	Es el drenaje de aguas subterráneas, que se construye de tuberías perforadas, geotextil y materiales pétreos para filtro, geo compuestos o simplemente de materiales pétreos.
<b>Sedimentación</b>	Es el proceso por el cual los materiales son transportados por distintos agentes como la escorrentía, glaciares y viento.
<b>Socavamiento</b>	Excavar alguna cosa por debajo, dejándola sin apoyo y expuesta a hundirse.



## RESUMEN

A fin de preservar en las mejores condiciones las vías de comunicación, en las carreteras, se construyen tuberías subterráneas para conducir el agua de nacimientos o caudal que se precipita en el lugar, a cuerpos de aguas cercanas, dichas construcciones son llamadas tuberías transversales, las cuales poseen un periodo de vida útil específico; al pasar, éstas presentan deterioro significativo por lo que es necesario realizar mantenimientos mayores o cambios de infraestructura, actividades que requieren de grandes presupuestos, tiempo y mano de obra, sin tomar en cuenta los inconvenientes que esto pueda ocasionar a los transeúntes.

En este trabajo de graduación se propone un método alternativo para la reparación de tuberías transversales de carreteras utilizando mantas geosintéticas con compuesto cementicio (GCCM) la cual ahorra trabajo, tiempo y costos, confiable y de fácil aplicación.

Finalmente, se realiza una comparación de costos en cuanto a reparación de tuberías transversales se refiere; se utiliza una metodología convencional (incluyendo actividades de movimiento de tierra, compactación y otros) y el uso de mantas geosintéticas con compuesto cementicio (GCCM).



# OBJETIVOS

## General

Establecer un método alternativo para la reparación de tuberías transversales de sesenta pulgadas o más.

## Específicos

1. Comparar el trabajo, el tiempo y los costos utilizando el método tradicional: movimiento de tierras y un método alternativo: mantas geosintéticas con compuesto cementicio (GCCM).
2. Confirmar especificaciones técnicas de la manta geosintética con compuesto cementicio (GCCM) a través de ensayos de laboratorio.
3. Proponer funcionalidad estructural de la manta geosintética con compuesto cementicio (GCCM) al ser usada a sección completa.



## INTRODUCCIÓN

Al planificar y diseñar carreteras se deben considerar varios aspectos vitales: el material con el cual serán elaboradas, el entorno, tipo de suelo, vegetación, población y otros. Las obras de drenaje transversal (ODT), parte esencial de las carreteras, que tienen la función de transportar afluentes de diversos tipos por debajo de la misma, evitando el contacto con la carretera.

Para el diseño de carreteras y las obras de drenaje transversal (ODT) es de vital importancia un estudio minucioso de la precipitación que se presenta en el lugar y en toda la cuenca en la que se encuentre la obra.

Después de la construcción de la carretera, el mantenimiento de la infraestructura de carreteras es esencial, especialmente de las obras de drenaje transversal (ODT), ya que los sedimentos y el material orgánico pueden llegar a obstruir las entradas y salidas de los afluentes a transportar.

El periodo de vida útil de una obra de drenaje transversal, ODT, es variado, debido a distintos factores: el material con que está elaborada, los tipos de afluentes que transporta, la sedimentación, la precipitación y otros. Lo anterior evidencia la importancia de un mantenimiento adecuado a la obra y así lograr que esta se mantenga en óptimas condiciones prolongando su tiempo de vida útil por algunos años más. Por ejemplo, cuando las ODT fallan por corrosión o desgaste, el material que transporta empieza a infiltrarse lo que provoca socavamiento que paulatinamente llevará a su colapso. Ante tal situación se propone el uso de las mantas geosintéticas con compuesto cementicio (GCCM)

para prolongar el ciclo de vida de las obras de drenaje transversal y disminuir los costos de inversión en su mantenimiento y reparación.

El presente trabajo de graduación describe y evalúa un método para la reparación de tuberías transversales en carretera de sesenta pulgadas o de mayor diámetro utilizando mantas geosintéticas con compuesto cementicio (GCCM) material clasificado por La Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, American Society for Testing and Material (ASTM), a través del Comité D 35 sobre Geosintéticos, Committee D35 on Geosynthetics.

Las mantas geosintéticas con compuesto cementicio (GCCM) ya han sido utilizadas en muchos países para reparar problemas en tuberías transversales de carreteras por su alta resistencia a la compresión, la impermeabilidad, la flexibilidad y el buen desempeño en la sustitución del concreto ordinario.

Se describe la metodología tradicional para la reparación de las ODT, con movimiento de tierra, remoción de infraestructura fallada, instalación de nueva infraestructura, relleno, compactación y colocación de capa asfáltica. Después se describe la metodología usando mantas geosintéticas con compuesto cementicio (GCCM) y se presentan los resultados de ensayos en el laboratorio a una muestra para confirmar sus propiedades mecánicas. Por último, se desarrolla una comparación de costos entre el método tradicional de reparación de tuberías transversales en carretera y el método aplicando la manta geosintética con compuesto cementicio (GCCM).

# 1. CAPÍTULO UNO

Es importante enmarcar los conceptos básicos para llegar a entender la importancia en innovar a través de un método alternativo, utilizando geotextiles, a continuación, se describen dichos conceptos.

## 1.1. Obras de drenajes transversales en carreteras

De conformidad con el artículo 8, del Acuerdo Gubernativo No. 520-99, la Dirección General de Caminos (DGC) es la entidad responsable de mantener las carreteras en óptimas condiciones en toda época del año, lo cual incluye las obras de drenajes transversales, ODT.

Un elemento importante en las obras viales son las obras de drenajes transversales (ODT), que son tuberías que pueden ser de distintos diámetros y distintos materiales tales como concreto, acero o PVC, que pasan por debajo de la carretera, transportando distintos tipos de afluentes. Esto se hace para lograr que la carretera se mantenga en óptimas condiciones.

## 1.2. Tipos de tuberías

De acuerdo a las especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes de 2001, división 600, los tipos de tuberías de acuerdo al material, que comúnmente se utilizan en proyectos de carreteras en Guatemala son:

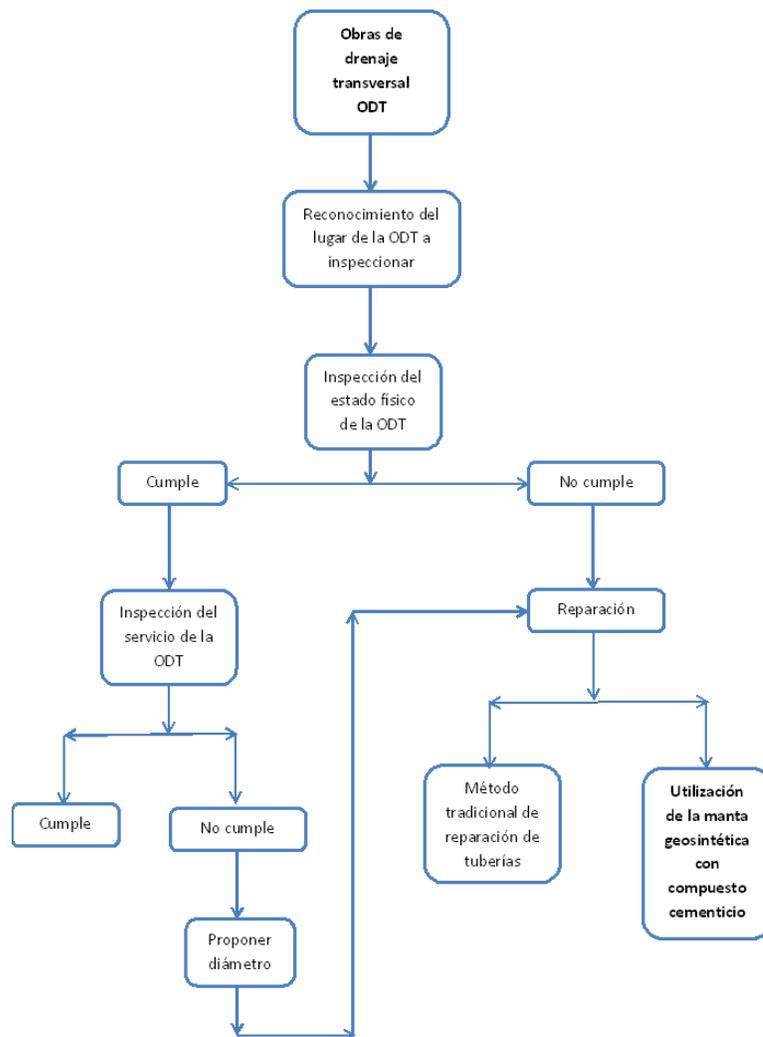
- Tubería de concreto reforzado

- Tubería de concreto reforzado en forma de campana
- Tubería de concreto con refuerzo elíptico
- De acuerdo a la Norma COGUANOR NTG 41077 (ver anexos) se clasifican en:
  - Tubería tipo A
  - Tubería tipo B
  - Tubería tipo C
  
- Tubería de concreto corrugado
  - Tubería de concreto corrugado circular
  - Tubería de concreto corrugado elíptico
  - Tubería de concreto corrugado tubo con fondo metálico
  - Tubería de concreto corrugado en arcos de planchas estructurales con cimentación de concreto.
  
- Tubería de plástico
  - Tubería de plástico tipo C corrugada de polietileno
  - Tubería de plástico tipo S corrugada de polietileno
  - Tubería de plástico celular o nervurada de polietileno
  - Tubería de plástico celular o nervurada de cloruro de polivinilo PVC
  - Tubería de plástico acrilonitrilo-butadieno-estireno ABS
  - Tubería de plástico

Con el paso del tiempo las ODT se deterioran, por lo que la Dirección General de Caminos debe realizar inspecciones de campo en las carreteras de Guatemala, para identificar si están funcionando con normalidad. Cuando una

ODT deja de prestar servicio como fue diseñada, estas deben ser removidas y sustituidas por otra. El procedimiento de inspección y acciones necesarias para que las obras de drenaje transversal funcionen adecuadamente conlleva diversos pasos bien definidos y ordenados; en el siguiente cuadro se presentan los mismos y son explicados posteriormente.

Figura 1. **Supervisión de obras de drenaje transversal ODT**



Fuente: elaboración propia.

### **1.3. Reconocimiento del lugar donde se encuentra la obra de drenaje transversal, ODT, a inspeccionar**

De acuerdo al Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA) en su manual para planificación, diseño, construcción y mantenimiento de caminos rurales de 2013, y a las tesis de grado de Licenciatura de Hugo Alejandro Gálvez Álvarez y Víctor Manuel Paz Stubbs, cuando se inspecciona una obra de drenaje transversal ODT, se debe observar el entorno de la misma y así identificar los distintos problemas que la obra presenta o pudiese presentar:

- Área de la cuenca
- Tipo de afluentes que entran a la obra
- Procedencia de los afluentes (en algunos casos son afluentes de varias cuencas juntas).
- Vegetación de la cuenca (clase de cultivos, monte bajo o alto, bosque, etc.)
- Identificar probables canalizaciones de afluentes
- Localización de tramos de sub drenaje
- Puntos de erosión
- Cantidad de volumen de agua que se precipita en el lugar

Los datos reunidos servirán para revisar y determinar si el diámetro de la tubería cubre el caudal existente en el área.

De acuerdo a la tesis de licenciatura de Víctor Manuel Paz Stubbs es conveniente contar con un historial de datos pluviométricos de entre 30 y 100 años para que la determinación de la cantidad de volumen de agua que se precipita en el lugar sea realista y poder proponer un diámetro óptimo de la tubería.

La medida de la precipitación sobre una cuenca se realiza por medio de pluviómetros. Se basan en la recolección de la precipitación (lluvia) en un elemento denominado colector. En una de las etapas del ciclo hidrológico, el agua en sus diferentes manifestaciones cae sobre la superficie terrestre, parte del volumen total se infiltra en el suelo, otra se evapora sobre la superficie del terreno (evapotranspiración) y un tercer escurre por cauces naturales conformados por las quebradas y los ríos. En una cuenca suficientemente extensa pueden existir datos de varias estaciones pluviométricas, y se plantea el problema de evaluar una precipitación media.

Existen varios métodos para determinar la cantidad de precipitación en una cuenca, en el siguiente cuadro se resumen los más importantes. El método que se empleará, depende del interés del diseñador.

**Tabla I. Métodos de determinación de precipitación en cuenca**

<b>Método</b>	<b>Descripción</b>
Polígono de Thiessen	Método que se basa en asignar cada punto de la cuenca a la estación más próxima; se deben unir las estaciones de dos en dos y dibujar las mediatrices de estos segmentos, asignando a cada estación el área limitada por las poligonales que forman las mediatrices.
Método de las isoyetas	Las isoyetas son líneas que unen puntos con la misma precipitación. Es importante contar con suficientes datos para poder dibujar las isoyetas, asignándose el área entre cada dos la precipitación media de ellas.

Continuación de la tabla I.

Método aritmético	Se calcula la precipitación media como la suma de las alturas registradas de la lluvia, en un cierto tiempo de cada una de las estaciones localizadas dentro de la zona y se divide entre los números totales de estaciones. Este método solo es aceptable si existen muchas estaciones y se observa que la precipitación es similar en todas ellas.
Método racional	Estima el caudal máximo a partir de la precipitación, abarcando todas las abstracciones en un solo coeficiente $c$ (coeficiente de escorrentía) estimado sobre la base de las características de la cuenca.
Otras metodologías	Se basan en observaciones y la información brindada por personas del lugar, para obtener el área de descarga. Este método se basa en las características del flujo crítico y requiere de la selección previa en campo de aquellas secciones en las cuales se cumplen las condiciones de flujo crítico durante una inundación dada.

Fuente: elaboración propia.

#### 1.4. Inspección del estado físico de la obra de drenaje transversal ODT

Existen varios diámetros distintos de tuberías transversales, algunas por su tamaño dan la oportunidad de inspeccionarlas de cerca, se puede entrar en ellas. Cabe mencionar que se debe contar con el equipo necesario para dicha inspección: lámpara a largo alcance, casco, botas de hule, chaleco reflector, cámara fotográfica y radios comunicadores. Al realizar la inspección de acuerdo a la tesis de licenciatura de Victor Manuel Paz Stubbs se debe verificar lo siguiente:

- Condiciones del lecho (ancho, angosto, rocoso, arenoso, piedras sueltas y su tamaño).
- Sentido y pendiente (medir con clinómetro) de la obra
- Tipo de afluente que transporta la tubería
- Grado de desgaste del material del cual este construido el drenaje.
- Infiltraciones.

Una de las características más importantes es el tipo de afluente o flujo que conducirá la tubería, el mismo puede ser clasificado en 6 categorías, las cuales se describen en el siguiente cuadro.

Tabla II. Tipos de flujos

Tipo de flujo	Descripción
Flujo permanente	Un flujo permanente es aquel en el que las propiedades fluidas permanecen constantes en el tiempo, aunque pueden no ser constantes en el espacio.

Continuación de la tabla II.

Flujo permanente	Las características del flujo son: velocidad (V), caudal (Q), y profundidad (h); son independientes del tiempo, si bien pueden variar a lo largo del canal.
Flujo transitorio o No permanente	<p>Un flujo transitorio presenta cambios en sus características a lo largo del tiempo para el cual se analiza el comportamiento del canal.</p> <p>Las características del flujo están en función del tiempo. Las situaciones de transitoriedad se pueden dar tanto en el flujo sub crítico como en el supercrítico.</p>
Flujo uniforme	Es el flujo que se da en un canal recto, con sección y pendiente constante, a una distancia considerable (20 a 30 veces la profundidad del agua en el canal) de un punto singular; es decir, un punto donde hay una mudanza de sección transversal ya sea de forma o de rugosidad, un cambio de pendiente o una variación en el caudal.
Flujo gradualmente variado	El flujo es variado si la profundidad de flujo cambia a lo largo del canal. El flujo variado puede ser permanente o no permanente. El flujo variado puede clasificarse además como rápidamente variado o gradualmente variado. El flujo es rápidamente variado si la profundidad del agua cambia de manera abrupta en distancias comparativamente cortas; de otro modo es gradualmente variado. Un flujo rápidamente variado también se conoce como fenómeno local; algunos ejemplos son el resalto hidráulico y la caída hidráulica.

Continuación de la tabla II.

Flujo crítico	Cuando el número de Froude vale uno o cuando la velocidad es igual que la raíz cuadrada de la gravedad por la profundidad.
Flujo sub crítico	En el caso de flujo sub crítico, también denominado flujo lento, el nivel efectivo del agua en una sección determinada está condicionado al nivel de la sección aguas abajo.
Flujo supercrítico	En el caso de flujo supercrítico, también denominado flujo veloz, el nivel del agua efectivo en una sección determinada está condicionado a la condición de contorno situada aguas arriba.

Fuente: elaboración propia.

### **1.5. Inspección del servicio de la obra de drenaje transversal (ODT)**

De acuerdo al Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA) en su manual para planificación, diseño, construcción y mantenimiento de caminos rurales de 2013, y a la tesis en grado de Licenciatura de Hugo Alejandro Gálvez Alvares, de debe medir lo siguiente:

- Caudal que transporta la obra
- Determinar diámetro de la tubería como si no existiese, esto para verificar que está cumpla con el caudal actual.

## 1.6. Caudal que transporta la obra

El caudal de diseño, Q, para las obras de drenaje transversal corresponde a un periodo de retorno de 100 años aproximadamente, de acuerdo a las especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes.

Existen varios métodos para determinar caudales de diseño, la selección del método adecuado depende del tipo de información obtenida, en el siguiente cuadro se describen los métodos de acuerdo a Victor Manuel Paz Stubbs.

Tabla III. **Métodos utilizados para la determinación de caudales de diseño**

Método	Descripción
Método empírico	<p>Por observación: el fin es conocer los niveles máximos por la corriente en el punto que se quiere estudiar. Se puede conocer en las señales que dejan en muros o puentes, también se consultan con los vecinos del lugar. Luego, se aplica la ecuación de Manning, que se expresa como:</p> $Q = \frac{AR^{\frac{2}{3}}S^{\frac{1}{2}}}{n} \quad [Ec. 1]$ <p>Q = caudal A = área de sección transversal R = radio hidráulico S = pendiente del cause n = coeficiente de rugosidad</p>

Continuación de la tabla III.

Métodos empíricos	<p>Por otras fórmulas: fórmula de Talbot, que se expresa como:</p> $Ah = C(A)^{\frac{3}{4}} \quad [\text{Ec. 2}]$ <p>Ah = área hidráulica  A = área de drenaje  C = coeficiente de escorrentía  La fórmula asume que el Ah es directamente proporcional al caudal.  Otra fórmula es la de Creager que se expresa como</p> $Q = 1.3C \left( \frac{A}{2.59} \right)^{0.936} A^{-0.048} \quad [\text{Ec. 3}]$ <p>Q = caudal  C = coeficiente de Creager</p>
Métodos hidrológicos	<p>Estos métodos relacionan la lluvia y escorrentía pico, para determinar el caudal que servirá para diseñar el drenaje en carreteras. A continuación, se enlistan la fórmula.</p> $\text{Fórmula racional: } Q = \frac{CIA}{360} \quad [\text{Ec. 4}]$ <p>Q = caudal  C = coeficiente de rugosidad  i = intensidad  A = área</p>

Continuación de la tabla III.

Métodos estadísticos	<p>Este método se basa en la predicción de fenómenos naturales, teniendo como fundamento el análisis estadístico de los registros del pasado. Existen varios métodos los cuales se enlistan a continuación.</p> <p>Método de Lebedlev: supone que los gatos máximos anuales son una variable aleatoria del tipo III de Pearson. La fórmula que utiliza es:</p> $Qd = Q_{max.} + Q \quad [Ec. 5]$
	<p>Método del factor de frecuencia: es una función del intervalo de recurrencia. Su fórmula está dada por:</p> $Qd = Q + \Gamma k \quad [Ec. 6]$
	<p>Método de Gumbel: se basa en la teoría del valor más grande, es decir toma los caudales máximos obtenidos por cada año. Su fórmula es:</p> $Qd = Q + \frac{\Gamma x}{\Gamma n} * (y - yn) \quad [Ec. 7]$

Fuente: PAZ STUBBS, Victor Manuel. *Propuesta de diseño para el desfogue del agua pluvial en el paso a desnivel de la 6ª. Avenida y 24 calle zona 4, proyectado por la Municipalidad de Guatemala.* p 10.

### 1.7. Determinación de diámetro de tubería transversal

Es necesario determinar diámetro de la tubería como si no existiese, esto para verificar que está cumpla con el caudal actual.

Se recomienda que para el cálculo hidráulico del establecimiento de las dimensiones mínimas de las secciones para las alcantarillas a proyectarse se

utilice la fórmula de Robert Manning para canales abiertos y tuberías, por ser el procedimiento más utilizado y de fácil aplicación, la cual considera la velocidad del flujo y caudal para una condición de régimen uniforme. El propósito de la fórmula es encontrar el valor del Área de la Sección hidráulica para poder elegir el diámetro que más satisfaga dicha área.

$$V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n} \quad [\text{Ec. 8}]$$

$$R = \frac{A}{P} \quad [\text{Ec. 9}]$$

$$Q = VA \quad [\text{Ec. 10}]$$

Donde:

- Q = caudal
- V = velocidad
- A = área de la sección hidráulica
- P = perímetro mojado
- R = radio hidráulico
- S = pendiente de fondo
- n = coeficiente de Manning

### **1.8. Otros factores a considerar**

A continuación, se enumeran algunos otros factores a tomar en cuenta a la hora de diseñar una obra de drenaje transversal de acuerdo a las especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes, 2001 sección 600:

- Velocidad a la salida de la alcantarilla

Generalmente esta velocidad es mayor que la velocidad de escurrimiento en el cauce natural y debe limitarse a fin de evitar procesos de socavación del cauce aguas abajo de la estructura y no afecte su estabilidad.

- Borde

Se refiere a la entrada libre en alcantarillas es un parámetro muy importante a tomar en cuenta durante su diseño hidráulico, por ello, las alcantarillas no deben ser diseñadas para trabajar a sección llena, ya que esto incrementa su riesgo de obstrucción, afectando su capacidad hidráulica. Se recomienda que el diseño hidráulico considere como mínimo el 25 % de la altura, de la estructura.

- Velocidad de la corriente

La velocidad de la corriente debe ser tal que se evite el depósito de sedimentos en el interior de la ODT (obras de drenaje transversal), y que reduzca todo lo posible la perturbación de las condiciones de desagüe del cauce a que correspondan, causa de erosiones y aterramientos.

Para el período de retorno de 10 años la velocidad debe estar comprendida entre 0,5 y 6 m/s, aunque es recomendable no llegar a estos límites. La velocidad media en las ODT es de 3 m/s, debiéndose disponer a la salida de los mismos elementos que eviten la erosión del cauce (soleras de hormigón, rastrillos o protecciones de escolleras). No es recomendable dimensionar las obras para velocidades bajas debido que los materiales en suspensión tienen que ser arrastrados dentro de la misma tubería.

- Nivel del agua

Cada tubería debe ser diseñada para que trabaje a sección media como máximo nivel, esto para que la misma tubería pueda soportar caudales mayores, si es que estos llegasen a suceder.

- Sobreelevación del nivel de la corriente

Existen eventos esporádicos de precipitación excesiva que puede causar daños materiales a terceros es por ello la importancia de conocer el comportamiento de dichas precipitaciones en el lugar, para tomarlas en cuenta y disminuir algún evento catastrófico.

- Riesgo de obstrucción

Las condiciones de funcionamiento de los elementos de drenaje transversal pueden verse alteradas por su obstrucción, debido a cuerpos arrastrados por la corriente. El riesgo de obstrucción de las obras de drenaje transversal (por vegetación arrastrada por la corriente) depende de las características de los cauces y zonas inundables, y pueden clasificarse como riesgo de obstrucción alto, medio y bajo. Para evitar los aterramientos las obras deben tener una pendiente mínima de 0,5 % salvo excepción y funcionan a una velocidad mínima de 1 m/s para un período de retorno de 100 años.

- Socavación local a la salida de la alcantarilla

Si la velocidad del flujo a la entrada y particularmente a la salida de la alcantarilla es alta, puede producir procesos de socavación local que afecte su

estabilidad, por ello, se recomienda la protección del cauce natural mediante la construcción de algún tipo de revestimiento.

También se pueden construir aliviaderos de entrada y salida de la alcantarilla en forma escalonada con el objetivo de disipar la energía hidráulica. Las obras de drenaje transversal normalmente se diseñan con aletas.

- Cotas

De entrada, salida, longitud y pendiente de la obra, dependerán del tramo de carretera, posición geográfica, y precipitación del lugar.

- Rugosidad del material

El parámetro utilizado es el coeficiente  $n$  de rugosidad de Manning que depende fundamentalmente del material del colector. Es necesario para determinar las pérdidas por fricción  $H_f$  en el interior de la tubería.

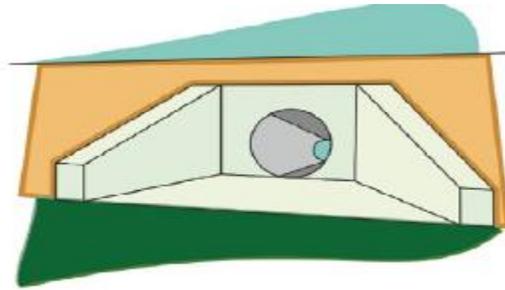
- Cota de Lámina aguas abajo

Esta cota viene forzada por las condiciones de aguas abajo de la obra, puede deberse a la circulación por el mismo caudal desaguado o bien a una impuesta por la zona de desagüe.

- Erosión

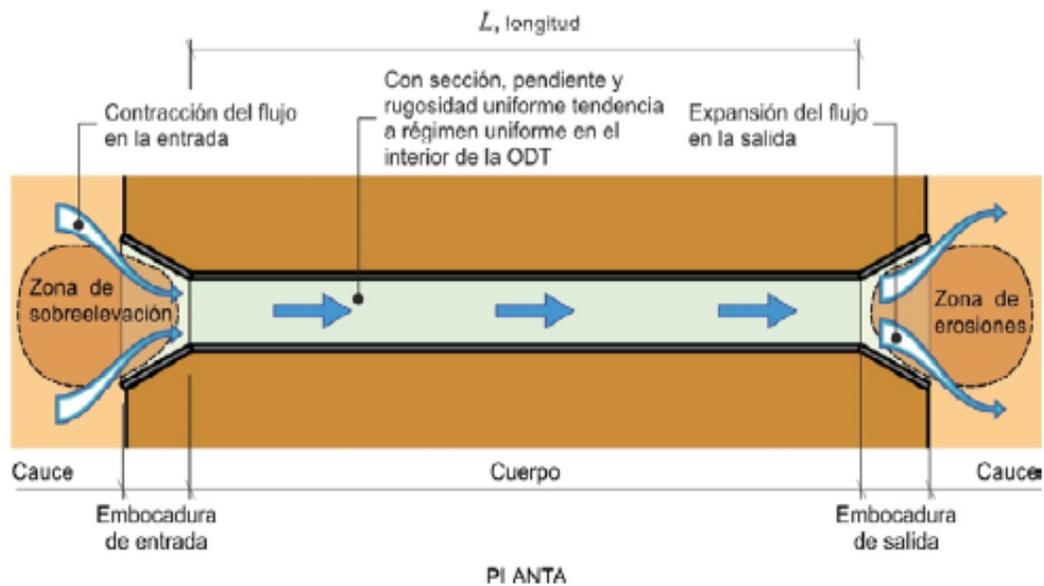
La erosión local debida a la presencia de la obra de drenaje se produce por la mayor concentración y energía cinética de la corriente. Dicha erosión afecta a las proximidades de la obra de drenaje, y puede llegar a provocar su colapso.

Figura 2. **Sección de entrada o salida de una obra de drenaje transversal, ODT**



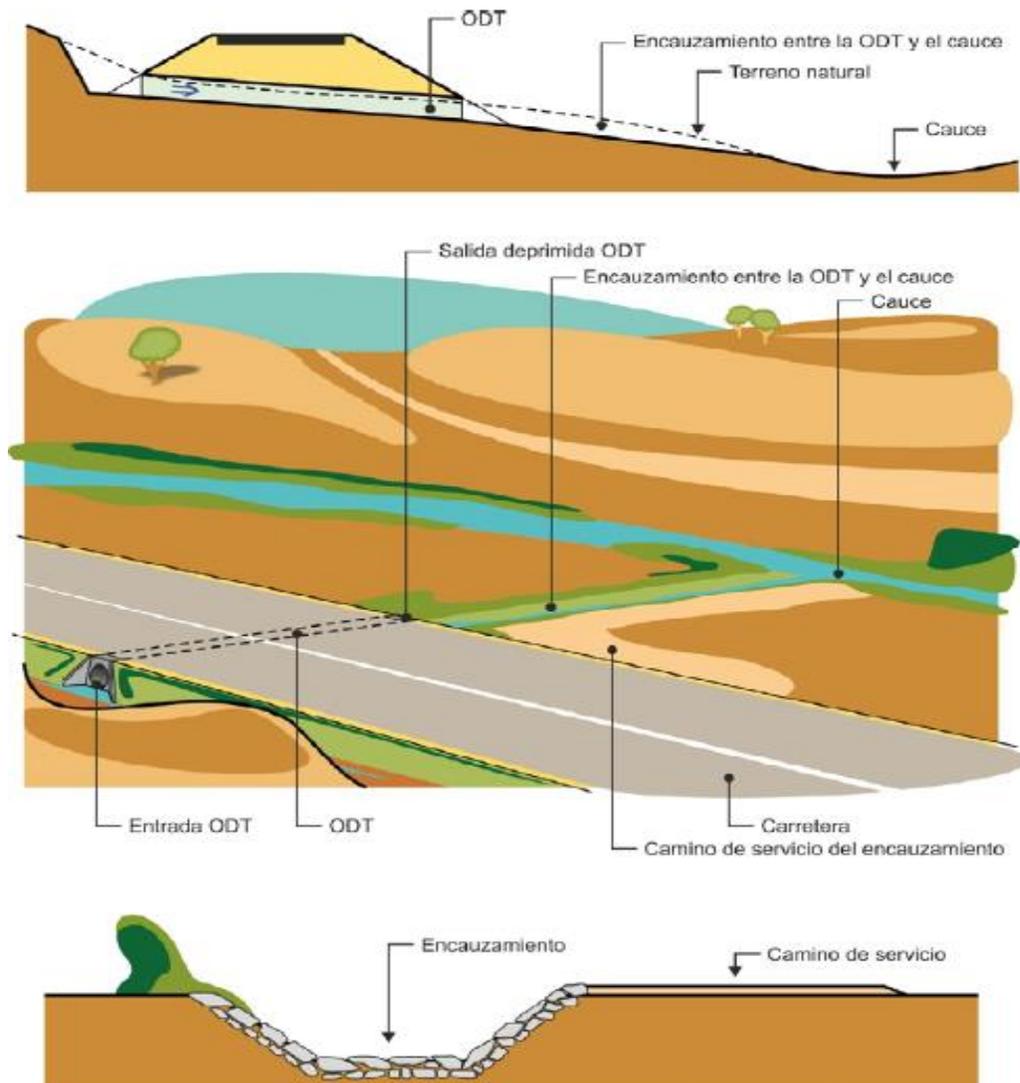
Fuente: *Carretero*.[http://www.carreteros.org/normativa/drenaje/5\\_2ic2016/apartados/4.htm](http://www.carreteros.org/normativa/drenaje/5_2ic2016/apartados/4.htm).  
Consulta: 15 de noviembre de 2018.

Figura 3. **Planta de una obra de drenaje transversal, ODT**



Fuente: *Carreteros*.[http://www.carreteros.org/normativa/drenaje/5\\_2ic2016/apartados/4.htm](http://www.carreteros.org/normativa/drenaje/5_2ic2016/apartados/4.htm).  
Consulta: 15 de noviembre de 2018.

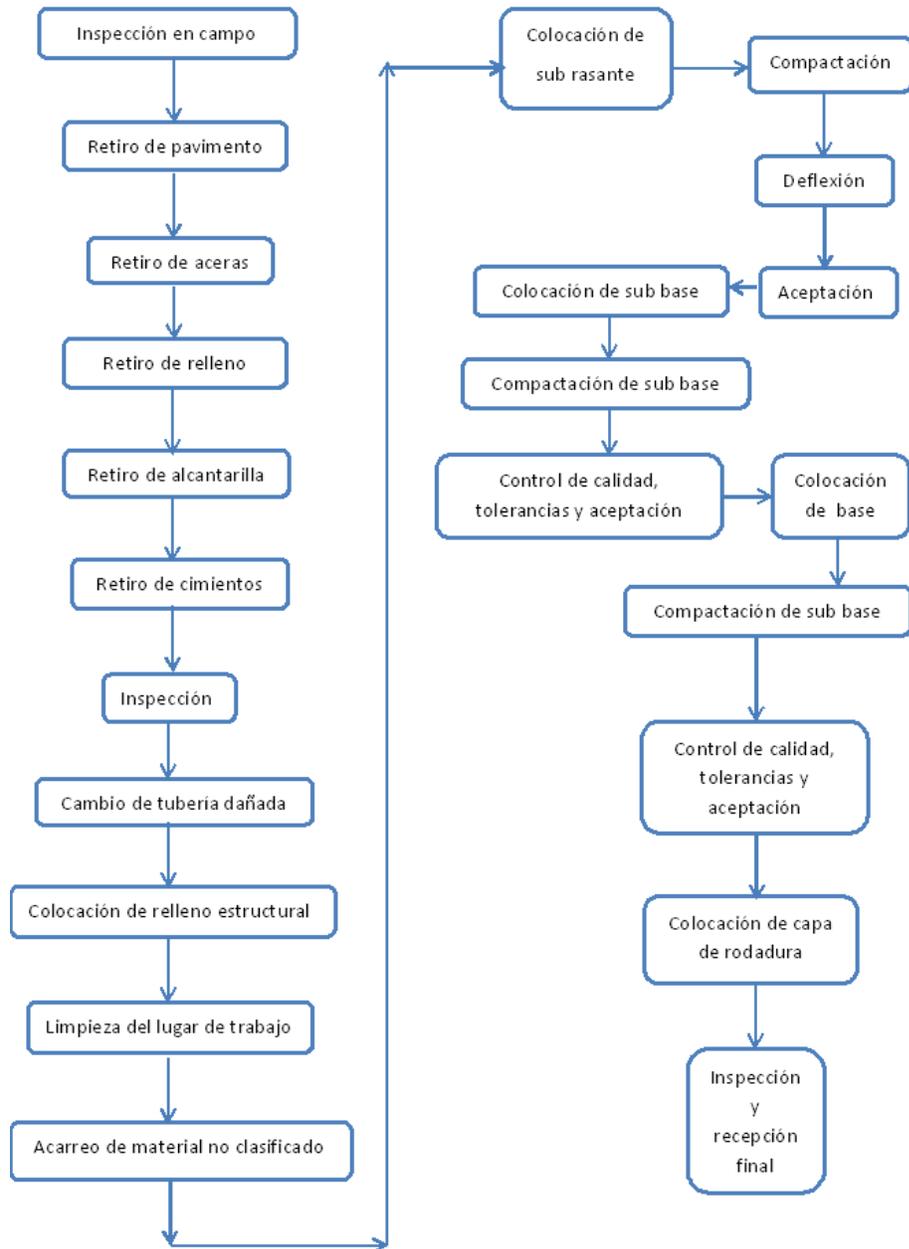
Figura 4. Obra de drenaje transversal, ODT, en perfil



Fuente: Carreteros.[http://www.carreteros.org/normativa/drenaje/5\\_2ic2016/apartados/4.htm](http://www.carreteros.org/normativa/drenaje/5_2ic2016/apartados/4.htm)

Consulta: 15 de noviembre de 2018.

Figura 5. Reparación de tubería transversal utilizando movimiento de tierra



Fuente: elaboración propia.

Se han identificado claramente veintitrés (23) pasos a seguir para el método tradicional de reparación de tuberías transversales; de acuerdo a las especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes.

- Inspección en campo

La inspección de campo debe ser hecha por el delegado residente, a quien el contratista le debe suministrar un informe detallado de las clases, tamaños o espesores, de las alcantarillas. Esta inspección debe incluir un examen para determinar deficiencias en las medidas especificadas, deficiencias de fabricación, la obtención de muestras para los análisis químicos y las pruebas físicas.

- Retiro de pavimento

Deben ser quebrados en pedazos de tamaño apropiado, para que puedan ser utilizados en la construcción de rellenos o disponer de ellos como sea autorizado por el delegado residente. Cuando se usen en la construcción de rellenos, el tamaño máximo de cualquier fragmento no debe exceder de 2/3 del espesor de la capa en que se vayan a colocar.

- Retiro de acarreo

En ningún caso el volumen de los fragmentos debe exceder de 28 decímetros cúbicos, debiendo ser apilados en los lugares que hayan sido designados en los planos y disposiciones especiales, a menos que el delegado residente autorice otro lugar.

- Retiro de relleno

El delegado residente debe designar un lugar específico para colocar todo el material de relleno que se retire de la obra de drenaje transversal.

- Retiro de alcantarilla

Cuando estas estructuras estén en servicio para el tránsito público, no deben ser retiradas por el contratista, sino hasta que éste haya efectuado los trabajos necesarios para no interrumpir el tránsito.

Todo el material rescatado se debe almacenar en los lugares que se indiquen en las disposiciones especiales o donde lo autorice el delegado residente. El contratista debe demoler o dinamitar una estructura, con anterioridad al comienzo de la nueva obra, salvo que en las disposiciones especiales se establezca de otra manera.

Cualquier tipo de alcantarilla que deba ser quitada, se debe hacer cuidadosamente y tomando todas las precauciones necesarias para evitar que se maltrate o rompa, salvo que se establezca en otra forma en las disposiciones especiales. La alcantarilla que se vaya volver a colocar, debe ser trasladada y almacenada cuando sea necesario, para evitar pérdidas o daños antes de ser instalada de nuevo. El contratista, a su costa, debe reponer la alcantarilla que se extravíe o dañe, si esto es debido a negligencia de su parte.

- Retiro de cimientos

Los cimientos y otras estructuras subterráneas se deben demoler hasta las profundidades mínimas siguientes: en áreas de excavación, 60 centímetros

debajo de la sub rasante; en áreas que vayan a cubrirse con terraplenes de 1 metro de altura o menos, 1 metro debajo de la sub-rasante; y en áreas que se vayan a cubrir con terraplenes de más de 1 metro de altura, no es necesario demoler la estructura más abajo del nivel del terreno original, excepto cuando se indique de otra manera en los planos o en las disposiciones especiales.

- Inspección

Después de terminar cualquier excavación, el contratista debe notificarlo al delegado residente y no debe colocar mampostería, alcantarilla, relleno de material de filtro para sub drenaje, gavión o estructura alguna, sino hasta que éste haya aprobado la profundidad de la excavación, la calidad del suelo para la cimentación y haya dado la autorización para continuar.

- Cambio de tubería dañada

El cambio de la tubería debe ser supervisado por el delegado residente con la debida maquinaria dependiendo del tipo de tubería a remover. En cualquier excavación estructural, el relleno hasta la altura del terreno original o hasta la superficie de la sub rasante, lo que sea más bajo, forma parte de la excavación. El relleno sobre el nivel del agua, detrás de los estribos, alas, pilas, así como alrededor de las sub-estructuras, debe ser depositado en capas horizontales, cuyo espesor debe ser determinado por el contratista y aprobado por el delegado residente, según la capacidad del equipo que se utilice.

En todo caso, las capas deben ser compactadas como mínimo al 90 % de la densidad máxima determinada por el método AASHTO T 180. El último metro abajo de la sub rasante terminada, debe ser compactado como mínimo al 95 % de la densidad máxima determinada por el método citado. La comprobación de

la compactación en el campo y el control del contenido de humedad, se deben hacer por los métodos que se indicaron con anterioridad. Se debe tener especial cuidado a fin de evitar cualquier acción de cuña contra la estructura y si el delegado residente lo autoriza, los taludes alrededor de los estribos y alas se deben construir en escalones. Los rellenos alrededor de los estribos y pilas deben ser contruidos simultáneamente, a ambos lados y a la misma altura. No se debe colocar ningún relleno contra cualquier estructura de concreto, sino hasta que el delegado residente lo autorice y en ningún caso antes de que el concreto haya alcanzado la resistencia necesaria para soportar los esfuerzos producidos por la construcción de dicho relleno.

- Colocación de relleno estructural

En general, las zanjas y las excavaciones se deben rellenar inmediatamente después que el mortero de la junta haya endurecido lo suficiente para no ocasionarle ningún daño y hasta una altura no menor de 600 milímetros sobre la corona de la alcantarilla o hasta la altura del terreno natural, según el caso.

El material de relleno que se coloque hasta el nivel de la corona de la alcantarilla. El material de relleno se debe compactar en capas que no excedan de 150 milímetros de espesor, debiendo ser colocadas simultáneamente a ambos lados de la alcantarilla para que no se produzcan presiones desiguales. La compactación se puede hacer por medio de compactadoras mecánicas, o de mano, apropiadas.

No se permitirá que se opere equipo pesado sobre una alcantarilla, sino hasta que haya sido hecho correctamente el relleno y ésta se haya cubierto, a partir de la corona, con material de por lo menos 600 milímetros de altura.

Cuando se use arena de río como material de relleno y el delegado residente autorice el uso de agua para la consolidación del relleno, el contratista será responsable de no hacer flotar la alcantarilla.

- Limpieza del lugar de trabajo

Después de que hayan sido completamente terminados los trabajos del relleno para estructuras, el contratista debe limpiar el lugar de la obra, de escombros, maleza, trozas, rocas sueltas, piedras grandes, material regado y demás residuos o desechos.

- Acarreo de material no clasificado

Es el transporte de materiales no clasificados, provenientes del corte y de préstamo, así como el transporte del material de desperdicio, a cualquier distancia que exceda de 1 000 metros.

La medida se debe hacer del número de metros cúbicos –kilómetro, con aproximación de dos decimales, satisfactoriamente transportados, de conformidad con el trayecto más corto y accesible que determine el delegado residente. El volumen de material debe ser calculado con base en las medidas del mismo en su posición original, por el método de promedio de áreas extremas. La distancia de acarreo debe ser la comprendida entre el centro del volumen de material en su posición original y el centro del volumen del material ya colocado, menos la distancia de acarreo libre.

- Colocación de sub rasante

La sub rasante es la capa de terreno de una carretera, que soporta la estructura del pavimento y que se extiende hasta una profundidad tal que no le afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto.

Para la colocación se debe escarificar, homogeneizar, mezclar, uniformizar, conformar y compactar la sub-rasante de una carretera previamente construida para adecuar su superficie a la sección típica y elevaciones del proyecto establecidas en los planos u ordenadas por el delegado residente, efectuando cortes y rellenos con un espesor no mayor de 200 milímetros, con el objeto de regularizar y mejorar, mediante estas operaciones, las condiciones de la sub rasante como cimiento de la estructura del pavimento.

Son materiales adecuados los suelos de preferencia granulares con menos de 3 por ciento de hinchamiento de acuerdo con el ensayo AASHTO T 193 (CBR), que no tengan características inferiores a los suelos que se encuentren en el tramo o sección que se esté reacondicionando.

- Compactación

La sub rasante reacondicionada debe ser compactada en su totalidad con un contenido de humedad dentro de  $\pm 3$  % de la humedad óptima, hasta lograr el 95 % de compactación respecto a la densidad máxima, AASHTO T 180. La compactación en el campo se debe comprobar de preferencia según AASHTO T 191; con la aprobación escrita del ingeniero, se pueden usar otros métodos técnicos, incluyendo los no destructivos.

Para el caso de sub rasantes arcillosas con un límite líquido superior al 45 % y un índice plástico superior al 15 %, se requerirá su compactación a una densidad del 90 % respecto a la densidad máxima, AASHTO T 180 y con un contenido de humedad mayor, por lo menos en un 3 %, que su correspondiente humedad óptima siempre que no exceda en más de un 4 % al valor correspondiente a su límite plástico.

- Deflexión

Se establece una deflexión máxima para la capa de sub rasante reacondicionada de 3,0 milímetros. El delegado residente deberá ordenar los vaciados que sean necesarios y su reemplazo con material de préstamo o de sub base y, en caso necesario, complementar estos trabajos con la construcción de sub drenaje adecuado.

- Aceptación

A continuación, se enlistan los requisitos mínimos para aceptar el tramo carretero.

- Tolerancias en compactación

Se establece una tolerancia en menos del 2 %, respecto al porcentaje de compactación para la sub-rasante reacondicionada. Se deben efectuar ensayos representativos por cada 400 metros cuadrados o fracción de sub -rasante reacondicionada.

- Tolerancia de superficie

Se establece una tolerancia de 20 milímetros, en más o en menos, para los trabajos efectuados por el equipo de construcción, respecto al nivel de conformación de superficie definido en la obra mediante marcas topográficas colocadas de conformidad con las elevaciones indicadas en los planos u ordenadas por el delegado residente.

- Aceptación

La sub rasante reacondicionada se debe aceptar para efectos de pago, hasta que se encuentre debidamente cubierta con material de sub-base o de base, en el ancho total de sub-rasante indicado en las secciones típicas de pavimentación. No se permite que la sub rasante ya reacondicionada, quede sin recubrir con base o sub base, en una distancia mayor de 1 kilómetro, debiendo proporcionar el mantenimiento adecuado de los tramos pendientes de recubrir.

La medida se debe hacer del número de metros cuadrados, con aproximación de dos decimales, de sub-rasante reacondicionada, debidamente construida y aceptada de acuerdo a estas especificaciones generales, disposiciones especiales y los planos correspondientes.

- Colocación de sub base

La sub base es la capa de la estructura del pavimento, destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad el efecto de

las cargas del tránsito proveniente de las capas superiores del pavimento, de tal manera que el suelo de sub-rasante las pueda soportar.

La sub base puede tener un espesor compactado variable por tramos, según lo indicado en los planos, lo establecido en las disposiciones especiales o lo ordenado por el delegado residente con autorización previa del Ingeniero de acuerdo con las condiciones y características de los suelos existentes en la sub rasante, pero en ningún caso dicho espesor debe ser menor de 100 milímetros ni mayor de 700 milímetros.

- Compactación de sub base

En todo caso, las capas deben ser compactadas como mínimo al 90 % de la densidad máxima determinada por el método AASHTO T 180. La comprobación de la compactación en el campo y el control del contenido de humedad, se deben hacer por el método que se indicó con anterioridad.

- Control de calidad

A continuación, se enlistan los parámetros que forman parte del control de calidad.

- Valor soporte

Se debe efectuar un ensayo por cada 500 metros cúbicos producidos, al iniciar la explotación de cada banco, hasta llegar a 3 000 metros cúbicos, y seguidamente un ensayo por cada 3 000 metros cúbicos colocados.

- Piedras grandes y exceso de finos

Las piedras mayores de 70 milímetros o mayores que  $\frac{1}{2}$  espesor de la capa, el que sea menor, deben ser eliminadas, de preferencia en el banco o planta de producción, antes de colocar el material de sub base.

- Granulometría

Se debe efectuar un ensayo de granulometría, por cada 500 metros cúbicos de los primeros 3 000 metros cúbicos producidos al iniciar la explotación de cada banco, seguidamente se debe efectuar un ensayo cada 3 000 metros cúbicos colocados de material de sub base.

- Plasticidad y equivalente de arena

Se debe efectuar un ensayo por cada 3 000 metros cúbicos de material de sub base colocado.

- Tolerancias en las características de los materiales

Si los ensayos efectuados al material de sub-base común, no llenan los valores especificados de cada una de las características indicadas, después de efectuar las verificaciones necesarias, si esta condición persiste en más del 33 % de los ensayos verificados, el contratista debe hacer las correcciones necesarias a su costa, o el material será rechazado.

- Colocación de base

La base puede tener un espesor compactado variable por tramos, según lo indicado en los planos, lo establecido en las disposiciones especiales o lo ordenado por el delegado residente con autorización previa del ingeniero de acuerdo con las condiciones y características de los suelos existentes en la sub base.

- Compactación de la base

En todo caso, las capas deben ser compactadas como mínimo al 90 % de la densidad máxima determinada por el método AASHTO T 180. La comprobación de la compactación en el campo y el control del contenido de humedad, se deben hacer por el método que se indicó con anterioridad.

- Control de calidad, tolerancias y aceptación

En cada tramo de carretera, debe existir un laboratorista de campo quien estará controlando la calidad de los materiales antes de ser usados, así como los procesos en los cuales se darán uso dichos materiales, constatando a través de informes la calidad de los mismos y cumpliendo con las tolerancias descritas en las especificaciones generales de construcción de carreteras y puentes, así como las disposiciones especiales que dirección general de caminos DGC, entregue al contratista.

- Colocación de capa de rodadura

La mezcla asfáltica en frío debe llenar los requisitos establecidos en los resultados de los ensayos de estabilidad Marshall AASHTO T 245, ASTM D 1

559 para mezclas con asfaltos líquidos, y estabilidad Marshall modificado, según el manual MS-14, del Instituto de Asfalto para mezclas con emulsión.

A continuación, se enlistan los ensayos y parámetros con los que debe contar la capa de rodadura.

- Abrasión, AASHTO T 96 40 % máximo.
  - Desintegración al sulfato de sodio, 15 % máximo AASHTOT104.
  - Caras fracturadas, 1 cara 40 % mínimo.
  - Partículas planas o alargadas, ASTM D 4791 15 % máximo.
  - Equivalente de arena, AASHTO T 176 35 mínimo.
  - Índice plástico, AASHTO T 90 6 % máximo.
  - Límite líquido, AASHTO T 89 25 % máximo.
  - Impurezas, el agregado no debe contener materias vegetales, basura, terrones de arcilla, o sustancias que incorporadas dentro de la mezcla asfáltica en frío con piedra o grava puedan producir fallas en el pavimento.
  - Graduación, el agregado pétreo, listo para ser mezclado con material bituminoso, debe cumplir con los requisitos de graduación determinada según AASHTO T 11 y T27.
- Inspección y recepción final  
La comisión receptora de la Dirección General de Caminos DGC, comprobara a través del delegado residente que dicho trabajo se realizó de acuerdo al contrato celebrado entre el contratista y la DGC, dando por aceptado dicho trabajo se suscribirá el acta de cierre correspondiente.

### 1.9. Método de reparación de tuberías transversales utilizando manta geosintética con compuesto cementicio (GCCM)

La manta geosintética con compuesto cementicio (GCCM) es un tejido flexible impregnado con una mezcla especialmente formulada de cemento que se endurece cuando se le hidrata y una lámina de PVC que asegura que el material sea completamente impermeable, formando una delgada y durable capa de hormigón a prueba de agua y fuego, de origen inglés.

La manta geosintética con compuesto cementicio (GCCM) es fabricada con diversas características. En la siguiente tabla se presentan las mismas.

Tabla IV. **Especificaciones más destacadas de la manta geosintética con compuesto cementicio (GCCM)**

CC	Espesor (mm)	Largo rollo portátil (m)	Largo rollo mayor (m)	Ancho rollo (m)	Resistencia tracción (kN/m) longitudinal	Resistencia tracción (kN/m) transversal	Resistencia a compresión (Mpa) a los
CC5	5	10	200	1,0	6,7	3,8	40
CC8	8	5	125	1,1	8,6	6,6	40
CC13	13	N/A	80	1,1	19,5	12,8	40

Fuente: elaboración propia.

Originalmente el producto fue creado para uso militar, el cual debía ser capaz de adecuarse a las condiciones de clima, así como también de combate, fue pensado como un producto versátil, es decir que pueda tener diversas aplicaciones en el campo. Lograr este cometido conlleva a cumplir con varias

especificaciones técnicas necesarias para su utilidad. A continuación, se enlistan algunas de las muchas aplicaciones que posee el geotextil, utilizado en diversos proyectos a nivel internacional.

Tabla V. **Propiedades destacadas**

No.	Propiedad	
1	<p>Impermeabilidad: posee una capa de PVC que recubre la cara inferior de la manta.</p>	
2	<p>Resistencia: una vez endurecida, ésta provee quiebres, absorbe la energía de impactos, y provee estabilidad.</p>	
3	<p>Durabilidad: es resistencia a productos químicos, y soporta bien los efectos de la intemperie, no se deteriora por exposición a la luz ultravioleta.</p>	

Continuación de la tabla V.

4	Flexibilidad: Toda la forma de cualquier zanja o terraplén, ajustándose perfectamente a su perfil, se adapta a los ángulos más cerrados, antes de fraguar, se corta con herramientas de mano sencillas para darle la forma deseada.	
---	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: elaboración propia.

- Ventajas

A continuación, se enlistan algunas de las ventajas que posee el geotextil.

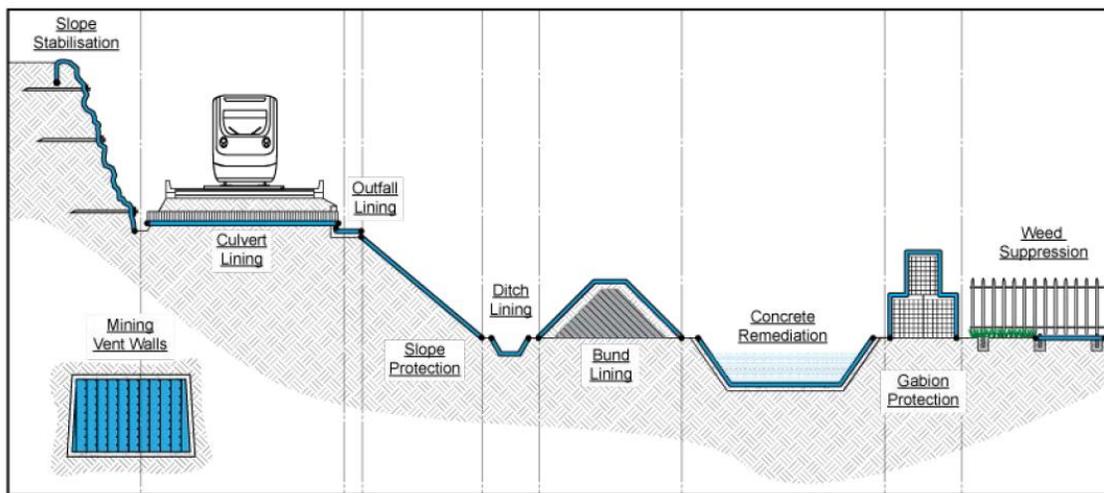
- Rápida instalación: puede colocarse a una velocidad de 200 m<sup>2</sup>/hora utilizando una tres (3) operarios.
- Fácil manejo: ideal para trabajos donde se tienen limitaciones de acceso, no se necesita mezclar ni compactar.
- Económica: debido a que es fácil de instalar, es más rentable que el hormigón convencional, debido a que las horas de trabajo disminuyen, así como el personal de instalación.
- Material ecológico: es de tecnología de baja masa y baja emisión de carbono.

- Recurso humano: se necesitan pocos trabajadores para colocar la manta, quienes deben recibir instrucciones claras y sencillas sobre la colocación de la manta.
- Aplicaciones

Actualmente se utilizan en varios países de América, tales como, México, Chile, Perú y otros, debido a su versatilidad es implementado en proyectos de:

- Carreteras
- Ferrocarriles
- Agricultura
- Electricidad
- Petroquímica
- Minería
- Diseño

**Figura 6. Aplicaciones del GCCM**



Fuente: Concrete Canvas. *Product Handbook*. p. 23.

A continuación, se describen los pasos a seguir para reparar una tubería utilizando la manta geosintética con compuesto cementicio (GCCM).

Tabla VI. **Reparación de tubería transversal utilizando (GCCM)**

No.	Instrucción	Ilustración
1	Inspección del lugar: se debe prestar especialmente atención al fondo de la tubería, ya que es donde se corroe y el agua se infiltra bajo la misma.	
2	Limpieza de tuberías: esto se puede realizar utilizando agua, detergente y cepillos de raíz para eliminar material adherido a la tubería.	

Continuación de la tabla VI.

3	Colocación de la manta geosintética con compuesto cementicio GCCM: se pueden utilizar tablonces, tablas o varillas de acero para sujetar la manta en lo que se perna.	
4	Sujetación con pernos y/o tornillos: sellar con cemento o pegamento todas las juntas del material, para evitar infiltración. Las juntas deben ser de 10 cm como mínimo	
5	Hidratación de la manta: puede utilizarse agua dulce o salada.	

Fuente: elaboración propia.



## 2. CAPÍTULO DOS

En este capítulo se describe la parte experimental del presente trabajo de investigación.

### 2.1. Equipo a utilizar

Como equipo se identifica a aquellos instrumentos que se utilizan para la construcción de una obra, sin ser parte integral de la misma.

- Un barreno eléctrico
- Una broca de concreto de  $\frac{1}{4}$ " de diámetro
- Una manguera de hule
- Cepillo de raíz
- Una escoba
- Cámara fotográfica
- Memoria de 16 GB
- Batas
- Botas
- Guantes
- Polea mecánica (mica)
- Llave de  $\frac{3}{4}$ "
- Parales de hierro
- Cinta métrica
- Marco de hierro para ensayo de compresión
- Alicates
- Tenazas

- Crayón de cera rojo
- Lapiceros
- Lápices
- Formato para toma de datos
- Cuatro metros lineales de plywood de un metro de ancho
- Lazos de varias fibras
- Cinco lb. de alambre de amarre

## **2.2. Materiales**

Se identifican como materiales aquellos elementos que pasan a ser parte integral de una obra.

- Setenta y cinco pernos Hilty de 1 ½ “de largo por ¼” de diámetro
- Agua de grifo
- Siete metros. lineales de geotextil GCCM de 5 mm de grosor
- Un tubo ensayado de concreto armado de 60 pulgadas

## **2.3. Método de los tres (3) apoyos**

De acuerdo a la Norma COGUANOR NTG 41075 (se incluye las partes utilizadas en los anexos de este trabajo) el ensayo se hace en una máquina diseñada para aplicar una fuerza de aplastamiento sobre la tubería a ensayar, en un plano a través del eje vertical que se extiende a lo largo de dicha tubería.

El método de ensayo de resistencia al aplastamiento puede ser tanto un ensayo de control de calidad para establecer que los tubos terminados y en condiciones de despacho, tengan la suficiente resistencia para resistir las cargas de aplastamiento señaladas en las especificaciones o bien, un ensayo de comprobación de diseño realizado para probar la adecuación de un diseño.

La máquina de ensayo debe ser completamente sólida y rígida, de manera que la distribución de la carga no sea afectada apreciablemente por la deformación o cadencia de cualquier parte.

#### **2.4. Procedimiento del método de los tres (3) apoyos, utilizando las mantas geosintéticas con compuesto cementicio, GCCM**

Para el ensayo experimental de este trabajo de graduación se utilizó un tubo de concreto reforzado de sesenta (60") nuevo, el cual fue ensayado para determinar el tipo de tubería con que se está trabajando, conociendo su resistencia y medidas nominales. En el anexo se presentan los resultados del laboratorio del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

**Tabla VII. Resumen de datos generales del tubo y resultados del ensayo de las tres aristas (sin GCCM)**

<b>Datos del tubo</b>			
Espesor	14,23 cm	5,60 pul	0,47 pies
Diámetro interno	1,51 m	60 pul	5 pies
Diámetro externo	1,79 m	70 pul	5,87 pies
Carga a la primera grieta	6 818,2 kg	15 000 lb.	Clase I tipo A

Fuente: elaboración propia.

Luego de eso se reparó dicho tubo utilizando mantas geosintéticas con compuesto cementicio, GCCM, de cinco (5 mm) de espesor, conocida comercialmente como CC5; el procedimiento se indica en el siguiente cuadro.

Tabla VIII. Colocación de la manta geosintética con compuesto cementicio, GCCM

No	Proceso	Descripción	Imagen ilustrativa
1	Limpieza de tubo	Es necesario limpiar dicho tubo para eliminar residuos de concreto u otro material que pueda afectar la colocación de la manta. La limpieza se llevó a cabo con manguera, agua, cepillo de alambre y una escoba.	
2	Medidas nominales	Se debe tomar las medidas de diámetro de dicho tubo así como espesor antes de ser ensayado.	

Continuación de la tabla VIII.

3	Corte de la manta	La colocación de la manta puede ser por lienzo o en forma longitudinal, en este caso se usaron lienzos de manta para optimizar recursos.	
4	Colocación de mantas	Se colocaron las mantas a la tubería y luego se sujetaron con andamios de hierro, alambre de amarre y plywood para evitar que se generen bolsas de aire por efectos de gravedad.	 

Continuación de la tabla VIII.

5	Colocación de pernos	Se colocaron pernos Hilty a cada 15 cm. taladrando con broca de concreto, por último se ajustó con una llave de $\frac{3}{4}$ " la rosca del perno.	
6	Hidratación	Se debe hidratar adecuadamente, de manera que el compuesto cementicio logre hacer efecto y empiece a fraguar (endurecer).	

Continuación de la tabla VIII.

7	Tiempo de fraguado	<p>Se dejó por 3 días para que el material cementicio endureciera.</p> <p>Tubo reparado</p>	
8	Ensayo de los 3 apoyos	<p>El tubo debe estar apoyado sobre un soporte inferior de dos listones longitudinales paralelos y la carga se aplica por medio de una viga superior.</p> <p>Se le aplica carga hasta obtener la primera grieta de 0.3 mm de abertura horizontal sin que llegue a una grieta de mayor tamaño.</p>	

Continuación de la tabla VIII.

9	Verificación	<p>Luego del ensayo se pudo verificar que el material mantuvo unificado toda la tubería, ya que el concreto de dicho tubo se fisuró hasta colapsar. La manta geosintética con compuesto cementicio, GCCM, se encargó de otorgarle resistencia al tubo y así soportar la carga a la que fue sometida.</p>	
---	--------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: elaboración propia.

## 2.5. Memoria de cálculos

A continuación, se presentan los datos obtenidos durante el ensayo a compresión del cilindro de concreto armado con el geotextil colocado.

Tabla IX. **Datos del ensayo a compresión**

Carga (Kg.)	Deformación horizontal (mm)	Deformación vertical (mm)	Observaciones
909,1	0	0	

Continuación de la tabla IX.

3 863,6	4	0	
4 545,5	5	6	
6 818,2	5	6	Primera grieta
90 90,9	5	6	
9 772,7	5	6	
11 363,6	7	14	
13 636,4	16	19	
1 4090,9	20	120	Carga última
14 147,7	Falla		

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. *Informe No. EP 24/0/2018 CII*. p. 5

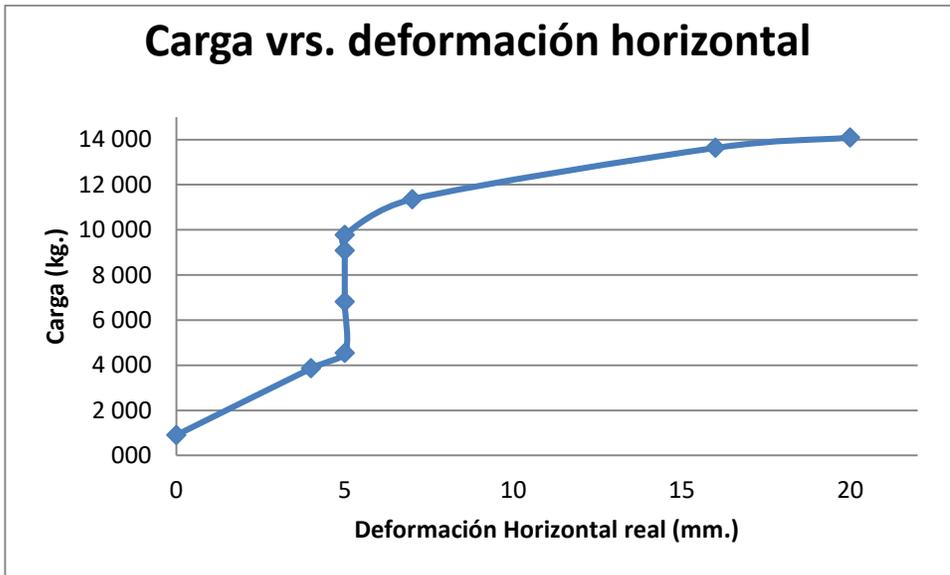
**Tabla X. Datos del ensayo usando GCCM**

<b>Carga kg</b>	<b>Observaciones</b>
7 500,02	Primera grieta
15 499,99	Carga ultima

Fuente: elaboración propia.

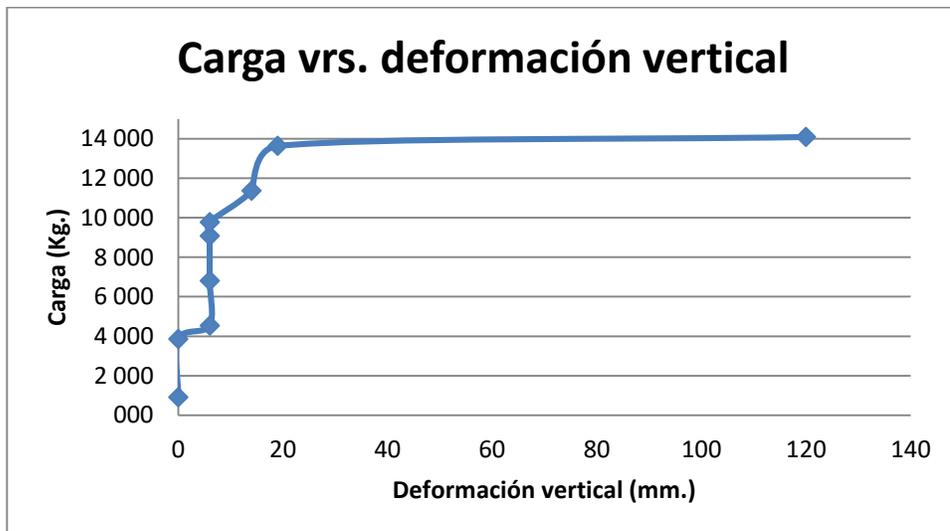
A continuación, se presentan algunas gráficas que relacionan las cargas a las que fue expuesta la tubería y las deformaciones provocadas. En la discusión de resultados, tabla XI, se analizan las mismas.

Figura 7. Carga vs. deformación horizontal



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. *Informe No. EP 24/0/2018 CII*, p. 5

Figura 8. Carga vs. deformación vertical



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. *Informe No. EP 24/0/2018 CII*, p. 6

Para realizar los cálculos se usaron las siguientes ecuaciones

- Resistencia mínima del tubo de concreto

$$\text{Resistencia mínima} = \frac{\text{Carga primera grieta}}{\text{Diametro lineal}} \quad [\text{Ec. 11}]$$

$$\text{Resistencia mínima} = \frac{6\,818,2 \text{ kg} \cdot \text{m}}{1,51 \text{ m}} = 4\,515,35 \text{ kg}$$

- Resistencia mínima del tubo de concreto utilizando la manta geosintética con compuesto cementicio GCCM.

$$\text{Resistencia mínima} = \frac{7\,500,02 \text{ kg} \cdot \text{m}}{1,51 \text{ m}} = 4\,966,90 \text{ kg}$$

- Clasificación de la tubería de concreto según Norma COGUANOR NTG 41 077

$$\text{Carga de primera grieta} \cdot \text{gravedad} \quad [\text{Ec. 12}]$$

$$6\,818,2 \text{ kg} \cdot 9,80665 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 66\,863,70 \text{ N}$$

- Clasificación de la tubería de concreto restaurada con la manta geosintética con compuesto cementicio GCCM de acuerdo a la Norma COGUANOR NTG 41077 del tubo de concreto.

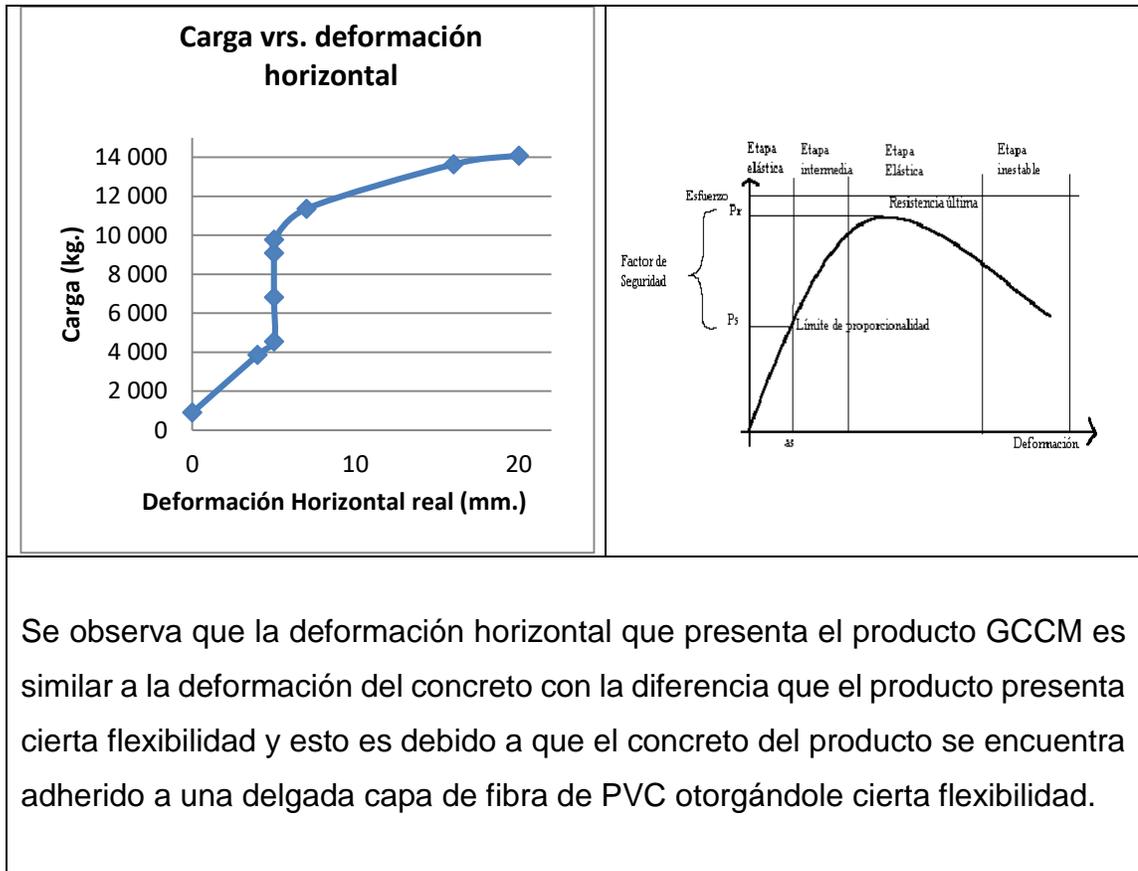
$$7\,500,02 \text{ kg} \cdot 9,80665 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 73\,550,07 \text{ N}$$

Tabla XI. **Discusión de resultados**

<p><b>Tubo de concreto reforzado</b></p>	<p><b>Tubo de concreto reforzado reparado con la manta geosintética con compuesto cementicio GCCM</b></p>
<p>El ensayo a compresión clasificó al tubo de concreto reforzado como un tubo clase I tipo A de acuerdo a la norma COGUANOR NTG 41077.</p>	<p>El ensayo a compresión clasificó al tubo de concreto reforzado como un tubo clase I tipo A de acuerdo a la norma COGUANOR NTG 41077.</p>
<p>El tubo de concreto reforzado obtuvo su primera grieta al recibir 6 818,2 kg de carga.</p>	<p>El tubo de concreto reforzado utilizando GCCM obtuvo su primera grieta al recibir 7 500,02 kg. de carga. Lo que equivale a un 10% más resistente que el tubo de concreto reforzado sin la manta GCCM.</p>
<p>Si se hubiese llevado a un punto máximo de carga, el tubo de concreto reforzado hubiese fallado por compresión debido a las fisuras presentes en el tubo.</p>	<p>Se observó que mientras se le aplican cargas al tubo de concreto reparado con GCCM, este mantenía su forma debido al amarre que la manta proporciono al tubo, evitando que el mismo no fallara por compresión</p>

Fuente: elaboración propia.

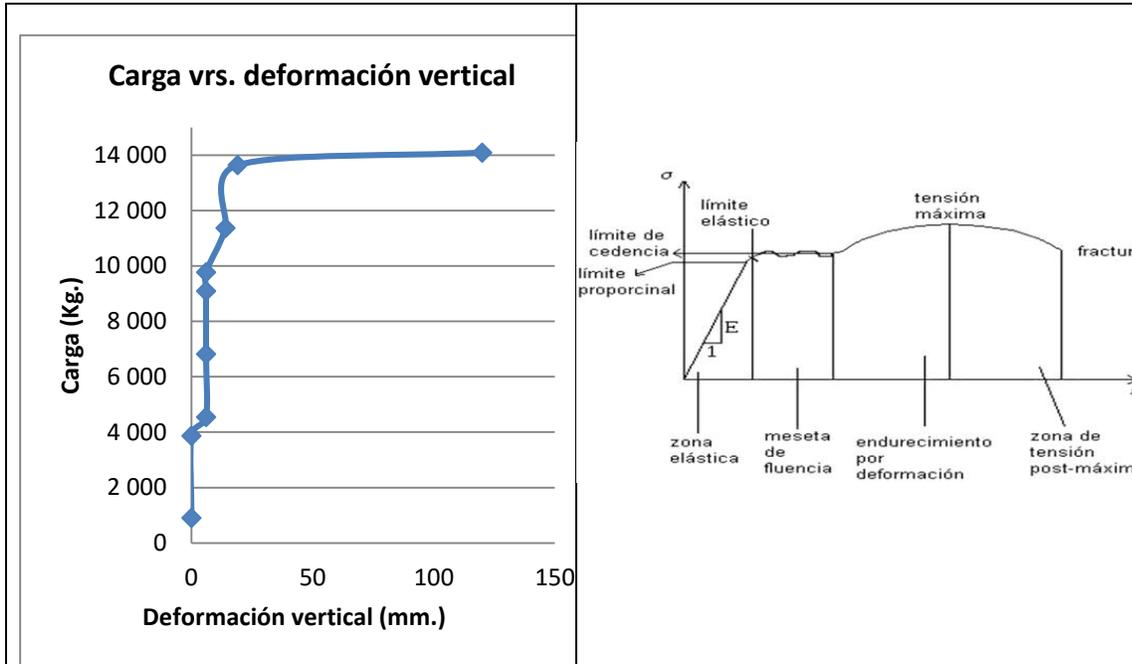
Tabla XII. Comparación de deformaciones GCCM vs. concreto



Se observa que la deformación horizontal que presenta el producto GCCM es similar a la deformación del concreto con la diferencia que el producto presenta cierta flexibilidad y esto es debido a que el concreto del producto se encuentra adherido a una delgada capa de fibra de PVC otorgándole cierta flexibilidad.

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. Comparación de deformaciones GCCM vs. acero



Se observa que la deformación vertical que presenta el producto GCCM es muy similar a la deformación del acero y esto es debido a que el acero de la tubería se encuentra colocado en forma de espiral en toda la tubería de concreto de igual forma el producto se encuentra colocado en toda la superficie de la tubería de concreto.

Fuente: elaboración propia.

### **3. CAPÍTULO TRES**

#### **3.1. Presentación de resultados**

A continuación, se presentan los costos de cambiar una tubería transversal utilizando el método tradicional (descrito en el capítulo 2 de este documento) y el costo de reparar una tubería transversal utilizando la manta geosintética con compuesto cementicio GCCM.

Se presenta la información en cuadros descriptivos que desglosan costos unitarios y totales (renglones de trabajo) para luego presentar un cuadro comparativo de ambos métodos.

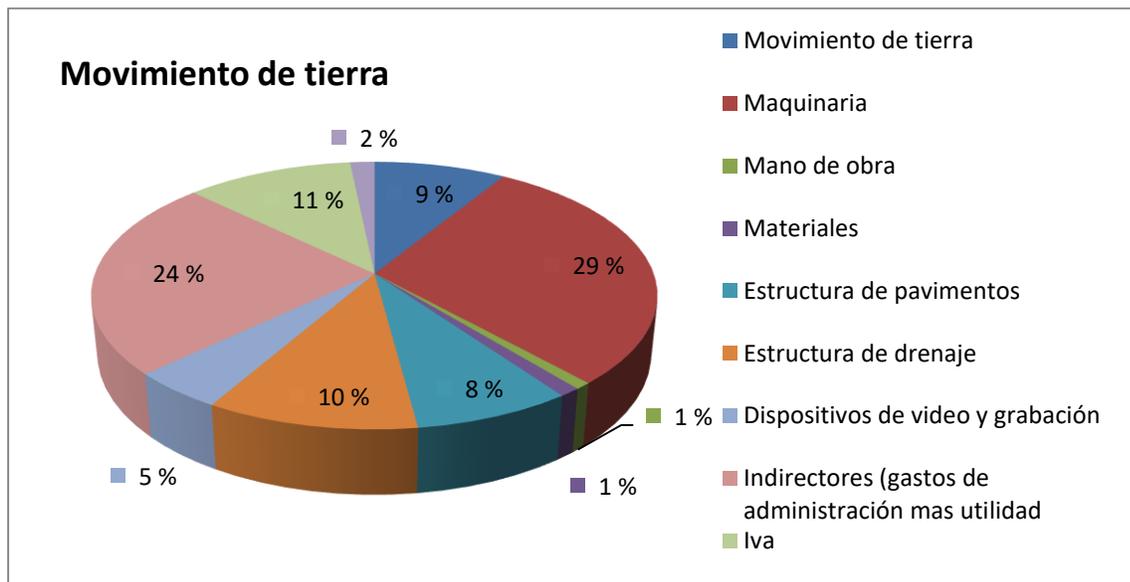
Para realizar estimaciones en el cambio de una tubería transversal utilizando el método tradicional (movimiento de tierra) se asumieron parámetros hipotéticos los cuales se describen a continuación:

- Carretera tipo B, ancho de 13 m
- Tubería transversal ubicada a 3 metros sobre la rasante
- Banco de préstamo a 5 km
- Ancho de derecho de vía 25 m
- Dos (2) cabezales de concreto, una de entrada y otro de salida
- Carretera ubicada en planicie
- Acceso libre a tramo de carretera
- Proyecto realizado durante la temporada seca (noviembre-abril)
- Espesor de sub base y base de 20 cm

### 3.2. Costos de remoción de tubería transversal utilizando movimiento de tierras

En este caso se identificaron nueve (9) renglones de trabajo generales, con sus renglones específicos; de los mismos se identificaron los renglones con mayor inversión, tratándose de la maquinaria y su mantenimiento, así como también los gastos indirectos. A continuación, se presenta una gráfica en el que se resumen los costos.

Figura 9. Costos de remoción de tubería por porcentaje utilizando movimiento de tierra

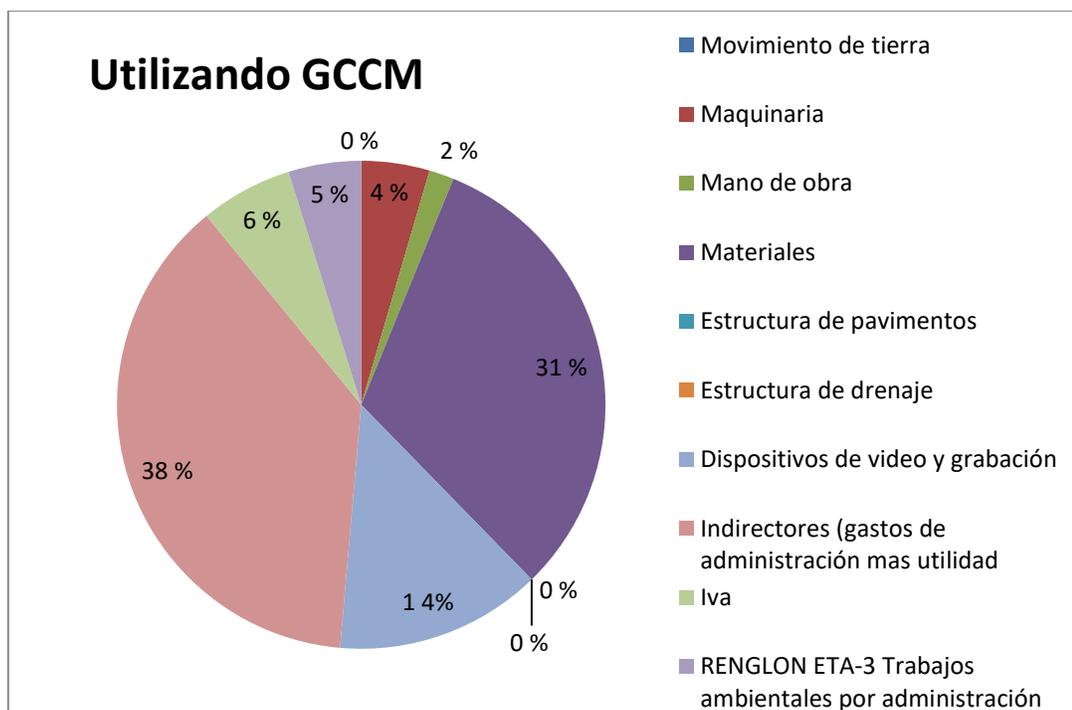


Fuente: elaboración propia.

### 3.3. Costos de remoción de tubería transversal utilizando la manta geosintética con compuesto cementicio, GCCM

En este caso se identificaron cuatro (4) renglones de trabajo generales, con sus renglones específicos; de los mismos se identificaron los renglones con mayor inversión, tratándose de materiales, así como también los gastos indirectos. A continuación, se presenta una gráfica en el que se resumen los costos.

Figura 10. Costos de reparación de tubería por porcentaje utilizando la manta geosintética con Compuesto Cementicio



Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presentan los cuadros desglosados de ambos métodos.

Tabla XIV. Costos por renglón utilizando el método tradicional

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo total contratado
<b>Control de trabajo</b>				
<b>Movimiento de tierras</b>				
Retiro de estructura existentes (cajas y cabezales)	m3	2	Q 337,70	Q 675,40
Retiro de estructura existentes (alcantarillas)	ml.	15	Q 258,60	Q 3 879,00
Excavación no clasificada de material de préstamo	m3	234	Q 30,63	Q 7 167,42
Acarreo	m3/km	1 170	Q 3,81	Q 4 457,70
<b>Costo total de movimiento de tierras</b>				<b>Q 16 179,52</b>
<b>Maquinaria</b>				
Retroexcavadora	hora	4	Q 300,00	Q 1 200,00
Camión de carga liviana	hora	6	Q 100,00	Q 600,00
Camión cisterna	hora	2	Q 100,00	Q 200,00
Camión de volteo	hora	2	Q 100,00	Q 200,00
Rodo manual	hora	1	Q 75,00	Q 75,00
Cortadora de pavimento	hora	1	Q 62,50	Q 62,50
Generador con sus accesorios	hora	1	Q 63,00	Q 63,00
Camión imprimador de 1 800 gal	día	1	Q 2 000,00	Q 2 000,00
Barredora mecánica	hora	1	Q 150,00	Q 150,00
Compresor de aire	hora	1	Q 62,50	Q 62,50
Camión cisterna	hora	1	Q 100,00	Q 100,00
Camión de volteo	hora	1	Q 125,00	Q 125,00
<b>Mantenimiento de maquinaria</b>				
Diésel para retroexcavadora	galón	10	Q 18,40	Q 184,00
Diésel para camión de carga liviana	galón	9	Q 18,40	Q 165,60
Diésel para camión cisterna	galón	2 642	Q 18,40	Q 48 612,80
Diésel para camión de volteo	galón	6	Q 18,40	Q 110,40
Diésel para rodo manual	galón	2	Q 18,40	Q 36,80
Diésel para cortadora de pavimento	galón	1	Q 18,40	Q 18,40

Continuación de la tabla XIV.

Diésel para generador	galón	5	Q	18,40	Q	92,00
Diésel para camión imprimador	galón	1	Q	18,40	Q	18,40
Diésel para barredora	galón	1	Q	18,40	Q	18,40
Diésel para compresor de aire	galón	1	Q	18,40	Q	18,40
Diésel para camión cisterna	galón	1	Q	18,40	Q	18,40
Diésel para camión de volteo	galón	1	Q	18,40	Q	18,40
<b>Costo total de maquinaria y mantenimiento</b>						<b>Q 54 150,00</b>
<b>Mano de obra</b>						
Operador de retroexcavadora	hora	16	Q	18,75	Q	300,00
Chofer de camión de carga liviana	hora	16	Q	15,63	Q	250,08
Piloto de camión cisterna	hora	16	Q	15,63	Q	250,08
Piloto de camión de volteo	hora	16	Q	15,63	Q	250,08
Operador de equipo menor	hora	16	Q	12,50	Q	200,00
Ayudantes (4)	hora	16	Q	11,27	Q	721,28
Operador de camión imprimador	día	16	Q	150,00	Q	2 400,00
Operador de camión imprimador (atrás)	día	16	Q	100,00	Q	1 600,00
Operador de barredora mecánica	día	16	Q	150,00	Q	2 400,00
Operador de equipo menor	hora	16	Q	10,86	Q	173,76
Piloto de camión cisterna	hora	16	Q	15,63	Q	250,08
Camión de volteo	hora	16	Q	15,63	Q	250,08
Total de mano de obra sin prestaciones					Q	9 045,44
Total de mano de obra con prestaciones					Q	3 799,08
<b>Costo total de mano de obra</b>						<b>Q. 12 844,52</b>
<b>Materiales</b>						
Material bituminoso	galón	100	Q	17,86	Q	1 786,00
Arena para secante en obra	m3	2	Q	80,00	Q	160,00
<b>Costo total de materiales</b>						<b>Q 1 946,00</b>
<b>Estructura de pavimentos</b>						
Capa de sub base y base de recuperación del pavimento existente (espesor 20 cm) <b>(A.T.E. 1) Y O.T.S 1)</b>	m2	39	Q	12,55	Q	489,45

Continuación de la tabla XIV.

Reacondicionamiento de sub rasante existente	m2	39	Q 5,70	Q 222,30
Capa se sub base granulada (20cm de espesor)	m3	39	Q 84,60	Q. 3 299,40
Base triturada (18 cm de espesor)	m3	39	Q 93,80	Q 3 658,20
Material estabilizador (cemento portland)	kg.	13	Q 45,50	Q 591,50
Riego de Imprimación	galón	100	Q 39,40	Q 3 940,00
Riego de liga	galón	100	Q 7,00	Q 700,00
Concreto asfáltico (7cm de espesor incluye hombros)	ton.	1	Q 493,80	Q 493,80
Cemento asfáltico	galón	100	Q 9,50	Q 950,00
<b>Costo total de estructura de pavimentos</b>				<b>Q 14 344,65</b>
<b>Estructura de drenaje</b>				
Alcantarillas de concreto reforzado de 60"	ml.	13	Q 1 311,00	Q 17 043,00
Cajas y cabezales de concreto ciclópeo	m3	2	Q 908,40	Q 1 816,80
Cunetas revestidas de concreto clase 21 (3 000lb/plg2) fundido en sitio, e=7 cm	m2	2	Q 138,90	Q 277,80
<b>Costo total de estructura de drenaje</b>				<b>Q 19 137,60</b>
<b>Dispositivos de video y grabación</b>				
Seguimiento de inversión física y georreferencia.	mes	1	Q 8 533,30	<b>Q 8 533,30</b>
<b>Costo directo total</b>				<b>Q 127 135,59</b>
Indirectos (gastos de administración +utilidad)				<b>Q 44 497,46</b>
Sub total (costo directo + indirectos)				<b>Q 171 633,05</b>
IVA				<b>Q 20 595,97</b>
Sub total (costo directo + indirectos+ IVA)				<b>Q 192 229,02</b>
Renglón de trabajos ambientales por administración				<b>Q 3 000,00</b>
<b>Precio total de la oferta</b>				<b>Q 195 229,02</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Costos por renglón utilizando la manta geosintética con compuesto cementicio**

Descripción	Unidad	Cantidad contratada	Precio unitario	Costo total contratado
<b>Control de trabajo</b>				
<b>Mano de obra</b>				
Ayudantes (4)	hora	64	Q 11,27	Q 721,28
Total de mano de obra sin prestaciones				Q 721,28
Total de mano de obra con prestaciones				Q 302,94
<b>Costo total de mano de obra</b>				<b>Q 1 024,22</b>
<b>Equipo y maquinaria</b>				
Cortadora de pavimento	hora	1	Q 62,50	Q 62,50
Generador con sus accesorios	hora	1	Q 63,00	Q 63,00
Camión cisterna	hora	1	Q 100,00	Q 100,00
Diésel para camión cisterna	galón	10	Q 18,40	Q 184,00
Barreno	Unidad	2	Q1 000,00	Q 2 000,00
Broca de concreto de 1/4 de diámetro	Unidad	13	Q 7,00	Q 91,00
Cepillo de raíz	Unidad	4	Q 15,00	Q 60,00
Escoba	Unidad	4	Q 15,00	Q 60,00
Guantes	Unidad	4	Q 25,00	Q 100,00
Llave de 3/4"	Unidad	4	Q 25,00	Q 100,00
<b>Costo total de equipo y maquinaria</b>				<b>Q 2 820,50</b>
<b>Materiales</b>				
Manta geosintética con compuesto cementicio CC5	ml.	51	Q 377,50	Q 19 252,50
Pernos Hilty	Unidad	338	Q 1,25	Q 422,50
<b>Costo total de materiales</b>				<b>Q 19 675,00</b>
<b>Costo directo total</b>				<b>Q 23 519,72</b>
Indirectos (gastos de administración + utilidad)				<b>Q 8 231,90</b>

Continuación de la tabla XV.

Sub total (costo directo + indirectos)				<b>Q</b>	<b>31 751,62</b>
IVA				<b>Q</b>	<b>3 810,19</b>
Sub total (costo directo + indirectos+ IVA)				<b>Q</b>	<b>35 561,81</b>
renglones de trabajos ambientales por administración				<b>Q</b>	<b>3 000,00</b>
Renglón de trabajos de administración				<b>Q</b>	<b>20 000,00</b>
Precio total de la oferta				<b>Q</b>	<b>58 561,81</b>

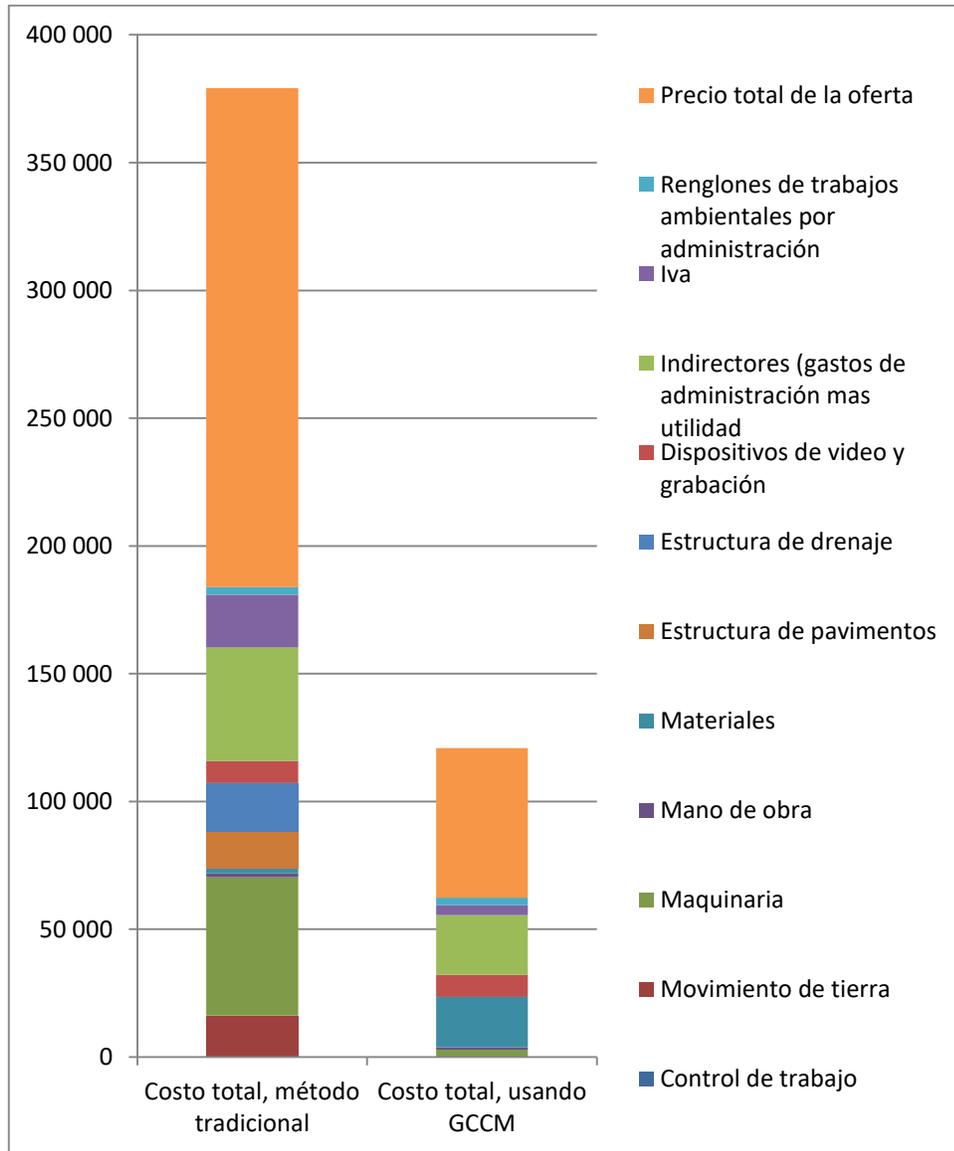
Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Cuadro comparativo de costos**

<b>Descripción</b>	<b>Costo total, método tradicional</b>		<b>Costo total usando GCCM</b>	
<b>Control de trabajo</b>				
Movimiento de tierras	Q	16 179,52	Q	-
Maquinaria	Q	54 150,00	Q	2 820,50
Mano de obra	Q	1 486,12	Q	1 024,22
Materiales	Q	1 946,00	Q	19 675,00
Estructura de pavimentos	Q	14 344,65	Q	-
Estructura de drenaje	Q	19 137,60	Q	-
Dispositivos de video y grabación	Q	8 533,30	Q	8 533,30
Indirectos (gastos de administración + utilidad)	Q	44 497,46	Q	23 519,72
IVA	Q	20 595,97	Q	3 810,19
Renglón de trabajos ambientales por administración	Q	3 000,00	Q	3 000,00
<b>Precio total de la oferta</b>	<b>Q</b>	<b>195 229,02</b>	<b>Q</b>	<b>58 561,81</b>

Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Comparativa de costos de renglones de trabajo generales**



Descripción: se puede apreciar que el costo del proyecto es bastante elevado debido al gasto que se invierte en maquinaria en su mantenimiento y por consiguiente en gastos indirecto.

Fuente: elaboración propia.



## CONCLUSIONES

1. El libro azul de Caminos, *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes, 2001* de La Dirección General de Caminos de la República de Guatemala, presenta escenarios generales de trabajo en carretera; sin embargo, cada proyecto implica condiciones únicas que muchas veces no están incluidas en el texto antes mencionado. Por lo que es necesario hacer buen uso del criterio profesional y tomar decisiones que mejoren el rendimiento, los costos y el tiempo en la ejecución de los proyectos.
2. La utilización de la manta geosintética con compuesto cementicio GCCM ayuda a reparar una tubería dañada proporcionándole nueva resistencia mecánica unificando la tubería de tal forma que, aunque se le apliquen cargas a compresión no colapsa fácilmente; puede aumentarse un diez por ciento (10 %) su resistencia a la compresión. La manta proporciona también protección hidráulica a la tubería extendiendo su periodo de vida útil.
3. El uso de la manta geosintética con compuesto cementicio GCCM para reparar tuberías transversales de sesenta pulgadas (60") o más reduce costos hasta un tercio (1/3) del monto total.
4. El método de reparación de una tubería transversal con el material GCCM es utilizado para tuberías de sesenta pulgadas (60") o más debido a que en ella pueden entrar trabajadores y reparar la misma sin inconvenientes

de espacio. Para tuberías más pequeñas es recomendable considerar otras metodologías.

5. La manta geosintética con compuesto cementicio GCCM es fácil de instalar y conveniente para lugares de difícil acceso. Debido a que el material puede cortarse en lienzos y ser transportados sin problemas hasta la tubería a reparar, su instalación es rápida ya que solo necesita ser pernada para sujetarla y ella misma toma la forma del lugar donde se coloca endureciéndose una vez fraguado.
6. La manta geosintética con compuesto cementicio es un producto que, al aplicársele cargas verticales, se deforma de una forma muy parecida a la de una estructura de concreto reforzado esto es visible cuando se grafican cargas vs. deformación vertical.
7. La manta geosintética con compuesto cementicio es un material que aporta la suficiente resistencia a la compresión tal que protege al acero de la tubería que evita que falle por aplastamiento.

## RECOMENDACIONES

1. La Dirección General de Caminos como institución gubernamental que planifica, diseña, ejecuta y supervisa las obras de construcción, debe desarrollar material informativo que incluya la descripción de materiales y sus especificaciones, los métodos y las técnicas de diseño de drenajes transversales.
2. Debe invertirse más en la investigación y el registro de datos pluviales, ya que se trata de uno de los fenómenos con mayor impacto adverso en la sociedad guatemalteca, afectando siembras, pasos peatonales y vehiculares, que provocan aluviones y otros fenómenos en las comunidades guatemaltecas.
3. El Insivumeh como institución que planifica, diseña y ejecuta estudios y monitoreos sistematizados debe proveer la información necesaria para diseñar y construir cualquier obra de infraestructura.
4. Es importante que las tuberías transversales cuenten con un programa de mantenimiento rutinario semestral (diferenciación de época seca y lluviosa), por parte del Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda a fin de identificar los sectores vulnerables, propensos de ser afectados por material sólido arrastrado por la corriente que puedan llegar a obstaculizar el paso del fluido, así como identificar problemas de infiltración de agua.

5. El gobierno debería invertir más en educación ciudadana, para que la población haga uso correcto de las tierras y del tratamiento correcto de las aguas servidas.
6. Asegurarse de instruir al personal sobre la colocación de las mantas geosintéticas con compuesto cementicio (GCCM) para evitar contratiempos.
7. Es importante que la universidad cree y mantenga lazos con el área productiva del país.
8. Si se utilizan pernos Hilty para sujetar los lienzos de las mantas, estos deben ser de más de 1 ½ “de largo para evitar que estos se desprendan cuando éstas estén sometidas bajo cargas de compresión. Luego de colocar los pernos Hilty, asegurar con una llave dichos pernos para evitar que estos se caigan.
9. Si se desea reparar la tubería en forma estructural, tomar en cuenta los materiales extras tales como andamios y plywood para sujetar los lienzos colocados en la parte superior de la tubería, y así evitar que estos se caigan o se le formen bolsas de aire por efectos de gravedad.
10. El Laboratorio de Materiales de Construcción del Centro de Investigaciones de Ingeniería, Usac, entregó un informe sobre el ensayo de los tres apoyos realizado a la tubería del cual se hace mención en este trabajo de graduación y se pudo observar que las referencias a las normas citadas son de hace dieciséis (16) años atrás, existiendo en el mercado las mismas normas actualizadas. Es por eso que la universidad deberá actualizarse en cuanto a normas se refieren ya que estas cambian de año en año.

11. Se considera oportuno un estudio más minucioso de la aplicación del producto y sus resultados ya que podrían variar si se tomase el tiempo exacto en colocación y vida útil del producto, convirtiéndose así en un tema más de estudio, para quienes así lo deseen.
  
12. Se puede analizar el uso del material en otros sin fin de aplicaciones y de esa forma aportar innovación en la rama de la ingeniería civil.



## BIBLIOGRAFÍA

1. BAÑON BLÁZQUEZ, Luis; BEVÍA GARCÍA, José F. *Manual de carreteras*. Facultad de ingeniería. Universidad de España, 2000. 409 p.
2. Comité Guatemalteco de Normas. *Métodos de ensayo para tubos de concreto y secciones de pozos de visita*. Guatemala: COGUANOR, 2009. 33 p.
3. \_\_\_\_\_ . *Tubos de concreto reforzado para conducción de aguas servidas, desechos industriales y aguas pluviales o de escorrentía*. Guatemala: COGUANOR, 2009. 24 p.
4. FLÓREZ CASILLAS, Victor. ITURRIAGA NÚÑEZ, Beatriz. *Calculo de Obras de Drenaje Transversal de Carreteras. Dirección de Presas y Obras Hidráulicas de FCC Construcción, S.A.* Estados Unidos, 2018. 15 p.
5. GÁLVEZ ÁLVAREZ, Hugo Alejandro. *Planificación y Diseño de los Sistema de Drenaje Sanitario y Pluvial de la Cabecera Municipal de Pasaco, Jutiapa*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2004. 84 p.
6. GIRÓN CORDÓN, María del Mar. *Propuesta de Plan de Atención de Emergencias ante los Efectos de Sismos para la Alcandía Auxiliar de la Zona Cinco de la Ciudad Capital /*. Trabajo de graduación de

Ing. Civil. Facultad de ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala., 2007. 183 p.

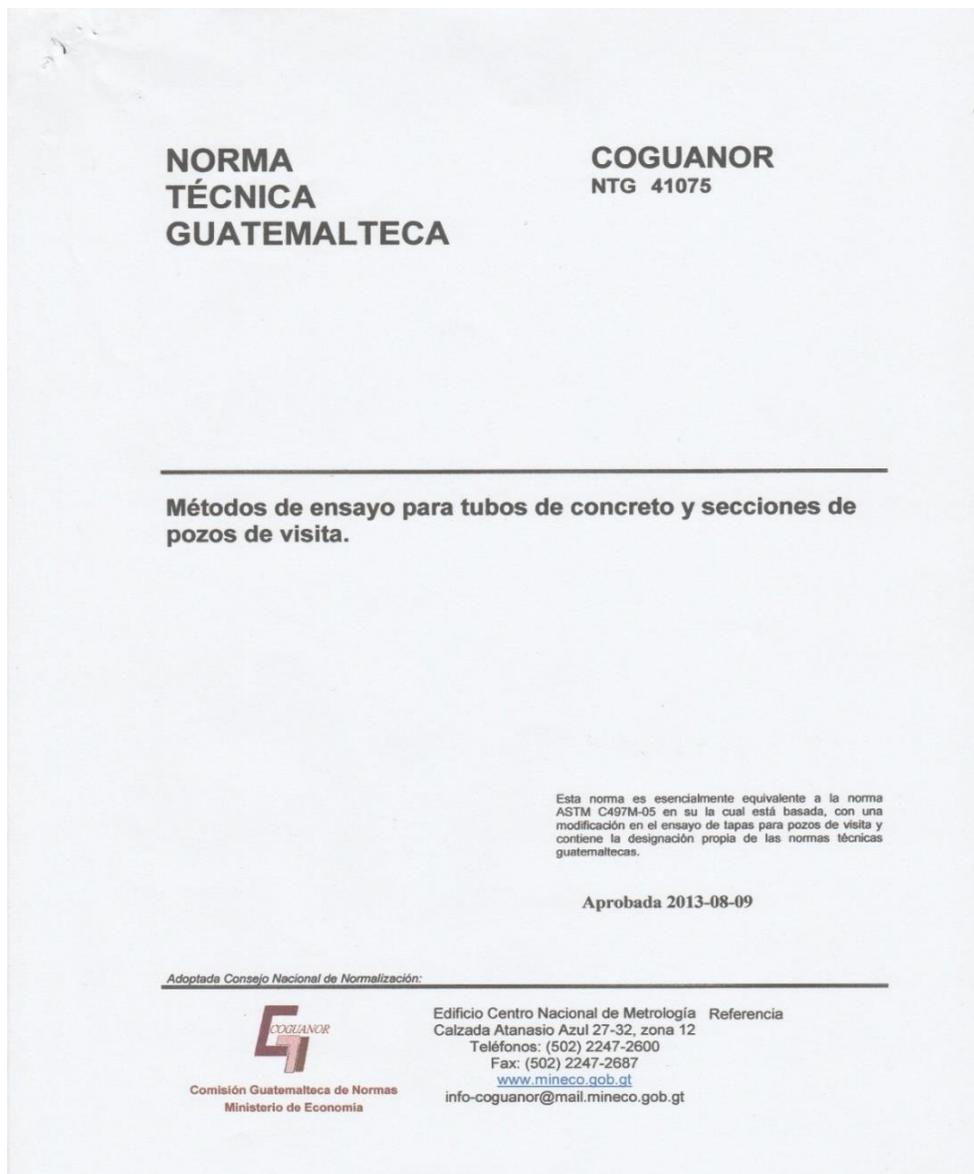
7. Ingeniería civil. [en línea].  
<[http://www.carreteros.org/normativa/drenaje/5\\_2ic2016/apartados/4.htm](http://www.carreteros.org/normativa/drenaje/5_2ic2016/apartados/4.htm)>. [Consulta: 20 de octubre 2018].
8. \_\_\_\_\_. [en línea]. <<http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/metodos-para-el-calculo-de-la-precipitacion-media-en-una-cuenca/>>.[Consulta: 20 de octubre 2018].
9. Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente. *Manual para la planificación, diseño, construcción y mantenimiento de caminos rurales con enfoque de gestión y adaptación a la variabilidad y al cambio climático*. Universidad Rafael Landívar, 2013. 91 p.
10. Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda, Dirección General de Caminos. *Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes*. Guatemala: 2001. 714 p.
11. Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda, Dirección General de Caminos. [en línea].<<https://www.caminos.gob.gt/quienessomos.html#quienessomos>> [Consulta: 26 de septiembre 2018].
12. \_\_\_\_\_. [en línea].<<http://www.civ.gob.gt/web/guest/40>>. [Consulta: 26 de septiembre 2018].

13. Ministerio de transportes y comunicaciones, Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. *Manual de Carreteras, Hidrología, Hidráulica y Drenajes*. Perú, 222 p.
14. PAZ STUBBS, Victor Manuel. *Propuesta de Diseño para el Desfogue del Agua Pluvial en el paso a desnivel de la 6a. Avenida y 24 calle zona 4, proyectado por la Municipalidad de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1999. 144 p.
15. SATUÉ VÁSQUEZ, María. *Estudio de drenaje transversal de un tramo de la carretera A-308 en T.M. Darro. Análisis de socavaciones en las distintas alternativas de puentes sobre el Arroyo de Rambla Seca*. Universidad de Sevilla. Facultad de ingeniería. España. 2014. 123 p.
16. Sociedad Americana para Pruebas y Materiales. *Standard Specification for Reinforced Concrete Culvert, Storm Drain, And Sewer Pipe* Estados Unidos: ASTM, 2002. 14 p.



# ANEXOS

## Anexo 1. Partes importantes de la norma técnica guatemalteca COGUANOR NTG 41 075



Continuación del anexo 1.

**Índice**

	<b>Página</b>
1 Objeto.....	
2 Documentos Citados.....	
3 Terminología.....	
4 Ensayo de carga externa de aplastamiento por el método de los tres apoyos.....	
5 Ensayo para tapas de pozos de visita.....	
6 Ensayo de resistencia de núcleos.....	
7 Ensayo de absorción.....	
8 Ensayo de presión hidrostática .....	
9 Ensayo de permeabilidad.....	
10 Ensayo de los peldaños del pozo de visita.....	
11 Ensayo de cilindros de concreto.....	
12 Ensayo de lubricantes para empaques.....	
13 Ensayo de juntas al corte.....	
14 Ensayo de alcalinidad de la mezcla de concreto.....	
15 Medición de las dimensiones y el volumen. de un empaque de hule.....	
16 Ensayo hidrostático de la junta fuera de centro.....	

## Continuación del anexo 1.

### 1. OBJETO

1.1 Esta norma establece los procedimientos para el ensayo de los tubos de concreto y de las secciones de pozos de visita. Los métodos de ensayo descritos se usan en ensayos de producción y aceptación para evaluar las propiedades previstas en las especificaciones.

1.2 Los métodos de ensayo se presentan en el siguiente orden:

	Sección
Ensayo de carga externa de aplastamiento por el método de los tres apoyos	4
Ensayo de tapas de pozos de visita	5
Ensayo de resistencia de núcleos de concreto	6
Ensayo de absorción	7
Ensayo de presión hidrostática	8
Ensayo de permeabilidad	9
Ensayo de los peldaños del pozo de visita	10
Ensayo de cilindros de concreto	11
Ensayo de lubricantes para empaques	12
Ensayo de juntas al corte	13
Ensayo de alcalinidad de la mezcla de concreto	14
Medición de los empaques	15
Ensayo hidrostático de la junta fuera de centro	16

1.3 Los especímenes de ensayo no se deben exponer a una temperatura inferior a 4°C durante las 24h inmediatamente anteriores a la realización del ensayo.

1.4 Si cualquiera de los especímenes falla debido a problemas mecánicos del equipo de ensayo o a una preparación inadecuada del espécimen, se debe descartar y tomar otro espécimen.

1.5 Los especímenes deben seleccionarse de acuerdo con las especificaciones para el tipo de tubo o tipo de sección de pozo de visita que se esté ensayando.

1.6 Esta norma no pretende señalar todos los problemas de seguridad, si los hubiere, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer las prácticas de seguridad y salubridad apropiadas y determinar la aplicabilidad de disposiciones regulatorias antes de su uso.

### 2. DOCUMENTOS CITADOS

#### 2.1 Normas NTG (ASTM)

NTG 41061 (ASTM C31/C31M)	Práctica para la elaboración y curado de especímenes de ensayo de concreto en la obra.
------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------

## Continuación del anexo 1.

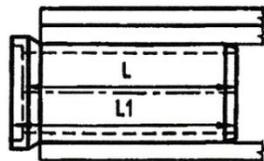
Norma COGUANOR NTG 41075		7/33
NTG 41017 h1 (ASTM C39/C39M)	Método de ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.	
NTG 41049 (ASTM C42/C42M)	Método de ensayo. Obtención y ensayo de núcleos perforados y vigas a aserradas de concreto.	
NTG 41064 (ASTM C617)	Práctica para el cabeceo de especímenes cilíndricos de concreto.	
(ASTM C670)	Práctica para la preparación de enunciados sobre precisión y sesgo para los métodos de ensayo de materiales de construcción.	
(ASTM C822)	Terminología referente a tubos de concreto y productos relacionados.	
NTG 41067 (ASTM C1231/C1231M)	Práctica para el uso de tapas no adheridas en la determinación de la resistencia a compresión de cilindros de concreto endurecidos.	
(ASTM D2240)	Método de ensayo. Determinación de la dureza del hule, por el durómetro.	
(ASTM E4)	Práctica para la verificación de las máquinas de ensayo.	
<b>3. TERMINOLOGIA</b>		
<b>3.1 Definiciones</b> – Para definiciones de términos relativos a tubos de concreto véase la terminología de ASTM C822.		
<b>4. ENSAYO DE RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO POR EL METODO DE LOS TRES APOYOS</b>		
<b>4.1 Resumen del método de ensayo</b> – El ensayo se hace en una máquina de ensayos diseñada para aplicar una fuerza de aplastamiento sobre un espécimen, en un plano a través del eje vertical que se extiende a lo largo del espécimen.		
<b>4.2</b> El método de ensayo de resistencia al aplastamiento puede ser tanto un ensayo de control de calidad para establecer que los tubos terminados y en condiciones de despacho, tengan la suficiente resistencia para resistir las cargas de aplastamiento señaladas en las especificaciones o bien, un ensayo de comprobación de diseño realizado para probar la adecuación de un diseño.		
<b>4.3 Equipo</b>		
<b>4.3.1 La máquina de ensayo</b> puede ser de cualquier tipo con la capacidad suficiente de suministrar la tasa de carga prescrita en 4.6.3.		

Continuación del anexo 1.

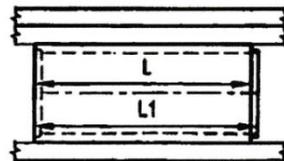
**4.3.2** La máquina de ensayo debe ser completamente sólida y rígida, de manera que la distribución de la carga no sea afectada apreciablemente por la deformación o cedencia de cualquier parte.

**4.3.3** Se debe usar el método de los tres apoyos. El espécimen de ensayo debe estar apoyado sobre un soporte inferior de dos listones longitudinales paralelos y la carga se aplica por medio de una viga superior. (Véase Fig. 1, a), b), c), d)).

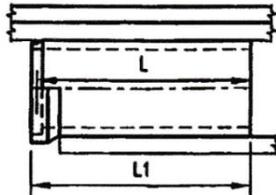
A criterio del fabricante, el soporte inferior, o la viga de soporte superior o ambos deben extenderse toda la longitud del espécimen o cualquier porción de la longitud del espécimen.



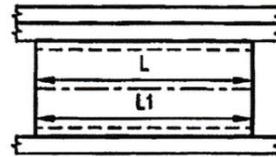
a) Tubo de lengua y ranura modificado o de campana y espiga



b) Tubo de lengua y ranura



c) Tubo de campana o espiga y un extremo liso



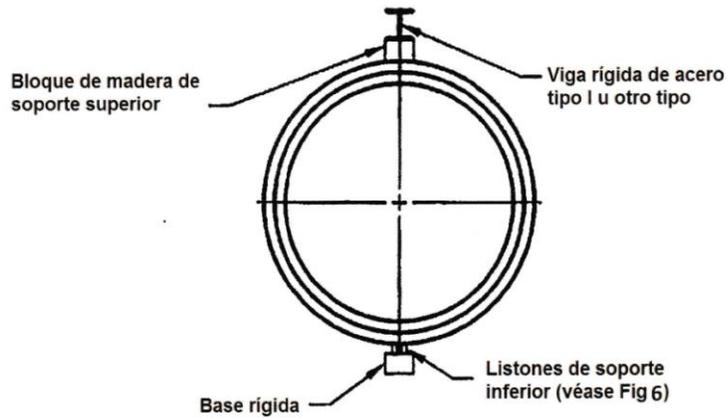
d) Tubo cortado o con los dos extremos lisos

Figura 1.

Continuación del anexo 1.

Norma COGUANOR NTG 41075

9/33



Nota 1 - Las figuras ilustran el método de aplicación de la carga el tubo

Fig. 2 - Ensayo de carga de los tres apoyos Tubo circular

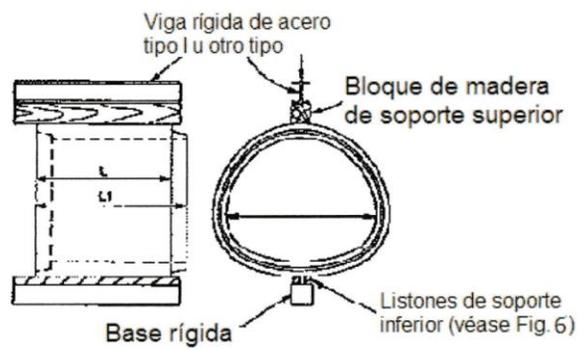


FIG. 3 - Método de los tres apoyos tubo elíptico

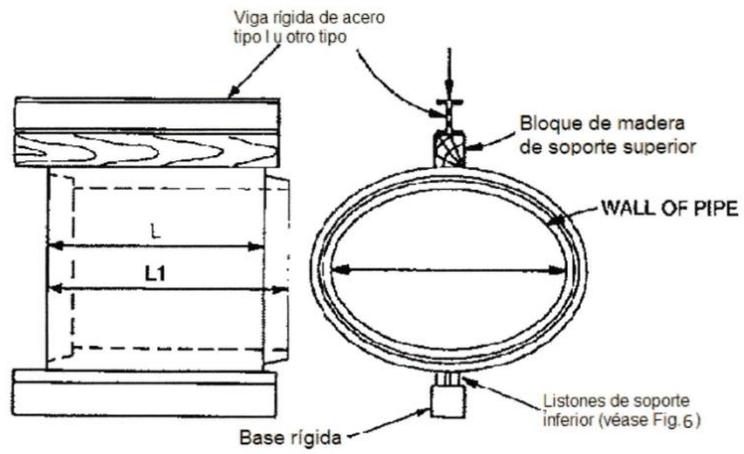


FIG. 4 - Método de los tres apoyos Tupo eliptico horizontal

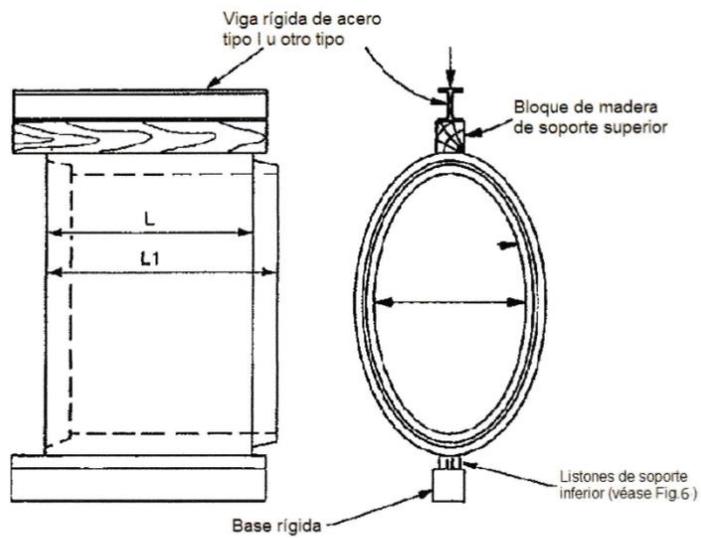


FIG. 5 - Método de los tres apoyos tubo eliptico vertical

## Continuación del anexo 1.

**4.3.4** Los soportes inferiores deben ser de listones de madera o bandas rígidas de hule. Los listones de madera deben ser rectos, con una sección transversal no menor de 50mm de ancho y no menor de 25mm ni mayor de 38mm de altura, con las esquinas superiores internas redondeadas a un radio de 13mm. Las bandas de hule rígido deben tener una dureza de durómetro ASTM D2240, no menor de 45 ni mayor de 60. Deben tener una sección rectangular, con un ancho no menor de 50mm, un espesor no menor de 25 ni mayor de 38mm, con las esquinas superiores internas redondeadas a un radio de 13mm.

**4.3.5** Los soportes inferiores se deben asegurar a una viga de madera o de acero o directamente a una base de concreto, cualquiera de las cuales proporcione suficiente rigidez para permitir la aplicación de una carga máxima sin una deflexión mayor de  $\frac{1}{720}$  de la longitud del espécimen. La base rígida debe tener por lo menos 150mm de ancho. Los lados interiores verticales de los listones o bandas deben estar paralelos y estar separados a una distancia no mayor de 25mm por 300mm de diámetro del espécimen, pero en ningún caso, menor que 25mm. Las caras de apoyo de los soportes inferiores no se deben desviar de una línea recta horizontal; vertical en más de 2.5mm/m de longitud, en condiciones sin carga.

**4.3.6** El soporte superior debe ser una viga rígida de madera con una banda de hule rígido o sin ella. La viga de madera debe ser sólida, libre de nudos y recta y alineada de extremo a extremo. Debe ser sujeta a una viga de acero o de acero revestida de madera, de dimensiones tales que la deflexión bajo carga máxima no debe ser mayor de  $\frac{1}{720}$  de la longitud del espécimen. La carga de apoyo del soporte superior, no se debe desviar de una línea recta en más de 2.5mm/m de longitud. Cuando se usa una banda de hule rígido en la cara de apoyo, esta debe tener una dureza de durómetro, ASTM D2240 no menor de 45 ni mayor de 60. Su ancho no debe ser menor de 50mm y su espesor no menor de 25mm ni mayor de 38mm y debe ser sujeta a una viga de madera que cumpla con los requisitos anteriores.

**4.3.7** Antes de la realización del ensayo y mediante acuerdo mutuo entre el comprador y el vendedor y previo a la colocación del espécimen, se puede fundir una tira de mortero de yeso de alta resistencia, que no exceda de 25mm de espesor, sobre la superficie de los soportes superior e inferior. El ancho del listón superior e inferior debe ser de un máximo de 80mm/m de diámetro del espécimen, pero en ningún caso inferior de 25mm.

**4.3.8** El equipo debe permitir que la carga se distribuya uniformemente a lo largo de la longitud total del espécimen (L1) (Véase Fig. 1). A criterio del fabricante, el centro de la carga puede ser aplicado en cualquier punto de la longitud total (L1) del espécimen. La carga puede ser aplicada en un punto individual o en múltiples puntos, dependiendo de la longitud del espécimen y de la rigidez del pórtico de ensayo.

**NOTA 1** – La aplicación de múltiples puntos de carga al soporte superior, permite el uso de vigas más livianas sin reflexiones apreciables.

**4.1 Calibración** – El dispositivo de carga debe proporcionar una exactitud de  $\pm 2\%$  de las cargas de ensayo especificadas. Se recomienda usar una curva de calibración. Las máquinas usadas para los ensayos de carga de tres apoyos deben ser verificados de acuerdo con la práctica ASTM E4.

**4.5 Acondicionamiento** – A opción del fabricante no son necesarios los requisitos de humedad indicados en 1.3.

#### **4.6 Procedimiento**

**4.6.1** Se coloca el espécimen sobre los dos listones del soporte inferior, de tal forma que el tubo descansa firmemente y con el apoyo más uniforme posible en cada listón.

**4.6.2** Se marcan los dos extremos del espécimen en un punto intermedio entre los listones de soporte inferior y luego se establece el punto diametralmente opuesto en cada extremo. Se coloca la viga de soporte superior alineada con estas marcas.

**4.6.3** Para tubos de concreto reforzado se puede usar cualquier velocidad de aplicación de carga hasta un máximo de 109.4KN/metro lineal de tubo, por minuto, hasta el 75% de la resistencia de diseño especificada. En este momento, la velocidad de aplicación de carga se debe reducir a una tasa uniforme máxima de 4.3.8 kN/metro lineal de tubo, por minuto. Si se están determinando la resistencia de diseño y la resistencia última a la rotura, no es necesario mantener una tasa específica de carga, una vez que se ha alcanzado la resistencia de diseño. Para los tubos de concreto no reforzado, se puede usar cualquier tasa de aplicación de carga hasta un máximo de 109.4 kN/metro lineal de tubo, por minuto hasta el 75% de la resistencia última a la rotura especificada. En este momento la velocidad de aplicación de carga se debe reducir a una tasa uniforme máxima de 43.8 kN/ metro lineal de tubo, por minuto.

**4.6.4** Como se define en la terminología ASTM C822, la resistencia de diseño en la carga máxima expresada como carga D, que soporta un tubo antes de que se produzca una grieta de 0.3mm de ancho en una longitud continua de 300mm o más, medida paralelamente al eje longitudinal del cuerpo del tubo. La grieta tiene un ancho de 0.3mm, cuando la punta del calibrador de medición penetra sin forzarlo, 1.5mm a intervalos cortos a través de la distancia especificada de 300mm. El ancho de la grieta se mide por medio de un calibrador de hoja (como el juego de calibradores de un mecánico) con una punta de 1.5mm de ancho con extremos redondeados y con un adelgazamiento de 0.25mm/mm como se indica en la Fig. 7.

Continuación del anexo 1.

Norma COGUANOR NTG 41075

13/33

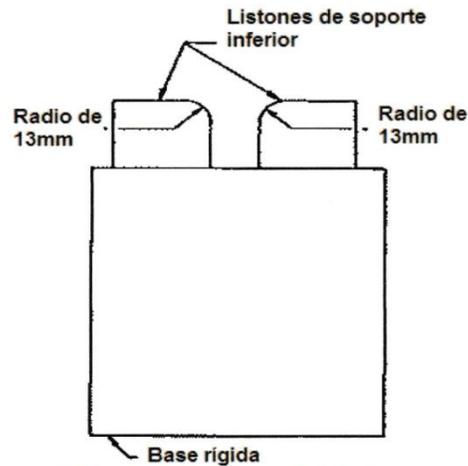


FIG. 6 - Detalle de soporte inferior

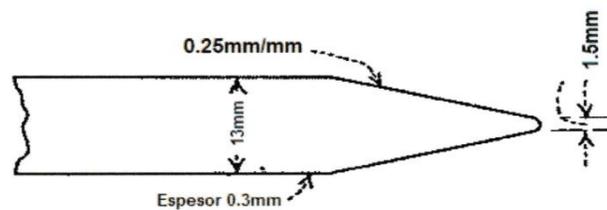


FIG. 7 - Calibrador de hoja para medida de grietas

**NOTA 2** – Como se utiliza en esta norma, la grieta de 0.3mm es un criterio de ensayo para el tubo sometido al ensayo de los tres apoyos y no pretende ser una indicación de la falla o sobre fatiga de un tubo bajo las condiciones de instalación.

**4.6.5** Como se define en la terminología ASTM C822, la resistencia última a la rotura es la carga máxima suportada por el tubo.

**NOTA 3** – La resistencia última a la rotura de los tubos de concreto enterrados, depende de varios factores del encamamiento o cimentación, y de las diferentes clases de falla, es posible que no tenga

Fuente: Comité Guatemalteco de Normas. *Métodos de ensayo para tubos de concreto y secciones de pozos de visita*. 15 p.

## Anexo 2. Requisitos de diseño para tubos de concreto reforzado, según norma COGUANOR NTG 41 077

Norma COGUANOR NTG 41077

22/24

### Cuadro 1 – Requisitos de diseño para tubos de concreto reforzado CLASE C<sub>R</sub>

**NOTA 1** – Véase sección 5 relacionada con los criterios de aceptación establecidos por el comprador.

**NOTA 2** – El uso recomendado para esta tubería se limita a pozos de absorción, pozos de visita o para las sobrecargas que no excedan los límites de resistencia indicados en este cuadro.

Los requisitos del ensayo de resistencia en newtons por metro lineal de tubo según el método de los tres apoyos será, bien sea la carga D (carga de ensayo expresada en newtons por metro lineal, por milímetro de diámetro) para producir una grieta de 0.3mm, o las cargas D para producir una grieta de 0.3 mm y la carga última de rotura como se especifica abajo, multiplicada por el diámetro interno del tubo en milímetros.

CLASE C <sub>R</sub>												N	K <sub>G</sub>	
												Carga D para producir grieta de 0.3mm =	40.0	4.1
												Carga D para producir carga última =	60.0	6.1
Reforzo en cm <sup>2</sup> por metro lineal de tubo														
Diámetro Nominal Interno	Pared A						Pared B							
	Concreto de 3,000 PSI (20.7 Mpa)						Concreto de 3,000 PSI (20.7 Mpa)							
	Espesor Pared		Reforzo circular <sup>B</sup>		Reforzo Elíptico <sup>C</sup>		Espesor Pared		Reforzo circular <sup>B</sup>		Reforzo Elíptico <sup>C</sup>			
Pulgadas	mm	Pulgadas	mm	Canasta Interior	Canasta Exterior	Pulgadas	mm	Pulgadas	mm	Canasta Interior	Canasta Exterior	Reforzo Elíptico		
12	305	1 3/4	45	1.25 <sup>B</sup>	----	----	2	51	1.25 <sup>B</sup>	----	----	----		
16	407	1 7/8	48	1.25 <sup>B</sup>	----	----	2 1/4	58	1.25 <sup>B</sup>	----	----	----		
18	458	2	51	1.25 <sup>B</sup>	----	1.25	2 1/2	64	1.25 <sup>B</sup>	----	----	1.25 <sup>B</sup>		
20	508	2 1/4	58	2.1	----	1.75	2 3/4	70	1.25 <sup>B</sup>	----	----	1.25 <sup>B</sup>		
24	610	2 1/2	64	2.4	----	2.0	3	77	1.25 <sup>B</sup>	----	----	1.25 <sup>B</sup>		
28	712	2 5/8	67	2.7	----	2.4	3 1/4	83	2.2	----	----	1.8		
30	762	2 3/4	70	2.7	----	2.5	3 1/2	89	2.4	----	----	2.0		
32	813	2 7/8	74	3.0	----	2.7	3 3/4	96	2.5	----	----	2.2		
36	915	3	77	3.0	1.5	2.7	4	100	2.0	1.3	2.2	2.2		
42	1067	3 1/2	89	2.9	1.7	3.2	4 1/2	115	2.5	1.6	2.8	2.8		
48	1220	4	102	3.8	2.3	4.1	5	127	3.0	1.9	3.3	3.3		
54	1372	4 1/2	115	4.5	2.7	5.0	5 1/2	140	3.7	2.3	4.0	4.0		
60	1524	5	127	5.3	3.2	5.9	6	150	4.4	2.6	4.9	4.9		
66	1677	5 1/2	140	6.4	3.8	7.0	6 1/2	163	5.3	3.2	5.8	5.8		
72	1829	6	153	7.4	4.4	8.3	7	175	6.1	3.7	6.8	6.8		
78	1982	6 1/2	166	8.5	5.1	9.3	7 1/2	188	6.8	4.1	7.6	7.6		
84	2134	7	178	9.5	5.7	10.6	8	200	7.6	4.7	8.7	8.7		
90	2286	7 1/2	191	10.4	6.2	11.4	8 1/2	213	8.7	5.2	9.7	9.7		
96	2439	8	204	11.4	6.8	12.7	9	225	9.7	5.8	10.8	10.8		

<sup>B</sup> Como una alternativa para diseños que requieren ambas canastas circulares (interna y externa) el reforzo puede ser colocado y proporcionado en una de las siguientes formas:

- Una canasta circular interior más una canasta elíptica de tal forma que el área de la canasta elíptica no sea menor a la especificada en el cuadro para la canasta exterior, y el área total de la canasta circular interior y la elíptica no sea menor que la especificada en el cuadro para la canasta interior.

- Una canasta interior y exterior en los cuadrantes emparillados de acuerdo con la Figura 2 ó una canasta interior y exterior con una canasta elíptica de acuerdo con la Fig. 1.

<sup>C</sup> El reforzo elíptico y de cuadrantes puede sujetarse en su lugar por medio de varillas, estribos u otros medios.

Continuación del anexo 2.

Norma COGUANOR NTG 41077

23/24

**Cuadro 2 – Requisitos de diseño para tubos de concreto reforzado CLASE B**

**NOTA 1** – Véase sección 5 relacionada con los criterios de aceptación establecidos por el comprador.

**NOTA 2** – Esta clase de tubería es equivalente a la Clase II de la norma ASTM C76M-12 para las para los espesores de pared descritos.

Los requisitos del ensayo de resistencia en newtons por metro lineal de tubo según el método de los tres apoyos será, bien sea la carga D (carga de ensayo expresada en newtons por metro lineal, por milímetro de diámetro) para producir una grieta de 0.3mm, o las cargas D para producir una grieta de 0.3 mm y la carga última de rotura como se especifica abajo, multiplicada por el diámetro interno del tubo en milímetros.

CLASE B <sub>R</sub>											N	Kg	
											Carga D para producir grieta de 0.3mm =	50.0	5.1
											Carga D para producir carga última =	75.0	7.6
Reforzo en cm <sup>2</sup> por metro lineal de tubo													
Diámetro Nominal Interno		Pared A						Pared B					
		Concreto de 4,000 PSI (27.6 Mpa)						Concreto de 4,000 PSI (27.6 Mpa)					
		Espesor Pared		Reforzo Circular <sup>B</sup>		Reforzo <sup>C</sup>		Espesor Pared		Reforzo Circular <sup>B</sup>		Reforzo <sup>C</sup>	
Pulgadas	mm	Pulgadas	mm	Canasta Interior	Canasta Exterior	Reforzo Elíptico	Pulgadas	mm	Canasta Interior	Canasta Exterior	Reforzo Elíptico		
12	305	1 3/4	45	1.5 <sup>D</sup>	----	----	2	51	1.5 <sup>D</sup>	----	----		
16	407	1 7/8	48	1.5 <sup>D</sup>	----	----	2 1/4	58	1.5 <sup>D</sup>	----	----		
18	458	2	51	1.5 <sup>D</sup>	----	1.5	2 1/2	64	1.5 <sup>D</sup>	----	1.5 <sup>D</sup>		
20	508	2 1/4	56	2.5	----	2.1	2 3/4	70	1.5 <sup>D</sup>	----	1.5 <sup>D</sup>		
24	610	2 1/2	64	2.8	----	2.3	3	77	1.5 <sup>D</sup>	----	1.5 <sup>D</sup>		
28	712	2 5/8	67	3.2	----	2.8	3 1/4	83	2.90	----	2.3		
30	762	2 3/4	70	3.2	----	3.0	3 1/2	89	3.00	----	2.5		
32	813	2 7/8	74	3.4	----	3.2	3 3/4	96	3.20	----	2.8		
36	915	3	77	3.0	1.8	3.2	4 <sup>E</sup>	100 <sup>F</sup>	2.5	2.8	2.8		
42	1067	3 1/2	89	3.4	2.0	3.8	4 1/2	115	3.2	3.6	3.6		
48	1220	4	102	4.5	2.7	4.9	5	127	3.8	4.2	4.2		
54	1372	4 1/2	115	5.3	3.2	5.9	5 1/2	140	4.7	5.1	5.1		
60	1524	5	127	6.4	3.8	7.0	6	150	5.3	5.9	5.9		
66	1677	5 1/2	140	7.4	4.4	8.3	6 1/2	163	6.6	7.2	7.2		
72	1829	6	153	8.7	5.2	9.5	7	175	7.4	8.3	8.3		
78	1982	6 1/2	166	9.7	5.8	10.8	7 1/2	188	8.5	9.3	9.3		
84	2134	7	178	10.8	6.5	12.1	8	200	9.7	10.8	10.8		
90	2286	7 1/2	191	12.1	7.3	13.3	8 1/2	213	10.8	12.1	12.1		
96	2439	8	204	13.1	7.9	14.6	9	225	12.1	13.3	13.3		
Concreto de 5,000 PSI (34.5 Mpa)													
102	2591	8 1/2	216	16.1	9.7	Reforzo Circular + Elíptico	6.4	9 1/2	242	14.1	8.6	Reforzo Circular + Elíptico	5.8
							9.7						8.6
108	2744	9	229	18.0	10.8	Reforzo Circular + Elíptico	7.2	10	254	16.1	9.7	Reforzo Circular + Elíptico	6.4
							10.8						9.7
114	2896	A	----	----	----	----	A	----	----	----	----	----	----
120	3048	A	----	----	----	----	A	----	----	----	----	----	----
126	3201	A	----	----	----	----	A	----	----	----	----	----	----
132	3353	A	----	----	----	----	A	----	----	----	----	----	----
138	3506	A	----	----	----	----	A	----	----	----	----	----	----
144	3658	A	----	----	----	----	A	----	----	----	----	----	----

<sup>A</sup> Para modificaciones o diseños especiales o diseños especiales véase 7.2 o con la aceptación del comprador se pueden usar lo establecido con especificación ASTM C655 M. Las áreas de acero pueden ser interpoladas entre aquellas que se muestran para diferentes variaciones en diámetros, cargas o espesores de pared. Los tubos con diámetros mayores de 2400mm tendrán dos canastas circulares o una circular interna más una canasta elíptica.

<sup>B</sup> Como una alternativa para diseños que requieren ambas canastas circulares (interna y externa) el reforzo puede ser colocado y proporcionado en una de las siguientes formas:

- Una canasta circular interior más una canasta elíptica de tal forma que el área de la canasta elíptica no sea menor a la especificada en el cuadro para la canasta exterior, y el área total de la canasta circular interior y la elíptica no sea menor que la especificada en el cuadro para la canasta interior.

- Una canasta interior y exterior en los cuadrantes emparrillados de acuerdo con la Figura 2 ó una canasta interior y exterior con una canasta elíptica de acuerdo con la Fig. 1.

<sup>C</sup> El reforzo elíptico y de cuadrantes puede sujetarse en su lugar por medio de varillas, estribos u otros medios.

<sup>D</sup> Para estas clases y tamaños, se especifica el mínimo reforzo práctico. La resistencia última especificada para tubos no reforzados es mayor que la resistencia mínima especificada para diámetros equivalentes de tubos reforzados.

<sup>E</sup> Como alternativa, puede usarse una sola canasta de reforzo. El área del reforzo en cm<sup>2</sup> por metro lineal debe ser de 4.2 para Pared B y de 3.4 para Pared C.

Continuación del anexo 2.

Norma COGUANOR NTG 41077

24/24

**Cuadro 3 – Requisitos de diseño para tubos de concreto reforzado CLASE A**

**NOTA 1** – Véase sección 5 relacionada con los criterios de aceptación establecidos por el comprador.

**NOTA 2** – Esta clase de tubería es equivalente a la Clase III de la norma ASTM C76M-12 para las para los espesores de pared descritos.

Los requisitos del ensayo de resistencia en newtons por metro lineal de tubo según el método de los tres apoyos será, bien sea la carga D (carga de ensayo expresada en newtons por metro lineal, por milímetro de diámetro) para producir una grieta de 0.3mm, o las cargas D para producir una grieta de 0.3 mm y la carga última de rotura como se especifica abajo, multiplicada por el diámetro interno del tubo en milímetros.

CLASE A <sub>R</sub>											N	Kg		
											Carga D para producir grieta de 0.3mm =	65.0	6.6	
											Carga D para producir carga última =	100.0	10.2	
Reforzo en cm <sup>2</sup> por metro lineal de tubo														
Diámetro Nominal Interno	Pared A						Pared B							
	Concreto de 4,000 PSI (27.6 Mpa)						Concreto de 4,000 PSI (27.6 Mpa)							
	Espesor Pared		Reforzo Circular <sup>B</sup>		Reforzo Elíptico <sup>C</sup>		Espesor Pared		Reforzo Circular <sup>B</sup>		Reforzo Elíptico <sup>C</sup>			
Pulgadas	mm	Pulgadas	mm	Canasta Interior	Canasta Exterior	Pulgadas	mm	Canasta Interior	Canasta Exterior	Pulgadas	mm	Canasta Interior	Canasta Exterior	Reforzo Elíptico <sup>C</sup>
12	305	1 3/4	45	1.5 <sup>D</sup>	----	----	2	51	1.5 <sup>D</sup>	----	----	----	----	----
16	407	1 7/8	45	1.5 <sup>D</sup>	----	----	2 1/4	58	1.5 <sup>D</sup>	----	----	----	----	----
18	458	2	51	1.5 <sup>D</sup>	----	----	2 1/2	64	1.5 <sup>D</sup>	----	----	----	----	1.5 <sup>D</sup>
20	508	2 1/4	58	3.0	----	----	2 3/4	70	1.5 <sup>D</sup>	----	----	----	----	1.5 <sup>D</sup>
24	610	2 1/2	64	3.6	----	----	3	77	1.5 <sup>D</sup>	----	----	----	----	1.5 <sup>D</sup>
28	712	2 5/8	67	3.8	----	----	3 1/4	83	3.4	----	----	----	----	3.0
30	762	2 3/4	70	4.0	----	----	3 1/2	89	3.8	----	----	----	----	3.2
32	813	2 7/8	74	4.4	----	----	3 3/4	96	4.2	----	----	----	----	3.6
36	915	3	77	4.4	2.6	4.7	4 <sup>E</sup>	100 <sup>F</sup>	3.6	2.2	4.0	----	----	4.0
42	1067	3 1/2	89	5.3	3.2	5.9	4 1/2	115	4.4	2.6	4.9	----	----	4.9
48	1220	4	102	6.8	4.1	7.4	5	127	5.1	3.1	5.7	----	----	5.7
54	1372	4 1/2	115	8.0	4.8	8.9	5 1/2	140	6.1	3.7	6.8	----	----	6.8
60	1524	5	127	9.3	5.6	10.4	6	150	7.2	4.3	8.0	----	----	8.0
66	1677	5 1/2	140	10.6	6.4	11.6	6 1/2	163	9.1	5.5	9.7	----	----	9.7
72	1829	6	153	12.1	7.3	13.3	7	175	10.4	6.2	11.4	----	----	11.4
Concreto de 5,000 PSI (34.5 Mpa)														
78	1982	6 1/2	166	13.5	8.1	15.0	7 1/2	188	12.1	7.3	13.3	----	----	13.3
84	2134	7	178	15.2	9.1	16.9	8	200	13.5	8.1	15.0	----	----	15.0
Concreto de 5,000 PSI (34.5 Mpa)														
90	2286	7 1/2	191	17.2	10.3	19.1	8 1/2	213	14.6	8.8	16.3	----	----	16.3
96	2439	8	204	19.7	11.8	21.8	9	225	16.1	9.7	17.8	----	----	17.8
102	2591	8 1/2	216	21.8	----	Reforzo Circular + Elíptico	8.7	9 1/2	242	19.1	11.5	Reforzo Circular + Elíptico	7.6	11.5
							13.1							
108	2744	9	229	25.8	----	Reforzo Circular + Elíptico	10.3	10	254	22.9	13.7	Reforzo Circular + Elíptico	9.2	13.7
							15.5							
114	2896	A	----	----	----	----	A	----	----	----	----	----	----	----
120	3048	A	----	----	----	----	A	----	----	----	----	----	----	----
126	3201	A	----	----	----	----	A	----	----	----	----	----	----	----
132	3353	A	----	----	----	----	A	----	----	----	----	----	----	----
138	3506	A	----	----	----	----	A	----	----	----	----	----	----	----
144	3658	A	----	----	----	----	A	----	----	----	----	----	----	----

<sup>A</sup> Para modificaciones o diseños especiales o diseños especiales véase 7.2 o con la aceptación del comprador se pueden usar lo establecido con especificación ASTM C655 M. Las áreas de acero pueden ser interpoladas entre aquellas que se muestran para diferentes variaciones en diámetros, cargas o espesores de pared. Los tubos con diámetros mayores de 2400mm tendrán dos canastas circulares o una circular interna más una canasta elíptica.

<sup>B</sup> Como una alternativa para diseños que requieren ambas canastas circulares (interna y externa) el reforzo puede ser colocado y proporcionado en una de las siguientes formas:

- Una canasta circular interior más una canasta elíptica de tal forma que el área de la canasta elíptica no sea menor a la especificada en el cuadro para la canasta exterior, y el área total de la canasta circular interior y la elíptica no sea menor que la especificada en el cuadro para la canasta interior.

- Una canasta interior y exterior en los cuadrantes emparillados de acuerdo con la Figura 2 ó una canasta interior y exterior con una canasta elíptica de acuerdo con la Fig. 1.

<sup>C</sup> El reforzo elíptico y de cuadrantes puede sujetarse en su lugar por medio de varillas, estribos u otros medios.

<sup>D</sup> Para estas clases y tamaños, se especifica el mínimo reforzo práctico. La resistencia última especificada para tubos no reforzados es mayor que la resistencia mínima especificada para diámetros equivalentes de tubos reforzados.

<sup>E</sup> Como alternativa, puede usarse una sola canasta de reforzo. El área del reforzo en cm<sup>2</sup> por metro lineal debes ser de 6.4 para Pared B y de 4.2 para Pared C.

- Última línea -

Fuente: Comité Guatemalteco de Normas. *Requisitos de diseño para tubos de concreto reforzado*. 24 p.

## Anexo 3. Informe No. EP 24/08/2018. CII



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No. EP 24/08/2018

O.T.: 38875

INTERESADO: JULIO CESAR ARROYO MORALES  
ASUNTO: ENSAYO DE TUBO DE CONCRETO CON REFUERZO  
FECHA: 24/08/2018

### GENERALIDADES

El interesado solicitó los servicios de la Sección de Estructuras del CII para realizar el ensayo a compresión de un tubo de 60 pulgadas de diámetro de concreto reforzado, por medio del método de *Las tres aristas*.

### DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

El ensayo realizado recibe el nombre de "Las tres aristas" ya que en la parte inferior es apoyado el tubo de concreto por dos apoyos y en la parte superior se coloca una tercera arista en donde se aplica la carga. Para la debida distribución de carga se coloca un elastómero entre la viga de carga y el tubo. Para el tubo de 60 pulgadas se utiliza el marco de carga. Las normas empleadas en este ensayo son la ASTM C 76-02.

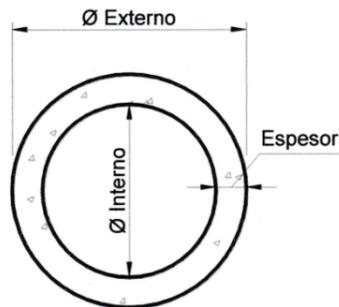


Figura No.1 – Sección transversal tubo de concreto

Página 1 de 12

Continuación del anexo 3.



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No. EP 24/08/2018

O.T.: 38875

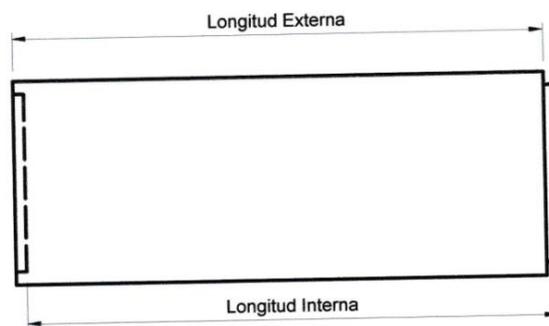


Figura No.2 – Sección longitudinal tubo de concreto

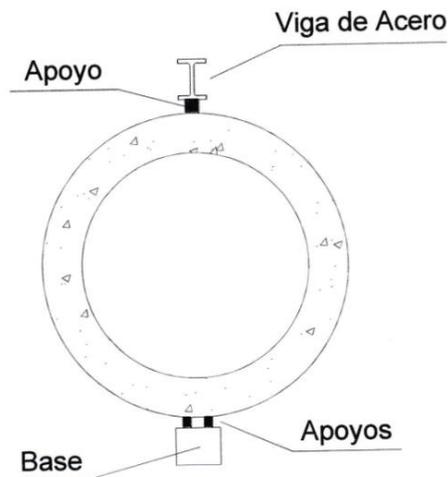


Figura No.3 – Puntos de apoyo del ensayo realizado

Página 2 de 12

Continuación del anexo 3.

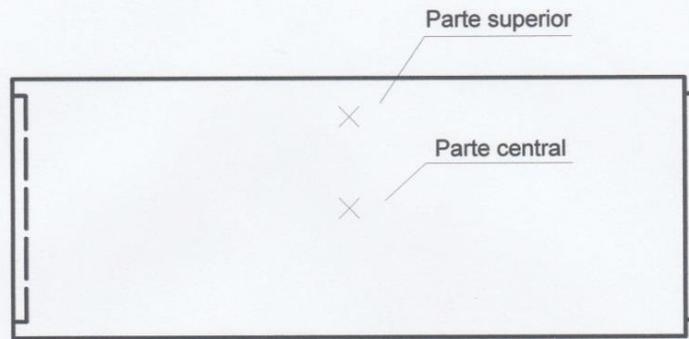


Figura No.4 – Puntos de lectura de variación temperatura

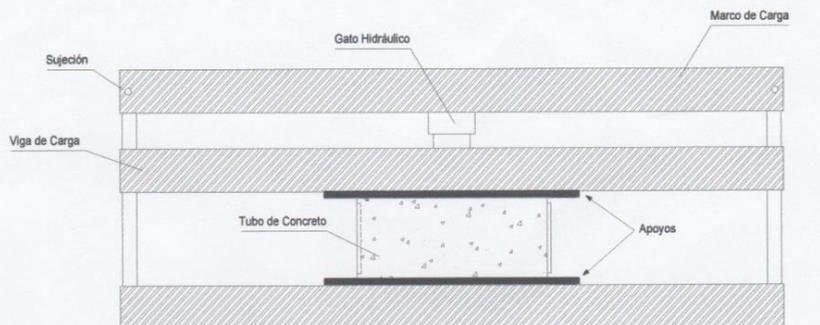


Figura No.5 – Esquema ensayo Tipo 1 (diámetro de 60 pulgadas), método "Tres Aristas"

Continuación del anexo 3.

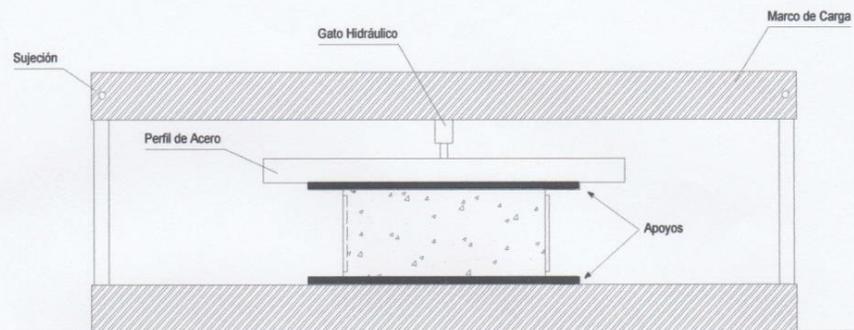


Figura No.6 – Esquema ensayo Tipo 2, método “Tres Aristas”

#### DATOS DEL ENSAYO

#### ENSAYO A COMPRESIÓN TUBO DE CONCRETO REFORZADO

DATOS DEL TUBO			
Espesor	14.23 cm	5.60 pulg	0.47 pies
Diámetro interno	1.51 m	60 pulg	5 pies
Diámetro externo	1.79 m	70 pulg	5.87 pies

Tabla No. 1 – Datos iniciales del tubo

Continuación del anexo 3.



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



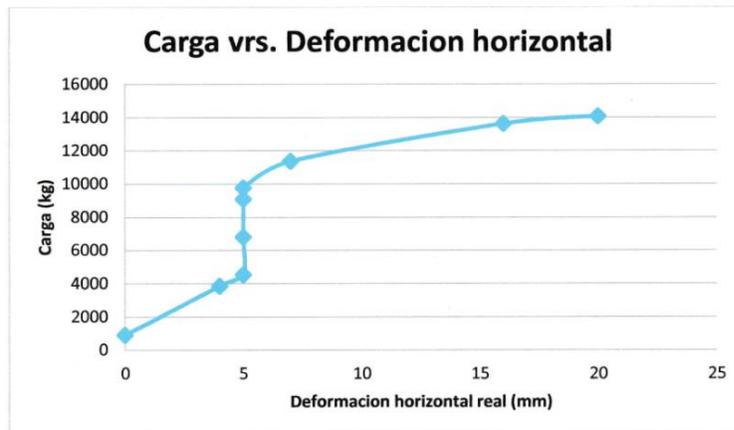
INFORME No. EP 24/08/2018

O.T.: 38875

DATOS DEL ENSAYO

Carga (kg)	Deformación Horizontal (mm)	Deformación Vertical (mm)
909,1	0	0
3863,6	4	0
4545,5	5	6
6818,2	5	6
9090,9	5	6
9772,7	5	6
11363,6	7	14
13636,4	16	19
14090,9	20	120
14147,7	Falla	

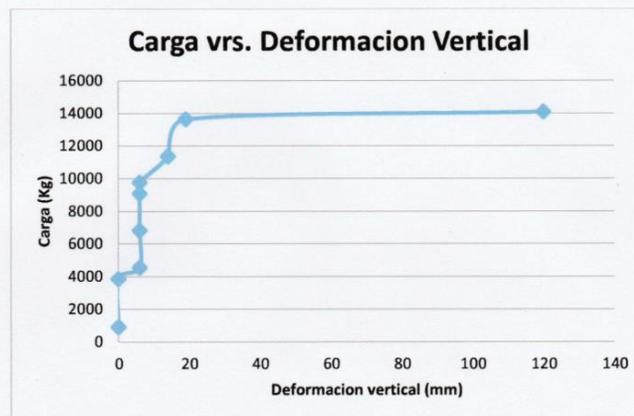
Tabla No. 2 – Datos del ensayo a compresión del tubo



Grafica No. 1 – Carga vs. Deformación horizontal del tubo de concreto reforzado

Página 5 de 12

Continuación del anexo 3.



Grafica No. 2 – Carga vs. Deformación Vertical del tubo de concreto reforzado



Grafica No. 3 – Deformación Vertical vs. Deformación horizontal

Continuación del anexo 3.



Grafica No. 4 – Carga vs. Observación del tubo de concreto reforzado

**RESULTADOS DE ENSAYO**

Tubo de Concreto Reforzado				
Tipo	Carga primera grieta	Carga ultima	Resistencia Mínima (Método tres aristas)	Clasificación ASTM C 76-02
Concreto Reforzado	6 818.2 kg	14 090.9 kg	4 515.35 kg-ml/md	Clase I Tipo A
	15 000 lb	31 000 lb	923.35 lb- pl/pd	

Tabla No. 3 – Resultado de ensayo de tubo de concreto reforzado

Continuación del anexo 3.



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No. EP 24/08/2018

O.T.: 38875

**NOTA:**

- ml y pl: metros lineales y pies lineales.
- md y pd: metros de diámetro y pies de diámetro.

Tubo de Concreto Reforzado reparado con Manta Geo sintética con compuesto cementicio (GCCM)		
Tipo	Carga ultima (kg)	Observaciones
Concreto Reforzado	Sobrepasa la carga de primera grieta correspondiente a 6818.2 kg	No se observaron fisuras en el encamisado proporcionándole impermeabilidad y un soporte adicional a la sección circular.

Tabla No. 4 – Resultado de tubo de concreto reforzado más encamisado

**INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

La tubería de concreto reforzado de 59.45 pulg. (60 pulg. en diámetro comercial), mediante la aplicación de carga vertical presentó la primera grieta en 6818.2 kg, permitiendo determinar su clasificación según la norma ASTM C 76-02 como Clase I Tipo A, con diámetro interior de 60 pulgadas y espesor de pared de 12.7 cm<sup>2</sup> (5 pulg.), y cumpliendo con lo especificado para refuerzo circular interior mínimo de 1.613 cm<sup>2</sup> (0.25 pulg<sup>2</sup>).

Página 8 de 12

Continuación del anexo 3.



### ANÁLISIS DEL REFUERZO



Imagen No. 1 – Espaciamiento de refuerzo circular

CARACTERÍSTICAS DEL REFUERZO CIRCULAR		
No. varillas	Espaciamiento entre varillas	Refuerzo Longitudinal diámetro (mm)
20	Varía entre 3 cm y 7 cm	7.4

Tabla No. 5 – Características del refuerzo circular

CARACTERÍSTICAS DEL REFUERZO TRANSVERSAL		
No. varillas	Espaciamiento entre varillas con respecto al perímetro	Refuerzo transversal diámetro (mm)
8	Varía entre 63 cm y 68 cm	7.4

Tabla No. 6 – Características del refuerzo transversal

Continuación del anexo 3.



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No. EP 24/08/2018

O.T.: 38875

**FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN DEL TUBO CON REFUERZO**



Imagen No. 2 – Colocación de tubo en el marco de carga

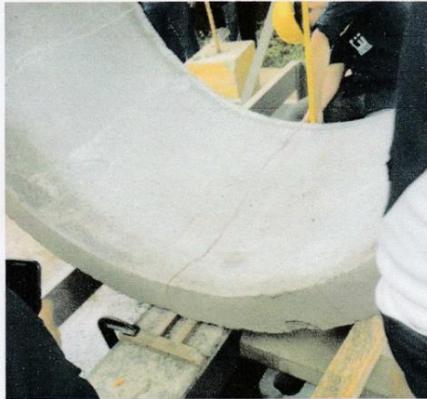


Imagen No. 3 – Aparición de primeras grietas

Página 10 de 12

Continuación del anexo 3.



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No. EP 24/08/2018

O.T.: 38875



Imagen No. 4 – Fisuras en la parte exterior del tubo



Imagen No. 5 – Proceso de preparación y encamisado de tubo de concreto

Página 11 de 12

Continuación del anexo 3.



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No. EP 24/08/2018

O.T.: 38875

#### CONCLUSION GENERAL

El tubo de concreto se clasifica como Clase I tipo A. La manta geo sintética con compuesto cementicio tiene la característica de brindarle protección a la parte interna, mejorando la resistencia mecánica un 10 por ciento de la resistencia a la primera grieta, además de proporcionar una buena protección hidráulica al tubo. El inconveniente del uso de la manta geo sintética fue el proceso de anclaje o instalación en el tubo.

#### RECOMENDACIONES

Definir el procedimiento adecuado de anclaje de la manta geo sintética al tubo en condiciones reales. Con respecto al tubo de concreto reforzado, mejorar la separación del refuerzo longitudinal y transversal del tubo de concreto.



Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila  
Sección de Estructuras

Mario Rodolfo Corzo A.  
INGENIERO CIVIL  
Colegiado No. 2089

Vo. Bo.

Ing. Pablo Christian de León Rodríguez  
Director CII



Página 12 de 12

FACULTAD DE INGENIERÍA – USAC  
Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. Informe No. EP 24/08/2018. CII.12 p.

