



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

**COMPARACIÓN ESTRUCTURAL ENTRE TAPADERAS DE CONCRETO
POLIMÉRICO REFORZADO Y TAPADERAS DE HIERRO COLADO**

Jorge Mario Alvarez Aguilar

Asesorado por el Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila

Guatemala, mayo de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**COMPARACIÓN ESTRUCTURAL ENTRE TAPADERAS DE CONCRETO
POLIMÉRICO REFORZADO Y TAPADERAS DE HIERRO COLADO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JORGE MARIO ALVAREZ AGUILAR

ASESORADO POR EL ING. MARIO RODOLFO CORZO ÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MAYO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santízo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

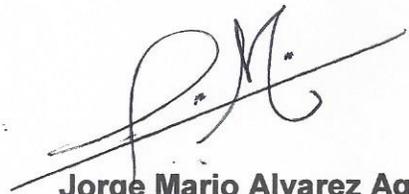
DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. José Gabriel Ordoñez Morales
EXAMINADOR	Ing. Juan Ramón Ordoñez Hernández
EXAMINADOR	Ing. José Fernando Samayoa Roldán
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

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:

COMPARACIÓN ESTRUCTURAL ENTRE TAPADERAS DE CONCRETO POLIMÉRICO REFORZADO Y TAPADERAS DE HIERRO COLADO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 23 de mayo de 2017.

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized initials and a surname, positioned above the printed name.

Jorge Mario Alvarez Aguilar



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



Guatemala, 15 de marzo del 2019

Ingeniero
José Gabriel Ordoñez Morales
Área de Materiales y Construcciones Civiles
COORDINADOR

Ingeniero Ordoñez:

Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación:
**“COMPARACIÓN ESTRUCTURAL ENTRE TAPADERAS DE CONCRETO
POLIMÉRICO REFORZADO Y TAPADERAS DE HIERRO COLADO”**, elaborado
por el estudiante universitario Jorge Mario Alvarez Aguilar, quien contó con la
asesoría del suscrito.

Considerando que dicho trabajo desarrollado por el estudiante Jorge Mario Alvarez
Aguilar, satisface los requisitos exigidos por el reglamento de graduación,
recomiendo su aprobación.

Atentamente,



Mario Rodolfo Corzo Ávila
Ingeniero Civil
Colegiado 2089

Mario Rodolfo Corzo A.
INGENIERO CIVIL
Colegiado No. 2089



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

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

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Guatemala,
29 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 **COMPARACIÓN ESTRUCTURAL ENTRE TAPADERAS DE CONCRETO POLIMÉRICO REFORZADO Y TAPADERAS DE HIERRO COLADO** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Jorge Mario Alvarez Aguilar, CUI 2154378530301 y No. De Registro Estudiantil 201212729 quien contó con la asesoría del Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila.

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 ENSEÑAD A TODOS


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



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/mrrm.

Más de 138 años de Trabajo y Mejora Continua

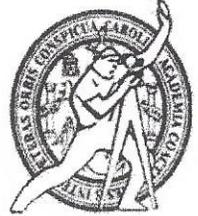




USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

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

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila y Coordinador del Departamento de Materiales y Construcciones Civiles Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Jorge Mario Alvarez Aguilar COMPARACIÓN ESTRUCTURAL ENTRE TAPADERAS DE CONCRETO POLIMÉRICO REFORZADO Y TAPADERAS DE HIERRO COLADO da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

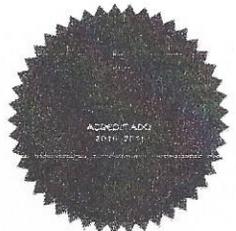

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, mayo 2019

/mrm.

Más de 138 años de Trabajo y Mejora Continua



Universidad de San Carlos
de Guatemala

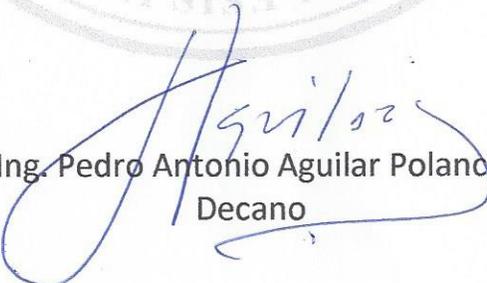


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 222.2019

El Decano 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: **COMPARACIÓN ESTRUCTURAL ENTRE TAPADERAS DE CONCRETO POLIMÉRICO REFORZADO Y TAPADERAS DE HIERRO COLADO**, presentado por el estudiante universitario: **Jorge Mario Alvarez Aguilar**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, mayo de 2019

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por ser mi todo, por ser mi creador, por la paz, el amor, la fortaleza, la sabiduría, la templanza, la alegría, el gozo, la esperanza, el consuelo, por ser mi Padre, por ser mi motivo de ser y existir.

Virgen María

Por ser mi intercesora, madre amorosa y ejemplo a seguir.

Mis padres

Baudilio Alvarez y Ericka Aguilar por ser las dos columnas en mi vida y por ser los dos seres de luz que iluminan mi caminar. Por su amor incondicional y desinteresado.

Mis hermanas

Daniela Alvarez Aguilar por llenar mis días de alegría y ternura. En especial a Maria Alvarez Aguilar por brindarme sus conocimientos y apoyo en todo sentido y así los tres formar el trípode en nuestra existencia.

AGRADECIMIENTOS A:

Pueblo de Guatemala	Porque gracias a los impuestos que pagan pude realizar y culminar mis estudios universitarios.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la <i>alma mater</i> y por instruirme en el área académica, laboral y de la vida.
Facultad de Ingeniería	Por abrirme las puertas y acogerme para formarme como profesional.
Ingeniero Mario Corzo	Por llegar a ser mi amigo, maestro, guía y SR.
Mis abuelos	Osmán Aguilar, María Guerra, Celso Alvarez, Ángela Valenzuela por ser motivo de apoyo, respaldo, amor y por sus sabios consejos.
Mis tíos	Porque desde temprana edad estuvieron apoyándome en mi formación en especial a Lilian Aguilar por brindarme su cariño y apoyo.
Mis primos	Diana Aguilar, Ligia Vega, Alejandra Aguilar, Tania Alvarez, Adyeli Alvarez, Jonathan Alvarez, Jairo Alvarez, Fernando Aguilar, Diego Aguilar en especial a los futuros colegas Andrés Rivera, Javier Rivera y José Alvarez por su cariño y ánimos.

Mis amigos Aníbal Gómez, Carlos López, Patricia Samayoa, Jessica Pérez, Analy Barrera, Raúl Hernández, María Castrovincí, Walter Ordoñez, Andrea Hurtarte, Donal Colomo y demás por coincidir en el tiempo y espacio para acompañarme en esta aventura llamada vida.

Mis amigos SR Iris López, Sedwin Ramos, Christian Recinos, Julio Prado, Christopher Guerrero, Ester Lucia, Nataly Guzmán, Douglas Morales, Carlos Mox, Vivian Vásquez, Génesis Cap, Claudia Lima, Victoria Vásquez, Raúl Ortiz, a todos los SR en especial a Bertha Solís por acompañarme y ayudarme en el viaje del conocimiento.

Mis amigos de la Facultad Por acompañarme día a día y ser parte en este camino de formación.

Sor Olga Lidia Por ser aliento de esperanza y guía espiritual.

Movimiento de encuentros de promoción juvenil EPJ Por ser parte de mi formación moral dándome herramientas y una serie de amigos especiales que me fortalecieron y acompañaron.

Ing. Edson Leonardo Por guiarme en mi formación profesional.

Centro de Investigaciones, USAC. Por haberme permitido ser parte del equipo de trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1. MARCO CONCEPTUAL	1
1.1. Antecedentes	1
1.1.1. Caracterización fisicomecánica de concreto polimérico basado en resina poliéster	1
1.1.1.1. Personas que realizaron el estudio.....	1
1.1.1.2. Época que lo realizaron.....	2
1.1.1.3. Resultados obtenidos.....	2
1.1.1.4. Conclusiones de Valencia, Mayra – Collazos, Paola – Mina, José – Toro, Edward. (Interpretación personal).....	4
1.1.2. Diseño de mezcla de concreto polimérico utilizando resina, catalizador, arena de río, polvo de mármol, puzolana, balastro, mármol y piedrín	5
1.1.2.1. Persona que realizó el estudio	5
1.1.2.2. Época que lo realizaron.....	5
1.1.2.3. Resultados obtenidos.....	5
1.1.2.4. Conclusiones de Fuentes, Byron. (Interpretación personal)	7

	1.1.2.5.	Recomendaciones de Fuentes, Byron. (Interpretación personal).....	8
1.1.3.		Análisis de ensayos destructivos de hierro fundido con aleaciones de cobre, zinc y estaño en los talleres de fundición J.A. Ramírez	9
	1.1.3.1.	Persona que realizó el estudio.....	9
	1.1.3.2.	Época que lo realizó	9
	1.1.3.3.	Resultados obtenidos.....	9
	1.1.3.4.	Conclusiones de Cruz, Carlos. (Interpretación personal)	11
	1.1.3.5.	Recomendaciones de Cruz, Carlos. (Interpretación personal)	12
1.2.		Cargas reales a las cuales están sometidas las tapaderas	12
	1.2.1.	Conceptos y normas para las cargas.....	12
	1.2.2.	Cargas permanentes	14
	1.2.3.	Cargas transitorias.....	14
	1.2.3.1.	Cargas de vehículos.....	15
		1.2.3.1.1. Camión de diseño	15
		1.2.3.1.2. Tándem de diseño	19
		1.2.3.1.3. Línea de diseño	19
	1.2.3.2.	Cargas peatonales	20
	1.2.4.	Cargas vehiculares según el tránsito en Guatemala	20
		1.2.4.1. Parque vehicular	22
		1.2.4.2. Infraestructura vial en Guatemala	23
1.3.		Definiciones	24
	1.3.1.	Polímeros.....	24
	1.3.2.	Plásticos.....	25
	1.3.3.	Resina.....	25

1.3.4.	Catalizador.....	25
1.3.5.	Puzolana.....	25
1.3.6.	Hierro fundido.....	26
1.3.7.	Carbono.....	26
1.3.8.	Brocal.....	26
1.3.9.	Factor de seguridad.....	26
1.3.10.	Polimerización.....	27
2.	GENERALIDADES SOBRE EL SISTEMA DE TAPADERAS.....	29
2.1.	Uso de las tapaderas.....	29
2.2.	Tapaderas de concreto polimérico (CP).....	29
2.2.1.	Materiales que la conforman.....	29
2.2.2.	Dimensiones y resistencias usuales a las que están diseñadas.....	30
2.2.3.	Diseño estructural.....	31
2.2.4.	Modelos de tapaderas de CP.....	33
2.2.5.	Brocal.....	33
2.2.5.1.	Construcción del brocal.....	34
2.2.5.2.	Materiales para la construcción del brocal.....	34
2.2.5.3.	Tipo de brocales.....	35
2.2.5.4.	Tipo de fallas en brocales.....	35
2.3.	Tapaderas de hierro colado.....	36
2.3.1.	Materiales que la conforman.....	36
2.3.2.	Dimensiones y resistencias usuales a las que están diseñadas.....	36
2.3.2.1.	Diseño estructural.....	37
2.3.3.	Modelos.....	38
2.3.4.	Brocal.....	39

2.3.4.1.	Construcción de brocal.....	39
2.3.4.2.	Materiales para la construcción del brocal.....	39
2.3.4.3.	Tipos de brocales	39
2.4.	Normas utilizadas para la evaluación de los materiales y análisis mecánico de las tapaderas.....	40
3.	MATERIALES UTILIZADOS USUALMENTE EN LA CONSTRUCCIÓN DE TAPADERAS.....	43
3.1.	Tapadera de concreto polimérico	43
3.1.1.	Resina poliéster	43
3.1.1.1.	Poliésteres no saturados.....	44
3.1.1.2.	Alquidales	44
3.1.1.3.	Plastificantes	44
3.1.1.4.	Fibra y películas	44
3.1.1.5.	Espumas de poliéster.....	44
3.1.1.6.	Catalizadores / aceleradores	45
3.1.1.7.	Por medio de temperatura/rayos infrarrojos.....	46
3.1.1.8.	Microondas	46
3.1.1.9.	Radio frecuencia	46
3.1.1.10.	Rayos ultravioleta.....	47
3.1.2.	Fibra de vidrio	47
3.1.2.1.	Vidrio “A” o alcalino	48
3.1.2.2.	Vidrio “E”	48
3.1.2.3.	Vidrio “C”	48
3.1.2.4.	Vidrio “S”	48
3.1.2.5.	Zentron	49
3.1.3.	Petatillo	49

3.1.4.	Cargas o rellenos (<i>fillers</i>)	50
3.1.4.1.	Carbonato de calcio	50
3.1.4.2.	Silicato de aluminio hidratado	50
3.1.4.3.	Talco (silicato de magnesio anhidro) ...	50
3.1.4.4.	Arena sílica / cuarzo	51
3.1.4.5.	Hidrato de aluminio.....	51
3.1.4.6.	Microesfera de vidrio (solida o hueca).....	51
3.1.4.7.	Microesfera cerámica	51
3.1.4.8.	Sílica sublimada (sílica pirogenada)	51
3.1.5.	Clasificación de las puzolanas	52
3.1.5.1.	Puzolanas naturales.....	52
3.1.5.2.	Puzolanas artificiales.....	52
3.2.	Tapaderas de hierro.....	53
3.2.1.	Hierro fundido gris o hierro colado	54
3.2.2.	Hierro dúctil o hierro nodular	55
3.2.3.	Hierro fundido blanco.....	55
3.2.4.	Hierro maleable.....	56
3.2.5.	Hierro de grafito compactado	57
4.	DESARROLLO EXPERIMENTAL	59
4.1.	Maquinaria, equipo y herramienta	59
4.2.	Descripción del ensayo a flexión	59
4.2.1.	Procedimiento del ensayo	60
4.2.2.	Esquema del ensayo a flexión.....	60
4.3.	Descripción de las muestras (tapaderas)	61
4.3.1.	Descripción de las tapaderas	61
4.3.2.	Bosquejo de las tapaderas	63
4.4.	Datos obtenidos del ensayo a flexión	65

4.4.1.	Datos de las tapaderas de hierro colado.....	65
4.4.2.	Datos de las tapaderas de concreto polimérico	67
4.5.	Cálculos efectuados y resultados obtenidos	72
4.5.1.	Elaboración de gráficas carga versus deformación	72
4.5.2.	Resultados obtenidos	79
5.	COMPARACIÓN Y ANALISIS DE RESULTADOS	81
5.1.	Comparación entre valores medios	81
5.2.	Análisis de resultados	82
5.3.	Listado de ventajas y desventajas de las características físicas de los materiales	83
5.3.1.	Ventajas y desventajas del concreto polimérico	83
5.3.2.	Ventajas y desventajas del hierro colado.....	85
5.4.	Listado de propiedades mecánicas de ambos materiales	87
5.4.1.	Propiedades mecánicas del CP	87
5.4.2.	Propiedades mecánicas del hierro colado	88
	CONCLUSIONES.....	91
	RECOMENDACIONES	93
	BIBLIOGRAFÍA.....	95
	APÉNDICES	97
	ANEXOS.....	99

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Resistencia compresión del concreto polimérico	2
2.	Resistencia a tracción del concreto polimérico	3
3.	Resistencia a flexión del concreto polimérico	3
4.	Comportamiento mecánico tapa no.1 prop. 3:2:1 7cm de espesor	6
5.	Comportamiento mecánico tapa no. 2 prop. 3:2:1 5cm de espesor	6
6.	Tapa no. 3 prop. 3:2:1 5cm diferente distribución de fibra de vidrio	7
7.	Resultado de los ensayos a tensión	10
8.	Resultados de los ensayos a compresión	10
9.	Resultados de ensayos de impacto.....	11
10.	Diagrama de fuerzas que actúan sobre la tapadera	14
11.	Cargas por neumático de los camiones H20-44 y H15-44	16
12.	Cargas por neumático de los camiones HS20-44 Y HS15-44	17
13.	Cargas por neumático de los camiones HL-93 Y HS-25.....	18
14.	Tipos de vehículos en Guatemala según la DGC	21
15.	Distribución de capas y camas de fibra de vidrio	31
16.	Comportamiento de la tapadera	32
17.	Distribución de esfuerzos	32
18.	Algunos modelos de tapaderas de CP	33
19.	Brocal para tapadera de CP	34
20.	Ejemplo de brocales fallados.....	35
21.	Diseño estructural de la parte inferior de la tapadera	37
22.	Algunos modelos de tapaderas de hierro colado y nodular	38
23.	Tipo de brocal octogonal de hierro	40

24.	Diagrama de hierro-carbono.....	54
25.	Microestructura de hierros fundidos	56
26.	Esquema del ensayo a flexión de tapadera	61
27.	Bosquejo inferior tapadera de HC	63
28.	Bosquejo inferior tapadera de CP	64
29.	Bosquejo superior tapadera de CP	64
30.	Gráfica tapadera 1 hierro colado	73
31.	Gráfica tapadera 2 hierro colado	74
32.	Gráfica tapadera 3 hierro colado	75
33.	Gráfica tapadera 1 concreto polimérico	76
34.	Gráfica tapadera 2 concreto polimérico	77
35.	Gráfica tapadera 3 concreto polimérico	78

TABLAS

I.	Clasificación de camiones de diseño	19
II.	Límite de peso por eje en toneladas métricas, SIECA.....	22
III.	Parque vehicular en Guatemala	23
IV.	Materiales para tapaderas de CP	30
V.	Dimensiones y resistencias usuales en CP	30
VI.	Dimensiones y resistencias usuales en hierro colado	37
VII.	Aceleradores/catalizadores utilizados usualmente	45
VIII.	Descripción tapaderas HC.....	62
IX.	Descripción tapaderas CP	62
X.	Datos tapadera 1 HC	65
XI.	Datos tapadera 2 HC	66
XII.	Datos tapadera 3 HC	67
XIII.	Datos tapadera 1 CP	68
XIV.	Datos tapadera 2 CP	69

XV.	Datos tapadera 3 CP	70
XVI.	Resultados tapaderas de hierro colado.....	79
XVII.	Resultados tapaderas de concreto polimérico	80
XVIII.	Comparación de características físicas y propiedades mecánicas.....	81
XIX.	Propiedades mecánicas del CP	88
XX.	Propiedades mecánicas del CP en función del tipo de resina utilizada.....	88
XXI.	Propiedades típicas del hierro gris según ASTM	89
XXII.	Propiedad de Dureza Brinell.....	89

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Ca	Calcio
Cm²	Centímetro cuadrado
CP	Concreto polimérico reforzado
°C	Grados centígrados
°F	Grados Fahrenheit
g	Gravedad
HC	Hierro colado
in	Pulgada
kg	Kilogramo
Kpm	Kilopondímetros
lb	Libra
psi	Libra por pulgada cuadrada
Mf/Mr	Masa filler / masa relleno
Mg	Magnesio
MPa	Mega pascal
m	Metro
m³	Metro cúbico
mg	Miligramo
mm	Milímetro
nm	Nanómetro
oz	Onza
ppm	Partes por millón
Ton	Toneladas métricas

t/h	resistencia a tracción
Uv	Ultra violeta
µm	Micrómetro
W/mK	Coeficiente de conductividad térmica (vatios/metroKelvin)

GLOSARIO

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials.
Acero	El acero es una aleación de hierro y de carbono, que tiene un contenido de carbono relativamente bajo, por lo que la mayoría de aceros tienen menos de nueve átomos de carbono por cada 100 de hierro en el acero.
ACI 318SUS-14	American concrete institute comité 318 año 2014.
ACI 548.1R-97	Guía para el uso de concreto polimérico. Comité 548.
Aglomerante	Un material capaz de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto por efectos de tipo exclusivamente físico.
Aglutinar	Unir o pegar una cosa con otra de modo que resulte un cuerpo compacto.
Aleación	Producto homogéneo, obtenido por fusión, compuesto de dos o más elementos químicos, uno de los cuales, al menos, debe ser un metal.

Brocal	Se llama brocal al pretil o parapeto sólido que, por seguridad y utilidad, rodea un pozo a nivel de superficie.
COGUANOR	Comisión Guatemaltecas de Normas.
Compresión	Esfuerzo a que está sometido un cuerpo por la acción de dos fuerzas opuestas que tienden a disminuir su volumen.
Conglomerante	Un material capaz de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto, originando nuevos compuestos.
CPE	Concreto polimérico utilizando escoria.
CPPC	Concreto polimérico utilizando polvo cerámico.
DGC	Dirección general de caminos.
Diafragma	Elemento estructural encargado de transmitir esfuerzos.
Dúctil	Que admite grandes deformaciones mecánicas en frío sin llegar a romperse.
Elongación	Alargamiento de una pieza sometida a tracción.

Epoxi	Dicho de una resina sintética, dura y resistente, utilizada en la fabricación de plásticos, pegamentos.
Escoria	Sustancia vítrea que sobrenada en el crisol de los hornos de fundir metales y procede de la parte menos pura.
Corte	Esfuerzo interno o resultante de las tensiones paralelas a la sección transversal de un prisma mecánico.
Filler	Filler o rellenos son partículas añadidas a un material para reducir el consumo de un material más caro o para mejorar algunas propiedades del material mezclado.
Frágil	Capacidad de un material de fracturarse debido a su escasa o nula deformación permanente.
Hierro	El hierro es un elemento metálico, magnético y maleable que corresponde al número atómico 26 de la tabla periódica, es uno de los elementos de transición del sistema periódico.
Intermetálico	Tipo de metal de la aleación que forma un compuesto de estado sólido que presenta una estequiometría definida y estructura cristalina ordenada.

LRFD	Load and Resistance factor design (El Diseño por Factores de Carga y Resistencia).
Monómero	Los monómeros son compuestos de bajo peso molecular que pueden unirse a otras moléculas pequeñas para formar macromoléculas de cadenas largas comúnmente conocidas como polímeros.
Nano-partículas	Partícula microscópica con por lo menos una dimensión menor que 100 nm.
Neopreno	Este material plástico es un tipo de caucho sintético.
Remanente	Que queda o sobra.
Resiliencia	Propiedad de un material que permite que recupere su forma o posición original después de ser sometido a una fuerza de doblado, estiramiento o compresión.
Resina tereftálica	Resina utilizada para evitar la corrosión, es de mayor resistencia, mayor estabilidad térmica y excelente resistencia a las condiciones más agresivas en tuberías, tanques de almacenamiento, ductos y depuradores.
SIECA	Secretaría de Integración Centroamericana.
Silicatos	Forman la mayor parte de los minerales existentes en la corteza terrestre. De acuerdo con su

organización interna los silicatos generan diversos tipos de minerales como pegmatitas, rocas meteorizadas, rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias.

Tensión

Estado de un cuerpo sometido a la acción de fuerzas opuestas que lo atraen.

RESUMEN

Ante la búsqueda de nuevas tecnologías para el desarrollo y aplicación de nuevos métodos que podrían llegar a ser más eficientes que los usados actualmente, en el presente informe de graduación se realiza una comparación entre dos tipos distintos de tapaderas, el primer tipo están construidas de concreto polimérico reforzado con fibra de vidrio y el segundo tipo están construidas con hierro colado.

Para realizar la comparación la mejor manera es poniéndolas a prueba, con base a datos proporcionados por el la sección de prefabricados del Centro de investigaciones, Facultad de Ingeniería, USAC, se tomaron 3 tapaderas de concreto polimérico y 3 de hierro colado con la condición que su resistencia sea de 12 toneladas métricas.

La prueba consistió en someter las tapaderas al ensayo de flexión, aplicando ciclos de carga y descarga controlados a la vez tomando la deformación y su carga correspondiente. Con esos datos se construyó gráficas de carga versus deformación para analizar su comportamiento mecánico.

El buen comportamiento de las tapaderas de concreto polimérico resistiendo altas cargas y mostrando una buena capacidad de ductilidad y resiliencia. Esta condición es fundamental en la toma de decisión en el tipo de tapadera que se coloque en campo.

OBJETIVOS

General

Realizar una comparación estructural entre tapaderas de concreto polimérico reforzado y tapaderas de hierro colado.

Específicos

1. Definir las propiedades mecánicas y características físicas de cada tapadera.
2. Mostrar las bondades de los materiales que poseen nuevas tecnologías innovadoras para su desarrollo y aplicación.
3. Construir, analizar y evaluar el comportamiento de las gráficas de carga versus deformación de cada tapadera.
4. Facilitar una buena toma de decisión ante la construcción o adquisición de tapaderas.

INTRODUCCIÓN

El uso más frecuente de las tapaderas colocadas en los pozos de visita (para supervisión y mantenimiento), es donde está la carpeta de rodadura del tráfico vehicular o peatonal, la ausencia de estas tapaderas o la falla de las mismas provoca serios daños a los vehículos que transitan en esos puntos y se convierten en focos de alto riesgo, para accidentes de tránsito que ocasionan daños a la propiedad privada, pública y la vida de las persona. Regularmente la ausencia de las tapaderas se debe al robo de las mismas para la venta ilícita y la falla de las tapaderas se debe a que las entidades que las requieren no tienen el conocimiento de la capacidad, comportamiento mecánico-estructural y los beneficios que posee cada tapadera, también porque no existe información técnica para la elaboración y colocación.

Es por ello que para el desarrollo y la aplicación de nuevas tecnologías, complementando la característica cultural de un país como el de Guatemala, obliga la incorporación y adaptación de ciertos sistemas como en el propuesto en este informe de graduación. El capítulo uno titulado “Marco conceptual” abarca una serie de antecedentes que sirve para complementar con otros estudios la veracidad y el desarrollo de otros materiales, también plantea conceptos y cargas del diferentes vehículos que transitan en el país para verificar la influencia que sufren las tapas. En el capítulo dos titulado “Generalidades sobre el sistema de tapaderas” abarca como lo menciona el titulo generalidades de las tapaderas, es decir las dimensiones y resistencias comunes en el mercado, como están conformadas estructuralmente, materiales que las conforman, modelos usuales, tipos de tapaderas y sus brocales. En el capítulo tres titulado “Materiales utilizados usualmente en la construcción de

tapaderas” hace énfasis más a detalle en la variedad de los materiales que conforman cada tipo de tapadera y se enfoca en definir en que consiste cada material. En el capítulo cuatro titulado “Desarrollo experimental” abarca todo el proceso de ensayo a flexión que se le realizó a las tapaderas, desde el equipo y procedimiento hasta la obtención de datos, construcción de gráficas, elaboración de cálculos y selección de las tapaderas más eficientes para luego realizar su análisis y así poder mostrar en el capítulo cinco titulado “Comparación y análisis de resultados” la comparación de los dos tipos de tapaderas, como se muestran en las gráficas, tablas comparativas y ventaja versus desventajas de las tapaderas.

La mejor manera de comprobar la eficiencia de las tapaderas fue poniéndolas a prueba, es por eso que dicho informe de graduación deja clara la comparación a través de la variación relativa y porcentual de los valores medios de cada tipo de tapadera, para una buena toma de decisión en campo y así lograr que las tapaderas permanezcan en su sitio, en buen estado y con un largo tiempo de vida útil.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1. Antecedentes

En Guatemala, a través del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, se le ha dado importancia a la investigación de nuevas tecnologías para la empresa privada. Esto para el desarrollo y aplicación de nuevos métodos que podrían llegar a ser más eficientes que los usados actualmente. A continuación se presentan algunos estudios relacionados con el tema.

1.1.1. Caracterización fisicomecánica de concreto polimérico basado en resina poliéster

Este artículo explica el comportamiento mecánico y físico del concreto polimérico utilizando resina poliéster tereftálica como aglomerante, polvo cerámico y escoria de alto horno, como fillers y arena de río y granito como agregados, cabe mencionar que utilizaron el método de espacios libres para el diseño de mezcla donde en lugar de usar la relación de agua/cemento se usa la relación de masa filler/masa-resina (M_f/MR), realizaron 8 relaciones de (M_f/MR).

1.1.1.1. Personas que realizaron el estudio

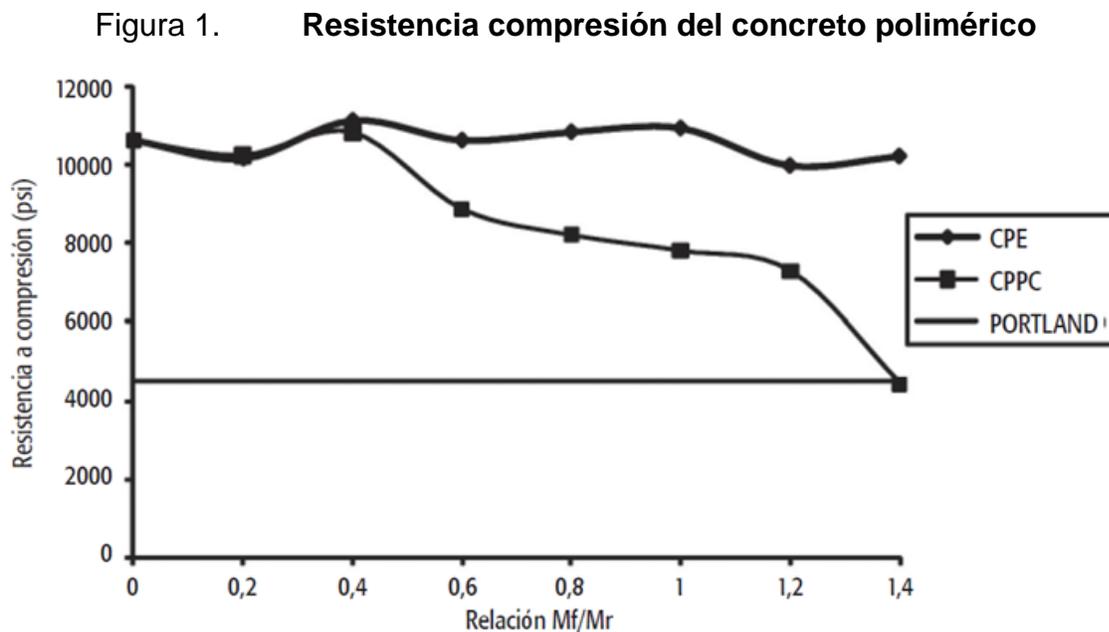
Mayra E. Valencia, Paola A. Collazos, José H. Mina, Edward F. Toro.

1.1.1.2. Época que lo realizaron

El artículo se aceptó el 17 de diciembre del 2009.

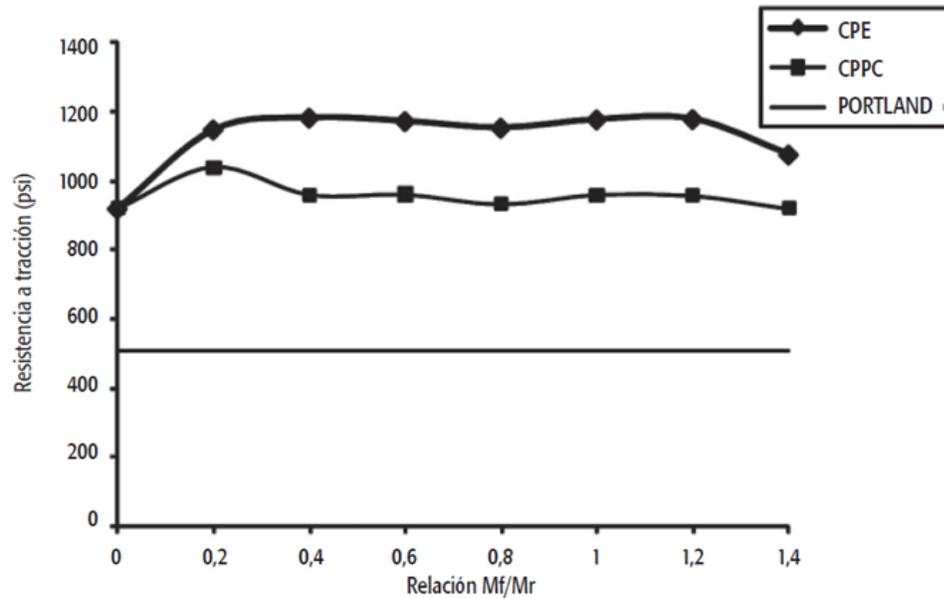
1.1.1.3. Resultados obtenidos

Se presentan de forma gráfica los resultados obtenidos de los ensayos mecánicos del concreto polimérico utilizando escoria (CPE) y polvo cerámico (CPPC) como relleno, además se presenta la gráfica utilizando cemento portland para su comparación:



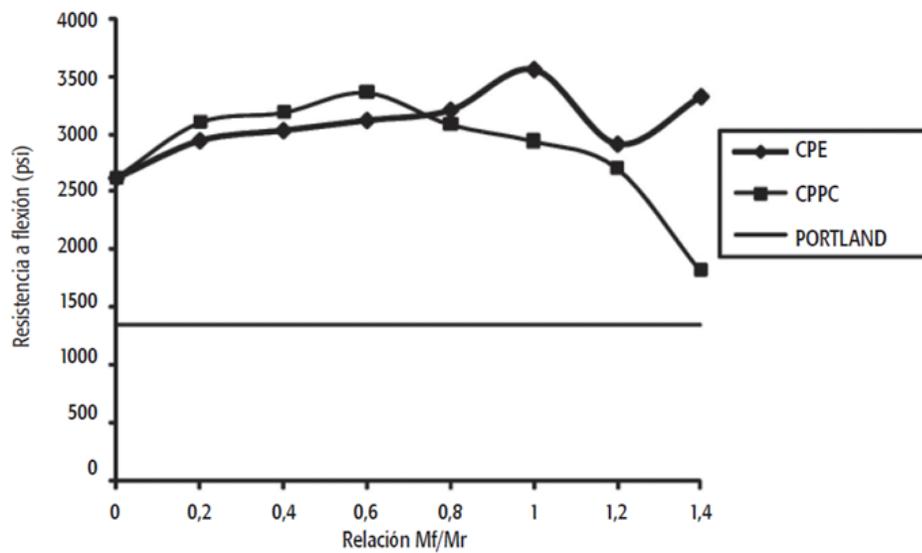
Fuente: VALENCIA, Mayra., COLLAZOS, Paola., MINA, José y TORO, Edward. *Caracterización fisicomecánica de concreto polimérico basado en resina poliéster*. <http://hdl.handle.net/10819/5091>. Consulta: 7 de enero de 2019.

Figura 2. Resistencia a tracción del concreto polimérico



Fuente: VALENCIA, Mayra., COLLAZOS, Paola., MINA, José y TORO, Edward. *Caracterización fisicomecánica de concreto polimérico basado en resina poliéster.*
<http://hdl.handle.net/10819/5091>. Consulta: 7 de enero de 2019.

Figura 3. Resistencia a flexión del concreto polimérico



Fuente: VALENCIA, Mayra., COLLAZOS, Paola., MINA, José y TORO, Edward. *Caracterización fisicomecánica de concreto polimérico basado en resina poliéster.*
<http://hdl.handle.net/10819/5091>. Consulta: 7 de enero de 2019.

1.1.1.4. Conclusiones de Valencia, Mayra – Collazos, Paola – Mina, José – Toro, Edward. (Interpretación personal)

- Queda en evidencia que al agregarle escoria de alto horno al concreto polimérico presenta mejoras en las propiedades físicas, en relación a los pesos y porcentaje de humedad en comparación con el concreto con polvo cerámico, de la misma manera con respecto a las propiedades mecánicas, el concreto polimérico con escoria de alto horno presentó mejores resultados utilizando la relación Mf/Mr de 1.4 alcanzando resistencias a compresión 130% mayores a las del (CPPC), 17% más resistente a tracción y 82% mayor resistencia a flexión siempre utilizando la misma relación Mf/Mr, esto se interpreta como un mejor comportamiento mecánico.
- En relación al concreto Portland tradicional comparado con el CP, las propiedades del CP superan hasta un 100% en mejoras.
- Es importante realizar variaciones en la relación Mf/Mr ya que se encontró una gran variación de resultados, es decir que para seleccionar la mejor relación se tendrá que tomar en cuenta la resistencia de diseño y en base a ella determinar las proporciones necesarias.
- En función de los resultados de viscosidad de la pasta cementante, la trabajabilidad aumenta cuando la relación Mf/Mr disminuye y se utiliza la escoria de alto horno como carga.

1.1.2. Diseño de mezcla de concreto polimérico utilizando resina, catalizador, arena de río, polvo de mármol, puzolana, balastro, mármol y piedrín

Este trabajo de tesis trata de mostrar las bondades del concreto polimérico, calculando el diseño de mezcla con diecisiete proporciones diferentes, poniendo a prueba la mezcla diseñada a través de la construcción de tapas para pozos de visita, para luego evidenciar su comportamiento realizando ensayos a dichas tapas.

1.1.2.1. Persona que realizó el estudio

Byron Samuel Fuentes López

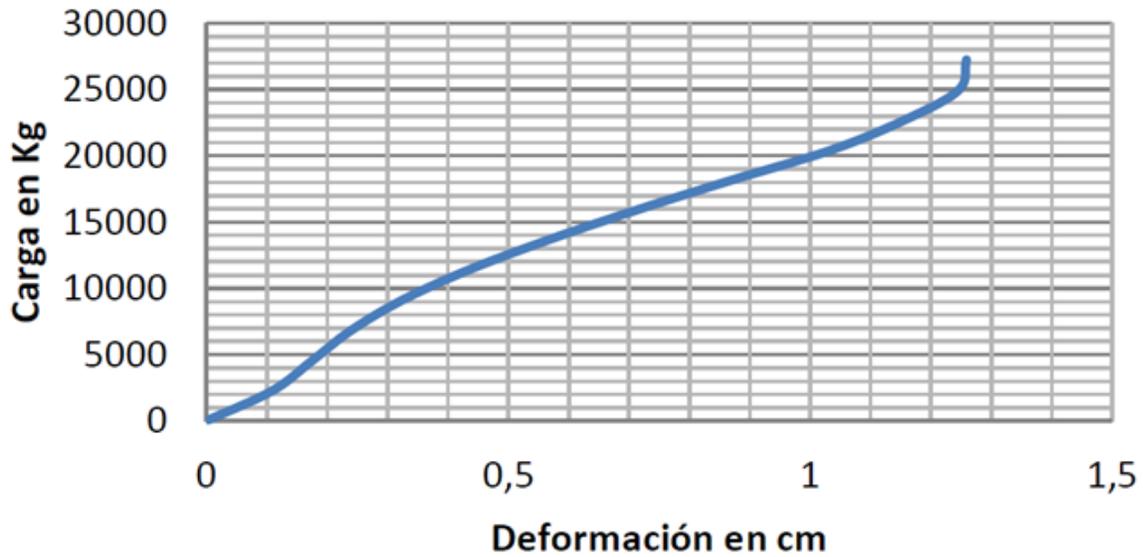
1.1.2.2. Época que lo realizaron

El estudio se realizó en el año 2014

1.1.2.3. Resultados obtenidos

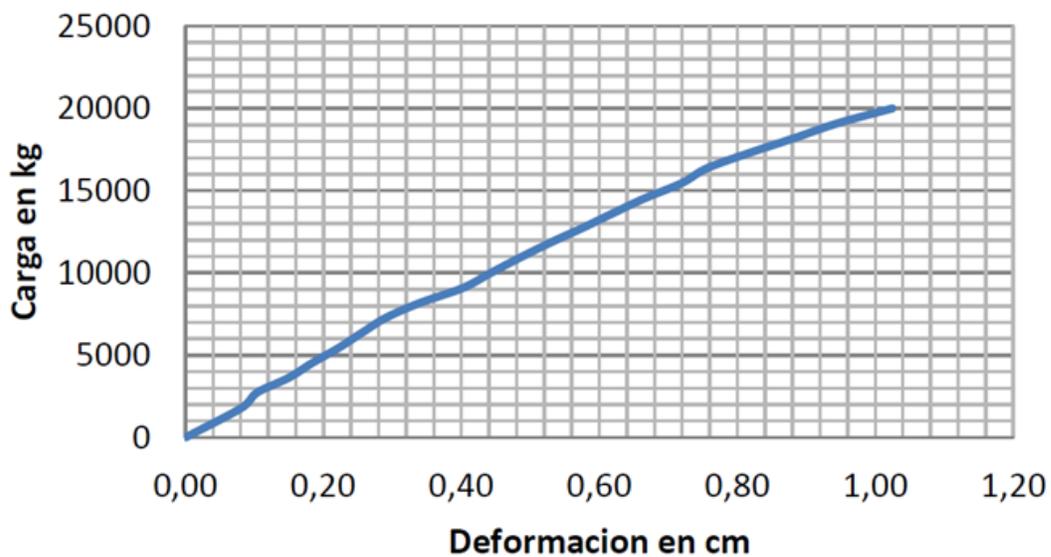
Se muestran los resultados de algunas de las tapaderas ensayadas, demostrando el comportamiento mecánico de las tapaderas para pozos de visita construidas con concreto polimérico.

Figura 4. **Comportamiento mecánico tapa no.1 prop. 3:2:1 7cm de espesor**



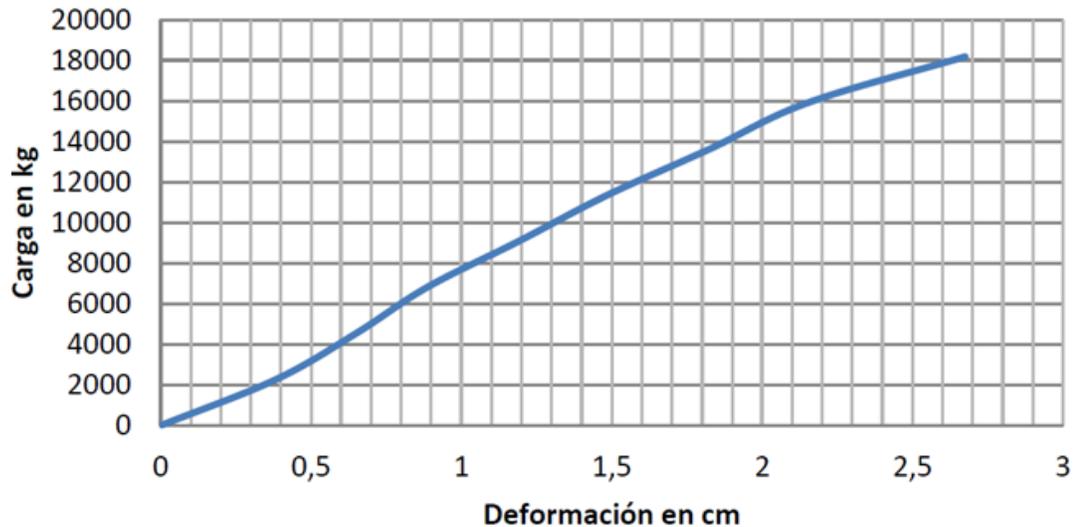
Fuente: FUENTES, Byron. *Diseño de mezcla de concreto polimérico utilizando resina, catalizador, arena de río, polvo de mármol, puzolana, balastro, mármol y piedrín.* p.51.

Figura 5. **Comportamiento mecánico tapa no. 2 prop. 3:2:1 5cm de espesor**



Fuente: FUENTES, Byron. *Diseño de mezcla de concreto polimérico utilizando resina, catalizador, arena de río, polvo de mármol, puzolana, balastro, mármol y piedrín.* p.53.

Figura 6. **Tapa no. 3 prop. 3:2:1 5cm diferente distribución de fibra de vidrio**



Fuente: FUENTES, Byron. *Diseño de mezcla de concreto polimérico utilizando resina, catalizador, arena de río, polvo de mármol, puzolana, balastro, mármol y piedrín.* p.56.

1.1.2.4. Conclusiones de Fuentes, Byron. (Interpretación personal)

- Queda claro que el concreto tradicional queda obsoleto a comparación del concreto polimérico pues es más liviano, fragua en corto tiempo, tiene alta resistencia a la compresión, es impermeable y es resistente a ataques químicos.
- La humedad en los materiales que conforman al concreto polimérico reduce la resistencia del elemento construido.
- Según los ensayos que realizó, aumentar la cantidad de resina en la dosificación de la mezcla aumenta su resistencia, mientras que al

aumentar mayor cantidad de agregado grueso a la mezcla disminuye la resistencia del concreto.

- A través del análisis se muestra que la tapadera trabaja estructuralmente como una viga simplemente apoyada, en la parte inferior al eje neutro a tensión y en la parte superior al eje neutro trabaja a compresión.

1.1.2.5. Recomendaciones de Fuentes, Byron. (Interpretación personal)

- Al momento de crear la mezcla los materiales deben de estar de preferencia en estado seco ya que no permite la adherencia con los otros materiales y disminuye su resistencia.
- El refuerzo que regularmente es el petatillo de fibra de vidrio se recomienda colocarlo por debajo del eje neutro para que trabaje a tensión.
- La mayor utilización de agregado fino y resina en el diseño de mezcla da como resultado una resistencia muy alta, sin embargo debe existir un equilibrio sino deja de ser un concreto.
- Tener en cuenta al momento de agregar el catalizador que la mezcla de los agregados y la resina se encuentren homogéneas. Además de tener listo el refuerzo para su colocado porque este tiene un tiempo de endurecimiento corto.
- Regularmente el concreto polimérico se puede utilizar en tapaderas de cajas de visita, pisos industriales, carreteras, puentes, etc.

- Es de gran importancia que los agregados cumplan con la norma Coguanor NGO41007 o ASTM C33.
- Tomar en cuenta la temperatura ambiente, pues a temperaturas más elevadas la reacción de polimerización es más acelerada.

1.1.3. Análisis de ensayos destructivos de hierro fundido con aleaciones de cobre, zinc y estaño en los talleres de fundición J.A. Ramírez

Esta tesis trata de mostrar las propiedades físicas y mecánicas del hierro fundido y de las aleaciones de hierro fundido con cobre, estaño y zinc a través de la elaboración y análisis de ensayos destructivos. Dichos ensayos pueden brindar una idea del comportamiento del hierro colado y la implementación de aleaciones según el uso que se le quiera dar.

1.1.3.1. Persona que realizó el estudio

Carlos Giovanni Cruz García.

1.1.3.2. Época que lo realizó

El estudio se realizó en el año 2011.

1.1.3.3. Resultados obtenidos

Se presentan los resultados mecánicos de los ensayos más importantes.

Figura 7. Resultado de los ensayos a tensión

IDENTIFICACIÓN	DIÁMETRO cm	ÁREA cm ²	CARGA kg	ESFUERZO CEDENTE Mpa	ESFUERZO MÁXIMO Mpa	% Elongación 5cm
Hierro fundido	1.273	1.28	800	61.29	191.54	3
Hierro fundido + Cobre	1.231	1.19	800	65.93	214.26	1
Hierro fundido + Estaño	1.275	1.28	750	57.46	121.05	2
Hierro fundido + Zinc	1.268	1.26	800	62.26	233.49	0

Fuente: CRUZ, Carlos. *Análisis de ensayos destructivos de hierro fundido con aleaciones de cobre, zinc y estaño en los talleres de fundición J.A. Ramírez.* p.63.

Figura 8. Resultados de los ensayos a compresión

IDENTIFICACIÓN	ALTURA mm	DIÁMETRO cm	ÁREA cm ²	CARGA MÁXIMA kg	ESFUERZO MÁXIMO Mpa
Hierro fundido	38.57	15.41	1.85	12000	636.11
Hierro fundido + Cobre	38.57	14.88	1.74	14300	805.95
Hierro fundido + Estaño	38.57	14.79	1.72	11700	667.08
Hierro fundido + Zinc	38.57	14	1.74	15750	887.67

Fuente: CRUZ, Carlos. *Análisis de ensayos destructivos de hierro fundido con aleaciones de cobre, zinc y estaño en los talleres de fundición J.A. Ramírez.* p. 64.

Figura 9. **Resultados de ensayos de impacto**

Tipo de Aleación	Temperatura ambiente 22-25°C	Alta temperatura 70-80°C	Baja temperatura 5-8°C
Hierro fundido	F0= 15.5 kpm Grados= 66° Resistencia al impacto= 22^{kpm}_{cm2}	F0= 13.8 kpm Grados= 60° Resistencia al impacto= 19.5^{kpm}_{cm2}	F0= 13.7 kpm Grados= 60° Resistencia al impacto= 19.5^{kpm}_{cm2}
Hierro fundido+ cobre	F0= 13.9 kpm Grados= 60° Resistencia al impacto= 19.5^{kpm}_{cm2}	F0= 13.6 kpm Grados= 60° Resistencia al impacto= 19.5^{kpm}_{cm2}	F0= 13.6 kpm Grados= 60° Resistencia al impacto= 19.5^{kpm}_{cm2}
Hierro fundido + Estaño	F0= 13.6 kpm Grados= 59° Resistencia al impacto= 19.3^{kpm}_{cm2}	F0= 13.8 kpm Grados= 60° Resistencia al impacto= 19.5^{kpm}_{cm2}	F0= 13.7 kpm Grados= 58° Resistencia al impacto= 19.3^{kpm}_{cm2}
Hierro fundido+ Zinc	F0= 13.9 kpm Grados= 60° Resistencia al impacto= 19.5^{kpm}_{cm2}	F0= 13.8 kpm Grados= 60° Resistencia al impacto= 19.5^{kpm}_{cm2}	F0= 13.8 kpm Grados= 60° Resistencia al impacto= 19.5^{kpm}_{cm2}

Fuente: CRUZ, Carlos. *Análisis de ensayos destructivos de hierro fundido con aleaciones de cobre, zinc y estaño en los talleres de fundición J.A. Ramírez*. p. 65.

1.1.3.4. **Conclusiones de Cruz, Carlos. (Interpretación personal)**

- Se demostró a través de los resultados de ensayos que los materiales de aleación como el cobre, estaño y zinc provocaron distintos resultados en las características físicas y propiedades mecánicas en las probetas, estas probetas mejoraron en su resistencia, flexión, tensión y capacidad de impacto.

- Se demostró que al momento de la aleación entre los distintos materiales para formar el hierro colado no existió alguna reacción extraña que alterara la composición por lo que se aleó sin ninguna dificultad.

1.1.3.5. Recomendaciones de Cruz, Carlos. (Interpretación personal)

- Para la ejecución del ensayo se deben construir las probetas según las dimensiones establecidas por las normas ASTM de lo contrario no se podrá ejecutar porque la maquinaria no podrá sujetarla de la manera adecuada.
- Para realizar una buena observación microscópica de la probeta es muy importante la correcta preparación de ésta, ya que de no hacerse correctamente, no se podrá observar bien la estructura de la probeta a ensayar.

1.2. Cargas reales a las cuales están sometidas las tapaderas

Se presenta todo lo relacionado en función de las cargas que van actuar directamente sobre las tapaderas. Con el objetivo de identificar la influencia que tendrán estas cargas sobre las tapa.

1.2.1. Conceptos y normas para las cargas

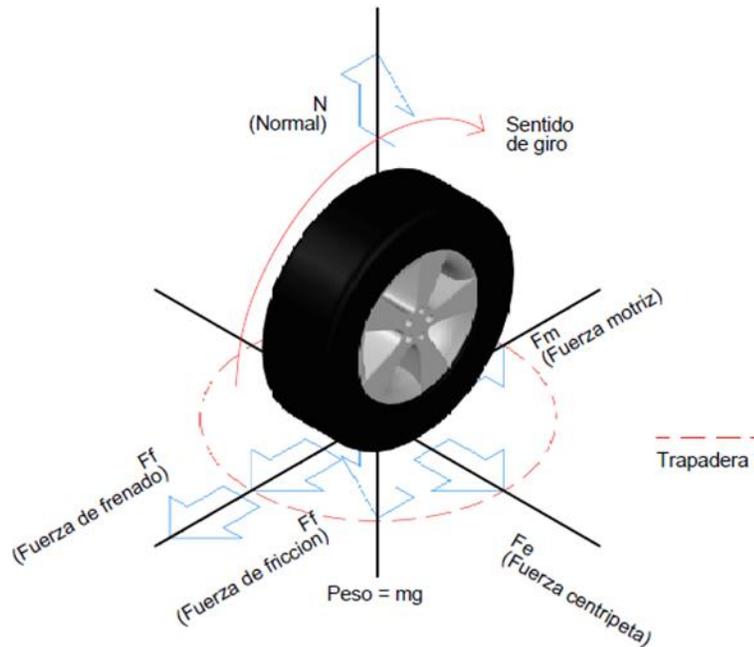
La mayoría de tapaderas se encuentran ubicadas sobre las carreteras o en banquetas, es por eso que se analizará las cargas que actúan sobre ellas, en Guatemala para la construcción de carreteras se basan en las

especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes, conocido como el libro azul, creado por el ministerio de comunicaciones, infraestructura y vivienda bajo la dirección general de caminos, sin embargo dichas especificaciones no establecen las cargas de diseño, es por ello que se utilizará las normas AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) para conocer las cargas a las cuales están sometidas las tapaderas. También se utilizara la clasificación según la dirección general de caminos y la clasificación vehicular por peso según la secretaria de integración económica centroamericana.

Las exigencias del código AASHTO, tienen como objetivo el proporcionar fundamentos para el diseño de puentes y carreteras, regularmente se utiliza el método del Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD), este método fue creado a partir de la teoría de la confiabilidad en base al conocimiento estadístico actual de las cargas y el comportamiento de las estructuras, dicho método conforme al tiempo se ha modificado en cuanto al camión de diseño, desde su creación oficial en el año 1931 y posteriormente al año 1944 donde se incluyó camión de tres ejes con configuración articulada, el cual se utiliza hasta la fecha.

Para el diseño de las tapaderas se debe considerar varios aspectos relacionado a las fuerzas que recibirán, siendo algunas de ellas: el peso propio, la carga viva, carga de impacto, el frenado, la fuerza centrífuga y el sismo. Para englobar las cargas que se ejercen en las tapaderas se dividirán en: cargas permanentes y cargas transitorias (cargas vehiculares y peatonales).

Figura 10. **Diagrama de fuerzas que actúan sobre la tapadera**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2018.

1.2.2. **Cargas permanentes**

La carga permanente es la carga muerta del elemento estructural y elementos no estructurales adheridos. Es decir los elementos estructurales son los que forman parte del sistema de resistencia y los elementos no estructurales adheridos hacen referencia al mecanismo de seguridad, agarradores, pines, entre otros.

1.2.3. **Cargas transitorias**

La carga transitoria es la carga viva de diseño, se refiere a la carga del tráfico vehicular, carga del tráfico peatonal, carga de fluidos, carga de sismo y carga de hielo. Para el caso de las tapaderas son afectadas principalmente por

las cargas vehiculares y peatonales es por eso que detallará cada una de ellas según AASHTO.

1.2.3.1. Cargas de vehículos

El diseño de cargas del código AASHTO ha desarrollado modelos de tráficos de camiones que son muy variables, dinámicos, y pueden ser combinados con otras cargas de camiones, estas cargas incluyen fuerzas de impacto (efectos dinámicos), fuerzas de frenos, fuerzas centrífugas, y efectos de otros camiones simultáneos. En 1992, Kulicki ajustó un estudio de Transportación Resecar Board (TRB, 1990) a las cargas de camiones presentes y desarrolló un nuevo modelo. Este modelo consiste en tres cargas diferentes:

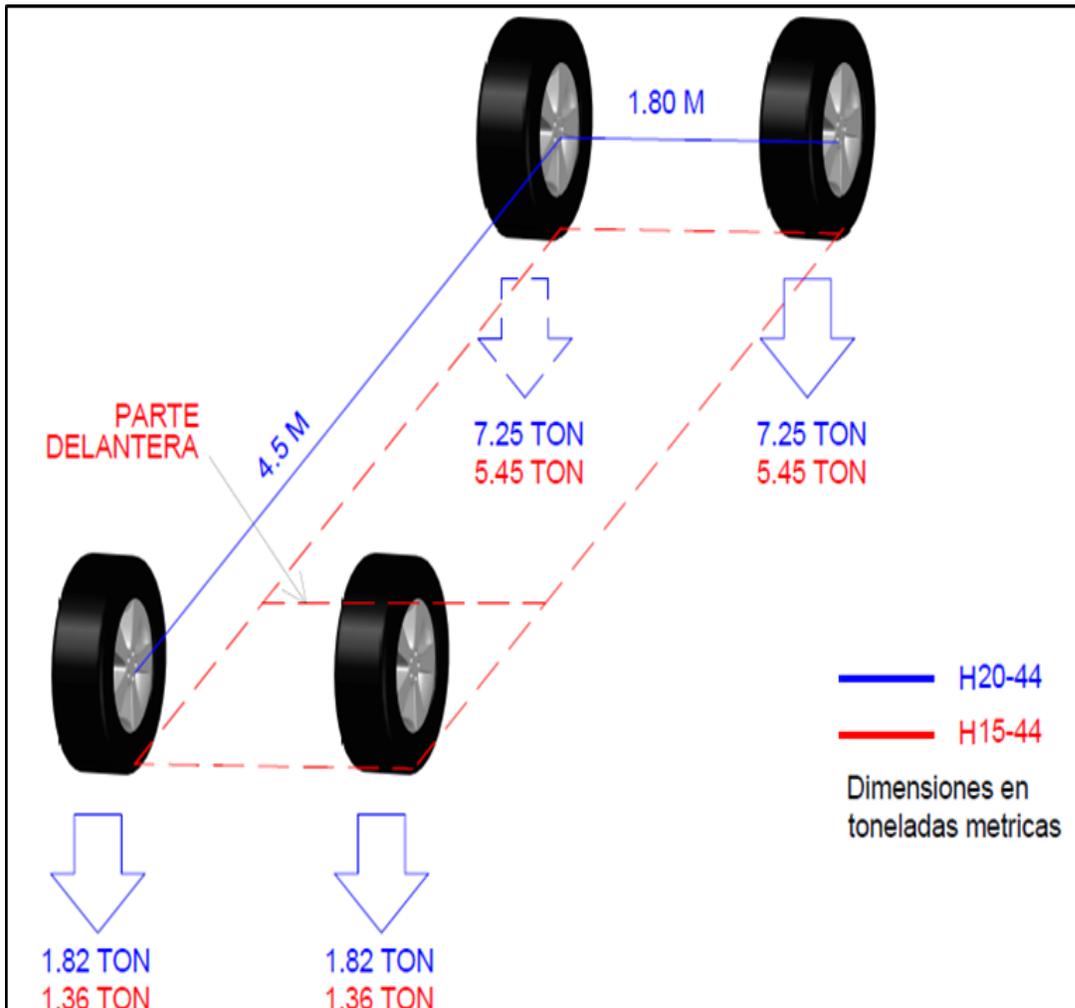
- Camión de diseño
- Camión tándem de diseño
- Línea de diseño

1.2.3.1.1. Camión de diseño

Según el código AASHTO se puede dividir en H Y HS, los camiones H están formados por dos ejes de ruedas espaciadas a 4.3 m con las ruedas delanteras pesando la cuarta parte de las traseras, cada eje consta de dos ruedas longitudinalmente las que están espaciadas a 1.8 m a esta división corresponden los camiones H15-44 Y H20-44 cuyos pesos son de 13.60 y 18.15 toneladas métricas respectivamente. Los camiones HS lo conforman un camión tipo H y su acoplado semi-traile S, es decir que están formados por 3 ejes de ruedas, cuya separación del eje trasero varía entre 4.3 y 9m a esta división corresponden los camiones HS15-44 Y HS20-44 cuyos pesos son de 24.5 y 32.8 toneladas métricas respectivamente. A continuación se presenta la

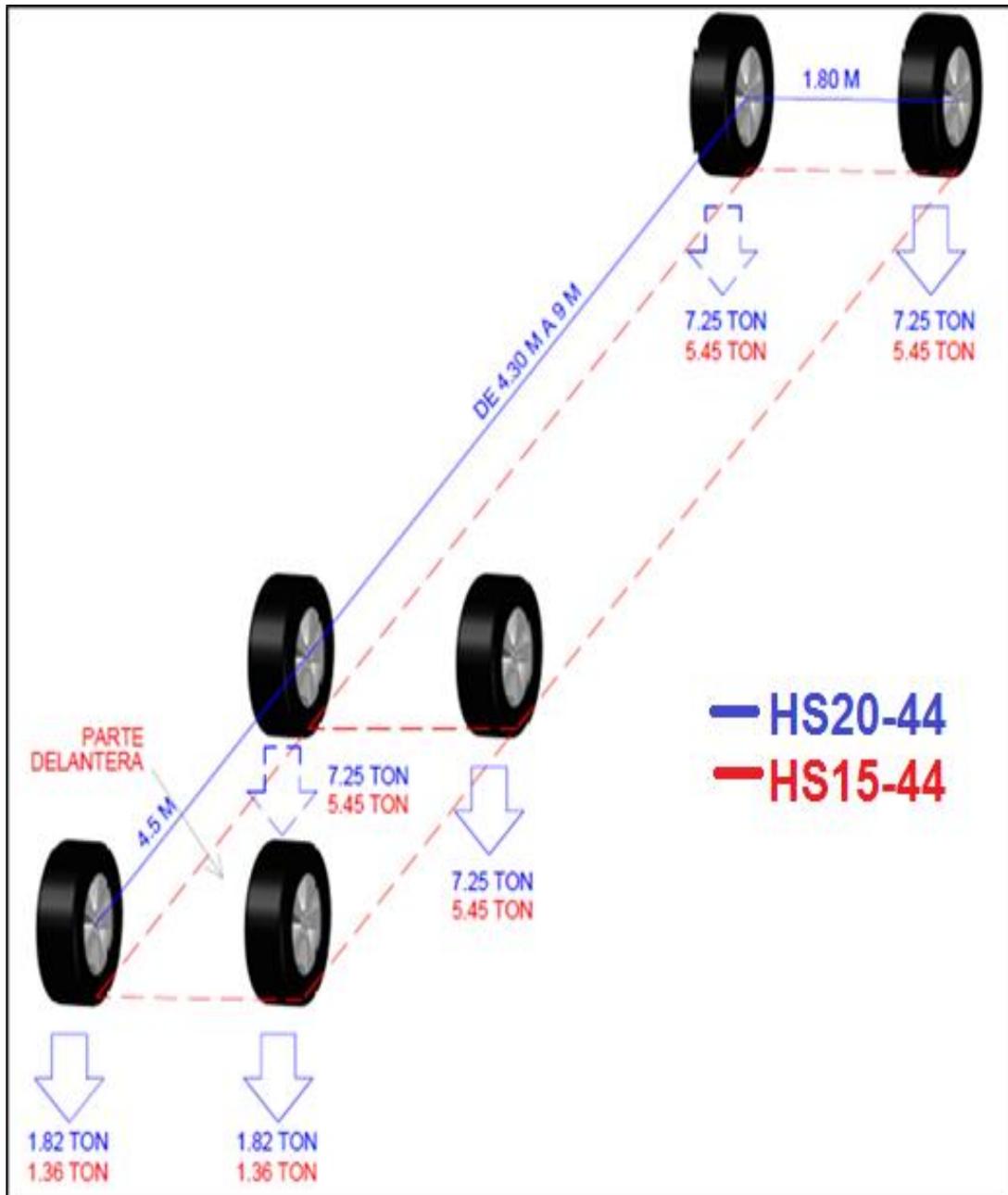
distribución de las cargas puntuales ejercidas por cada uno de los ejes y por cada neumático de los camiones de diseño según el código AASHTO utilizados usualmente en Guatemala, con el objetivo de demostrar la carga puntual a la que comúnmente está sometida la tapadera.

Figura 11. **Cargas por neumático de los camiones H20-44 y H15-44**



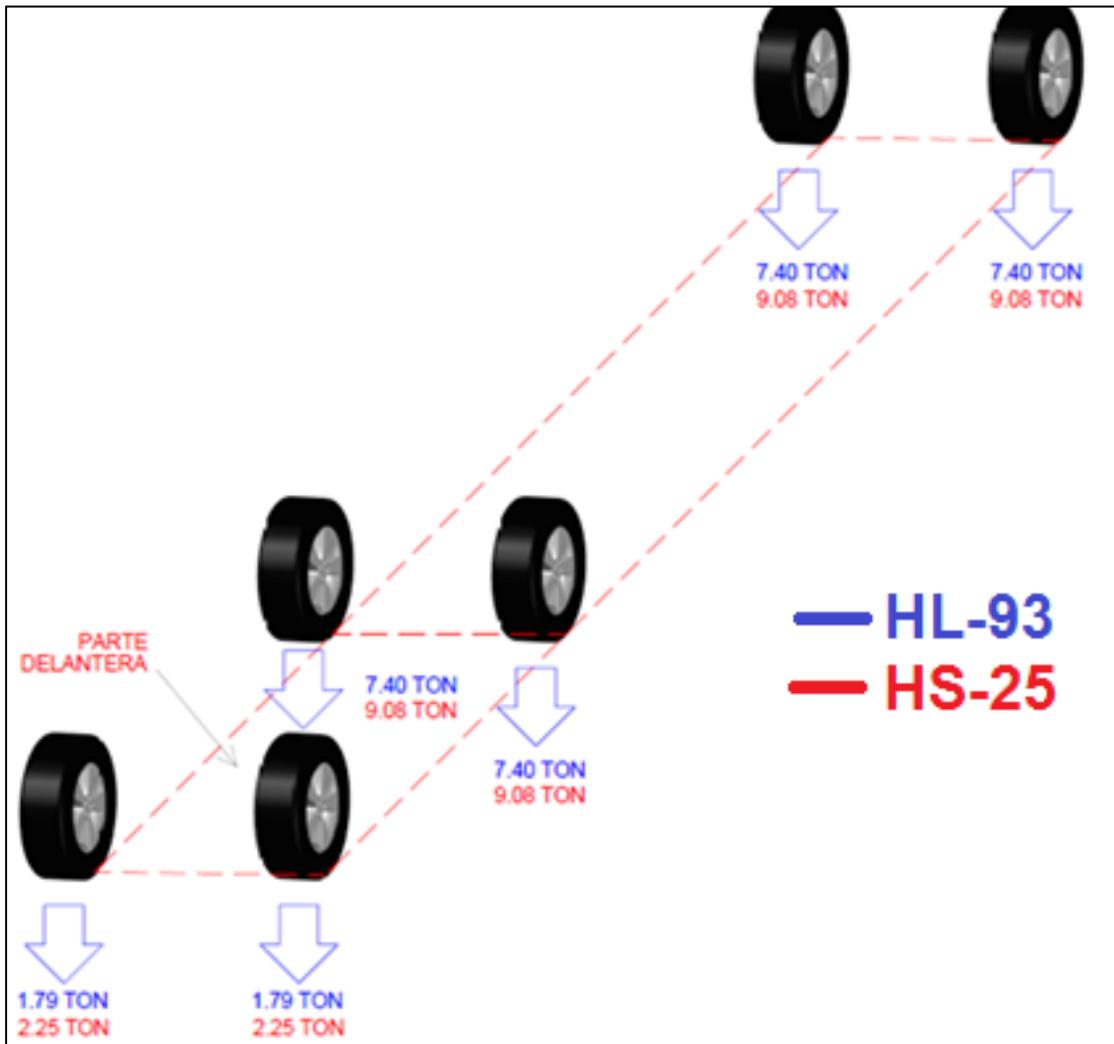
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2018.

Figura 12. Cargas por neumático de los camiones HS20-44 Y HS15-44



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2018.

Figura 13. Cargas por neumático de los camiones HL-93 Y HS-25



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2018.

La siguiente tabla muestra la clasificación de algunos camiones de diseño con su respectivo peso, utilizados en el diseño y construcción de carreteras y puentes según AASHTO.

Tabla I. **Clasificación de camiones de diseño**

Camión de diseño	Peso (W) en Toneladas métricas
H10-44	9,07 Ton
H15-44	13,60 Ton
H20-44	18,14 Ton
HS15-44	24,5 Ton
HS20-44	32,8 Ton
HS25	40,82 Ton
HL93	33,2 Ton

Fuente: elaboración propia.

1.2.3.1.2. Tándem de diseño

El tándem de diseño consiste en dos ejes de ruedas espaciadas a 1.20 m longitudinalmente pesando 11.22 toneladas métricas cada eje, la separación transversal de cada eje deberá ser de 1.8 m.

1.2.3.1.3. Línea de diseño

También llamada carga del carril de diseño o carga equivalente, esta consiste en una carga distribuida aplicable en secciones junto a una carga puntual, dicha carga tiene distintos valores dependiente del análisis a realizar, esta carga distribuida cubre un ancho o una faja mínima de 3 m y una carga puntual, usualmente está formada por una carga de 9.3N/mm uniformemente distribuida longitudinalmente para que transversalmente este distribuida en un ancho de 3 m.

1.2.3.2. Cargas peatonales

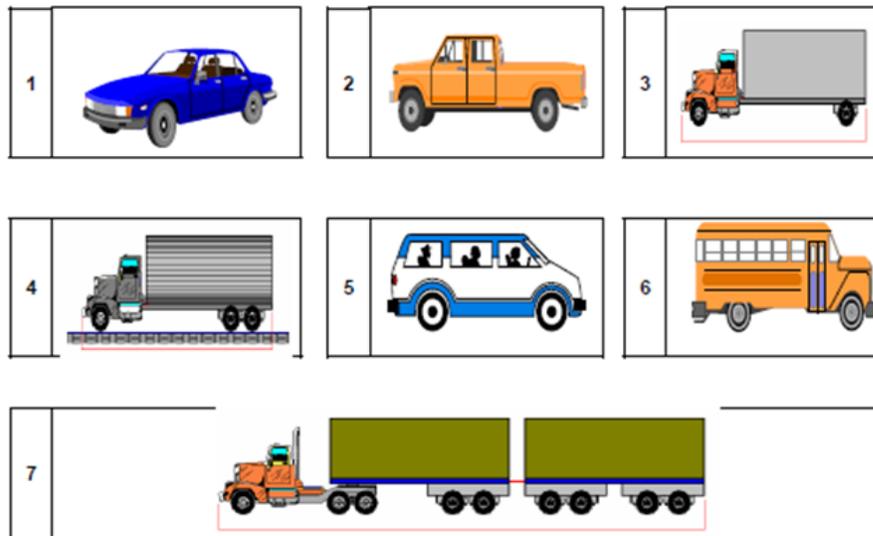
La carga peatonal según AASHTO es de 3.6×10^{-3} MPa y en el caso que se esté diseñando para el tránsito de bicicletas la carga viva será de 5×10^{-3} MPa, esta carga debe ser considerada debido a la utilización de tapaderas en banquetas, también es de importancia porque culturalmente en Guatemala usualmente los vehículos se suben a las banquetas.

1.2.4. Cargas vehiculares según el tránsito en Guatemala

El Departamento de Ingeniería de Tránsito de la Dirección General de Caminos, DGC, clasifica 7 tipos de vehículos dividiéndolos en livianos y pesados. El Manual de Diseño de Carreteras y Calles de la “American Association of State Highway and Transportation Officials”, AASHTO, considera 19 clasificaciones cada una con características propias. Se cuenta con la información histórica de 32 años continuos de conteos de tránsito, en los primeros 27 años de 1967 a 1993 donde solamente se incluían 3 tipos de vehículos pesados y que a partir de 1994 son 4 al asignar un nuevo tipo al transporte pesado de cuatro o más ejes y excluir las motos y tractores. Los camiones de 3 o más ejes fueron considerados en la nomenclatura de 1967 a 1993 dentro del tipo 4 y a partir de 1994 se les considera como vehículos tipo 7.

En la siguiente figura se muestran los diferentes tipos de vehículos automotores usados en el país, con la nomenclatura utilizada por el Departamento de Ingeniería de Tránsito de la Dirección General de Caminos.

Figura 14. Tipos de vehículos en Guatemala según la DGC



NOMENCLATURA 1,967 - 1,993	
1 Automóviles, Páneos y Jeeps	5 Microbuses
2 Pickups	6 Buses
3 Camiones medianos, de 2 ejes	7 Motos, Tractores, etc.
4 Camiones pesados, de 3 ejes en adelante	VEHÍCULOS PESADOS : TIPO: 3 + 4 + 6
NOMENCLATURA 1,994 en adelante	
1 Automóviles, Páneos y Jeeps	5 Microbuses
2 Pickups	6 Buses
3 Camiones medianos de 2 ejes	7 Vehículos de 4 ó más ejes (T3-S2-R4)
4 Vehículos de 3 Ejes (Trailer)	VEHÍCULOS PESADOS : TIPO: 3 + 4 + 6 + 7

Fuente: CORONADO, Jorge. *La infraestructura vial y el transporte, caso ruta del atlántico*. p. 4.

También existe otra nomenclatura para clasificar los tipos de vehículos que circulan en Centroamérica esta se clasifica en función de los pesos y dimensiones permisibles, fueron desarrolladas por la Secretaría de Integración Económica Centroamericana, SIECA, aprobadas en 1958 se tuvo que realizar una estandarización debido a que cada país tenía sus propias clasificaciones, concluyendo en el año 2001 con el Acuerdo Centroamericano sobre circulación por carreteras SIECA quedando como se presenta a continuación.

Tabla II. **Límite de peso por eje en toneladas métricas, SIECA**

Pesos máximos autorizados, en toneladas métricas Secretaría de Integración Económica Centroamericana, SIECA								
Tipo de vehículo	Eje simple direccional	Eje de tracción			Eje de arrastre			Total (toneladas)
		Eje simple	Doble rueda	Triple rueda	Eje simple	Doble rueda	Triple rueda	
C-2	5.00	10.00	-	-	-	-	-	15.00
C-3	5.00	-	16.50	-	-	-	-	21.50
C-4	5.00	-	-	20.00	-	-	-	25.00
T2 S1	5.00	9.00	-	-	9.00	-	-	23.00
T2 S2	5.00	9.00	-	-	-	16.00	-	30.00
T2 S3	5.00	9.00	-	-	-	-	20.00	34.00
T3 S2	5.00	-	16.00	-	-	16.00	-	37.00
T3 S3	5.00	-	16.00	-	-	-	20.00	41.00
otros	-	-	-	-	-	-	-	variable

Fuente: CORONADO, Jorge. *La infraestructura vial y el transporte, caso ruta del atlántico*. p. 36.

1.2.4.1. Parque vehicular

El parque vehicular es un registro de la cantidad de vehículos que circulan en el país registrado por los gobiernos de acuerdo con el tipo y servicio que presta dicho vehículo.

En la siguiente tabla se muestra el parque vehicular del país de Guatemala con el objetivo de demostrar la cantidad de vehículo pesado que circula en las carreteras.

Tabla III. **Parque vehicular en Guatemala**

TIPO DE VEHICULO	Dic - 2015	Dic - 2016	Dic - 2017	Dic - 2018
TOTAL	2,970,678	3,250,194	3,535,682	3,504,405
Autobuses, buses, microbuses	107,931	113,448	118,727	110,851
Automóviles	675,615	727,291	770,192	760,713
Camiones, cabezales y transporte de carga	145,681	153,443	159,255	154,006
Camionetas, camionetillas y tipo panel	332,441	378,302	426,769	452,895
Carretas, carretones, remolques, etc.	9,084	9,615	10,354	10,264
Furgones y plataformas	24,480	26,649	28,054	27,107
Grúas	907	1,030	1,141	1,236
Jeep	21,129	21,283	21,451	20,459
Motocicletas	1,087,834	1,227,879	1,379,149	1,358,756
Pick-up	554,351	579,399	608,297	595,896
Tractores y mini tractores	1,023	1,009	980	794
Otros	10,202	10,846	11,313	11,428

Fuente: Superintendencia de Administración Tributaria. *Parque vehicular por tipo de vehículo*.
<https://portal.sat.gob.gt/portal/estadisticas-indicadores-tributarios>. Consulta: 4 de febrero de 2019.

1.2.4.2. **Infraestructura vial en Guatemala**

La infraestructura vial en Guatemala ha sido clasificada según el tipo de ruta formulada es decir en función de los lugares que enlaza o comunica, a continuación se presenta la clasificación.

- Rutas Centroamericanas (CA): Ese tipo de ruta comunican la ciudad capital con las fronteras o dan paso a las rutas existentes que vienen de otros países, casi siempre atraviesan la república y tienen un derecho de vía de 25 m.

- Rutas Nacionales (NA): Este tipo de rutas enlazan cabeceras departamentales o unen las rutas centroamericanas con una cabecera departamental, también une rutas con puertos y su derecho de vía es de 25 m.
- Rutas Departamentales (RD): Son aquellas que como su nombre lo indica, enlaza cabeceras departamentales entre sí, también enlaza cabeceras municipales con rutas centroamericanas, rutas nacionales u otras departamentales y su derecho de vía es de 20m.
- Caminos Rurales (CR): Son aquellos caminos que enlazan a las comunidades rurales de los municipios.

1.3. Definiciones

Se presentan algunas definiciones importantes para abordar el contenido de la investigación para su interpretación. Según definiciones obtenidas del trabajo de graduación de Lopez, Samuel titulada *Diseño de mezcla de concreto polimérico utilizando resina, catalizador, arena de río, polvo de mármol, puzolana, balastro, mármol y piedrín*.

1.3.1. Polímeros

Son materiales de origen tanto natural como sintético, formados por moléculas de gran tamaño, conocidas como macromoléculas. En la actualidad es un material en proceso de utilización debido a sus altas propiedades físicas y mecánicas.

1.3.2. Plásticos

Son los materiales que resultan de mezclar uno o más polímeros con varios aditivos que mejoran sus propiedades. Pero el componente principal de un plástico, el que le da nombre y determina sus propiedades es el polímero.

1.3.3. Resina

Son sustancias líquidas que pueden pasar a estado sólido mediante una reacción química provocada por un agente externo. Existen diferentes tipos de resinas en las que se encuentran las llamadas poliéster, vinyl éster y epoxi. Estas últimas presentan mejores características de adición y resistencia al agua. Y es uno de los materiales para en la construcción de tapaderas de CP.

1.3.4. Catalizador

Un catalizador, propiamente dicho es una sustancia que está presente en una reacción química en contacto físico con los reactivos, y acelera, induce o propicia dicha reacción sin actuar en la misma.

1.3.5. Puzolana

Cenizas que pueden ser naturales y artificiales. Naturales son las volcánicas y se consideran artificiales las cenizas derivadas de la combustión de carbón mineral y biomasa.

1.3.6. Hierro fundido

Las fundiciones son aleaciones hierro-carbono donde el contenido de carbono varía entre 1,76 % y 6,67 % (aunque estos porcentajes no son completamente rígidos). Dentro de los hierros fundidos se encuentra una gran variedad, estas varían respecto al contenido de carbono y la implementación de otros elementos que le dan las propiedades requeridas.

1.3.7. Carbono

El carbono es un elemento químico de número atómico 6. Es sólido a temperatura ambiente. Dependiendo de las condiciones de formación puede encontrarse en la naturaleza en forma cristalina, como es el caso del grafito, el diamante y la familia de los fullerenos y nanotubos de carbono; o bien en forma amorfa (negro de humo).

1.3.8. Brocal

Brocal es el pretil o parapeto sólido que, por seguridad y utilidad, rodea un pozo a nivel de superficie. Es el elemento donde está apoyada la tapadera.

1.3.9. Factor de seguridad

El coeficiente de seguridad (también conocido como factor de seguridad) es el cociente entre el valor calculado de la capacidad máxima de un sistema y el valor del requerimiento esperado real a que se verá sometido. Por este motivo es un número mayor que uno, que indica la capacidad en exceso que tiene el sistema por sobre sus requerimientos.

1.3.10. Polimerización

La polimerización es un proceso químico por el que los reactivos, monómeros se agrupan químicamente entre sí, dando lugar a una molécula de gran peso, llamada polímero, o bien una cadena lineal o una macromolécula tridimensional.

2. GENERALIDADES SOBRE EL SISTEMA DE TAPADERAS

2.1. Uso de las tapaderas

A continuación se presenta información importante para adentrarse en el estudio del comportamiento y en la comparación de las tapaderas. En general el uso de las tapaderas tanto de concreto polimérico como de hierro colado es para cubrir y proteger la entrada a cámaras subterráneas de inspección, pozos de visita o pozos de registro para ser instaladas en vías de circulación de tránsito pesado o peatonal, pueden ser usadas en sistemas de telefonía, alcantarillado, drenaje pluvial, drenaje sanitario, agua potable o de electricidad.

2.2. Tapaderas de concreto polimérico (CP)

Son llamadas así porque están construidas con polímeros, estas sustituyen parcial o totalmente el cemento hidráulico, se dice parcialmente porque se puede usar el cemento hidráulico como un agregado más no la función de aglutinante.

2.2.1. Materiales que la conforman

Se inicia aclarando que existe una gran variedad de materiales con que se puede construir las tapaderas de CP sin salirse del esquema, estos van a variar dependiendo de la funcionalidad o utilidad que se requiera, el esquema se presenta a continuación:

Tabla IV. **Materiales para tapaderas de CP**

Material	Función
Resina poliéster o epoxi	Material aglutinante
Catalizador o acelerador monómeros.	Acelera la reacción química
Agregados, cargas minerales	Material de relleno y resistencia a la compresión.
Fibra de vidrio	Material de refuerzo que ayuda a la resistencia de tensión.
Aditivos, pigmentos, humectantes, antideslizantes.	Acabados
Desencofrante	Ayuda a separarse el producto del molde.

Fuente: elaboración propia.

2.2.2. Dimensiones y resistencias usuales a las que están diseñadas

Las dimensiones y resistencias a las que están diseñadas dependerán del tipo de carretera o banqueta donde se vaya a colocar dicha tapadera además depende del uso que se le vaya a dar, a continuación se presentan algunos tamaños y cargas utilizados usualmente por las empresas de telefonía y sistema de alcantarillado en tapaderas circulares.

Tabla V. **Dimensiones y resistencias usuales en CP**

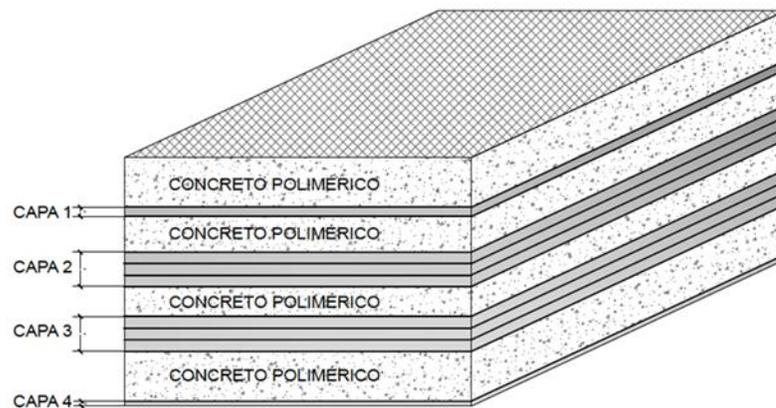
Diámetro (cm)	Espesor (cm)	Resistencia(Ton métricas)
70	5	12
80	4,5	12
80	5	12
65	4,5	16
65	4,5	21

Fuente: elaboración propia.

2.2.3. Diseño estructural

Debido a las propiedades mecánicas y físicas del concreto polimérico comúnmente las tapaderas están diseñadas con un espesor constante que le da la rigidez, dentro del espesor se encuentra el refuerzo sobre toda la superficie que resiste la tensión, el refuerzo regularmente es fibra de vidrio en forma de petatillo es decir entrelazado y este refuerzo se compone de varias capas y camas como se muestra en la figura, esta tapa está formada por cuatro capas donde la capa uno y cuatro está conformada de una cama y la capa dos y tres está conformada de tres camas de fibra de vidrio.

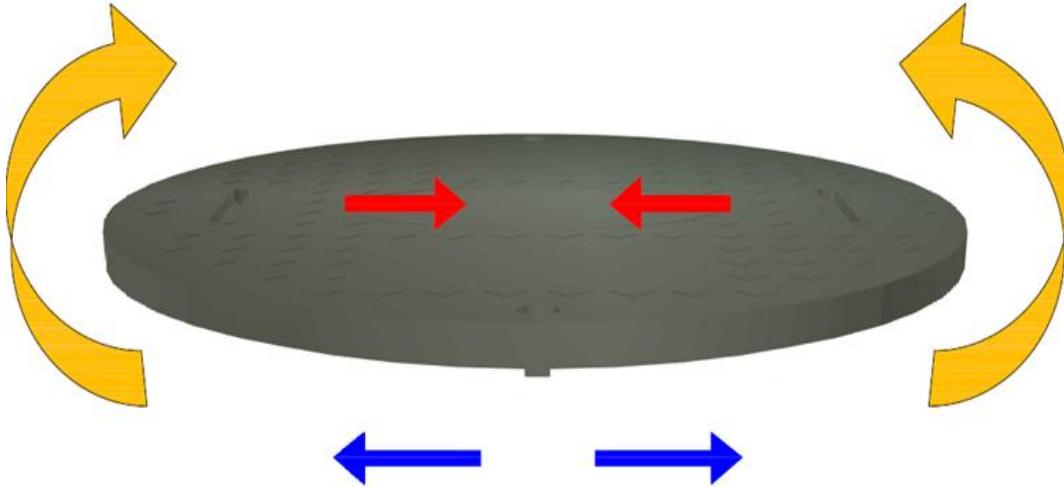
Figura 15. **Distribución de capas y camas de fibra de vidrio**



Fuente: Sección de Prefabricados. Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, USAC.

Idealmente se puede analizar la tapadera como una losa o una viga de puente sea el caso que esté simplemente apoyada, esta trabaja a flexión y trabaja como un diafragma, para analizarla se utilizará la parte más crítica es decir la parte central de la tapadera, por lo que en la parte superior al eje neutro trabaja a compresión, y en la parte inferior al eje neutro trabaja a tensión como se observa en la siguiente figura.

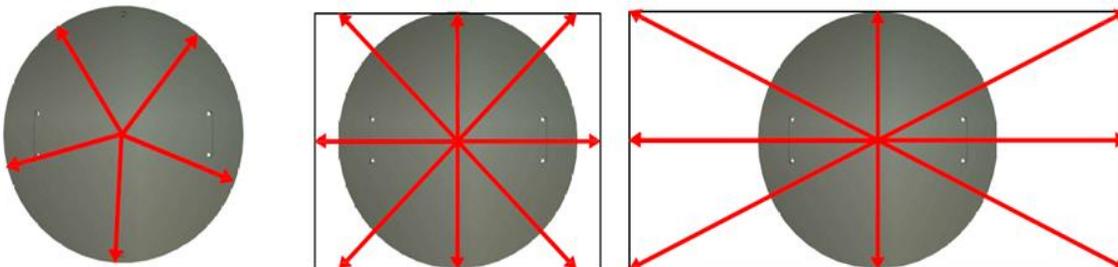
Figura 16. **Comportamiento de la tapadera**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2018.

Es por eso que la mayoría de las capas de fibra de vidrio deben ir debajo del eje neutro para que trabaje contrarrestando la tensión. Cuando existen esfuerzos de compresión los agregados son los encargados de trabajar dándole rigidez a la tapadera resistiendo la compresión. Además la carga más crítica que recibirán la tapaderas son la de los vehículos, estas se toman como una fuerza axial. Cuando existe una fuerza axial la distribución de esfuerzos es de forma radial, es por eso que las tapaderas son circulares, porque las distribuyen de mejor manera como se muestra a continuación.

Figura 17. **Distribución de esfuerzos**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2018.

2.2.4. Modelos de tapaderas de CP

Debido a las bondades de los materiales que conforma el concreto polimérico, las tapaderas pueden tomar varios diseños, tamaños, colores.

Figura 18. Algunos modelos de tapaderas de CP



Fuente: Sección de Prefabricados. Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, USAC.

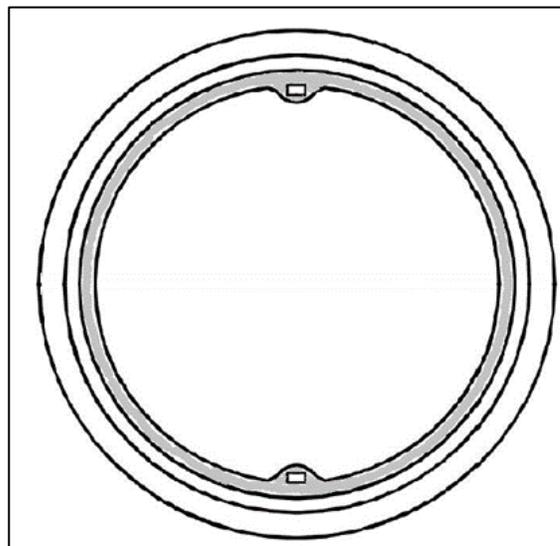
2.2.5. Brocal

Se presenta fundamentos para la interpretación del uso de los brocales.

2.2.5.1. Construcción del brocal

El brocal es el elemento donde llegarán las cargas aplicadas a la tapadera, la importancia del brocal irradia en el área de contacto que tiene con la tapadera. Para la construcción se utiliza moldes adecuados para darle la forma requerida según sea la necesidad. El área donde se apoya la tapadera debe estar a nivel y casar de forma perfecta de lo contrario puede producir una falla en la tapadera. A continuación se presenta el brocal, el área pintada indica el área de contacto con la tapadera.

Figura 19. **Brocal para tapadera de CP**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD2018.

2.2.5.2. Materiales para la construcción del brocal

El material que se utiliza es el concreto polimérico y debe ser el mismo con el que se hizo la tapadera con el objetivo de que la rigidez sea la misma y trabaje como solo un elemento.

2.2.5.3. Tipo de brocales

En la actualidad en Guatemala se maneja el brocal típico, donde la tapadera esta simplemente apoyada aunque en la actualidad en otros países existe otro tipo el cual tiene una bisagra que une al brocal con la tapadera, impidiendo quitarla por completo.

2.2.5.4. Tipo de fallas en brocales

Se muestra evidencia fotográfica de brocales que han llegado a su falla, estas fallas se deben a que al recibir la carga puede que la tapa no esté haciendo contacto en el entorno del broca sino que solo en un punto, allí la importancia de buscar una superficie constante en la tapadera y brocal para que tengan buen contacto y pueda transmitir los esfuerzos de buena manera. Además de usar buena dosificación de materiales.

Figura 20. Ejemplo de brocales fallados



Fuente: Sección de Prefabricados. Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, USAC.

2.3. Tapaderas de hierro colado

Las tapaderas de hierro colado provienen de una familia de materiales ampliamente conocido, su comportamiento es frágil y la mayoría de las tapaderas existentes están construidas con dicho material.

2.3.1. Materiales que la conforman

El hierro es un material metálico, magnético y maleable, que por sí solo su comportamiento mecánico es poco eficiente, para mejorar su comportamiento existe aleación que es la unión de dos o más elementos químicos a través de soluciones solidas o compuestos intermetálicos, por ello para las tapaderas metálicas se utiliza regularmente el hierro dúctil o también llamado hierro nodular y el hierro colado o también llamado hierro fundido.

El hierro colado es la aleación entre hierro (2,11 %), carbono (4,5 %), silicio (3,5 %), entre otros. El hierro nodular se caracteriza por la aleación con grafito lo que lo vuelve un material dúctil, resistente y de gran capacidad para resistir impactos.

2.3.2. Dimensiones y resistencias usuales a las que están diseñadas

Las dimensiones y resistencias van a variar dependiendo del uso que se le quiera dar, sin embargo mantienen dos tipos, las de uso liviano apropiadas para aceras, pasos peatonales o donde no exista tránsito vehicular y las de uso pesado apropiado para calles, calzadas o bulevares donde exista tránsito vehicular. Regularmente se manejan las siguientes dimensiones.

Tabla VI. **Dimensiones y resistencias usuales en hierro colado**

Diámetro (cm)	Espesor (cm)	Carga máxima (Ton métricas)
77	2,5	1
69,5	3	12
70	3	12
77	2,5	12
80,1	2,9	32

Fuente: elaboración propia.

2.3.2.1. **Diseño estructural**

Las propiedades mecánicas del hierro colado hacen necesario un diseño de tapaderas usualmente con un bajo espesor ayudando a resistir los esfuerzos de compresión, sin embargo la mayoría de tapaderas de hierro están diseñadas con nervios en la parte inferior comportándose como vigas secundaria en una losa ayudando a resistir los esfuerzos de tensión y disminuyendo el espesor.

Figura 21. **Diseño estructural de la parte inferior de la tapadera**



Fuente: Sección de Prefabricados. Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, USAC.

El diseño de la tapadera de hierro colado es totalmente distinto a la del concreto polimérico debido a que el hierro colado tiene un distinto comportamiento mecánico, sin embargo la tapadera también trabaja a flexo-compresión, se comporta como un diafragma y en la parte superior es afectada por esfuerzos de compresión y en la parte inferior a tensión.

2.3.3. Modelos

La mayoría de las tapaderas instaladas en campo son para telefonía y el diseño varía en función de la resistencia a la que están requeridas.

Figura 22. **Algunos modelos de tapaderas de hierro colado y nodular**



Fuente: Sección de Prefabricados. Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, USAC.

2.3.4. Brocal

El brocal es un elemento importante porque es el encargado de recibir los esfuerzos y transmitirlos, se presentan datos importantes sobre el mismo.

2.3.4.1. Construcción de brocal

La importancia irradia en el área de contacto con la tapadera, porque al brocal llegarán las cargas para luego transmitir las al suelo. Se utilizan moldes y en ellos se vierte el hierro para que tome la forma deseada. El brocal debe ser mayor al tamaño de la tapadera y también se busca que el área de contacto del brocal con el suelo sea la mayor, es por eso que existen brocales en la base con forma octogonal.

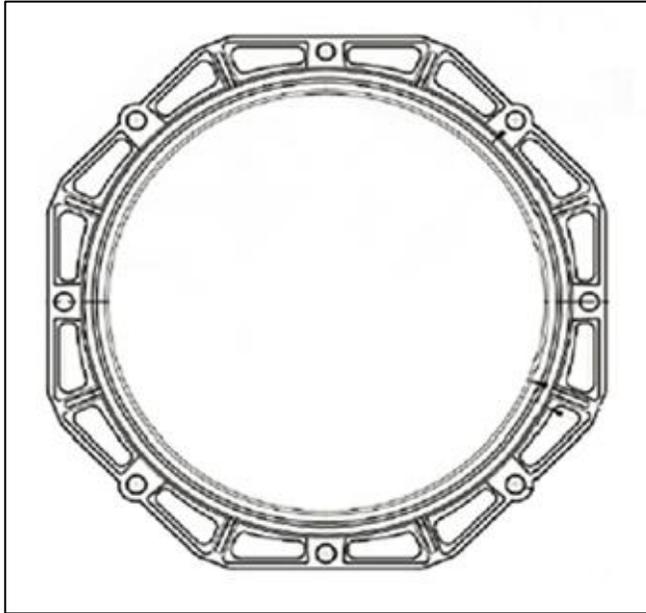
2.3.4.2. Materiales para la construcción del brocal

Para la construcción de los brocales se busca que sean del mismo material de la tapadera para que tengan el mismo comportamiento. El material usado es el hierro colado y el hierro nodular.

2.3.4.3. Tipos de brocales

Los tipos de brocales están en función de su forma y uso, entre ellos se encuentran los brocales circulares, brocales octogonales, brocales con pestaña y según su uso se encuentran los brocales con bisagra para unir la tapadera y el tradicional.

Figura 23. **Tipo de brocal octogonal de hierro**



Fuente: Sección de Prefabricados. Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, USAC.

2.4. Normas utilizadas para la evaluación de los materiales y análisis mecánico de las tapaderas

ASTM A48 / A48M-03 (2016). Especificación estándar para piezas de fundición de hierro gris: Esta especificación cubre piezas de fundición de hierro gris para uso de ingeniería general donde la resistencia a la tracción es una consideración importante. Las piezas fundidas se clasifican en función de la resistencia a la tracción del hierro en barras de prueba fundidas por separado. La superficie de la pieza fundida deberá estar libre de arena, escamas, grietas y desgarros calientes adheridos, según lo determine el examen visual. Las barras de prueba están designadas en las categorías S, A, B y C, de acuerdo con el grosor de su sección de pared de control. La fundición se someterá a un ensayo de tensión para determinar su resistencia a la tracción.

ASTM A278 Especificación estándar para piezas de fundición de hierro gris para piezas que contienen presión para temperaturas de hasta 650 ° F (350° C): Esta especificación cubre el hierro gris para piezas de fundición adecuadas para piezas que contienen presión a temperaturas elevadas. Las piezas de fundición se aliviarán de la tensión colocándolas en un horno adecuado y calentándolas uniformemente a las temperaturas y durante los tiempos especificados. Las piezas de fundición que se utilizarán en un rango de temperatura particular se someterán a tratamiento térmico y enfriamiento. El análisis químico se realizará en cada clase de piezas fundidas y cumplirá con el requisito máximo de carbono, fósforo y azufre. El hierro utilizado en el suministro de piezas de fundición se ajustará a la resistencia a la tracción requerida. Las barras de prueba fundidas por separado que tengan las dimensiones requeridas se verterán desde el mismo lote que las piezas de fundición representadas. Las barras de ensayo deben moldearse en moldes de arena silíceo seca mantenidos a aproximadamente la temperatura ambiente.

ASTM A319 -71 (2015). Especificación estándar para piezas de fundición de hierro gris para temperaturas elevadas para piezas que no contienen presión: Esta especificación cubre piezas de fundición de hierro gris expuestas a temperaturas elevadas para piezas que no contienen presión, como barras de rejilla, eslabones de calderas, partes de calderas, partes de hornos de aceite, piezas de fogones, moldes de lingotes, moldes de vidrio, ollas cáusticas y ollas de fusión de metales. Las tres clases de hierro gris que se cubren aquí son: Clase I, que posee una resistencia superior al choque térmico; Clase II, que posee una resistencia al choque térmico promedio y una resistencia a la tracción moderadamente buena; y Clase III, que posee una mayor resistencia a la tracción que cualquiera de las Clases I o II.

ACI318SUS-14 Cubiertas planas tabla 24.2.2: Para la determinación y evaluación del límite de deflexión.

ACI548.1R-97 Guía para el uso de concreto polimérico: Especificaciones y requerimientos para el uso y la clasificación de los concretos poliméricos.

ASTM C33 o COGUANOR NGO 41007: Generalidades y especificaciones para agregados finos y gruesos.

ASTM C618 -19: Especificación estándar para cenizas volantes de carbón y puzolana natural cruda o calcinada para uso en concreto.

3. MATERIALES UTILIZADOS USUALMENTE EN LA CONSTRUCCIÓN DE TAPADERAS

3.1. Tapadera de concreto polimérico

El término concreto polimérico no debería sugerir un solo producto, sino una familia de productos. La aplicación y el rendimiento del concreto polimérico dependen del aglomerante polimérico específico, así como el tipo de agregado y su gradación.

Las tapaderas están conformadas según lo visto en el capítulo 2 tabla IV, para tener mayor detalle se definen a continuación cada uno de los materiales.

3.1.1. Resina poliéster

“Por definición química, un poliéster se forma al reaccionar un ácido dicarboxílico y un alcohol polihídrico, a temperaturas superiores a 100 grados centígrados, obteniéndose un poliéster y agua como resultado de la reacción anterior”.¹ De acuerdo con el tipo de ácidos y alcoholes empleados, las modificaciones que se hagan, se obtendrán distintos grupos de productos que los clasificarán de acuerdo con la siguiente lista.

¹ PARRILLA, Felipe. *Resina poliéster, plásticos reforzados*. p. 4.

3.1.1.1. Poliésteres no saturados

Los poliésteres no saturados se obtienen al reaccionar ácido dicarboxílico y alcoholes polihídricos, son de tipo resina poliéster lineal, pueden crear polimerización en forma reticulada para formar plásticos termofijos.

3.1.1.2. Alquidales

Usualmente se le llama también poliésteres modificados con aceite, se utiliza para recubrimientos decorativos o protectores como los barnices, pinturas y tintas de imprenta.

3.1.1.3. Plastificantes

Este pertenece a la familia de poliésteres saturados, usualmente se utilizan para ablandar o flexibilizar otros plásticos también se les llama plastificantes poliméricos que se pueden utilizar para la creación de vinilo.

3.1.1.4. Fibra y películas

Son poliésteres tienen como propiedad gran peso molecular, orientados molecularmente unidos entre sí, se utilizan en ácidos y alcoholes específicos.

3.1.1.5. Espumas de poliéster

Son de la familia de los poliésteres con un alto número de grupos hidroxilo que reaccionan con encadenamientos entrecruzados con grupos isocianato. Se conoce también, con el nombre genérico de poliuretanos y en este grupo se encuentran los elastómeros.

3.1.1.6. Catalizadores / aceleradores

Los aceleradores tienen como fin descomponer rápidamente el catalizador y acelerar la reacción de polimerización o curado.

El proceso para convertir una resina poliéster en estado líquido a un estado sólido, implica una reacción química llamada "polimerización" y en ésta, el monómero en el que se encuentra disuelta la resina, reacciona con los grupos no saturados para formar un compuesto termofijo. Esta reacción de polimerización, se clasifica como reacción de adición, debido a que no se forman subproductos, es decir su conversión es 100%, y se conoce o denomina en la industria del plástico reforzado como curado.²

Tabla VII. **Aceleradores/catalizadores utilizados usualmente**

Aceleradores	Catalizadores	Temperatura de reacción
Sales metálicas	Hidroperóxidos:	
Naftenato de cobalto o cobre; octoato de cobalto, manganeso, etc.	Peróxido de metil, etil cetona, hidroperóxido de cumeno	Ambiente (25°C)
Aminas (Dimetil anilina, Dietil anilina, Dimetil Paratoluidina, Acetamida)	Peróxidos: Peróxido de Benzolio Hidroperóxidos	Ambiente (25°C)
Las anteriores, mezcladas con sales de cobalto	Peróxido de metil Etil Cetona	
Aminas Cuaternarias	Hidroperóxidos Peróxido Metil Etil Cetona	Ambiente (25°C)
Mercaptanos: Mercaptano etanol Lauril Mercaptano	Hidroperóxidos Peróxido Metil Etil Cetona	Ambiente (25°C)

Fuente: PARRILLA CORZAS, Felipe. *Resinas poliéster, plásticos reforzados*. p. 47.

² PARRILLA, Felipe. *Resinas poliéster, plásticos reforzados*. p. 41

La reacción de polimerización o curado se puede lograr de distintas maneras, entre los que se encuentran los siguientes:

3.1.1.7. Por medio de temperatura/rayos infrarrojos

Si el poliéster se somete a temperaturas en un tiempo corto existirá la polimerización, para este caso la velocidad de reacción es directamente proporcional a la temperatura, es decir que se toma menos tiempo para convertirse. Tomando en consideración esta reacción se puede utilizar hornos con emisores de luz infrarroja que al aumentar la temperatura aumenta el curado.

3.1.1.8. Microondas

“Esta técnica de polimerización están basadas en la excitación molecular, generadas por un campo eléctrico oscilante, que activa las moléculas haciéndolas rotar y oscilar a alta velocidad, produciendo de esta manera colisiones moleculares que aumenta la energía cinética, obteniéndose a su vez calor que es aprovechado en la polimerización”.³

3.1.1.9. Radio frecuencia

La radio frecuencia se origina entre dos placas que actúan como electrodos, y la excitación molecular se encuentra localizada en esta área. Las microondas, que requieren mayor energía (alrededor de 25 veces) se genera en un tubo, y se conduce a través de una guía hasta una cavidad en la que la energía debe ser contenida para asegurar el calentamiento. Este tipo de técnicas de polimerización se emplean en algunos procesos de fabricación, por ejemplo: fabricación de molduras, barras y perfiles de plástico reforzado.⁴

³ PARRILLA, Felipe. *Resinas poliéster, plásticos reforzados*. p. 41.

⁴ *Ibíd.*

3.1.1.10. Rayos ultravioleta

La reacción de la luz solar sobre la resina poliéster origina un gelado y curado, esta propiedad es producida por la longitud de onda de alguno de los componentes de la luz solar, primordialmente por los rayos ultravioleta.

3.1.2. Fibra de vidrio

Este es un material que es utilizado como refuerzo en el concreto polimérico, sustituyendo al acero en el caso del concreto armado tradicional, en la fabricación del plástico reforzado, el material empleado con mayor frecuencia es la fibra de vidrio, esto se debe a que la fibra de vidrio posee buenas características físicas y buenas propiedades mecánicas como lo son:

- Alta resistencia a la tensión
- Completamente incombustible
- Biológicamente inerte
- Excelente resistencia al intemperismo y a gran cantidad de agentes químicos.
- Excelente estabilidad dimensional.
- Baja conductividad térmica.

Existen diversos tipos de fibra de vidrio, acorde a sus composiciones se pueden mencionar:

3.1.2.1. Vidrio “A” o alcalino

La composición es similar a la utilizada para los envases y vidrios de ventana. En la industria de plásticos reforzados no es utilizado comúnmente, regularmente se utiliza como refuerzo para impermeabilizantes.

3.1.2.2. Vidrio “E”

Este tipo de vidrio (borosilicato) es comúnmente empleado en la fabricación de plásticos reforzados (termofijos o termoplásticos) y su acabado o aglutinante (apresto), mejora las características de unión físicoquímica con el polímero de tal forma que el compuesto satisface requerimientos mecánicos.

3.1.2.3. Vidrio “C”

Se le designa de esa manera por la resistencia química que posee, se utiliza para velos de superficie en equipo de procesos que contiene o conduce reactivos químicos, aun cuando en algunos casos ha sido sustituido por velos de fibra sintética (que tiene una resistencia química más amplia) principalmente cuando existe ácido fluorhídrico (HF) en el compuesto químico, pues el HF ataca al vidrio.

3.1.2.4. Vidrio “S”

Este tipo de vidrio es muy utilizado debido a que su posee una gran propiedad mecánica la cual es una alta resistencia sin embargo se está sustituyendo por fibras o refuerzos poliamídicos de carbono. Más no deja de cumplir un buen trabajo.

3.1.2.5. Zentron

Comercialmente se le conoce como fibra de vidrio con alto contenido de sílice y alta resistencia se emplea con resina epóxica esterres vinílicas o fenólicas. Eventualmente se utiliza en procesos de embobinado, extrusión en piezas de alta resistencia mecánica, telas tejidas (petatillo), para compuestos específicos.

Las principales formas de presentación del refuerzo de fibra de vidrio son:

- Mecha (roving)
- Colchoneta-fieltro (Mat)
- Petatillo (Woven Roving)
- Velo (Surfacing Mat)
- Filamento cortado (Chopped Strand)
- Tejidos multidireccionales
- Fibra molida
- Hojuela de vidrio

3.1.3. Petatillo

Esta forma de presentación de la fibra de vidrio consiste en cabos de *roving* tejidos en forma entrecruzada y en ángulos de 90 grados con respecto a sus ejes longitudinales. Debido a su forma, este material tiene la característica de repartir las cargas y esfuerzos en sentidos transversales es decir a 90 grados.

3.1.4. Cargas o rellenos (*fillers*)

“Se llama cargas a todos aquellos materiales que mezclados con la resina, aunque no reaccionan con ella, ayudan a mejorar ciertas características como rigidez, resistencia a la abrasión y en algunos casos su empleo se origina por la necesidad de disminuir costos en el producto terminado”.⁵ Existen 8 tipos principales de cargas, que solas o combinadas pueden proporcionar las propiedades requeridas, estas cargas son:

3.1.4.1. Carbonato de calcio

Para este caso el mármol es el carbonato de calcio natural también se encuentra precipitado por procesos químicos que poseen poca absorción de aceite, este se utiliza para bajar costos, la ventaja es que se pueden utilizar grandes porciones del mismo sin aumentar la viscosidad del sistema.

3.1.4.2. Silicato de aluminio hidratado

Es una carga utilizada comúnmente ya que lo que busca esta carga es aumentar la viscosidad en la mezcla a la vez aportando de gran manera a la resistencia de abrasión.

3.1.4.3. Talco (silicato de magnesio anhidro)

Es también de origen natural y existen varios tipos, la principal característica del talco en un sistema de resina/fibra de vidrio, es impartir “fluidez” y ayudar a impregnar la fibra vidrio empleada como refuerzo.

⁵ PARRILLA, Felipe. *Resina poliéster, plásticos reforzados*. p. 49

3.1.4.4. Arena sílica / cuarzo

Esta carga es un material de relleno empleado comúnmente debido a que mejora la resistencia a la abrasión.

3.1.4.5. Hidrato de aluminio

Material de relleno, su función principal es impartir características de retardante al fuego y se emplea en cantidades hasta de 40%.

3.1.4.6. Microesfera de vidrio (sólida o hueca)

Se emplea principalmente como carga reforzante en el sistema de "picado a mano" substituyendo parcialmente a la fibra de vidrio, contribuye a mejorar la resistencia a abrasión.

3.1.4.7. Microesfera cerámica

Con aplicaciones similares a la anterior, tienen sin embargo propiedades que la hacen particularmente útil en ciertas aplicaciones.

3.1.4.8. Sílica sublimada (sílica pirogenada)

La sílica sublimada se fabrica por hidrólisis de tetracloruro de silicio en una flama de hidrógeno y oxígeno, formando esferas de sílice fundidas que se unen entre sí, dando lugar a cadenas tridimensionales y aglomerados que aumentan al enfriarse la sílice.

3.1.5. Clasificación de las puzolanas

Las puzolanas son materiales naturales o artificiales que contienen sílice y/o alúmina. No son cementosas en sí, pero cuando son molidos finamente y mezcladas con cal, la mezcla fraguará y endurecerá a temperaturas normales en presencia de humedad, como el cemento. Se pueden dividir en:

3.1.5.1. Puzolanas naturales

Los materiales denominados puzolanas naturales pueden tener dos orígenes distintos, uno puramente mineral y otro orgánico. Las puzolanas naturales de origen mineral son productos de transformación del polvo y cenizas volcánicas que, como materiales piroclásticos incoherentes procedentes de erupciones explosivas.

Las puzolanas naturales de origen orgánico son rocas sedimentarias abundantes en sílice hidratada y formadas en yacimientos o depósitos que en su origen fueron submarinos, por acumulación de esqueletos y caparazones silíceos de animales (infusorios radiolarios) o plantas (algas diatomeas).

3.1.5.2. Puzolanas artificiales

Se definen estas como materiales que deben su condición de tales a un tratamiento térmico adecuado. Dentro de esta condición cabe distinguir dos grupos, uno formado por materiales naturales silicatados de naturaleza arcillosa y esquistosa, que adquieren el carácter puzolánico por sometimiento a procesos térmicos.

El otro constituido por subproductos de determinadas operaciones industriales, que, en virtud de su naturaleza y de las transformaciones sufridas en las mismas, adquieren las propiedades puzolánicas.

3.2. Tapaderas de hierro

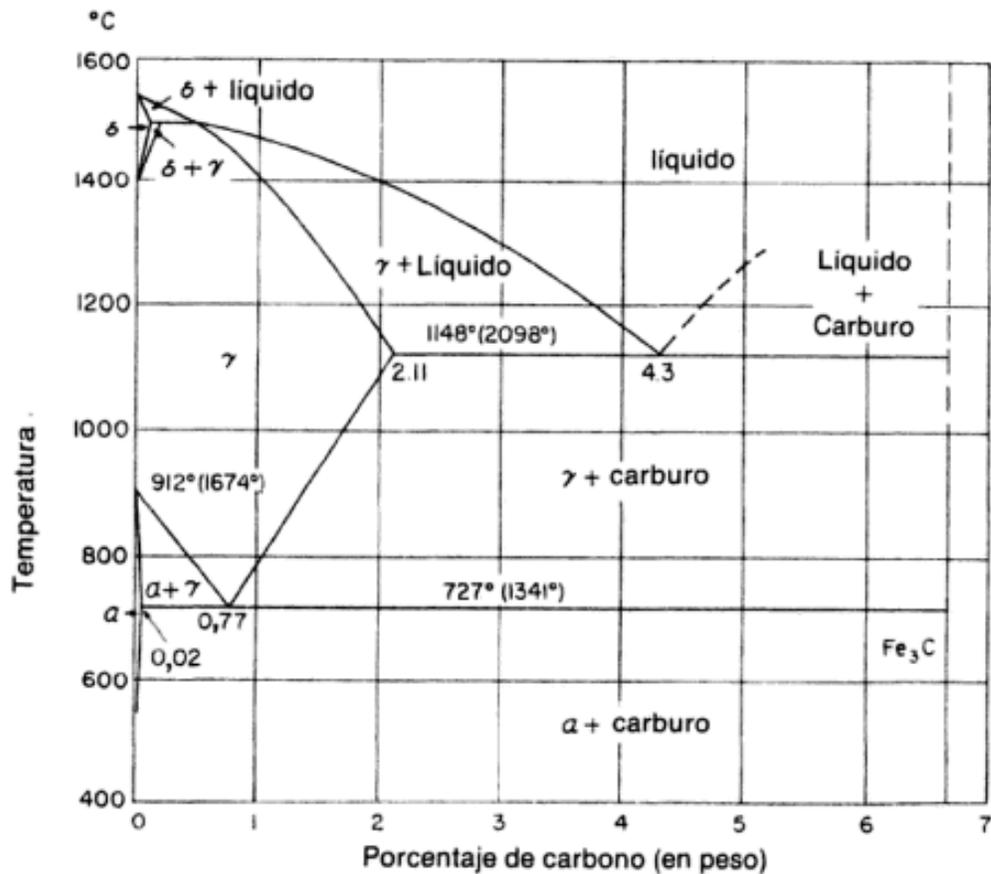
A continuación se presentan los conceptos acerca de los tipos de hierros.

El término hierro fundido se refiere a una familia de aleaciones ferrosas compuestas por hierro, carbono (que va de 2,11 % a casi 4,5 %) y silicio (casi hasta 3,5 %).

El diagrama Hierro – Carbono es la representación del campo de estabilidad del metal según el porcentaje de carbono y a determinada temperatura. También depende de la velocidad de enfriamiento del material. Las tres clasificaciones que acepta el diagrama es: acero, hierro y fundiciones.

Los aceros y los hierros fundidos están representados por el sistema binario hierro - carbono. El hierro comercialmente puro contiene hasta 0,008 % de carbono, los aceros hasta 2,11 % de carbono, y los hierros fundidos hasta 6,67 % de carbono, aunque la mayor parte de los hierros fundidos contienen menos de 4,5 % de carbono.

Figura 24. Diagrama de hierro-carbono



Fuente: DEGARMO, Paul., TEMPLE BLACK, J y KOHSER, Ronal. *Materiales y procesos de fabricación*. p. 145.

Es común que los hierros fundidos se clasifiquen según su morfología de solidificación, a partir de la temperatura eutéctica, de la siguiente manera:

3.2.1. Hierro fundido gris o hierro colado

En esta estructura, el grafito existe mayormente en la forma de hojuelas. Se le llama hierro fundido gris, o hierro gris, porque cuando se rompe la trayectoria de la fractura corre a lo largo de hojuelas de grafito y tiene una apariencia gris, parda. Estas hojuelas actúan como elevadores del esfuerzo. El resultado es que el hierro gris tiene una ductilidad despreciable y es de baja resistencia a la tensión (aunque de alta resistencia a la compresión), como lo son otros materiales frágiles. En cambio, la presencia de hojuelas de grafito da a este material la capacidad para

amortiguar vibraciones (por fricción interna) y, en consecuencia, la capacidad para disipar energía. Esta capacidad hace que el hierro gris sea un material adecuado para resistir compresión y que sea utilizado comúnmente, en la construcción de bases para máquinas herramienta y estructuras para maquinaria.

Existen tres tipos de hierro fundido gris que son el ferrítico, el perlítico y el martensítico. Debido a la diferencia de estructura, cada uno tiene distintas propiedades y aplicaciones. En el hierro gris ferrítico (también conocido como hierro totalmente gris), la estructura consiste en hojas de grafito en una matriz de ferrita alfa. El hierro gris perlítico tiene una estructura de grafito en una matriz de perlita; aunque aún es frágil, es más fuerte que el hierro totalmente gris. El hierro gris martensítico se obtiene austenizando un hierro gris perlítico y enfriándolo después con rapidez para producir una estructura de grafito en una matriz de martensita. El resultado es que el hierro fundido martensítico es muy duro.⁶

3.2.2. Hierro dúctil o hierro nodular

Estructuralmente cada hierro tiene distinta composición, en el caso del hierro dúctil o nodular el grafito que es uno de sus elementos que lo conforman, se encuentra en forma nodular o esferoidal, esto hace que de cierta manera el hierro sea dúctil y tenga capacidad de resistir impacto. Las hojuelas de grafito se modifican y cambian a nódulos mediante la unión con magnesio al metal fundido antes de colocarlos. El hierro nodular puede modificarse y cambiar a ferrítico o perlítico mediante temperatura o incluso a través de tratamiento térmico modificarlo a martensita revenida.

3.2.3. Hierro fundido blanco

“Su estructura es muy dura, resistente al desgaste y frágil, debido a la presencia de grandes cantidades de carburo de hierro (en lugar de grafito). El hierro fundido blanco se obtiene mediante el enfriamiento rápido de hierro gris, o ajustando la composición al mantener bajo el contenido de carbono y silicio”.⁷

⁶ KALPAKJIAN, Serope y SCHMID, Steven. Manufactura, ingeniería y tecnología. p. 126

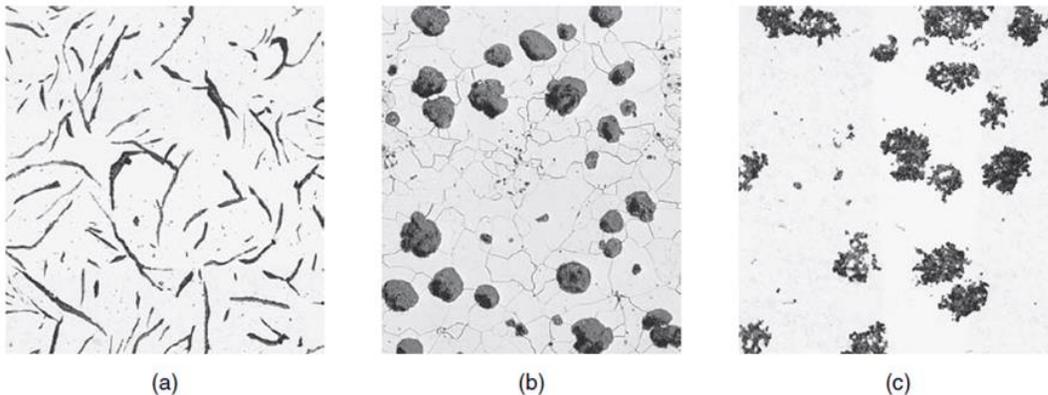
⁷ Ibíd.

A este tipo de hierro fundido también se le llama hierro blanco o fundición blanca debido a la apariencia cristalina blanca de la superficie de fractura.

3.2.4. Hierro maleable

Este tipo de hierro maleable se obtiene recociendo hierro fundido blanco en una atmósfera de monóxido de carbono y bióxido de carbono, a entre 800 °C y 900 °C (1470 °F y 1650 °F), hasta por varias horas, según el tamaño de la parte. Durante este proceso, la cementita se descompone (disocia) en hierro y grafito. A comparación del hierro nodular el grafito se presenta como racimos o rosetas en una matriz de ferrítica o de perlítica. En consecuencia, el hierro maleable tiene una estructura similar a la del hierro nodular. Como resultado esta estructura adquiere una propiedad de ductilidad, buena resistencia y capacidad de recibir impacto de ahí es que proviene el término maleable.

Figura 25. **Microestructura de hierros fundidos**



Fuente: KALPAKJIAN, Serope y SCHMID Steven. *Manufactura, ingeniería y tecnología*. p. 126.

Donde (a) hierro gris ferrítico con hojuelas de grafito. (b) hierro ferrítico dúctil (hierro nodular) con grafito en forma nodular. (c) hierro ferrítico maleable. Este hierro fundido se solidificó como hierro fundido blanco con el carbono presente como cementita y tratado térmicamente para grafitizar el carbono.

3.2.5. Hierro de grafito compactado

Este tipo de hierro también mantiene una estructura con grafito, la diferencia se encuentra en la forma de como las presenta ya que las presenta en forma de hojuelas cortas, gruesas e interconectadas, con superficies onduladas y extremidades redondeadas. En relación a sus propiedades mecánicas y características físicas se encuentran intermedias entre las de hierro fundido con grafito en hojuelas y del hierro fundido con grafito nodular.

4. DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.1. Maquinaria, equipo y herramienta

- Marco de carga con una capacidad de 150,000 lb
- Patín con área cuadrada de hierro de 30cm x 30 cm
- Sargentos
- Platinas cuadradas y rectangulares de hierro
- Planchas cuadradas de neopreno de distintos espesores
- Deformímetros con capacidad de dos y diez centímetros
- Plancha cuadrada de metal
- Base metálica con nervios para apoyo
- Nivel de mano, flexómetro

4.2. Descripción del ensayo a flexión

Para el desarrollo experimental se seleccionó los datos de tres tapaderas de concreto polimérico y tres tapaderas de hierro colado todas con una capacidad de carga de 12 ton, dichos datos, resultados de ensayos a flexión fueron proporcionados por la Sección de Estructuras, Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. El ensayo consistió en aplicar una carga puntual controlada en la parte central de la tapadera.

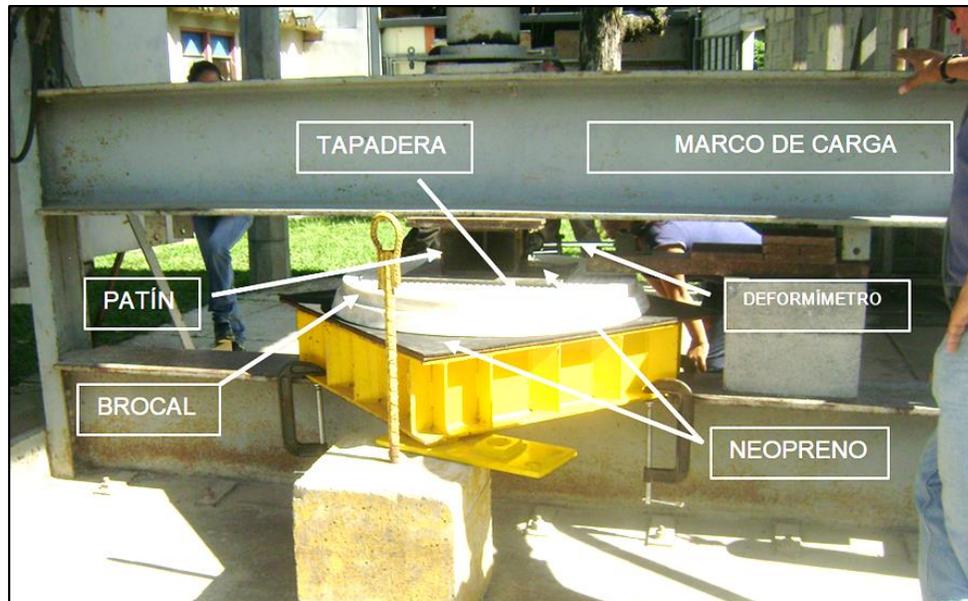
4.2.1. Procedimiento del ensayo

- Colocar la plancha para apoyo asegurándola con sargentos
- Colocar la base metálica con nervios sobre la plancha
- Colocar el sistema de la tapadera y brocal sobre la base
- Colocar el patín sobre la tapadera, este debe estar nivelado y centrado, el patín simula los efectos de las cargas causadas por el tránsito vehicular.
- De ser necesario se coloca una plancha de neopreno entre la tapadera y el patín.
- Colocar deformímetros lo más cerca al centro de la tapadera.
- Primer ciclo: aplicar carga en forma sostenida y constante hasta alcanzar la carga de diseño.
- Descargar a velocidad constante.
- Segundo ciclo: aplicar carga en forma sostenida y constante hasta alcanzar la carga de diseño más el factor de seguridad.
- Descargar a velocidad constante para verificar la capacidad de recuperación de la tapadera.
- Tercer ciclo: aplicar carga nuevamente hasta llevarla a su colapso de ser necesario.
- Durante las cargas y descargas se anotan las lecturas de los deformímetros.

4.2.2. Esquema del ensayo a flexión

Se muestra cómo se coloca usualmente el equipo y la tapadera para realizar el ensayo a flexión.

Figura 26. **Esquema del ensayo a flexión de tapadera**



Fuente: Sección de Estructuras. Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

4.3. Descripción de las muestras (tapaderas)

Se presenta de manera ordenada datos puntuales sobre cada una de las tapaderas, tanto de hierro colado como las de concreto polimérico.

4.3.1. Descripción de las tapaderas

En función de cada muestra se presenta sus características físicas en forma de tabla para poder diferenciar la variación que existe y así poder comparar y demostrar su eficiencia.

Tabla VIII. **Descripción tapaderas HC**

Característica	Muestra 1 HC	Muestra 2 HC	Muestra 3 HC
Diámetro	69,5 cm	67 cm	77 cm
Espesor	3 cm	5 cm	2,5 cm
Factor de seguridad	2	2	2
Peso de la tapa	113 kg	88 kg	75 kg
Numero de nervios	6	6	6

Fuente: Sección de Estructuras. Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Tabla IX. **Descripción tapaderas CP**

Característica	Muestra 1 CP	Muestra 2 CP	Muestra 3 CP
Diámetro	80 cm	80 cm	70 cm
Espesor	4,5 cm	5 cm	5 cm
Factor de seguridad	2	2	2
Peso de la tapa	45 kg	44,21 Kg	49,9 kg
Tipo de refuerzo	Fibra de vidrio	Fibra de vidrio	Fibra de vidrio

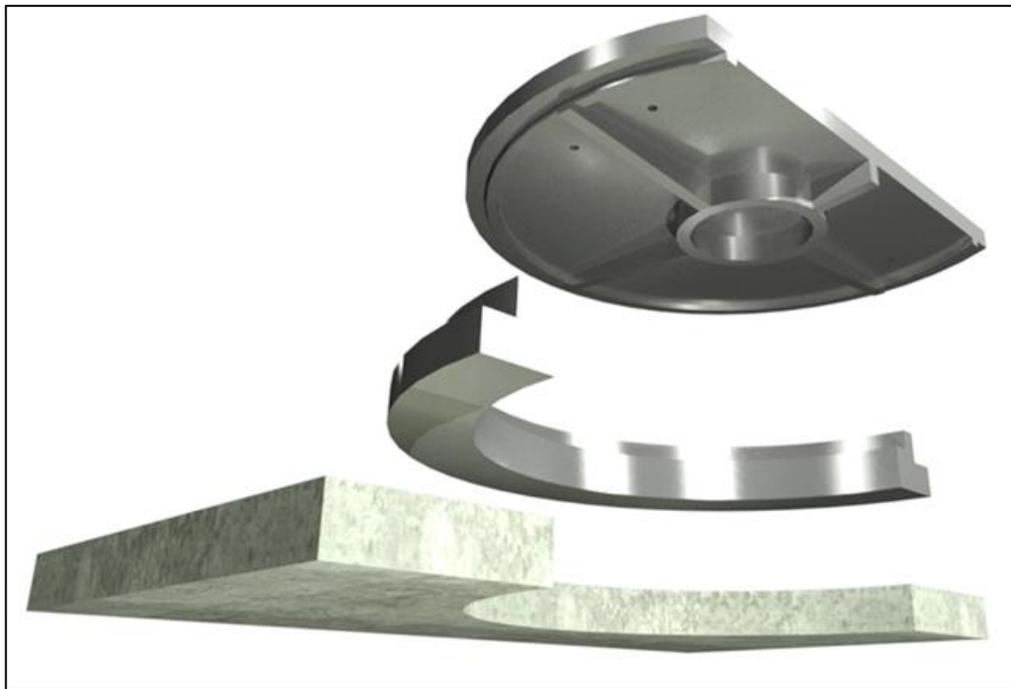
Fuente: Sección de Estructuras. Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Nota: el factor de seguridad de las tapaderas es un valor que se proporciona en la ficha técnica de cada fabricante donde indica el cociente entre la carga de trabajo que se espera sobre la carga de diseño.

4.3.2. Bosquejo de las tapaderas

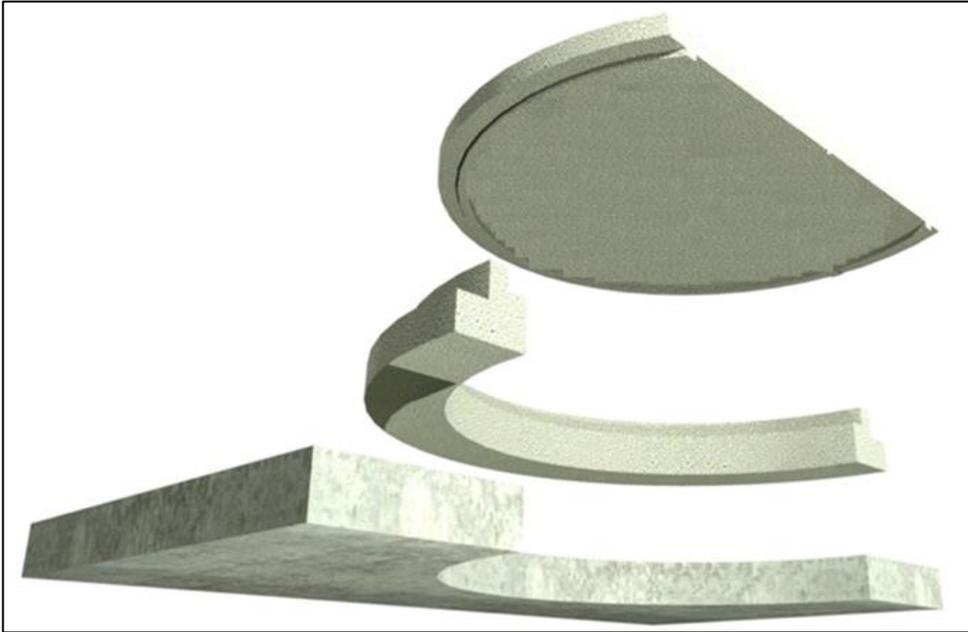
Se presenta de manera gráfica el bosquejo de cada una de las tapaderas para lograr diferencias que la tapadera de hierro colado posee nervios en la parte inferior y la de concreto su espesor es constante.

Figura 27. **Bosquejo inferior tapadera de HC**



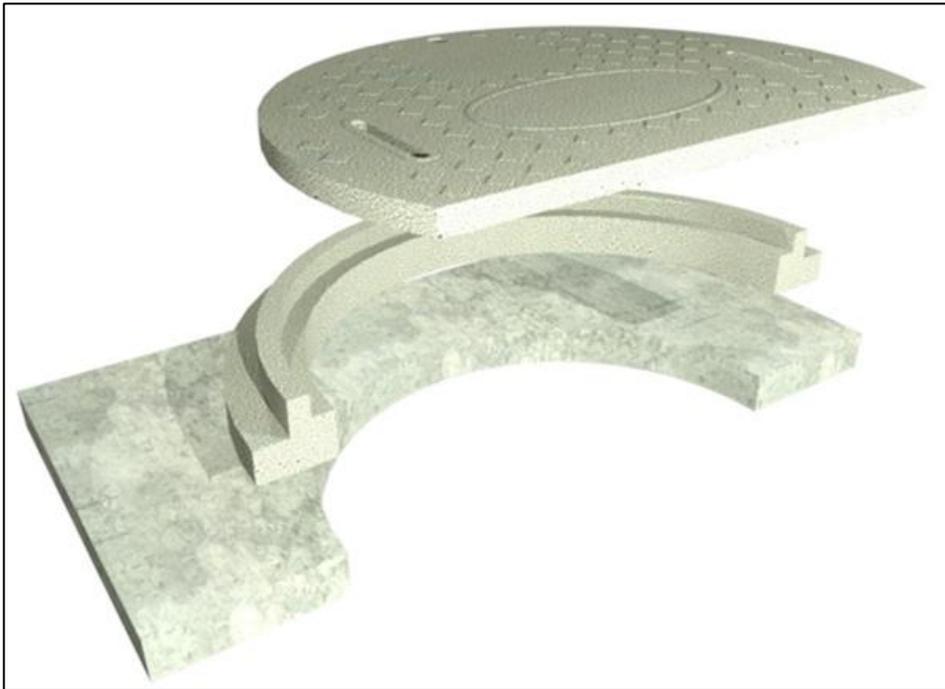
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD18.

Figura 28. **Bosquejo inferior tapadera de CP**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD18.

Figura 29. **Bosquejo superior tapadera de CP**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD18.

4.4. Datos obtenidos del ensayo a flexión

Se muestran los datos obtenidos resultado del ensayo a flexión.

4.4.1. Datos de las tapaderas de hierro colado

Se muestra en tablas los ciclos de carga y descarga de las tres tapaderas de hierro colado.

Tabla X. Datos tapadera 1 HC

TAPADERA 1			
PRIMER CICLO			
Carga		Descarga	
Carga (Ton métricas)	Deformación (mm)	Carga (Ton métricas)	Deformación (mm)
0,00	0,00	11,82	3,61
2,27	1,14	9,09	3,30
4,55	1,91	6,82	2,95
5,45	2,11	4,55	2,54
6,36	2,35	2,27	1,98
7,27	2,64	0,00	0,84
8,18	2,79		
9,09	3,02		
10,00	3,23		
10,91	3,43		
11,82	3,61		
SEGUNDO CICLO			
Carga		Descarga	
Carga (Ton métricas)	Deformación (mm)	Carga (Ton métricas)	Deformación (mm)
0,00	0,84	22,27	10,46
2,27	4,32	20,45	9,22
4,55	4,88	18,18	8,53
6,82	5,31	15,91	7,92
9,09	5,72	13,64	7,39

Continuación tabla X.

11,36	6,07	11,36	6,81
13,64	6,65	9,09	6,45
15,91	7,19	6,82	6,05
18,18	7,80	4,55	5,46
20,45	8,48	2,27	5,05
22,27	10,46	0,00	1,57

Fuente: Sección de Estructuras. Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Tabla XI. **Datos tapadera 2 HC**

TAPADERA 2			
PRIMER CICLO			
Carga		Descarga	
Carga (Ton métricas)	Deformación (mm)	Carga (Ton métricas)	Deformación (mm)
0,00	0,00	no se hizo descarga porque colapso	
1,81	1,32		
2,72	1,32		
3,63	1,31		
4,54	3,86		
5,44	3,87		
6,35	3,86		
7,26	3,90		
8,16	3,92		
9,07	5,19		
9,98	6,49		
10,88	6,55		
11,79	6,58		
12,70	6,62		
13,61	6,63		
14,51	7,91		
15,42	9,19		
16,33	9,17		

Fuente: Sección de Estructuras. Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Tabla XII. **Datos tapadera 3 HC**

TAPADERA 3			
PRIMER CICLO			
Carga		Descarga	
Carga (Ton métricas)	Deformación (mm)	Carga (Ton métricas)	Deformación (mm)
0,00	0,00	no se hizo descarga porque colapso	
0,56	0,06		
1,40	0,15		
2,21	0,19		
3,01	0,23		
3,82	0,27		
4,63	0,3		
5,44	0,33		
6,24	0,37		
7,05	0,41		
7,86	0,45		
8,67	0,49		
9,47	0,5		
10,28	0,86		
11,09	0,94		

Fuente: Sección de Estructuras. Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

4.4.2. Datos de las tapaderas de concreto polimérico

Se muestra en tablas los ciclos de carga y descarga de las tres tapaderas de concreto polimérico.

Tabla XIII. Datos tapadera 1 CP

TAPADERA 1			
PRIMER CICLO			
Carga		Descarga	
Carga (Ton métricas)	Deformación (mm)	Carga (Ton métricas)	Deformación (mm)
0,00	0,00	9,07	10,04
2,21	1,31	6,80	9,15
4,54	2,77	4,54	7,95
6,80	4,82	2,27	5,87
9,07	6,90	0,00	2,91
11,34	9,54		
12,00	10,30		
SEGUNDO CICLO			
Carga		Descarga	
Carga (Ton métricas)	Deformación (mm)	Carga (Ton métricas)	Deformación (mm)
0,00	2,91	21,32	24,11
2,27	4,30	20,41	24,22
4,54	6,82	18,14	24,25
6,80	7,37	15,88	23,98
9,07	8,74	13,61	22,99
11,34	9,98	11,34	21,89
13,61	11,93	9,07	20,58
15,88	13,87	6,80	19,65
18,14	16,00	4,54	16,40
19,73	21,06	2,27	13,48
20,41	22,62	0,00	7,50
22,68	24,25		
TERCER CICLO			
Carga		Descarga	
Carga (Ton métricas)	Deformación (mm)	Carga (Ton métricas)	Deformación (mm)
0,00	7,50		
4,54	10,53		
9,07	15,11		

Continuación tabla XIII

13,61	18,28		
18,14	21,04		
22,68	23,08		
27,22	24,11		

Fuente: Sección de Estructuras. Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Tabla XIV. **Datos tapadera 2 CP**

TAPADERA 2			
PRIMER CICLO			
Carga		Descarga	
Carga (Ton métricas)	Deformación (mm)	Carga (Ton métricas)	Deformación (mm)
0,00	0,00	24,95	12,90
1,36	0,43	22,69	10,90
2,27	1,04	20,42	10,69
4,54	2,03	18,14	10,41
6,81	4,01	15,88	9,68
9,07	4,88	13,61	9,02
11,34	6,02	11,34	8,23
13,61	7,26	9,07	7,24
15,88	8,51	6,81	6,17
18,15	9,68	4,53	5,20
20,42	10,95	0,00	3,00
22,69	11,99		
24,95	12,90		
SEGUNDO CICLO			
Carga		Descarga	
Carga (Ton métricas)	Deformación (mm)	Carga (Ton métricas)	Deformación (mm)
0,00	3,00	31,53	17,00
2,27	3,00	27,22	17,17
4,54	5,34	22,69	16,39
6,81	6,02	18,15	15,12
9,07	7,11	13,61	13,39

Continuación tabla XIV.

11,34	7,95	9,07	11,66
13,61	8,92	4,54	9,05
15,88	9,73	5,44	8,92
18,15	10,54	5,90	8,84
20,42	11,46	2,27	6,61
22,69	12,32	0,00	3,56
24,95	13,16		
27,22	14,30		
29,04	15,19		
29,49	15,98		
31,53	17,00		

Fuente: Sección de Estructuras. Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Tabla XV. **Datos tapadera 3 CP**

TAPADERA 3			
PRIMER CICLO			
Carga		Descarga	
Carga (Ton métricas)	Deformación (mm)	Carga (Ton métricas)	Deformación (mm)
0,00	0,00	9,00	6,12
2,00	1,37	7,00	5,40
3,00	1,83	5,00	4,47
4,00	2,31	2,00	3,18
5,00	2,79	0,00	1,98
5,00	3,2		
6,00	3,67		
7,00	4,09		
8,00	4,45		
9,00	5,03		
10,00	5,49		
11,00	5,92		
12,00	6,45		

Continuación tabla XV.

SEGUNDO CICLO			
Carga		Descarga	
Carga (Ton métricas)	Deformación (mm)	Carga (Ton métricas)	Deformación (mm)
0,00	1,98	18,00	13,97
2,00	2,13	16,00	13,28
3,00	2,46	14,00	12,45
4,00	2,92	11,00	11,38
5,00	3,30	9,00	10,19
5,00	3,70	7,00	8,84
6,00	4,11	5,00	7,37
7,00	4,55	2,00	5,56
8,00	4,95	0,00	3,91
9,00	5,41		
10,00	5,79		
11,00	6,17		
12,00	6,60		
13,00	7,06		
14,00	7,49		
15,00	8,05		
15,00	8,51		
16,00	8,99		
17,00	9,45		
18,00	9,93		
19,00	10,49		
20,00	11,05		
21,00	11,63		
22,00	12,14		
23,00	14,40		
23,00	12,47		
25,00	14,40		

Fuente: Sección de Estructuras. Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

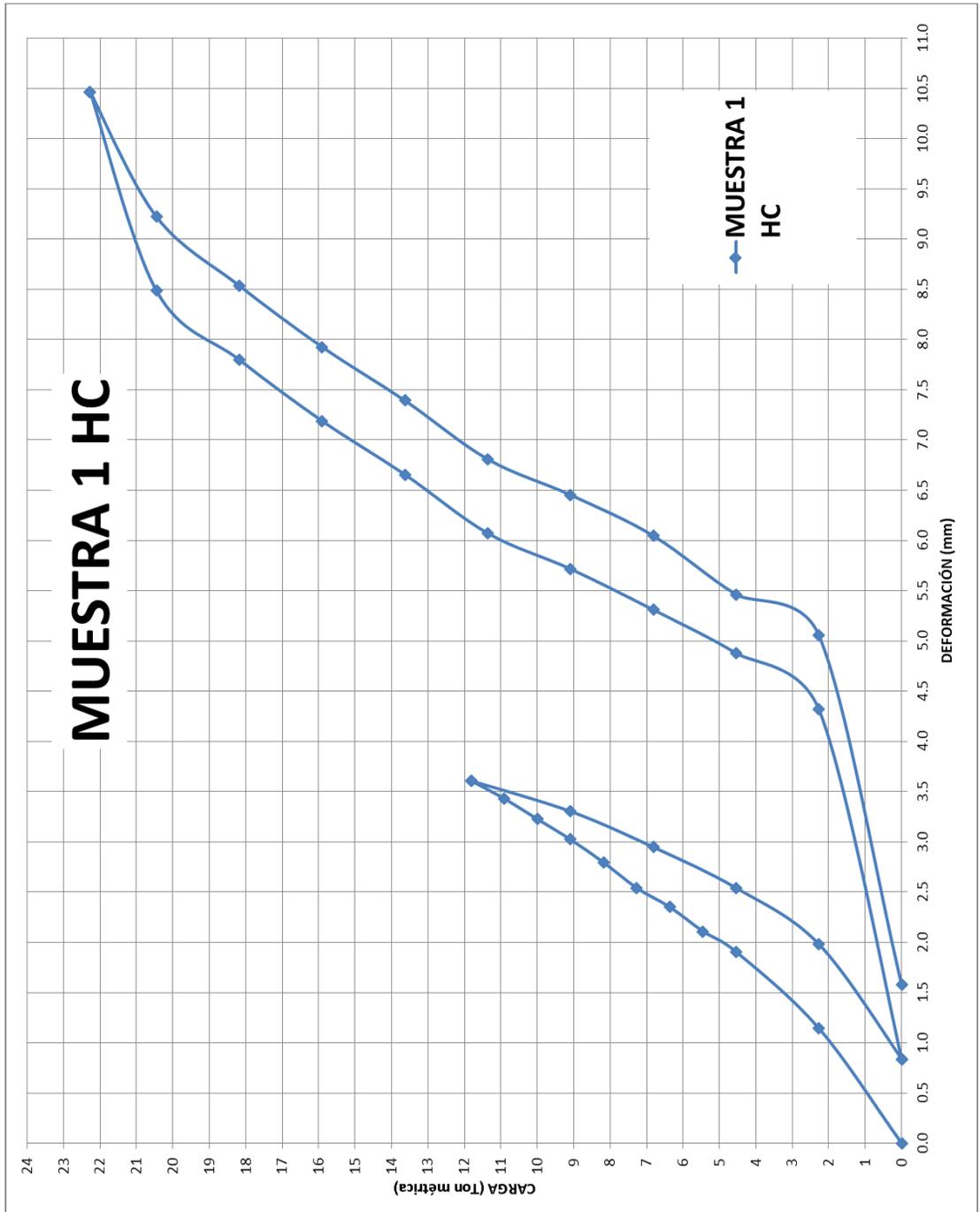
4.5. Cálculos efectuados y resultados obtenidos

Se presenta de forma ordenada a través de tablas y graficas los cálculos y resultados obtenidos de los ensayos a flexión.

4.5.1. Elaboración de gráficas carga versus deformación

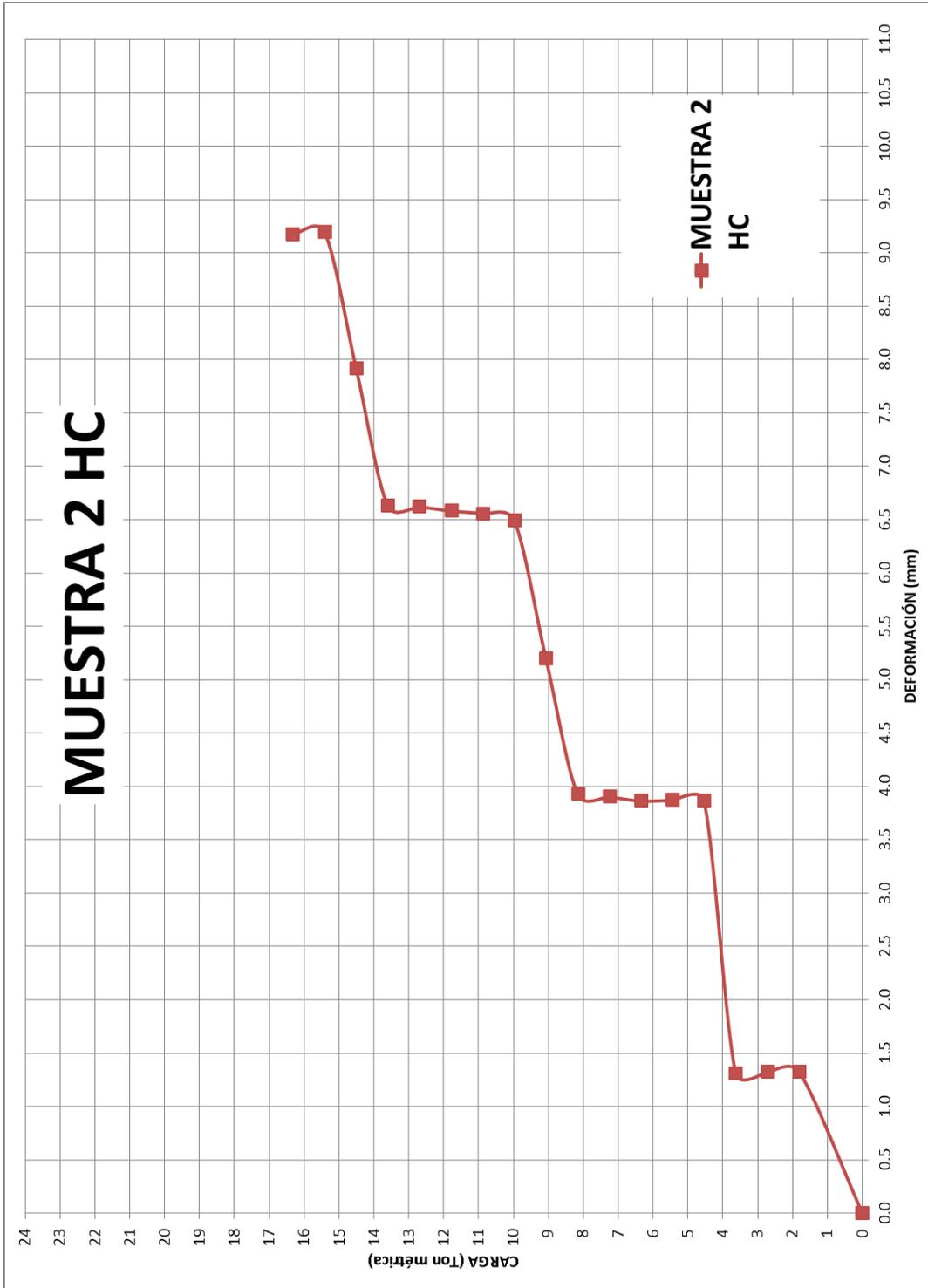
Para cada una de las seis tapaderas se elaboró la gráfica de carga versus deformación con el objetivo de apreciar, analizar y concluir su comportamiento.

Figura 30. Gráfica tapadera 1 hierro colado



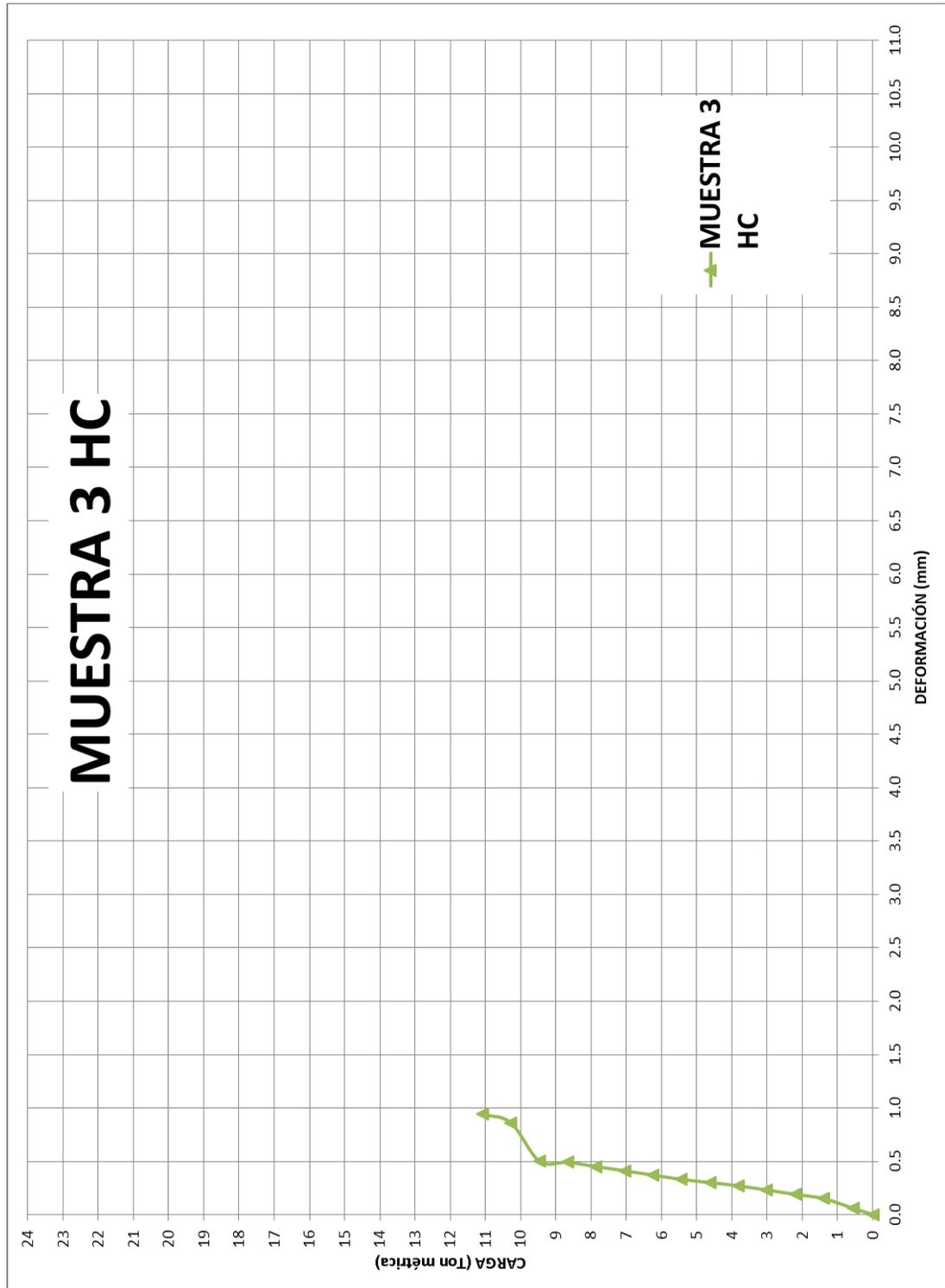
Fuente: elaboración propia.

Figura 31. Gráfica tapadera 2 hierro colado



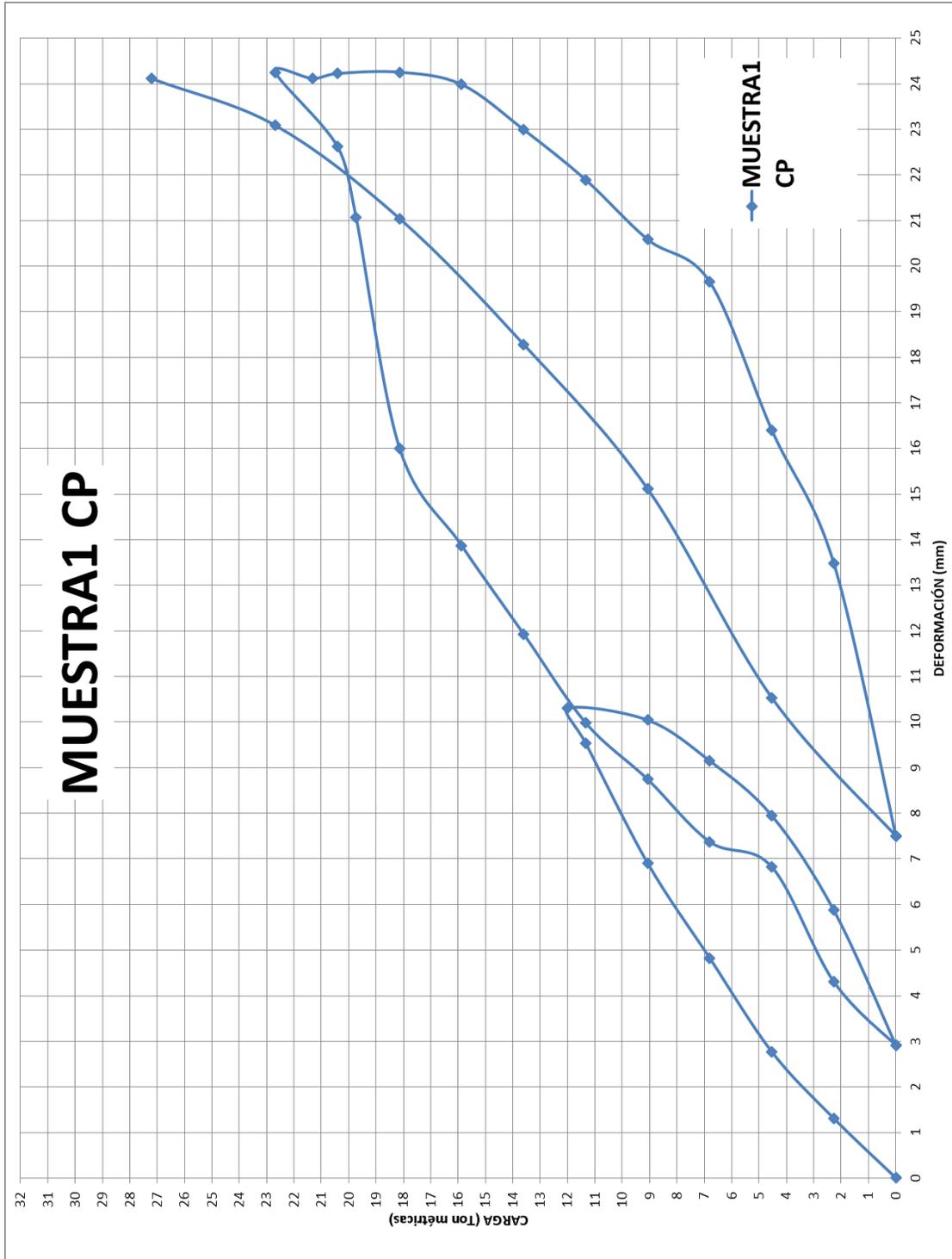
Fuente: elaboración propia.

Figura 32. Gráfica tapadera 3 hierro colado



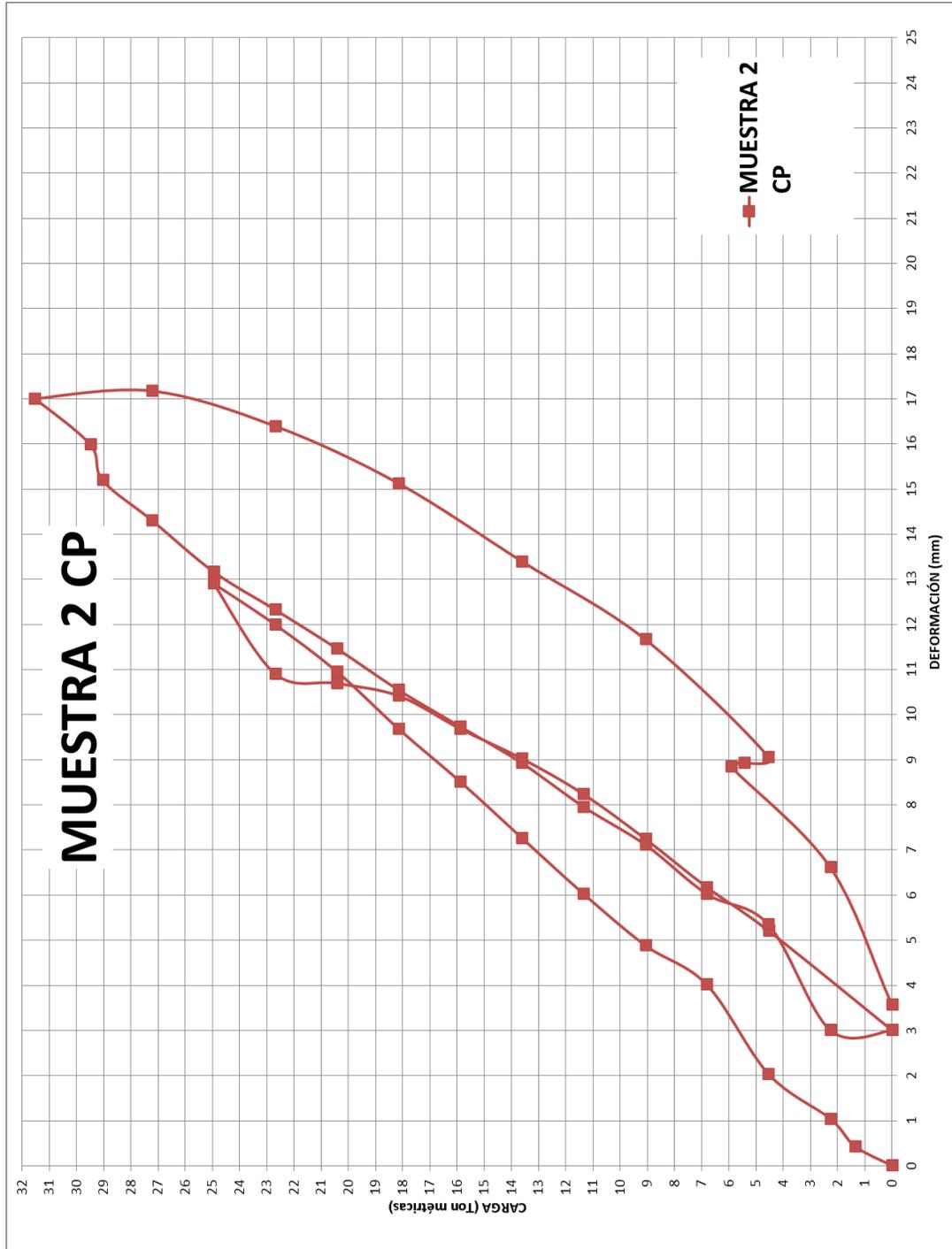
Fuente: elaboración propia.

Figura 33. Gráfica tapadera 1 concreto polimérico



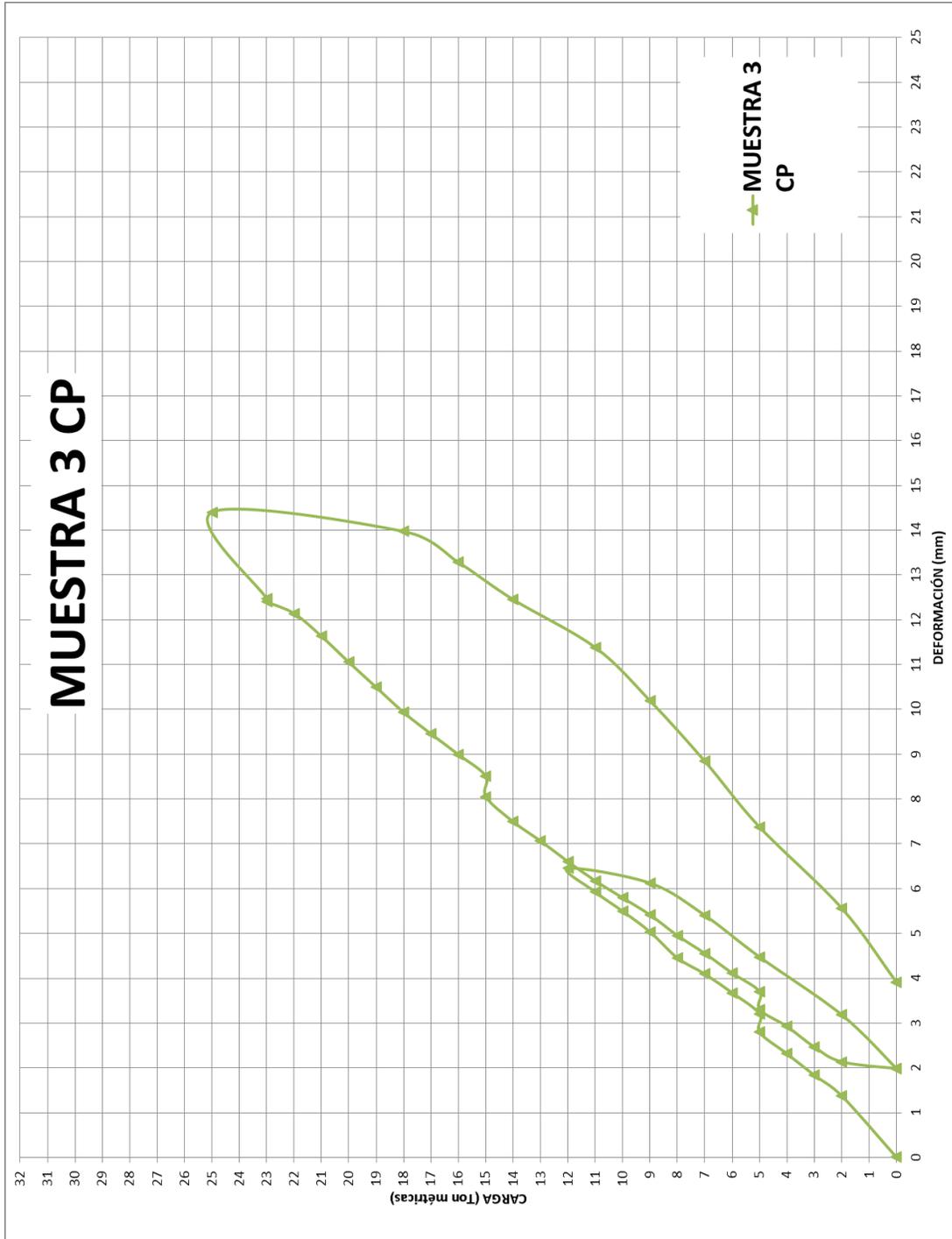
Fuente: elaboración propia.

Figura 34. Gráfica tapadera 2 concreto polimérico



Fuente: elaboración propia.

Figura 35. Gráfica tapadera 3 concreto polimérico



Fuente: elaboración propia.

4.5.2. Resultados obtenidos

En función de cada tapadera se presenta su resultado y el valor medio.

Tabla XVI. Resultados tapaderas de hierro colado

Características y propiedades mecánicas	HIERRO COLADO			\bar{X}
	TAPADERA 1 HC	TAPADERA 2 HC	TAPADERA 3 HC	MEDIA HC
Diametro	69,5 cm	67 cm	77 cm	71,6 cm
Espesor	3 cm	5 cm	2,5 cm	3,5 cm
Peso	113 kg	88 kg	75 kg	92 kg
Peso Volumetrico	9928 kg/m ³	4991 kg/m ³	6442 kg/m ³	7120 kg/m ³
Zona elástica	0 Ton a 2,27 Ton	0 Ton a 1,82 Ton	0 Ton a 1,4 Ton	0 Ton a 1,83 Ton
Zona elasto-plástica	No definida	No definida	No definida	No definida
Zona plástica	2,27 Ton a 11.82 Ton	1,82 Ton a 16.33 Ton	1,4 Ton a 11.09 Ton	1,83 Ton a 13,08 Ton
Carga de diseño	12 Ton con capacidad de 15,5Ton	12 Ton con capacidad de 9,5Ton	12 Ton con capacidad de 4,5Ton	12 Ton con capacidad de 9,83Ton
Carga de trabajo	22,27 Ton	16,33 Ton	11,09 Ton	16,56 Ton
Carga máxima de tránsito	Carga 9,08 Ton	Carga 9,08 Ton	Carga 9,08 Ton	Carga 9,08 Ton
	Def. 3.02 mm	Def. 5.19 mm	Def. 0.49 mm	Def. 2.9 mm
Factor de eficiencia	1,85	1,36	0,92	1,37
Factor de seguridad	2 (teórico)	2 (teórico)	2 (teórico)	2 (teórico)
Deformaciones máximas	10,46 mm	9,17 mm	0,94 mm	6,86 mm
Deformaciones permisibles según el ACI	3,86 mm	3,72 mm	4,27 mm	3,95 mm
Remanente	Ciclo uno 0,84 mm	sin dato	sin dato	0,84 mm
	Ciclo dos 1,57 mm	sin dato	sin dato	1,57 mm
Resiliencia	0 ton a 2 ton	0 ton a 1,4 ton	0 ton a 1 ton	0 ton a 1,46 ton
Modulo de Young	1,40011x10 ⁶ kg/cm ²	0,81653x10 ⁶ kg/cm ²	1,52034x10 ⁶ kg/cm ²	1,2456x10 ⁶ kg/cm ²

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. Resultados tapaderas de concreto polimérico

Características y propiedades mecánicas	CONCRETO POLIMERICO			\bar{X}
	TAPADERA 1 CP	TAPADERA 2 CP	TAPADERA 3 CP	MEDIA CP
Diametro	80 cm	80 cm	70 cm	76,6 cm
Espesor	4,5 cm	5 cm	5 cm	4,83 cm
Peso	45 kg	44,21 kg	49,9 kg	46,37 kg
Peso Volumetrico	1989,47 kg/m ³	1759,06 kg/m ³	2593,25 kg/m ³	2113,92 kg/m ³
Zona elástica	0 Ton a 5,50 Ton	0 Ton a 6 Ton	0 Ton a 5 Ton	0 Ton a 5,5 Ton
Zona elasto-plástica	5,50 Ton a 6,8 Ton	6 Ton a 8 Ton	5 Ton a 6 Ton	5,5 Ton a 6,93 Ton
Zona plástica	6,8 Ton a 12 Ton	8 Ton a 24,95 Ton	6 Ton a 12 Ton	6,9 Ton a 12 Ton
Carga de diseño	12 Ton con capacidad de 15,5Ton	12 Ton con capacidad de 24Ton	12 Ton con capacidad de 18Ton	12 Ton con capacidad de 19,16Ton
Carga de trabajo	27,22 Ton	31,52 Ton	25 Ton	27,91
Carga máxima de tránsito	Carga 9,08 Ton Def. 7,11 mm	Carga 9,08 Ton Def. 4,88 mm	Carga 9,08 Ton Def. 5,03 mm	Carga 9,08 Ton Def. 5,67 mm
Factor de eficiencia	2,27	2,63	2,03	2,31
Factor de seguridad	2 (teórico)	2 (teórico)	2 (teórico)	2 (teórico)
Deformaciones máximas	Ciclo 1 - 10,3 mm Ciclo 2 - 24,25 mm	Ciclo 1 - 12,9 mm Ciclo 2 - 17 mm	Ciclo 1 - 6,45 mm Ciclo 2 - 14,4 mm	Ciclo1-9,88 mm Ciclo2-18,55 mm
Deformaciones permisibles según el ACI	4,44 mm	4,44 mm	3,88 mm	4,25 mm
Remanente	Ciclo uno 2,91 mm Ciclo dos 7,50 mm	Ciclo uno 3mm Ciclo dos 3,56mm	Ciclo uno 1,98 mm Ciclo dos 3,91 mm	Ciclo1- 2,63 mm Ciclo2- 4,99 mm
Resiliencia	0 ton a 2,27 ton	0 ton a 4 ton	0 ton a 4 ton	0 ton a 3,4 ton
Modulo de Young	1,52380x10 ⁵ kg/cm ²	1,71581x10 ⁵ kg/cm ²	1,97978x10 ⁵ kg/cm ²	1,73979x10 ⁵ kg/cm ²

Fuente: elaboración propia.

5. COMPARACIÓN Y ANALISIS DE RESULTADOS

5.1. Comparación entre valores medios

Para poder realizar una verdadera comparación entre tapaderas se determinó el valor medio para cada característica física y propiedad mecánica para luego realizar la variación absoluta y porcentual entre cada una.

Tabla XVIII. **Comparación de características físicas y propiedades mecánicas**

Características y propiedades mecánicas	\bar{X}	\bar{X}	VARIACIÓN	
	MEDIA CP	MEDIA HC	ABSOLUTA	PORCENTUAL
Diametro	76,6 cm	71,6 cm	5 cm	6,98%
Espesor	4,83 cm	3,5 cm	1,33 cm	38,00%
Peso	46,37 kg	92 kg	-45,630	-49,59%
Peso Volumetrico	2113,92 kg/m3	7120 kg/m3	-5006	-70,31%
Zona elástica	0 Ton a 5,5 Ton	0 Ton a 1,83 Ton		
Zona elasto-plástica	5,5 Ton a 6,93 Ton	No definida		
Zona plástica	6,9 Ton a 12 Ton	1,83 Ton a 13,08 Ton		
Carga de diseño	12 Ton con capacidad de 19,16Ton	12 Ton con capacidad de 9,83Ton	Capacidad de 9,33ton	94,91%
Carga de trabajo	27,91	16,56 Ton	11,35	68,54%
Carga máxima de tránsito	Carga 9,08 Ton	Carga 9,08 Ton	Carga 9,08 Ton	Carga 9,08 Ton
	Def. 5,67 mm	Def. 2,9 mm	Def. 2,77 mm	Def. 95,52%
Factor de eficiencia	2,31	1,37	0,94	68,61%
Factor de seguridad	2 (teórico)	2 (teórico)	---	---

Continuación tabla XVIII

Deformaciones máximas	Ciclo1-9,88 mm	6,86 mm	Ciclo1-3,02mm	Ciclo1- 44,02%
	Ciclo2-18,55 mm			
Deformaciones permisibles según el ACI	4,25 mm	3,95 mm	0,3 mm	7,59%
Remanente	Ciclo1- 2,63 mm	0,84 mm	1,79 mm	213,09%
	Ciclo2- 4,99 mm	1,57 mm	3,42 mm	217,83%
Resiliencia	0 ton a 3,4 ton	0 ton a 1,46 ton	1,94 Ton	132,88%
Modulo de Young	1,73979x10 ⁵ kg/cm ²	1,2456x10 ⁶ kg/cm ²	1.071621x10 ⁶	-86%

Fuente: elaboración propia.

5.2. Análisis de resultados

Inicialmente se puede observar que el comportamiento en las tres tapaderas de concreto polimérico son similares en su forma, eso quiere decir que se tiene una deformación y recuperación uniforme, las tres gráficas muestran una remanente del orden de 3.5 mm a pesar de haber superado la carga de diseño más el factor de seguridad 2. Es evidente que las tres tuvieron un buen comportamiento.

También se observa que las tres tapaderas de hierro colado reforzadas, tuvieron un comportamiento muy diferente en su forma, para iniciar no todas llegaron a la carga de diseño más el factor de seguridad, incluso la tapadera 3 llegó al colapso antes de la carga de diseño. La muestra 1 muestra muy buen comportamiento debido a que las dimensiones de los nervios son mayores, llegando a resistir 22.27 Ton métricas.

La eficiencia de las tapaderas se toma como la relación de la carga ultima entre la carga de diseño, a este valor se le llamará factor de eficiencia y es un factor porque se realiza una comparación de cargas y es adimensional. El facto

de eficiencia da un valor para poder realizar la comparación y así poder seleccionar la más eficiente entre las 6 tapaderas.

Para los valores menores a uno el comportamiento es malo, para valores iguales a uno el comportamiento es intermedio, para valores mayores a uno su comportamiento es bueno, para los valores mayores a dos su comportamiento cumple con el factor de seguridad.

5.3. Listado de ventajas y desventajas de las características físicas de los materiales

Se muestra el listado de ventajas y desventajas en función del tipo de material utilizado.

5.3.1. Ventajas y desventajas del concreto polimérico

Se presentan algunas de las características del concreto polimérico:

- “Curado rápido a temperaturas ambiente de -18 a $+40$ °C
- Altas resistencias a la tracción, flexión y compresión
- Buena adherencia a la mayoría de las superficies
- Buena durabilidad a largo plazo con respecto a los ciclos de congelación
- Baja permeabilidad al agua y soluciones agresivas
- Buena resistencia química
- Peso ligero”⁸

⁸ Comité 548 American Concret Institute. *Guía para el uso del concreto polimérico*. p.11

Otras de las ventajas y características que posee el concreto polimérico son las siguientes:

- Muy alta resistencia a la compresión
- Alta resistencia al rayado
- Impermeable
- Gran rapidez de endurecimiento (horas)
- Excelente durabilidad frente a agentes químicos agresivos
- Curva carga-deformación del tipo usual en concretos
- Peso más liviano
- Alta resistencia mecánica
- Alta resistencia al rayado
- Alta resistencia al agua
- Buena adherencia a los materiales de la construcción (acero, concreto tradicional).
- Buena capacidad de amortiguar las vibraciones, debido a la resina contenida en el material.
- Posibilidad para obtener superficies muy lisas que garantizan muchos usos prácticos.
- Posibilidad para diseñar acabados y colores específicos.
- Alta durabilidad del color y alta resistencia a la radiación UV.
- Resistencia a cambios climáticos y factores atmosféricos.
- Alta resistencia a la abrasión (comparable con granito).
- Bajo peso específico.
- Alta resistencia química a ácidos, álcalis y otros elementos corrosivos.
- Baja absorción de humedad. Menos 1 %.
- Resistente al impacto.
- Estable bajo condiciones de congelación.

- Los tiempos procesos del concreto polimérico son cortos. Generalmente de 8 a 10 veces menores que los del concreto Portland.
- Los costos son generalmente mayores, aunque en algunos casos bajo las mismas condiciones de resistencia mecánica pueden ser menores que los del cemento Portland.
- Largo tiempo de vida y bajo costo de mantenimiento.
- Reduce costos de instalación. No requiere de equipos especiales.

5.3.2. Ventajas y desventajas del hierro colado

Se presentan las características físicas del hierro colado:

- Las piezas de fundiciones grises son en general más baratas que las de acero. Su fabricación es también más sencilla por emplearse instalaciones menos costosas y realizarse la fusión a temperaturas relativamente poco elevadas y más bajas que aquellas correspondientes al acero.
- Las fundiciones son, en general, mucho más fáciles de mecanizar que los aceros. Se pueden fabricar con relativa facilidad piezas de grandes dimensiones y también piezas pequeñas y complicadas que se pueden obtener con gran precisión de formas y medidas.
- Su fabricación exige menos precauciones que la del acero y, sin necesidad de conocimientos técnicos muy especiales, se llegan a obtener fundiciones con características muy aceptables para numerosas aplicaciones.
- Como las temperaturas de fusión de las fundiciones son bastante bajas, se pueden sobrepasar con bastante facilidad. Por lo tanto, suele ser bastante fácil conseguir que las fundiciones en estado líquido tengan gran fluidez, y con ello se facilita la fabricación de piezas de poco espesor.

- En la solidificación presentan mucho menos contracción que los aceros y además, su fabricación no exige como en los aceros, el empleo de refractarios relativamente especiales de precio elevado.
- Las fundiciones son aleaciones férreas que requieren para su elaboración menos energía que los aceros, porque con similar capacidad calorífica su temperatura de fusión es menor. Ver anexo 5.
- La conductividad térmica de las fundiciones grises es aproximadamente 46w/mK; superior a la de los aceros. En ello influye el grafito, buen conductor. La capacidad para disipar calor es, por tanto, mayor en las fundiciones grises -mayor cuanto más cantidad de grafito.
- La resistencia de las fundiciones grises al choque térmico resulta, también, mejor para contenidos altos en carbono.
- El coeficiente de dilatación de las fundiciones grises es, aproximadamente, de 13 $\mu\text{m}/\text{m}$. entre 0 °C y 500 °C, y de 10,5 $\mu\text{m}/\text{m}$ en el rango de 0 °C y 100 °C. Aunque parecido al del hierro, resulta algo menor que este (11 $\mu\text{m}/\text{m}$ para el Fe alfa y 18 $\mu\text{m}/\text{m}$ para el Fe gamma).
- En cuanto a resistencia al desgaste el comportamiento de las fundiciones, tanto blancas como grises, es excelente.⁹

Se presentan las desventajas del hierro colado:

- Las discontinuidades en la matriz de las fundiciones grises disminuyen las propiedades de las piezas fundidas debido a que reducen la sección útil de las piezas moldeadas y disminuyen su resistencia. Tal como lo es la porosidad, rechupe, cavidades de contracción y sopladuras.

⁹ GARCÍA, Agustín. *Calculo de alimentación de piezas fundidas de hierro colado gris, por el método de solidificación direccional*. p.31

- Porosidad se refiere a aquellos defectos que se encuentran debajo de la superficie superior del fundido y en el centro del molde. Estos defectos pueden ser de forma esférica o irregular.
- La densidad de un metal líquido es generalmente inferior a la densidad de ese mismo metal solidificado. A la suma de la contracción líquida y de la contracción por solidificación, se le denomina rechupe.
- Pueden existir cavidades de contracción son vacíos de forma irregular, los factores que promueven la formación de cavidades de contracción incluyen: falta de rigidez del molde, inadecuada composición del metal, temperatura de vaciado incorrecta, y un alto grado de nucleación.

5.4. Listado de propiedades mecánicas de ambos materiales

Se muestran rangos usuales de propiedades mecánicas de los materiales, se hace la aclaración que únicamente son rango típicos, sin embargo la propiedad mecánica dependerán de la variedad y calidad de materiales que lo constituyan, además de su diseño estructura.

5.4.1. Propiedades mecánicas del CP

Se presentan las propiedades mecánicas típicas del concreto polimérico.

Tabla XIX. **Propiedades mecánicas del CP**

Propiedad	Concreto polimérico
Resistencia a compresión Kg/cm ²	509-1528
Resistencia a Tensión Kg/cm ²	153-560
Módulo elástico x10 ⁶ Kg/cm ²	0.10-0.45
Resistencia al corte Kg/cm ²	45.6-49.2
Peso volumétrico kg/m ³	1500-2400

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Propiedades mecánicas del CP en función del tipo de resina utilizada**

PROPIEDADES	UNIDAD	TIPO DE RESINA PARA CONCRETO POLIMERICO					
		FURANICAS	POLIESTER	EPOXICAS	P.U.	FENOLICAS	P.M.M.A.
PESO ESPECIFICO	KG/M3	2200-2400	2200-2400	2100-2300	2000-2100	2200-2400	2200-2400
RESISTENCIA:							
A COMPRESION	KG/CM2	700-800	800-1600	800-1200	650-720	500-600	600-1500
A TENSION	KG/CM2	50-80	90-140	100-110	80-90	30-50	70-100
A FLEXION	KG/CM2	200-250	140-350	170-310	200-230	150-200	150-220
MODULO DE ELASTICIDAD x10 ⁴	KG/CM2	20-30	15-35	15-35	10-20	10-20	15-35
ABSORCION DE AGUA	%PESO	0.05-0.030	0.05-0.20	0.05-0.30	0.03-1.0	0.10-0.30	0.05-0.06

Fuente: MAS ROA, Fernando Domerio. *Concreto polimérico*. p. 8.

5.4.2. **Propiedades mecánicas del hierro colado**

Se presentan las propiedades mecánicas del hierro colado.

Tabla XXI. **Propiedades típicas del hierro gris según ASTM**

CLASE ASTM	RESISTENCIA TENSIL, LB/PULG ²	RESISTENCIA COMPRESIVA, LB/PULG ²	RESISTENCIA TORCIONAL DE CORTE, LB/PULG ²	MÓDULO DE ELASTICIDAD MILLONES DE LB/PULG ²		LÍMITE A LA FATIGA INVERTIDA POR FLEXIÓN LB/PULG ²	RESISTENCIA TRANSVERSA DE UNA BARRA DE 1.2 PULG DE DIAMETRO Y 18 PULG DE LONGITUD, LB	BHN
				TENSIÓN	TORSIÓN			
20	22 000	83 000	26 000	9.6-14.0	3.9-5.6	10 000	1 850	156
25	26 000	97 000	32 000	11.5-14.8	4.6-6.0	11 500	2 175	174
30	31 000	109 000	40 000	13.0-16.4	5.2-6.6	14 000	2 525	201
35	36 500	124 000	48 500	14.5-17.2	5.8-6.9	16 000	2 850	212
40	42 500	140 000	57 000	16.0-20.0	6.4-7.8	18 500	3 175	235
50	52 500	164 000	73 000	18.8-22.8	7.2-8.0	21 500	3 600	262
60	62 500	187 500	88 500	20.4-23.5	7.8-8.5	24 500	3 700	302

Fuente: Fuente: AVNER H, Sidney. *Introducción a la metalurgia física*. p. 442.

Tabla XXII. **Propiedad de Durezza Brinell**

TIPO	BHN
Hierro gris ferrítico	110-140
Hierros austeníticos	140-160
Hierro gris suave	140-180
Hierros perlíticos	160-220
Hierros blanco	280-500

Fuente: AVNER H, Sidney. *Introducción a la metalurgia física*. p. 443.

La resistencia a tracción, depende del tipo de grafito, de su cantidad y de la estructura matriz.

Puede señalarse, con carácter general, que la resistencia a tracción disminuye al aumentar el contenido en carbono de las fundiciones.

El grafito disminuye la sección real del constituyente matriz, que es quien aguanta el esfuerzo de tracción, y por otra parte el efecto de entalla del grafito laminar, disminuye la tenacidad.

CONCLUSIONES

1. Las tapaderas de concreto polimérico reforzado con fibra de vidrio resultan tener un mejor desempeño al tener un alto nivel de ductilidad con respecto a la de hierro colado, porque refleja un mejor comportamiento de ciclos de carga-descarga y variables tanto en tiempo como en magnitud de las cargas, lo anterior se observa en la sección 1.2 donde se muestra las diferentes cargas de tráfico permisibles en Guatemala.
2. En función de las características físicas y propiedades mecánicas las tapaderas más eficientes y que obtuvieron mejor desempeño son las de concreto polimérico reforzada con fibra de vidrio.
3. Se evidencia que las tapaderas de concreto polimérico tienden a tener un comportamiento dúctil porque posee una zona definida elasto-plástica, mientras que las tapaderas de hierro colado tienden a tener un comportamiento frágil porque no tiene definida la zona elasto-plástica, es por eso que las tapaderas de concreto polimérico son más eficientes.
4. Según el análisis de las gráficas carga versus deformación se evidencia que las tapaderas de concreto polimérico reforzada con fibra de vidrio, tienen mejor comportamiento elástico respecto a la de hierro colado pues tiene un mayor rango de zona elástica y una recuperación considerable, mientras que las de hierro colado tienden a fallar o no tienen una buena recuperación.

RECOMENDACIONES

1. En la construcción de tapaderas de concreto polimérico los agregados o cargas minerales deben de estar secas pues la humedad en los agregados, reduce la fuerza de unión entre la mayoría de los monómeros, epoxi y el agregado, también deben estar libres de materia orgánica, suciedad o residuos de otro material.
2. Ante la toma de decisión para la selección de algún tipo de tapadera, se debe considerar los materiales (calidad, origen, granulometría), diseño de mezcla (pruebas finitas con diversos materiales), diseño estructural (dimensiones, espesores, espaciamiento de fibras de vidrio, uso).
3. Tomar en consideración la calidad del material, el diseño de mezcla y el método constructivo, estos determinaran la resistencia y el resultado de su comportamiento.
4. La experimentación en la utilización de distintos materiales siempre basándose en el concreto polimérico o hierro colado, marcará una gran diferencia en su comportamiento mecánico.
5. La supervisión de la correcta instalación del sistema de brocal y tapadera marcará un buen comportamiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). *Standard specifications for Highway Bridge*. Washington, D.C.,USA: 2002. 820 p.
2. AVNER H, Sidney. *Introducción a la metalurgia física*. 2a ed. México: McGraw-Hill, 1988. 687 p.
3. Committee 548 ACI 548.1R-97. *Guide for the Use of Polymers in Concrete*. 29 p.
4. CORONADO BROLO, Jorge Mario. *La infraestructura vial y el transporte, caso ruta del atlántico*. Trabajo de Maestría en Ciencias de Ingeniería Vial. Facultad de ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009. 157 p.
5. CRUZ GARCÍA, Carlos Giovanni. *Análisis de ensayos destructivos de hierro fundido con aleaciones de cobre, zinc y estaño en los talleres de fundición J.A. Ramírez*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2011. 79 p.
6. FUENTES LÓPEZ, Byron Samuel. *Diseño de mezcla de concreto polimérico utilizando resina, catalizador, arena de río, polvo de mármol, puzolana, balastro, mármol y piedrín*. Trabajo de

graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2014. 80 p.

7. GARCÍA GARCÍA, Agustín. *Calculo de alimentación de piezas fundidas de hierro colado gris, por el método de solidificación direccional*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Facultad de Ingeniería, Instituto Politécnico Nacional, México. 106 p.
8. KALPAKJIAN, Serope; R. SCHMID, Steven. *Manufactura, ingeniería y tecnología*. 5a ed. México: Pearson Educación, 2008. 1328 p.
9. MARTÍNEZ CRUZ, Elisa. *Desarrollo y caracterización de concreto polimérico modificado con fibras recicladas: efecto de la radiación gamma*. Trabajo de Maestría en Ciencia de Materiales. Facultad de Química, Universidad Autónoma de México, 2016. 69 p.
10. MAS ROA, Fernando Domerio. *Concreto Polimérico*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, 1991. 88 p.
11. MOLERA, P. *Metales resistentes a la corrosión*. MARCOMBO, S.A. Barcelona, España: 1991. 124 p.
12. PARRILLA CORZAS, Felipe. *Resinas poliéster: plásticos reforzados*. México: Felipe Parrilla Corzas, 1998. 232 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. **Instalación incorrecta del sistema en campo**



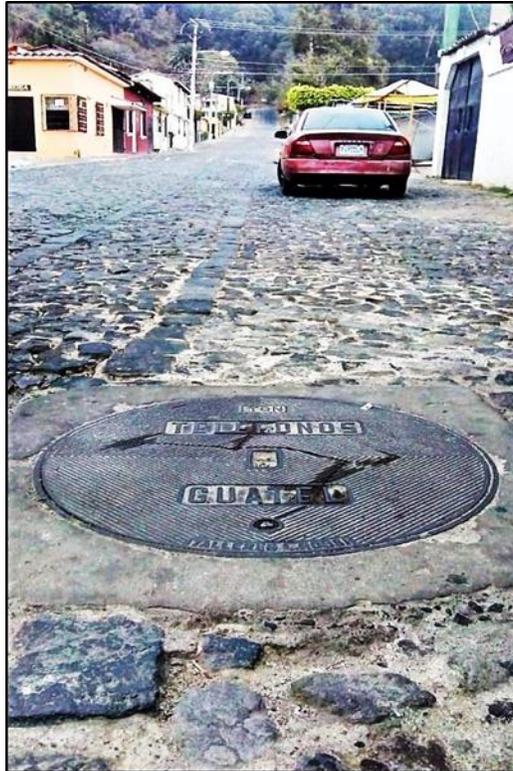
Fuente: elaboración propia, 9ª, calle poniente final Antigua Guatemala.

Apéndice 2. **Tapadera fallada de hierro colado**



Fuente: elaboración propia, colonia Candelaria, Antigua Guatemala.

Apéndice 3. Tapadera fallada de hierro colado



Fuente: elaboración propia, calle final colonia Candelaria, Antigua Guatemala.

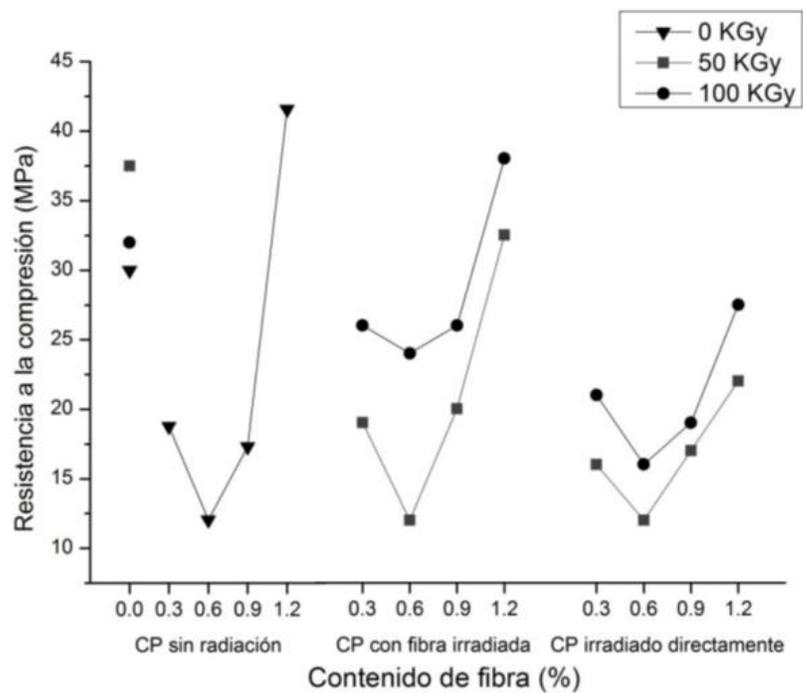
Apéndice 4. Tránsito pesado sobre la tapadera



Fuente: elaboración propia, calle principal Jocotenango, Sacatepéquez.

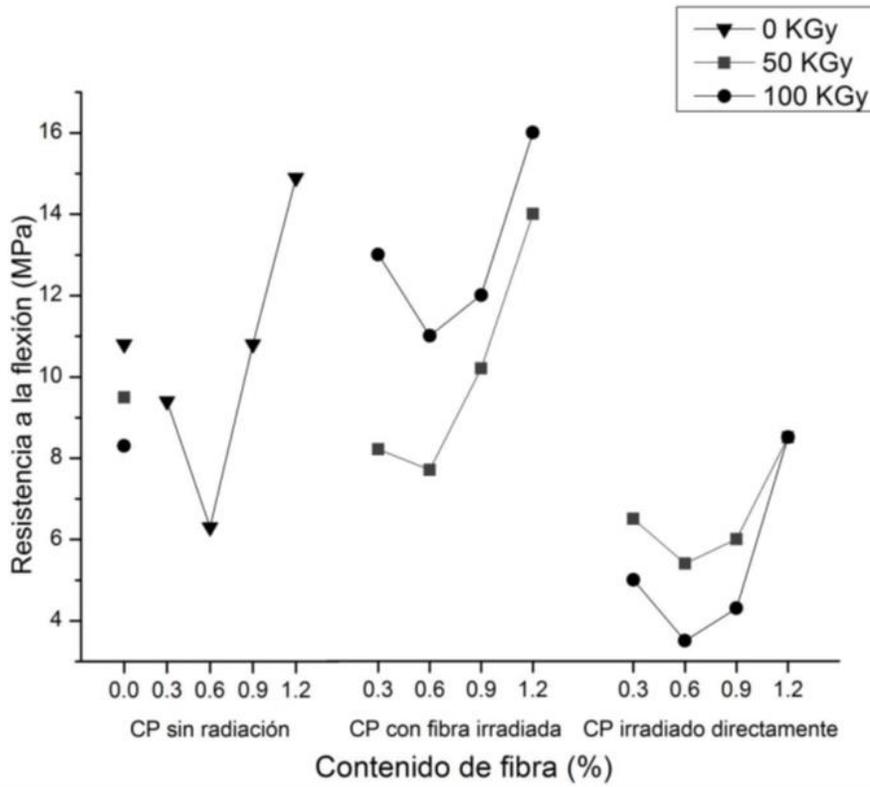
ANEXOS

Anexo. 1 Resistencia a la compresión de tres tipos de CP en función de la cantidad de fibra y dosis de radiación



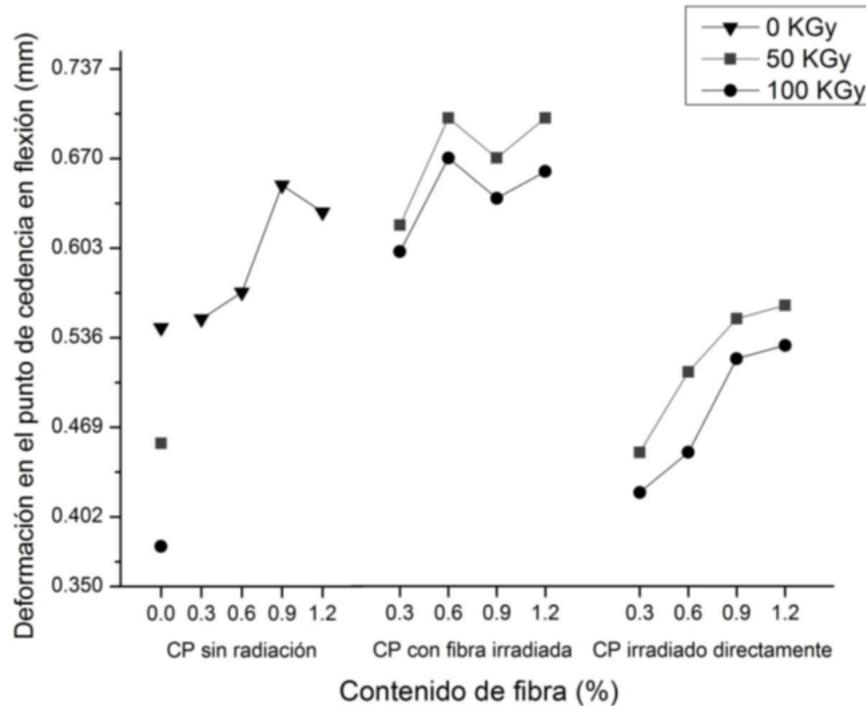
Fuente: MARTÍNEZ, Elisa. *Concreto modificado con fibras recicladas*. p. 35.

Anexo 2. Resistencia a flexión de los diferentes tipos de CP



Fuente: MARTÍNEZ, Elisa. *Concreto modificado con fibras recicladas*. p. 38.

Anexo 3. Deformación en el punto de cedencia en flexión



Fuente: MARTÍNEZ, Elisa. *Concreto modificado con fibras recicladas*. p. 44.

Anexo. 4 Propiedades físicas del hierro

Propiedades físicas de diversos materiales a temperatura ambiente					
Material	Densidad (kg/m ³)	Punto de fusión (°C)	Calor específico (J/kg K)	Conductividad térmica (W/m K)	Coefficiente de expansión térmica (μm/m°C)
Metálicos					
Aluminio	2700	660	900	222	23.6
Aleaciones de aluminio	2630-2820	476-654	880-920	121-239	23.0-23.6
Berilio	1854	1278	1884	146	8.5
Columbio (niobio)	8580	2468	272	52	7.1
Cobre	8970	1082	385	393	16.5
Aleaciones de cobre	7470-8940	885-1260	337-435	29-234	16.5-20
Oro	19300	1063	129	317	19.3
Hierro	7860	1537	460	74	11.5
Aceros	6920-9130	1371-1532	448-502	15-52	11.7-17.3

Fuente: KALPAKJIAN, Serope y SCHMID, Steven R. *Manufactura, ingeniería y tecnología*. p.

