

# **Maestría en Ingeniería Civil**

## **Evaluación del comportamiento de anclajes con varilla de 3/8” para tuberías como elementos no estructurales horizontales**

**Luis Santiago Clavijo Pacheco**

**Bogotá, D.C., 25 de enero de 2023**





**Evaluación del comportamiento de anclajes con varilla de 3/8”  
para tuberías como elementos no estructurales horizontales**

**Tesis para optar al título de magíster en Ingeniería Civil, con  
énfasis en Estructuras**

**Pedro Nel Quiroga Saavedra, PhD.**

**Director**

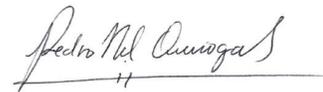
**Bogotá, D.C., 25 de enero de 2023**





La tesis de maestría titulada “Evaluación del comportamiento de anclajes para elementos no estructurales horizontales”, presentada por Luis Santiago Clavijo Pacheco, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Estructuras.

Director de la tesis

A handwritten signature in black ink, reading "Pedro Nel Quiroga", written over a horizontal line.

Pedro Nel Quiroga

Jurado

Ricardo Matallana

Jurado

Gustavo Tumialán

Bogotá, D.C., 25 de enero de 2023



## **DEDICATORIA**

A mis padres por todo el apoyo en las etapas de mi educación y desarrollo personal y profesional, uno de los frutos de su esfuerzo por hacer de sus hijos personas ejemplares.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, al Ingeniero Pedro Nel Quiroga y a los demás funcionarios, en especial a los técnicos de laboratorio, sin los cuales no hubiera sido posible el desarrollo de este trabajo.

A mi esposa, por ser un apoyo incondicional para el desarrollo de mi proyecto profesional.

A la empresa BAUS, por apoyarme en la consecución de todos los insumos, así como del personal de apoyo para el desarrollo de los ensayos.

## RESUMEN

Gracias a los avances tecnológicos en computación y equipos de laboratorio, se ha permitido que la ingeniería sísmica pueda ya realizar análisis por desempeño y profundizar en otros elementos tales como las tuberías. Si bien estos elementos podrían no ser fuente de lesiones graves, su estudio es clave por su respuesta en procesos de evacuación de edificaciones, pues una obstrucción puede cerrar las salidas; Asimismo, puede impedir el funcionamiento inmediato de la estructura posterior a una crisis. Aun cuando hay un apartado normativo, no se ha indagado por el diseño de los elementos no estructurales diferentes a muros y particiones. Por esto, el presente proyecto de grado trata sobre el comportamiento del soporte para tuberías con dos sistemas de anclaje comúnmente utilizados: Adheridos y mecánicos.

Para poder analizar el comportamiento analítico de los anclajes mecánicos se usa el apéndice D del reglamento contemplado en el título C, mientras que para los anclajes químicos se debe proceder al capítulo 17 de la ACI 318-19. Adicional a lo anterior, para la parte experimental se realizaron un total de 107 ensayos repartidos en 83 ensayos de tensión inconfiada, debido a que es donde se presentan las mayores afectaciones por efectos de construcción; 16 ensayos de corte, 4 ensayos de carga cíclica, y 4 ensayos de tensión confinados para 21 días de evolución del concreto.

De los anclajes mecánicos se encontró que, en tensión, la falla dominante fue la falla del acero, siendo el 81% de las fallas, dando un indicativo que es imperativo analizar el material del sistema de anclaje. Asimismo, en los anclajes mecánicos se encontró una paridad en dos tipos de falla, no hubo dominancia específica. De estos anclajes se encontró que la falla por deslizamiento fue el 49% del total, así como el 39% por deslizamiento con arrancamiento del concreto. En cortante se encontró que, tanto en adheridos como en mecánicos, la principal falla fue del acero con un 50% del total y el restante la misma falla adicionando el descascaramiento del concreto.

Finalmente, se encontró que la carga de falla de los anclajes epóxicos en tensión fue cercana a los 20 kN, salvo el caso de la condición en la que el adhesivo se aplica incorrecta y directamente sobre la varilla, donde reduce este valor a la mitad. Asimismo, se encontró que los mecánicos obtuvieron una resistencia cercana a los 10 kN y su sensibilidad a las condiciones de control fue un poco menor. La situación final fue que la variabilidad de los anclajes mecánicos fue muy alta con baja sensibilidad a las condiciones de control utilizadas; los anclajes adheridos tienen una sensibilidad mayor al cambio en los parámetros de las recomendaciones generales y del fabricante. Asimismo, ningún anclaje logró llegar al valor teórico máximo.

# TABLA DE CONTENIDO

LISTADO DE FIGURAS .....	11
LISTADO DE TABLAS.....	12
1. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. Planteamiento del problema .....	13
1.2. Justificación .....	14
2. OBJETIVOS .....	16
2.1. Objetivo general.....	16
2.2. Objetivos específicos .....	16
3. MARCO TEÓRICO.....	17
3.1. Definiciones y conceptos.....	17
3.2. Requisitos de resistencia de los anclajes .....	19
4. ESTADO DEL ARTE.....	29
4.1. HILTI-EUCENTRE Cooperative Research on the Seismic Performance Evaluation of Suspended Piping Restraint Installations .....	29
4.2. Research into Seismic Demands on Floor-Anchored Nonstructural Components (Tal Feinstein, 2018).....	31
4.3. Comportamiento de anclajes postinstalados en concreto de alta resistencia, sometidos a carga de tensión y corte (Morales, 2018).....	32
4.4. Modos de falla en anclajes post-instalados en concretos pobres, sometidos a ensayos de tensión directa (Bermudez, 2017) .....	33
5. FASE EXPERIMENTAL .....	35
5.1. MATERIALES .....	35
5.2. MONTAJE.....	36
5.3. ENSAYOS .....	42
6. RESULTADOS.....	48
7. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	56
7.1. ANCLAJES A TENSIÓN.....	56
7.2. ANCLAJES CORTE .....	65
7.3. ENSAYO DE CARGA CÍCLICA .....	69
7.4. ENSAYOS DE TENSIÓN A 21 DE EVOLUCIÓN DEL CONCRETO .....	74
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	78
- EPÓXICOS.....	78
- MECÁNICOS.....	78
9. BIBLIOGRAFÍA .....	83

## LISTADO DE FIGURAS

Ilustración 1. Probetas de concreto para obtención de resistencia a compresión.	35
Ilustración 2. Refuerzo de vigas para ensayos a Corte de anclajes.	36
Ilustración 3. Refuerzo inferior de losa para ensayos a tensión	37
Ilustración 4. Ensayo de asentamiento del concreto	37
Ilustración 5. Resultado del ensayo de asentamiento: 5" o 12 cm	38
Ilustración 6. Cilindros de 10x20 cm para ensayos a compresión.	38
Ilustración 7. fundida de losa y vigas.	39
Ilustración 8. Chaso multiusos para anclajes mecánicos.	39
Ilustración 9. Adherido Sika Anchorfix 3001	40
Ilustración 10. Perforaciones en losa con Replanteo usando Cimbra de mineral rojo.	40
Ilustración 11. Instalación de Anclajes adheridos para ensayos a tensión.	41
Ilustración 12. Plano de numeración de anclajes en la losa.	41
Ilustración 13. Esquema en planta especímenes de ensayos a corte	42
Ilustración 14. Montaje para ensayos a tensión no confinada.	44
Ilustración 15. Montaje de ensayos a cortante	45
Ilustración 16. montaje en actuador para ensayo de carga cíclica.	46
Ilustración 17. Esquema de montaje del actuador zapata de 70x70x35cm perfil HSS de 10x10cm y altura 2 m.	47
Ilustración 18. Arrancamiento del concreto	56
Ilustración 19. Falla del acero.	57
Ilustración 20. Falla por deslizamiento o Adhesión.	57
Ilustración 21. Falla por deslizamiento y arrancamiento del concreto	59
Ilustración 22. Falla por deslizamiento.	59
Ilustración 23. Falla del acero.	60
Ilustración 24. Falla del acero.	66
Ilustración 25. Falla del acero precedida por descascaramiento del concreto.	66
Ilustración 26. Falla de anclaje mecánico con imperfecciones.	69
Ilustración 27. Falla de anclaje mecánico con imperfecciones.	70
Ilustración 28. Falla anclaje adherido en condiciones ideales.	70
Ilustración 29. Falla de anclaje mecánico en condiciones ideales.	71

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. tabla 17.2.1.1 tomado de (National Fire Protection Association, 2022).....	17
Tabla 2. espaciamiento crítico. tomado de (American Concrete Institute (ACI), 2019) .....	20
Tabla 3. requerimientos de resistencia de diseño de anclajes. tomado de (American Concrete Institute (ACI), 2019).....	21
Tabla 4. Especificaciones técnicas del Sika Anchorfix 3001. ....	22
Tabla 5. Cuadro de Resultados ensayo a compresión .....	36
Tabla 6. Descripción y cantidad de anclajes .....	45
Tabla 7. Características del anclaje según numeración, para tensión; resultados de ensayos a tensión: carga y tipo de falla .....	48
Tabla 8. Resultados del ensayo a cortante: Característica, carga y tipo de falla. .	52
Tabla 9. Resultados de ensayo en actuador: Características, carga y tipo de falla .....	53
Tabla 10. Resultados de ensayos a tensión en concreto de 21 días: Características, carga y tipo de falla. ....	53
Tabla 11. Cálculo nominal para los anclajes a tensión.....	53
Tabla 12. Cálculos teóricos de resistencia anclajes a cortante. ....	54
Tabla 13. Resistencia al descascaramiento, profundidad 6 cm.....	55
Tabla 14. resultados de ensayos a tensión promedio por tipo de falla.....	79
Tabla 15. Resultados de ensayos a corte en laboratorio .....	80

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Planteamiento del problema

A partir de la aparición del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR en su edición del año 98 (NSR-98), de acuerdo con la experiencia del autor, se ha podido evidenciar una mejora en la especificación técnica de los proyectos de ingeniería de edificación en Colombia incluyendo elementos no estructurales y resistencia contrafuego.

Analizando cifras de aprobación de licencias de construcción en m<sup>2</sup> en promedio mensual desde el año 2015 en Colombia es de 1'915.568 m<sup>2</sup>, de los cuales la construcción de vivienda es aproximadamente el 77% (Cámara colombiana de la construcción (CAMACOL), 2020). Esto muestra la importancia de analizar con detenimiento los componentes no estructurales de los proyectos de vivienda.

Asimismo, Gracias a las herramientas digitales usadas por los ingenieros estructurales, las curadurías han podido facilitar su proceso de revisión y ampliar el espectro de revisión a otros títulos contenidos en la NSR que requieren de la misma importancia como lo son el estudio de medios de evacuación y de sistemas de detección y protección contra incendio. conociendo que estos sistemas para edificaciones se están alineando cada vez más con las normativas internacionales.

Teniendo a las entidades como curadurías y planeación, exigiendo detalles de soporte para las tuberías, surgen inconvenientes técnicos en el momento del requerimiento de diseño elementos no estructurales diferentes a los muros y particiones, porque no hay claridad para elementos no estructurales horizontales, específicamente para las tuberías; existe la exigencia del detalle a nivel gráfico, pero no el procedimiento de diseño que justifique el detalle.

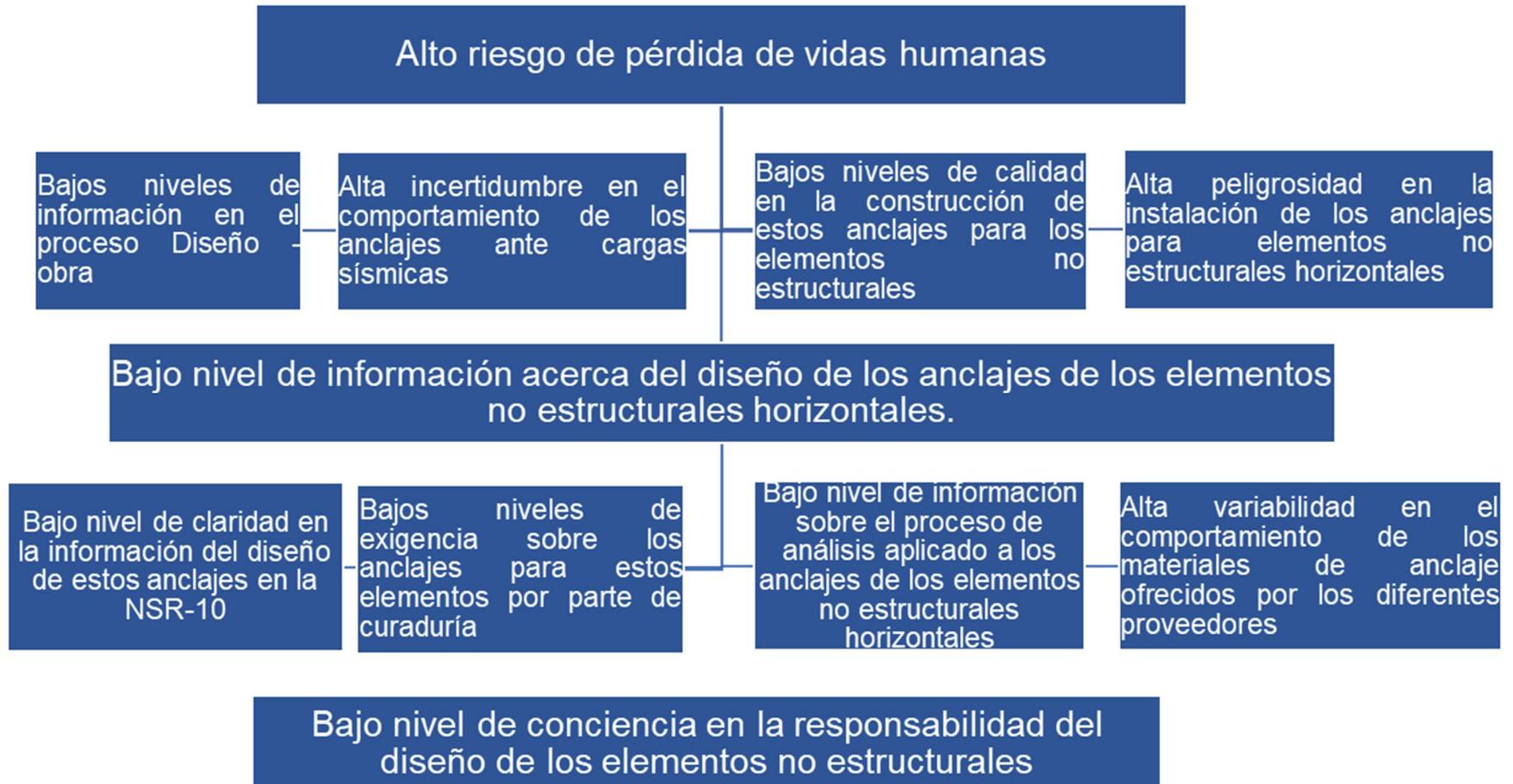
Finalmente, en cuanto a los sistemas de soporte para las tuberías, se conoce que la NSR-10 contempla el diseño de anclajes estructurales mecánicos, y tiene en cuenta las tuberías como elementos no estructurales horizontales. No obstante, existe ausencia de información para el diseño del sistema de soporte, tampoco cuenta con especificaciones mínimas y no hay un apartado especial que permita aclarar el procedimiento de diseño para estos elementos, dejando un abismo de información que puede ser interpretada de diferentes formas, dando cabida a una mala praxis constructiva.

## 1.2. Justificación

El proyecto de investigación es un aporte a la recopilación de información del comportamiento de los anclajes ante los tres parámetros de falla más comunes en el proceso de construcción: profundidad, limpieza y calidad del anclaje, así como sus potenciales fallas para las diferentes sollicitaciones. Esto debido al impacto negativo en diferentes aspectos como la seguridad para la salud de los ocupantes desde afectaciones físicas, en caso de que la falla de un punto de anclaje implique un golpe o trauma a la(s) persona(s), o que los vapores u olores que transportan las tuberías generen impacto respiratorio y finalmente que el daño en el soporte impida su correcto funcionamiento y genere suspensiones no planeadas en los servicios de instalaciones. Para el punto de vista profesional, es un gran aporte debido a las recomendaciones de construcción que se brindarán a partir de los ensayos para las diferentes sollicitaciones.

Lo anterior, teniendo en cuenta que actualmente en Colombia se están volviendo más rigurosos en el análisis de resistencia al fuego, abarcando ya los edificios residenciales. No obstante, A pesar de la rigurosidad, no existe una norma técnica que indique cómo debe aplicarse la instalación del sistema de detección y control contra incendio, y por tanto no existe información en la que se defina los sistemas de soporte pertinentes, más allá de lo presentado en las normas NFPA72 y NFPA13, cuya aplicación en Colombia es compleja por el desconocimiento y por la falta de ajuste a la realidad del país. Es aquí donde radica la necesidad de analizar desde la perspectiva estructural los soportes para las tuberías con el fin de dar recomendaciones de construcción.

### 1.3. Árbol del problema



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Evaluar el comportamiento de anclajes mecánicos y adheridos para elementos no estructurales horizontales instalados con los procedimientos recomendados y con fallas.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Estudiar experimentalmente por medio de ensayos de tensión y corte a los anclajes para tuberías sanitarias y galvanizadas contra incendios.
- Analizar los efectos de la mala instalación de los anclajes
- Evaluar las diferencias en comportamiento de los anclajes en diseño respecto a su construcción
- Dar recomendaciones de construcción para los anclajes mecánicos y adheridos
- Analizar la viabilidad de los anclajes en edificaciones residenciales.
- Evaluar cuantitativamente la práctica colombiana en contraste con la teoría y las normas internacionales

### 3. MARCO TEÓRICO

El presente capítulo tiene como objetivo presentar cada uno de los conceptos necesarios como punto de partida para el desarrollo de los siguientes capítulos del presente documento. Estas definiciones y aclaraciones son necesarias para el entendimiento y el desarrollo de la experimentación a analizar. La información aquí planteada se tomó directamente del reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10, la información que no esté contenida en ésta se tomará del código ACI 318-19.

Antes de hablar de las definiciones y conceptos relativos a la conceptualización técnica de los anclajes, se presentan las recomendaciones brindadas por la normativa vigente a la fecha de estos ensayos, respecto a los tipos de soporte y diámetros mínimos que deben cumplir los sistemas. La norma base fue la NFPA 13. El capítulo 17 de este documento tiene como fin definir las formas de soporte y las características mínimas que debe contar el sistema contra incendio; allí conceptualizan que el diámetro mínimo recomendado de soporte para una tubería galvanizada de 4"es de 3/8"

Tabla 1. tabla 17.2.1.1 tomado de (National Fire Protection Asociation, 2022)

**Tabla 17.2.1.1 Tamaños de varillas de soportes colgantes**

Tamaño de tubería		Diámetro de varilla	
pulg.	mm	pulg.	mm
Hasta 4, inclusive	100	$\frac{3}{8}$	10
5	125	$\frac{1}{2}$	13
6	150		
8	200		
10	250	$\frac{5}{8}$	16
12	300	$\frac{3}{4}$	20

#### 3.1. Definiciones y conceptos

**Adhesivo:** componentes químicos formulados de polímeros orgánicos, o una combinación de polímeros orgánicos con materiales inorgánicos que, al mezclarse, inician un proceso de curado. (American Concrete Institute (ACI), 2019)

**Anclaje (Anchor):** Un dispositivo de acero ya sea preinstalado antes de colocar el concreto o postinstalado en un elemento de concreto endurecido y usado para transmitir fuerzas aplicadas, incluidos los tornillos con cabeza, los tornillos con externo con forma de gancho (J o L), pernos con cabeza

anclajes de expansión o anclajes con sobre perforación en su base. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2017)

**Anclaje, adherido (Anchor, adhesive):** un anclaje postinstalado en un elemento de concreto endurecido, con un diámetro de perforación inferior o igual a 1.5 veces el diámetro del anclaje, que transfiere cargas al concreto por un vínculo generado entre el anclaje y el adhesivo, y el vínculo generado entre el adhesivo y el concreto. (American Concrete Institute (ACI), 2019)

**Anclaje postinstalado (Post-installed anchor):** Un anclaje instalado en el concreto endurecido. Los anclajes de expansión y los anclajes de sobre perforación en su base son ejemplos de anclajes postinstalados. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2017)

**Camisa de expansión (Expansion sleeve):** la parte externa de un anclaje de expansión que es forzada hacia afuera por la parte central ya sea aplicando torsión o impacto, para apoyarse contra los lados de un orificio perforado previamente. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2017)

**Distancia al borde (Edge distance):** La distancia desde el borde de la superficie de concreto al centro del anclaje más cercano.

**Profundidad efectiva de embebido (Effective embedment Depth):** Profundidad total a través de la cual el anclaje transfiere fuerzas hacia o desde el concreto que lo rodea. La profundidad efectiva de embebido generalmente es la profundidad de la superficie de falla del concreto en las aplicaciones en tracción. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2017)

A continuación, se presentan esquemas de los diferentes tipos de anclajes.

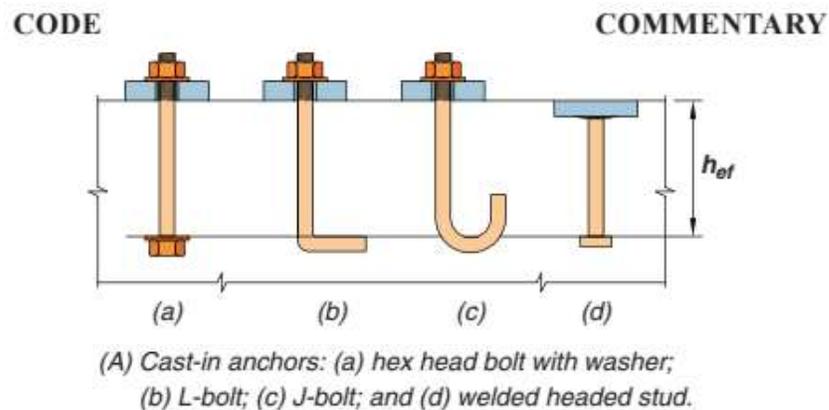
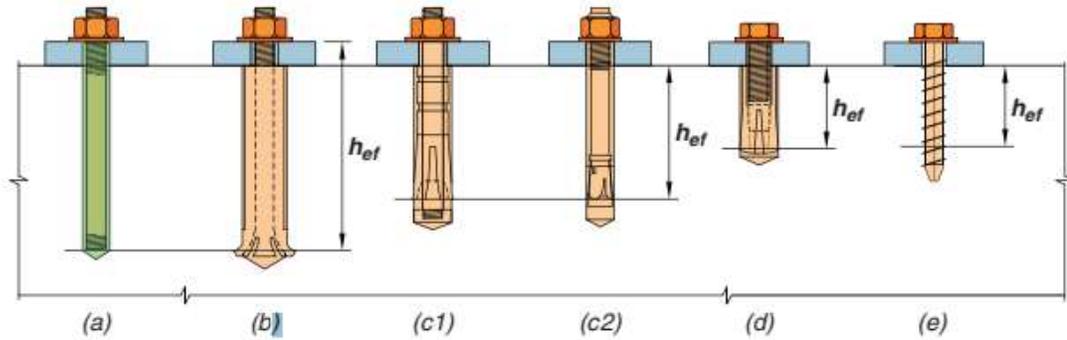


Figura 1. Tipos de anclaje preinstalados. tomado de (American Concrete Institute (ACI), 2019)



(B) Post-installed anchors: (a) adhesive anchor; (b) undercut anchor;  
 (c) torque-controlled expansion anchors [(c1) sleeve-type and (c2) stud-type];  
 (d) drop-in type displacement-controlled expansion anchor; and (e) screw anchor.

**Fig. R2.1**—Types of anchors.

*Figura 2. Tipos de anclajes. tomado de (American Concrete Institute (ACI), 2019)*

El desarrollo de las ecuaciones para el presente documento se encuentra contemplado dentro de las normas NSR-10 y ACI 318-19, por lo que no serán replicadas en el presente documento.

Esta información es imperativa y relevante para el presente trabajo pues se deben mezclar los capítulos de anclajes en el concreto, tanto de la NSR como de la ACI, y de elementos no estructurales con el fin de aclarar el funcionamiento real de los anclajes que se van a estudiar. Adicional a esto, al no contar con información tácita de requisitos de anclaje o de sistemas de soporte para tuberías, se debe aclarar el significado de cada uno de los elementos ya mencionados para ajustarlos de la mejor manera a elementos no estructurales.

### 3.2. Requisitos de resistencia de los anclajes

La resistencia de diseño de los anclajes se basa en cálculos que usan modelos que satisfacen los requisitos de los códigos. También puede satisfacer en la parte experimental, por teoría de colas, que el percentil 5 de la muestra representativa se pueda asociar a los modos de falla. A continuación, se presenta una figura para los modos de falla:

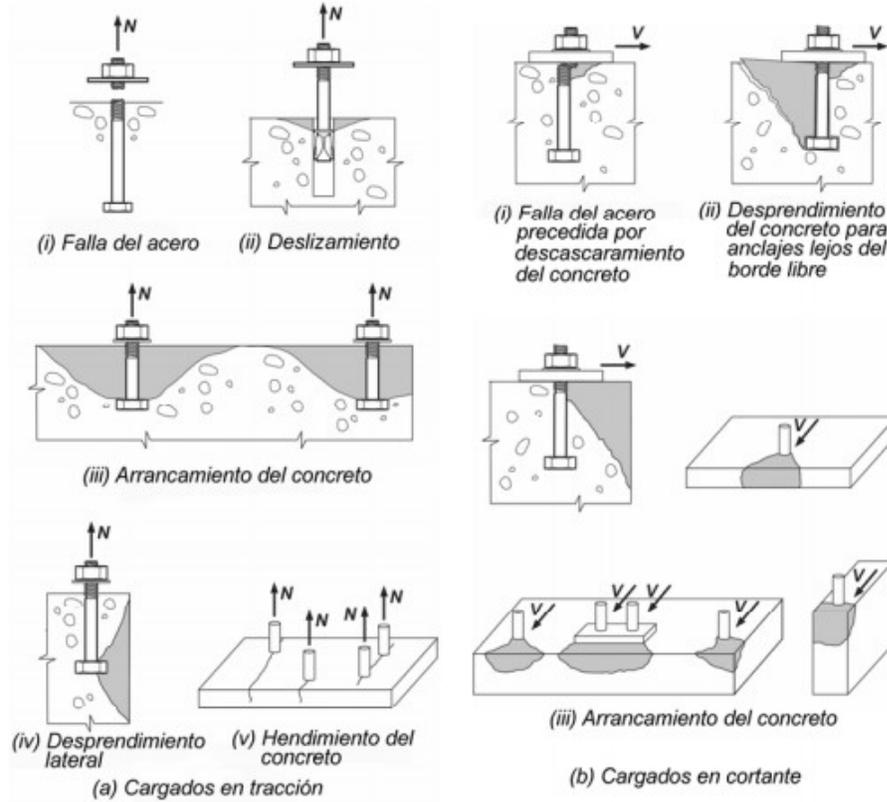


Figura 3. modos de falla de los anclajes mecánicos. Tomado de (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2017)

Basado en los modos de falla presentados en la figura 3 se realizará el trabajo experimental; por lo cual, se parametrizará la experimentación para cada uno de los ensayos para los modos de falla con base en los reglamentos, parametrizando los especímenes para tener en cuenta separaciones y dimensiones necesarias para no afectar los ensayos colindantes. Entre las condiciones se encuentran:

- Espaciamiento crítico:

Tabla 2. espaciamiento crítico. tomado de (American Concrete Institute (ACI), 2019)

Failure mode under investigation	Critical spacing
Concrete breakout in tension	$3h_{ef}$
Bond strength in tension	$2c_{Na}$
Concrete breakout in shear	$3c_{s1}$

Las dimensiones para cada uno de los ensayos de tensión y cortante respectivamente no será menor que los valores estipulados en la tabla 2. Recordando que el presente proyecto se basa en el estudio de soportes para tuberías, por lo cual la base de la profundidad ideal será

para una tubería galvanizada de 4" lleno para su capacidad de diseño y una varilla roscada de 3/8" para ser anclada en el concreto y de caracterización según SAE 1020. De igual forma se tomarán los requerimientos de resistencia para cada uno de los modos de falla:

Tabla 3. requerimientos de resistencia de diseño de anclajes. tomado de (American Concrete Institute (ACI), 2019)

Failure mode	Single anchor	Anchor group <sup>[1]</sup>	
		Individual anchor in a group	Anchors as a group
Steel strength in tension (17.6.1) <sup>[2]</sup>	$\phi N_{st} \geq N_{ur}$	$\phi N_{st} \geq N_{ur,t}$	
Concrete breakout strength in tension <sup>[3]</sup> (17.6.2)	$\phi N_{cb} \geq N_{ur}$		$\phi N_{cbg} \geq N_{ur,g}$
Pullout strength in tension (17.6.3)	$\phi N_{pr} \geq N_{ur}$	$\phi N_{pr} \geq N_{ur,t}$	
Concrete side-face blowout strength in tension (17.6.4)	$\phi N_{sf} \geq N_{ur}$		$\phi N_{sf,g} \geq N_{ur,g}$
Bond strength of adhesive anchor in tension (17.6.5)	$\phi N_a \geq N_{ur}$		$\phi N_{ag} \geq N_{ur,g}$
Steel strength in shear (17.7.1)	$\phi V_{st} \geq V_{ur}$	$\phi V_{st} \geq V_{ur,t}$	
Concrete breakout strength in shear <sup>[3]</sup> (17.7.2)	$\phi V_{cb} \geq V_{ur}$		$\phi V_{cbg} \geq V_{ur,g}$
Concrete pryout strength in shear (17.7.3)	$\phi V_{cp} \geq V_{ur}$		$\phi V_{cpg} \geq V_{ur,g}$

De la tabla 3 se obtienen los estados para la columna 2, es decir, requerimientos para un solo anclaje. El desarrollo de las especificaciones se desarrollará en el capítulo 5, en donde previo a los resultados experimentales se realizará una parametrización de las condiciones ideales de los anclajes y se especificará cada una de las propiedades de los especímenes para cada uno de los anclajes.

Los anclajes adheridos con sensibles a los diferentes factores especificados en el presente ensayo, así como a la dirección de colocación y de la carga aplicada; No obstante, la capacidad de la adherencia no es sensible a la resistencia a compresión del concreto, es decir, que es independiente de la capacidad del material. Asimismo, es importante aclarar que los fundamentos para el comportamiento de anclajes adheridos deben estar en concordancia con el ACI 355.4. De acuerdo con lo anterior, también es importante tener en cuenta las características del adhesivo epóxico utilizado en el presente ensayo.

El producto utilizado en el presente trabajo fue el Sika Anchorfix 3001, y de acuerdo con la hoja de datos del producto desarrollada por el fabricante:

“El Sika Anchorfix – 3001 es un adhesivo epóxico de dos componentes para el anclaje de barras corrugadas y pernos roscados. [...] el Sika Anchorfix – 3001 ha sido específicamente diseñado para proveer una alta resistencia para uso en condiciones secas, húmedas, e inundadas en numerosos materiales base.” (Sika, 2018)

Este cumple con diferentes normativas y principalmente su información técnica se obtiene de acuerdo con:

- ASTM D695- Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics
- ASTM D1875-Standard Test Method for Density of Adhesive in Fluid Form
- ASTM D790-Standard Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials
- ASTM D638-Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics

Basados en las especificaciones anteriores, a continuación, se presenta la información:

Tabla 4. Especificaciones técnicas del Sika Anchorfix 3001.

Densidad	1.7 kg/L	(ASTM D1875)	
<b>INFORMACION TECNICA</b>			
Resistencia a Compresión	24 horas	59 MPa (8500 psi)	(ASTM D695)
	7 días	85 MPa (12 300 psi)	
20°C (68°F) y 50% R.H.			
Módulo de Elasticidad a Compresión	7 días	5 GPa	(ASTM D695)
Resistencia a Flexión	24 horas	45 MPa (6525 psi)	(ASTM D790)
Resistencia a tensión	1 día	18 MPa (2610 psi)	(ASTM D638)
	7 días	23.5 MPa (3400 psi)	
Módulo de Elasticidad a Tensión	1 día	5.7 GPa	(ASTM D638)
	7 días	5.5 GPa	
Elongación a Rotura	1 día	6.6%	(ASTM D638)
	7 días	5.9%	
<b>INFORMACION DE APLICACIÓN</b>			
Proporción de la Mezcla	A:B = 1:1 en volumen.		
Espesor de Capa	7 mm max.		
Temperatura Ambiente	+4 °C min. / +40 °C max.		
Temperatura del Sustrato	+4 °C min. / +40 °C max.		

De igual forma, se tiene también la recomendación del fabricante para la correcta aplicación del epóxico e instalación del anclaje. Previo a la instalación del anclaje, se debe preparar la superficie con las siguientes condiciones:

*“la superficie debe estar limpia y sana. Las superficies/perforaciones pueden estar secas, húmedas o inundadas. Quite el polvo, lechada, grasa, agentes curadores, impregnaciones, ceras, partículas extrañas y material suelto. La resistencia del sustrato puede verificarse, con ensayos de tensión directa (pulloff) si se desconoce su valor.”* (Sika, 2018).

Adicional a lo anterior, por ser un adhesivo de dos componentes, se debe preparar la mezcla instalando la boquilla que viene con el producto, así como el cartucho en la pistola recomendada por el fabricante y accionando el gatillo de esta hasta que el producto salga de un color uniforme. Teniendo en cuenta lo anterior, se presenta el procedimiento realizado y recomendado por el fabricante (Sika, 2018) a continuación:

1. Se realiza la perforación con un taladro que cumpla con el diámetro y profundidad correctos, el recomendado por el fabricante es un diámetro de perforación superior al diámetro del anclaje. Para el caso del presente trabajo son dos profundidades – 10cm y 6cm – y un diámetro de anclaje (3/8”) con dos diámetros de perforación: 1/2” y 3/8”; en donde la condición incorrecta es diámetro de perforación igual al diámetro de anclaje.
2. Limpiar completamente la perforación según la secuencia indicada por el documento del fabricante. Usar un soplador desde el fondo de la perforación y se debe soplar dos veces. El aire a presión debe estar libre de aceite y agua y con una presión de mínimo 6 bares (90 psi). En este punto y el paso 3 es que se refiere la condición de control de estado de limpieza de la perforación. Solo los anclajes con la condición de limpieza recomendada siguieron estos dos pasos y se utilizó soplador mecánico y eléctrico.
3. Seleccionar un cepillo de cerdas metálicas, asegurándose que esté en buenas condiciones y con el diámetro adecuado para caber en la perforación. Introducir el cepillo dentro de la perforación y realizar un movimiento de inserción y retiro del cepillo haciendo un movimiento de rotación para retirar todo el material suelto. Repita de nuevo esta operación. Hasta este punto ya se debe tener preparada la superficie como lo recomienda el fabricante y como se especificó anteriormente.
4. Seleccionar la boquilla de mezclado y la pistola adecuada. En este paso, se tenía la pistola recomendada por el fabricante y la boquilla

que se usó para los anclajes que siguen este punto fue la que venía con el cartucho del producto.

5. Desenroscar y quitar la tapa protectora. Se coloca la boquilla en el cartucho verificando que no tenga fugas y que se encuentre perfectamente ajustada en el cartucho. En este paso se debe seguir la recomendación de preparación de mezcla presentada anteriormente.
6. Insertar la boquilla hasta el fondo de la perforación y se empieza a aplicar la resina con una presión constante y uniforme sacando lentamente la boquilla de la perforación. Se debe llenar aproximadamente  $\frac{3}{4}$  de la profundidad de la perforación y, en este punto se debe retirar la boquilla. Este paso se siguió en los anclajes que tuvieran condición ideal de aplicación del epóxico; esto debido a que es común en obra que se aplique mezclado en una superficie y aplicado en varilla.
7. Insertar la varilla roscada - en donde ésta debe estar libre de óxido, aceite o cualquier agente extraño- hasta el fondo de la perforación haciendo movimientos repetitivos de superficie hasta el fondo y con movimientos de rotación hasta asegurar que la varilla quede embebida hasta el fondo de la perforación. Se buscó que quedara centrada en la perforación, y la resina salió uniformemente como lo menciona el fabricante en el documento.
8. No perturbar la varilla hasta el momento de la carga. En este caso, se cumplieron 7 días desde la colocación del anclaje hasta la realización de los ensayos. Por ende, dentro de los parámetros mecánicos aplican los datos a 7 días de la tabla 3.

Ya teniendo claro que el procedimiento es de vital importancia para las condiciones de control presentadas en el presente proyecto, específicamente para los anclajes adheridos, se procedió a analizar la resistencia de los anclajes utilizando el código americano de concreto ACI318-19 de la siguiente manera:

- Resistencia básica del anclaje en concreto sometido a tensión

$$N_b = k_c \cdot \sqrt{f'_c} \cdot h_{ef}^{1.5}$$

En donde,

N= Tensión máxima del anclaje

$K_c=7$  para anclajes postinstalados

De acuerdo con la norma ACI 318-19, la ecuación básica mencionada en este apartado se obtuvo de estudios extracción de anclajes, en éstos se evidenció una rotura del concreto con

inclinación de 35°, obtenidos de principios de la mecánica de fracturas. (American Concrete Institute (ACI), 2019) Este método, también conocido como el CCD (Concrete Capacity Design), cuyos comentarios después de ensayos indican que: *“la variación porcentual entre las predicciones y los resultados obtenidos de las capacidades oscilan entre 15% a 20% lo cual está en el rango esperado de variación en la resistencia a tensión del concreto cuando los especímenes ensayados se producen con diferentes dosificaciones”* (Fuchs, y otros, 1995).

asimismo, en el mismo comentario R17.6.2.2.1 de la ACI 318-19, se especifica que los valores de  $K_c$  de la ecuación presentada fueron determinados de una base de resultados de ensayos de concreto no fisurado en el percentil 5, ajustándolos también para concreto fisurado. Estos resultados también mostraron un comportamiento similar de  $K_c$  en los anclajes adheridos respecto a los anclajes mecánicos de expansión (American Concrete Institute (ACI), 2019).

- Resistencia del anclaje sometido a tensión, con falla por arrancamiento.

$$N_{pn} = \psi_{c,p} \cdot N_p$$

En donde,

$\Psi_{c,p}$  = Factor de fisuración por deslizamiento = 1.4 en anclajes donde se encuentre una región de un miembro estructural que no indique fractura sometido a cargas de servicio

Se espera que para los anclajes mecánicos se presente este tipo de falla en un porcentaje bajo, pues es común que la carga de este modo sea significativamente inferior, como se mostrará más adelante.

Según el código ACI en el apartado de comentarios R17.6.3.1:

“Los requerimientos de diseño por arrancamiento son aplicables a anclajes mecánicos preinstalados y postinstalados. Asimismo, estos no aplican a los anclajes adheridos, los cuales a su vez deben cumplir con lo estipulado en 17.6.5” (American Concrete Institute (ACI), 2019) para los anclajes adheridos, se procede a utilizar el apartado en mención.

- Resistencia del anclaje a tensión, resistencia del acero.

$$N_{sa} = A_{se,N} \cdot f_{uta}$$

En donde,

$A_{se,N}$ = Area efectiva de la sección transversal de la varilla

$f_{uta}$ = Resistencia especificada para el anclaje de Acero. Este valor no puede exceder  $1.9f_{yu}$ (Fluencia especificada para el material de la varilla a usar) o 860 MPa, la que sea menor.

- Resistencia del enlace (adherencia del epóxico) sometido a tensión (ecuación 17.6.5.1a

$$N_a = \frac{A_{Na}}{A_{Na0}} \cdot \psi_{ed,Na} \cdot \psi_{cp,Na} \cdot N_{ba} \text{ (American Concrete Institute (ACI), 2019)}$$

En donde,

$A_{Na}$  = es el área de influencia proyectada de un anclaje o grupo de anclajes adheridos que es aproximada a un área rectilinear que se proyecta una distancia  $C_{Na}$  hacia afuera del centro del anclaje adherido, o en el caso de un grupo de anclajes de una línea a través de una fila adyacente de anclajes adheridos. (American Concrete Institute (ACI), 2019)

$A_{Na0}$ = es el área de influencia proyectada de un anclaje adherido con una distancia al borde de al menos  $C_{Na}$

$$A_{Na0} = (2 \cdot C_{Na})^2$$

$$c_{Na} = 10 \cdot d_a \cdot \sqrt{\frac{\tau_{unscr}}{1100}}$$

$\psi_{ed,Na} = 1$  definido como el factor del efecto del enlace en bordes

Continuando con el protocolo de ensayos realizado, se procede a realizar el comportamiento teórico de los anclajes a cortante. Para este caso se espera que la mayoría de las fallas se encuentre controlada por la resistencia de la varilla; no obstante, se espera que se presenten algunas fallas con descascaramiento del concreto, por eso se presentarán solo estas dos condiciones.

Por otro lado, se presenta también las ecuaciones del capítulo 17.7 del código ACI 318-19 para resistencia a cortante, esto con el fin de obtener el valor nominal de resistencia de los anclajes. Es importante recordar que para este trabajo se realizaron ensayos con anclajes individuales para tensión y corte.

- Resistencia a cortante del acero para anclajes postinstalados ec. (17.7.1.2b)

$$V_{sa} = 0.6 \cdot A_{se,V} \cdot f_{uta}$$

Al igual que en la resistencia a tensión, se definen a continuación las variables como

$A_{se,V}$  = es el área efectiva de la sección transversal de un anclaje sometido a cortante en  $\text{mm}^2$  y el valor de  $f_{uta}$  no debe exceder  $1.9 f_{ya}$  o 860 MPa.

Se espera que para el presente trabajo se presente dominancia en la falla por el acero. Asimismo, aunque se manejan las mismas condiciones de control de los ensayos a tensión, no se espera una afectación principal por estos efectos; así entonces, las condiciones de control estipuladas para los efectos de la mala construcción son el resultado de la combinación de todas las condiciones de control, a saber, poca profundidad con mal estado de limpieza y con adherente aplicado en varilla o con anclaje mecánico en mal estado según aplique el caso.

- Resistencia del concreto a rotura en anclajes sometidos a cortante para cortante perpendicular al borde en un anclaje simple (ec. 17.7.2.1a)

$$V_{cb} = \frac{A_{Vc}}{A_{Vco}} \cdot \psi_{ed,V} \cdot \psi_{c,V} \cdot \psi_{h,V} \cdot V_b$$

En donde,

$$\psi_{ed,V} = 0.7 + 0.3 \cdot \frac{c_{a2}}{1.5 \cdot c_{a1}} = 0.76, \text{ ecuación 17.7.2.3.1}$$

Con  $c_{a1}=0.175\text{m}$  y  $c_{a2}=0.20\text{m}$  y  $c_{a2} < 1.5 \cdot c_{a1}$

$$\psi_{c,V} = 1.0$$

$$\psi_{h,V} = \sqrt{\frac{1.5 \cdot c_{a1}}{h_a}} \geq 1.0 \text{ ec. 17.7.2.6.1}$$

- Resistencia del concreto por desprendimiento para anclajes sometidos a cortante, ecuación 17.7.3.1a

$$V_{cp} = k_{cp} \cdot N_{cp}$$

En donde,

$K_{cp}=1$  para anclajes en mal estado (profundidad del anclaje menor a 65mm)

$K_{cp}=2$  para anclajes con las condiciones ideales (profundidad igual o superior a 65mm)

$N_{cp}=N_{cb}$  en anclajes mecánicos

$N_{cp} < N_a$  y  $N_{cp} < N_{cb}$  para anclajes adheridos

Estas ecuaciones obtenidas del código ACI318-19 permiten conocer los valores teóricos de la resistencia de los anclajes a estudiar en el presente trabajo, y poderlos comparar con los resultados obtenidos en campo. Los resultados teóricos obtenidos con las ecuaciones presentadas anteriormente permitieron entender el comportamiento de los anclajes para las condiciones de control estudiadas, aquellas que el autor considera son los errores más comunes que se pueden cometer en obra para estos dos tipos de anclaje.

## 4. ESTADO DEL ARTE

A la fecha del presente documento se han desarrollado numerosos estudios y ensayos acerca del comportamiento de los anclajes postinstalados sometidos a tensión, cortante y a cargas cíclicas horizontales, aunque solo hay muy pocas que se enfocan en los elementos no estructurales horizontales; A continuación, se presentan las que el autor consideró relevantes para el desarrollo satisfactorio de su investigación:

### 4.1. HILTI-EUCENTRE Cooperative Research on the Seismic Performance Evaluation of Suspended Piping Restraint Installations

“Análisis de sismos recientes han demostrado que el daño en los elementos no estructurales puede comprometer la capacidad de funcionamiento de las instalaciones de un edificio en momentos de crisis. El diseño sísmico basado en desempeño requiere la alineación de comportamiento entre los elementos estructurales y no estructurales. El comportamiento sísmico de los sistemas hidrosanitarios es de gran importancia con el fin de garantizar el funcionamiento inmediato posterior a un evento sísmico [...]”. (D. Perrone, 2020)

En este trabajo colaborativo se ensayaron 4 tipos de sistemas de soporte de tuberías:

- Soporte trapezoidal con sistema transversal de arriostramiento con perfil en canal
- Soporte trapezoidal con sistema longitudinal de arriostramiento con perfil en canal
- Soporte trapezoidal con sistema transversal de arriostramiento con varilla
- Soporte trapezoidal con sistema longitudinal de arriostramiento con varilla

Se realizaron ensayos durante 3 años y fue un estudio resultado de encuestas realizadas entre profesionales italianos en donde se encontró que la aplicación más común de elementos no estructurales de restricción sísmica en sistemas de tuberías eran los 4 sistemas ya mencionados. El montaje se realiza en el actuador de desplazamiento horizontal cíclico con una estructura metálica de 3 metros de altura con platinas de soporte arriba o abajo según las geometrías de los diferentes especímenes. La carga del actuador se aplica directamente en la tubería que estaban ancladas a las instalaciones de arriostramiento trapezoidal por medio de anillos rígidos y varillas corrugadas cortas. Dentro de los resultados para el primer sistema se encontró a nivel general una buena disipación de energía, con una degradación notoria de la resistencia entre 15 y 20 mm de desplazamiento, el cual está directamente relacionado con la fluencia no intencional de la rótula del perfil tipo **canal**, en donde ésta en ese punto se giraba hacia adentro, perdiendo linealidad con el perfil (inicialmente ubicado en la

dirección del perfil). La resistencia del sistema de arriostramiento trapezoidal con perfiles tipo canal tiene poca relación con la resistencia de la diagonal, y está directamente limitada por los conectores del canal. Hay una segunda reducción de la resistencia se presentó cuando las diagonales ya se desconectaban del sistema. Para el segundo espécimen de arriostramiento longitudinal, presentando una carga superior por tener dos arriostramientos y un comportamiento similar al primer espécimen, sin embargo, la resistencia no está influenciada por la resistencia de la diagonal y en este caso está gobernada por el sistema de conexión de los anillos de soporte de las tuberías al perfil tipo canal ubicado horizontalmente; para este sistema se consideró la falla cuando los conectores fluían.

Para el espécimen 3, arriostrado con varilla, en donde se evidencia que las curvas de histéresis son más esbeltas y presentaron menor disipación de energía. Se presenta un incremento mínimo de resistencia entre el montaje con restricción y sin restricción, sin embargo, no es grande la diferencia; Se deformó la varilla considerablemente presentando pandeo en los dos tipos de montaje con y sin restricción vertical.

Finalmente, para el cuarto sistema de montaje, tuvo un comportamiento similar al anterior, y presenta pandeo muy rápido y grandes deformaciones en las varillas. Asimismo, se presenta una deformación perceptible en el sistema de anillo de soporte de la tubería sobre el perfil en canal ubicado horizontalmente. En términos de parámetros de respuesta, se analizó la capacidad de carga máxima, la rigidez inicial, el desplazamiento de fluencia efectivo, el desplazamiento último, ductilidad efectiva y la tasa equivalente del amortiguamiento viscoso tomado de todos los ciclos de acuerdo con la formulación de área equivalente de Jacobson.

En términos de resistencia el segundo y el cuarto sistema son los más resistentes; en términos de ductilidad los sistemas con mejor respuesta son el tercero y el cuarto. En disipación de energía los primeros dos sistemas son los de mejor respuesta (usando el amortiguamiento equivalente). También se realizan modelos numéricos para ajustar en análisis y poder recrear diferentes modelos sin tener necesidad de estar replicando y ensayando todos los modelos en el laboratorio. El resultado para los diferentes parámetros mencionados fue bajo, sin embargo, hubo una dispersión en el amortiguamiento equivalente. Las principales conclusiones de la experimentación son:

- Todos los especímenes presentaron una resistencia significativa
- No se presentó ninguna falla frágil o súbita y todos los especímenes presentaron un comportamiento dúctil
- Los especímenes no perdieron su capacidad de carga ante sollicitaciones gravitacionales después de la falla

- La resistencia del sistema con arriostramientos con perfiles tipo canal estaba limitada por los elementos conectores (rótulas)
- La resistencia del sistema con arriostramientos con varilla estaba limitada por la capacidad al pandeo de las varillas diagonales y verticales.

este estudio aportó al presente trabajo en el estudio del comportamiento de los sistemas de tuberías contra incendio y del montaje de los anclajes para estos elementos ante eventos sísmicos.

#### **4.2. Research into Seismic Demands on Floor-Anchored Nonstructural Components (Tal Feinstein, 2018)**

El objetivo principal de este proyecto de investigación es identificar los parámetros que controlan la respuesta de los componentes, así como evaluar los parámetros que se usan actualmente en los códigos indagando por su eficacia y suficiencia para describir el comportamiento de los elementos no estructurales.

Gracias a los avances en la ingeniería sísmica basada en desempeño, las estimaciones de pérdida han mostrado que más del 50% de los daños ocasionados después de un sismo se deben a elementos no estructurales, afectando la funcionalidad inmediata posterior al evento sísmico. La autora justifica la importancia de la experimentación en que hoy en día hay más edificaciones indispensables como lo son los hospitales, o centros de investigación y de procesamiento de muestras clínicas en las cuales no pueden parar funcionamiento, así como espacios de alimentación eléctrica para dichas edificaciones. Otros centros de esencial importancia posterior a un evento sísmico son los centros de servidores y de almacenamiento de información para los diferentes servicios en la nube. Aunque los códigos actuales de ingeniería se enfocan en la seguridad, que enfocado en el diseño de elementos no estructurales significa prevenir el desplome de los componentes principales durante un sismo.

En esta investigación se desarrollaron 62 ensayos, en donde se enfoca en las sollicitaciones y respuestas de los componentes, comparándolos con los resultados obtenidos usando los principios y ecuaciones de diseño. "Generalmente, el diseño de anclajes se basa en las ecuaciones de fuerza sísmica lateral dadas en los diferentes códigos". Estas fuerzas sísmicas se plantean en los códigos como una carga estática equivalente y no especifican guías para el cálculo directo de las fuerzas en los anclajes. El resultado de estos cálculos es una simple suposición de simetría en flujo de carga a través del componente. Recalcando lo mencionado, los montajes fueron diseñados para proveer información acerca de los parámetros dominantes en los procedimientos de diseño actuales. Así entonces, las

conexiones escogidas para los ensayos buscaban representar diseños realistas que se basaron en la ASCE7-10.

Los componentes que se estudiaron consistían en un congelador médico y dos gabinetes capacitores con el mismo diseño, pero con centros de masa variables debido a que uno de los gabinetes capacitores le faltaba una de las baterías. Los componentes se sometieron a diferentes Input motions simulando las características de diferentes edificios con diferentes alturas, uno de ellos un hospital con laboratorios clínicos que tiene 16 pisos.

Los resultados arrojaron que los códigos americanos y europeos, aún con la consideración del factor de sobre resistencia, no daban resultados conservadores relativos a las fuerzas de tensión en los anclajes; lo cual demuestra que los factores  $a_p$  y  $R_p$  No predicen el comportamiento real de la amplificación en el componente. Dentro del comportamiento real de los componentes no estructurales uno de los elementos dominantes que controlan el comportamiento dinámico del componente son los acoples. Las conexiones flexibles aumentan el periodo del componente y permite mayor levantamiento en la conexión, produciendo un comportamiento rotacional en el componente. En este tipo de conexiones pueden presentarse rótulas plásticas, que pueden actuar como un difusor para controlar la máxima demanda que se puede transferir a los componentes y sus anclajes.

Este estudio fue un aporte esencial para el proyecto de grado debido a que fue base para poder estudiar el mejor montaje para el ensayo de carga cíclica y dar como resultado una estructura metálica tubular montada sobre la zapata de concreto y realizando el estudio con las condiciones de control del formato a cortante.

#### **4.3. Comportamiento de anclajes postinstalados en concreto de alta resistencia, sometidos a carga de tensión y corte (Morales, 2018)**

El objetivo principal de este proyecto fue evaluar el comportamiento de anclajes postinstalados en concreto de alta resistencia, sometidos a carga de tensión y corte. Todo esto mediante montajes para ensayos confinados e inconfiados de tensión y ensayos de corte realizados en las instalaciones de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Con estos resultados buscaban la comparación con los cálculos teóricos presentados por códigos y normas vigentes, a saber, la norma colombiana NSR-10 apéndice D y el código americano ACI 318-14 en el título 17. En total se realizaron 54 ensayos de tensión confinada, 36 a tensión inconfiada y 24 a cortante.

De acuerdo con la descripción de los autores en su trabajo, en los ensayos confinados a tensión la única falla presentada fue del acero, comportamiento esperado por ellos. Asimismo, para los ensayos no confinados se encontraron tres comportamientos últimos: Falla del acero, arrancamiento del concreto y falla por adherencia. En promedio la falla más común fue por arrancamiento con una incidencia del 30%, seguida por la falla del acero con 25%. Finalmente, para los ensayos a corte sólo se presentó falla del acero.

Como resultado de toda la experimentación los autores encontraron que las ecuaciones del código americano ACI 318-14 son correctas y “pueden predecir la falla por adherencia de los anclajes hasta profundidades de aproximadamente 16 veces el diámetro del anclaje” (Morales, 2018). Así como una relación entre la profundidad de embebido y la carga de falla del anclaje. De acuerdo con la información presentada anteriormente, este fue el proyecto esencial como base para la ejecución de la experimentación para el presente trabajo, pues se desarrollaron en las mismas instalaciones y permitieron información experimental como los montajes para ensayos no confinados, así como las herramientas necesarias para un correcto desarrollo de la experimentación en las instalaciones de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

#### **4.4. Modos de falla en anclajes post-instalados en concretos pobres, sometidos a ensayos de tensión directa (Bermudez, 2017)**

El objetivo principal de este proyecto fue evaluar el comportamiento de anclajes postinstalados adheridos en concreto pobre mediante ensayos de tracción directa, encontrando modos de falla asociados a la normativa americana y colombiana. Los autores especifican este concreto de acuerdo con la resistencia de 14 y 17.5 MPa. La justificación base para este proyecto fue el corto desarrollo que existe en la normativa americana ACI318 en su edición del 2002, en donde por primera vez se tiene un código para el diseño y construcción de anclajes adheridos, y en donde se especifica únicamente anclajes sobre concretos convencionales. En total para los anclajes realizaron 64 especímenes de 14 MPa y 32 de 17.5 para un total de 96 probetas. Para los anclajes postinstalados, usaron acero corrugado de diámetros de 3/8" y 1/2" y como material adherente usaron Sikadur AnchorFix-4. Ellos encontraron de su experimentación que ningún anclaje logró la fluencia del acero, y para diámetros de 3/8" la carga máxima a tracción fue de 29.82 kN, y para diámetros de 1/2" fue de 54.18 kN. El autor clasifica los modos de falla con las cargas de la siguiente manera:

- Para el modo de falla anclaje/adhesivo la carga se encuentra en un rango de 9.54 kN a 13.4 kN
- Para el modo de falla adhesivo/concreto la carga se encuentra entre 14.11 kN y 21.72 kN.
- Para el modo de falla mixta, el rango oscila entre 23.19kN y 28.13 kN

También encontraron que el anclaje de mejor comportamiento tuvo falla de cono, en donde el concreto alcanza su máximo desempeño y está relacionado con el diámetro de 1/2", y el rango de carga se encuentra entre 37.72 kN y 52.84 kN. Las conclusiones del proyecto principalmente las siguientes:

- Ningún anclaje presentó falla del acero, por lo que la fluencia del acero no es una limitante en los anclajes.
- Las principales fallas de los anclajes construidos en diámetro de 3/8" presentaron fallas por adherencia, mientras que los construidos con diámetros de 1/2" fue predominante la falla mixta.

Aunque este trabajo fue una base importante a nivel técnico, solo fue utilizado como base teórica para la realización del presente trabajo. Y, como lo menciona el autor, "la principal aplicación que tiene este trabajo es dar una guía de modos de falla identificados en anclajes epóxicos postinstalados en concretos de baja resistencia" (Bermudez, 2017)

## 5. FASE EXPERIMENTAL

Con el fin de dar cumplimiento a los objetivos, se estructuró un proyecto de experimentación para determinar las capacidades a tensión, cortante y carga cíclica de anclajes postinstalados de elementos no estructurales en concreto de 28 MPa acelerado a 7 días.

### 5.1. MATERIALES

Previo a definir el procedimiento realizado en el laboratorio, se inicia con la especificación de los materiales; Los que se usaron en el presente trabajo son: Concreto, barras de anclaje de acero de bajo carbono (SAE J-429), chasos multiusos de diámetro interno de 3/8", adhesivo Sika Anchorfix 3001.

El concreto es de la concretera TREMIX, con las siguientes especificaciones: Concreto convencional 28 MPa acelerado a 7 días con asentamiento esperado de 4". Para estos especímenes se tomaron 3 muestras compuestas de dos probetas en cilindros plásticos de 10x20 cm cada una. Por ser acelerado, se realizaron ensayos a compresión a 3 y 7 días, y para el análisis de humedad, a 21 días.



*Ilustración 1. Probetas de concreto para obtención de resistencia a compresión.*

La ilustración 1 muestra una de las seis probetas que fueron ensayadas en el laboratorio. A continuación, se presenta los resultados de la resistencia del concreto, del resultado a compresión, en donde en la última columna se puede evidenciar la relación de resistencia entre el ensayo respecto al nominal.

Tabla 5. Cuadro de Resultados ensayo a compresión

Muestra	día	Carga de falla (kg)	Promedio (kg)	Resistencia (MPa)	Resultante/nominal (%)
1	3	13400	13650	16.52	59%
2	3	13900			
1	7	20800	20600	24.93	89%
2	7	20400			
1	21	28400	29100	35.21	126%
2	21	29800			

Para el acero y los anclajes, no se realizaron pruebas independientes para cada uno de ellos, se ensayan en conjunto con los ensayos a tensión y corte de cada espécimen. Una vez definidos los materiales, se procede a mostrar el procedimiento de montaje y de ensayos.

## 5.2. MONTAJE

Para el montaje, se usa como base especímenes de concreto reforzados con la cuantía esquema de una losa de 35 cm de espesor para sollicitaciones de un sistema para edificios de vivienda, con varilla de 3/8" c/.15 en las dos direcciones para la parrilla inferior y malla electrosoldada M-221 XX  $\phi$ 6.5 mm c/.15 en las dos direcciones para el refuerzo superior, este último refuerzo es para simular el efecto de la construcción de anclajes en losas de 12 cm de espesor. Para las vigas se usa cuantía mínima con acero de refuerzo de 3/8" y flejes #3 c/.15. Es importante aclarar que se usaron chasos multiusos para los anclajes mecánicos teniendo en cuenta que son los más comunes encontrados en obra para elementos no estructurales horizontales.



Ilustración 2. Refuerzo de vigas para ensayos a Corte de anclajes.



*Ilustración 3. Refuerzo inferior de losa para ensayos a tensión*

Las ilustraciones 2 y 3 muestran el refuerzo y el tipo de formaleta que se utilizó para la realización de los especímenes para los ensayos. Para el proceso de fundida se toman las muestras de los cilindros de 10x20 cm y se realiza la prueba de asentamiento de cono.



*Ilustración 4. Ensayo de asentamiento del concreto*



*Ilustración 5. Resultado del ensayo de asentamiento: 5" o 12 cm*



*Ilustración 6. Cilindros de 10x20 cm para ensayos a compresión.*

Se verificó el asentamiento del concreto y se evidencia un resultado de 5", valor aceptable para el valor nominal 6"  $\pm$  1". Se procede a la fundida del concreto para la losa y las vigas.



*Ilustración 7. fundida de losa y vigas.*

Se realiza la instalación de los anclajes tanto mecánicos como adheridos, recordando que el anclaje mecánico puede usarse inmediatamente realizada la instalación, mientras que los anclajes adheridos deberían tener al menos 24 horas de endurecimiento y obtención de resistencia para el químico adhesivo. A continuación, se presentan las imágenes de cada uno de los insumos para los anclajes realizados.



*Ilustración 8. Chaso multiusos para anclajes mecánicos.*



Ilustración 9. Adherido Sika Anchorfix 3001

Se realizan las perforaciones necesarias replanteadas por la separación mínima requerida con una tolerancia específica: 1.5 veces la profundidad del anclaje y con una tolerancia de 5 cm, por cada lado de cada uno de los anclajes, pues la cuña de desprendimiento del concreto puede ser de 3 veces la profundidad. Así entonces, se realizan los anclajes con una separación de mínimo 35 cm.



Ilustración 10. Perforaciones en losa con Replanteo usando Cimbra de mineral rojo.



Ilustración 11. Instalación de Anclajes adheridos para ensayos a tensión.

Los primeros anclajes realizados fueron los adheridos correspondientes a los ensayos a tensión después de la obtención de los resultados del ensayo de las probetas de concreto a los 7 días. La estructuración de los anclajes en la losa de 3.25x3.25m y anclajes instalados como se menciona anteriormente de 35 cm de distancia entre varillas y de 17.5 cm de distancia al borde, a continuación, se presenta un esquema de la organización de los anclajes:

## Edificio de laboratorios

1	9	17	25	33	41	49	57
2	10	18	26	34	42	50	58
3	11	19	27	35	43	51	59
4	12	20	28	36	44	52	60
5	13	21	29	37	45	53	61
6	14	22	30	38	46	54	62
7	15	23	31	39	47	55	63
8	16	24	32	40	48	56	64

## Cuarto trituradora

Ilustración 12. Plano de numeración de anclajes en la losa.

Al igual que con la losa, se marcaron los anclajes para los ensayos a corte simple. Para los especímenes de concreto de 50x35x140 cm, se realizaron sobre la superficie larga, teniendo en cuenta que sobre la corta se impedía la realización del ensayo en la máquina Shimadzu. A continuación, el esquema:

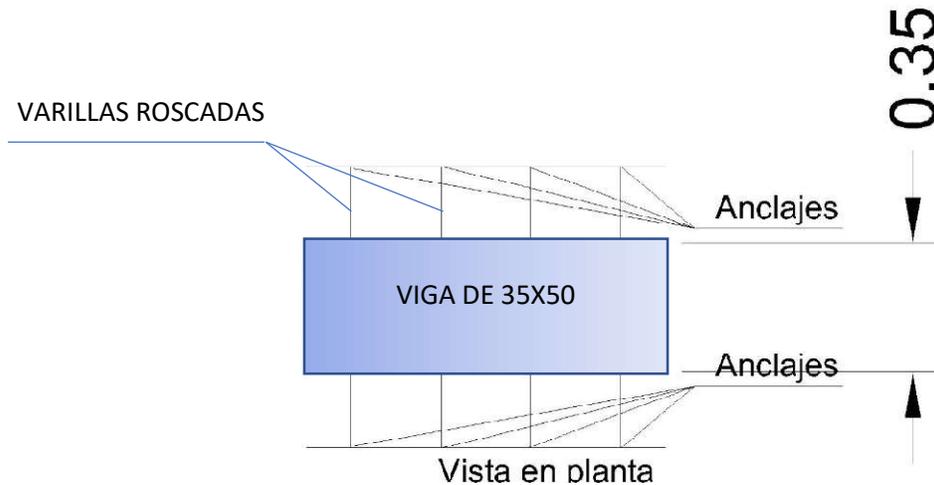


Ilustración 13. Esquema en planta especímenes de ensayos a corte

### 5.3. ENSAYOS

Recordando el procedimiento de montaje, una vez se finaliza la realización de los anclajes de la losa y de cortante, se procede a ejecutar los ensayos a tensión. Antes de continuar, es importante describir el procedimiento realizado en los laboratorios de la Universidad, en donde se colocó concreto acelerado a 7 días para evaluar los anclajes en las condiciones especificadas con acelerante, así mismo, algunos anclajes se instalaron correctamente y otros con fallas en alguna de las condiciones de control definidas por el autor:

- Se fundieron 5 especímenes de diferentes dimensiones organizados de la siguiente forma:
  - 1 losa de 3.25X3.25x0.35 m, para los 64 anclajes a tensión una vez se obtuviera el 100% de la resistencia del concreto a 7 días.
  - 2 vigas de 0.50x0.35x1.4 m para los 16 ensayos a cortante.
  - 1 viga de 0.35x0.35x1.4 m para 4 ensayos a tensión confinados con edad del concreto de 21 días.
  - 1 zapata de 0.70x0.70x0.35 m para el ensayo de carga cíclica.
- Una vez fundidos los especímenes se procede a realizar las perforaciones e instalar las varillas roscadas en los elementos fundidos; Todos los anclajes se realizaron con varilla de 3/8" con dos profundidades y condiciones como se especifica más adelante. Los Anclajes mecánicos se usaron chasos multiusos y para los adheridos se usó Sika Anchorfix 3001.

- Los ensayos de tensión y corte para las barras se realizan por separado, determinando la carga máxima y el modo de falla de cada anclaje.
- En el ensayo de carga cíclica se usa un deformímetro mecánico para poder comparar los 4 tipos de anclaje.

Las condiciones de control se presentan a continuación:

**Consideraciones para ensayos de tensión:** como se mencionó anteriormente, la ausencia de información clara en el proceso de diseño y construcción genera dispersión en la calidad de la realización de los anclajes de los elementos estructurales horizontales, razón por la cual, se estudiará frente a los ensayos de tensión para los dos tipos de anclaje las siguientes variables:

- **Profundidad del anclaje:** para esta variable, se considerarán dos elementos principales, la realización con la profundidad calculada teórica, y una condición de obra en donde se realiza con una profundidad menor en aproximadamente un 30%. Esta variable es válida para consideración para los dos tipos de anclaje. De esta variable se obtendrán tres (3) especímenes por cada condición y por cada tipo de anclaje, obteniendo un total de doce (12) especímenes o ensayos.
- **Diámetro de la perforación:** para esta variable, es común que en obra se tenga una broca no adecuada o no se realice correctamente la perforación, en cuyo caso se tendrán dos escenarios: diámetro adecuado y un diámetro superior. Al igual que la variable anterior, esta también tiene validez para los dos tipos de anclaje y con la misma consideración de especímenes, se obtendrá un total de doce (12) ensayos.
- **Aplicación del epóxico:** como su nombre lo indica, esta variable solo aplica para los anclajes de tipo epóxico. Esta consideración se presenta, debido a que en obra es común que no se usa el aplicador, ni la cantidad, sugerida por el proveedor. Es común encontrar que los trabajadores realicen la mezcla en un pedazo de madera y después de mezclar con unas pocas vueltas en poca cantidad, se lo aplican a la varilla previo a inserción en la perforación. De esta variable se obtienen dos condiciones: aplicación adecuada, untado en la varilla, por lo que se obtienen 3 especímenes por condición y un total de seis (6) ensayos.
- **Estado del anclaje:** Esta variable define dos condiciones para el estado o condición de las pestañas de anclaje mecánico: buena y mala. Es común encontrar entre las fallas de los anclajes mecánicos el deslizamiento de la camisa. Que se presenta por dos condiciones, un diámetro de perforación superior al indicado y una mala condición de las pestañas de anclaje. Para estas dos condiciones se realizarán 3 ensayos por cada estado, para un total de seis (6) ensayos de laboratorio
- **Estado de limpieza de perforación:** esta quinta y última variable, busca tener en cuenta la dispersión por la limpieza adecuada con soplador y cepillo, según las recomendaciones de anclaje, o con una mala adecuación del espacio.

Teniendo en cuenta que aplica para los dos tipos de anclaje en estudio, se tendrá en cuenta 3 pruebas por estado de anclaje, con el cual se tendrá un total de doce (12) ensayos.

- **Consideraciones para ensayos de corte:** a diferencia de los ensayos de tensión, no existe tal variedad de variables para considerar en el ensayo. No obstante, para el objetivo del ensayo, se tendrá en cuenta la calidad del anclaje por lo que para cada tipo de anclaje se tendrán dos estados: Bien realizado y mal realizado. Por lo anterior se tendrán 3 ensayos por estado por tipo de anclaje, para un total de doce (12).
- **Consideraciones para simulación sísmica:** al igual que para los ensayos a corte, se tomarán dos condiciones para el ensayo: buena y mala calidad de los dos tipos de anclaje. Para cada uno en cada estado se tendrá un ensayo para una totalidad de cuatro (4).

Continuando con el procedimiento, para los ensayos a tensión no confinados se usaron unos perfiles W para evitar confinar el concreto alrededor del anclaje, junto con la celda de carga y un gato de 12 ton de capacidad. Con esto el montaje de ensayo queda como se puede ver en la ilustración a continuación:



*Ilustración 14. Montaje para ensayos a tensión no confinada.*

Con esto se realizaron los 64 ensayos de tensión inconfineda. Una vez finalizados los ensayos de tensión, se hicieron los ensayos de corte usando una máquina Shimatzu, en donde se ensayaron los anclajes con las vigas simplemente apoyadas en los bordes, como se muestra en la figura 15.



Ilustración 15. Montaje de ensayos a cortante

Finalmente, para el montaje de ensayos ante carga cíclica, se usó una zapata de 70x70x35 cm, en los que se ancló un perfil HSS4x4x1/8" sobre una platina de 8x8x1/2". Se usaron 2 anclajes mecánicos y dos adheridos, cada uno con las dos condiciones posibles de anclaje, ideal y en mal estado, la primera condición cumple con las especificaciones recomendadas por los fabricantes y por la literatura base de este proyecto para cada condición de control. De igual forma, la segunda condición para estos ensayos es una mala instalación mezclando las fallas de las condiciones de control. A modo de un resumen, a continuación, se presenta una tabla de anclajes y con las especificaciones para cada condición.

Tabla 6. Descripción y cantidad de anclajes

ENSAYOS DE TENSIÓN					
	EPOXICOS		MECANICOS		TOTAL
	BUENA INSTALACIÓN	MALA INSTALACIÓN	BUENA INSTALACIÓN	MALA INSTALACIÓN	
PROFUNDIDAD	4	4	4	4	16
DIÁMETRO	4	4	4	4	16
APLICACIÓN DEL EPÓXICO	4	4	0	0	8
ESTADO DEL ANCLAJE	0	0	4	4	8

MECANICO					
LIMPIEZA DE LA PERFORACIÓN	4	4	4	4	16
				TOTAL	64

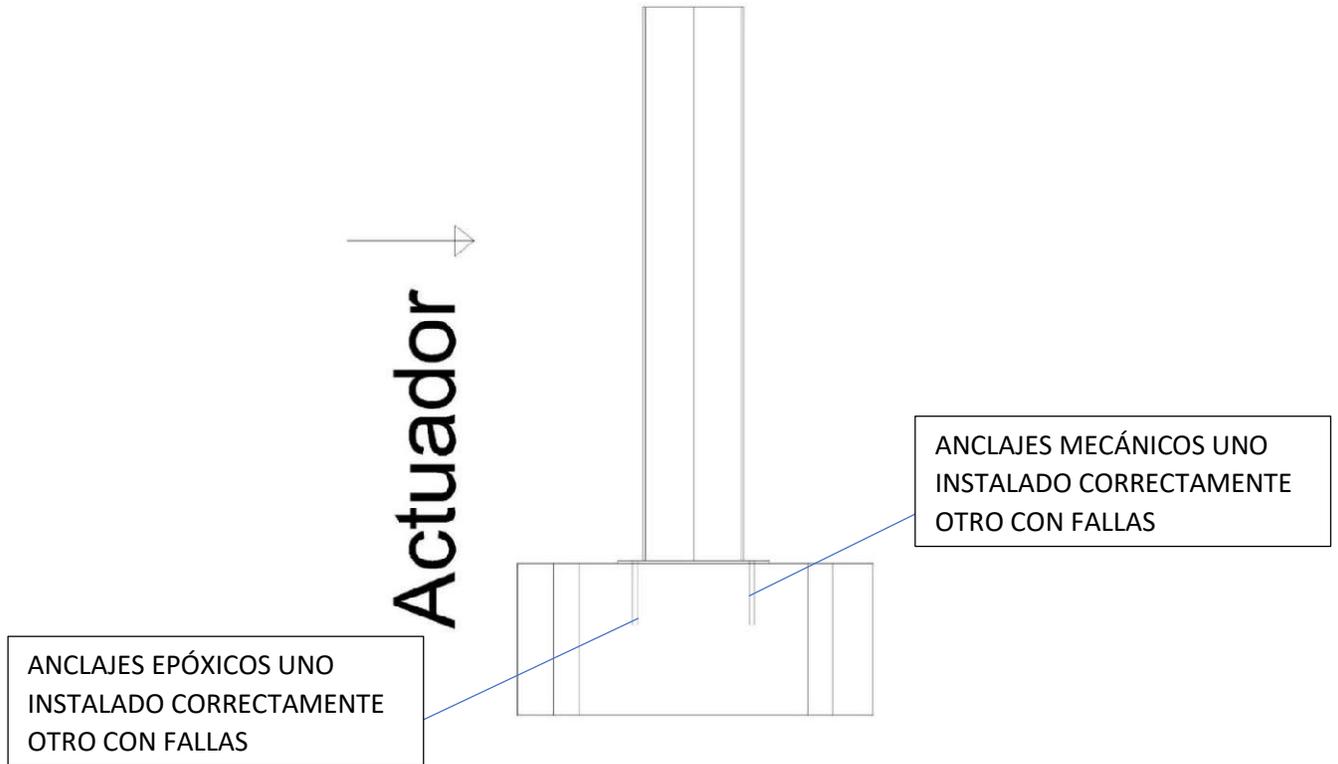
ENSAYOS DE CORTE					
	EPOXICOS		MECANICOS		
	BUENA INSTALACIÓN	MALA INSTALACIÓN	BUENA INSTALACIÓN	MALA INSTALACIÓN	TOTAL
CALIDAD	4	4	4	4	16
				TOTAL	16

ENSAYOS DE CARGA CÍCLICA					
	EPOXICOS		MECANICOS		
	BUENA INSTALACIÓN	MALA INSTALACIÓN	BUENA INSTALACIÓN	MALA INSTALACIÓN	TOTAL
CALIDAD	1	1	1	1	4
				TOTAL	4



*Ilustración 16. montaje en actuador para ensayo de carga cíclica.*

Como se observa en la ilustración 15, la zapata se ancló a la losa fuerte del laboratorio por medio de dos platinas de 2" con un ancho de 10 cm y una longitud de 1 m entre centros de huecos. Las varillas que conectan la parte superior e inferior tienen un diámetro de 7/8". La soldadura, que conecta la platina al perfil del cual se amarra el actuador, de unión es una Gas Metal Arc Welding (GMAW) de filete con un cordón de 6 mm.



*Ilustración 17. Esquema de montaje del actuador zapata de 70x70x35cm perfil HSS de 10x10cm y altura 2 m.*

En la ilustración 16 se muestra la posición del actuador, con el fin de poder mostrar la calidad de los anclajes: en el costado del actuador los anclajes se instalaron en condiciones ideales. En el otro lado se encuentran los anclajes con imperfecciones. Con la definición de los anclajes, se procede a continuar con los resultados en la siguiente sección.

## 6. RESULTADOS

A continuación, se presenta el resultado de los ensayos realizados, en el orden planteado en la sección anterior. Asimismo, se muestra el tipo de falla presentado en cada uno de los anclajes según la norma describe para cada una de las sollicitaciones, aclarando que en la tabla 7 MPII significa Manufacturer's Printed Installation Instructions (MPII) o instrucciones impresas del fabricante.

Tabla 7. Características del anclaje según numeración, para tensión; resultados de ensayos a tensión: carga y tipo de falla

ESPE CÍME N No.	TIPO	PROFU NDIDA D	DIÁM ETRO	APLICACIÓN DE EPÓXICO	ESTADO DEL ANCLAJE	LIMPIEZA PERFORACIÓN	CARGA DE FALLA (Kg)	CARGA DE FALLA (kN)	TIPO DE FALLA
1	EPÓXICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m	Inyectado según recomendación		Según MPII	2831	27.77	Falla del acero
2	EPÓXICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m	Inyectado según recomendación		Según MPII	1924	18.87	Falla del acero
3	EPÓXICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m	Inyectado según recomendación		Según MPII	1772	17.38	Falla del acero
4	EPÓXICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m	Inyectado según recomendación		Según MPII	1828	17.93	Falla del acero
5	EPÓXICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m	Inyectado según recomendación		Según MPII	2385	23.40	Falla del acero
6	EPÓXICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m	Inyectado según recomendación		Según MPII	1807	17.73	Falla del acero
7	EPÓXICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m	Inyectado según recomendación		Según MPII	1767	17.33	Falla del acero
8	EPÓXICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m	Inyectado según recomendación		Según MPII	1807	17.73	Falla del acero
9	EPÓXICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m	Inyectado según recomendación		Según MPII	1824	17.89	Falla del acero
10	EPÓXICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m	Inyectado según recomendación		Según MPII	2442	23.96	Falla del acero
11	EPÓXICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m	Inyectado según recomendación		Según MPII	2423	23.77	Falla del acero
12	EPÓXICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m	Inyectado según recomendación		Según MPII	2376	23.31	Falla del acero
13	EPÓXICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m	Inyectado según recomendación		Según MPII	2447	24.01	Falla del acero
14	EPÓXICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m	Inyectado según recomendación		Según MPII	2421	23.75	arrancamiento del concreto
15	EPÓXICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m	Inyectado según recomendación		Según MPII	1820	17.85	Falla del acero

16	EPÓXICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m	Inyectado según recomendación		Según MPII	1764	17.30	Falla del acero
17	EPÓXICO	6 cm	3/8"+ 1.6m m	Inyectado según recomendación		Según MPII	1731	16.98	Falla del acero
18	EPÓXICO	6 cm	3/8"+ 1.6m m	Inyectado según recomendación		Según MPII	1712	16.79	Falla del acero
19	EPÓXICO	6 cm	3/8"+ 1.6m m	Inyectado según recomendación		Según MPII	1731	16.98	Falla del acero
20	EPÓXICO	6 cm	3/8"+ 1.6m m	Inyectado según recomendación		Según MPII	1701	16.69	arrancamiento del concreto
21	EPÓXICO	10 cm	3/8"+ 3.2m m	Inyectado según recomendación		Según MPII	2408	23.62	Falla del acero
22	EPÓXICO	10 cm	3/8"+ 3.2m m	Inyectado según recomendación		Según MPII	1740	17.07	Falla del acero
23	EPÓXICO	10 cm	3/8"+ 3.2m m	Inyectado según recomendación		Según MPII	2408	23.62	Falla del acero
24	EPÓXICO	10 cm	3/8"+ 3.2m m	Inyectado según recomendación		Según MPII	1708	16.76	Falla del acero
25	EPÓXICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m	Aplicado en varilla		Según MPII	1200	11.77	Deslizamiento
26	EPÓXICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m	Aplicado en varilla		Según MPII	858	8.42	Deslizamiento
27	EPÓXICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m	Aplicado en varilla		Según MPII	436	4.28	Deslizamiento
28	EPÓXICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m	Aplicado en varilla		Según MPII	1506	14.77	Deslizamiento
29	EPÓXICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m	Inyectado según recomendación		Sin procedimiento indicado	1714	16.81	Falla del acero
30	EPÓXICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m	Inyectado según recomendación		Sin procedimiento indicado	1873	18.37	Falla del acero
31	EPÓXICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m	Inyectado según recomendación		Sin procedimiento indicado	1810	17.76	Falla del acero
32	EPÓXICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m	Inyectado según recomendación		Sin procedimiento indicado	1882	18.46	Falla del acero
33	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		según MPII	Según MPII	118	1.16	Deslizamiento
34	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		según MPII	Según MPII	580	5.69	Deslizamiento y arrancamiento del concreto
35	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		según MPII	Según MPII	1140	11.18	Deslizamiento y arrancamiento del concreto
36	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		según MPII	Según MPII	1230	12.07	Deslizamiento

37	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		según MPII	Según MPII	340	3.34	Falla del acero
38	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		según MPII	Según MPII	94	0.92	Deslizamiento
39	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		según MPII	Según MPII	1740	17.07	Falla del acero
40	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		según MPII	Según MPII	274	2.69	Deslizamiento
41	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		según MPII	Según MPII	1014	9.95	Deslizamiento y arrancamiento del concreto
42	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		según MPII	Según MPII	1802	17.68	Deslizamiento
43	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		según MPII	Según MPII	1024	10.05	Deslizamiento y arrancamiento del concreto
44	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		según MPII	Según MPII	214	2.10	Deslizamiento
45	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		según MPII	Según MPII	401	3.93	Deslizamiento y arrancamiento del concreto
46	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		según MPII	Según MPII	1730	16.97	Falla del acero
47	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		según MPII	Según MPII	1346	13.20	Deslizamiento y arrancamiento del concreto
48	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		según MPII	Según MPII	745	7.31	Deslizamiento
49	MECÁNICO	6 cm	3/8"+ 1.6m m		según MPII	Según MPII	1005	9.86	Deslizamiento y arrancamiento del concreto
50	MECÁNICO	6 cm	3/8"+ 1.6m m		según MPII	Según MPII	540	5.30	Deslizamiento
51	MECÁNICO	6 cm	3/8"+ 1.6m m		según MPII	Según MPII	1340	13.15	Falla del acero
52	MECÁNICO	6 cm	3/8"+ 1.6m m		según MPII	Según MPII	980	9.61	Deslizamiento
53	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 3.2m m		según MPII	Según MPII	302	2.96	Deslizamiento
54	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 3.2m m		según MPII	Según MPII	574	5.63	Falla del acero
55	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 3.2m m		según MPII	Según MPII	1014	9.95	Deslizamiento
56	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 3.2m m		según MPII	Según MPII	1150	11.28	Deslizamiento
57	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		imperfe cciones en las pestaña s	Según MPII	380	3.73	Deslizamiento

58	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		imperfecciones en las pestañas	Según MPII	1015	9.96	Deslizamiento
59	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		imperfecciones en las pestañas	Según MPII	805	7.90	Deslizamiento
60	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		imperfecciones en las pestañas	Según MPII	1114	10.93	Deslizamiento y arrancamiento del concreto
61	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		según MPII	Sin procedimiento indicado	1260	12.36	Deslizamiento y arrancamiento del concreto
62	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		según MPII	Sin procedimiento indicado	1338	13.13	Deslizamiento y arrancamiento del concreto
63	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		según MPII	Sin procedimiento indicado	805	7.90	Deslizamiento y arrancamiento del concreto
64	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		según MPII	Sin procedimiento indicado	583	5.72	Deslizamiento
65	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		según MPII	Sin procedimiento indicado	750	7.36	Deslizamiento
66	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		según MPII	Sin procedimiento indicado	480	4.71	Deslizamiento
67	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		imperfecciones en las pestañas	Según MPII	519	5.09	Deslizamiento y arrancamiento del concreto
68	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		imperfecciones en las pestañas	Según MPII	481	4.72	Deslizamiento y arrancamiento del concreto
69	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		imperfecciones en las pestañas	Según MPII	721	7.07	Deslizamiento
70	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		imperfecciones en las pestañas	Según MPII	425	4.17	Deslizamiento
71	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		imperfecciones en las pestañas	Según MPII	580	5.69	Deslizamiento y arrancamiento del concreto
72	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		imperfecciones en las pestañas	Según MPII	492	4.83	Deslizamiento

73	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		imperfecciones en las pestañas	Según MPII	128	1.26	Deslizamiento
74	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		según MPII	Sin procedimiento indicado	629	6.17	Deslizamiento y arrancamiento del concreto
75	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		según MPII	Sin procedimiento indicado	662	6.49	Deslizamiento y arrancamiento del concreto
76	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		según MPII	Sin procedimiento indicado	428	4.20	Deslizamiento
77	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		según MPII	Sin procedimiento indicado	680	6.67	Deslizamiento y arrancamiento del concreto
78	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		según MPII	Sin procedimiento indicado	565	5.54	Deslizamiento
79	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		según MPII	Sin procedimiento indicado	626	6.14	Deslizamiento y arrancamiento del concreto
80	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		según MPII	Sin procedimiento indicado	480	4.71	Deslizamiento
81	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		según MPII	Sin procedimiento indicado	607	5.95	Deslizamiento y arrancamiento del concreto
82	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		imperfecciones en las pestañas	Según MPII	570	5.59	Deslizamiento y arrancamiento del concreto
83	MECÁNICO	10 cm	3/8"+ 1.6m m		imperfecciones en las pestañas	Según MPII	1420	13.93	Falla de la varilla

Tabla 8. Resultados del ensayo a cortante: Característica, carga y tipo de falla.

ESPECÍMEN No.	TIPO	ESTADO DEL ANCLAJE	CARGA DE FALLA (kg)	TIPO DE FALLA
1	ADHERIDO	SEGÚN MPII	2998	Falla del acero
2	ADHERIDO	SEGÚN MPII	2915	Falla del acero precedida por descascamiento del concreto
3	ADHERIDO	SEGÚN MPII	3726	Falla del acero precedida por descascamiento del concreto
4	ADHERIDO	SEGÚN MPII	1875	Falla del acero
5	ADHERIDO	CON IMPERFECCIONES	1611	Falla del acero
6	ADHERIDO	CON IMPERFECCIONES	2356	Falla del acero
7	ADHERIDO	CON IMPERFECCIONES	2601	Falla del acero precedida por descascamiento del concreto
8	ADHERIDO	CON IMPERFECCIONES	2644	Falla del acero
9	MECÁNICO	CON IMPERFECCIONES	1883	Falla del acero
10	MECÁNICO	CON IMPERFECCIONES	1448	Falla del acero
11	MECÁNICO	CON IMPERFECCIONES	1460	Falla del acero
12	MECÁNICO	CON IMPERFECCIONES	1559	Falla del acero

13	MECÁNICO	SEGÚN MPII	1659	Falla del acero precedida por descascaramiento del concreto
14	MECÁNICO	SEGÚN MPII	2146	Falla del acero precedida por descascaramiento del concreto
15	MECÁNICO	SEGÚN MPII	1542	Falla del acero precedida por descascaramiento del concreto
16	MECÁNICO	SEGÚN MPII	1627	Falla del acero

Tabla 9. Resultados de ensayo en actuador: Características, carga y tipo de falla

CARGA CÍCLICA				
ESPECÍMEN No.	TIPO	ESTADO DEL ANCLAJE	CARGA DE FALLA (kg)	TIPO DE FALLA
1	ADHERIDO	SEGÚN MPII	300	Deslizamiento
2	MECÁNICO	SEGÚN MPII	250	Deslizamiento
3	ADHERIDO	CON IMPERFECCIONES	280	Deslizamiento
4	MECÁNICO	CON IMPERFECCIONES	200	Deslizamiento

Tabla 10. Resultados de ensayos a tensión en concreto de 21 días: Características, carga y tipo de falla.

CONCRETO A LOS 21 DÍAS				
ESPECÍMEN No.	TIPO	ESTADO DEL ANCLAJE	CARGA DE FALLA (kg)	TIPO DE FALLA
1	ADHERIDO	SEGÚN MPII	1747	Falla del acero
2	ADHERIDO	CON IMPERFECCIONES	1720	Falla del acero
3	MECÁNICO	SEGÚN MPII	1714	Falla del acero
4	MECÁNICO	CON IMPERFECCIONES	860	Deslizamiento

Ya con los resultados se pudo evidenciar las tendencias de las fallas, las cuales en su mayoría se debieron a fallas en el acero, como se mostrará en la siguiente sección. Asimismo, tomando en cuenta las ecuaciones obtenidas del código ACI 318-19, las mismas que se plantearon en el capítulo 3 del presente documento, se presenta el cálculo teórico a continuación:

Tabla 11. Cálculo nominal para los anclajes a tensión.

RESISTENCIA A TENSIÓN			
RESISTENCIA BÁSICA	Nb	89.9	kN
	kc	17	
	f'c	28	MPa
	hef	100	mm
ARRANCAMIENTO	Npn	22.4	kN
	PSlcp	1.4	
	Np	15.9	kN
	Abrg	71.3	mm

FALLA DEL ACERO	Nsa	22.6	kN
	AseN	44.5	mm <sup>2</sup>
	futa	508.8	MPa
FALLA POR ADHERENCIA	Na	12.7	kN
	Ana	126.7	mm <sup>2</sup>
	Anao	262587.8	mm <sup>2</sup>
	PsiedNa	0.87	
	PsicpNa	1.3	
	Nba	23.5	MPa
	CNa	256.2	mm
	Tuncr	45	MPa
	Camin	150	mm
	Cac	200	mm

Tabla 12. Cálculos teóricos de resistencia anclajes a cortante.

RESISTENCIA A CORTANTE			
RESISTENCIA DEL ACERO A CORTANTE	Vsa	13.56	kN
	Ase,v	44.5	mm <sup>2</sup>
	futa	508.8	MPa
ROTURA DE CONCRETO	Vcb	1	kN
	Avc	126.7	m <sup>2</sup>
	Avco	126.7	m <sup>2</sup>
	psiedv	0.9	
	psicv	1	
	psihv	0.9	
	ca1	0.17	m
	ca2	0.2	m
	ha	0.35	m
	Vb	1.3	kN
	le	0.1	m
	da	0.0127	m
	lambdaa	1	
	fc	28000	kPa
DESCASCARAMIENTO MECANICOS	Vcp	44.7	kN
	Kcp	2	
	Ncp	22.4	kN
DESCASCARAMIENTO ADHERIDOS	Vcp	44.7	kN
	Kcp	2	
	Ncp	22.4	kN

De las tablas 10 y 11 se obtiene que la carga máxima posible a obtener de los anclajes es de 2.3 ton para anclajes a tensión y si el anclaje es epóxico por adherencia debe presentar un valor no mayor a 1.2 ton. Asimismo, para cortante se espera que el valor máximo nominal es de 1 ton. De igual manera, a continuación, se presenta la tabla para los anclajes con profundidad menor a 10 cm, para el caso  $6 \text{ cm} < 6.5 \text{ cm}$  para el cálculo de la resistencia por descascaramiento del concreto.

*Tabla 13. Resistencia al descascaramiento, profundidad 6 cm*

DESCASCARAMIENTO MECANICOS	Vcp	22.4	kN
	Kcp	1	
	Ncp	22.4	kN
DESCASCARAMIENTO ADHERIDOS	Vcp	22.4	kN
	Kcp	1	
	Ncp	22.3457998	kN

## 7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la sección anterior se pudo evidenciar cada una de las fallas presentadas en los diferentes anclajes. Dentro de los anclajes adheridos, los valores máximos obtenidos son: A tensión, 27.7 kN, y a cortante una carga máxima de 36.55 kN. No obstante, ante la carga cíclica aplicada con actuador, no se requirió de grandes sollicitaciones para llegar a la falla de los anclajes, cuyo valor máximo fue de 2.94 kN. Es importante aclarar que en este apartado se estudiarán los datos y el comportamiento de los anclajes y se analizarán para cada tipo de anclaje, para así finalizar con las conclusiones.

### 7.1. ANCLAJES A TENSIÓN

para los anclajes adheridos, los tres posibles escenarios últimos son fallas del acero, por adhesión y por desprendimiento de cuña de concreto. En algunos casos se presentaron fallas mixtas. A continuación, las ilustraciones de los tres tipos de falla para los anclajes adheridos:



*Ilustración 18. Arrancamiento del concreto*



*Ilustración 19. Falla del acero.*



*Ilustración 20. Falla por deslizamiento o Adhesión.*

Como se mencionó en apartados anteriores, los resultados se clasificaron de acuerdo con lo estipulado en el protocolo de trabajo, las cuales son condiciones que son fallas comunes en el proceso constructivo, tales como: la profundidad del anclaje, el procedimiento de limpieza, cantidad de epóxico y forma de aplicación, calidad en el anclaje mecánico. Teniendo claridad sobre los tipos de falla presentados en los anclajes adheridos, se procede a presentar el análisis de los resultados, iniciando con el gráfico 1 a continuación:

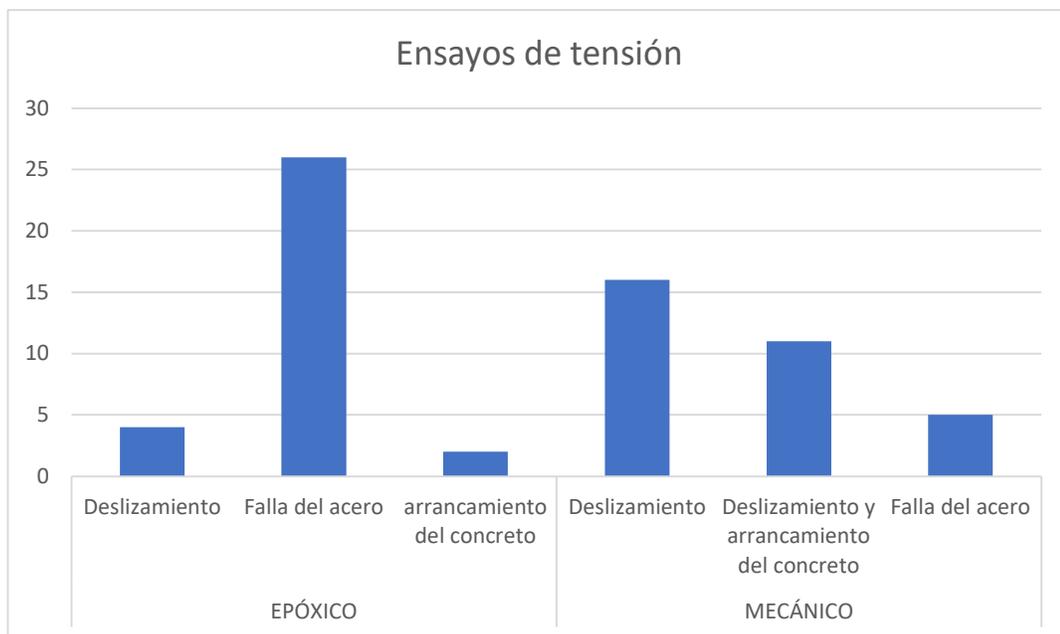


Gráfico 1. Cantidad de anclajes fallados para un tipo de falla según el tipo de anclaje.

Como se observa en el gráfico 1, para los anclajes adheridos se evidencia una predominante falla del acero, con 81.25% de los anclajes, frente a un 12.5% por deslizamiento o adhesión y a un 6.25% por arrancamiento del concreto. En este tipo de anclaje no se presentaron fallas mixtas. Las fallas directas del anclaje, es decir en la base del sistema, son muy bajas predominando la calidad de la varilla roscada en el sistema, algo esperado teniendo en cuenta la calidad del SIKA ANCHORFIX 3001.

Observando las tablas de presentación de los resultados, se puede explicar que la falla por deslizamiento se presentó en los anclajes con el adhesivo químico aplicado directamente sobre la varilla, sin procedimiento de homogenización del adherido, no es como lo recomienda el fabricante. Para analizar más a fondo las diferentes fallas, se organizaron los resultados de carga de falla promedio por tipo de falla y por las diferentes condiciones de control para cada uno de los anclajes.

Al igual que los anclajes adheridos, para los anclajes mecánicos también se presentaron 3 tipos de falla: deslizamiento, deslizamiento y arrancamiento del concreto, y falla del acero. La segunda falla mencionada es una falla mixta en donde se evidenció un deslizamiento inicial hasta la extracción de la porción inicial del anclaje y a partir de este punto se presentó un aumento en la resistencia del anclaje, hasta la fractura superficial de la cuña de concreto. Ahora se muestran también las ilustraciones de los tipos de falla de los anclajes sometidos a tensión:



*Ilustración 21. Falla por deslizamiento y arrancamiento del concreto*



*Ilustración 22. Falla por deslizamiento.*



*Ilustración 23. Falla del acero*

Los gráficos 1, 2 y 3 también son base para el análisis de los anclajes mecánicos. Con lo anterior, se puede evidenciar que la falla predominante en los ensayos de tensión fue por deslizamiento de la camisa de anclaje, con un 50% de casos. Asimismo, se puede observar que solo el 16% de las fallas se presentaron en el acero, frente a un 34% de falla mixta por deslizamiento y arrancamiento del concreto. Esta falla predominante es una condición desfavorable. La falla que se esperaba era del acero.

Las cuñas de desprendimiento de concreto no superaron una extensión de 10 cm, lo cual se debe a que, en el momento del desprendimiento, el anclaje no se encontraba en la profundidad total de instalación inicial. Esto no solo influye en la extensión de la falla sino también en la profundidad.

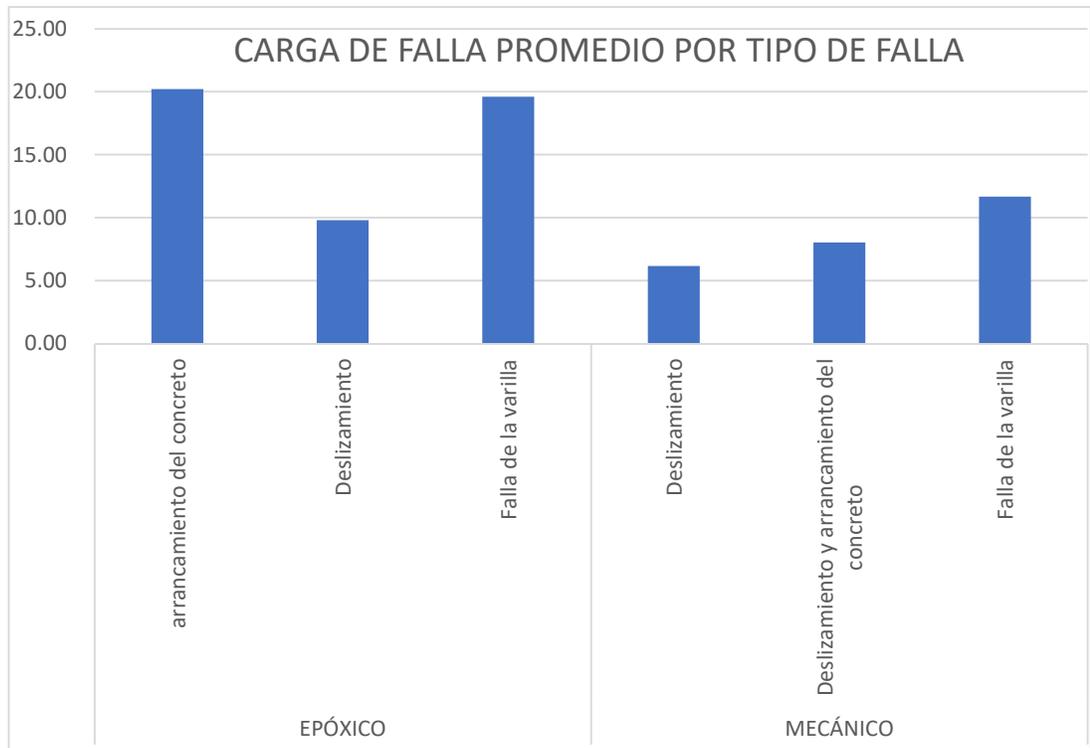


Gráfico 2. Carga promedio de falla por tipo de falla

El gráfico 2 es el primer gráfico organizado por condición de las cargas de falla. En este se evidencia la carga de falla promedio por los tres tipos de falla reflejadas en laboratorio. Analizando separadamente los anclajes epóxicos y mecánicos, se evidencian de la siguiente manera:

- **Adheridos:**

Para los tres tipos de falla de los anclajes epóxicos se puede evidenciar que las fallas por deslizamiento obtuvieron resultados desfavorables con relación a los otros dos tipos de falla presentados, siendo bajos para el tipo de anclaje. Por otra parte, para los otros dos tipos de falla se evidencia una carga de falla muy similar, entre 19.6 kN para falla del acero y 20.22 kN para la falla por arrancamiento, y es aproximadamente el doble de la carga de falla por deslizamiento.

- **Mecánicos:**

A diferencia de los anclajes adheridos, en estos anclajes no se presenta una diferencia significativa en la carga entre los tres tipos de falla. No obstante, se puede notar que la falla por deslizamiento es la que menor carga se obtiene, con un valor de 7 kN sin llegar a ser la mitad de las otras dos. La mayor la resistencia obtuvo una falla en el acero, con una carga promedio de 11 kN. Finalmente, la falla por arrancamiento del concreto obtuvo una carga de 10 kN

Analizando y comparando los dos tipos de anclaje se evidenció una mayor resistencia en los anclajes epóxicos, lo cual era un resultado esperado. En ambos tipos de anclaje se evidencia una significativa inferioridad en la carga de falla por deslizamiento. Para las máximas cargas promedio entre los dos tipos de anclaje se evidencia una diferencia de 7 kN, equivalente a que los adheridos 74% más resistentes.

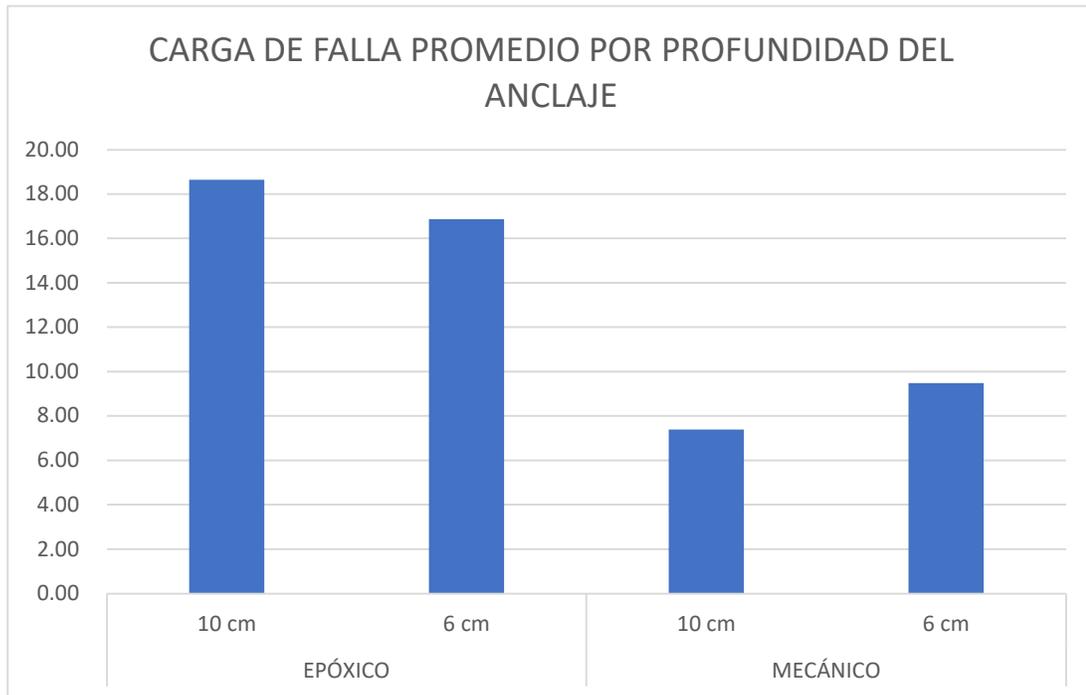


Gráfico 3. Carga de falla promedio de acuerdo con la profundidad del anclaje

Continuando el análisis, la siguiente condición de control es la profundidad del anclaje (gráfico 3), la cual aplica de la misma forma para los dos tipos de anclaje estudiados. Recordando que las dos condiciones estudiadas se toman respecto a la profundidad crítica en obra, para losas de 12 cm por ende se deja un espacio de 2 cm mínimo de recubrimiento superior. Para la longitud de anclaje corta, es decir, profundidad de 6 cm, se tuvo en cuenta el tamaño útil promedio de una broca estándar para los diámetros estudiados. Teniendo en cuenta lo anterior, se puede evidenciar el siguiente comportamiento según tipo de anclaje:

- **Adheridos:**

Para este tipo de anclajes, se evidenció una carga de 18.6 kN promedio para la profundidad de 10 cm, o la considerada como esperada máxima en obra; mientras que la carga promedio para la profundidad de 6 cm es de 16.9 kN, una reducción del 9,5% respecto a la condición de control. Si bien existe una reducción, no es una condición de control que pueda ser significativa en la calidad de construcción para los valores esperados de peso de las tuberías en estudio.

- **Mecánicos:**

Los valores de carga de falla promedio para 10 cm es de 8.6 kN, así como de 9.5 kN para la profundidad de 6 cm. Tomando el criterio base en el cual la condición de control – anclaje de 10 cm – es el que debería tener una mayor resistencia.

El gráfico 3 se puede evidenciar que la relación de resistencia entre los dos tipos de anclaje se mantiene, siendo cercana al 50% entre los mecánicos y epóxicos.

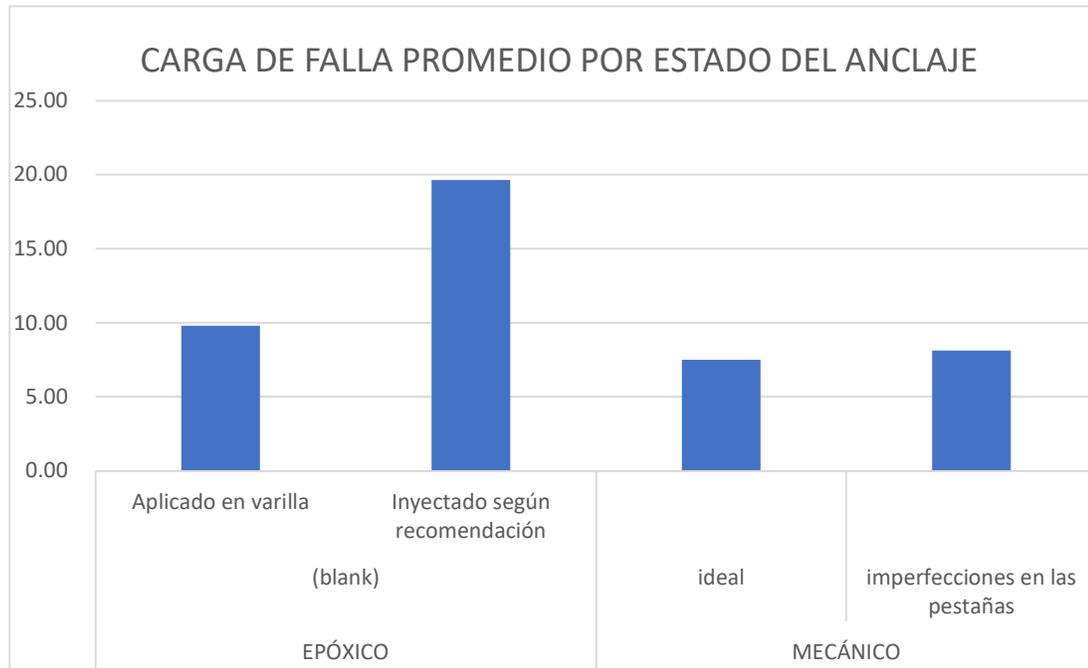


Gráfico 4. carga de falla por estado del anclaje

Antes de analizar el gráfico No. 4, carga promedio por estado de anclaje, se debe aclarar que para cada tipo de anclaje se tiene una condición de control independiente y no comparable entre los dos sistemas de anclaje. Una mala condición del anclaje mecánico es que físicamente no tenga las especificaciones de fabricación mientras que para los anclajes adhesivos depende de la forma de aplicación del epóxico. Para los anclajes adheridos, la condición de control es la forma de aplicación del epóxico, teniendo en cuenta que en obra no siempre se tiene la pistola de aplicación del fabricante; en donde los empleados comúnmente recurren a mezclarlo en una superficie y luego aplicarlo en la varilla de anclaje. A continuación, se presenta el análisis de los anclajes mecánicos y epóxicos para la condición de estado del anclaje:

- **Adheridos:**

Inicialmente, la carga de falla promedio para las dos formas de aplicación del epóxico son: 19.6 kN para el anclaje con epóxico aplicado según recomendaciones del fabricante, y 9.8 kN para los anclajes con epóxico mezclado en superficie y aplicado directamente en varilla. Bajo estas condiciones de aplicación se evidenció una reducción de aproximadamente el 50% en la resistencia.

- **Mecánicos:**

Para estos anclajes la carga de falla es muy próxima, 8.6 kN para la camisa sin imperfecciones y 8.1 kN para el otro estado. Contrario a lo que se esperaba, las imperfecciones en las pestañas del anclaje no son significativas para la reducción en la resistencia del anclaje.

A pesar de no poder comparar por condiciones directamente entre los dos tipos de anclaje, se puede evidenciar la misma tendencia previamente mencionada de la relación de resistencia de aproximadamente el doble de los anclajes Epóxicos sobre los mecánicos.

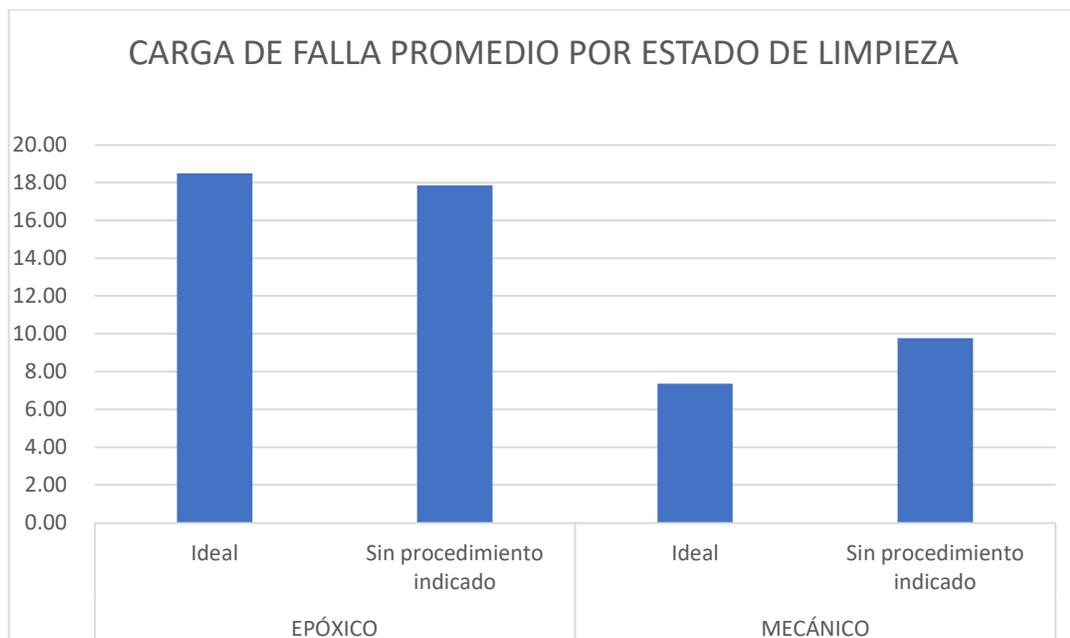


Gráfico 5. carga promedio de falla por limpieza del anclaje

Para finalizar este apartado, se presentan los resultados de acuerdo con la última condición de control: estado de limpieza del anclaje. Para esta condición se tomó en cuenta los procedimientos recomendados por los diferentes fabricantes de anclajes, en donde el estado ideal implicaba utilizar un cepillo circular con cerdas duras, conocido comúnmente como churrusco,

con el cual repetidamente se buscaba raspar residuos finos generados por el taladro. Un soplador manual que sacara todo el polvo del fondo del anclaje. La condición sin el procedimiento indicado es la que no se realizó ningún procedimiento de limpieza. Una vez claro esto, se procede a analizar los dos tipos de anclaje estudiados.

- **Adheridos:**

Como lo evidencia el gráfico 5, la resistencia en los anclajes bajo las dos condiciones presenta un resultado muy cercano: 18.5 kN para la limpieza ideal, es decir, con cepillo y soplador para eliminar el polvo excedente, y 17.9 kN para las condiciones de limpieza superficial en la perforación, situación muy común en obra. Esto representa una reducción del 3.5%, lo cual no es significativo para encontrar que esta condición de control sea significativa para afectar la resistencia de este tipo de anclajes.

- **Mecánicos:**

Usando el mismo gráfico 5, y tomando en cuenta las mismas condiciones de control para los dos estados de limpieza, la resistencia para éstas son: 8.41 kN para las condiciones esperadas por los fabricantes, y 9.77 kN para las condiciones comúnmente esperadas en obra. Esta diferencia es inusual pero esperada; lo anterior debido a que los anclajes que se utilizan en obra no cuentan normalmente con ningún tipo de certificación, clasificación o estandarización que permita lograr valores aceptables. Bajo esta situación no es recomendable utilizar este tipo de anclajes siempre que no cuenten con ningún tipo de estandarización certificada.

## 7.2. ANCLAJES CORTE

Frente a los ensayos de corte, se presentan dos tipos de falla: falla del acero y falla del acero precedida por descascaramiento del concreto. A continuación, se presentan las ilustraciones respectivas a los dos tipos de falla, recordando que esta segunda es una falla mixta:



*Ilustración 24. Falla del acero*



*Ilustración 25. Falla del acero precedida por descascamiento del concreto.*

Para el caso de los ensayos a corte, se presentó en su mayoría falla en el acero. Aun así, el 37.5% de los anclajes tuvo descascamiento del concreto; no obstante, no son daños significativos que puedan afectar el funcionamiento, por lo que no llega a ser relevante este tipo de falla. Así entonces, el factor dominante en el momento del diseño de los anclajes adheridos debe ser la varilla roscada, y su resistencia, aunque pueda no ser necesariamente el indicativo del comportamiento del anclaje, sino un indicativo de la calidad y el nivel de cuidado en la construcción y especificaciones de los anclajes. En el gráfico 2 se puede corroborar las estadísticas para los anclajes adheridos, junto con la tabla 7.

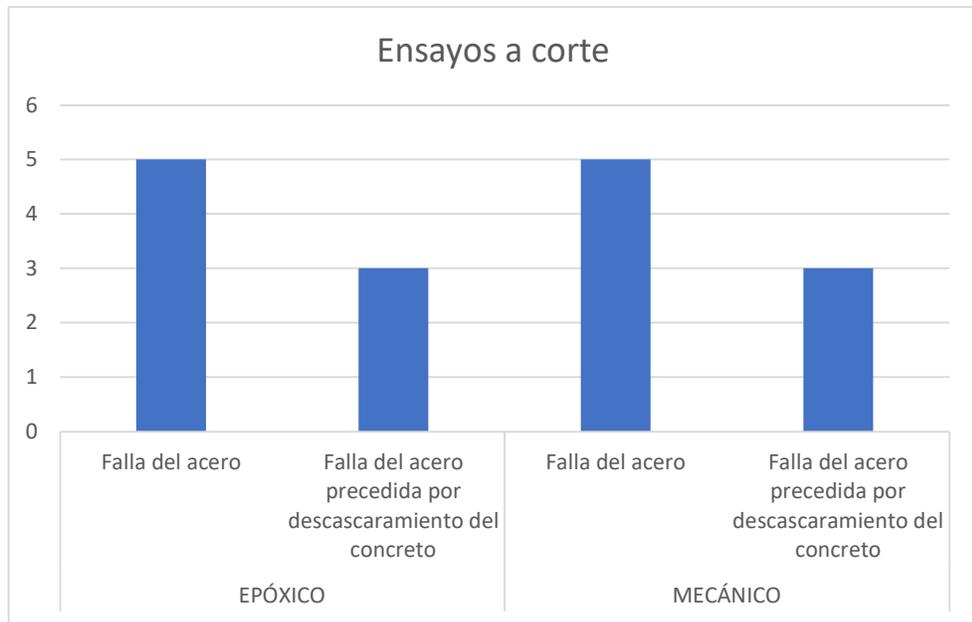
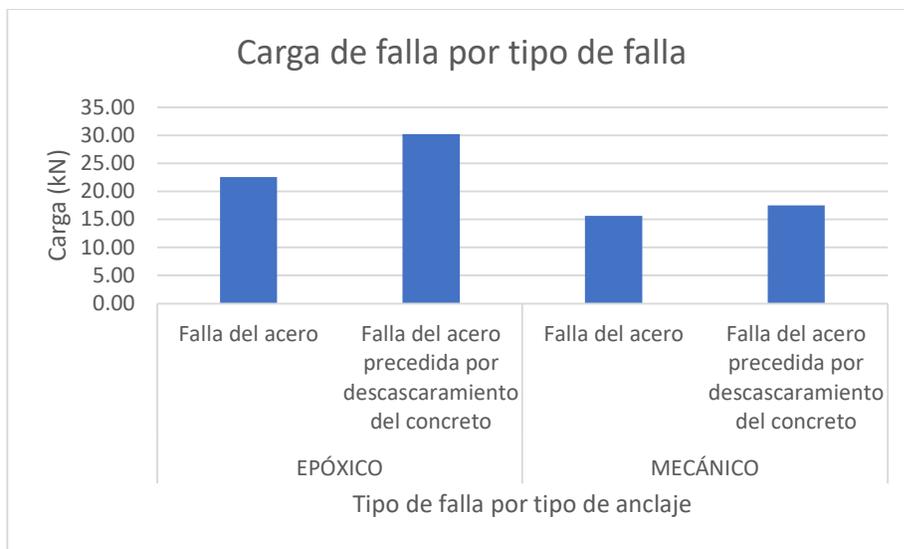


Gráfico 6. Recuento de anclajes para cada tipo de falla



A pesar de que las imperfecciones en la realización del anclaje no llegan a ser muy relevantes en un análisis a priori, este ensayo permitió determinar que sí generan una reducción de resistencia en promedio de un 25%, diferencia que es considerable y que puede generar dispersión en los cálculos. Con lo anterior, el factor predominante no solo es el acero, también lo son las imperfecciones en la realización de anclajes químicos.

Al respecto de los ensayos de corte, el comportamiento evidenciado en los anclajes mecánicos es muy similar al presentado por los anclajes adheridos, en donde con un 62.5% de las probetas predomina la falla del acero. Sin embargo, para el caso de los anclajes mecánicos no es significativo los efectos de la mala construcción. Esto se puede ver en la diferencia del 9%

de resistencia entre las dos condiciones del anclaje frente al 25% presentado en los anclajes adheridos.

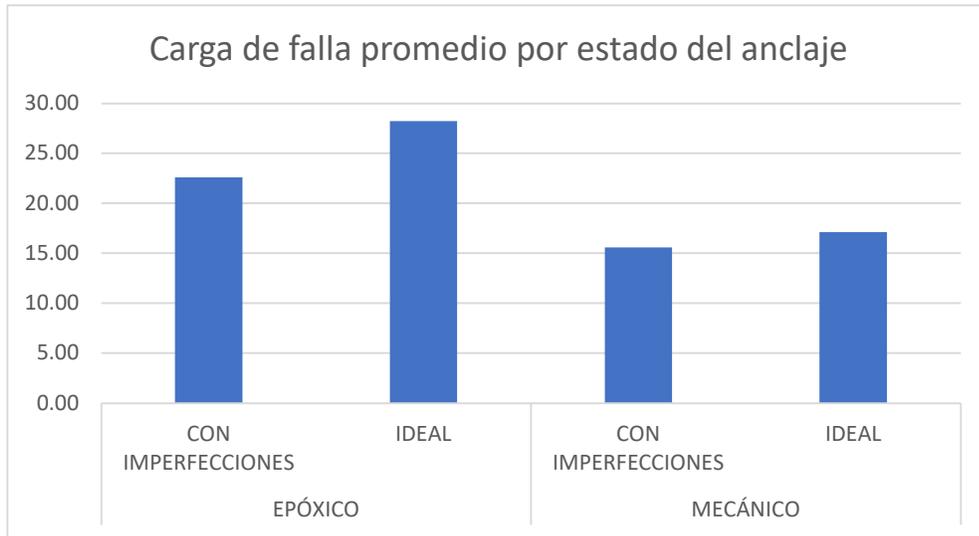


Gráfico 7. Carga de falla promedio por estado del anclaje.

El gráfico 7 presenta la carga de falla promedio por estado del anclaje para cada tipo de anclaje. Es importante recordar que para este estado de anclaje no se tiene la misma cantidad de condiciones de control debido a que no impactan en gran medida; por esto, se controla la mezcla de las condiciones de los ensayos a tensión: para el caso de anclajes con imperfecciones se tiene mezcla de menor profundidad, sin el procedimiento de limpieza indicado por el fabricante, y con anclajes mecánicos con imperfecciones en las pestañas, así como epóxico aplicado sobre la varilla y sin utilizar boquilla.

- **Adheridos:**

Para este tipo de anclajes se obtiene una carga de falla promedio de 28.24 kN para la condición ideal y de 22.59 kN para la condición del anclaje con imperfecciones, las cuales son la mezcla de no limpiar la perforación, con profundidad y diámetros mal realizados, aplicar el adhesivo sin pistola; Es una reducción de aproximadamente el 20% por las imperfecciones presentadas.

- **Mecánicos:**

Para los anclajes mecánicos, se obtiene una carga de 17.10 kN para la condición ideal y de 15.59 kN para los anclajes con imperfecciones. La reducción porcentual para estos es de aproximadamente 10%.

Teniendo en cuenta los dos anclajes, se evidencia que son más susceptibles los anclajes Epóxicos a las imperfecciones comúnmente presentadas en obra que los mecánicos, recordando que las imperfecciones para los ensayos de corte es la mezcla de las imperfecciones indicadas para los ensayos a

tensión, es decir, poca profundidad, diámetro más pequeño, sin limpieza de la perforación, adhesivo aplicado sin pistola y directamente en varilla, chazo en mal estado.

### 7.3. ENSAYO DE CARGA CÍCLICA

Este fue el último ensayo realizado en el laboratorio, y solo se presentó un tipo de falla en los anclajes: Deslizamiento. Asimismo, uno de los anclajes presentó una ligera fisuración en el concreto, pero solo trascendió en el primer anclaje que debía fallar. Recordando que, para este ensayo se realizaron 4 anclajes, 2 mecánicos y 2 adheridos, y se realizó una lectura de deformaciones que permitiera analizar el comportamiento del sistema.

Las ilustraciones 19 y 23 son un claro ejemplo que una falla por deslizamiento es característica de ensayos a tensión, por lo que se puede corroborar que resultó en esfuerzos de tensión sobre la platina y, por ende, sobre los anclajes realizados. Según la posición del montaje en el actuador, sucedió lo que se esperaba del comportamiento del sistema, los anclajes con imperfecciones son los que iban a fallar inicialmente, así como fallaron primero los mecánicos que los adheridos. La situación que no se esperaba es que todos los anclajes fallaran de la misma forma, por deslizamiento.



*Ilustración 26. Falla de anclaje mecánico con imperfecciones.*



*Ilustración 27. Falla de anclaje mecánico con imperfecciones.*



*Ilustración 28. Falla anclaje adherido en condiciones ideales.*

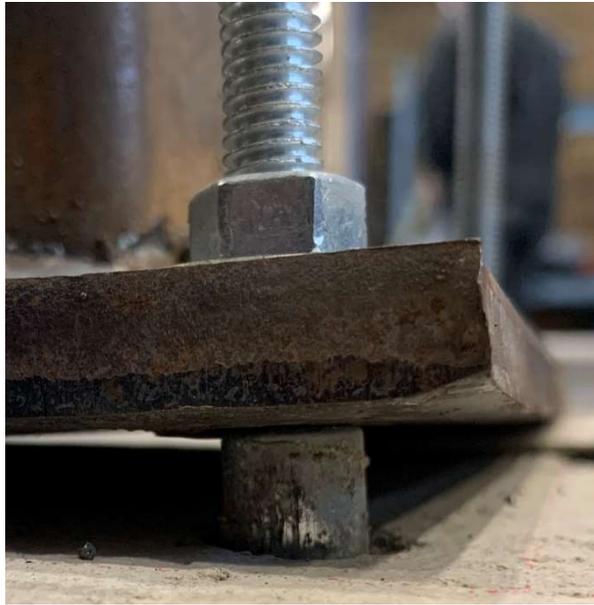


Ilustración 29. Falla de anclaje mecánico en condiciones ideales.

A continuación, se presenta el resultado del ensayo de carga cíclica, en donde se puede ver la curva de histéresis, donde se evidencia una degradación significativa de la resistencia en los anclajes y una pérdida de rigidez en el sistema considerable.

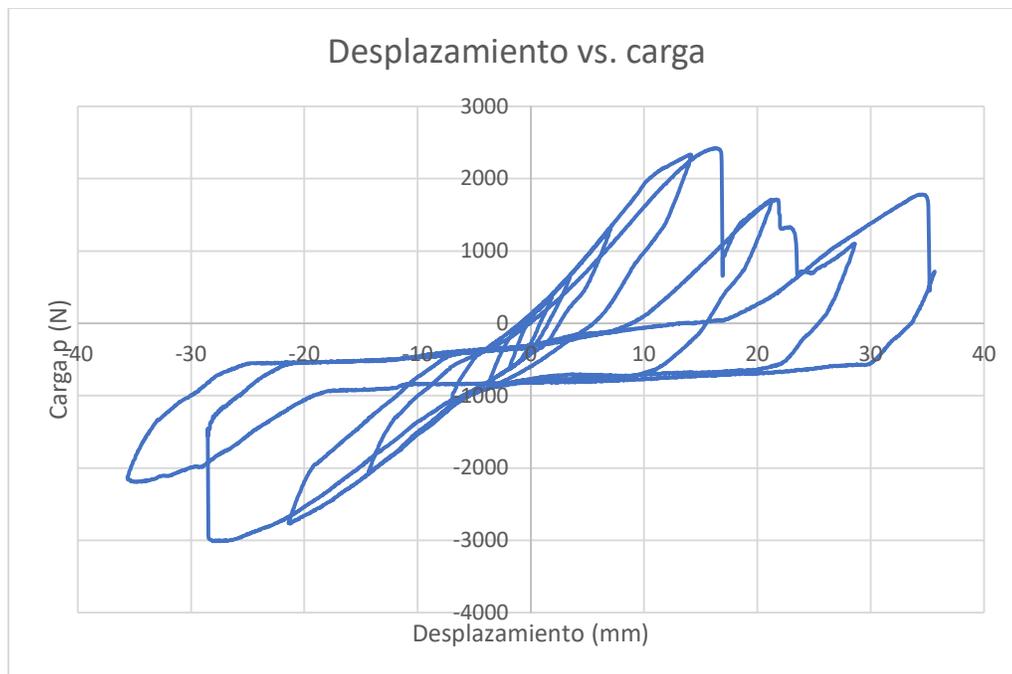


Gráfico 8. Curva de histéresis carga vs desplazamiento.

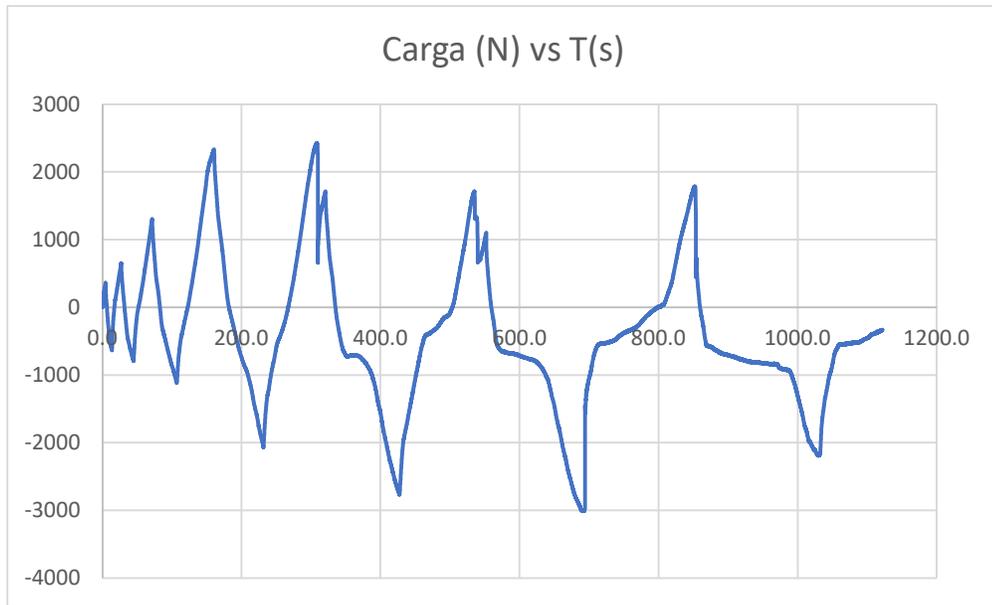


Gráfico 9. Carga vs tiempo.

De esta curva es importante aclarar que la posición de los anclajes es tal que la carga negativa ejercía tensión sobre los anclajes en condiciones ideales, mientras que la positiva de aquellos con imperfecciones. Era de esperar que la magnitud de carga negativa fuera superior a la carga positiva; asimismo, el desplazamiento del sistema no es lo suficientemente significativo, por lo que fue necesario instalar deformímetros eléctricos de puntilla, en los que se puede reflejar la siguiente información:

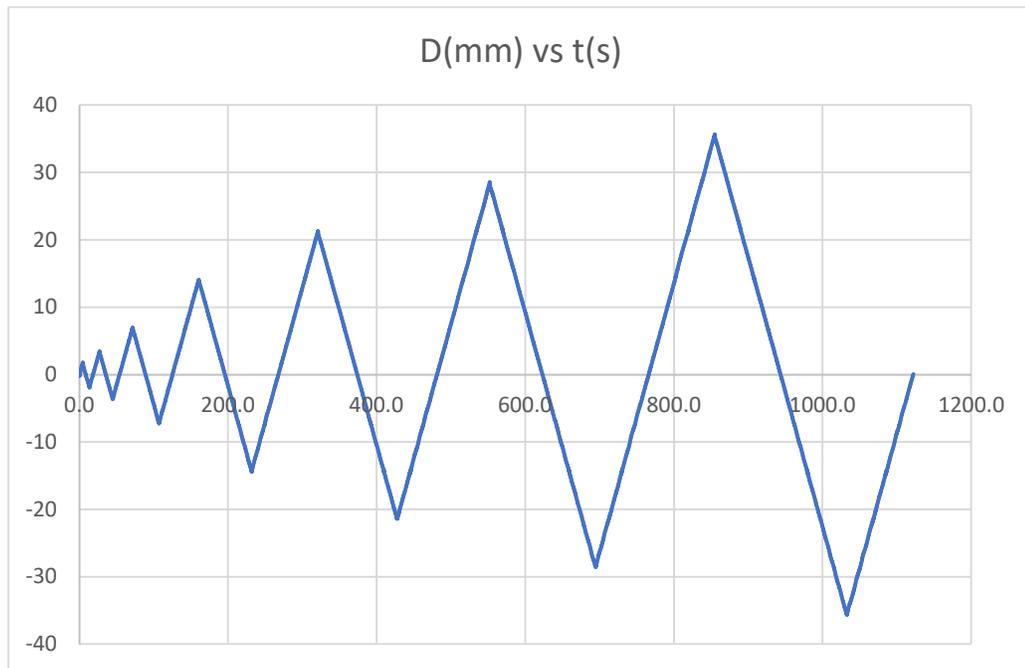


Gráfico 10. desplazamiento del actuador(mm) vs tiempo(s)

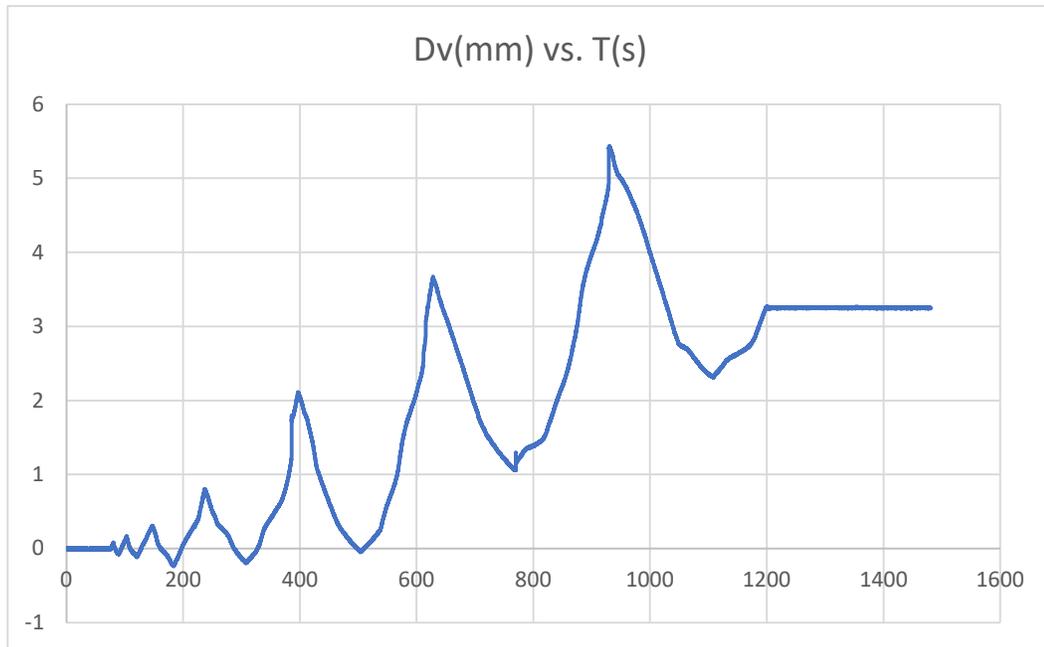


Gráfico 11. deformación respuesta en los deformímetros de puntilla (mm) vs tiempo (s)

Teniendo en cuenta la instalación realizada para los anclajes con ensayo de carga cíclica, se realizó una comparación del tiempo transcurrido entre los deformímetros de puntilla instalados en la platina para evidenciar el movimiento vertical de la platina de acuerdo con el movimiento horizontal del actuador. Así entonces se obtuvieron las dos gráficas 10 y 11 para la deformación del actuador contra el tiempo y de desplazamiento del deformímetro vs tiempo, respectivamente. Con esto se obtiene la deformación consecuente para cada ciclo de movimiento.

En la gráfica 10 se puede evidenciar que la amplitud del movimiento para cada ciclo de carga; paralelamente para cada ciclo de carga y dicha amplitud de desplazamiento en el actuador, se evidencian unos picos de deformación en la platina. Del gráfico 11 se puede evidenciar que el primer anclaje falla en el primer pico significativo de desplazamiento en el deformímetro, es decir, 2 mm, correspondiente al anclaje mecánico con el conjunto de imperfecciones mencionado.

El segundo anclaje que falla es el anclaje epóxico con imperfecciones, en el pico correspondiente a 3.5 mm. El tercer anclaje en fallar es el anclaje mecánico realizado con las recomendaciones de limpieza, profundidad e instalación; éste falla con el pico de deformación de 5.5 mm y para este punto el anclaje epóxico con condiciones de realización recomendadas ya tiene una deformación residual, por lo cual no existe un cuarto pico en el deformímetro. Esto se explica porque al llegar a la carga de falla ya los anclajes se encuentran totalmente sin adherencia y se encuentra en un estado de deformación permanente previo a la falla.

## 7.4. ENSAYOS DE TENSIÓN A 21 DE EVOLUCIÓN DEL CONCRETO

La base para la realización del presente ensayo es el apartado 17.2.2 del código ACI 318-19, el cual restringe la realización de anclajes adhesivos en el concreto con una evolución mínima de 21 días. A pesar de ser aplicado únicamente en los anclajes adhesivos, se decide realizar una prueba con anclajes mecánicos. Asimismo, a pesar de ser concreto acelerado a 7 días, se realiza la prueba a los mismos 21 días, teniendo en cuenta que no se especifica con claridad la aplicación de este apartado. Continuando con el análisis de resultados, se procede a presentar la información de fallas para estos anclajes.

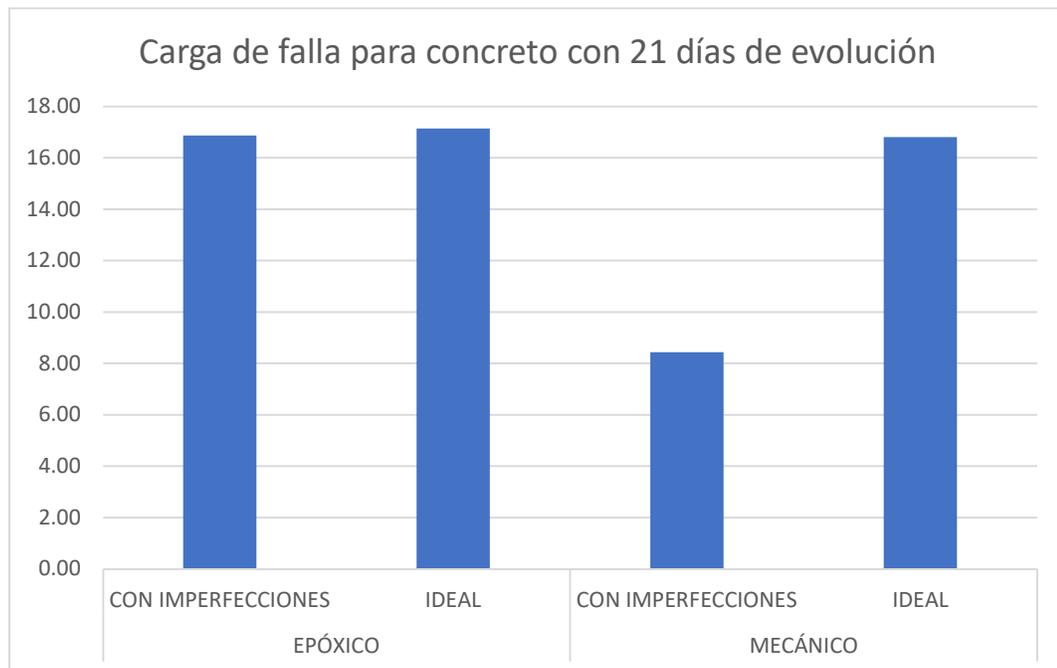


Gráfico 12. carga de falla para anclajes en concreto con 21 días de edad

Como se evidencia en la gráfica 8, las imperfecciones en los anclajes epóxicos con evolución a 21 días no producen una reducción significativa pues se obtiene una carga de 17.14 kN para el anclaje con el procedimiento recomendado, y de 16.87 kN para el anclaje con el conjunto de imperfecciones. Para los anclajes mecánicos, se obtiene una carga de falla de 16.81 kN para la condición ideal, mientras que la carga para el anclaje con el conjunto de imperfecciones es de 8.44 kN. para el caso de los mecánicos existe una relación entre la resistencia y la evolución de 21 días en el concreto.

A continuación, se presentan los resultados en gráficas para el comparativo de los resultados por tipo de falla y los valores nominales para esos tipos de falla, ambos con el comparativo del valor que demanda la tubería más cargada de 4" de una red contraincendio, con un espaciamiento entre

soportes, de acuerdo con mediciones tomadas aleatoriamente en diferentes edificaciones existentes, de 5 metros. No obstante, De acuerdo con la normativa NFPA 13 no se deben tomar valores de distanciamiento entre soportes de 4.6 metros para tuberías de acero excepto de aquellas de pared delgada, por lo que ese será el valor para usar en los cálculos del peso.

Tabla 14. Tabla 17.4.2.1(b) distanciamiento máximo entre soportes. Tomado de (National Fire Protection Association, 2022)

Table 17.4.2.1(b) Maximum Distance Between Hangers (m)

	Nominal Pipe Size (mm)											
	20	25	32	40	50	65	80	90	100	125	150	200
Steel pipe except threaded lightwall	NA	3.7	3.7	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6
Threaded lightwall steel pipe	NA	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	NA	NA	NA	NA	NA
Copper tube	2.4	2.4	3.0	3.0	3.7	3.7	3.7	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6
CPVC	1.7	1.8	2.0	2.1	2.4	2.7	3.0	NA	NA	NA	NA	NA
Ductile-iron pipe	NA	NA	NA	NA	NA	NA	4.6	NA	4.6	NA	4.6	4.6

Datos obtenidos para un sistema de protección contraincendio en sistema colector de Material de extinción y agua para redes húmedas muestran un tubo de salida de 4" con 7mm de pared. Usando las mismas especificaciones de la NFPA 13, el apartado 17.1.2 define que: "El anclaje debe diseñarse para resistir 5 veces el peso de la tubería llena de agua más 115 kg en cada punto de soporte" (National Fire Protection Association, 2022). se procede a obtener el valor demanda de una tubería de esta magnitud y con estas características:

$$P = \left( \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \rho_{\text{liquido}} \cdot L_{\text{aferencia}} + \frac{\pi \cdot (d_{\text{ex}} - d_{\text{in}})^2}{4} \cdot L_{\text{aferencia}} \cdot 7850 + \frac{\pi \cdot (d_{\text{varilla}})^2}{4} \cdot L_{\text{varilla}} \cdot 7850 \right) \cdot 5 + 115 \text{ kg} =$$

$$(0.0081 \cdot 1600 \cdot 5 + 0.00239 \cdot 5 \cdot 7850 + 7.12 \cdot 10^{-5} \cdot 0.7 \cdot 7850) \cdot 5 + 115 \text{ kg} = 734.62 \text{ kg} = 7.34 \text{ kN}$$

Para el caso del cortante se usan los apartados de la norma para elementos no estructurales, resumidos a continuación:

$$F_p = \frac{a_x a_p}{R_p} g M_p \geq \frac{A_s I}{2} g M_p$$

$\gamma$	1.3
$A_s$	0.45
$C_{vx}$	0.058202
$V_s$	31746.384
$m_x$	7054.75
$g$	9.8
$h_{eq}$	18.3375
$S_a$	0.45
$2S_a$	0.9
$M_p$	734.622607

$a_x$	=	0.45		
$a_p$	=	0.5		
$R_p$	=	1.50	No dúctiles	
<b><math>F_p</math></b>	=	<b>1079.90</b>		<b>&gt; 539.9476</b>

El valor demanda que se observa para cortante es de 539.9476 kg o 5.40 kN

Respecto a los valores nominales estipulados en las gráficas a continuación se encuentran los valores nominales afectados por los factores de reducción de acuerdo con las especificaciones  $\phi \cdot N_{nom} \geq N_{ult}$  o  $\phi \cdot V_{nom} \geq V_{ult}$ . De acuerdo con el apéndice D del título C, los factores de reducción para tensión y corte son:

	<u>Condición A</u>	<u>Condición B</u>
i) Cargas de cortante	0.75	0.70
<b>Categoría 2</b> (Sensibilidad media a la instalación y confiabilidad mediana)	0.65	0.55

Ilustración 30. Factor de modificación de resistencia a cortante condición B.

Ilustración 31. Factores de modificación de resistencia para tensión. condición B (Der.).

La condición B estipulada por la norma es para anclajes postinstalados en donde: “no existe refuerzo suplementario, o donde controla la resistencia a la extracción por deslizamiento o al desprendimiento por cabeceo del anclaje.” (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2017)

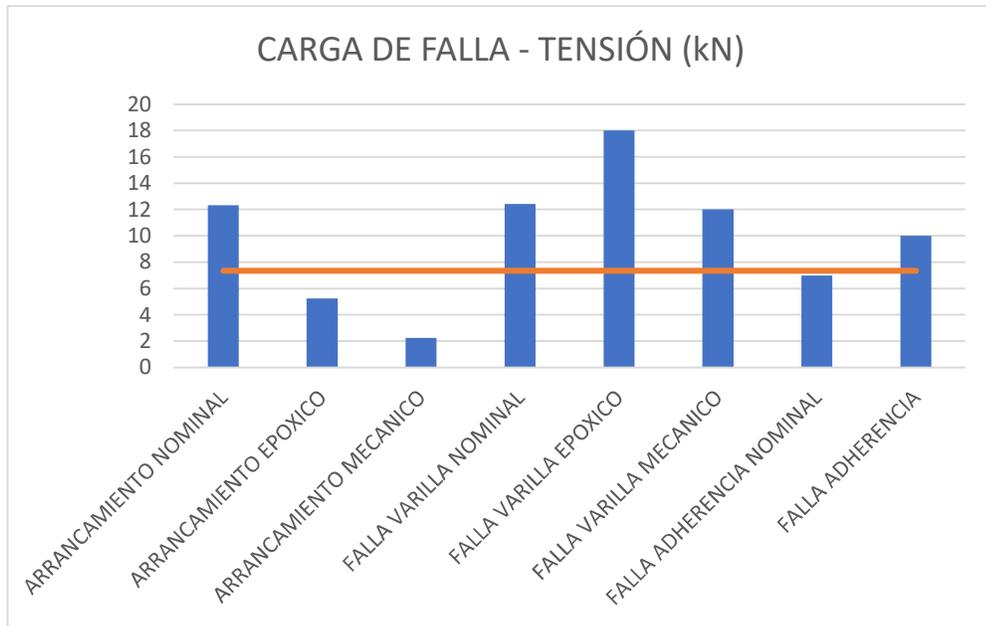


Gráfico 13. Comparativo con valores nominales y valor demanda para resultados a tensión

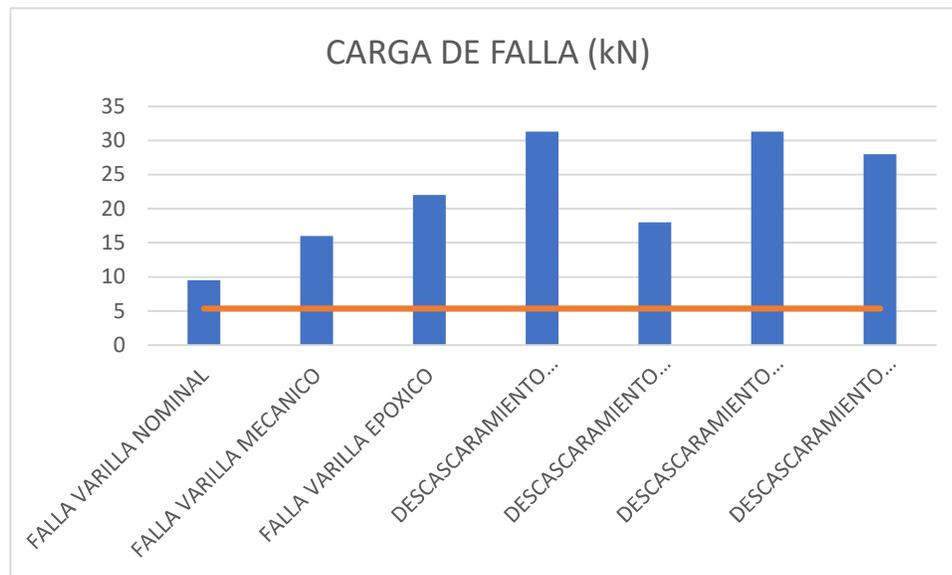


Gráfico 14. Comparativo con valores nominales y valor demanda para resultados a cortante

Los gráficos anteriores muestran que la situación crítica en tensión, los anclajes mecánicos se encuentran muy cercanos al valor demanda y hay un valor de adherencia que muestra ser inferior al valor demanda, por ende, para este tipo de tuberías debería ya utilizarse Soportes con diámetro de  $\frac{1}{2}$ " o colocar los soportes de  $\frac{3}{8}$ " a una distancia no mayor de 4.33 m. Lo anterior sumado a la alta variabilidad en los resultados de carga de este tipo de anclajes es posible que algunos se encuentren por debajo de la carga demandada por el sistema. En el caso de los anclajes sometidos a corte directo, se evidencia que los valores son muy superiores al valor demanda y a los valores nominales.

## 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este apartado se comentarán todas las conclusiones del trabajo realizado por tipo de anclaje, seguido de una comparación entre los dos tipos de anclaje y finalizando con las recomendaciones generales para cada uno.

### - EPÓXICOS

Como se observó en todos los apartados anteriores, este tipo de anclajes son los más susceptibles a la condición de instalación, es decir, a la calidad de colocación bajo las variables estudiadas. Si bien la resistencia es suficiente para el estudio de los anclajes en el presente documento, se evidenció una pérdida de resistencia de aproximadamente 50% en los anclajes mal inyectados, con una variabilidad promedio del 25%. Esto implica que para el desarrollo de anclajes estructurales o no estructurales sometidos a solicitaciones similares a la capacidad de los anclajes en estudio es importante realizar una correcta instalación para evitar esa reducción en resistencia.

Para las demás condiciones de control, como lo es la profundidad, la limpieza y el diámetro también hay una pérdida, pero no tan alta respecto a la forma de inyección; estando en un rango entre el 10% al 15% de pérdida de resistencia una variabilidad similar. De igual forma, hay una característica común entre las condiciones ideales y con los cambios en las condiciones de control del estudio y es que en promedio duplican la resistencia de los anclajes mecánicos.

En cuanto a los ensayos a corte, se evidencia un comportamiento similar al del cambio en la mayoría de las condiciones de control, en donde se presentó una pérdida de aproximadamente 17% con una variabilidad del 26%. No es una pérdida significativa para las condiciones de control del proyecto, considerando el modo de falla predominante la cual es falla del acero. Más adelante se realizarán comentarios respecto a los materiales.

### - MECÁNICOS

En este sistema de anclajes se presentaron inconsistencias entre las condiciones de control debido a que el comportamiento de los anclajes defectuosos en algunas de las condiciones resistió más que las condiciones ideales. La falla predominante en este sistema fue por deslizamiento. La falla que presentó mayor carga de falla promedio fue por falla de la varilla, siendo más baja que aquella del sistema de adheridos. Esto se explica porque al asegurar la varilla se suele rotar hasta el límite, debilitando en el punto de unión entre la camisa de anclaje y la varilla por el exceso de torsión.

En este sistema de anclaje se presentó un comportamiento de aplastamiento de las pestañas en el ensayo de tracción. Se encontró que el factor más importante en estos anclajes no es la profundidad de instalación ni las demás condiciones de control salvo el diámetro de la perforación, pues para aquellos anclajes en donde la perforación era muy justa o la broca ya presentaba desgaste y no daba el diámetro exacto requerido, las pestañas se aplastaban en la tracción presentando falla por deslizamiento.

En cuanto a las fallas por los ensayos a corte, aunque se presentó una reducción esperada en los anclajes con imperfecciones, no es una pérdida significativa y es inferior al 10%; se encontró que las condiciones de control no fueron un factor determinante en estos ensayos. Principalmente para este sistema se dependía directamente de la capacidad de la varilla.

Tabla 15. resultados de ensayos a tensión promedio por tipo de falla.

ARRANCAMIENTO			
MECÁNICO		EPOXICO	
9	kN	21	kN
FALLA VARILLA			
MECÁNICO		EPOXICO	
12	kN	18	kN
FALLA ADHERENCIA			
EPOXICO			
10	kN		

Como se evidencia en la tabla 13 y De acuerdo con los valores nominales, se esperaba una resistencia de 23 kN aproximadamente para el arrancamiento, así como para la resistencia de la varilla. El caso de los anclajes mecánicos no llegó ni al 50% del valor, mientras que el valor del adherido estuvo en el rango de dispersión del 15% para el caso de la falla de la varilla y del 10% para el arrancamiento. Asimismo, respecto a la resistencia por falla de adherencia, el epóxico estuvo muy cerca al valor nominal que se aproxima a los 12 kN.

En cuanto a los anclajes epóxicos, se puede decir que si está dentro de los parámetros esperados de dispersión respecto a los valores teóricos y evaluados por el proveedor; así como para los anclajes mecánicos no se evidencia una estandarización ni aproximación a los valores teóricos. Esto se explica porque por un lado las condiciones de control manejadas fueron parte esencial en esa reducción, y por otro, los anclajes utilizados no tienen un

cumplimiento normativo ni tampoco un requerimiento de calidad satisfecho y probado en laboratorio; evidencia de esto, es un desgaste significativo en las pestañas en la mayoría de los anclajes extraídos por tensión. Realizando la misma comparación en ensayos a corte, se encuentra lo siguiente:

Tabla 16. Resultados de ensayos a corte en laboratorio

ROTURA CONCRETO			
MECÁNICO		EPOXICO	
N/A	kN	N/A	kN
FALLA VARILLA			
MECÁNICO		EPOXICO	
16	kN	22	kN
DESCASCARAMIENTO			
MECÁNICO		EPOXICO	
18	kN	28	kN

En primer lugar, debido a que el posicionamiento de los anclajes permitió confinamiento adecuado para los anclajes, se puede desprestigiar la rotura del concreto debido a que ningún anclaje presentó este tipo de falla. Así entonces, para la falla de varilla ambos tipos de anclaje se comportaron adecuadamente y obtuvieron resultados superiores al teórico, no obstante, son valores muy superiores y no similares entre sí.

Esto lleva a mencionar que, a pesar de no tener un control directo, las condiciones de control estudiadas son relevantes en la construcción de anclajes y esenciales para permitir una estandarización que se encuentre por el lado de la seguridad. Respecto a la falla por descascaramiento, ningún anclaje logró el valor teórico; lo anterior, porque el tipo de falla que se presentó fue mixto y fue falla del acero precedida por el descascaramiento del concreto, significando que a pesar de presentar descascaramiento, al final lo que dominó la falla fue la resistencia de la varilla.

La importancia de una buena construcción de anclajes fomenta la reducción en variabilidad de la resistencia del sistema, así como alejarse de los valores demanda, como se observa en el gráfico 13. El caso específico de los anclajes mecánicos sugiere evitar su utilización porque fallar en el proceso constructivo es muy común y puede llegar a ser un factor determinante de falla la alta variabilidad en el sistema.

Como comentarios finales, se encontró a nivel general que los anclajes epóxicos son en promedio 30% más resistentes que los anclajes mecánicos. Los resultados arrojaron que la dispersión en los datos de falla de los anclajes mecánicos sobre los adheridos son el doble, por lo que la confiabilidad de

estos es más baja. Esto está relacionado directamente con la calidad de los materiales de anclaje, en este caso directamente sobre la camisa de anclaje y la varilla. Aunque la especificación del proveedor mostró que son SAE grado 2, no se logró un valor promedio cercano al estándar para las varillas 3/8, así como que se presentó una deficiencia en la camisa de anclaje.

Un mal procedimiento constructivo en el sistema de anclajes sea mecánico o adherido deriva en una reducción de resistencia de hasta el 50% (Caso de anclajes con adhesivo epóxico) y de mínimo 17% respecto a la condición de construcción deseada.

Con todo lo anterior entonces se presentan las siguientes recomendaciones para la construcción de estos dos sistemas de anclaje:

- Debido a la variabilidad, es preferible la utilización de sistemas de anclaje adheridos sobre los mecánicos, específicamente los del tipo “chazo multiusos punto rojo”, considerando la respuesta en términos de resistencia.
- A pesar de tener un mejor comportamiento, debido a la forma de colocación es importante contar con personal certificado o en su defecto calificado para la correcta colocación de los anclajes adheridos. El personal debe contar con las herramientas adecuadas y se debe supervisar el proceso.
- Es importante contar con planes de capacitación al personal en la forma de instalación de los dos sistemas de anclaje y de la importancia de una correcta instalación.
- En el caso de construcción de anclajes mecánicos, se recomienda evitar el uso del sistema utilizado en este proyecto debido a su alta variabilidad y baja confiabilidad en el proceso de producción. En el mercado existen otras opciones cuyos fabricantes garantizan una menor variabilidad.
- Se recomienda incluir en el sistema de ensayo de materiales en obra la falla de muestras representativas de los anclajes en probetas de concreto (Se deben presentar los anclajes usados en obra instalados en probetas de concreto cilíndricas con el fin de realizar ensayos destructivos en laboratorio) con una cantidad de muestras suficiente, a saber, al menos un 10% de la cantidad de anclajes total en el proyecto, principalmente cuando se tengan anclajes mecánicos.
- El constructor debe solicitar información técnica de los materiales usados en los anclajes y, como se mencionó anteriormente, verificar dichos documentos técnicos mediante ensayos de laboratorio certificados.
- Un buen acercamiento para suplir la falta de información técnica específica dentro de la norma NSR-10, es no construir anclajes de

diámetros menores a 3/8", y cuando se supere un diámetro de 4" o un equivalente en milímetros, aumentar el diámetro a 1/2".

- Desde la perspectiva de regulación, se recomienda fomentar una integración con las entidades regulatorias y aprobatorias de los diseños MEP (Mecánicos, Eléctricos y plomería), que permita proveer parámetros mínimos de soporte para los sistemas y equipos aprobados, y que puedan un parámetro de supervisión en el momento de entrega final.
- Finalmente, queda un desarrollo futuro el análisis de soporte de los sistemas MEP (Mecánicos, eléctricos e hidrosanitarios), particiones y fachadas (fachaletas) que permita adicionar información de instalación horizontal como vertical para los sistemas de soporte por medio de anclajes.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Aguiar, R. 1999.** Sismo de Colombia Eje cafetero 1999. *Sismo de Colombia Eje cafetero 1999*. s.l. : Escuela Politécnica del Ejército, 1999.
- American Concrete Institute (ACI). 2019.** *Building code requirements for concrete*. Farmington hills, Michigan : American Concrete Insitute , 2019.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. 2017.** *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10)*. Bogotá : Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2017.
- ASTM. 2016.** *Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics*. s.l. : ASTM, 2016. ASTM D695-15.
- **2018.** *Standard Test Method for Density of Adhesives in Fluid Form*. s.l. : ASTM, 2018. ASTM D1875-03(2018).
- **2017.** *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*. s.l. : ASTM, 2017. ASTM D638-14.
- **2017.** *Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*. s.l. : ASTM, 2017. ASTM D790-17.
- Bermudez, W. y Páez, D. 2017.** Modos de falla en anclajes post-instalados en concretos pobres, sometidos a ensayos de tensión directa. s.l. : Ingenio Magno, 2017. Vol. 8, 2. ISSN 2422-2399.
- Cámara colombiana de la construcción (CAMACOL). 2020.** Tendencias de la construcción: Economía y coyuntura sectorial. *Camacol*. [En línea] Enero de 2020. [Citado el: 18 de Agosto de 2020.] <https://camacol.co/>. 17.
- D. Perrone, A. Filiatrault y otros. 2020.** *Seismic Performance of Suspended piping Restraint Installations*. s.l. : HILTI-EUCENTRE, 2020.
- Fuchs, Werner, Eligehausen, Rolf y Breen, John E. 1995.** *Concrete Capacity Design (CCD) Approach for fastening to concrete*. s.l. : ACI Structural Journal, 1995. págs. 73-94. Vol. 92. 10.14359/1533.
- Hilti. 2015.** Manual Técnico de Anclaje. *Manual Técnico de Anclaje: La guía de instalación y especificación*. s.l. : Hilti, 2015. Vol. 1.
- Morales, H., Quiroga, P, Meinheit, D. 2018.** Comportamiento de anclajes postinstalados en concreto de alta resistencia, sometidos a carga de tensión y corte. *Comportamiento de anclajes postinstalados en concreto de alta resistencia, sometidos a carga de tensión y corte*. Bogotá : Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2018.
- National Fire Protection Asociation. 2022.** *Standard for the installation of sprinkler systems*. s.l. : NFPA, 2022.
- Sika. 2018.** *Hoja de datos del producto Sika Anchorfix - 3001*. s.l. : Sika, 2018.
- Tal Feinstein, Jack P. Moehle, Stephen A. Mahin. 2018.** *Anchored Nonstructural Component Response to Seismic Loading - Shaking Table Tests Report*. Berkeley : University of California, 2018. UCB/SEMM-2018/05.
- Trujillo, C., Ospina, R. y Parra, H. 2010.** *Los terremotos: una amenaza natural latente*. s.l. : Scientia et Technica, 2010. págs. 303-308. Vol. 45. ISSN 0122-1701.