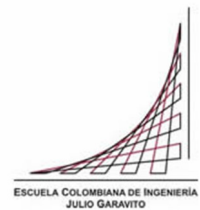


**Maestría en Ingeniería Civil**

**Desempeño de Pernos de Anclaje Post-Instalados en  
Mampostería Hueca Sometidos a Tensión**

**Víctor Wilson Valbuena Forero**

**Bogotá, D.C., 20 de Mayo de 2017**



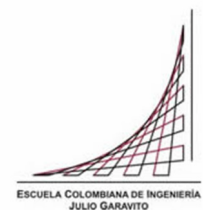
**Desempeño de Pernos de Anclajes Post-Instalados en  
Mampostería Hueca Sometidos a Tensión**

**Tesis Para Optar al Título de Magíster en Ingeniería Civil, con  
Énfasis en Estructuras**

**Ing. Pedro Nel Quiroga Ph.D.**

**Director:**

**Bogotá, D.C., 20 de Mayo de 2017**



La tesis de maestría titulada “Desempeño de pernos de anclajes post-instalados en mampostería hueca sometidos a tensión”, presentada por Victor Wilson Valbuena Forero, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Estructuras.

Director de la tesis

Ing. Pedro Nel Quiroga Ph.D.

Jurado

Ing. Juan Jose Matus

Jurado

Ing. Nicolas Uribe Sasiain

Bogotá, D.C., 20 Mayo 2017



*A mi hijo Andrés*

## **Agradecimientos**

A la Escuela Colombiana de Ingeniería “Julio Garavito”, Al doctor German Santos, al director del laboratorio de estructuras, al señor Ramón Torres por su gran colaboración y en especial al Doctor Pedro Nel Quiroga, sin cuya colaboración, apoyo y guía no habría sido posible el desarrollo y culminación de la presente investigación

A Hilti Colombia, a los ingenieros Didier Pinzon y Santiago Mejía, por apoyar la idea para el desarrollo de la presente investigación suministrando los productos de Hilti para los anclajes y facilitando la pistola de aplicación.

Al doctor Donald Meinheit, por la idea del tema de investigación en el curso “Anclaje al concreto – Julio 2015”. Dictado en la Escuela Colombiana de Ingeniería.

A las personas que de una u otra forma me brindaron la colaboración y el impulso que se requería en los momentos oportunos.

## Resumen

Los anclajes en general deben cumplir los requisitos de la resistencia mecánica, estabilidad y la seguridad para su uso. La falla de un anclaje podría causar un riesgo inmediato para la vida humana.

Para el diseño de la mampostería en Colombia se sigue el Título D, del Reglamento de Construcción sismo resistente. En este capítulo se establecen los requisitos mínimos de diseño y construcción para las estructuras de mampostería y sus elementos. Sin embargo en este no se define el diseño de elementos como anclajes a la mampostería, como si lo hace por ejemplo el “ACI 530/530.1-13 “

Sin embargo la referencia mencionada puede tomarse como una guía, pero no contiene información relacionada de anclajes post-instalados en mampostería hueca, por lo que en el presente documento estudiaremos mediante ensayos el comportamiento de los anclajes de inyección que consisten en una varilla roscada introducida en una perforación donde se ha dispuesto un socket o malla con resina híbrida para el anclaje.

Un total de 140 Ensayos fueron realizados, en anclajes colocados horizontalmente perpendiculares a la superficie de la mampostería. Inicialmente se realizaron 50 ensayos en condiciones confinadas para determinar el rendimiento del sistema de anclaje “Resina híbrida más tamiz” más 50 ensayos en condiciones no confinadas para determinar el rendimiento de la mampostería. Analizados los resultados se escogió la configuración de anclaje más eficiente para realizar 20 ensayos adicionales para verificar el desempeño a tensión por momento de torsión y carga sostenida.

Los objetivos del estudio incluyeron identificación de los modos de fallo de los anclajes y la influencia de las diferentes variables como resistencia de la mampostería, profundidad de anclaje y diámetro del anclaje.

## **Abstract**

Generally, anchors must fulfil the mechanic resistance requirements, stability and the operational safety. The failure of an anchor could cause an immediate risk for the human life.

For the masonry design in Colombia is been followed the chapter D, of the SEISMIC CONSTRUCTION RESISTANCE CODE. In this chapter, it is settled the minimum requirements for design and construction for masonry structures and their elements. However, in this chapter it is not defined the design of element such as anchors in masonry, in contrast the American code specify this mentioned requirements in “ACI 530/530.1-13 “

Despite the mentioned reference can be taken as a guide, it is not contained the related information regarding to the post-installed anchors in hollow units, for this reason, this document will study the behavior of injection anchors by means of laboratory test. These devices consist of a threaded rod, deformed reinforced bar, placed into drilled holes in which are disposed an internal threaded socket and mortar for the anchors.

A total of 140 tests were developed, in anchors disposed horizontally and perpendicularly to the masonry surface. Initially, 50 tests were performed in confined conditions in order to determine the behavior of the masonry. Once the results were analyze, it was chosen the most efficient configuration of the anchors in order to performed 20 additional test for the verification of the behavior in tension of the anchors due to the torsional moment and the carried load.

The task of the study includes the identification of the failure modes of the anchors and the influence of the different variables such as the masonry resistance, the anchor length and the anchor diameter.



# Contenido

|   | Pág.       |
|---|------------|
| <b>1. Introducción.....</b>                   | <b>26</b>  |
| <b>2. Marco Teórico.....</b>                  | <b>30</b>  |
| <b>3. Estado del Arte .....</b>               | <b>81</b>  |
| <b>4. Fase Experimental.....</b>              | <b>105</b> |
| <b>5. Conclusiones y recomendaciones.....</b> | <b>187</b> |
| <b>6. Bibliografía.....</b>                   | <b>189</b> |

## Contenido

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Introducción.....</b>   | <b>26</b> |
| 1.1 Organización del documento .....  | 28        |
| 1.2 Objetivos .....   | 29        |
| 1.2.1 Objetivo general:.....  | 29        |
| 1.2.2 Objetivos específicos: .....  | 29        |
| <b>2. Marco Teórico.....</b>  | <b>30</b> |
| 2.1 Parámetros de ACI 530-13 para anclajes en mampostería.....                      | 33        |
| 2.1.1 Determinación de acciones sobre los anclajes.....                             | 37        |
| 2.1.2 Diseño por esfuerzos admisibles.....  | 37        |
| 2.1.2.1 <i>Combinaciones de carga</i> .....   | 38        |
| 2.1.2.2 <i>Determinación de cargas admisibles por ensayos</i> .....                 | 38        |
| 2.1.2.3 <i>Determinación de cargas admisibles a tensión mediante cálculos</i> ..... | 39        |
| 2.1.3 Diseño por resistencia.....   | 39        |
| 2.1.3.1 <i>Resistencia nominal determinada mediante pruebas</i> .....               | 40        |
| 2.1.3.2 <i>Resistencia nominal determinada mediante cálculos</i> .....              | 41        |
| 2.1.3.3 <i>Resistencia nominal a la tracción</i> .....                              | 41        |
| 2.2 METODOLOGIA DE ENSAYOS ESTABLECIDA POR ASTM E488-15.....                        | 42        |
| 2.2.1 Equipo de prueba:.....  | 42        |
| 2.2.1.1 <i>Equipo de prueba para cargas de tensión</i> .....                        | 43        |
| 2.2.1.2 <i>Láminas de carga para pruebas en tensión</i> .....                       | 44        |
| 2.2.1.3 <i>Configuración confinada</i> .....  | 45        |
| 2.2.1.4 <i>Configuración no confinada</i> .....                                     | 45        |
| 2.2.2 Sistema de anclaje.....   | 45        |
| 2.2.2.1 <i>Elementos de concreto para los ensayos</i> .....                         | 45        |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 2.2.3     | Procedimientos generales de ensayo.....  | 46         |
| 2.2.3.1   | <i>Aplicación de la carga</i> .....  | 46         |
| 2.2.3.2   | <i>Pruebas de capacidad a tensión bajo carga monotónica</i> .....                                      | 47         |
| 2.2.3.3   | <i>Pruebas de Torque</i> .....   | 48         |
| 2.2.3.4   | <i>Pruebas de Efectos Ambientales para Anclajes Adhesivos</i> .....                                    | 49         |
| 2.3       | Aprobación de anclajes para uso en mampostería ETAG 029 .....  | 50         |
| 2.3.1     | Vida útil asumida del producto de construcción.....  | 51         |
| 2.3.2     | Evaluación y Significado de aptitud de uso .....   | 52         |
| 2.3.3     | Requisitos, características, verificación y evaluación de productos.....                               | 53         |
| 2.3.3.1   | <i>Requisitos para las características del producto</i> .....  | 53         |
| 2.3.3.2   | <i>Categorías de uso</i> .....   | 54         |
| 2.3.4     | Características del producto para la aptitud de uso relativas a resistencia mecánica e idoneidad ..... | 55         |
| 2.3.4.1   | <i>Pruebas de Idoneidad</i> .....  | 56         |
| 2.3.4.2   | <i>Pruebas para condiciones admisibles de servicio</i> .....   | 59         |
| 2.3.5     | Método de análisis y evaluación general.....   | 62         |
| 2.3.5.1   | Fractil del 5% para las cargas ultimas .....   | 62         |
| 2.3.5.2   | Conversión a cargas ultimas en mampostería y acero de alta resistencia                                 | 62         |
| 2.3.5.3   | Criterios a cumplir en las pruebas:.....   | 63         |
| 2.3.5.4   | Criterios adicionales válidos para las pruebas de idoneidad .....                                      | 66         |
| 2.3.5.5   | Criterios para pruebas de condiciones de servicio admisibles.....                                      | 70         |
| 2.3.6     | Verificación de la seguridad al fuego.....   | 72         |
| 2.3.6.1   | Reacción al fuego .....  | 72         |
| 2.3.6.2   | Resistencia al fuego.....  | 73         |
| 2.3.7     | Métodos de verificación relacionados con Higiene, salud y medio ambiente                               | 73         |
| 2.3.8     | Métodos de verificación relacionados con durabilidad.....  | 73         |
| 2.3.9     | Identificación de productos de construcción .....  | 73         |
| 2.3.9.1   | Partes de metal.....   | 74         |
| 2.3.9.2   | Material adhesivo .....  | 74         |
| 2.3.10    | Métodos de diseño para anclajes.....   | 75         |
| 2.3.10.1  | Diseño y concepto de seguridad .....   | 76         |
| 2.3.10.2  | Estado limite último .....   | 76         |
| 2.3.10.3  | Estado límite de servicio .....  | 77         |
| 2.3.10.4  | Análisis Estático.....   | 77         |
| 2.3.10.5  | Estado limite último para cargas de tensión .....  | 77         |
| <b>3.</b> | <b>Estado del Arte .....</b>   | <b>81</b>  |
| <b>4.</b> | <b>Fase Experimental.....</b>  | <b>105</b> |
| 4.1.1     | Marco Experimental .....   | 105        |
| 4.1.2     | Muestras para ensayos .....  | 105        |
| 4.1.3     | Miembros de prueba .....   | 105        |
| 4.1.3.1   | Mampostería a ensayar.....   | 106        |
| 4.1.3.2   | Mortero de pega en unidades de mampostería. ....   | 109        |
| 4.1.3.3   | Sistema de anclaje.....  | 110        |
| 4.1.3.4   | Barra de acero rosca:.....   | 110        |
| 4.1.3.5   | Manguitos de tamiz HIT-SC .....  | 111        |
| 4.1.3.6   | Resina epoxica HIT-MM PLUS o HFX.....  | 112        |

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| 4.1.4    | Herramientas de instalación:.....                                      | 114 |
| 4.1.5    | Procedimiento general de instalación en ladrillo hueco .....           | 115 |
| 4.1.6    | Procedimiento Recomendado por el Fabricante.....                       | 115 |
| 4.1.6.1  | Combinaciones de manejo del tamiz.....                                 | 117 |
| 4.1.7    | Instalación de los anclajes en la mampostería hueca.....               | 119 |
| 4.1.7.1  | PERFORACION DE LAS UNIDADES.....                                       | 120 |
| 4.1.7.2  | INSTALACION DE LOS ANCLAJES .....                                      | 122 |
| 4.1.8    | Equipo de prueba.....  | 124 |
| 4.1.9    | Clasificación de la mampostería a ensayar .....                        | 126 |
| 4.1.9.1  | Definición de la categoría de uso.....                                 | 126 |
| 4.1.9.2  | Definición del material de base .....                                  | 127 |
| 4.1.9.3  | Definición método instalación y tipo de uso.....                       | 127 |
| 4.1.9.4  | Definición del rango de temperatura de servicio.....                   | 127 |
| 4.1.9.5  | Armado para pruebas confinadas.....                                    | 131 |
| 4.1.9.6  | Armado para pruebas no confinadas.....                                 | 132 |
| 4.1.9.7  | Ensayos realizados para la evaluación del sistema de anclaje.....      | 135 |
| 4.1.9.8  | Determinación de la resistencia mecánica y la estabilidad.....         | 136 |
| 4.1.9.9  | Pruebas para las condiciones admisibles de servicio.....               | 136 |
| 4.1.9.10 | Pruebas para confirmar Idoneidad.....                                  | 137 |
| 4.2      | Resultados de la fase experimental.....                                | 144 |
| 4.2.1    | Análisis y evaluación de los anclajes de inyección.....                | 144 |
| 4.2.1.1  | 5% Fractile de las cargas ultimas.....                                 | 144 |
| 4.2.1.2  | Determinación de la resistencia característica de un anclaje simple. . | 144 |
| 4.2.2    | Mampostería A Long 85mm Ø1/4" Confinados .....                         | 147 |
| 4.2.3    | Mampostería B Long 85mm Ø1/4" Confinados .....                         | 148 |
| 4.2.4    | Mampostería A Long 50mm Ø3/8" Confinados .....                         | 150 |
| 4.2.5    | Mampostería B Long 50 mm Ø3/8" Confinados .....                        | 152 |
| 4.2.6    | Mampostería A Long 85mm Ø3/8" Confinados .....                         | 153 |
| 4.2.7    | Mampostería B Long 85mm Ø3/8" Confinados .....                         | 155 |
| 4.2.8    | Mampostería C Long 85mm Ø3/8" Confinados .....                         | 157 |
| 4.2.9    | Mampostería A Long 85mm Ø1/2" Confinados .....                         | 158 |
| 4.2.10   | Mampostería B Long 85mm Ø1/2" Confinados .....                         | 160 |
| 4.2.11   | Mampostería C Long 85mm Ø1/2" Confinados .....                         | 162 |
| 4.2.12   | Mampostería A Long 85mm Ø1/4" No Confinados.....                       | 163 |
| 4.2.13   | Mampostería B Long 85mm Ø1/4" No Confinados.....                       | 165 |
| 4.2.14   | Mampostería A Long 50mm Ø3/8" No Confinados.....                       | 166 |
| 4.2.15   | Mampostería B Long 50mm Ø3/8" No Confinados.....                       | 168 |
| 4.2.16   | Mampostería A Long 85mm Ø3/8" No Confinados.....                       | 169 |
| 4.2.17   | Mampostería B Long 85mm Ø3/8" No Confinados.....                       | 170 |
| 4.2.18   | Mampostería C Long 85mm Ø3/8" No Confinados.....                       | 172 |
| 4.2.19   | Mampostería A Long 85mm Ø1/2" No Confinados.....                       | 173 |
| 4.2.20   | Mampostería B Long 85mm Ø1/2" No Confinados.....                       | 175 |
| 4.2.21   | Mampostería C Long 85mm Ø1/2" No Confinados.....                       | 176 |
| 4.2.22   | Resumen General de Resultados.....                                     | 178 |
| 4.2.23   | Resumen General Mampostería A .....                                    | 179 |
| 4.2.24   | Resumen General Mampostería B .....                                    | 179 |
| 4.2.25   | Resumen General Mampostería C.....                                     | 179 |
| 4.2.26   | Resumen General de Ensayos Confinados.....                             | 180 |
| 4.2.27   | Resumen General de Ensayos no Confinados.....                          | 182 |

|   |            |
|---|------------|
| 4.2.28 Resultados bajo cargas sostenidas.....                     | 183        |
| 4.2.29 Resultados bajo cargas de torsión. ....                    | 185        |
| 4.2.30 Proyección de la resistencia de acuerdo con ETAG 029. .... | 186        |
| 4.2.31 Contenido del Anexo A.....                                 | 186        |
| <b>5. Conclusiones y recomendaciones.....</b>                     | <b>187</b> |
| 5.1 Conclusiones.....   | 187        |
| 5.2 Recomendaciones.....  | 188        |
| <b>6. Bibliografía.....</b>                                       | <b>189</b> |
| <br>  |            |
| Anexo A. Registro de ensayos.....                                 | 192        |

## Lista de figuras

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| <b>Figura 2-1:</b> Tipos de pernos de anclajes preinstalados.....                             | 33          |
| <b>Figura 2-2:</b> Ejemplo de anclajes en mampostería.....                                    | 34          |
| <b>Figura 2-3:</b> Falla típica en la mampostería por breakout.....                           | 34          |
| <b>Figura 2-4:</b> Falla en mampostería por sobre posición de conos de falla .....            | 35          |
| <b>Figura 2-5:</b> Falla típica de la mampostería en cortante.....                            | 36          |
| <b>Figura 2-6:</b> Distribución de esfuerzos de barras dobladas.....                          | 37          |
| <b>Figura 2-7:</b> Ejemplo de montaje para ensayo de tensión no confinada.....                | 44          |
| <b>Figura 2-8:</b> Ejemplo de montaje para ensayo de tensión confinada .....                  | 44          |
| <b>Figura 2-9:</b> Ejemplo prueba para determinar efectos de borde.....                       | 48          |
| <b>Figura 2-10:</b> Ejemplo prueba de torque .....  | 49          |
| <b>Figura 2-11:</b> Ejemplos de curvas carga desplazamiento en mampostería solida.....        | 65          |
| <b>Figura 2-12:</b> Ejemplos de curvas carga desplazamiento en mampostería hueca .....        | 65          |
| <b>Figura 3-1:</b> Programa de pruebas con pernos adhesivos .....                             | 82          |
| <b>Figura 3-2:</b> Configuración de las pruebas a la extracción .....                         | 83          |
| <b>Figura 3-3:</b> Resultados generales de las pruebas .....                                  | 84          |
| <b>Figura 3-4:</b> Modos de falla típica en la mampostería .....                              | 84          |
| <b>Figura 3-5:</b> Resultados experimentales contra datos teoricosos .....                    | 85          |
| <b>Figura 3-6:</b> Aparato de prueba .....  | 88          |
| <b>Figura 3-7:</b> Curvas carga deformación obtenidas .....                                   | 89          |
| <b>Figura 3-8:</b> Aparato de prueba .....  | 93          |
| <b>Figura 3-9:</b> Aplicación de carga simultánea de tensión y cortante .....                 | 94          |
| <b>Figura 3-10:</b> Comparación de curvas deformación y cargas a tensión y cortante .....     | 95          |
| <b>Figura 3-11:</b> Fisuración en la mampostería .....  | 96          |
| <b>Figura 3-12:</b> Enderezamiento de barra anclada .....                                     | 97          |
| <b>Figura 3-13:</b> Capacidades de pernos en tensión .....                                    | 101         |
| <b>Figura 3-14:</b> Esfuerzos cortantes obtenidos de la fase y 2 y fase 3.....                | 103         |
| <b>Figura 4-1:</b> Bloques seleccionados para la realización de las diferentes pruebas ..     | 106         |
| <b>Figura 4-2:</b> Esquema de dimensiones de la mampostería a ensayar. ....                   | 107         |
| <b>Figura 4-3:</b> Muestras para determinación de las propiedades de la mampostería ..        | 108         |
| <b>Figura 4-4:</b> Ensayo de muestras para determinación de las propiedades de la mampostería | 108         |
| <b>Figura 4-5:</b> Ejemplo de aplicación .....  | 110         |
| <b>Figura 4-6:</b> Barras de anclaje tipo Hilti.....  | 111         |

|                     |  |     |
|---------------------|--|-----|
| <b>Figura 4-7:</b>  | Anclajes en mampostería.....   | 111 |
| <b>Figura 4-8:</b>  | Cartuchos con resina híbrida tipo Hit-MM Plus.....                       | 112 |
| <b>Figura 4-9:</b>  | Aplicador y tamiz para mampostería hueca.....                            | 114 |
| <b>Figura 4-10:</b> | Esquema general de aplicación .....                                      | 115 |
| <b>Figura 4-11:</b> | Tapa del tamiza .....  | 115 |
| <b>Figura 4-12:</b> | Acople de varios tamices .....   | 116 |
| <b>Figura 4-13:</b> | Inserto del tamiz.....   | 116 |
| <b>Figura 4-14:</b> | Inserto del tamiz en la mampostería .....                                | 116 |
| <b>Figura 4-15:</b> | Llenado del tamiz.....   | 116 |
| <b>Figura 4-16:</b> | Colocación de dos tamices .....  | 117 |
| <b>Figura 4-17:</b> | Instalación de dos tamices .....   | 117 |
| <b>Figura 4-18:</b> | Anclaje instalado.....   | 117 |
| <b>Figura 4-19:</b> | Ensamble de tamices.....   | 118 |
| <b>Figura 4-20:</b> | Ensamble de tamices.....   | 118 |
| <b>Figura 4-21:</b> | Ensamble de tamices.....   | 118 |
| <b>Figura 4-22:</b> | Perforado de unidades.....   | 120 |
| <b>Figura 4-23:</b> | Desprendimiento de material, al usar diámetros grandes de brocas. ...    | 120 |
| <b>Figura 4-24:</b> | Brocas usadas para las perforaciones .....                               | 121 |
| <b>Figura 4-25:</b> | Brocas usadas para las perforaciones .....                               | 121 |
| <b>Figura 4-26:</b> | Limpieza del orificio.....   | 122 |
| <b>Figura 4-27:</b> | Aplicador.....   | 122 |
| <b>Figura 4-28:</b> | Pistola para aplicación de la resina híbrida .....                       | 123 |
| <b>Figura 4-29:</b> | Cartuchos de epoxico .....   | 123 |
| <b>Figura 4-30:</b> | Aplicación de la resina .....  | 124 |
| <b>Figura 4-31:</b> | Montaje general del ensayo .....   | 124 |
| <b>Figura 4-32:</b> | Equipo para medición de deformaciones .....                              | 125 |
| <b>Figura 4-33:</b> | Conexión de deformímetros .....  | 125 |
| <b>Figura 4-34:</b> | Equipo para registrar deformaciones.....                                 | 126 |
| <b>Figura 4-35:</b> | Falla típica de anclajes instalados en muros .....                       | 128 |
| <b>Figura 4-36:</b> | Montaje de articulaciones entre el bloque y la aplicación de la carga... | 129 |
| <b>Figura 4-37:</b> | Ejemplo de un banco de pruebas de tensión no confinadas.....             | 130 |
| <b>Figura 4-38:</b> | Ejemplo de un banco de pruebas de tensión confinadas.....                | 130 |
| <b>Figura 4-39:</b> | Armado para pruebas confinadas .....                                     | 131 |
| <b>Figura 4-40:</b> | Armado para pruebas confinadas .....                                     | 131 |
| <b>Figura 4-41:</b> | Armado para pruebas confinadas .....                                     | 132 |
| <b>Figura 4-42:</b> | Armado para pruebas no confinadas.....                                   | 132 |
| <b>Figura 4-43:</b> | Armado para pruebas no confinadas.....                                   | 133 |
| <b>Figura 4-44:</b> | Armado para pruebas no confinadas.....                                   | 133 |
| <b>Figura 4-45:</b> | Ubicación en general de deformímetros .....                              | 134 |
| <b>Figura 4-46:</b> | Muestras ensayadas .....   | 134 |
| <b>Figura 4-47:</b> | Instalación de puntos de control en mampostería A .....                  | 139 |
| <b>Figura 4-48:</b> | Instalación de puntos de control mampostería B.....                      | 139 |

|                     |   |     |
|---------------------|---|-----|
| <b>Figura 4-49:</b> | Aplicación de carga sostenida.....        | 139 |
| <b>Figura 4-50:</b> | Torcometro a utilizar .....               | 140 |
| <b>Figura 4-51:</b> | Montaje de la prueba para torque .....    | 141 |
| <b>Figura 4-52:</b> | Resumen de curvas carga deformación ..... | 147 |
| <b>Figura 4-53:</b> | Falla en la mampostería.....              | 147 |
| <b>Figura 4-54:</b> | Resumen de curvas carga deformación ..... | 149 |
| <b>Figura 4-55:</b> | Falla en la mampostería.....              | 149 |
| <b>Figura 4-56:</b> | Resumen de curvas carga deformación ..... | 151 |
| <b>Figura 4-57:</b> | Falla en la mampostería.....              | 151 |
| <b>Figura 4-58:</b> | Resumen de curvas carga deformación ..... | 152 |
| <b>Figura 4-59:</b> | Falla en la mampostería.....              | 153 |
| <b>Figura 4-60:</b> | Resumen de curvas carga deformación ..... | 154 |
| <b>Figura 4-61:</b> | Falla en la mampostería.....              | 154 |
| <b>Figura 4-62:</b> | Resumen de curvas carga deformación ..... | 156 |
| <b>Figura 4-63:</b> | Falla típica en la mampostería .....      | 156 |
| <b>Figura 4-64:</b> | Resumen de curvas carga deformación ..... | 157 |
| <b>Figura 4-65:</b> | Falla en la mampostería.....              | 158 |
| <b>Figura 4-66:</b> | Resumen de curvas carga deformación ..... | 159 |
| <b>Figura 4-67:</b> | Falla en la mampostería.....              | 159 |
| <b>Figura 4-68:</b> | Resumen de curvas carga deformación ..... | 160 |
| <b>Figura 4-69:</b> | Falla en la mampostería.....              | 161 |
| <b>Figura 4-70:</b> | Resumen de curvas carga deformación ..... | 162 |
| <b>Figura 4-71:</b> | Falla en la mampostería.....              | 163 |
| <b>Figura 4-72:</b> | Resumen de curvas carga deformación ..... | 164 |
| <b>Figura 4-73:</b> | Falla en la mampostería.....              | 164 |
| <b>Figura 4-74:</b> | Resumen de curvas carga deformación ..... | 165 |
| <b>Figura 4-75:</b> | Falla en la mampostería.....              | 165 |
| <b>Figura 4-76:</b> | Resumen de curvas carga deformación ..... | 167 |
| <b>Figura 4-77:</b> | Falla en la mampostería.....              | 167 |
| <b>Figura 4-78:</b> | Resumen de curvas carga deformación ..... | 168 |
| <b>Figura 4-79:</b> | Falla en la mampostería.....              | 168 |
| <b>Figura 4-80:</b> | Resumen de curvas carga deformación ..... | 169 |
| <b>Figura 4-81:</b> | Falla en la mampostería.....              | 170 |
| <b>Figura 4-82:</b> | Resumen de curvas carga deformación ..... | 171 |
| <b>Figura 4-83:</b> | Falla en la mampostería.....              | 171 |
| <b>Figura 4-84:</b> | Resumen de curvas carga deformación ..... | 172 |
| <b>Figura 4-85:</b> | Falla en la mampostería.....              | 172 |
| <b>Figura 4-86:</b> | Resumen de curvas carga deformación ..... | 173 |
| <b>Figura 4-87:</b> | Falla en la mampostería.....              | 174 |
| <b>Figura 4-88:</b> | Resumen de curvas carga deformación ..... | 175 |
| <b>Figura 4-89:</b> | Falla en la mampostería.....              | 175 |
| <b>Figura 4-90:</b> | Resumen de curvas carga deformación ..... | 176 |

|                     |  |     |
|---------------------|--|-----|
| <b>Figura 4-91:</b> | Falla en la mampostería.....   | 177 |
| <b>Figura 4-92:</b> | Resumen de resultados por tipo de ensayo y valor medio de la carga.        | 178 |
| <b>Figura 4-93:</b> | Resumen de resultados condición confinada para el valor medio de la carga. | 180 |
| <b>Figura 4-94:</b> | Falla del sistema de anclaje en la condición confinada .....               | 181 |
| <b>Figura 4-95:</b> | Falla del sistema de anclaje en la condición confinada .....               | 181 |
| <b>Figura 4-96:</b> | Falla del sistema de anclaje en la condición confinada .....               | 181 |
| <b>Figura 4-97:</b> | Resumen de resultados condición no confinada .....                         | 182 |



## Lista de tablas

|  | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| <b>Tabla 2-1:</b> Tolerancias mínimas de los equipos y soportes.....                                     | 43          |
| <b>Tabla 2-2:</b> Tabla 2.1 del ETAG 029 Características y métodos de verificación .....                 | 53          |
| <b>Tabla 2-3:</b> Tabla 2.4.1 del ETAG 029 Pruebas de idoneidad dependiendo del tipo de mampostería..... | 55          |
| <b>Tabla 2-4:</b> Tabla 2.4.2 de ETAG 029. Pruebas de idoneidad para anclajes de inyección               | 56          |
| <b>Tabla 2-5:</b> Tabla 2.4.3 ETAG 029. Pruebas para condiciones admisibles de servicio.                 | 59          |
| <b>Tabla 2-6:</b> Resistencias requeridas .....  | 77          |
| <b>Tabla 2-7:</b> Valores de $f_{vko}$ .....   | 79          |
| <b>Tabla 3-1:</b> Resumen de resultados por tipo de anclaje .....  | 89          |
| <b>Tabla 3-2:</b> Ensayos realizados y aplicación de la carga.....                                       | 93          |
| <b>Tabla 3-3:</b> Resumen de resultados de los ensayos .....   | 96          |
| <b>Tabla 3-4:</b> Resumen de resultados de interacción .....   | 97          |
| <b>Tabla 3-5:</b> Resumen de resultados por tipo de ensayo .....   | 100         |
| <b>Tabla 4-1:</b> Dimensiones de la mampostería a ensayar .....  | 107         |
| <b>Tabla 4-2:</b> Valores de $f_m$ obtenidos para la mampostería tipo A.....                             | 109         |
| <b>Tabla 4-3:</b> Valores de $f_m$ obtenidos para la mampostería tipo B.....                             | 109         |
| <b>Tabla 4-4:</b> Valores de $f_m$ obtenidos para la mampostería tipo C .....                            | 109         |
| <b>Tabla 4-5:</b> Clasificación de los morteros de pega .....  | 109         |
| <b>Tabla 4-6:</b> Resistencia de anclajes en mampostería hueca.....                                      | 114         |
| <b>Tabla 4-7:</b> Detalles de colocación de anclajes en mampostería hueca .....                          | 115         |
| <b>Tabla 4-8:</b> Tabla A.3.1 diámetro de corte de bits de martillo de perforación.....                  | 119         |
| <b>Tabla 4-9:</b> Tabla A.4.1 Diámetro del agujero de paso en el dispositivo.....                        | 129         |
| <b>Tabla 4-10:</b> Tabla A.4.1 Diámetro del agujero de paso en el dispositivo. ....                      | 142         |
| <b>Tabla 4-11:</b> Tabla A.4.1 Diámetro del agujero de paso en el dispositivo. ....                      | 143         |
| <b>Tabla 4-12:</b> Tabla A.4.1 Diámetro del agujero de paso en el dispositivo. ....                      | 143         |
| <b>Tabla 4-13:</b> Resumen de resultados por tipo de ensayo .....  | 148         |
| <b>Tabla 4-14:</b> Resumen de resultados por tipo de ensayo .....  | 150         |
| <b>Tabla 4-15:</b> Resumen de resultados por tipo de ensayo .....  | 151         |
| <b>Tabla 4-16:</b> Resumen de resultados por tipo de ensayo .....  | 153         |
| <b>Tabla 4-17:</b> Resumen de resultados por tipo de ensayo .....  | 155         |
| <b>Tabla 4-18:</b> Resumen de resultados por tipo de ensayo .....  | 156         |
| <b>Tabla 4-19:</b> Resumen de resultados por tipo de ensayo .....  | 158         |

|                    |  |     |
|--------------------|--|-----|
| <b>Tabla 4-20:</b> | Resumen de resultados por tipo de ensayo .....           | 160 |
| <b>Tabla 4-21:</b> | Resumen de resultados por tipo de ensayo .....           | 161 |
| <b>Tabla 4-22:</b> | Resumen de resultados por tipo de ensayo .....           | 163 |
| <b>Tabla 4-23:</b> | Resumen de resultados por tipo de ensayo .....           | 164 |
| <b>Tabla 4-24:</b> | Resumen de resultados por tipo de ensayo .....           | 166 |
| <b>Tabla 4-25:</b> | Resumen de resultados por tipo de ensayo .....           | 167 |
| <b>Tabla 4-26:</b> | Resumen de resultados por tipo de ensayo .....           | 170 |
| <b>Tabla 4-27:</b> | Resumen de resultados por tipo de ensayo .....           | 171 |
| <b>Tabla 4-28:</b> | Resumen de resultados por tipo de ensayo .....           | 173 |
| <b>Tabla 4-29:</b> | Resumen de resultados por tipo de ensayo .....           | 174 |
| <b>Tabla 4-30:</b> | Resumen de resultados por tipo de ensayo .....           | 176 |
| <b>Tabla 4-31:</b> | Resumen de resultados por tipo de ensayo .....           | 177 |
| <b>Tabla 4-32:</b> | Resumen de resultados por tipo de ensayo .....           | 178 |
| <b>Tabla 4-33:</b> | Resumen de resultados para mampostería tipo A.....       | 179 |
| <b>Tabla 4-34:</b> | Resumen de resultados para mampostería tipo B.....       | 179 |
| <b>Tabla 4-35:</b> | Resumen de resultados para mampostería tipo C.....       | 179 |
| <b>Tabla 4-36:</b> | Resumen de resultados condición confinada .....          | 180 |
| <b>Tabla 4-37:</b> | Resumen de resultados condición no confinada .....       | 182 |
| <b>Tabla 4-38:</b> | Resumen de resultados carga sostenida mampostería A..... | 184 |
| <b>Tabla 4-39:</b> | Resumen de resultados carga sostenida mampostería B..... | 184 |
| <b>Tabla 4-40:</b> | Resumen de resultados por tipo de ensayo .....           | 185 |
| <b>Tabla 4-41:</b> | Resumen de resultados por tipo de ensayo .....           | 185 |

# Lista de Símbolos y abreviaturas

## Símbolos con letras latinas y griegas

|                  |   |
|------------------|---|
| $b =$            | Ancho del elemento del material de base   |
| $c =$            | Distancia al borde, hacia el borde libre del ladrillo (borde de la pared o junta vertical no debe estar lleno de mortero) |
| $C_{cr} =$       | Distancia al borde para garantizar la transmisión de la resistencia característica de un único anclaje de inyección       |
| $C_{min} =$      | Mínima distancia al borde admisible   |
| $d =$            | Perno de anclaje / diámetro de la rosca   |
| $d_o =$          | Diámetro del agujero perforado  |
| $d_{cut} =$      | Diámetro de corte de la broca   |
| $d_{cut,m} =$    | Diámetro de corte medio de la broca   |
| $d_f =$          | Diámetro del agujero en la mampostería  |
| $d_{nom} =$      | Diámetro exterior del anclaje   |
| $h =$            | Espesor del miembro de mampostería (muro)   |
| $h_{min} =$      | Mínimo espesor del miembro de mampostería   |
| $h_o =$          | Profundidad del agujero de perforación  |
| $h_1 =$          | Punto más profundo del agujero perforado  |
| $h_{ef} =$       | Profundidad efectiva del anclaje  |
| $h_{nom} =$      | Promedio embebido de longitud embebida del anclaje  |
| $l_{unit} =$     | Longitud de la unidad de mampostería  |
| $h_{unit} =$     | Altura de la unidad de mampostería  |
| $S =$            | Separación del anclaje  |
| $S_{cr,N} =$     | Separación para garantizar la transmisión de la resistencia característica de un único anclaje                            |
| $S_{cr,  } =$    | $S_{cr,  }$ Nudo horizontal   |
| $S_{cr,\perp} =$ | $S_{cr,\perp}$ Nudo horizontal  |
| $S_{min} =$      | Mínimo espaciamiento permisible   |
| $T =$            | Momento de torque   |
| $T_{inst} =$     | Momento de torque de instalación recomendado por el fabricante  |

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| $T_u =$                        | Máximo momento de torque durante la falla  |
| $t_{fix} =$                    | Espesor del accesorio  |
| $t =$                          | Espesor del alma exterior del ladrillo   |
| $\rho =$                       | Densidad de la unidad de mampostería   |
| $f_b =$                        | Resistencia a la compresión media de la unidad de mampostería  |
| $f_{b,test} =$                 | Resistencia a la compresión de la unidad de mampostería de prueba en el momento de la prueba   |
| $f_{y,test} =$                 | Resistencia a la tracción del acero en la prueba   |
| $f_{yk} =$                     | Límite característico nominal de la elasticidad del acero  |
| $f_{u,test} =$                 | Resistencia última a la tensión del acero en la prueba   |
| $f_{uk} =$                     | Límite característico nominal de la Resistencia última del acero.  |
| $F =$                          | Fuerza en general  |
| $N =$                          | Fuerza normal (+N = fuerza de tensión)   |
| $V =$                          | Fuerza cortante  |
| $M =$                          | Momento  |
| $N_{Rk}, V_{Rk} =$             | Resistencia característica del anclaje (5 %-fractil de resultados) bajo carga de tensión y corte respectivamente.  |
| $N_{hsd}(V_{hsd}) =$           | Valor de diseño de la carga de tensión (carga de cortante) que actúa sobre el anclaje más esforzado de un grupo de anclajes.   |
| $F_{tRu} =$                    | Carga última en la prueba  |
| $F_{tRu,m} =$                  | Media o promedio de la carga última de una serie de pruebas  |
| $F_{tRk} =$                    | 5 %-fractil de la carga última de una serie de pruebas   |
| $n =$                          | Número de la prueba en una serie de pruebas  |
| $v =$                          | Coefficiente de variación  |
| $\delta(\delta N, \delta V) =$ | Desplazamiento (movimiento) del anclaje en la superficie de mampostería con respecto a la superficie de mampostería en la dirección de la carga (tensión, cortante) fuera del área de falla. El desplazamiento incluye las deformaciones de acero y de la mampostería y un posible deslizamiento de anclaje. |
| $\alpha =$                     | Relación del valor de la prueba/ valor de referencia, para el caso.  |

## Abreviaturas

| <b>Abreviatura</b> | <b>Término</b>  |
|--------------------|---|
| <i>ACI</i>         | American Concrete Institute   |
| <i>ASCE</i>        | American Society of Civil Engineers                                 |
| <i>ASTM</i>        | American Society for Testing and Materials                          |
| <i>ETAG</i>        | European Technical Approval Guidelines                              |
| <i>IBC</i>         | International Building Code   |
| <i>MSJC</i>        | Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures |
| <i>NSR-10</i>      | Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente              |
| <i>POC</i>         | Capacidad a la extracción   |
| <i>URM</i>         | Unreinforced Masonry  |

## Palabras clave

La definición de las siguientes palabras claves fue tomada del (MSJC, 2013):

**Adhesivo (adhesive):** Componentes químicos provenientes de polímeros orgánicos y materiales inorgánicos, que al mezclarse inicial inician un proceso de curado.

**Anclaje con sobre perforación en su base (Under cut anchor):** Un anclaje pos-instalado que desarrolla su resistencia a la tracción con base en un mecanismo de trabazón proporcionado por la sobre perforación del concreto en el extremo embebido del anclaje. La sobre perforación se logra con un taladro especial antes de instalar el anclaje o de manera alternativa, por medio del mismo anclaje durante su instalación.

**Anclaje de expansión (Expansión anchor):** Un anclaje pos-instalado, insertado en el concreto endurecido que transfiere cargas hacia y desde el concreto por apoyo directo o fricción, o ambos. Los anclajes de expansión pueden ser de torsión controlada, donde la expansión se obtiene mediante una torsión que actúa en el tornillo o perno; o de desplazamiento controlado, donde la expansión se logra por fuerzas de impacto que actúan en una camisa o tapón y la expansión es controlada por la longitud de desplazamiento de la camisa o tapón.

**Anclaje pos instalado (Post-installed anchor):** Un anclaje instalado en el concreto endurecido. Los anclajes de expansión y los anclajes con sobre perforación en su base son ejemplos de anclajes pos-instalados.

**Anclaje preinstalado (Cast-in anchor):** Un tornillo con cabeza, perno con cabeza, o tornillo con gancho, instalado antes de colocar el concreto.

**Área proyectada (Projected area):** El área en la superficie libre del elemento de concreto que se usa para representar la base mayor de la superficie de falla rectilínea supuesta.

**Camisa de espaciamento (Distance sleeve):** Una camisa que envuelve la parte central de un elemento de anclaje con sobre perforación en su base, un elemento de anclaje de expansión de torsión controlada, o un elemento de anclaje de expansión de desplazamiento controlado, pero que no se expande.

**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 una torsión o impacto, para apoyarse contra los lados de un orificio perforado previamente.

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

**Elemento dúctil de acero (Ductil esteel element):** Un elemento con un alargamiento en tracción medido experimentalmente mayor al 14 por ciento, y una reducción de área de al menos un 30 por ciento. Un elemento que cumple con las disposiciones de la NTC 4034 (ASTM A307) se considera un elemento dúctil.

**Elemento frágil de acero (Brittle Steel element):** Un elemento con un alargamiento en tracción medido experimentalmente menor al 14 por ciento, o una reducción en área de menos del 30 por ciento, o ambos.

**Fijación (Aattachment):** Un dispositivo estructural, externo a la superficie del concreto, que transmite o recibe fuerzas de los elementos de anclaje.

**Grupo de anclajes (Anchor group):** Un grupo de elementos de anclaje de aproximadamente la misma profundidad de embebido efectivo, en el cual cada elemento de anclaje está espaciado al menos  $3h_{ef}$  de uno o más anclajes adyacentes al estar sometido a tracción, o  $3c_{a1}$  de uno o más anclajes adyacentes al estar sometido a cortante. Solamente aquellos anclajes susceptibles de sufrir el modo particular de falla que está bajo investigación pueden ser incluidos en el grupo.

**Insertos especiales (Specialty insert):** Anclajes preinstalados para ser instalados antes de la colocación del concreto, prediseñados y prefabricados, diseñados especialmente para fijar conexiones atornilladas o ranuradas. Los insertos especiales se usan con

Frecuencia para manipular, transportar y levantar, pero también se emplean para anclar elementos estructurales.

**Percentil del 5 por ciento (Five percentfractile):** Un término estadístico que significa un 90 por ciento de confianza de que existe un 95 por ciento de probabilidad de que la resistencia real exceda a la resistencia nominal.

**Perno con cabeza (Headed stud):** Un anclaje de acero que cumple con los requisitos de la AWS D1.1, fijado a una platina o aditamento de acero similar, mediante el proceso de soldadura de arco, antes de colocar el concreto.

**Profundidad efectiva de embebido (Effective embedmentdepth):** 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. Para tornillos con cabeza preinstalados y pernos con cabeza, la profundidad efectiva de embebido se mide desde la superficie de contacto de apoyo de la cabeza.

**Resistencia al arrancamiento del concreto por tracción del anclaje (Concrete breakoutstrength):** Resistencia de un volumen de concreto que rodea al anclaje o grupo de anclajes, para desprenderse del elemento.

**Resistencia a la extracción por deslizamiento del anclaje (Anchor “pull out “strength):** Resistencia del anclaje o un componente principal del dispositivo de anclaje que se desliza fuera del concreto sin romper una parte sustancial del concreto que lo rodea.

**Resistencia al desprendimiento del concreto por cabeceo del anclaje (Concrete pryoutstrength):** Resistencia que corresponde a la formación en anclajes cortos y rígidos de un descascaramiento de concreto detrás de elementos y en dirección opuesta a la fuerza cortante aplicada.



**Resistencia al desprendimiento lateral del concreto (Side-face blowout strength):**

Resistencia de los anclajes con mayor profundidad de embebido, pero con menor espesor del recubrimiento lateral, que corresponde a un descascaramiento del concreto que rodea la cara lateral de la cabeza embebida, sin que ocurran arrancamientos mayores en la parte superior de la superficie de concreto.

**Mampostería de cavidad reforzada (Reinforced masonry cavity):**

Es la construcción realizada con dos paredes de piezas de mampostería de caras paralelas reforzadas ó no, separadas por un espacio continuo de concreto reforzado, con funcionamiento compuesto y que cumple los requisitos del capítulo D.6. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad especial de disipación de energía en el rango inelástico (DES).

**Mampostería parcialmente reforzada (Partially reinforced masonry):**

Es la construcción con base en piezas de mampostería de perforación vertical, unidas por medio de mortero, reforzada internamente con barras y alambres de acero y que cumple los requisitos del capítulo D.8. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad moderada de disipación de energía en el rango inelástico (DMO).

**Mampostería no reforzada (Unreinforced masonry):**

Es la construcción con base en piezas de mampostería unidas por medio de mortero que no cumple las cuantías mínimas de refuerzo establecidas para la mampostería parcialmente reforzada. Debe cumplir los requisitos del capítulo D.9. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad mínima de disipación de energía en el rango inelástico (DMI).

**Bloque:** Es un tipo de pieza de mampostería que tiene huecos.

**Bloque de perforación vertical:** Es un bloque, de concreto o de arcilla cocida, que tiene perforaciones verticales que forman celdas donde se coloca el refuerzo. En las celdas donde haya refuerzo vertical debe colocarse mortero de relleno.

La definición de las siguientes palabras claves fue tomada del (European Organisation for Technical Approvals, 2013) ETAG 029

**Rango de temperatura de servicio:** Rango de temperatura ambiente después de la instalación y durante el tiempo de vida de la anclaje.

**Temperatura a corto plazo:** Las temperaturas dentro de la gama de temperaturas que varían en intervalos cortos, por ejemplo día / noche ciclos y ciclos de congelación / descongelación.

**Temperatura máxima de corto plazo:** el límite superior del rango de temperatura de servicio.

**Temperatura a largo plazo:** La temperatura dentro del rango de temperaturas de servicio, que será de aproximadamente constante durante un amplio período de tiempo. Las temperaturas a largo plazo incluirán constante constante o cerca temperaturas, como las experimentadas en los almacenes frigoríficos o al lado de las instalaciones de calefacción.

La temperatura máxima a largo plazo: especificado por el fabricante dentro de la gama de 0,6 veces a 1,0 veces la temperatura máxima a corto plazo.

**Temperatura ambiente normal:** Temperatura (sólo para condiciones de prueba)  $21\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$

**Tiempo abierto:** El tiempo máximo de final de la mezcla a cuando la inserción del anclaje en la unión material deberá ser completada.

Instalaciónen rango de temperatura ambiente: El rango de temperatura ambiental del material de base permitido por el fabricante para la instalación.

**Anclaje rango de temperatura de instalación de los componentes:** El rango de temperatura del material de unión y parte embebido inmediatamente antes de la instalación.

**El tiempo de curado:** El tiempo mínimo a partir del final de la mezcla al tiempo en que el anclaje puede ser apretados o cargado (el que sea mayor). El tiempo de curado depende de la temperatura ambiente.

# 1.Introducción

En el presente documento se pretende presentar los resultados del estudio del comportamiento de anclajes post-instalados, teniendo como material de base mampostería hueca en arcilla y concreto sin ningún tipo de relleno.

Los anclajes post-instalados se usan desde principios del siglo XX para asegurar componentes a los edificios. Inicialmente eran tapones de madera que se moldeaban hasta el tamaño adecuado y luego se introducían en la perforación. Cuando se insertaba un tornillo en el tapón, este se expandía contra las paredes del orificio generando un sistema de anclaje.

A medida que los materiales y las técnicas utilizadas en la construcción han evolucionado los anclajes de fabricación comercial se comenzaron a producir, desarrollando anclajes para variadas aplicaciones.

Actualmente existe una amplia variedad de anclajes y sistemas de fijación, incluidas la fijación con adhesivos. Si bien la diversidad de productos brindan al usuario la oportunidad de elegir el mejor para una aplicación específica, en el proceso de selección de un sistema de anclaje debe tenerse en cuenta las capacidades de carga y los criterios necesarios para determinar el tipo, el tamaño y la cantidad de anclajes requeridos para dicha aplicación.

Para la selección eficiente de un de un sistema de anclaje, es necesario tener en cuenta los siguientes criterios:

- El material de base en la que será instalado el anclaje.
- La magnitud de las cargas o solicitaciones que se le impondrán.

- Procedimientos de instalación incluyendo los métodos de perforación, preparación del agujero y método de instalación.
- Las dimensiones del material de base, incluidos el espesor, la separación entre anclajes y la distancia a los bordes.
- Los efectos de la durabilidad de acuerdo al entorno de servicio.

Los materiales de base utilizados en la construcción varían mucho. Si bien las fijaciones pueden aplicarse a gran cantidad de materiales, la parte más débil en el diseño de los anclajes suele ser el material de base. El material de base es un factor crítico para la selección de un anclaje o una fijación, ya que debe ser capaz de sostener las cargas aplicadas. La resistencia del material de base puede variar ampliamente y es un factor clave para el desempeño de los anclajes y las fijaciones. Por lo general, los productos instalados en piedra y concreto denso pueden resistir cargas muy superiores que aquellos instalados en materiales más blandos, como concreto liviano, bloques y ladrillos.

Los bloques y ladrillos por lo general se fabrican con arcilla, que luego es extruida y cortada con alambre, o se moldea a máquina o a mano y después se endurece a través de un proceso de cocción por lo que la consistencia de esos materiales es variable y según la región en donde se fabriquen se pueden encontrar unidades de distintos tamaños, formas y resistencias. Debido a lo anterior la resistencia de los materiales de mampostería habitualmente no es un valor definido y más bien depende del proceso uniforme del fabricante, de manera que se obtengan resistencias similares para un mismo producto del mismo fabricante.

Los anclajes deben cumplir los requisitos de la resistencia mecánica, estabilidad y la seguridad en su uso, en el sentido de los requisitos básicos. La falla de un anclaje podría causar un riesgo inmediato para la vida humana y posiblemente conducir a consecuencias económicas considerables.

Los procesos de diseño en mampostería al igual que los sistemas de anclaje requieren ser realizados por un profesional, quien debe tomar como referencia para la elaboración de sus diseños las características de cada producto y basarse en las normas y los códigos locales, para completar los detalles del diseño.

Para el diseño de la mampostería en Colombia se sigue el Título D, del Reglamento de Construcción Sismo Resistente.

El Título D de este Reglamento establece los requisitos mínimos de diseño y construcción para las estructuras de mampostería y sus elementos. Estas estructuras tienen un nivel de seguridad comparable a las estructuras de otros materiales, cuando se diseñan y construyen de acuerdo con los requisitos establecidos en el reglamento.

Sin embargo el Reglamento de Construcción Sismo Resistente NSR-10, no define el diseño de elementos como anclajes a la mampostería, como si lo hace el “ACI 530/530.1-13 Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures (TMS 402-13/ACI 530-13 / ASCE 5-13)”.

Aunque las referencias nombradas pueden tomarse como una guía, no contienen información relacionada de anclajes post-instalados en mampostería hueca, por lo que en el presente documento se presentaran los resultados de los ensayos realizados el comportamiento de los anclajes de inyección que consisten en una varilla roscada introducida en una perforación en donde se ha dispuesto un socket o malla con resina híbrida para el anclaje.

## **1.1 Organización del documento**

El presente documento ha sido desarrollado en cuatro capítulos que buscan presentar la sustentación del estudio. El documento se presenta de la siguiente forma:

En el Capítulo 1, se presenta una breve introducción, en la cual se plantea la problemática sobre la cual se sustenta el desarrollo del presente estudio, a la vez que se enumeran los objetivos generales y específicos que guían esta investigación.

En el Capítulo 2 se presentan los fundamentos teóricos sobre los cuales se sustenta la investigación, definiciones y metodologías requeridas para el desarrollo del presente estudio y una relación de la normatividad existente que rige el análisis y el diseño objeto del presente documento.

El Capítulo 3 presenta el estado del arte, en donde se traen a referencia investigaciones realizadas con pernos de anclaje instalados en mampostería.

El Capítulo 4 presenta el desarrollo general de la investigación, incluyendo los resultados y análisis de los mismos.

Finalmente en el capítulo 5 se presentan las conclusiones y recomendaciones derivadas del trabajo de investigación.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general:**

Determinar el comportamiento de los pernos de anclaje post-instalados en unidades de mampostería hueca para ser sometidos a cargas de tensión. El sistema de anclaje a estudiar consistente en anclajes de inyección conformados por una varilla roscada introducida en una perforación donde se ha dispuesto un socket o malla con resina híbrida para fijar el anclaje.

### **1.2.2 Objetivos específicos:**

- Caracterizar, definir el desarrollo de las pruebas o ensayos que permitan evaluar el comportamiento de pernos de anclaje post-instalados, sometidos a cargas de tensión.
- A partir de los análisis de resultados de los especímenes ensayados, generar las recomendaciones correspondientes a tener en cuenta en el futuro para la realización de ensayos similares.
- Mediante ensayos se pretende definir las características del sistema de anclaje para mampostería hueca de manera que pueda ser incorporado en las obras, si es adecuadamente diseñado y construido.

## 2.Marco Teórico

De la misma manera como se realiza el diseño y se realiza la construcción de estructuras en mampostería, los anclajes de inyección también requieren ser diseñados y construidos de acuerdo con los reglamentos nacionales correspondientes. Los anclajes en mampostería pueden ser usados en la fijación y / o soporte de elementos estructurales o no estructurales. La falla de anclajes podría causar un riesgo inmediato para la vida humana y posiblemente conducir a consecuencias económicas considerables.

El presente trabajo se desarrolla para analizar el comportamiento de los sistemas de anclaje a tracción, conformados por una varilla roscada introducida en una perforación donde se ha dispuesto un socket o malla con resina híbrida para fijar el anclaje a mampostería hueca.

La Mampostería es la construcción de muros mediante unidades individuales las cuales son colocadas en forma sistemática, siendo unidas por mortero. Los materiales más comunes en mampostería son: bloques y ladrillos de arcilla, piedra y bloques de concreto.

La mayoría de los bloques tienen huecos en el centro, los cuales ofrecen diversas posibilidades en la construcción de mampostería, en general, proporcionando gran resistencia a la compresión, es común que los huecos se llenen con acero y un “grouting” para que el muro trabaje como estructura.

Como la mampostería tiene un uso tan extendido en las construcciones ya sea como elementos de fachada o elementos divisorios es común encontrar la necesidad de fijar mediante anclajes elementos a esta. Los muros son elementos de gran rigidez para fuerzas aplicadas en su plano y de baja rigidez y resistencia cuando se aplican fuerzas perpendiculares a su plano, por lo cual es muy habitual fijar la mampostería mediante

anclajes a los diafragmas superiores para estabilizarla ante solicitaciones fuera del plano, en donde esta no es tan resistente.

La mampostería en general es una forma de construcción muy duradera. Sin embargo, los materiales utilizados, la calidad del mortero, la mano de obra y la forma como son colocadas las unidades, influyen en la calidad y durabilidad de la construcción.

Para obtener una mayor durabilidad de la mampostería, se siguen los códigos de diseño, en Colombia se sigue el Título D, del Reglamento de Construcción sismo resistente.

El Título D de este Reglamento establece los requisitos mínimos de diseño y construcción para las estructuras de mampostería y sus elementos. Estas estructuras tienen un nivel de seguridad comparable a las estructuras de otros materiales, cuando se diseñan y construyen de acuerdo con los requisitos establecidos en el reglamento.

El Título D, establece que las estructuras de mampostería deben diseñarse por el método del estado límite de resistencia utilizando las combinaciones de carga, descritas en B.2.4, y los requisitos del Título D que se presentan para este método. No obstante, se permite el diseño de estructuras de mampostería por el método de esfuerzos de trabajo admisibles utilizando las combinaciones de carga, descritas en B.2.3 y para el efecto deben emplearse los requisitos alternos presentados en el Apéndice D-1 – Diseño de estructuras de mampostería por el método de los esfuerzos de trabajo admisibles. Todo el diseño de la mampostería debe realizarse por uno de los dos métodos mencionados.

En el numeral D.2.1, clasifica o reconoce los siguientes tipos de mampostería:

- Mampostería reforzada
- Mampostería parcialmente reforzada
- Mampostería no reforzada
- Mampostería de muros
- Mampostería de muros diafragma
- Mampostería reforzada externamente

Para el presente trabajo se utilizaron bloques de perforación horizontal en arcilla y bloques de perforación vertical en concreto, sin ningún tipo de refuerzo, es decir mampostería no reforzada.

De acuerdo con lo indicado en D.9.1.3 del NSR-10. Los muros de este tipo de mampostería deben tener un espesor mínimo nominal de 120 mm, exceptuando los



espesores mínimos establecidos para viviendas de uno y dos pisos, por lo anterior en este trabajo no se utilizaran espesores de mampostería inferiores a 120mm.

Las restricciones al uso de la mampostería no reforzada se deben basar en lo establecido al respecto en el Capítulo A.3 del NSR-10. En donde básicamente se establece que la mampostería no reforzada sólo puede utilizarse como sistema de resistencia sísmica en aquellas regiones de las zonas de amenaza sísmica baja donde el valor de  $A_a$  sea menor o igual a 0.05. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad mínima de disipación de energía en el rango inelástico (DMI).

La mampostería no reforzada con bloques de perforados puede usarse en muros de mampostería confinada, como se establece en los numeral D.10.3.2 del NSR-10 y en muros divisorios que como se define en el título E, son aquellos que no llevan más que su propio peso y que no cumplen ninguna función estructural para soportar cargas verticales u horizontales y por lo tanto pueden ser removidos en cualquier momento sin comprometer la seguridad estructural del conjunto, sin embargo deben estar fijados a la parte superior al sistema estructural con el objeto de evitar su vuelco.

Pero como no pueden soportar cargas verticales adicionales a su propio peso en la práctica, estos elementos se dejan dilatados de las placas superiores en la dirección vertical, requiriendo un elemento de anclaje de la mampostería a la placa superior o diafragma de piso.

Sin embargo el reglamento De Construcción Sismo Resistente NSR-10, no define el diseño de elementos como anclajes a la mampostería, como si lo hace el “ACI 530/530.1-13 Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures (TMS 402-13/ ACI 530-13 / ASCE 5-13)”.

La norma ACI 530 se producen a través del esfuerzo conjunto de la sociedad de mampostería (TMS), el Instituto Americano concreto (ACI) y del Instituto de ingeniería de la sociedad americana de ingenieros civiles (ASCE/SEI) a través de la Comisión conjunta para estándares en mampostería (MSJC).

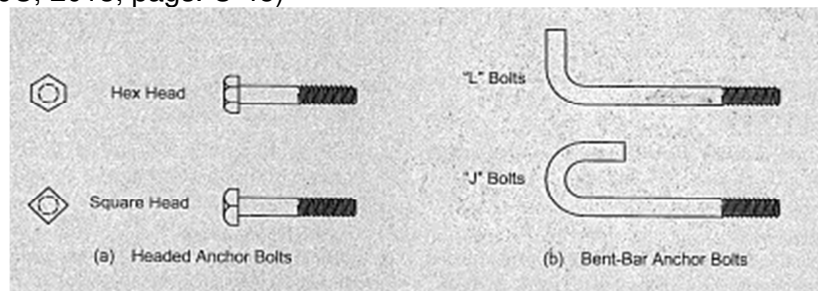
La ETAG 029 y sus correspondientes anexos se aplican a los anclajes de inyección que consisten en una varilla roscada o barra de refuerzo que se introduce en un socket o malla. El mortero en el anclaje es colocado en los agujeros perforados en la mampostería y el anclaje o unión se realiza por medio de enclavamiento mecánico.

## 2.1 Parámetros de ACI 530-13 para anclajes en mampostería

De acuerdo con (MSJC, 2013) en ACI 530 se permite el uso de pernos de anclaje con cabeza y pernos con barras dobladas L embebidos en “grouting”, se permiten también los pernos de anclaje con diámetros desde los 6.4mm que se anclen en las juntas de mortero con un espesor mínimo de 12.7mm para los cuales podrá aplicarse las secciones correspondientes considerando como si estuvieran incrustados en el “grouting”.

**Figura 2-1:** Tipos de pernos de anclajes preinstalados

Fuente: (MSJC, 2013, págs. C-48)



Los anclajes colocados en la parte superior de las celdas con “grouting” y adheridos a las vigas deben quedar colocados para mantener un mínimo de 6,4 mm de mortero entre los pernos y la unidad de mampostería. Los pernos de anclaje colocados en orificios perforados en las caras frontales de las unidades de mampostería hueca deberán permitir el contacto con la unidad de mampostería donde el perno pasa a través de la pared, pero la parte del perno que está dentro de la celda rellena debe posicionarse manteniendo un mínimo de (6,4 mm) de lechada fina entre la cabeza o dobles de cada perno y la unidad de mampostería o (12,7 mm) de lechada gruesa entre la cabeza o dobles de cada perno y la unidad de mampostería.

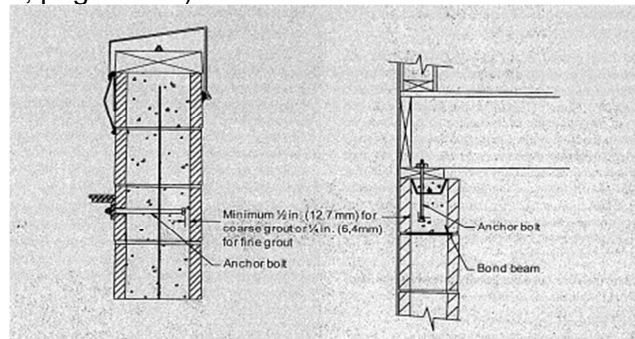
La distancia libre entre los pernos de anclaje paralelos no debe ser menor que el diámetro nominal del perno de anclaje, ni menor que en. (25,4 mm). Los valores indicados sólo se aplican a los tipos específicos de pernos mencionados. Los cuales se mostraron en la Figura 2-2

La mayoría de los ensayos en pernos de anclaje en mampostería se han realizado en pernos de anclaje embebidos en “grouting”. Los valores límites para colocación de los pernos de anclaje, se basan en prácticas de construcción exitosas durante muchos años. Los límites están destinados a facilitar el flujo de lechada entre los pernos y la unidad de mampostería.

Las investigaciones llevadas a cabo, han establecido que no hay diferencia en la resistencia de un perno de anclaje instalado a través de un agujero ajustado en la cara de una unidad de mampostería hueca y en un agujero sobredimensionado en unidades de mampostería rellenas con “grouting”.

**Figura 2-2:** Ejemplo de anclajes en mampostería

Fuente: (MSJC, 2013, págs. C-48)



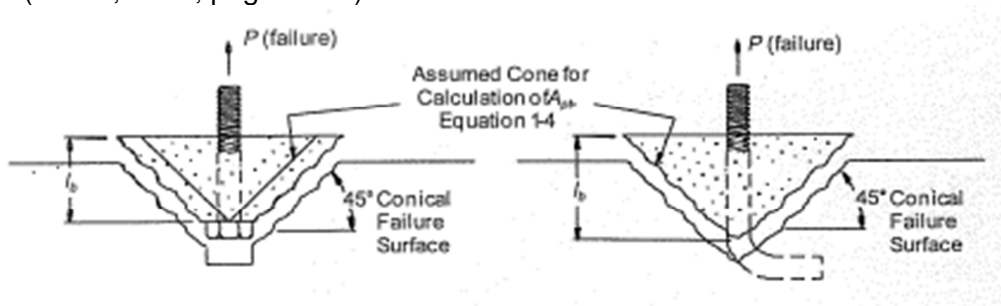
En pernos con cabeza y pernos con dobles sometidos a carga axial de tensión, en el numeral 1.17.2 se define el área proyectada  $A_{pt}$ , mediante la ecuación 2-1.

$$A_{pt} = \pi l_b^2 \quad \text{Ecuación 2-1}$$

La porción de proyección superpuesta que se encuentre fuera de la mampostería se deduce del valor de  $A_{pt}$  calculado usando la ecuación 2-1. Cuando las áreas proyectadas de los pernos de anclaje se superponen, el valor de  $A_{pt}$  calculado usando la ecuación 2-1 se ajustará de manera que ninguna porción de mampostería se incluya más de una vez.

**Figura 2-3:** Falla típica en la mampostería por breakout

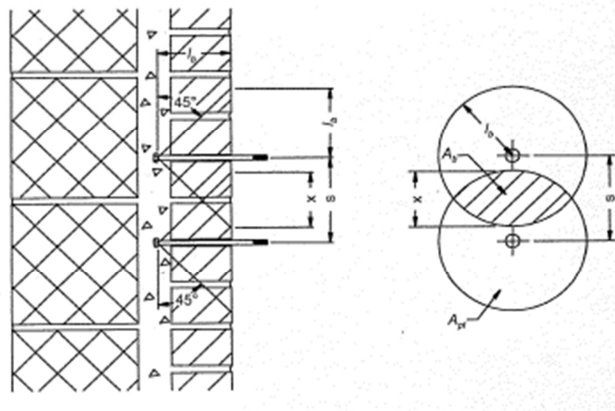
Fuente: (MSJC, 2013, págs. C-49)



El código requiere que cuando las áreas proyectadas de los pernos de anclaje se superpongan, se debe hacer un ajuste para que la mampostería no quede sobrecargada.

Cuando las áreas proyectadas de dos o más anclas se traslapan, los anclajes con áreas proyectadas superpuestas deben tratarse como un grupo de anclaje. Las áreas proyectadas de los anclajes en el grupo se suman, esta área se ajusta para áreas traslapadas y la capacidad del grupo de anclaje se calcula usando el área ajustada en lugar de  $A_{pt}$ , véase la siguiente figura.

**Figura 2-4:** Falla en mampostería por sobre posición de conos de falla  
Fuente: (MSJC, 2013, págs. C-49)



Como se indica en (MSJC, 2013), los resultados de los ensayos realizados en los tornillos de anclaje de cabeza en tensión mostraron que los pernos de anclaje a menudo fallaban por el desprendimiento de una sección de mampostería de forma cónica. El área,  $A_{pt}$ , es el área proyectada del supuesto cono de falla. El cono se origina en el punto de apoyo de compresión de la incrustación e irradia a 45 grados en la dirección de la tracción véase la Figura 2-3. Otros modos de fallo de tracción también son posibles. Estos modos incluyen arranque (enderezamiento de los tornillos doblados o en L) y fractura del acero de anclaje.

De manera similar en el numeral el área proyectada a cortante  $A_{pv}$ , para anclajes con cabeza y pernos con dobles sometidos a carga cortante, mediante la ecuación 2-2

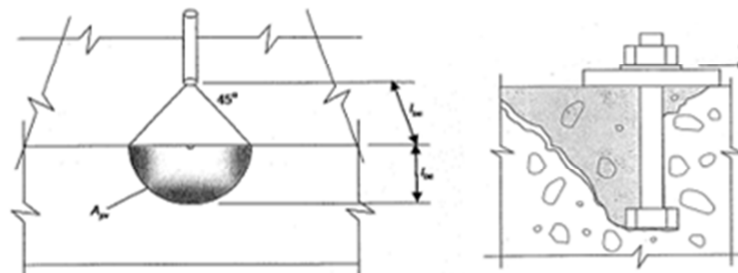
$$A_{pv} = \frac{\pi l_{de}^2}{2} \quad \text{Ecuación 2-2}$$

La porción de proyección superpuesta que se encuentre fuera de la mampostería se deduce del valor de  $A_{pv}$  calculado usando la ecuación 2-2. Cuando las áreas proyectadas de los pernos de anclaje se superponen, el valor de  $A_{pv}$  calculado usando la ecuación 2-

2 se ajustará de manera que ninguna porción de mampostería se incluya más de una vez.

Los resultados de pruebas en pernos de anclaje sometidos a cortante mostraron que estos fallaban a menudo por el desprendimiento de una sección de mampostería de forma cónica. El área  $A_{pv}$  es el área proyectada del supuesto cono de falla. El cono se origina en el punto de apoyo de la incrustación e irradia a 45 grados en la dirección hacia el borde libre de la mampostería véase la Figura 2-5, El aplastamiento en la mampostería y la fractura del acero de anclaje son otros posibles modos de falla. Cuando las áreas proyectadas de dos o más anclajes se superponen, el diseño a cortante de estos anclajes debe seguir el mismo procedimiento que para el diseño de tensión para áreas de influencia superpuesta.

**Figura 2-5:** Falla típica de la mampostería en cortante  
Fuente: (MSJC, 2013, págs. C-51)



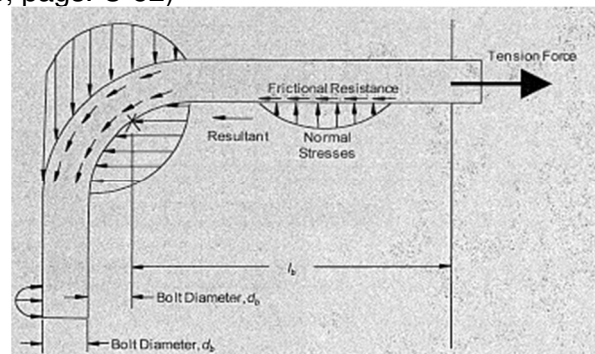
La longitud efectiva de empotramiento para los pernos de anclaje  $l_b$ , debe ser medida perpendicularmente desde la superficie de la mampostería hasta la superficie en donde se produce el apoyo por compresión en la cabeza del perno o el extremo doblado del perno, produciendo un aplastamiento sobre la mampostería. Para pernos con extremo doblado se debe restar un diámetro, los ensayos han demostrado que la fuerza de “pull out” para de este tipo de perno se correlaciona mejor usando una longitud de empotramiento reducida, lo anterior debido a que el radio de curvatura, concentra las tensiones en un punto menor que la longitud de empotramiento total.

La longitud mínima permisible de empotramiento efectivo para los tornillos de cabeza y barra dobladas debe ser mayor de 4 diámetros de perno o 50,8 mm. El requisito mínimo de longitud de empotramiento se considera un mínimo práctico basado en métodos de construcción típicos para incrustar pernos de anclaje en mampostería. Adicionalmente no

se han realizado ensayos para pernos de anclaje con una longitud de empotramiento inferior a cuatro diámetros.

La distancia del borde del perno de anclaje,  $l_{be}$ , se medirá en la dirección de carga, desde el borde de la mampostería hasta el centro de la sección transversal del perno de anclaje.

**Figura 2-6:** Distribución de esfuerzos de barras dobladas  
Fuente: (MSJC, 2013, págs. C-52)



### 2.1.1 Determinación de acciones sobre los anclajes.

De acuerdo con (MSJC, 2013), se establece que las fuerzas para diseño de anclajes, deberán cumplir con los requisitos del código de construcción aprobado legalmente, pero cuando el código de construcción aprobado legalmente no provea requisitos mínimos de conexión y fuerzas de diseño de anclaje para los anclajes se usaran los requisitos de ASCE 7.

La experiencia ha demostrado que una de las causas principales de las fallas de la construcción en mampostería durante los terremotos es el inadecuado anclaje de las paredes en mampostería a los pisos y techos de diafragma, por lo anterior ACI 530-13 ha establecido un anclaje mínimo arbitrario basado en la práctica previamente establecida, mediante dos métodos de diseño, por esfuerzos admisibles y por resistencia.

### 2.1.2 Diseño por esfuerzos admisibles.

Históricamente en (MSJC, 2013), se ha permitido un aumento de un tercio en el esfuerzo admisible para combinaciones de carga que incluyen cargas sísmicas o de viento. El origen y la razón de permitir el aumento de un tercio no están claros. Desde el punto de vista de la confiabilidad estructural, permitir un aumento de un tercio en los esfuerzos es

una forma pobre de manejar los efectos de las combinaciones de carga. Por lo tanto, el aumento de tensión de un tercio ya no está permitido.

Se obtuvieron las provisiones para diseño de pernos de anclaje embebidos en "grouting" por esfuerzos permisibles calibrando las disposiciones de resistencia de diseño correspondientes para producir resultados similares

### **2.1.2.1 Combinaciones de carga**

De acuerdo con lo indicado en (MSJC, 2013), Cuando el código de construcción aprobado legalmente no proporcione combinaciones de carga para diseñar por esfuerzos admisibles se deberá diseñar para resistir las combinaciones de carga especificadas por ASCE-7 e IBC.

La adecuación estructural de la construcción de mampostería requiere que la resistencia a la compresión de la mampostería sea igual o superior a la resistencia especificada. La resistencia a la compresión especificada  $f'_m$  sobre el que se basa el diseño para cada parte de la estructura debe indicarse en los planos del proyecto.

Las ediciones de 1995, 1999, 2002 y 2005 contenían disposiciones para permitir el uso de combinaciones de carga por esfuerzos admisibles, para compensar la falta de combinaciones de carga en niveles de servicio. Este procedimiento permite el cálculo de "pseudo resistencias" sobre la base de tensiones admisibles, ya no está incluido en el código porque las ediciones recientes de ASCE 7 incluyen combinaciones de carga a nivel de servicio y nivel de resistencia. El cálculo de los esfuerzos no debe exceder de los requerimientos que se indicaran a continuación.

### **2.1.2.2 Determinación de cargas admisibles por ensayos**

De acuerdo con (MSJC, 2013), Los pernos de anclaje se deben ensayar de acuerdo con la norma ASTM E488, por lo cual se realizarán al menos cinco ensayos. Las condiciones de carga del ensayo deberán ser representativas del uso previsto del perno de anclaje

Las cargas permisibles de perno de anclaje utilizadas para el diseño no deberán exceder el 20 % de la carga de falla promedio de las pruebas.

### **2.1.2.3 Determinación de cargas admisibles a tensión mediante cálculos.**

La determinación de las cargas admisibles de los pernos de anclaje de cabeza y barra doblada embebidos en “grouting” por cálculo, se determinará de conformidad con las siguientes disposiciones:

La carga axial de tensión admisible de los pernos de anclaje con cabeza, se define del menor de los valores determinados por las ecuaciones 2-3 y 2-4. La ecuación 2-3 define la carga de tracción axial admisible gobernada por la ruptura de la mampostería mientras que la ecuación 2-4 define la carga de tracción axial admisible gobernada por la resistencia de del acero.

$$B_{ab}=1.25A_{PT} \sqrt{f'_m} \quad \text{Ecuación 2-3}$$

$$B_{as}=0.6A_b f'_y \quad \text{Ecuación 2-4}$$

La carga axial de tensión admisible de los pernos de anclaje con barras dobladas L, se define del menor de los valores determinados por las ecuaciones 2-5, 2-6 y 2-7. La ecuación 2-5 define la carga de tracción axial admisible gobernada por la ruptura de la mampostería, la ecuación (2-6) define la tensión admisible gobernada por el “pull out” y la ecuación (2-7) define la carga de tracción axial admisible gobernada por la resistencia de del acero.

$$B_{ab}=1.25A_{pt} \sqrt{f'_m} \quad \text{Ecuación 2-5}$$

$$B_{ap}=0.6 f'_m e_d d_b + 120\pi (f b + e_b + d_b) d_b \quad \text{Ecuación 2-6}$$

$$B_{as}=0.6A_b f'_y \quad \text{Ecuación 2-7}$$

### **2.1.3 Diseño por resistencia.**

La resistencia requerida se determinará de acuerdo con las combinaciones de carga de diseño del código de construcción adoptado legalmente. Cuando el código de construcción aprobado legalmente no proporcione combinaciones de cargas factorizadas, los miembros deberán estar diseñados para resistir la combinación de cargas especificadas en ASCE 7 para el diseño por resistencia.



Los elementos que componen la mampostería deberán ser proporcionados de manera que la resistencia de diseño sea igual o superior a la resistencia requerida. La resistencia del diseño es la fuerza nominal multiplicada por el factor de resistencia  $\phi$ .

El factor de reducción de la resistencia incorpora la diferencia entre la resistencia nominal proporcionada de acuerdo con las disposiciones del capítulo 3 y la resistencia esperada de la mampostería construida. El factor de reducción de la fuerza también explica las incertidumbres en la construcción, las propiedades del material, las fuerzas de miembro calculadas versus las de los miembros reales, así como el modo de fallo anticipado.

Para el diseño de los pernos de anclaje embebidos en “grouting” en mampostería no reforzada se usan los siguientes coeficientes de Resistencia. Para los casos en que la resistencia nominal de un perno de anclaje se controla mediante un desprendimiento o “breakout” de la mampostería, por aplastamiento en la mampostería, o por “pryout” del perno de anclaje,  $\phi$  se tomará como 0,50. Para los casos en que la fuerza nominal de un perno de anclaje se controla mediante la resistencia del acero,  $\phi$  se tomará como 0,90. Para los casos en que la fuerza nominal de un perno de anclaje se controla mediante deslizamiento “pull out” del anclaje,  $\phi$  se tomará como 0,65

Debido a la amplia variación en las nuevas configuraciones de los pernos de anclaje, el diseño de los pernos de anclaje puede basarse en ensayos físicos o pueden referirse a las publicaciones o literatura de productos, publicada por los fabricantes de anclajes. Para el caso de los pernos de anclaje con cabeza y barra doblada la resistencia se puede definir mediante cálculos.

### ***2.1.3.1 Resistencia nominal determinada mediante pruebas.***

Las resistencias nominales determinadas por cálculos no cubren todos los tipos de pernos de anclaje como anclajes de expansión, pernos de palanca, pernos de anclaje de camisa, los anclajes mencionados deben diseñarse utilizando datos de prueba. Los ensayos también se pueden utilizar para establecer mayores resistencias que las obtenidas mediante cálculos

La ASTM E488 limita la variabilidad de la resistencia de los pernos de anclaje en la mampostería con el objeto de que los pernos de anclaje puedan utilizarse de forma no redundante y segura, lo anterior se garantiza realizando como mínimo cinco pruebas. Suponiendo una distribución normal y un coeficiente de variación del 20% para los datos

del ensayo, se obtiene posteriormente un percentil del 5% para la definir la resistencia nominal como el 65% del valor de resistencia promedio. Los modos de fallo obtenidos en las pruebas deben ser reportados y se deben utilizar apropiados valores  $\phi$  para establecer las resistencias de diseño.

Los tornillos de anclaje deberán ser ensayados de acuerdo con la norma ASTM E488, realizarán al menos cinco ensayos para determinar el desempeño. Las condiciones de carga del ensayo deberán ser representativas del uso previsto del perno de anclaje. Las fuerzas nominales del perno de anclaje utilizadas para el diseño no deberán exceder el 65 por ciento de la carga de falla promedio de las pruebas

### **2.1.3.2 Resistencia nominal determinada mediante cálculos.**

Las ecuaciones de diseño proporcionadas en el código provienen de investigaciones llevadas a cabo sobre pernos de anclaje de cabeza y pernos de anclaje de barra. Las fuerzas nominales de los pernos de anclaje de cabeza y barra doblada incrustados en “grouting” se determinarán de conformidad con las siguientes disposiciones.

### **2.1.3.3 Resistencia nominal a la tracción.**

La resistencia nominal a la tracción axial  $\phi B_{an}$  de los pernos de anclaje con cabeza embebidos en “grouting” se determina mediante la multiplicación del valor de  $\phi$  aplicable por el menor valor obtenido de las siguientes ecuaciones:

$$B_{anb} = 4A_{pt}\sqrt{f'_m} \quad \text{Ecuación 2-8}$$

$$B_{ans} = A_b f_y \quad \text{Ecuación 2-9}$$

La ecuación 2-8 define la resistencia a la tracción de un perno de anclaje gobernado por la resistencia del acero utilizando el área efectiva de esfuerzo de tracción del anclaje (es decir, incluyendo la reducción en el área del vástago de anclaje debido a las roscas) y la ecuación 2-9 define la resistencia por ruptura o por desprendimiento de un volumen aproximadamente cónico de mampostería que comienza en la Cabeza del anclaje y que tiene una superficie de fractura aproximadamente cónica.

La resistencia nominal a la tracción axial  $\phi B_{an}$  de los pernos de anclaje de barra doblada (perno J o L) embebidos en “grouting” se determina mediante la multiplicación del valor de  $\phi$  aplicable por el menor valor obtenido de las siguientes ecuaciones:

$$B_{anb} = 4A_{pt} \sqrt{f'_m} \quad \text{Ecuación 2-10}$$

$$B_{anp} = 1.5f'_m e_b d_b + 300\pi(f b + e_b + d_b)d_b \quad \text{Ecuación 2-11}$$

$$B_{ans} = A_b f_y \quad \text{Ecuación 2-12}$$

La resistencia a la tracción de un perno de anclaje de barra doblada (perno J o L) se rige por la resistencia y la fluencia del acero de anclaje “steel yielding” mediante la ecuación 2-12, por desprendimiento del cono de tensión de la mampostería “masonry breakout” mediante la ecuación 2-10 o por enderezamiento y extracción del perno de anclaje de la mampostería “pull out” mediante la ecuación 2-11, se anota que el segundo término de la ecuación 2-11 es la porción de capacidad del perno de anclaje por adherencia entre el perno y el “grouting”. En consecuencia se requiere tomar las precauciones necesarias para asegurar que los pernos de anclaje de barra doblada estén limpias y libres de escombros que puedan interferir en la adherencia del perno de anclaje y el “grouting”.

## 2.2 METODOLOGIA DE ENSAYOS ESTABLECIDA POR ASTM E488-15

Aunque el presente trabajo no se basara en esta norma, se considera importante relacionar los aspectos más relevantes de esta debido a que la gran mayoría de las investigaciones que se han realizado se han basado en esta norma. Si bien la norma citada pareciera tener según lo indica su nombre una aplicación exclusiva para para anclajes embebidos en concreto, el ACI 530-13 ha encontrado valida esta norma para ensayar anclajes en mampostería ya que se han encontrado comportamientos muy similares entre los anclajes embebidos en concreto y los anclajes en mampostería embebidos en “grouting”.

### 2.2.1 Equipo de prueba:

De acuerdo con (ASTM E488, 2015), Se requiere utilizar dispositivos de medición electrónicos de carga y desplazamiento calibrados que cumplan con la velocidad de muestreo especificada. Utilizar equipos de medición de carga con una precisión de  $\pm 1\%$

de la carga final prevista y calibrados de acuerdo con las Prácticas, utilizar dispositivos de medición de desplazamiento con una precisión de  $[\pm 0,025 \text{ mm}]$  y dispositivos de medición para el ancho de las fisuras con una precisión de  $[\pm 0,013 \text{ mm}]$ . Para registrar mediciones de carga y desplazamiento, usar un sistema de adquisición de datos capaz de registrar al menos 120 puntos de datos por instrumento para cada prueba individual, antes de alcanzar la carga máxima.

El equipo de ensayo deberá tener una capacidad suficiente para impedir que se produzcan daños en sus componentes bajo la carga final prevista y deberá tener una rigidez suficiente para asegurar que las cargas de tensión aplicadas permanezcan paralelas a los ejes de los anclajes y que las cargas de cortante aplicadas permanezcan paralelas a la superficie del miembro de prueba durante la prueba.

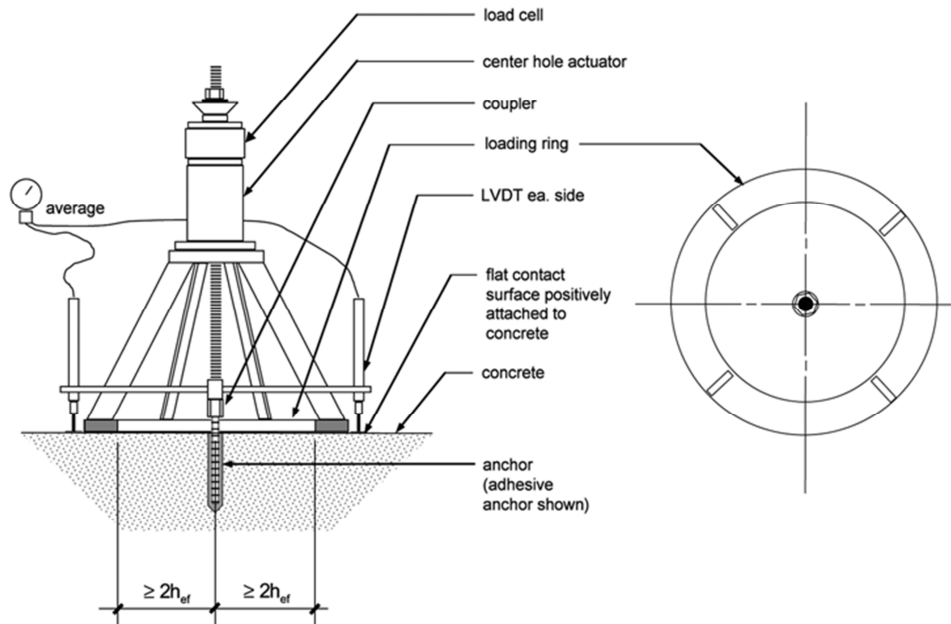
### 2.2.1.1 Equipo de prueba para cargas de tensión

De acuerdo con (ASTM E488, 2015), el soporte para el equipo de prueba de tensión debe ser de tamaño suficiente para evitar el fallo del miembro de prueba circundante. La varilla de carga deberá tener un diámetro suficiente para desarrollar la resistencia final prevista del herraje de anclaje con un alargamiento elástico que no supere el 10% del alargamiento elástico previsto del anclaje y se fijará al sistema de anclaje mediante un conector que minimice la transferencia directa del esfuerzo de flexión al anclaje. El o los dispositivos de medición de desplazamiento se colocarán para medir el movimiento de los anclajes con respecto a los puntos en el miembro de prueba de modo que el dispositivo no sea influenciado durante la prueba por deflexión o fallo del anclaje o del elemento de prueba. En las siguientes figuras se muestran ejemplos de configuraciones típicas de prueba.

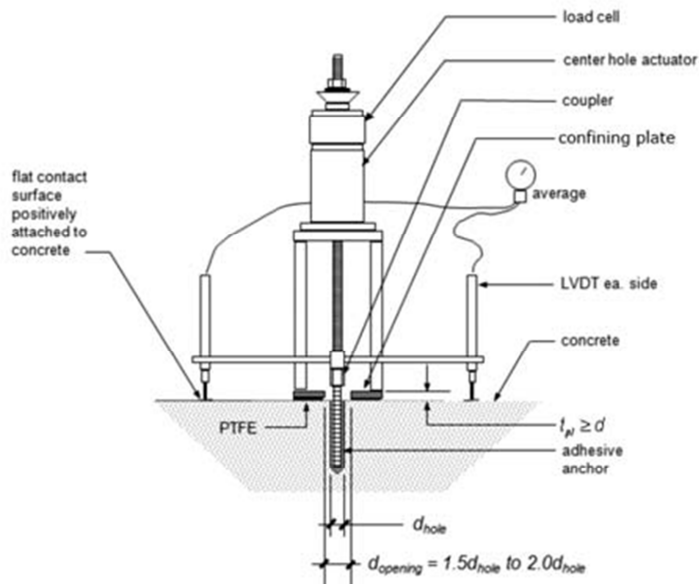
**Tabla 2-1:** Tolerancias mínimas de los equipos y soportes  
Fuente: (ASTM E488, 2015)

| All Anchors                   |               |  |
|-------------------------------|---------------|--|
| Spacing Between Test Supports |               | Distance from Anchor to Edge of Test Support |
| 4.0 $h_w$                     | Tension Loads | 2.0 $h_w$                                    |
|                               | Shear Loads   |  |
| 4.0 $c_w$                     |               | 2.0 $c_w$                                    |

**Figura 2-7:** Ejemplo de montaje para ensayo de tensión no confinada  
 Fuente: (ASTM E488, 2015, pág. 3)



**Figura 2-8:** Ejemplo de montaje para ensayo de tensión confinada  
 Fuente: (ASTM E488, 2015, pág. 5)



### 2.2.1.2 Láminas de carga para pruebas en tensión.

Para cargas de tensión el espesor de la placa a la proximidad inmediata del anclaje a ensayar deberá ser igual o mayor que el diámetro nominal del anclaje a ensayar

### **2.2.1.3 Configuración confinada**

En la Figura 2-8, se muestra una configuración de ensayo de tensión confinada típica para anclajes, en la que la fuerza de reacción se transfiere al hormigón cerca del anclaje. La placa de confinamiento deberá tener un agujero con un diámetro comprendido entre 1,5 Ø hueco y 2,0 Ø hueco y un espesor de placa  $\geq d$ . Colocar una lámina de "politetrafluoroetileno" (PTFE) u otros materiales limitadores de fricción que evitará el contacto de la placa de confinamiento con el material de base con un espesor mínimo de 0,5 mm entre la placa de carga y la superficie del material de base.

### **2.2.1.4 Configuración no confinada**

En la Figura 2-7, se muestran una configuración de prueba de tensión no confinada típica con soportes espaciados según se requiera para permitir el desarrollo sin restricciones de una superficie cónica de fractura de hormigón. Se considerará que los valores indicados en el Cuadro 1 para las separaciones necesarias entre el ancla y el soporte de ensayo cumplen este requisito.

## **2.2.2 Sistema de anclaje**

Los anclajes o sistema de anclaje deberán ser representativos del tipo y lote que se usará en la construcción del campo, e incluirán el "hardware" de anclaje normalmente requerido para su uso.

Especificar los requisitos del miembro de prueba en el que se va a instalar y ensayar el anclaje. La ubicación y orientación de cualquier refuerzo incorporado en elementos de concreto deberán cumplir con los requisitos correspondientes.

### **2.2.2.1 Elementos de concreto para los ensayos**

La fundida o colado y curado de los elementos para las pruebas en concreto deberá cumplir con los requisitos correspondientes citados en ASTM E488 a menos que se especifique lo contrario.

Si el miembro está fundido verticalmente, la altura máxima debería ser de 1,5 m. En general, el espesor del elemento de ensayo depende de los requisitos de ensayo.

El miembro de ensayo deberá tener un espesor mínimo de 1,5 hef, a menos que la aplicación de ensayo específica requiera un espesor específico.

El concreto para los elementos de prueba deberá cumplir con los requisitos correspondientes. Para la elaboración de la mezcla, usar sólo cemento portland conforme a la Especificación ASTM C150 para hormigón de peso normal o concreto ligero, a menos que se especifique lo contrario, si hay otros materiales cementosos, estos deberán ser usados en los especímenes de concreto a probar. Los agregados a usar estarán bajo la Especificación ASTM C33, con un tamaño máximo de [25 mm] o bajo la especificación ASTM C330 para la elaboración de concreto liviano.

Los especímenes en concreto deben ser debidamente preparados y su resistencia a la compresión debe ser probada acuerdo con la Práctica ASTM C31 y el Método de Ensayo ASTM C39.

### **2.2.3 Procedimientos generales de ensayo**

La Instalación de los anclajes se realiza de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Registrando una descripción del procedimiento, herramientas y materiales utilizados para instalar los anclajes, se registrara cualquier desviación de lo que inicialmente se haya especificado.

Los orificios se perforan con un taladro de martillo (percusión rotativa) con brocas de tungsteno para perforaciones según se indica en ASTM E488, a menos que se especifique lo contrario.

El número mínimo de muestras de anclaje o de repeticiones se especificará como parte del programa de pruebas.

#### **2.2.3.1 Aplicación de la carga**

Aplicar una carga inicial de hasta el 5% de la capacidad de carga máxima estimada del sistema de anclaje a ensayar, con el fin de llevar a todos los miembros a un completo aplastamiento.

La carga se aplicara con una velocidad de modo que la carga de pico o carga de falla, ocurra después de 1 a 3 min desde el inicio de la prueba

Realizar el ensayo bajo control de carga o desplazamiento. Una toma de datos una vez por segundo será aceptable.

### **2.2.3.2 Pruebas de capacidad a tensión bajo carga monotónica**

Para ensayos por carga de tensión en anclajes simples instalados en concreto no agrietados y sin efectos de bordes ni de espaciado, se requiere centrar el sistema de carga sobre el anclaje o los anclajes a ensayar para que los soportes del sistema de prueba cumplan con los requisitos de colocación indicados en la Tabla 2-1. Proporcionando un contacto uniforme entre la superficie del miembro de prueba y el sistema de soporte. En la alineación final del sistema de soporte, es necesario asegurar de que las fuerzas a aplicar a través de la barra de carga son perpendiculares a la superficie de la sección del miembro de prueba. Para cada serie de ensayos se especificará la cantidad de par o de pretensión aplicada al anclaje por la tuerca de fijación o el dispositivo de bloqueo y el procedimiento utilizado.

A menos que se especifique lo contrario, la barra de carga se debe colocar y sujetar de manera que la carga se aplique concéntricamente con el eje de anclaje. Cuando los grupos de anclajes deben cargarse simultáneamente a través de un dispositivo de carga común, es necesario especificar los detalles de la rigidez del dispositivo, la restricción de rotación y el punto de aplicación con su respectivo ángulo.

Para verificar la capacidad de carga de un anclaje de esquina e influenciado por dos bordes se requiere que el aparato de carga esté diseñado de tal manera que permita un fallo con ruptura de cono sin restricción en la esquina como se muestra en la siguiente figura. Cuando sea necesario para cumplir este requisito, el aparato de carga deberá estar apoyado fuera del miembro de prueba.

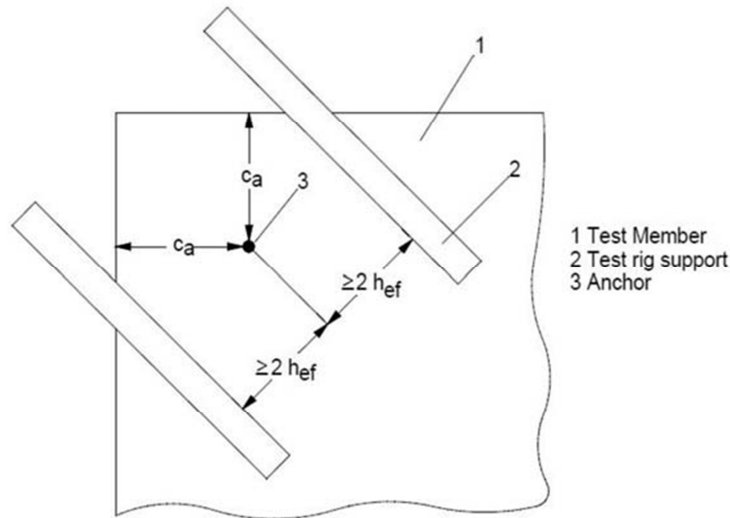
Para determinar el espaciado mínimo entre anclajes y la distancia al borde para evitar que los anclajes de prueba fallen por ruptura "splitting" en el concreto no agrietado, se instalan dos anclajes a la separación mínima  $S_{min}$  y la distancia mínima de los bordes  $C_{min}$  en los elementos de ensayo con un espesor mínimo  $h_{min}$ . La correcta selección de los valores  $S_{min}$ ,  $C_{min}$  y  $h_{min}$ , dependen de las características del anclaje a ensayar. La separación mínima de dos grupos de anclaje deberá ser de al menos  $3C_{min}$ .

Para grupos de anclajes con torque controlado, aplicar la carga de torque a los anclajes alternativamente en incrementos de  $0.2T_{inst}$ . Después de cada incremento se, inspeccione la superficie del concreto para ver si hay grietas. Se detiene el ensayo cuando aparecen fisuras en el concreto o el fallo del material de anclaje impidan que el torque se continúe incrementando. Para cada prueba, registrar el torque máximo, el valor



del torque que produce la formación de la primera grieta y el máximo torque que se puede aplicar a los anclajes.

**Figura 2-9:** Ejemplo prueba para determinar efectos de borde.  
Fuente: (ASTM E488, 2015, pág. 9)



Para carga controlada en anclajes menores como, anclajes de tornillo y anclajes adhesivos controlados por carga. Estos deben ser instalados de acuerdo con las instrucciones de instalación del fabricante y posteriormente cargar un grupo de dos anclajes en tensión a la falla.

Para los anclajes controlados por desplazamiento y los anclajes a corte que se pretenden fijar correctamente sin un torque de instalación, se deben instalar los anclajes de acuerdo con las instrucciones de instalación del fabricante y cargar un grupo de dos anclajes en tensión hasta la falla.

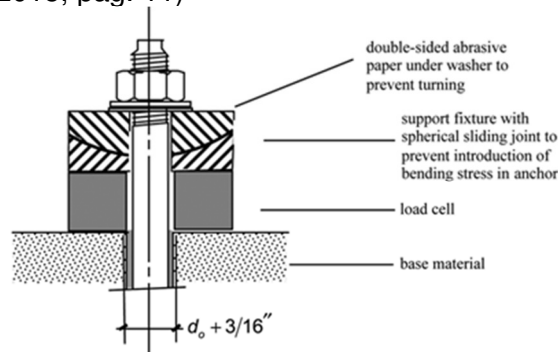
### **2.2.3.3 Pruebas de Torque**

La siguiente figura muestra los elementos esenciales de la configuración de prueba típica. El papel abrasivo de doble cara o equivalente tendrá una rugosidad suficiente para evitar la rotación de la arandela con respecto al dispositivo de prueba durante la aplicación del par. Son permitidos otros métodos para impedir la rotación de la arandela, siempre que no afecten la resistencia del anclaje. Aplica un torque creciente y se registra

el par y la correspondiente tensión inducida en el perno de anclaje. La arandela no deberá girar durante la aplicación del par.

**Figura 2-10:** Ejemplo prueba de torque

Fuente: (ASTM E488, 2015, pág. 11)



#### **2.2.3.4 Pruebas de Efectos Ambientales para Anclajes Adhesivos**

Estas pruebas se realizan para cuantificar el rendimiento de los anclajes adhesivos instalados en condiciones ambientales adversas. Algunas de las pruebas que se realizan son las siguientes:

##### **2.2.3.4.1 Sensibilidad a la limpieza de orificios:**

El objeto de estas pruebas es determinar la afectación en la resistencia del anclaje en determinadas condiciones de la perforación en el momento de instalar el anclaje, las cuales se describen a continuación:

- Reducción de limpieza en sustrato seco.
- Reducción de limpieza en sustrato húmedo.
- Sensibilidad a la instalación en hormigón saturado con agua
- Sensibilidad a la instalación en agujero lleno de agua en Hormigón saturado
- Sensibilidad a la instalación en hormigón sumergido
- Sensibilidad a la congelación y descongelación:
- Sensibilidad a la carga sostenida:

Dentro de las 48 h siguientes a la finalización del período de curado, la temperatura del elemento de ensayo se ajustará hasta que la temperatura registrada por los termómetros se estabilice a la temperatura objetivo. Se aplicará al anclaje una precarga de tensión que no supere el menos del 5% de la carga de tensión sostenida especificada o [1334 N]

antes de las lecturas de desplazamiento a cero. Después de poner a cero las lecturas de desplazamiento, se aumenta la carga sobre el anclaje a la carga de tensión sostenida especificada.

Se mantiene la mínima carga de tensión sostenida no inferior a la especificada y se mantiene la temperatura a la temperatura objetivo durante la prueba.

El desplazamiento del anclaje se registra durante la duración del ensayo. Como los desplazamientos suelen ser mayores en las primeras etapas, de la siguiente forma:

- Durante la primera hora: Cada 10 min.
- Durante las 6 h siguientes: Cada hora.
- Durante los próximos 10 días: Todos los días.
- A partir de entonces: Cada 5 a 10 días.

Se permitirá que las temperaturas en la cámara de ensayo varíen debido a efectos diarios y estacionales, pero la temperatura de la cámara requerida se mantendrá como promedio durante el período de prueba.

La temperatura del elemento de concreto ensayado se registrará a intervalos de una hora como máximo.

Alternativamente, se permitirá registrar la temperatura del elemento de concreto de prueba en intervalos máximos de 24 h siempre que la temperatura de la cámara tenga un acondicionamiento para mantener la temperatura de ensayo.

Al final de la prueba de carga sostenida del ensayo, se retira la carga sostenida y se realiza una prueba de tensión confinada.

En las pruebas de tensión con temperatura de instalación reducida, para verificar el comportamiento del anclaje a baja temperatura, se realizan ensayos de tensión en condición confinada, los anclajes deben ser instalados en concreto sin fisuras, y ser instalados a una temperatura inferior a 10°C.

### **2.3 Aprobación de anclajes para uso en mampostería ETAG 029**

La ETAG-029 se aplica a la utilización de anclajes de inyección en las unidades de mampostería de arcilla, silicato de calcio, concreto de peso normal, concreto con agregados livianos, hormigón celular curado en autoclave (AAC) y otros materiales similares. Los ensayos se realizarán en unidades individuales o en una pared. Si las

pruebas se realizan en una pared, el espesor de las juntas deben ser de unos 10 mm y las uniones deben estar completamente llenos con mortero.

Si las pruebas se llevan a cabo en unidades individuales, las unidades individuales pueden ser también ligeramente pretensadas (alrededor de 0,2 N/mm<sup>2</sup> compresión pretensado).

ETAG-029 se aplican si se cumplen las siguientes condiciones:

- Anclajes con un diámetro mínimo de 6 mm.
- La profundidad de anclaje mínima  $h_{ef}$  de 50 mm.
- La profundidad de anclaje máximo será  $h_{ef\ max} = h_{mín} - 30\ mm$ . (siendo  $h_{mín}$  el espesor del muro)
- Situaciones en las que el espesor mínimo de los miembros de mampostería en la cual van a ser instalados anclajes es de al menos  $h_{mín} = 80\ mm$ .
- Anclajes sujetos a acciones estáticas o cuasi-estática de tensión, cortante o combinado la tensión y el esfuerzo cortante o flexión.
- Se pueden utilizar en áreas con muy baja actividad sísmica. Es decir cubre sólo las aplicaciones donde los miembros de mampostería en la que están inmersos los anclajes están sujetos a acciones estáticas o cuasi-estática.

### **2.3.1 Vida útil asumida del producto de construcción.**

Las disposiciones y los métodos de verificación y evaluación incluidos o mencionados en la (European Organisation for Technical Approvals, 2013) ETAG 029 numeral 1.2, han sido escritos en base a la estimación de vida útil de los anclajes de inyección para un uso previsto de 50 años, siempre que los anclajes de inyección sean correctamente instalados y estén sujetos al uso apropiado.

"Estimación de vida útil" significa que, cuando se hace una evaluación de conformidad con lo dispuesto ETAG, y cuando esta vida laboral ha transcurrido, la vida útil real puede ser, en condiciones normales de uso, considerablemente más largo sin una mayor degradación que afecta a los requisitos esenciales.

### **2.3.2 Evaluación y Significado de aptitud de uso**

"Aptitud de uso" de un producto de construcción significa que el producto tiene características tales que puede ser incorporado en las obras, si es adecuadamente diseñado y construido, satisfaciendo los requisitos esenciales sujetos a una normativa y cumpliendo los requisitos esenciales para una vida económicamente razonable.

La evaluación de la aptitud de uso de un producto de construcción incluye:

- Identificación de las características del producto que son relevantes a su aptitud para el uso (en lo sucesivo denominado como "características de regulación").
- Establecimiento de métodos para la verificación y evaluación del producto regulando las características y la expresión de los rendimientos de los productos respectivos.
- La Identificación de la opción "No Rendimiento Determinado "se aplica cuando en uno o más estados los miembros ensayados no son aptos para el cumplimiento de los requisitos aplicables para poder ser incorporados a las obras.
- Identificación de las características reguladoras para la que los valores límite (valores umbral) deban ser respetados por razones técnicas.

Las características del producto, métodos de criterios de verificación y evaluación que son relevantes para la aptitud de los anclajes de inyección para el uso previsto se dan en la Tabla 2.1 del ETAG 029 .

## 2.3.3 Requisitos, características, verificación y evaluación de productos

### 2.3.3.1 Requisitos para las características del producto.

**Tabla 2-2:** Tabla 2.1 del ETAG 029 Características y métodos de verificación  
Fuente: (European Organisation for Technical Approvals, 2013, p. 10)

| No  | Características de los productos  | Opción (No determinar desempeño) | Método de verificación y evaluación | Expresión para el desempeño del producto  |
|---|---|----------------------------------|-------------------------------------|---|
| (1)   | (2)   | (3)                              | (4)                                 | (5)   |
| <b>Requerimientos esenciales 1: Resistencia mecánica y estabilidad</b>      |   |                                  |                                     |   |
| 1   | Idoneidad bajo condiciones normales de sitio. Requerimientos para aceptación del comportamiento carga/desplazamiento, carga última real y real dispersión   | No                               | 2.4.1 y 2.4.2                       | Influencia de factores en el soporte de la carga comportamiento del anclaje de acuerdo con los criterios de 2.4.2   |
| 2   | Condiciones admisibles de servicio.<br><br>Desempeño del anclaje al ser soportando cargas de tensión / Cortante / combinaciones de tensión y cortante<br><br>Espaciamientos requeridos y distancias al borde del anclaje<br><br>Mínimo espaciamiento y mínima distancia al borde del anclaje<br><br>Desplazamiento del anclaje para el límite de servicio | No                               | 2.4.1 y 2.4.2                       | 2.4.2.2.3<br><br>Características de resistencia por tensión/ cortante/ tensión combinada con cortante<br>- Características de espaciamiento y distancia al borde del anclaje - Mínimo espaciamiento y mínima distancia al borde del anclaje - desplazamiento del anclaje para el límite de servicio |
| <b>Requerimientos esenciales 2: Seguridad en caso de fuego</b>              |   |                                  |                                     |   |
| 3   | Reacción al fuego   | Si (Clase F)                     | 2.5.1                               | Los anclajes satisfacen los requerimientos para clase A1 (see 2.5.1)  |
| 4   | Resistencia al fuego  | No                               | 2.5.2                               | Evaluación del hormigón de anclaje(anclaje) en relación con resistencia al fuego de las pruebas o cálculos  |
| <b>Requerimientos esenciales 3: Higiene - Salud y Medio-ambiente</b>        |   |                                  |                                     |   |
| 5   | Contenido y / o la liberación de sustancias peligrosas  | Si                               | 2.6                                 | Consultar el capítulo correspondiente de ETAG   |
| <b>Requerimientos esenciales 4: Seguridad en su uso</b>                     |   |                                  |                                     |   |
| 6   | El mismo criterio es válido para los requerimientos esenciales (1)  |                                  |                                     |   |
| <b>Requerimientos esenciales 5: Protección contra el ruido</b>              |   |                                  |                                     |   |
|   | Ninguno   |                                  |                                     |   |
| <b>Requerimientos esenciales 6: Ahorro de energía y aislamiento térmico</b> |   |                                  |                                     |   |
|   | Ninguno   |                                  |                                     |   |
| <b>Aspectos generales relacionados con la aptitud de uso</b>                |   |                                  |                                     |   |
| 7   | Idoneidad contra las condiciones del medio ambiente   | No                               | 2.7.1                               | Resistencia a las condiciones del medio ambiente  |

### **2.3.3.2 Categorías de uso**

La guía de diseño ETAG-029 se aplica a los anclajes en relación con las siguientes categorías de uso:

#### **2.3.3.2.1 En relación con el material de base**

- Categoría b: anclajes metálicos de inyección en mampostería sólida
- Categoría c: anclajes metálicos de inyección en muros de albañilería hueco o perforada
- Categoría D: anclajes metálicos de inyección en muros de albañilería de hormigón celular curado en autoclave

#### **2.3.3.2.2 En relación con la instalación**

- Categoría d / d - Instalación y uso en estructuras secas, en condiciones internas.
- Categoría w / d - Instalación de sustrato seco o húmedo y con uso en estructuras secas, en condiciones internas.
- Categoría w / w - Instalación y uso en estructuras secas o en condiciones ambientales húmedas.
- Categoría c: anclajes metálicos de inyección en muros de albañilería hueco.

#### **2.3.3.2.3 Respecto al rango de temperatura de servicio)**

El funcionamiento de un anclaje de inyección, incluyendo su capacidad de continuar para soportar su carga de diseño con un factor de seguridad adecuado y limitando los desplazamientos, no se verán afectados negativamente por las temperaturas en el material de base cerca de la superficie dentro de un rango de temperatura que ha de fijar el fabricante el cual puede ser:

- (Ta) - 40 ° C a + 40 ° C (temperatura a corto plazo max + 40 ° C y la temperatura máxima a largo plazo + 24 ° C).
- (Tb) - 40 ° C a + 80 ° C (temperatura a corto plazo max + 80 ° C y la temperatura máxima a largo plazo + 50 ° C)
- (Tc) Requerimientos del fabricante, con - 40 ° C a T1 (a corto plazo: T1 > + 40 ° C, a largo plazo: 0,6 T1 a 1,0 T1)

Los anclajes de inyección no se ven afectados por las temperaturas de servicio de hasta - 40 ° C. Si no se conoce el desempeño del adhesivo a una temperatura de - 40 ° C, serían necesarios ensayos de extracción a -40 ° C.

El desempeño no se verá afectada negativamente por las temperaturas a corto plazo dentro de la gama de temperaturas o por temperaturas a largo plazo hasta la temperatura máxima a largo plazo.

### 2.3.4 Características del producto para la aptitud de uso relativas a resistencia mecánica e idoneidad

**Tabla 2-3:** Tabla 2.4.1 del ETAG 029 Pruebas de idoneidad dependiendo del tipo de mampostería.

Fuente: (European Organisation for Technical Approvals, 2013, p. 12)

| Propósito de la prueba   | Material de base para uso de categorías b y c                    |                           | Material de base para uso en categoría D |
|--|--|---------------------------|--|
|  | Arcilla solida   | Silicato de calcio solido | Concreto aireado en autoclave            |
| Instalación segura   | x  | x                         | x  |
| Funcionalidad, efecto de aumento en la temperatura                 | x  | x                         | x  |
| Funcionalidad efecto de la temperatura de instalación              | (1)  |                           | x  |
| Funcionalidad bajo cargas repetitivas                              | (1)  |                           | x  |
| Funcionalidad bajo cargas sostenidas a temperatura normal          | (1)  |                           | x  |
| Funcionalidad bajo cargas sostenidas a largas temperaturas máximas | (1)  |                           | x  |
| Máximo momento de torque   | Pruebas en todos los tipos de ladrillos conforme a lo solicitado |                           | x  |
| funcionamiento bajo condición de congelamiento                     | (1) (2)  |                           | x  |
| Revisión de durabilidad del material adhesivo                      | C20/25   |                           | x  |

Como método de verificación en (European Organisation for Technical Approvals, 2013), ETAG 029 en su numeral 2.4. Divide los ensayos relacionados con la evaluación de los anclajes en 3 categorías:

- Las pruebas para confirmar su idoneidad
- Las pruebas para la evaluación de las condiciones admisibles de servicio
- Las pruebas para comprobar la durabilidad



### 2.3.4.1 Pruebas de Idoneidad

**Tabla 2-4:** Tabla 2.4.2 de ETAG 029. Pruebas de Idoneidad para anclajes de inyección  
Fuente: (European Organisation for Technical Approvals, 2013, p. 13)

|  | Propósito de prueba                                   | Temperatura ambiente el metal de base | Mínimo número de ensayos por tamaño de perno (Nota 2) |   |   |   |   | Criterio  | Req. $\alpha$ (Nota 1)               | Procedimiento de prueba de idoneidad descrito en |
|--|---|---------------------------------------|---|---|---|---|---|-----------|--------------------------------------|--|
|  |   |                                       | S   | i | m | i | L |           |                                      |  |
| 1  | Instalación en sustrato seco.                         | Normal                                | 5   | - | 5 | - | 5 | 2.4.2 (C) | $\geq 0,8$                           | 2.4.1.1 a)                                       |
|  | Instalación en sustrato húmedo                        | Normal                                | 5   | - | 5 | - | 5 | 2.4.2 (C) | $\geq 0,8$                           | 2.4.1.11 b)                                      |
| 2  | Función por efectos de temperatura                    |                                       |   |   | 5 |   |   | 2.4.2 (C) | $\geq 1,0$<br>$\geq 0,8$<br>(Nota 6) | 2.4.1.1.2  |
|  | A) Incremento temperatura                             | +50C +80C (Nota 5)                    |   |   | 5 |   |   |           |                                      |  |
|  | B) Baja Temperatura                                   | (Nota 4)                              |   |   | 5 |   |   |           |                                      |  |
|  | C) Mínimo tiempo de curado                            | Normal                                |   |   | 5 |   |   |           |                                      |  |
| Para más descripción de detalles análogos, ver ETA 029 sección 2.4.1.1.2 |   |                                       |   |   |   |   |   |           |                                      |  |
| 3  | Funcionamiento bajo cargas repetitivas                | Normal                                | -   | - | 5 | - | - | 2.4.2 (C) | $\geq 1,0$                           | 2.4.1.1.3  |
| 4  | Función bajo cargas sostenidas                        | Normal +50C (Nota 5)                  | -   | - | 5 | - | - | 2.4.2 (C) | $\geq 0,9$                           | 2.4.1.1.4  |
| 5  | Máximo momento de torque                              | Normal                                | 5   | 5 | 5 | 5 | 5 |           |                                      | 2.4.1.1.5  |
| 6  | Funcionamiento bajo cargas de congelamiento           | Normal                                | -   | - | 5 | - | - | 2.4.2 (C) | $\geq 0,9$                           | 2.4.1.1.6  |
| 7  | Revisión de la durabilidad del material de adherencia | Ver ETAG 029. Numeral 2.7.1.2         |   |   |   |   |   |           |                                      |  |

#### Notas a la tabla 2.4.2

- (1) Si el requisito no se cumple, es necesario ver las disposiciones correspondientes en ETAG 2.4.2.1
- (2) Tamaño del anclaje: s = más pequeño; i = intermedio; m = medio; L = más largo.

- (3) No se requiere esta prueba para la categoría de uso d / d (seco)
- (4) Temperatura mínima de instalación según lo especificado por el fabricante; normal sería entre 0 °C a + 5 °C
- (5) Para el rango de temperatura (Tb), para otros rangos de temperatura, es necesario consultar ETAG 029 en su numeral 2.3.2.3.
- (6) Los valores de referencia de las pruebas con temperatura máxima de 50 °C a largo plazo.
- (7) Para la categoría de uso w / w solamente

El propósito de las pruebas de idoneidad es establecer si un anclaje es capaz de tener un comportamiento seguro y eficiente en servicio incluyendo el examen de las condiciones adversas, tanto durante la instalación en sitio y en servicio.

Los tipos de pruebas de idoneidad, condiciones de prueba, el número de pruebas requeridas y los criterios aplicados a la Los resultados se tomarán de acuerdo con la Tabla 2-4 y la Tabla 2-3.

#### **2.3.4.1.1** *.Instalación en sustrato húmedo o seco*

- Instalación en sustrato seco

Son requeridas pruebas de tensión en mampostería confinada sólida y seca.

- Instalación en sustrato húmedo

Son requeridas pruebas de tensión en mampostería confinada húmeda.

#### **2.3.4.1.2** *Influencia of temperatura en la resistencia*

- Efecto de incrementar la temperatura
- Efecto de instalación con temperaturas bajas
- Mínimo tiempo de curado

#### **2.3.4.1.3** *Ensayos por cargas repetitivas*

En esta prueba el anclaje de inyección es sometido a  $1 \times 10^5$  ciclos de carga con una frecuencia máxima de aproximadamente 6 Hz. Tras la finalización de los ciclos de carga

se descarga el ancla, el desplazamiento medido y una tensión prueba se realizara de acuerdo con el ETAG 029 Anexo A.

El aumento de los desplazamientos durante los ciclos deberá estabilizarse en una manera que indica que la falla es poco probable que ocurrir después de algunos ciclos adicionales. Esta condición puede ser asumida como cumplida si los desplazamientos después ciclismo en el máximo N de la prueba son más pequeños que el valor medio de los desplazamientos a superar la pérdida de adhesión en los ensayos de referencia.

Si no se cumple la condición anterior en el desplazamiento, las pruebas tienen que ser repetidos con una menor carga máxima (máx. N) hasta que se cumpla esta condición

#### ***2.3.4.1.4 Ensayos por cargas sostenidas***

La prueba se realiza a temperatura normal ( $T = + 21 \text{ } ^\circ\text{C} \pm 3 \text{ } ^\circ\text{C}$ ). El anclaje se somete a una carga de tensión (sostenida). Después la finalización de la prueba de carga sostenida el anclaje se descarga, posteriormente se realiza una prueba de tensión y se miden desplazamientos.

Los desplazamientos medidos en las pruebas tienen que ser extrapolados a 50 años (pruebas a temperatura ambiente normal) o 10años (pruebas como máxima temperatura a largo plazo). El ajuste de la curvase iniciará con el desplazamiento medido después de aproximadamente 100 horas.

#### ***2.3.4.1.5 Máximo momento de torque***

El momento de torsión se mide con un transductor de par de apriete calibrado. El momento de torsión se aumentará hasta el fallo del anclaje de inyección.

### 2.3.4.2 Pruebas para condiciones admisibles de servicio

**Tabla 2-5:** Tabla 2.4.3 ETAG 029. Pruebas para condiciones admisibles de servicio  
Fuente: (European Organisation for Technical Approvals, 2013, p. 15)

|                           | Propósito de la prueba  | Dirección de la carga | Distancias        | Espesor del miembro | Observaciones  | Número de pruebas |   |   | Procedimiento descrito en el Anexo A |
|---------------------------|---|-----------------------|-------------------|---------------------|--|-------------------|---|---|--------------------------------------|
|                           |   |                       |                   |                     |  | S                 | m | L |                                      |
| 1                         | Ensayos de tensión de referencia para ensayo de idoneidad (Nota 1)  | N                     | C>Ccr (Nota 3)    | >Hmin               | Prueba simple de anclajes  | 5                 | 5 | 5 | A.5.1 Y A.5.2                        |
| 2                         | Características de resistencia para cargas de tensión no influenciados por distancias al borde y entre pernos (Nota 2)  | N                     | C>Ccr (Nota 3)    | >Hmin               | Prueba simple de anclajes (Nota 4)   | 5                 | 5 | 5 | A.5.1 Y A.5.2                        |
| 3                         | Características de resistencia para cargas de cortante no influenciados por distancias al borde y entre pernos (Nota 2) | V                     | C>Ccr (Nota 3)    | >Hmin               | Prueba simple de anclajes (Nota 4)   | 5                 | 5 | 5 | A.5.1 Y A.5.3                        |
| <b>Pruebas opcionales</b> |   |                       |                   |                     |  |                   |   |   |                                      |
| 4                         | Resistencia característica para tensión cargado la mínima distancia al borde (nota 5)                                   | N                     | C=Cmin            | = Hmin              | Prueba simple de anclajes en el borde del miembro de prueba                              | 5                 | 5 | 5 | A.5.1 Y A.5.2                        |
| 5                         | Resistencia característica para cortante cargado la mínima distancia al borde (Nota 6)                                  | V                     | C=Cmin            | = Hmin              | Prueba simple de anclajes en el borde del miembro de prueba                              | 5                 | 5 | 5 | A.5.1 Y A.5.2                        |
| 6                         | Resistencia característica para tensión cargado con el mínimo espaciamiento (Nota 7)                                    | N                     | S= Smin<br>C=Cmin | = Hmin              | Prueba para grupos de 2 y cuatro anclajes (Nota 8) en el borde de los miembros de prueba | 5                 | 5 | 5 | A.5.1 Y A.5.2                        |
| 6                         | Resistencia característica para cortante cargado con el mínimo espaciamiento (Nota 7)                                   | V                     | S= Smin<br>C=Cmin | = Hmin              | Prueba para grupos de 2 y cuatro anclajes (Nota 8) en el borde de los miembros de prueba | 5                 | 5 | 5 | A.5.1 Y A.5.2                        |

Notas de la tabla.

- (1) Las pruebas de tensión de referencia para la determinación de los resultados de las pruebas de idoneidad. Tienen que ser llevadas a cabo en las mismas unidades de mampostería con respecto al material de base, el tamaño de las unidades y la compresión la fuerza que se utiliza para las pruebas de idoneidad correspondientes. Ellas tienen que ser realizadas con la misma configuración de anclaje que se utiliza para las pruebas de idoneidad correspondientes. Si los resultados de los ensayos de referencia son más pequeños que los resultados de las pruebas para la característica resistencia, los ensayos de referencia se considerarán para la evaluación de la resistencia característica.
- (2) Las pruebas se llevaran a cabo en la posición de ajuste más desfavorable en el ladrillo de hueco o mampostería perforada, que dan la resistencia característica más bajo del anclaje. Por ejemplo, en un ladrillo hueco, el ancla se someterá a ensayo en el hueco.
- (3) Para distancias características del borde, las siguientes distancias se pueden usar (valores estándar):  
Los anclajes de mampostería sólida y AAC:  $C_{cr} = 1,5 h_{ef}$   
Los anclajes de mampostería hueca o perforada:  $C_{cr} = \max (100 \text{ mm}; 6 D_0)$   
Si el fabricante acepta estos valores globales de  $C_{cr}$  como el valor mínimo  $C_{min}$ , pruebas de distancia libre al borde puede ser omitidas.
- (4) Para la determinación de un grupo de dos o cuatro anclajes, el siguiente espaciado se puede utilizar (los valores estándar):  
Los anclajes de mampostería sólida y AAC:  $S_{cr} = 3,0 h_{ef}$ .  
Los anclajes de mampostería hueca o perforada:  
 $s_{cr, \parallel} = l_{unit} (l_{II} S_{cr} \text{ junta horizontal})$   
 $s_{cr, \perp} = h_{unit} (S_{cr} \perp \text{ junta horizontal})$ .
- (5) Pruebas de tensión con anclajes individuales cerca del borde libre de una pared para determinar la resistencia característica en función de la distancia al borde  $C_{min}$ .  
Estas pruebas pueden omitirse, si para  $C_{min}$  el valor propuesto de  $C_{cr}$  es aceptado.
- (6) Ensayos de corte con anclajes individuales en dirección al borde libre de la pared para determinar la resistencia característica en función de la distancia al borde  $C_{min}$ .

- (7) El espaciado  $S_{min}$  también puede ser evaluada por ensayos adecuados con un grupo de dos anclajes con  $S_{min}$ , II y/o  $S_{min}$ ,  $\perp$  y/o con un grupo de anclaje de cuatro anclas con  $S_{min}$ , II y/o  $S_{min}$ ,  $\perp$ .

El  $S_{min}$  será mayor de los siguientes valores:

Los anclajes de mampostería sólida y AAC:  $S_{min} \geq$  máximo (50 mm; 3 D0)

Los anclajes de mampostería hueca o perforada:  $S_{min} \geq$  máximo (75 mm; 5 D0)

Esta prueba se puede omitir si para  $S_{min}$  el valor de  $S_{cres}$  aceptado.

- (8) Doble y cuádruple grupo de anclaje, dependen de la aplicación del fabricante. La prueba para la configuración del grupo se presenta en la ETA.

Las resistencias características determinadas por las pruebas sólo serán válidas para los ladrillos y bloques que son utilizados en los ensayos con respecto a material de base de mampostería, (tamaño de las unidades, resistencia a la compresión y la configuración de los huecos).

#### **2.3.4.2.1** *Funcionalidad bajo cargas de congelamiento*

En general, las pruebas se llevan a cabo para los anclajes de inyección con una condición de servicio en el sustrato húmedo solamente. Las pruebas se realizan en congelación-descongelación material de base.

Los desplazamientos se medirán durante los ciclos de temperatura. Después de la terminación de 50 ciclos, se llevara a cabo un ensayo de tracción a temperatura ambiente normal.

En la Tabla 2-5, se definen los ensayos para las condiciones de servicio. Aunque el numeral 2.4.1.2 de ETAG 029, aclara que si la información existente se encuentra disponible desde el fabricante y el informe de la prueba correspondiente contiene todos datos relevantes, entonces la organización encargada de la autorización, pueden reducir el número de pruebas para condiciones de servicio admisibles, haciendo uso de la información ya existente, sin embargo, se considerará en la evaluación sólo si los resultados son consistentes con los resultados de las pruebas comparables a disposición de la organización o asociación encargada de la aprobación.

### 2.3.5 Método de análisis y evaluación general

En (European Organisation for Technical Approvals, 2013), se detalla el análisis y evaluación de los anclajes de inyección relacionados con el uso previsto, utilizando los métodos respectivos de verificación.

#### 2.3.5.1 Fractil del 5% para las cargas ultimas

El Fractile del 5% para las cargas últimas medidas en una serie de ensayos se calculará de acuerdo con procedimientos estadísticos procedimientos para un nivel de confianza del 90%. Si no se realiza una verificación precisa, un registro normal de distribución y una desviación estándar de los datos desconocidos serán asumidos.

$$F_{5\%} = \bar{F}(1 - Ks.v) \quad \text{Ecuación 2-13}$$

$$n = 5 \text{ Pruebas} \quad Ks = 3.40$$

$$n = 10 \text{ Pruebas} \quad Ks = 2.57$$

#### 2.3.5.2 Conversión a cargas ultimas en mampostería y acero de alta resistencia

En algunos casos puede ser necesario convertir los resultados de una serie de ensayos correlacionándolos con una resistencia diferente de mampostería a la de la unidad de prueba. En el caso de fallo de la unidad, esta conversión se llevará acabo de acuerdo con la ecuación 2-14.

$$F_{RU}(f_b) = F_{Ru}^t \left[ \frac{f_b}{f_{b,test}} \right]^\alpha \quad \text{Ecuación 2-14}$$

Dónde:

$F_{Ru}(f_b)$ = Carga de falla de una unidad sometida a esfuerzo de compresión  $f_b$ .

$\alpha$  = 0,5 para unidades de mampostería de arcilla o de hormigón y la unidad sólida de silicato de calcio

$\alpha$  = 0,75 para las unidades de mampostería de silicato de calcio perforado (en este sentido, la gama de la fuerza unidad en las pruebas se limita a +- 100% de la resistencia nominal de la unidad para la resistencia característica)

$f_{b,test}$  = Resistencia a compresión de la mampostería en el momento de la prueba  
 $f_{b,test} > f_b$  (si  $f_{b,test} < f_b$  Entonces  $f_{b,test}$  o la próxima resistencia más  
pequeña  $f_b$  serán aprobadas)

En el caso de fallo de extracción se establecerá la influencia de la fuerza de la unidad en la carga de rotura. A falta de mejor información, la ecuación 2-14 se puede utilizar como una aproximación.

En caso de fallo de acero, la carga de rotura se convertirá a la resistencia del acero nominal por la ecuación.

### 2.3.5.3 Criterios a cumplir en las pruebas:

En toda la carga de tensión se pondrá a prueba las curvas de carga-desplazamiento, la curva deberá mostrar un aumento constante véase la figura 2-11. No se permite deslizamiento incontrolado de los anclajes de inyección.

En las unidades de mampostería maciza (la unión entre elemento de acero, mortero o la resina de inyección y la mampostería), el deslizamiento incontrolado se produce cuando el mortero con la parte incrustada se sale del agujero perforado (entonces el comportamiento al desplazamiento bajo carga dependen en gran medida de las irregularidades del agujero perforado). La carga correspondiente cuando se inicia deslizamiento incontrolado se llama carga a la pérdida de adherencia  $N_{u,adh}$ .

Para los requerimientos de las curvas carga-desplazamiento con respecto al deslizamiento incontrolado, se realizara la siguiente evaluación.

$N_{u,adh}$  se evaluará para cada prueba midiendo en la curva de carga-desplazamiento. En general la pérdida de carga por adherencia se caracteriza por un cambio significativo de la rigidez, ver la figura 2-11 en el literal a. Si el cambio en la rigidez de una carga definida no es tan obvia la rigidez disminuye suavemente, esa pérdida de carga por adhesión será evaluada de la siguiente forma:

- Calcular la tangente a la curva de carga-desplazamiento a una carga de  $0,3 N_u$  ( $N_u$ =carga máxima en la prueba). En general, la rigidez tangente puede ser tomada como la rigidez secante entre los puntos  $0/0$  y  $0,3 N_u/\delta_{0,3}$  ( $\delta_{0,3}$  = desplazamiento en  $N=0,3N_u$ ).
- Dividir la rigidez tangente en un factor de 1,5.
- Dibujar una línea que pasa por el punto  $0/0$  con la rigidez como se calcula en 2.



El punto de intersección entre esta línea y la medida en la curva de carga-desplazamiento da la carga  $N_{u,adh}$ , donde falla la adhesión, véase la figura 2-11 en la ilustración b.

Si hay un pico en la curva carga-desplazamiento a la izquierda de esta línea que es más alto a la carga en la intersección, entonces  $N_{u,adh}$  se toma como el pico de la carga, véase la figura 2-11 en el literal c.

Si hay una curva de carga-desplazamiento muy rígida al principio ( $\delta_{0,3} \leq 0,05\text{mm}$ ), el dibujo de la línea para el cálculo se puede desplazar hasta el punto  $(0,3 N_u/\delta_{0,3})$ , véase la figura 2-11 en el literal d.

Para todas las pruebas, el factor  $\alpha_1$  se calculará de acuerdo con la ecuación 2-15:

$$\alpha_1 = N_{u,adh} / (0.5 * NRU) \quad \text{Ecuación 2-15}$$

$N_{u,adh}$  = Perdida de carga por adhesión es definida arriba.

$NRU$  = Máxima carga en un ensayo simple

El valor mínimo de  $\alpha_1$  de todas las pruebas es determinante. Si el valor de  $\alpha_1$  es de menos de 1,0 entonces la resistencia característica  $NR_{k,p}$  requiere ser reducida de acuerdo con la ecuación 2-23.

La evaluación de la perdida de carga por adhesión no es requerida cuando la falla ocurre entre el mortero y la parte incrustada a la largo de toda la profundidad embebida (véase la definición de deslizamiento incontrolado). En este caso el factor de  $\alpha_1$  puede ser tomado como 1,0.

En unidades de mampostería hueca o perforada y mampostería sólida con estructura abierta de material (poroso). El deslizamiento no controlado se caracteriza por un cambio significativo de la rigidez de acuerdo con la figura 2-2. La carga correspondiente cuando se inicia el desplazamiento incontrolado se llama  $N_1$ .

Para todas las pruebas, el factor  $\alpha_1$  se calculará de acuerdo con la ecuación 2-16

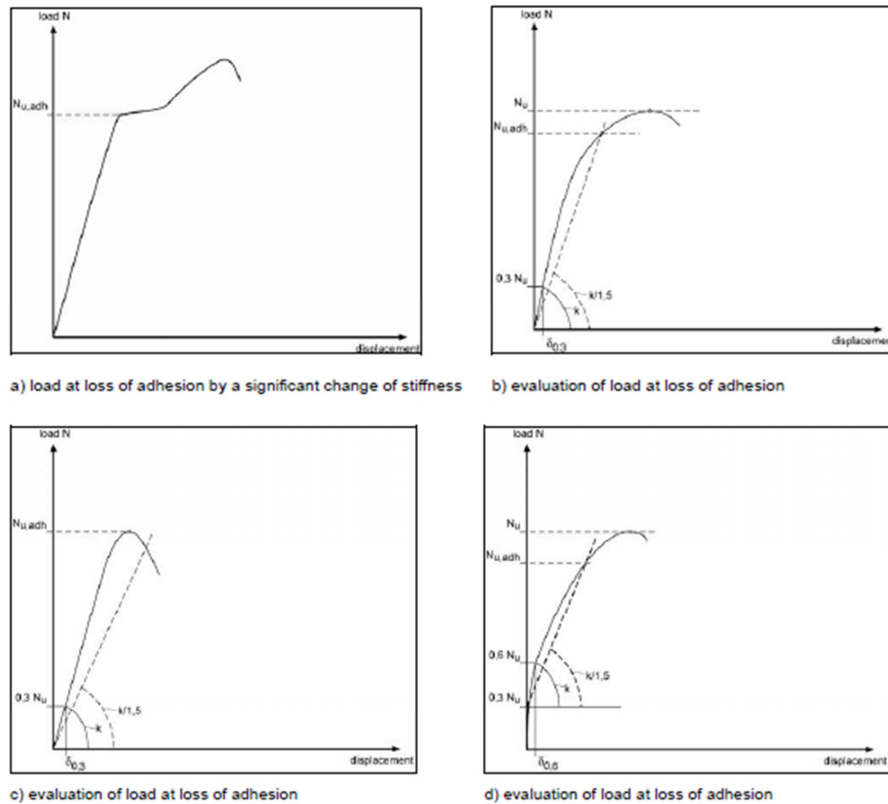
$$\alpha_1 = N_1 / (0.5 * NRU) \quad \text{Ecuación 2-16}$$

$N_1$  = Carga con deslizamiento no controlado en el anclaje

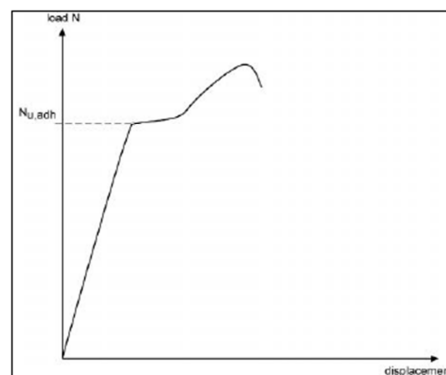
$NRU$  = Máxima carga en un ensayo simple

El valor mínimo de  $\alpha_1$  de todas las pruebas es determinante. Si el valor de  $\alpha_1$  es de menos de 1,0 entonces la resistencia característica  $N_{Rk,p}$  se reducirá de acuerdo con la ecuación 2-23.

**Figura 2-11:** Ejemplos de curvas carga desplazamiento en mampostería solida  
Fuente: (European Organisation for Technical Approvals, 2013, p. 19)



**Figura 2-12:** Ejemplos de curvas carga desplazamiento en mampostería hueca  
Fuente: (European Organisation for Technical Approvals, 2013, p. 30)



En general en cada serie de ensayos, el coeficiente de variación de la carga de rotura será más pequeño que  $v=30\%$  en las pruebas de idoneidad y  $v=20\%$  en las pruebas para condición de servicio admisibles.

Si el coeficiente de variación de la carga de rotura en la prueba de idoneidad es mayor que el 30%, el siguiente valor de  $\alpha_V$  se tomara en cuenta.

$$\alpha = \frac{1}{1+0.03(v[\%]-30)} \leq 1.0 \quad \text{Ecuación 2-17}$$

Si el coeficiente de variación de la carga de rotura en la prueba de condición de servicio admisible es mayor que el 20%, el siguiente valor de  $\alpha_V$  se tomara en cuenta.

$$\alpha = \frac{1}{1+0.03(v[\%]-20)} \leq 1.0 \quad \text{Ecuación 2-18}$$

Si en los ensayos de carga por cortante se producen desplazamientos mayores de 20 mm, entonces se evaluara la carga para desplazamiento de 20 mm.

#### **2.3.5.4 Criterios adicionales válidos para las pruebas de idoneidad**

En las pruebas de idoneidad el factor  $\alpha$  deberá ser el mayor que el valor dado en la Tabla 2-4

$\alpha$  = Menor valor de:

$$\alpha = \frac{N_{Ru,m}^t}{N_{Ru,m}^r} \quad \text{Ecuación 2-19}$$

$$\alpha = \frac{N_{Rk}^t}{N_{Rk}^r} \quad \text{Ecuación 2-20}$$

Los ensayos de referencia tienen que ser llevados a cabo en las mismas unidades de mampostería con respecto a: material de base, el tamaño de las unidades y resistencia a la compresión tal como se usa para las pruebas de idoneidad correspondientes.

La ecuación 2-19 se basa en la serie de pruebas con un número comparable de resultados en ambas series. Si el número de pruebas en las dos series es muy diferente, entonces la ecuación 2-19 puede omitirse, cuando el coeficiente de variación en la serie

de pruebas es menor o igual que el coeficiente de variación de la serie de pruebas de referencia o si el coeficiente de variación en las pruebas de idoneidad es  $v \leq 15\%$ .

Si el criterio requerido para el valor de  $\alpha$  (véase la Tabla 2.4.2) no se cumple en una serie de pruebas, entonces el factor de  $\alpha_2$  deberá ser calculado.

$$\alpha_2 = \frac{\alpha}{\alpha_{req.}} \quad \text{Ecuación 2-21}$$

En donde

$\alpha$  = Valor mas bajo de acuerdo con la ecuacion (2-19 o 2-20) en una serie de ensayos.

$\alpha_2$  = Valor requerido de acuerdo con la Tabla 2-4

#### **2.3.5.4.1** *Instalación en sustrato húmedo*

Se requiere en las pruebas un  $\alpha \geq 0,8$ . Si no se cumplen los requisitos relativos a  $\alpha$ ,  $\alpha_2$  se calculará de acuerdo con la ecuación 2-21.

#### **2.3.5.4.2** *Efecto de incremento de la temperatura*

- El valor de  $\alpha$  requerido para las pruebas a la máxima temperatura a largo plazo es: Requerido.  $\alpha \geq 1,0$  para los rangos de temperatura ( $T_b$ ) ( $T = +50^\circ \text{C}$ ) y ( $T_c$ ) ( $0,6 T_1$  a  $1,0 T_1$ , elegido por el fabricante).

Los  $\alpha$  requeridos para la temperatura máxima a corto plazo son:

Requerido.  $\alpha \geq 0,8$  de los resultados de la temperatura máxima a largo plazo ( $24^\circ \text{C}$  para el rango de temperatura  $T_a$ )

Requerido.  $\alpha \geq 0,8$  de los resultados de la temperatura máxima a largo plazo ( $50^\circ \text{C}$  para el rango de temperatura  $T_b$ )

Requerido.  $\alpha \geq 0,8$  de los resultados de la temperatura máxima a largo plazo ( $0,6 T_1$  a  $1,0 T_1$  de la temperatura elegida por el fabricante para el rango de temperatura  $T_c$ ).

Si no se cumplen los requisitos relativos a  $\alpha$  en las pruebas de temperatura máxima a largo plazo o temperatura máxima a corto plazo,  $\alpha_2$  se calculará de acuerdo con la ecuación 2-21.

- Efecto de baja temperatura en la instalación.

El valor requerido de  $\alpha$  para pruebas con mínima temperatura de instalación es 1.

Si no se cumple esta condición, entonces la temperatura mínima de instalación se incrementará y las pruebas con temperatura mínima de instalación se repetirán hasta que se cumpla la condición.

- Mínimo tiempo de curado a temperatura ambiente normal.

El significado de cargas de falla y el fractile del 5% de las cargas de rotura medido en pruebas con temperatura en ambiente normal y con el correspondiente tiempo mínimo de curado será como mínimo de 0,9 veces a los valores medidos en pruebas de referencia con un "tiempo de curado largo" en los ensayos de condiciones de servicio admisible. El "tiempo de curado largo" es el tiempo máximo de curado, normalmente se utilizan en las pruebas de condición de servicio admisible (24 horas para las resinas, 14 días para morteros de cemento).

#### **2.3.5.4.3** *Carga repetitiva*

El aumento de los desplazamientos durante los ciclos deberá estabilizarse en una manera que indica que el fracaso es poco probable que ocurra después de algunos ciclos adicionales. Esta condición puede ser asumida como cumplida si los desplazamientos después ciclismo en el máximo N de la prueba son más pequeños que el valor medio de los desplazamientos a superar la pérdida de adhesión en los ensayos de referencia.

Si no se cumple la condición anterior en el desplazamiento, las pruebas tienen que ser repetido con una menor carga máxima (máx. N) hasta que se cumpla esta condición. A continuación, se reducirá la resistencia característica  $N_{Rk}$  por el factor máximo N (aplicado) / máximo. N (requerido).

El valor de  $\alpha$  requerido para las pruebas de "pull-out" después de la carga cíclica es de 1,0. Si esta condición no se cumple,  $\alpha$  se calculará de acuerdo con la ecuación 2-21.

#### **2.3.5.4.4** *Carga sostenida*

Los desplazamientos medidos en las pruebas tienen que ser extrapolados acuerdo con la Ecuación 2-22 con aproximándolos a 50 años (prueba a temperatura ambiente) o aproximado a 10 años (prueba de máxima larga temperatura).

El ajuste de la curva se iniciará con el desplazamiento medido después de aproximadamente 100 horas.

$$S(t) = S_0 + a \cdot t^b$$

Ecuación 2-22

$S_0$ = desplazamiento inicial bajo la carga sostenida en  $t = 0$  (medido directamente después de aplicar la carga sostenida)

A,b= constantes (factores de ajuste), evaluados por un análisis de regresión de las deformaciones medido durante las pruebas de carga.

Los desplazamientos extrapolados deberán ser inferiores que el valor medio de los desplazamientos en los ensayos de referencia. Cuando la carga supera la pérdida por adhesión en las pruebas de referencia.

Si no se cumple esta condición, las pruebas tienen que ser repetidas con una carga menor  $N_p$  hasta que el requisito sea cumplido y la resistencia característica se reducirá por el factor de  $N_p$  (aplicado) /  $N_p$  (requerido).

Las cargas de falla medidas en la prueba de pull-off subsecuente mente para la prueba de carga sostenida a una temperatura normal deben ser comparadas con las cargas de falla medidas en los ensayos de referencia por tensión.

Las cargas de falla medidas en los ensayos de “pull-out “posteriores a la carga sostenida con temperatura máxima a largo plazo deberán ser comparadas con las cargas de falla medidas en las pruebas de idoneidad con temperatura máxima a largo plazo.

El valor de  $\alpha$  requerido es 0,9. Si esta condición no se cumple para la capacidad residual después de la carga sostenida con temperatura normal y máxima temperatura a largo plazo,  $\alpha_2$  se calculará de acuerdo con la ecuación 2.21.

#### **2.3.5.4.5** *Máximo momento de torque*

La instalación del anclaje de inyección deberá ser posible sin falla del acero ni giro a través del hueco o falla del anclaje. Esta condición puede suponerse que se cumple si se cumplen las siguientes condiciones

- La relación del máximo del momento de torsión  $T_u$  hasta el fallo y el momento de la instalación  $T_{inst}$  es recomendado por el fabricante para cada prueba.
- El fractil del 5% de la relación para todas las pruebas será de al menos 2,1.
- La conversión a la del esfuerzo nominal de la mampostería puede ser omitida para estas determinaciones.

#### **2.3.5.4.6** *Funcionamiento bajo cargas de congelamiento y descongelamiento*

La tasa de aumento desplazamiento se reducirá al aumentar el número de ciclos de congelación / descongelación en un valor casi igual a cero.

#### **2.3.5.5** **Criterios para pruebas de condiciones de servicio admisibles**

En las pruebas de tensión, las curvas carga desplazamiento deben satisfacer los requerimientos dados en la Tabla 2-4 c (1). Los requerimientos en los coeficientes de variación de las cargas últimas están dados en la Tabla 2-4 c (2).

##### **2.3.5.5.1** *Resistencia característica para anclaje simple.*

La resistencia característica en los pernos de inyección para diferentes modos de falla bajo cargas de tensión o cortante, deben ser evaluados por las correspondientes pruebas para obtener los valores requeridos en los métodos de diseño del anexo C.

##### **2.3.5.5.2** *Resistencia característica para un anclaje simple.*

La Resistencia característica de un anclaje simple sin tener en cuenta efectos de espaciado bajo cargas de tensión será calculada como sigue.

$$N_{Rk,p} = N_{Rk,b} = N_{Rk,0} \cdot \min^1(\min \alpha_1; \min \alpha_2, \text{ línea 1,3,4,6 } ) \min \alpha_2, \text{ línea 2} \cdot \min \alpha_3 \cdot \min v_N$$

2-23 Ecuación

El valor más bajo de *min α1 O min α2, línea 1,3,4,6 es usado.*

$N_{Rk,p}$  = Resistencia característica a la falla por extracción de un anclaje.

$N_{Rk,b}$  = Resistencia característica a la falla por rotura del ladrillo.

$N_{Rk,0}$  = Mínima Resistencia característica evaluada de los resultados de los ensayos de acuerdo con la tabla 2.4.3 línea 2 y la tabla 2.4.3 línea 4.

$\min \alpha_1$  = Mínimo valor de  $\alpha_1$  (factor de reducción por comportamiento carga/desplazamiento) de acuerdo con la ecuación (2.4.5) para todos los ensayos ( $\leq 1,0$ )

$\min \alpha_2, \text{ línea 2}$  = Mínimo valor de  $\alpha_2$  (factor de reducción para cargas ultimas en los ensayos de idoneidad) de acuerdo con la ecuación (2.4.10) para las pruebas de idoneidad de acuerdo con la tabla 2.4.2 línea 2 (temperatura) ( $\leq 1,0$ ).

- $\min\alpha_{2,\text{línea } 1,3,4,6}$  = Mínimo valor de  $\alpha_2$  (factor de reducción para cargas últimas en los ensayos de idoneidad) de acuerdo con la ecuación (2.4.10) para las pruebas de idoneidad de acuerdo con la tabla 2.4.2 líneas 1, 3, 4 y 6 ( $\leq 1,0$ )
- $\min\alpha_{V,N}$  = Mínimo valor  $\alpha_V$  considerando un coeficiente de variación en las pruebas por cargas últimas en idoneidad y condiciones admisibles de servicio (de acuerdo con la tabla 2.4.3, línea 1,2,4 y 6) mayores que el 20% y 30% respectivamente, ecuaciones (2.4.6) y (2.4.7).
- $\min\alpha_3$  = Mínimo valor  $\alpha_3$  (factor de reducción por el comportamiento de durabilidad) de acuerdo con la ecuación (2.7.1) para todas las pruebas ( $\leq 1,0$ )

El valor de la resistencia característica  $F_{Rk}$ ,  $N_{Rk,p}$ ,  $N_{Rk,b}$ ,  $V_{Rk,s}$ ,  $V_{Rk,b}$  deben ser redondeados a los siguientes números:

0,3 / 0,4 / 0,5 / 0,6 / 0,75 / 0,9 / 1,2 / 1,5 / 2 / 2,5 / 3 / 3,5 / 4 / 4,5 / 5 / 5,5 / 6 / 6,5 / 7 / 7,5 / 8 / 8,5 / 9 / 9,5 / 10 / 10,5 / 11 / 11,5 / 12 kN

La determinación de la resistencia característica para aprobación será válida en ladrillos y bloques que se utilizan el mismo material de base en los ensayos, tamaño de la unidad, esfuerzo a la compresión, configuración de los huecos. Por lo tanto la siguiente información debe ser tomada en el reporte de prueba en la aprobación.

Material de base, tamaño de las unidades, esfuerzo a la compresión, volumen de huecos (% del volumen bruto); volumen de cualquier hueco (% del volumen bruto; mínimo espesor alrededor de los huecos (almas y paredes); combinado con espesor de almas y paredes (% del volumen bruto); apropiados para la tabla 3.1 de EC 6.

La resistencia característica en el perno de inyección puede ser determinada por trabajos en sitio como se muestra en el Anexo B de ETAG-029, Si el anclaje ha sido probado con valores característicos para el mismo tipo de material de base (arcilla, silicato de calcio, concreto con agregado liviano o autoclavado aerated concrete) como se presenta en las obras de construcción. Además de las pruebas de trabajos en sitio para usar en mampostería sólida es posible solo si el anclaje inyectado ha sido probado para usar en mampostería sólida y trabajos de pruebas en sitio para usar en mampostería con huecos es posible solo si el metal y el material de inyección en el anclaje han sido probados en mampostería perforada.



### 2.3.5.5.3 Comportamiento de los desplazamientos

Como mínimo, los desplazamientos menores a corto plazo y largo plazo por cargas de tensión y cortante serán dados de acuerdo con la carga de aprobación para una carga de tensión o cortante de acuerdo con los valores correspondientes de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$F = \frac{F_{RK}}{\gamma_F \cdot \gamma_M} \quad \text{Ecuación 2-24}$$

Con:

$F_{RK}$ = resistencia característica  $N_{RK,p}$ ,  $N_{RK,b}$  para desplazamientos bajo cargas de tensión.

$F_{RK}$ = resistencia característica  $V_{RK,s}$  o  $V_{RK,b}$  para desplazamientos bajo cargas de cortante.

$F_{RK}$ = resistencia característica de acuerdo con 2.4.2.2.3

$\gamma_F$ = 1,4

$\gamma_M$ = factor de seguridad parcial correspondiente al material

Los desplazamientos bajo carga de tensión a corto plazo ( $\delta_{NO}$ ) son evaluados con pruebas en anclajes simples sin considerar efectos de borde separación de tornillos de acuerdo con la Tabla 2-5, línea 2. El valor derivado será el correspondiente al 95%-del fractile para un nivel de confianza del 90%.

Los desplazamientos bajo carga de tensión a largo plazo  $\delta_{N\infty}$  pueden ser asumidos igual a 2 veces el valor  $\delta_{NO}$ .

## 2.3.6 Verificación de la seguridad al fuego

### 2.3.6.1 Reacción al fuego

La resistencia y desempeño de un anclaje al ser sometido al fuego, debe estar de acuerdo con las leyes, reglamentos y disposiciones administrativas aplicables de acuerdo con su aplicación y uso final. Este desempeño se expresa en su clasificación de acuerdo con los estándares apropiados.

En este contexto, el uso final que se le dará a los anclajes, el material de unión, las partes metálicas los morteros debe ser evaluado para satisfacer los requerimientos al fuego.

#### **2.3.6.2 Resistencia al fuego**

La resistencia al fuego del sistema ensamblado de los cuales forma parte el anclaje se realizará de conformidad con las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas aplicables en el sistema de ensamblado del anclaje y teniendo en cuenta su aplicación de uso final.

Este rendimiento se expresará en forma de una clasificación especificada de acuerdo con la normatividad aplicable.

#### **2.3.7 Métodos de verificación relacionados con Higiene, salud y medio ambiente**

El fabricante suministrara toda la información relativa a la presencia de sustancias peligrosas. La cuales deberán tener la aprobación para su uso.

#### **2.3.8 Métodos de verificación relacionados con durabilidad**

La durabilidad del material de unión (a excepción de mortero de cemento) se comprobará mediante pruebas de slice. Con las pruebas de slice, la sensibilidad de los anclajes instalados a diferentes exposiciones ambientales puede mostrarse. Las pruebas slice se llevarán a cabo en el hormigón. La prueba slice se describe en detalle en la ETAG-029, Anexo A, numeral A.5.10.

También pueden ser necesarias pruebas para verificar corrosión de los tornillos metálicos.

#### **2.3.9 Identificación de productos de construcción**

De acuerdo con (European Organisation for Technical Approvals, 2013), para asegurar que las muestras de anclaje de inyección utilizadas para la evaluación inicial se ajustan a las condiciones mencionadas durante la aprobación, es necesario identificar sus

especificaciones pertinentes y características que pueden influir en su funcionamiento, rendimiento y durabilidad.

Pruebas de identificación son para la verificación de las características de los anclajes de inyección, incluyendo las dimensiones, materiales constituyentes, la protección contra la corrosión y el marcado de los anclajes de inyección y varios componentes.

Siempre que sea posible, se llevaran a cabo controles en los componentes terminados. Donde las dimensiones u otros factores sean tenidos en cuenta, por ejemplo, propiedades de tensión, donde la relación requerida entre la longitud y el diámetro no incide en el componente terminado, los ensayos deberán llevarse a cabo en el componente terminado, Lo anterior con el fin de producir resultados para fines de comparación. Cuando esto no sea posible, las pruebas se llevarán a cabo en la materia prima; sin embargo, se debe observar que, cuando el proceso de producción cambia también cambian las características del material, es decir, un cambio en el proceso de producción puede hacer que los resultados de las pruebas realizadas no sean válidos.

#### **2.3.9.1 Partes de metal**

Durante las pruebas de los materiales constitutivos de los componentes de las piezas de metal, se determinaran las siguientes propiedades: resistencia a la tracción, límite elástico, alargamiento a la rotura, dureza. Los valores medidos se compararán con los valores mínimos o clases de resistencia indicados en la norma correspondiente. La manera en que se fabrican los componentes también se comprobará (por ejemplo de conformación en frío, enfriamiento, endurecimiento).

Para el ensayo de tornillos de acero al carbono, pernos, tuercas, se puede hacer referencia a las normas correspondientes. Siempre que sea posible, se proporcionaran los certificados del material de acuerdo con su norma de fabricación.

#### **2.3.9.2 Material adhesivo**

Todos los componentes de los materiales de unión se describirán de forma inequívoca y químicamente serán identificados por pruebas estándar. Todas las cantidades de los componentes deberán especificarse ya sea por masa, volumen o porcentaje, con tolerancias apropiadas.

Las siguientes características se especifican en su caso, de conformidad con las normas aplicables:

### **2.3.10 Métodos de diseño para anclajes**

El método de diseño para anclajes que se presenta a continuación es tomado del anexo C de ETAG 029.

El método de diseño para los anclajes está destinado para ser utilizado bajo la consideración del concepto de seguridad y el diseño en el ámbito de las técnicas de aprobaciones europeas.

El método de diseño que figura en el anexo C de ETAG 029 se basa en la suposición de que las pruebas necesarias para evaluar las condiciones de servicio admisibles se han llevado a cabo. El uso de otros métodos de diseño necesitaría de las pruebas correspondientes.

El método de diseño solo aplica para cargas estáticas o casi-estáticas, actuando en tensión o cortante o combinación de estas para anclajes usados en áreas con una baja sismicidad.

El método de diseño es aplicable únicamente al diseño de los anclajes de inyección en unidades de mampostería de arcilla, silicato de calcio, hormigón de peso normal, hormigón ligero, hormigón poroso (AAC) u otros materiales similares utilizando anclajes que cumplan los requisitos de la presente orientación.

El método de diseño es válido para anclajes individuales y grupos de anclaje con dos o cuatro anclajes. Lo anterior siempre que en un grupo de anclajes se utilicen anclajes del mismo tipo, tamaño y longitud.

Los elementos de mampostería deben ser unidades macizas o huecas o perforadas hechas de arcilla o silicato de calcio o en concreto de peso normal o ligero.

La información detallada de los materiales de base correspondiente se darán en la aprobación, por ejemplo, material de base, el tamaño de unidades, resistencia a la compresión normalizada; volumen de todos los orificios (% del volumen total); volumen de cualquier orificio (% Del volumen total); espesor mínimo alma y alrededor de los agujeros.

### 2.3.10.1 Diseño y concepto de seguridad

Deberá demostrarse que el valor de la acción  $S_d$ , no supere el valor de la resistencia  $R_d$ .

$$S_d \leq R_d$$

$S_d$  = Valor de la acción para el diseño.

$R_d$  = Valor de la Resistencia para el diseño.

El valor de las acciones para ser utilizadas en el diseño, se pueden obtener de las regulaciones nacionales.

Los coeficientes parciales de seguridad para las acciones pueden ser tomadas de los reglamentos nacionales

La resistencia de diseño se calcula como sigue:

$$R_d = R_k / \gamma_M \quad \text{Ecuación 2-25}$$

$R_k$ = Resistencia característica de un anclaje simple o de un grupo de anclajes.

$\gamma_M$ = Factor de seguridad parcial para el material.

### 2.3.10.2 Estado limite último

La propuesta presentada en el Anexo C de ETAG-029, indica que la resistencia de diseño se calcula de acuerdo con la ecuación 2.25, Usando los factores que relacionamos en los siguientes numerales.

#### 2.3.10.2.1 Falla o ruptura en la parte de metal

La resistencia característica en los anclajes de inyección para diferentes modos de falla bajo cargas de tensión o cortante, deben ser:

Carga de tensión

$$\gamma_{Ms} = \frac{1.2}{f_{yk}/f_{uk}} \geq 1.4 \quad \text{Ecuación 2-26}$$

Carga de cortante con y sin palanca.

$$\alpha_{Ms} = \frac{1.0}{f_{yk}/f_{uk}} \geq 1.25 \quad \text{Ecuación 2-27}$$

### **2.3.10.2.2** *Falla en el material del anclaje*

Para uso en mampostería  $\gamma_{Mm} = 2,5$

Para autoclaved aerated concrete  $\gamma_{MAAC} = 2,0$

### **2.3.10.3** **Estado límite de servicio**

En el estado límite de servicio se indicaran los desplazamientos que se producen debido a las acciones no serán más grandes que los desplazamientos admisibles. Los desplazamientos admisibles dependen de la aplicación en consideración y deben ser evaluados por el diseñador.

En este control los factores de seguridad parciales en las acciones y en las resistencias pueden ser asumidos iguales a 1,0.

### **2.3.10.4** **Análisis Estático**

#### **2.3.10.4.1** *Cargas actuando en los anclajes*

Distribución de las cargas que actúan sobre los anclajes se calculan de acuerdo con la teoría de la elasticidad.

Para la insuficiencia de acero bajo tensión y cortante y para el fallo por extracción bajo tensión será necesario determinar la carga más alta que actúa sobre el anclaje.

En caso de falla por el borde del ladrillo, se supone que la carga de corte actuando en el anclaje(s) más próximo al borde.

### **2.3.10.5** **Estado limite último para cargas de tensión**

#### **2.3.10.5.1** *Pruebas necesarias*

**Tabla 2-6:** Resistencias requeridas

Fuente: (European Organisation for Technical Approvals, 2013, pág. C5)

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| Falla en la parte de metal     | $NSd \leq NR_{k,s} / \gamma_{Ms}$   |
| “pull-out “falla en el anclaje | $NSd \leq NR_{k,p} / \gamma_{Mm}$   |
| Breakout falla en el ladrillo  | $NSd \leq NR_{k,b} / \gamma_{Mm} NSd \leq g NR_k / \gamma_{Mm}$           |
| “pull out “ en el ladrillo     | $NSd \leq NR_{k,pb} / \gamma_{Mm}$  |
| Influencia de las juntas       | $NSd \leq a_j NR_{k,p} / \gamma_{Mm} NSd \leq a_j NR_{k,b} / \gamma_{Mm}$ |

### **2.3.10.5.2 Falla en la parte de metal**

La resistencia característica de un ancla en caso de fallo de la parte de metal, NRk,s, se da en la aprobación correspondiente.

El valor de NRk, s se obtiene de la ecuación 2-27.

$$N_{Rk,s} = A_s \cdot f_{uk}[N] \quad \text{Ecuación 2-28}$$

### **2.3.10.5.3 “pull-out “falla en el anclaje**

La resistencia característica en caso de incumplimiento por parte de extracción del anclaje NRk, p, será quitado de la aprobación correspondiente.

### **2.3.10.5.4 Breakout falla en el ladrillo.**

La resistencia característica de un anclaje en caso de falla breakout en el ladrillos NRk, b y los valores correspondientes para separación y distancia al borde Scr,II, Scr,  $\perp$  y Ccr o Cmin se dan en la aprobación correspondiente.

La resistencia característica de un grupo de dos o cuatro anclajes de inyección NgRk y los valores correspondientes para separación y distancia al borde, Smin,II, Smin,  $\perp$  y Cmin se dan en la aprobación correspondiente.

En el lado seguro de la resistencia característica de un grupo con el espaciamiento menor que Scr,II y Scr,  $\perp$  y Cmin pueden suponerse al menos como la resistencia característica correspondiente de un anclaje simple.

### **2.3.10.5.5 “pull out “ en el ladrillo.**

La resistencia característica de un ancla o un grupo de anclajes en caso de “pull out “ en un ladrillo, NRk,pb, se calcula de la siguiente manera:

Si las juntas verticales no están diseñadas para ser llenadas con mortero:

$$N_{Rk,pb} = 2 \cdot l_{brick} \cdot d_{brick} (0,5 \cdot f_{vko} + 0,4 \cdot \sigma_d) \quad \text{Ecuación 2-29}$$

Las juntas verticales diseñadas para ser llenadas con mortero:

$$N_{Rk,pb} = 2 \cdot l_{brick} \cdot d_{brick} (0,5 \cdot f_{vko} + 0,4 \cdot \sigma_d) + d_{brick} \cdot h_{brick} \cdot f_{vko} \quad \text{Ecuación 2-30}$$

Donde:

$N_{Rk,pb}$  = Resistencia característica “pull out “ en el ladrillo

- $L_{brick}$  = Longitud del ladrillo  
 $B_{brick}$  = Amplitud del ladrillo  
 $H_{brick}$  = Altura del ladrillo  
 $\sigma_d$  = Esfuerzo de diseño a la compresión perpendicular al corte  
 $F_{vko}$  = Resistencia al cortante inicial.

**Tabla 2-7:** Valores de  $f_{vko}$   
(European Organisation for Technical Approvals, 2013, pág. C7)

| Ladrillo Tipo         | Esfuerzo Mortero | $f_{vko}$ (N/mm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------|------------------|--------------------------------|
| Ladrillo de arcilla   | M2.5 to M9       | 0,2                            |
|                       | M10 to M20       | 0,3                            |
| Todos los otros tipos | M2.5 to M9       | 0,15                           |
|                       | M10 to M20       | 0,2                            |

### **2.3.10.5.6** Influencia de los nudos.

Si las juntas de la mampostería no son visibles las resistencias características  $N_{RK,p}$  y  $N_{RK,b}$  tienen que ser reducidos por el factor  $\alpha_j = 0,75$ .

Si las juntas en la mampostería son visibles (Por ejemplo en muros sin pañete), se debe tener en cuenta lo siguiente:

- La resistencia característica  $N_{RK,p}$  y  $N_{RK,b}$  sólo podrá utilizarse si la pared está diseñado de tal manera que las juntas se rellenarán con mortero.
- Si la pared está diseñada de tal manera que las articulaciones no son para ser llenados con mortero, entonces la resistencia característica  $N_{RK,p}$  y  $N_{RK,b}$ , sólo podrá utilizarse si se observa la distancia al borde  $C_{min}$  mínima para las juntas verticales. Si esta distancia mínima  $C_{min}$  del borde no se puede observar a continuación, la resistencia característica  $N_{RK,p}$  y  $N_{RK,b}$ , tiene que ser reducido por el factor  $\alpha_j = 0,75$ .

### **2.4.3.2. Método de diseño B usado en mampostería**

Método B de diseño se basa en un enfoque simplificado en el que sólo se da un valor para la resistencia de cálculo  $F_{Rd}$ , independiente de la dirección de carga y el modo de fallo. La resistencia de cálculo  $F_{Rd}$  se calcula con el valor más bajo en consideración de las resistencias características y los correspondientes coeficientes seguridad. Las distancias de separación y al borde reales será iguales o mayores que los valores de  $S_{cr}$  y  $C_{cr}$ .  $F_{Rd}$ ,  $S_{CR}$  y  $C_{CR}$  se dan en la aprobación correspondiente.



### **2.4.3.3. Estado límite de servicio**

#### **2.3.10.5.7 Desplazamientos**

El desplazamiento característico del anclaje bajo cargas de tensión y cortante definidos se tomarán de la aprobación. Se puede suponer que los desplazamientos son una función lineal de la carga aplicada. En caso de una tensión combinada y la carga de corte, se añadirán geoméricamente los desplazamientos para el componente de tracción y corte de la carga resultante.

En el caso de cargas de corte con la influencia de separación del agujero en el accesorio se tendrá en cuenta en el desplazamiento esperado de todo el anclaje.

cuales, a juicio del ingeniero diseñador, este es el procedimiento más adecuado.

### 3. Estado del Arte

La gran mayoría de artículos encontrados sobre investigaciones desarrolladas, hacen referencia en su gran mayoría a bloques de concreto rellenos de “grout” y a mampostería de arcilla maciza. Si bien los artículos no son referidos directamente a anclajes en mampostería hueca si permiten tener una idea más clara sobre los hallazgos en este tipo de investigaciones al igual que la metodología para desarrollar los ensayos y el tipo de resultados que se obtienen.

En el contexto nacional, los diseños estructurales se realizan cumpliendo el reglamento de construcción sismo resistente NSR-10, este código actualmente no incluye el tema de anclajes en la mampostería. En el contexto nacional se pueden encontrar valores de referencia en catálogos de anclajes como por ejemplo los del tipo Hilti.

Internacionalmente se han realizado trabajos de investigación de los anclajes adheridos mediante resina epoxica a mampostería rellena de grout, los cuales pueden ser tomados como referencia para la investigación que estamos desarrollando sobre el comportamiento de anclajes en mampostería hueca.

De acuerdo con (Dizhur, Ingham, Campbell, & Schultz, 2013) En el documento “Experimental “pull-out “Test Program of Wall-to-Diaphragm Adhesive Connections and Observations from 2010/2011 Canterbury Earthquakes”, el cual se basó en las observaciones de campo hechas a raíz del terremoto de Canterbury 2010/2011 en Nueva Zelanda, en donde se encontraron numerosos casos en los que las conexiones de la tensión de anclaje que unen las paredes de mampostería o parapetos con diafragmas de techo o de suelo parecían haber fallado prematuramente. Posteriormente, un programa de pruebas en campo se llevó a cabo en un intento de evaluar el rendimiento de las conexiones de anclaje de adhesivo entre techo o diafragma suelo y las paredes de ladrillo de arcilla no reforzada URM.

Las conexiones entre los diafragmas flexibles de madera y las paredes de mampostería en edificios son componentes críticos, los cuales deben ser diseñados y construidos adecuadamente para lograr la respuesta a un evento sísmico.

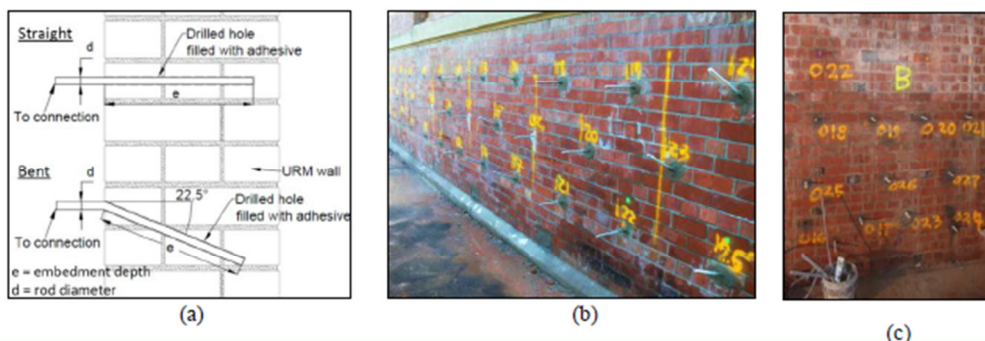
Estas conexiones consisten normalmente en anclajes de acero instalados ya sea en el momento de la construcción o de post construcción. Las conexiones de los diafragmas a la pared se consideran típicamente como a tensión y / o fuerza de corte. Los anclajes a tensión están diseñados para evitar la falla de la pared fuera de la edificación y transferir las cargas laterales fuera de plano a los diafragmas. Los anclajes de cortante están diseñados para transferir fuerzas desde el diafragma y paredes fuera de plano a las paredes que resisten las fuerzas en el plano.

El programa de prueba consistía en casi 400 anclajes instalados en once edificios URM existentes que se encuentran en Christchurch, Whanganui y la región de Auckland y se llevó a cabo con el fin de obtener datos precisos sobre la capacidad a la extracción (POC) de los anclajes de tipo adhesivo en muros de mampostería con ladrillos de arcilla existentes.

En este documento se estudiaron las varillas de anclaje que están unidas al material de sustrato usando lechadas o adhesivo químicos sin retracción.

El anclaje horizontal (recto) y el anclaje con un ángulo de 22.5 grados a la horizontal (con varilla doblada) son los anclajes instalados para sólo resistir las fuerzas de corte y los anclajes doblados son los indicados para resistir fuerzas de tensión. Un dispositivo de ensayo típico se ilustra en la siguiente figura.

**Figura 3-1:** Programa de pruebas con pernos adhesivos  
Fuente: (Dizhur, Ingham, Campbell, & Schultz, 2013, pág. 5)



Anclajes adhesivos fueron instalados y probados mediante la prueba de puesta a punto y el procedimiento de carga utilizado satisface los estándares de las normas (NZS1170.0

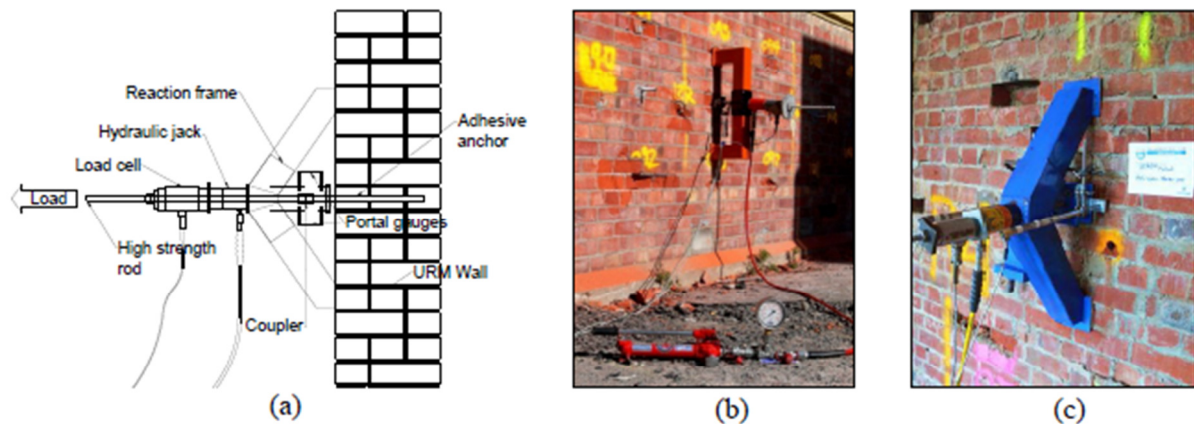
2002) en Nueva Zelanda y el ASTM A488 en Estados Unidos. Las pruebas emplearon un bastidor de carga de acero, una bomba hidráulica manual, un actuador hidráulico de carga, una celda de carga y dos transductores de desplazamiento

Los marcos de reacción usados en el estudio de anclaje de adhesivo se diseñaron con la capacidad suficiente para evitar la deflexión excesiva y el rendimiento de la estructura cuando se somete a la magnitud esperada de la carga. Este aumento de la capacidad y la rigidez de la estructura de reacción se aseguró de que las cargas de tensión permanecieron paralelas al anclaje en prueba y que el desplazamiento de la barra de anclaje se podría medir usando el marco de reacción como un punto de referencia. Con el fin de evitar la interferencia con el cono de falla, el marco de reacción fue diseñado con una luz libre total de 600 mm sobre la base de una profundidad máxima de empotramiento de 300 mm.

La siguiente figura muestra la configuración de la prueba para el anclaje de adhesivo ensayos de extracción: a) Vista esquemática del aparato de ensayo típico de extracción; b) Configuración típica de prueba utilizada para las pruebas de anclaje de extracción utilizado en Christchurch; c) típica configuración de prueba utilizado para las pruebas de anclaje de extracción utilizado en Wanganui.

**Figura 3-2:** Configuración de las pruebas a la extracción

Fuente: (Dizhur, Ingham, Campbell, & Schultz, 2013)



Los resultados globales de POC se muestran en la figura 3-3, los resultados se separan para las varillas M12 y M16 respectivamente. La mayoría (96%) de los anclajes adhesivos supera el valor recomendado por (FEMA 2006).

**Figura 3-3:** Resultados generales de las pruebas  
Fuente: (Dizhur, Ingham, Campbell, & Schultz, 2013, pág. 7)

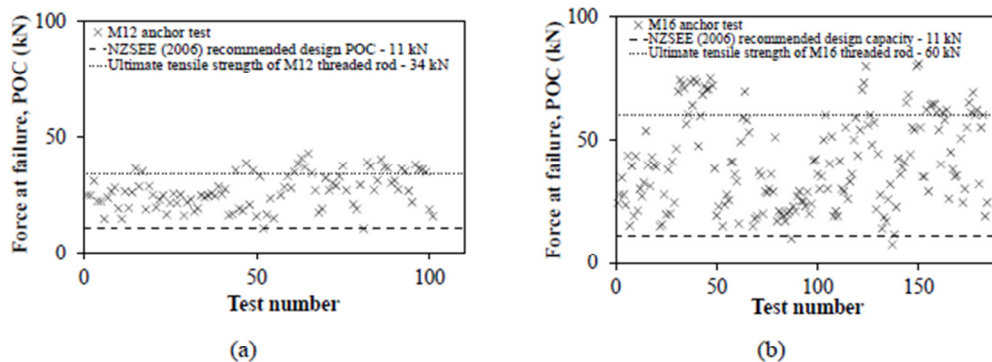
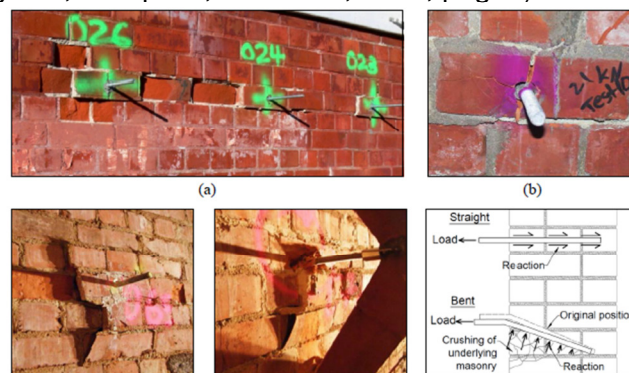


Figure 5: Overall threaded rod adhesive anchor test results: a) Force at failure for M12 adhesive anchors in overall data set; b) Force at failure for M16 adhesive anchors in overall data set.

Figura 5: Rod resultados de las pruebas de anclaje de adhesivo general roscados: a) Fuerza de rotura para anclajes adhesivos M12 en conjunto de datos global; b) Fuerza de rotura para anclajes adhesivos M16 conjunto de datos en general.

La Figura 3-4 (c-e) muestra los modos de falla típicos observados para anclajes recto y doblado. Aplastamiento de la mampostería por debajo de los anclajes doblados se observa típicamente. La tensión de carga de la barra de anclaje dobladas hace que la varilla tiende a enderezar, lo que produce un aplastamiento de la varilla contra la mampostería. Además, se observó que el anclaje doblado pierde la unión entre el lado superior de la varilla y la mampostería circundante medida que se mueve fuera de su posición (véase la representación esquemática en la Figura 3-4).

**Figura 3-4:** Modos de falla típica en la mampostería  
Fuente: (Dizhur, Ingham, Campbell, & Schultz, 2013, pág. 7)



A continuación se describen los modos de falla de la figura 3-4 modos de fallo típicos: a) falla tipo en mampostería típica de extracción observado; b) localizada división de ladrillo;

c) anclas rectas; d) Doblado de anclaje; e) vista esquemática de los modos de fallo observados.

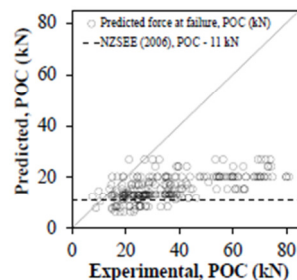
Sobre la base de los resultados obtenidos del programa experimental en conexiones de anclaje de adhesivo, la capacidad al POC de anclajes adhesivos incrustados en las paredes de MRU es propuesta en la siguiente ecuación.

$$POC = K_0 * K_e * K_\phi * K_n * e * n_o \quad \text{Ecuación 3-1}$$

La ecuación propuesta se derivó empíricamente basándose en observaciones de los modos de fallo encontrados y la relación numérica entre POC y la orientación de anclaje, la profundidad de empotramiento, diámetro de la varilla de anclaje y propiedades de los materiales de mampostería.

La ecuación propuesta se aplicó a 240 de los resultados de las pruebas pertinentes contenidos en la base de datos, el 93% de la resistencia POC predicha estuvo por debajo de los resultados obtenidos experimentalmente (véase la siguiente Figura).

**Figura 3-5:** Resultados experimentales contra datos teoricosa  
Fuente: (Dizhur, Ingham, Campbell, & Schultz, 2013, pág. 10)



En general se obtuvo un factor de seguridad promedio de 2.29. Se recomienda que el ingeniero de diseño reduzca el POC obtenida utilizando la ecuación propuesta.

**K<sub>0</sub>** es el factor de orientación varilla de anclaje, que puede ser tomado como 1,0 para todos los anclajes adhesivos orientados horizontalmente, 0,9 para las barras de anclaje de diámetro 16 mm dobladas y 0,75 para las barras de anclaje con diámetro 12 mm dobladas. **K<sub>e</sub>** es el factor de longitud de empotramiento que se puede tomar como 1,3 para varillas de anclaje incrustados a 100 mm, 1,15 para varillas de anclaje incrustadas 200 mm y 1,0 para las barras de anclaje incrustados 300 mm o mayor. **K<sub>φ</sub>** es el factor de diámetro de la varilla de anclaje que puede ser tomado como 1,0 para varillas de anclaje de diámetro 16 mm y 0,9 mm para 12 varillas de anclaje de diámetro. **e** es la longitud de empotramiento barra de anclaje en milímetros. **K<sub>n</sub>** es el factor de reducción material de

mampostería que puede ser tomado como 0,65 si  $c \leq 0,25$  MPa (donde  $c$  es la resistencia al corte de la mampostería determinada en sitio bajo compresión axial) y en todos los demás casos  $k_n$  se toma como 1.0.  $n_o$  es la fuerza por milímetro de barra de anclaje y longitud de empotramiento puede ser tomado como 67,5 N/mm. En caso necesario se puede usar la interpolación lineal entre los valores proporcionados.

Del programa de pruebas en campo después de los terremotos de Canterbury 2010/2011, se llegaron a las siguientes conclusiones:

- Numerosos casos con conexiones a tensión en anclajes que unen las paredes de mampostería o parapetos con diafragmas de techo o de suelo, parecían haber fallado prematuramente.
- En ninguno de los ensayos se presentaron fallas de la conexión de anclaje adhesivo que se aproximan a la ruptura ideal de mampostería, en el que la rotura se produce en una superficie de falla más o menos cónica.
- La lechada de cemento fue encontrada como un adhesivo de anclaje adecuado. Sin embargo, se recomendó desarrollar procedimientos de instalación detallados.
- Varillas metálicas roscadas de acero y barras de refuerzo roscado funcionan satisfactoriamente cuando se utilizan como varillas de anclaje en los sistemas con adhesivos.
- Se encontró que anclajes adhesivos orientados horizontalmente tenían una mayor rigidez y resistencia POC en comparación con el anclaje equivalente de ancla doblada.
- Mientras que la resistencia al POC de un ancla aumenta al aumentar la profundidad de empotramiento, el esfuerzo promedio de adherencia a la falla disminuye con el incremento de la profundidad de empotramiento.
- Varillas de anclaje con diámetros de 16 mm, son consideradas de tamaño óptimo. Variando el diámetro de la varilla decrece la resistencia al POC de los anclajes adhesivos.
- Como era de esperar, los anclajes adhesivos instalados en mampostería fuerte lograron una tensión superior y, por tanto, consiguen una resistencia al POC más alta en las conexiones de anclaje.
- La instalación de los anclajes adhesivos de acuerdo con las instrucciones del fabricante es fundamental para lograr una resistencia POC adecuada.

- Se propone un método para el cálculo preliminar de la resistencia al POC para anclajes adhesivos instalados en paredes en URM, se basó en observaciones in situ de los modos de fallo y la relación numérica entre el POC y la orientación del anclaje, la profundidad de empotramiento y el diámetro de la varilla de anclaje.
- Futuras investigaciones son requeridas con el fin de documentar los anclajes adhesivos cargados bajo solicitaciones dinámicas y los efectos de las aceleraciones verticales en el POC.

De acuerdo con (Brown & Whitlock, 1983), en el del documento “Strenght of anchor bolts in grouted concrete mansory” . Se investigó el comportamiento de pernos de anclaje con su extremo doblado o en J, embebidos en ladrillos de concreto de peso normal conforme a la especificación “Hollow load-bearing concrete masonry units”, ASTM C90. El objetivo inicial del proyecto era investigar el desempeño de este tipo de anclajes ante solicitaciones cíclicas, posteriormente se decidió aplicar solo cargas mono-tónicas.

Para el programa de ensayos, en la figura 1 se muestra el montaje usado para contener los especímenes en mampostería que contienen los anclajes y provee la reacción para ensayar los muros, para la aplicación de la carga se usó un actuador en posición horizontal para aplicación de cargas de tensión y en posición inclinada formando un ángulo de 45 con el muro para aplicar cargas de tensión y cortante de manera simultánea. De acuerdo con el montaje la excentricidad de las cargas es minimizada, una función electrónica en el generador permite el ajuste de la carga aplicada.

Se utilizaron cinco muros de un metro por un metro con ancho doble, en los muros se realizaron perforaciones para permitir instalar los anclajes, todos los anclajes fueron embebidos 162mm y todas las celdas fueron llenas con mortero tipo S de acuerdo con los requerimientos de la especificación “Mortar for unit masonry” ASTM C270-80a, el “grout “para la fijación de los anclajes se mezcló de acuerdo a los requerimientos de la especificación “Mortar and “grout “for reinforced masonry” ASTM C476-71. Los pernos en acero usados estaban especificados grado ASTM A-36, de acuerdo con los fabricantes de anclajes, el radio de doblamiento usado fue de 1.5 veces el diámetro del perno y la longitud total doblada de 4 veces el diámetro del perno.

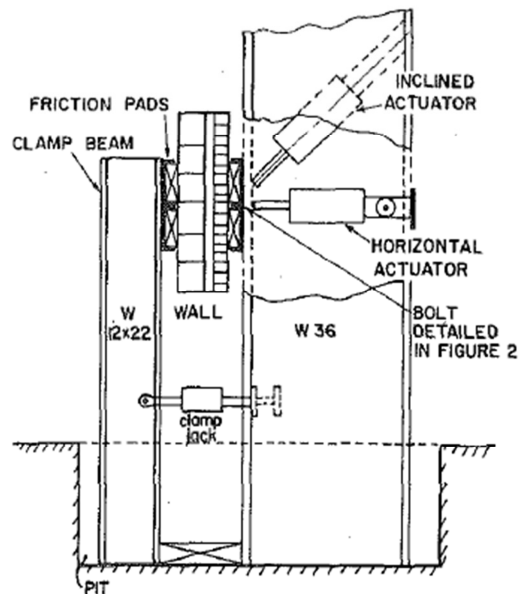
Durante las pruebas se observaron tres modos de falla, fractura en el perno, “pull out “ por enderezado del perno y fractura en la mampostería.



Los tornillos ensayados a tensión con diámetros de 9.5mm, 12mm y 19mm, fallaron por enderezado de la parte doblada en J. Las pruebas de tensión realizadas en pernos más grandes produjeron fractura en la mampostería con una falla parecida a un cono de tensión, en la mayoría de casos la superficie del cono de falla pasa a través de las almas del bloque, como este cono ha salido del bloque las caras del bloque parecen haber fallado por flexión y al hacerlo afectan considerablemente la cara exterior del bloque.

Para especímenes ensayados a solicitaciones combinadas de tensión y cortante, hay dos modos de falla, falla en el tornillo y falla en la mampostería, los pernos hasta 19mm experimentan falla en el perno. Los pernos con diámetro mayor 19mm producen falla en la mampostería, de manera similar a la descrita para la falla de la mampostería en tensión.

**Figura 3-6:** Aparato de prueba  
Fuente: (Brown & Whitlock, 1983, pág. 1363)



En cortante hasta el diámetro de 19mm, la falla se produce en el perno, los tornillos que exceden de diámetro 19mm fallan aplastando la mampostería en contacto con el tornillo. Esos tornillos experimentan deformaciones considerables y pérdidas de rigidez.

El análisis de los resultados indica que la capacidad de los pernos en tensión incrementa hasta un tamaño de perno de 19mm, más allá de 19mm, no es benéfico aumentar el diámetro del perno, las observaciones comprobaron que los modos de falla para pernos superiores a 19mm ocurren en la mampostería no en el tornillo.

**Tabla 3-1:** Resumen de resultados por tipo de anclaje  
Fuente: (Brown & Whitlock, 1983, pág. 1369)

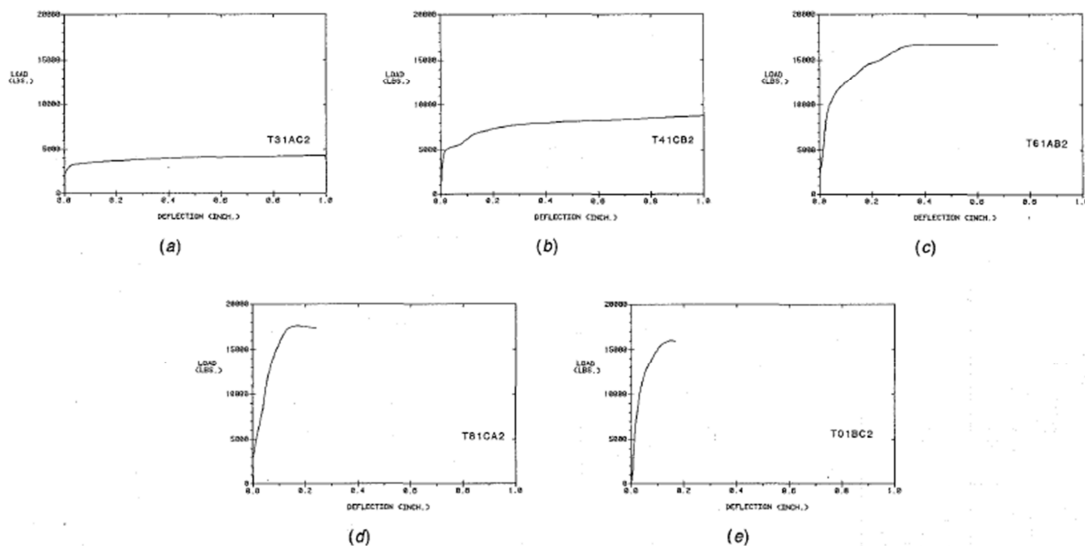
**TABLE 5.—Summary of Monotonic Ultimate Strengths of Anchor Bolts, Kips**

| Load direction<br>(1)                        | n<br>(2)  | Bolt Diameter, in Inches |            |            |          |              |
|--|-----------|--------------------------|------------|------------|----------|--------------|
|  |           | 3/8<br>(3)               | 1/2<br>(4) | 3/4<br>(5) | 1<br>(6) | 1-1/4<br>(7) |
| Axial  | 1         | 3.58                     | 9.62       | 19.38      | 11.35    | 14.90        |
|  | 2         | 4.30                     | 8.74       | 16.65      | 17.58    | 16.05        |
|  | 3         | 3.24                     | 6.37       | 15.54      | 17.43    | 14.51        |
|  | $\bar{x}$ | 3.54                     | 8.24       | 17.19      | 15.45    | 15.15        |
|  | cv        | 16% <sup>a</sup>         | 20%        | 11.5%      | 23%      | 5%           |
| Combined<br>(resultant)                      | 1         | 3.63                     | 7.24       | 17.14      | 19.74    | 22.91        |
|  | 2         | 3.74                     | 7.32       | 17.1       | 18.95    | 19.80        |
|  | 3         | 3.87                     | 7.50       | 16.6       | 20.98    | 20.98        |
|  | $\bar{x}$ | 3.74                     | 7.35       | 16.95      | 19.88    | 21.23        |
|  | cv        | 3%                       | 1.8%       | 1.8%       | 5%       | 7.4%         |
| Shear  | 1         | 3.60                     | 6.20       | 15.96      | 31.43    | 13.9         |
|  | 2         | 3.74                     | 6.42       | 15.96      | 26.09    | 19.0         |
|  | 3         | 4.56                     | 6.06       | 15.14      | 25.0     |              |
|  | $\bar{x}$ | 3.97                     | 6.23       | 15.69      | 27.51    | 16.45        |
|  | cv        | 13%                      | 2.9%       | 1.4%       | 12.5%    | 22%          |
| Allowable Shear<br>Forces (lb) (ACI,<br>UBC) |           | 410                      | 550        | 1,100      | 1,850    | 2,500        |
| Ratio of Ultimate to<br>Allowable Shear      |           | 10                       | 11         | 14         | 15       | 6.6          |

<sup>a</sup>This mean includes an additional value of 3.02 kips.  
Note: 1 kip = 4.45 kN, 1 lb = 4.45 N, 1 in. = 25.4 mm.

La capacidad de los pernos en cortante incrementa hasta un diámetro de 25mm, superior a este diámetro hay una drástica reducción de la resistencia al cortante, algunos autores creen que la disminución de esta carga es atribuible a la ausencia de pre-tensionamiento, en pernos de diámetro (32mm) son más débiles a cortante que pernos más pequeños.

**Figura 3-7:** Curvas carga deformación obtenidas  
Fuente: (Brown & Whitlock, 1983, pág. 1370)



Los resultados de las 45 pruebas realizadas a pernos embebidos en mampostería son presentadas a continuación, los pernos fueron sujetos a varios tipos de cargas como tensión, cortante y la combinación de estas. Resistencia de los bloques de concreto, resistencia del mortero, resistencia del “grouting” geometría del tornillo y profundidad de embebido, fueron usados durante el desarrollo de los ensayos, basados en los resultados y los análisis posteriores sujetos a las limitaciones de los materiales y las configuraciones usadas en el programa de ensayos se realizaron las siguientes conclusiones:

Del programa de pruebas del documento “Strength of anchor bolts in grouted concrete masonry”, se llegó a las siguientes conclusiones:

- La resistencia de los pernos embebidos en mampostería incrementa con el perno de diámetro hasta un tamaño donde la resistencia de la mampostería y la resistencia del perno son aproximadamente iguales, en este punto, la resistencia proporcionado por el aumento de diámetro del perno es comparable en valor o puede ser incluso menor para los ensayos reportados en dicha investigación, el diámetro del perno que corresponde a los fenómenos anteriores fue de aproximadamente 19mm.
- Para pernos en J, se encontraron tres modos de falla para la carga monotónica, fractura en el perno “pull out “ por enderezado del perno y fractura en la mampostería.
- En tensión el enderezado de los pernos en J se produjo antes de la carga de fractura, sin embargo, para pernos largos la fractura de la mampostería ocurría antes del enderezado del perno.
- Para pernos cargados en tensión, la ductilidad decrece con el aumento del diámetro, para cortante la ductilidad se incrementa ligeramente cuando se incrementa el diámetro, para combinaciones de tensión y cortante, la ductilidad aparece para un tamaño máximo de perno con diámetro de 19mm.
- En la superficie aparecían capas rompiéndose lejos de los muros en flexión y por lo tanto, no se adhiere profundidad al cono de “pull out “.
- Una reducción de la fuerza cortante ocurre en pernos de 32mm de diámetro, la reducción puede ser atribuida a fuerza insuficiente de tensionamiento.
- Factores de seguridad para pernos cargados en cortante, basados en valores de carga admisible están dados en ACI-531. Típicamente son mayores a 10.

- La resistencia en pernos sujetos a acciones combinadas de tensión y cortante no son significativamente reducidas comparado con cualquiera de las fuerzas actuando por si solas.

De acuerdo con (Fabrello, Pollock, McLean, & Young), en el documento "Performance Of Anchor Bolts In Concrete Masonry Under Combined Tension And Shear Loading". Se investigó el comportamiento de los pernos de anclaje bajo carga combinada no ha sido bien entendido, lo que lleva a la adopción de procedimientos de diseño conservadores en el pasado.

Las provisiones de código actuales para el diseño de pernos de anclaje en mampostería especifican una interacción lineal entre la tensión de diseño y las fuerzas de corte de diseño (MSJC, 1999, ICBO, 1997; ICC, 2000). Los datos de prueba limitados de investigaciones anteriores sugieren que el comportamiento de los pernos de anclaje en mampostería puede seguir una línea de interacción elíptica (Whitlock, 1983). Además, los resultados de las pruebas de los pernos de anclaje en el hormigón han dado como resultado una relación de interacción elíptica para la interacción tensión / cortante (ICBO, 1997; ICC, 2000).

Las ecuaciones de interacciones curvas determinan mayores fuerzas en el perno de anclaje y pueden proporcionar un margen de seguridad más uniforme para todas las condiciones de tensión combinada con carga de cortante.

El objetivo principal de esta investigación era obtener una mejor comprensión del comportamiento de interacción de los pernos de anclaje en mampostería de hormigón. Un objetivo secundario era determinar si existen diferencias en el comportamiento de los pernos de anclaje sometidos a tensión y esfuerzo cortante aplicando la carga de cortante paralela a la unión de la pared con la junta de unión perpendicular a la unión de la pared.

Para este estudio, los especímenes de pernos de anclaje fueron fundidos en paredes de mampostería construidas a partir de unidades de mampostería de hormigón de 200 mm por 200 mm por 400 mm, fabricados bajo norma ASTM C90 nominales. Las unidades se obtuvieron de un productor local de bloques y se seleccionaron del mismo lote para proporcionar uniformidad. Se formaron especímenes con dimensiones nominales de 1,0 m por 1,0 m (40 pulgadas por 40 pulgadas). Para la construcción de los especímenes se usaron albañiles locales. Se utilizó mortero tipo "S" durante toda la construcción. Para

todos los muros se obtuvo un “grout” de relleno de alta concentración de un proveedor local. Los pernos para anclaje consistían en tornillos en L fundidos en sitio con un diámetro nominal de 19 mm ( $\frac{3}{4}$  pulgadas). Se perforaron agujeros ligeramente sobredimensionados a través de la cara de los bloques antes de la construcción de la pared para poder instalar los pernos de anclaje. Los pernos se centraron aproximadamente en los huecos y se colocaron a una profundidad efectiva de 102 mm (4 pulgadas). El espaciamiento, las distancias de borde y las profundidades eran suficientes para proporcionar la máxima resistencia de acuerdo con las disposiciones del código.

Para los pernos de anclaje se usó acero bajo norma ASTM 307, Grado C. Siguiendo los procedimientos estándar de ASTM, se recolectaron y probaron muestras del “grouting” y el mortero usados para construir los paneles de pared. Las resistencias a la compresión final neta promedio resultantes del “grouting” y el mortero fueron de 53 MPa y 22 MPa, respectivamente. La resistencia a la compresión promedio de la mampostería usada fue de 20 MPa (2900 psi).

Se construyeron 25 especímenes de muretes, cada uno de los cuales contenía cuatro pernos de anclaje, para un total de 100 pernos de anclaje. Sin embargo, durante la prueba de algunos de los especímenes, las grietas se propagaron a través de las paredes de mampostería a los pernos no probados dejándolos inutilizables. Un total de 64 tornillos fueron. La Tabla 1 resume los detalles de las muestras de ensayo.

Todos los ensayos de cortante puro y tensión pura se ajustaron a la norma ASTM E 488. Los procedimientos de ensayo para la carga combinada se desarrollaron basándose en los procedimientos de la norma ASTM E 488. Los paneles de pared se colocaron planos sobre un palet. Para todas las pruebas se utilizaron actuadores hidráulicos para aplicar las cargas a los pernos de anclaje. Los actuadores se posicionaron de tal manera que el eje del actuador coincidiera con el eje central del perno.

Para todas las pruebas, el perno fue fijado a cada actuador con accesorios de acero que se conformaron a partir de lo indicado en las especificaciones ASTM E 488. Los detalles de la fijación entre los actuadores y el perno de anclaje se pueden ver en la siguiente figura. Se proporcionó una articulación en el extremo del actuador para minimizar cualquier contribución de carga sobre el anclaje.

**Tabla 3-2:** Ensayos realizados y aplicación de la carga  
Fuente: (Fabrello, Pollock, McLean, & Young, pág. 3)

Table 1: Testing Matrix

| Percent Tension | Percent Shear | Number of Specimens | Load Direction Relative to Bed Joints |
|-----------------|---------------|---------------------|---------------------------------------|
| 100             | 0             | 10                  |                                       |
| 0               | 100           | 10                  | parallel                              |
| failure         | 25            | 5                   | parallel                              |
| failure         | 50            | 5                   | parallel                              |
| failure         | 75            | 5                   | parallel                              |
| 50              | failure       | 2                   | parallel                              |
| 0               | 100           | 5                   | perpendicular                         |
| 100             | 0             | 5                   |                                       |
| 0               | 100           | 5                   | perpendicular                         |
| failure         | 25            | 1                   | perpendicular                         |
| failure         | 50            | 5                   | perpendicular                         |
| failure         | 75            | 1                   | perpendicular                         |
| 75              | failure       | 5                   | perpendicular                         |

Total bolts tested = 64

**Figura 3-8:** Aparato de prueba  
Fuente: (Fabrello, Pollock, McLean, & Young, pág. 6)



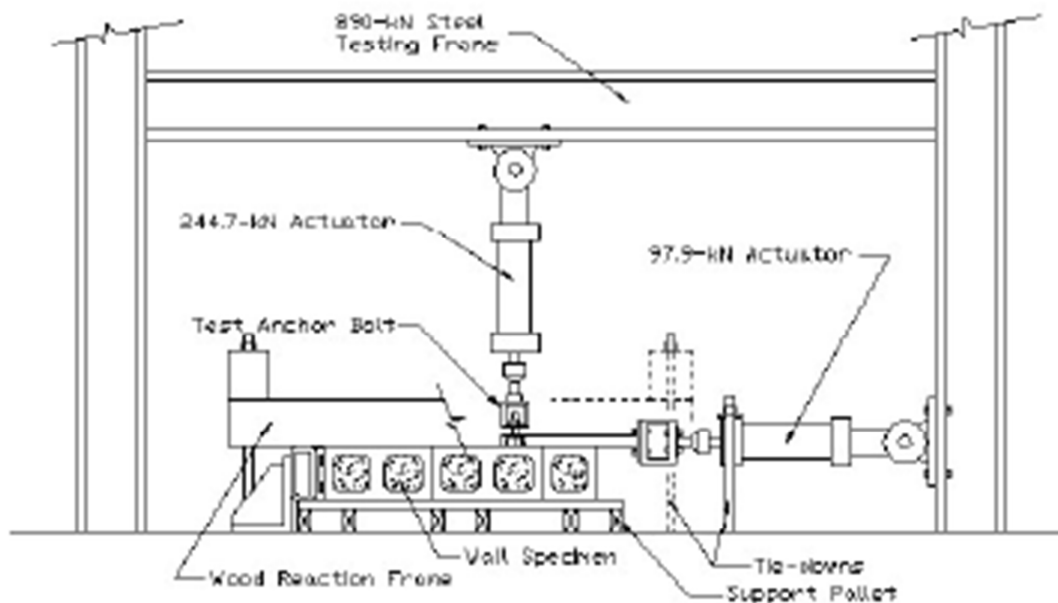
Se emplearon dos actuadores para aplicar carga combinada sobre los pernos de anclaje, uno cargando el perno en tensión y el otro cargando el perno en cortante. La tensión pura y las capacidades de corte puro en los pernos de anclaje se encontraron para una muestra representativa de los pernos de anclaje y esas capacidades se utilizaron como base para la carga combinada de pernos de anclaje.

Por ejemplo, en un conjunto de las pruebas de carga combinadas, los pernos se cargaron en cortante hasta un porcentaje elegido de la capacidad de cortante media. La carga de cortante se mantuvo aproximadamente constante y el actuador de tensión cargó simultáneamente el perno en tensión hasta la falla. Se repitió el proceso para diversos porcentajes de capacidad de corte puro y para diversos porcentajes de capacidad de

tensión pura. Se ensayaron quince pernos en pura tensión. Se ensayaron veintisiete pernos en los que la carga de cortante se aplicó paralela a la unión de la mampostería. Se ensayaron veintidós tornillos en los que la carga cortante se aplicó perpendicular a la unión de la mampostería.

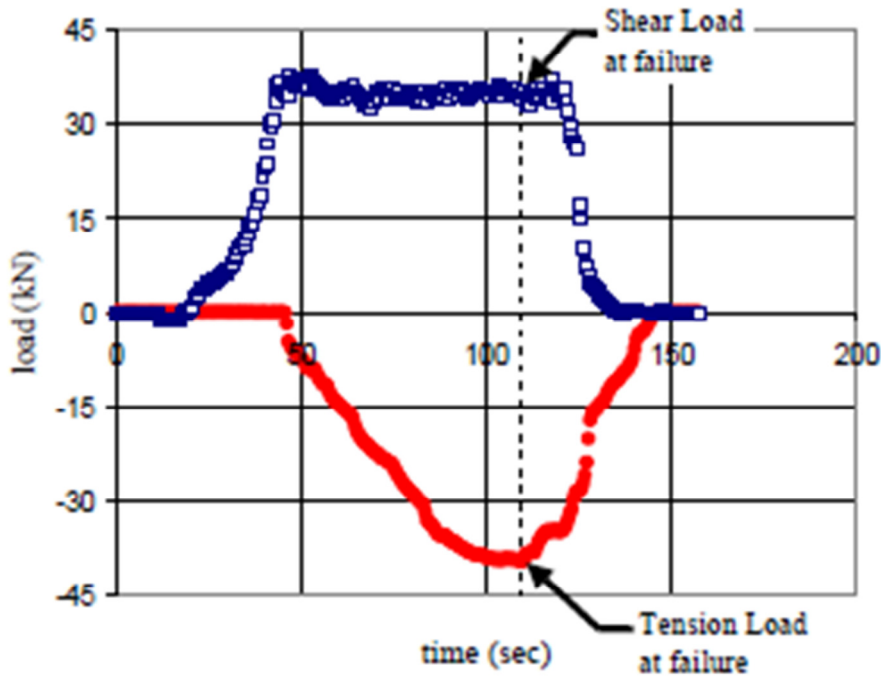
La carga se aplicó a una velocidad de desplazamiento aproximadamente constante hasta que se alcanzó la falla en forma de fisuración de la mampostería, fallo de perno o caída significativa de carga resistida por el actuador. La velocidad de carga se seleccionó de manera que la falla ocurriera entre un minuto y tres minutos. La configuración de prueba para la carga combinada se puede ver en la siguiente figura.

**Figura 3-9:** Aplicación de carga simultánea de tensión y cortante  
Fuente: (Fabrello, Pollock, McLean, & Young)



Una curva representativa de "tiempo - carga" para una prueba de carga combinada puede verse en la siguiente figura. La línea superior representa una carga de cortante que se mantuvo aproximadamente constante mientras se aplicaba simultáneamente una carga de tensión (la línea inferior del gráfico). La carga de tensión aumentó hasta la falla del anclaje. Para el ensayo representado en la siguiente figura, el perno de anclaje se cargó en cortante hasta el 50 por ciento de la capacidad de cortante medio y luego se cargó en tensión a falla.

**Figura 3-10:** Comparación de curvas deformación y cargas a tensión y cortante



En la siguiente tabla se muestran los porcentajes de las capacidades de carga media resistidas por los anclajes bajo sollicitaciones combinadas de tensión y carga cortante para cada serie de ensayos. En la mayoría de los anclajes (56 de las 64 anclas totales) fallaron debido a figuración radial en el bloque que se inicia desde el anclaje. Sólo un ancla falló por resistencia del acero. Algunos de los anclajes comenzaron a deslizarse del bloque al enderezarse el gancho en el extremo del perno. Esto ocurrió en 13 de 15 pruebas de tensión pura. También se observó el enderezamiento del perno de anclaje o “pull out “s en combinaciones de tensión y carga de cortante que se aproximaban a la carga de tracción pura (por ejemplo, se carga el anclaje hasta una capacidad de cortante promedio del 25%, y al 75% de la capacidad en media en tensión). Todos excepto en uno, ocurrieron junto con otros modos de falla. Otros modos de fallo observados incluyeron el aplastamiento, desprendimiento del bloque alrededor del ancla, falla del acero de anclaje, fisuración de la unidad de mampostería en dirección paralela o perpendicular a la carga y la formación del cono de falla de tensión.



**Tabla 3-3:** Resumen de resultados de los ensayos  
 Fuente: (Fabrello, Pollock, McLean, & Young, pág. 8)

**Table 2: Summary of Test Results**

| Direction of Loading      | Series               | Number of Tests | Percent of Pure Shear Capacity | Percent of Pure Tension Capacity |
|---------------------------|----------------------|-----------------|--------------------------------|----------------------------------|
| Parallel to Bedjoint      | Pure Tension         | 10              | 0                              | 100                              |
|                           | Pure Shear           | 10              | 100                            | 0                                |
|                           | 50% Shear            | 5               | 46                             | 76                               |
|                           | 25% Shear            | 5               | 23                             | 89                               |
|                           | 50% Tension          | 2               | 80                             | 50                               |
|                           | 75% Shear            | 5               | 69                             | 69                               |
| Perpendicular to Bedjoint | Pure Tension         | 5               | 0                              | 100                              |
|                           | Pure Shear (Phase 1) | 5               | 100                            | 0                                |
|                           | Pure Shear (Phase 2) | 5               | 100                            | 0                                |
|                           | 50% Shear            | 5               | 48                             | 88                               |
|                           | 75% Shear            | 1               | 71                             | 71                               |
|                           | 75% Tension          | 5               | 50                             | 78                               |
|                           | 25% Shear            | 1               | 24                             | 93                               |

**Figura 3-11:** Fisuración en la mampostería  
 Fuente: (Fabrello, Pollock, McLean, & Young, pág. 8)



**Figura 3-12:** Enderezamiento de barra anclada  
 Fuente: (Fabrello, Pollock, McLean, & Young, pág. 8)



**Tabla 3-4:** Resumen de resultados de interacción  
 Fuente: (Fabrello, Pollock, McLean, & Young, pág. 8)

performance, while ratios under 1.00 overpredict the observed anchor bolt performance. The test strength to predicted strength ratios are summarized in Table 3.

**Table 3: Test Strength to Predicted Strength Ratios**

|            |         | Pure Tension | 25% Shear | 50% Shear | 75% Shear | 75% Tension | 50% Tension | Pure Shear |
|------------|---------|--------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|------------|
| linear     | average | 1.00         | 1.12      | 1.29      | 1.39      | 1.28        | 1.29        | 1.00       |
|            | max     | 1.18         | 1.51      | 1.56      | 1.51      | 1.41        | 1.35        | 1.27       |
|            | min     | 0.84         | 0.97      | 1.04      | 1.24      | 1.15        | 1.24        | 0.89       |
| elliptical | average | 1.00         | 0.95      | 1.00      | 1.05      | 0.99        | 1.00        | 1.00       |
|            | max     | 1.18         | 1.05      | 1.22      | 1.15      | 1.07        | 1.05        | 1.27       |
|            | min     | 0.84         | 0.81      | 0.79      | 0.94      | 0.90        | 0.95        | 0.89       |

From Table 3 it is evident that the elliptical equation with the 5/3 exponent provides a

De acuerdo con (Fabrello, Pollock, McLean, & Young), en el programa de pruebas del documento "Performance Of Anchor Bolts In Concrete Masonry Under Combined Tension And Shear Loading", se llegó a las siguientes conclusiones.

- La interacción lineal es innecesariamente conservadora, dando como resultado una utilización ineficiente de los pernos de anclaje. Una interacción elíptica hará posible que los diseñadores diseñen una fuerza de perno más alta permitida cuando los pernos están sometidos a una tensión combinada y una carga de corte. Además, una interacción elíptica aplicará un factor de seguridad más consistente para diversas combinaciones de tensión y cortante.
- El MSJC-1999 reconoce un comportamiento de interacción curvilíneo, pero "por simplicidad y conservadurismo" se requiere actualmente una interacción en línea recta entre la tensión permisible y las fuerzas de cortante. Este proyecto de investigación ha aportado datos sustanciales sobre la carga combinada de pernos

de anclaje en mampostería que soporta el uso de la interacción elíptica con un exponente de  $5/3$  para el diseño.

- A partir de esta investigación se recomienda que se use una interacción elíptica con un exponente  $5/3$ , Ecuación 5, para el diseño de la interacción combinada tensión / cortante de los pernos de anclaje en mampostería de hormigón. La ecuación de interacción elíptica utiliza una base de diseño más racional y permitirá a los diseñadores utilizar de forma más eficiente los pernos de anclaje.
- La tensión combinada y la carga de cortante paralela a la unión de la mampostería no dan lugar a un comportamiento de interacción diferente de la carga combinada perpendicular a las juntas de unión. Por lo tanto, una sola ecuación de interacción tensión/cortante es suficiente para dirigir todas las direcciones de carga de corte.
- La capacidad al cortante puro promedio de los pernos fue 8 por ciento más alta en las pruebas con la carga de cortante perpendicular a la unión en la junta de pega con respecto a la carga de cortante paralela a la unión de la junta. Este ligero aumento es consistente con datos previos (Kelly et al, 1975). Sin embargo, cuando se cambió la dirección de la carga de cortante entre la carga paralela a la unión en la junta de pega y la carga perpendicular a la unión de la junta de pega, el comportamiento de interacción tensión/cortante no dimensionado permaneció esencialmente el mismo. Por lo tanto, una sola ecuación de interacción tensión / cortante parece ser suficiente para dirigir todas las direcciones de carga de corte.

De acuerdo con (McGinley, Singleton, Greenwald, & Thompson, 2004) En el del documento "Capacity of anchor bolts in concrete masonry", se presentan los resultados obtenidos de una investigación que estudia el comportamiento de anclajes fijados en mampostería. En este se comparan los resultados experimentales con las formulas teóricas del "MSJC, 2002 Masonry Standars Joint Committe" También se referencia y se comparan los resultados obtenidos en una face anterior de la investigación llamada fase 2.

También en esta se indica que la interacción de esfuerzos para anclajes fijados en mampostería de concreto, sometidos a cargas simultaneas de tensión y cortante no es lineal como se asume en los códigos de diseño y en lugar las ecuaciones presentan una

forma elíptica, para lo cual se incluyó en esta un análisis de regresión para determinar cuál es el "mejor ajuste" para el valor de N en la ecuación de interacción para cada una de las configuraciones de carga combinadas y probadas.

En la Fase 2 de la investigación se probaron un total de 185 especímenes de anclaje sometidos a carga de corte o tensión (pernos con cabeza y en L). En estas pruebas se encontró que las disposiciones para el diseño de anclajes que figuran en el MSJC Capítulo 3 (MSJC, 2002) parecen ser en general suficientes para la carga de tensión, pero pueden ser muy poco conservadores para pernos con diámetros grandes, en donde la falla a corte de la mampostería domino el comportamiento del sistema (McGinley, 2003).

En la Fase 3 de la investigación se construyeron y ensayaron un total de 225 muretes en mampostería como especímenes de prueba usando cada una de las configuraciones descritas en la **Tabla 3-5**. Los pernos fueron embebidos y fundidos en "grouting" de 194 mm a 295 mm, a los muretes usados como especímenes no se les proporcionó el confinamiento y se rellenaron con un "grouting" de relleno de 15MPa, este valor cumple el mínimo establecido Por el ASTM C-476, excepto una de las mezclas que no cumplió el requerimiento anterior y que fue utilizada para los especímenes de 194mm. La resistencia a la compresión  $f_m$  de la mampostería estuvo entre 10,3MPa y 13,8MPa valores un 5% menores a los usados en la fase 2 de igual manera el "grouting" de relleno para la fase 3 se redujo en un 50%.

Los pernos utilizados para los anclajes con cabeza cumplían los requisitos del acero ASTM A307 y los pernos en L cumplían los requisitos del ASTM-A36

Cada espécimen se dejó curar en condiciones de laboratorio, posteriormente se colocaron en el marco de ensayos y se sometieron a carga estática de tensión o carga estática de cortante o solicitaciones combinadas de tensión y cortante. Para cada espécimen se midió la carga y la deformación hasta la falla usando los procedimientos descritos en el Método de Ensayo ASTM-E 488.

Los anclajes ensayados en tensión, generalmente se deformaron poco y aproximadamente de forma lineal hasta la resistencia de los pernos, luego se deformaron plásticamente seguidos por la rotura en tensión, o por desprendimiento en la mampostería. Algunas de las muestras presentaron grietas radiales adicionales que comenzaban en los pernos hacia los bordes de la muestra. Generalmente todos los

tornillos en la Fase 3 y todos los pernos mayores de 16 mm en la Fase 2 fallaron por la mampostería.

**Tabla 3-5:** Resumen de resultados por tipo de ensayo

60 days and 100 days after curing in laboratory air.

*Table 1 Prism specimen configurations*

| Units (mm)   | Anchor Type | Anchor Dia. (mm) | Embed. Depth (mm) | Edge Cover (mm) | Load Config. |
|--|-------------|------------------|-------------------|-----------------|--------------|
| Group 1 – 100% Tension Loading                                     |             |                  |                   |                 |              |
| 194  | Headed      | 13, 16, 19, 22   | 108               | 300             | D            |
| 194  | *L* Bolt    | 13, 16, 19, 22   | 108               | 300             | D            |
| Group 2 – 100% Shear Loading                                       |             |                  |                   |                 |              |
| 194  | Headed      | 13, 16, 19, 22   | 108               | 300             | E            |
| Group 3 – 25% Tension Capacity, Shear to Failure                   |             |                  |                   |                 |              |
| 194  | Headed      | 13, 16, 19, 22   | 108               | 300             | 25D/E        |
| 295  | Headed      | 22, 25           | 203               | 300             | 25D/E        |
| Group 4 – 50% Tension Capacity, Shear to Failure                   |             |                  |                   |                 |              |
| 194  | Headed      | 13, 16, 19, 22   | 108               | 300             | 50D/E        |
| 295  | Headed      | 22, 25           | 203               | 300             | 50D/E        |
| Group 5 – 75% Tension Capacity, Shear to Failure                   |             |                  |                   |                 |              |
| 194  | Headed      | 13, 16, 19, 22   | 108               | 300             | 75D/E        |
| 295  | Headed      | 22, 25           | 203               | 300             | 75D/E        |
| Group 6 – 50% Shear Capacity, Tension to Failure                   |             |                  |                   |                 |              |
| 194  | Headed      | 13, 16, 19       | 108               | 300             | 50E/D        |
| Group 7 – 100% Tension Loading; Large Anchors                      |             |                  |                   |                 |              |
| 295  | Headed      | 22, 25           | 203               | 300             | D            |
| 295  | *L* Bolt    | 22, 25           | 203               | 300             | D            |
| Group 8 – 100% Shear Loading; Large Anchors                        |             |                  |                   |                 |              |
| 295  | Headed      | 22, 25           | 203               | 300             | E            |
| 295  | *L* Bolt    | 22, 25           | 203               | 300             | E            |
| Group 9 – Bent Bar Anchors; 50% Tension Capacity, Shear to Failure |             |                  |                   |                 |              |
| 194  | *L* Bolt    | 13, 16, 19, 22   | 108               | 300             | 50D/E        |

En fase2, los anclajes en L de Ø13 mm, presentaron un fallo de extracción del perno, pero los pernos L con diámetros grandes presentaron falla por la mampostería.

En los anclajes sometidos a esfuerzos cortantes de la fase 2 con diámetros de 13 mm a 16 mm junto con los tornillos de 13 mm de la Fase 3, se produjo poca deformación hasta que finalmente los tornillos cedieron y se produjo la falla de cortante en la sección transversal mínima del acero o un fallo en la mampostería que típicamente resultaba en un agrietamiento. Este agrietamiento era similar al agrietamiento de pernos con diámetro 13mm con falla de deslizamiento o mostraban una fisura vertical que iniciaba en la parte inferior en el punto de unión de la mampostería y cruzaba de forma horizontal por el punto de anclaje y luego continuaba por los puntos de unión de la mampostería. Algunos pernos presentaron ambos tipos de fisuración, este comportamiento fue típico tanto para pernos con cabeza como pernos en L, incluso para cargas combinadas.

En la Figura 3-13 muestra la variación de los resultados para las faces dos y tres de los ensayos realizados a tensión para anclajes con cabeza, embebidos 108mm en muretes

de 194mm de espesor. Puede verse en el gráfico, los puntos de mayor resistencia y las resistencias obtenidas con el “grouting” de baja resistencia usado en la Fase 3. (Con excepción de dos pernos que presentaron baja resistencia). El modo de falla cambia en la Fase 3 a un fallo de mampostería para la mayoría de las configuraciones de carga a tensión. También hay una reducción en la fuerza promedio para las configuraciones de la Fase 3 comparadas con la Fase 2, para los pernos con diámetros superiores a los 16 mm, esta reducción es cada vez más pronunciada a medida que se aumentan los diámetros de los pernos.

**Figura 3-13:** Capacidades de pernos en tensión

Fuente: (McGinley, Singleton, Greenwald, & Thompson, 2004, pág. 6)

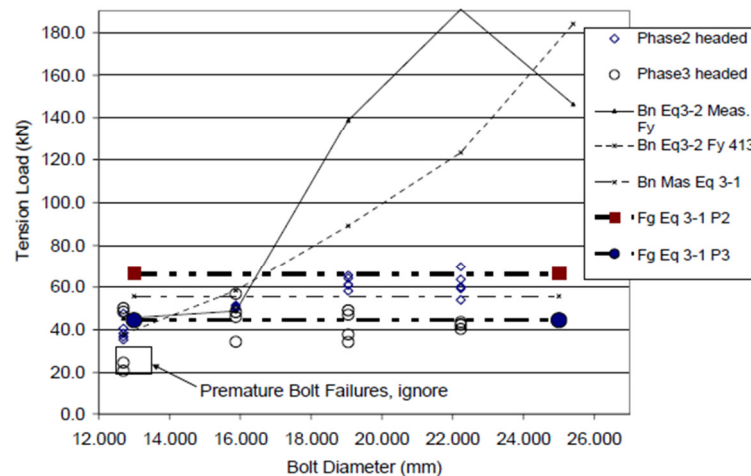


Figure 5—Tension capacities of headed bolts in 194 mm (8 in.) CMU prisms with a 108 mm (4<sup>1</sup>/<sub>4</sub> in.) embedment

Se encontró las disposiciones del MSJC del 2002, parecen dar la mejor predicción de la intensidad de anclaje.

El análisis de los resultados de los ensayos mostrados para la Fase 3 en donde se usaron pernos más resistentes que los ensayados en la Fase 2 (En ambos casos pernos con cabeza y pernos en J), lo anterior sugiere que debió usarse de probetas más resistentes para de la Fase 3, pero el aumento de la resistencia es mucho menor que el 40% esperado por la resistencia de los pernos en comparación con la resistencia de la mampostería que gobernó por capacidad en la fase 3. Programas de pruebas anteriores también evaluaron las capacidades a tensión de anclajes en mampostería obteniendo que los resultados de la Fase 2 y 3 son consistentes con los resultados anteriores para las configuraciones comparables, aunque solo se analizaron anclajes de 16mm y 19mm.

Dado que la resistencia de la mampostería domina el comportamiento de la mayoría de las pruebas, se usó la ecuación 3.1 para calcular la resistencia en tensión a breakout usando el promedio de  $f'_m$ , de este cálculo se obtuvo una resistencia de 57kN para la fase 2 y de 56 kN en la fase 3. La Figura 3-13 muestra también que la capacidad de la mampostería definida por la Ecuación 3-1 la cual sobrestima la resistencia a la tracción de la Fase 3 y subestima la resistencia a la tracción de la fase de 2.

El tipo de patrón de grietas de falla en la mampostería sugiere que el groutin de menor resistencia pudo haber tenido un efecto significativo en la resistencia de la Fase 3, adicional a la reducción del  $f'_m$ , es posible que haya inicialmente un fallo por flexión en las muestras., la falla inicia en la junta superior entonces la menor resistencia del “grouting” tendrá un mayor impacto en la falla a flexión.

Una posible modificación en las ecuaciones de resistencia a la tracción de la mampostería, en donde podría ser usada la resistencia del “grouting” en lugar de  $f'_m$ .

Resultados similares se obtuvieron para pernos en J, a pesar que para largas longitudes de embebido la falla de los anclajes por “pull out “ gobierna en la mampostería. Generalmente las ecuaciones del código sobre estiman la capacidad de los anclajes para diámetros superiores a los 22mm.

Los cálculos de la capacidad nominal sugieren que los anclajes (cabeza y tornillos L) y todos deben fallar en la ruptura por cortante, incluso con la  $f'_m$  ligeramente inferior para la fase 3. Esto no sucedió, por encima del diámetro del perno de 13 mm en donde los especímenes cargados a cortante fallaron por agrietamiento del murete a cargas muy por debajo de los predichos por la fórmula. Como se concluyó en la Fase 2, las ecuaciones de código de MSJC no parecen ser muy precisas en los diámetros de perno más grandes y parece haber al menos otro modo de fallo controlado por la mampostería.

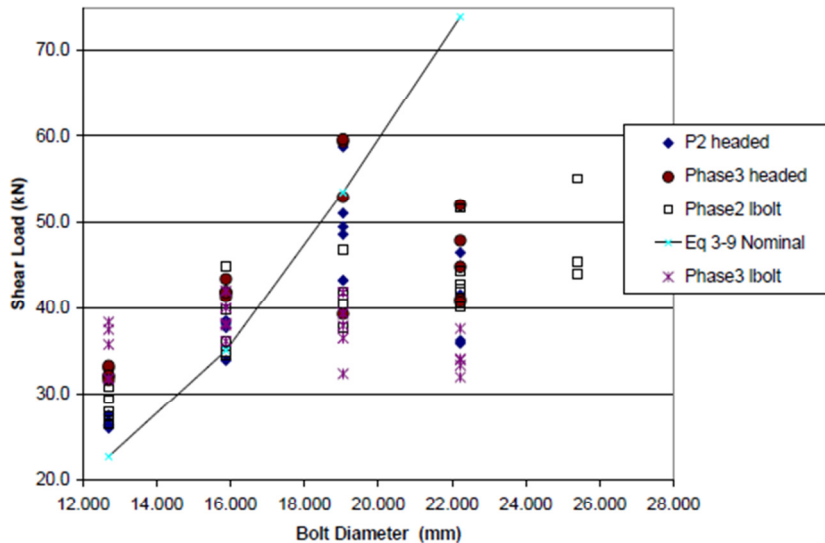
La interacción de fuerzas actuantes sobre un anclaje en mampostería, puede se calculada con usando una ecuación de interacción que tiene la siguiente forma.

$$\left(\frac{b_a}{B_a}\right)^N + \left(\frac{b_v}{B_v}\right)^N = 1$$

Ecuación 3-2

Es común en el código MSJC, usar la ecuación conservadoramente con un valor de  $N=1$ . El valor de  $N$  usado en la mayoría de los códigos de acero es 2 y datos recientes para anclajes en mampostería sugieren que el valor de  $N$  puede ser más grande que 1.

**Figura 3-14:** Esfuerzos cortantes obtenidos de la fase y 2 y fase 3.  
 Fuente: (McGinley, Singleton, Greenwald, & Thompson, 2004, pág. 8)



*Figure 6 Measured shear strength of bolts in Phase 2 and Phase 3*

Para determinar el valor más conveniente de N para ser usado en mampostería, una regresión de mínimos cuadrados fue realizada sobre los datos combinados para cada configuración de prueba. Los valores de base de tensión y cortante fueron tomados del promedio de medias a tensión o cortante, estos valores fueron tomados para determinar las relaciones  $b_a/B_a$  y  $b_v/B_v$ . Se anota que para las pruebas de cortante se produjeron fallas en el acero para anclajes con diámetros pequeños mientras que para diámetros grandes se produjo la falla en la mampostería. Se realizó un ajuste de mínimos cuadrados para estas relaciones y se obtuvo un coeficiente de regresión  $R^2$ . Los resultados de las regresiones con pocas excepciones el valor de N está en un rango de 1.4 a 1.5.

Los valores de N determinados en la fase 3 de la investigación son generalmente inferiores al valor de 1,67 determinado por Fabrello-Streufert en la fase 2. En esta última se ensayaron un mayor número de configuraciones de anclajes obteniendo valores más bajos para N. Entonces la falla por cortante de los anclajes en mampostería no se entiende suficientemente bien y es probable que se estén afectando los resultados. Finalmente, los pernos de anclaje en mampostería de hormigón interactúan con el refuerzo y este no ha sido estudiado aun mediante pruebas. Es probable que el refuerzo de aumente las capacidades de anclaje y disminuya la falla en la mampostería.



Con base en los resultados de (McGinley, Singleton, Greenwald, & Thompson, 2004) de la Fase 3 del programa de pruebas del documento “Capacity of anchor bolts in concrete masonry”, se llegaron a las siguientes conclusiones:

- El “grouting” de baja resistencia utilizado en la Fase 3 de los ensayos, no redujo la resistencia a la compresión ( $f'_m$ ) del espécimen significativamente, pero afectó de manera significativa la tensión medida y en cierta medida la resistencia a cortante de los anclajes.
- Las ecuaciones para determinar la capacidad nominal a tensión en pernos de anclaje de acuerdo con el Código MSJC parecen dar resultados relativamente buenos en diámetros de anclaje pequeños. Sin embargo, un método sugerido más preciso para la determinación de la ruptura a tensión de la mampostería debido a la baja resistencia del “grouting” usado, es usar el esfuerzo a compresión del “grouting” como valor de  $f'_m$ . Adicionalmente, no se contabilizó el *splittig/flexural* en los modos de falla que parece estar presentes en diámetros de anclaje grandes, estos modos de falla pueden ser el resultado del protocolo de pruebas, por lo que este problema necesitaría de mayor estudio.
- Las disposiciones para carga de cortante en la MSJC parecen ser adecuadas para determinar la capacidad de los pernos con diámetro pequeño, pero pueden ser muy poco conservadores para determinar la capacidad de carga a corte de los pernos con diámetros superiores a (17 mm). Según lo observado con los anclajes de gran diámetro en la mampostería rota, las ecuaciones no determinan con exactitud el modo de falla “*splittig/flexural*” observado cuando se usan los anclajes de gran diámetro. Las ecuaciones del código para determinar la capacidad a corte, necesitan ser promovidas y desarrolladas aún más para ser utilizadas con éxito en pernos de anclaje con grandes diámetros.
- Los resultados de los análisis de regresión para combinaciones de tensión y cortante, relacionados con la ecuación de interacción parecen sugerir un valor de  $N$  de 1.4 a 1.5 para ser utilizado como el exponente más adecuado en la ecuación de interacción, cuando el comportamiento del anclaje está dominado por la falla de la mampostería.