

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE ANCLAJES
METÁLICOS POST-INSTALADOS EN ELEMENTOS DE CONCRETO PARA
LÍNEAS DE VIDA.**



**CATALINA CALDERÓN PLATA
EDWING ALEXIS ANGARITA SUÁREZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMENCÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2013

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE ANCLAJES
METÁLICOS POST-INSTALADOS EN ELEMENTOS DE CONCRETO PARA
LÍNEAS DE VIDA.**

**CATALINA CALDERÓN PLATA
EDWING ALEXIS ANGARITA SUÁREZ**

*Trabajo de grado en la modalidad investigación para optar por el título de
Ingeniero(a) Civil*

Director

Ing. LEOCADIO RICO PRADILLA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMENCÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2013

DEDICATORIA

A Dios por iluminarme y bendecirme todos los días, a la vida por darme la oportunidad de alcanzar esta meta y de expresar mis agradecimientos.

A mis padres Emincey y Fidelino por brindarme amor, apoyo, confianza y comprensión durante todo este proceso.

A mis hermanos Juan Fer y Liseth por motivarme a luchar con su fuerza y alegría.

A todos mis familiares y amigos quienes con su apoyo, palabras de aliento y colaboración me acompañaron y motivaron en cada uno de mis aprendizajes y experiencias.

Catalina Calderón Plata

Este trabajo está dedicado a Dios, por haberme dado la vida y permitirme llegar a este momento tan importante en mi formación profesional.

A mi madre, porque ser esa luz que me iluminó en todo momento, porque sin su apoyo y cariño, no estaría en este momento de mi vida.

A mi padre, por creer en mí, por apoyarme y enseñarme como ser un buen papá.

A mis amigos Federico Rincón, Julián Angulo y José Darío Rodríguez, por su incondicional apoyo y ayuda.

A mis jefes, Fabio García y Pedro Pinzón, por todo su apoyo y comprensión

Y a todas las personas que participaron en la realización de este trabajo.

Edwing Alexis Angarita Suarez

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestros padres por todo el apoyo brindado a lo largo de este camino de formación. A nuestro director de proyecto de grado Leocadio Rico Padrilla, por su orientación y enseñanzas, al personal del laboratorio de concretos de la Escuela de Ingeniería Civil, especialmente a Jairo Hernández por su colaboración y apoyo y a todas aquellas personas que hicieron posible la elaboración de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	19
2. OBJETIVOS	21
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	21
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
3. NOMENCLATURA	22
4. ESTADO actual DEL CONOCIMIENTO	26
4.1. DEFINICIONES	26
4.2. COMPORTAMIENTO DE LOS ANCLAJES	28
4.2.1. Relación carga-desplazamiento y modos de falla bajo cargas de tracción.....	28
4.2.2. Resistencia última en tracción	31
4.2.2.1. Falla del acero	31
4.2.2.2. Falla de un cono de hormigón	31
4.2.2.3. Arrancamiento (deslizamiento) del anclaje	32
4.2.2.4. Falla por hendimiento del hormigón	32
4.2.3. Relación carga-desplazamiento y modos de falla en corte	32
5. CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA ANCLAJES POST-IINSTALADOS DE EXPANSIÓN DE TORQUE CONTROLADO.....	35
5.1. REQUISITOS DE DISEÑO PARA CARGAS DE TRACCIÓN	35
5.1.1. Resistencia del acero de un anclaje en tracción.	35
5.1.2. Resistencia al arrancamiento del concreto de un anclaje en tracción.	35

5.1.3. Resistencia a la extracción por deslizamiento de un anclaje.....	36
5.2. REQUISITOS DE DISEÑO PARA SOLICITACIONES DE CORTANTE	36
5.2.1. Resistencia del acero del anclaje sometido a cortante. La.....	36
5.2.2. Resistencia al arrancamiento del concreto de anclajes a cortante.	36
5.2.3. Resistencia al desprendimiento del concreto por cabeceo del anclaje sometido a cortante.	37
5.3. REQUISITOS DE POSICIÓN PARA ANCLAJES POST-INSTALADOS DE TORQUE CONTROLADO	37
6. PROCEDIMIENTO DE EJECUCION DE LOS ENSAYOS	39
7. ANALISIS DE RESULTADOS	42
8. CONCLUSIONES.....	53
9. RECOMENDACIONES E INVESTIGACIONES FUTURAS	54
BIBLIOGRAFIA	56
ANEXOS	57

LISTADO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Resultados de los ensayos de compresión.	42
Tabla 2. Ensayo No 1 ACI 355.1 da 9,525 mm y hef 70 mm.	43
Tabla 3. Ensayo No 1 ACI 355.1 da 12,7 mm y hef 80 mm.	44
Tabla 4. Ensayo No 1 ACI 355.1 da 9,525 mm cerca de los bordes.	45
Tabla 5. Ensayo No 1 ACI 355.1 da 12,7 mm cerca de los bordes.	45
Tabla 6. Resultados de la capacidad característica $F5\%$ de anclajes individuales post-instalados en concreto no fisurado de expansión de torque controlado, de diámetro da de 9.525 mm (3/8") y hef de 70 mm.	46
Tabla 7. . Resultados de la capacidad característica $F5\%$ de anclajes individuales post-instalados en concreto no fisurado de expansión de torque controlado, de diámetro da de 12.7 mm (3/8") y hef de 80 mm.	47
Tabla 8. Diferencia de la capacidad característica $F5\%$ de anclajes individuales post-instalados en concreto no fisurado de expansión de torque controlado, de diámetro da de 9.525 mm (3/8") y hef de 70 mm y de diámetro da de 12,7 mm(1/2") y hef de 80 mm.	48
Tabla 9. Ensayo No 1 ACI 355.1 da 9,525 mm y hef 70 mm ± 2 mm.	49
Tabla 10. Capacidad característica $F5\%$ de anclajes individuales post-instalados en concreto no fisurado de expansión de torque controlado, de diámetro da de 9.525 mm (3/8") y hef de 70 mm ± 2 mm.	49
Tabla 11. Comparación entre la capacidad característica $F5\%$ obtenida con una profundidad hef adecuada y una profundidad hef con un error de ± 2 mm.	50

LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Anclajes post-instalados	27
Figura 2. Platinas de extracción de anclajes	28
Figura 3. Fallas de anclajes solicitados a tracción	29
Figura 4. Relación carga- desplazamiento para anclajes con cabeza y rebajados.	30
Figura 5. Relación carga-desplazamiento para anclajes de expansión bajo cargas de tracción	31
Figura 6. Curva carga-desplazamiento para anclajes solicitados a tracción.	33
Figura 7. Modos de falla típicos de los anclajes cargados en corte.	33
Figura 8. Procedimiento de instalación	40
Figura 9. Ensayo de compresión NTC 673.	42
Figura 10. Ensayo grupal.....	52

LISTADO DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. DISEÑOS DE LAS PLATINAS Y SOLDADURAS PLATINA.....	57
ANEXO B. DATOS DE LA CALIBRACIÓN DE LA MÁQUINA DE EXTRACCIÓN DE ANCLAJES EN LA MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS.....	63
ANEXO C. PLANOS	64

RESUMEN

TÍTULO: EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE ANCLAJES METÁLICOS POST-INSTALADOS EN ELEMENTOS DE CONCRETO PARA LÍNEAS DE VIDA¹

AUTORES: CATALINA CALDERÓN PLATA, EDWING ALEXIS ANGARITA SUÁREZ²

PALABRAS CLAVES: Trabajo en alturas, líneas de vida, anclaje post- instalado, anclaje de expansión.

La creciente tasa de accidentalidad en trabajo en alturas en Colombia conlleva a que se dispongan de reglamentos y de elementos de protección personal como por ejemplo arnés, eslinga y líneas de vida para garantizar la integridad física del trabajador. Las líneas de vida son sistemas certificados debidamente anclados a una estructura, para garantizar la seguridad de los trabajadores al realizar labores en alturas. El Reglamento Colombiano de Seguridad para Protección Contra Caídas en Trabajo en Alturas (Resolución número 1409 del 23 de Julio de 2012) define el anclaje como punto seguro al que pueden conectarse equipos personales de protección contra caídas con una resistencia mínima de 5000 lb - 22,2 kN por persona conectada. Los anclajes post instalados de torque controlado, se diseñaron cumpliendo con los parámetros establecido por el Apéndice C-D del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). Las resistencias de los anclajes están definidas por ecuaciones en el apéndice C - D de la NSR-10, pero en el caso de la resistencia a la extracción por deslizamiento por tracción del anclaje, la NSR-10 establece que debe determinarse siguiendo los procedimientos establecidos por el código ACI 355.2. Al realizar estos ensayos, se obtuvieron importantes deducciones, como que la resistencia por extracción por deslizamiento no depende de la distancia al borde a la cual se encuentre instalado el anclaje, que solo depende del diámetro del anclaje y de la profundidad efectiva de embebido; también que el procedimiento de instalación es fundamental para que la resistencia a la extracción por deslizamiento sea la adecuada.

¹ Trabajo de grado. Modalidad Investigación.

² Facultad Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director Leocadio Rico Pradilla

ABSTRACT

TITLE: EVALUATION OF THE STRUCTURAL BEHAVIOR OF METALLIC ANCHORS POST-INSTALLED IN ELEMENTS OF CONCRETE FOR LIFELINES³

AUTHORS: CATALINA CALDERÓN PLATA, EDWING ALEXIS ANGARITA SUÁREZ⁴

KEYWORDS: Working at heights, life line, post installed anchor, expansion anchor.

The increasing rate of accident in working at heights in Colombia this carries that prepare of regulations and of elements or personal protection as for example harness, sling and lifelines to guarantee the physical integrity of the worker. Lifelines are certified systems they are duly anchored to structure in order to guarantee safety of workers when working at heights. The Colombian Regulation of Security to protect employees against accidents at heights (Resolución número 1409 del 23 de Julio de 2012) define the anchor as a sure point to which can connect personal protective equipment against falls with a minimum strength of 5000 lb - 22.2 kN by connected person. The anchors are designed carrying with the parameters established by the appendix C-D of the NSR-10, but in the case of the resistance to the extraction by traction slip of anchor, the NSR-10 establishes that it must be determined following the procedures proposed by ACI 355.2. On having realized these tests, there are obtained important deductions, as which the resistance for extraction for slide does not depend on the distance to the edge to which one finds installed the anchorage, which alone depends on the diameter of the anchorage and on the effective depth of absorbed; also that the procedure of installation is fundamental in order that the resistance to the extraction for slide is the suitable one.

³ Degree work. Research mode.

⁴ Physico-Mechanical Faculty. School of Civil Engineering. Chief Leocadio Rico Pradilla.

INTRODUCCIÓN

Debido a la creciente tasa de accidentalidad en las actividades que implican trabajo en alturas, la normativa colombiana exige el cumplimiento de unos parámetros para garantizar la integridad física del trabajador cuando realice dichas actividades. Esto conlleva a que el trabajador disponga de los sistemas de protección personal contra caídas, como por ejemplo líneas de vida, puntos de anclaje, arnés y eslingas. Las líneas de vida deben estar conectadas a puntos de anclaje que cuenten con una resistencia mínima de 5000 lb - 22,2 kN por persona conectada.

Este trabajo presenta el diseño y la evaluación de anclajes mecánicos post-instalados en concreto no fisurado de baja resistencia para líneas de vida, siguiendo las indicaciones de la normativa colombiana. La NSR-10 [1] establece que la resistencia a la extracción por deslizamiento por tracción del anclaje sólo se puede determinar siguiendo los procedimientos establecido por el código ACI 355.2 [2].

El código ACI 355.2 sólo es aplicable para anclajes individuales, sin embargo se realizaron ensayos en grupos de anclajes para analizar su resistencia a la extracción por deslizamiento.

Los ensayos consistieron en la perforación de tres (3) placas de concreto de dimensiones de 1x2 m y espesor de 0,13 m cada una. En ellas se instalaron anclajes de expansión de torque controlado, que consistieron en tornillos con cabeza de diámetros de 12,7 mm (1/2") y de 9,525 mm (3/8") y camisas de expansión. Para cada uno de los diámetros de los tornillos se diseñó una platina de acero ASTM A-36 de espesor $t = 15,9 \text{ mm}$, que funcionó como elemento de

fijación. Una vez instalados, se utilizó una máquina de extracción de anclajes para medir la resistencia a la extracción por deslizamiento soportada por cada uno y se registraron los valores obtenidos.

1. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Las líneas de vida, son estructuras para proteger la integridad física de trabajadores, que están situados a una altura superior a 1,5 m sobre la superficie de trabajo. Este sistema está compuesto por líneas de vida verticales, líneas de vida horizontales y grúas anticaídas para la protección del trabajador. Las líneas de vida horizontales son sistemas de cables de acero, cuerdas o rieles que están debidamente anclados a la estructura donde se realizara el trabajo en alturas que permitirá la conexión de los equipos personales de protección contra caídas y el desplazamiento horizontal del trabajador sobre una determinada superficie. Las líneas de vida verticales son un sistema de cables de acero o cuerdas que están ancladas en un punto superior a la zona de labor, que protegen al trabajador en su desplazamiento vertical (asenso/descenso).

Estos anclajes requieren tener una resistencia mínima de 22.2 KN por persona conectada, según la Resolución número 1409 del 23 de Julio de 2012 por la cual se establece el Reglamento Técnico del Trabajo Seguro en Alturas, y ser diseñados y ensayados según el Apéndice C-D del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10).

El anclaje debe estar diseñado para tener una resistencia a tracción del acero, resistencia a las fuerzas cortantes, al arrancamiento del concreto por tracción y cortante, resistencia a la extracción por deslizamiento por tracción, resistencia al desprendimiento lateral del concreto por tracción y resistencia al desprendimiento del concreto por cabeceo del anclaje por cortante. Todas estas resistencias excepto una, se pueden determinar mediante el uso de ecuaciones. La resistencia a la extracción por deslizamiento por tracción del anclaje sólo se puede determinar mediante ensayos de laboratorio según lo estipulado en el apéndice C-D.5.3.2 de

la NSR-10 siguiendo el procedimiento establecido en la norma ACI 355.2, donde se indica el tipo de ensayo a realizar, el número de muestras a probar en cada ensayo, para obtener 90 por ciento de confianza de que existe un 95 por ciento de probabilidad de que la resistencia real exceda a la resistencia nominal.

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), en el numeral C-D.5.2 establece cómo determinar la resistencia al arrancamiento del concreto de un anclaje en tracción e indica unos factores de modificación para dicha resistencia. En el numeral C-D.5.2.5 se define el factor de modificación para los efectos de borde para anclajes y en el numeral C-D.5.2.7 define el factor de modificación para anclajes post-instalados diseñados para concreto no fisurado. Estos dos factores dependen de la distancia al borde que tenga el anclaje, dicha distancia debe ser como mínimo 1,5 veces la profundidad efectiva de embebido del anclaje y 4 veces la profundidad efectiva de embebido del anclaje respectivamente, si alguna de estas dos condiciones no se cumple, la resistencia al arrancamiento del concreto disminuye.

Cumplir estas dos condiciones en la cotidianidad es muy complicado, ya que encontrar elementos estructurales con estas dimensiones es poco común, entonces se probara en el laboratorio con una distancia mínima al borde menor a las ya mencionadas anteriormente, para verificar si estos factores son adecuados para la determinación de la resistencia al arrancamiento del concreto del anclaje.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el comportamiento estructural de anclajes metálicos post-instalados de torque controlado en estructuras de concreto para líneas de vida.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una revisión bibliográfica sobre anclajes metálicos post-instalados en el concreto.
- Diseñar anclajes pos-instalados de torque controlado para ser probados de manera individual y grupal.
- Ensayar los anclajes según la metodología de la norma ACI 355.2 “Evaluación del Comportamiento de los Anclajes Mecánicos para Instalar en Hormigón Endurecido” para evaluar la resistencia a la extracción por deslizamiento del anclaje por tracción.
- Evaluar anclajes aislados y grupos de anclajes para determinar las fuerzas que resisten.
- Comparar los valores de los factores de modificación por efectos de borde en concreto no fisurado, en el diseño de anclajes post-instalados de torque controlado, según lo estipulado en el apéndice C-D de el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10).
- Estudiar el tipo de falla presentada en los anclajes ante la presencia de cargas.

3. NOMENCLATURA

- A_g : Área bruta del miembro, mm^2 .
- A_n : Área neta del miembro, mm^2 .
- A_{Nc} : Área de falla proyectada del concreto en un anclaje solo o en un grupo de anclajes utilizada para calcular la resistencia a tracción, mm^2 .
- A_{Nco} : Área de falla proyectada del concreto en un anclaje solo, utilizada para calcular la resistencia a tracción cuando no se encuentra limitada por la distancia al borde o el espaciamiento, mm^2 .
- $A_{se,N}$: Área efectiva de la sección transversal del anclaje en tracción mm^2 .
- $A_{se,V}$: Área efectiva de la sección transversal del anclaje en cortante, mm^2 .
- A_{Vc} : Área proyectada de la falla del concreto de un anclaje solo o de un grupo de anclajes, utilizada para calcular la resistencia al cortante, mm^2 .
- A_{Vco} : Área proyectada de la falla del concreto de un anclaje solo, utilizada para calcular la resistencia a cortante, cuando no se encuentra limitada por la influencia de una esquina, del espaciamiento o del espesor del elemento, mm^2 .
- A_{we} : Área efectiva de una soldadura, mm^2 .
- c_{ac} : Distancia crítica al borde requerida para desarrollar la resistencia básica del concreto al arrancamiento de un anclaje post instalado en concreto no fisurado sin refuerzo suplementario para controlar el hendimiento, mm.
- c_{amin} : Mínima distancia medida desde el centro del fuste de un anclaje al borde del concreto, mm.
- c_{a1} : Distancia medida desde el centro del fuste de un anclaje hasta el borde del concreto en una dirección, mm. Si se aplica cortante al anclaje, c_{a1} se mide en la dirección de la fuerza cortante aplicada. Si se aplica tracción al anclaje, c_{a1} es la mínima distancia al borde.

- d_a : Diámetro exterior de un anclaje o diámetro del fuste del perno con cabeza, del tornillo con cabeza, o del perno con forma de gancho, mm.
- e'_N : Distancia entre la resultante de tracción en un grupo de anclajes cargados en tracción y el centroide del grupo de anclajes cargados en tracción, mm. e'_N siempre es positiva.
- F_{nw} : Resistencia nominal del metal de la soldadura por unidad de área, sin incrementos por direccionalidad, Mpa
- f'_c : Resistencia especificada a la compresión del concreto, MPa.
- f_{uta} : Resistencia especificada a la tracción del acero del anclaje, MPa.
- f_y : Resistencia especificada a la fluencia del refuerzo, MPa.
- f_u : Resistencia última a tensión Mpa
- h_{ef} : Profundidad efectiva de embebido del anclaje, mm.
- k_{cp} : Coeficiente para la resistencia al desprendimiento por cabeceo del anclaje.
- l_e : Longitud de apoyo de la carga de un anclaje para cortante, mm.
- N_b : Resistencia básica al arrancamiento del concreto en tracción de un solo anclaje en concreto, N.
- N_{cb} : Resistencia nominal al arrancamiento del concreto en tracción de un solo anclaje, N.
- N_{cbg} : Resistencia nominal al arrancamiento del concreto en tracción de un grupo de anclajes, N.
- N_n : Resistencia nominal en tracción, N.
- N_p : Resistencia a la extracción por deslizamiento por tracción de un solo anclaje en concreto fisurado, N.
- N_{pn} : Resistencia nominal a la extracción por deslizamiento por tracción de un solo anclaje, N.
- N_{sa} : Resistencia nominal del acero de un anclaje a tracción, N.
- P_n : Resistencia nominal a fuerza axial, N.
- R_n : Resistencia nominal para el estado límite del deslizamiento, N
- t : Espesor de un elemento, mm.

- V_b : Resistencia básica al arrancamiento por cortante de un solo anclaje en concreto fisurado, N .
- V_{cb} : Resistencia nominal al arrancamiento del concreto por cortante de un solo anclaje, N .
- V_{cbg} : Resistencia nominal al arrancamiento del concreto al cortante de un grupo de anclajes, N .
- V_{cp} : Resistencia nominal al desprendimiento del concreto por cabeceo de un anclaje solo, N .
- V_{sa} : Resistencia nominal a cortante de un solo anclaje o grupo de anclajes determinada por la resistencia del acero.
- V_b Resistencia básica al arrancamiento por cortante de un solo anclaje en concreto fisurado, N .
- Φ Coeficiente de reducción.
- λ : Factor de modificación que tiene en cuenta las propiedades mecánicas reducidas del concreto de peso liviano, relativa a los concretos de peso normal de igual resistencia a la compresión.
- $\Psi_{c,N}$: Factor de modificación para la resistencia a tracción de anclajes con base en presencia o ausencia de fisuras en el concreto.
- $\Psi_{c,V}$: Factor de modificación para la resistencia a cortante de anclajes con base en la presencia o ausencia de fisuras en el concreto y la presencia o ausencia de refuerzo suplementario.
- $\Psi_{c,P}$: Factor de modificación para la resistencia a la extracción por deslizamiento con base en la presencia o ausencia de fisuras en el concreto.
- $\Psi_{cp,N}$: Factor de modificación para la resistencia a tracción de anclajes post-instalados utilizados en concreto no fisurado y sin refuerzo suplementario.
- $\Psi_{ed,N}$: Factor de modificación para la resistencia a tracción de anclajes con base en la proximidad a los bordes de elementos de concreto.
- $\Psi_{ed,V}$: Factor de modificación para la resistencia a cortante de anclajes con base en la proximidad de los bordes de elementos en concreto.

$\Psi_{ec,N}$: Factor de modificación para la resistencia a tracción de anclajes con base en la excentricidad de las cargas aplicadas.

$\Psi_{h,V}$: Factor de modificación para la resistencia a cortante de anclajes colocados en elementos de concreto con $h_a < 1.5C_{a1}$.

4. ESTADO actual DEL CONOCIMIENTO

4.1. DEFINICIONES

Las líneas de vida son una línea flexible de acero, construidas con materiales certificados, van conectadas a un punto de anclaje para evitar la caída de una persona cuando realice trabajos en alturas, protegiendo de esa manera la integridad física de los trabajadores. En ningún caso se permitirá la conexión de más de dos trabajadores a un punto de anclaje fijo [3].

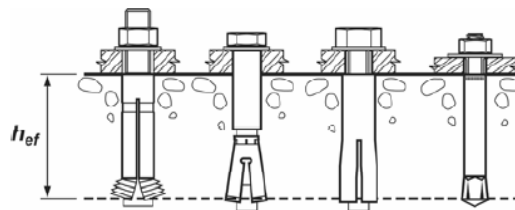
Están conformadas por dos grupos: líneas de vida horizontales y líneas de vida verticales. Las primeras son sistemas de cables de acero, que permiten el desplazamiento horizontal del trabajador sobre una superficie, éstas van ancladas a la estructura donde se realizará el trabajo y permitirán la conexión de los equipos personales de protección contra caídas. Las líneas de vida verticales son un sistema de cables de acero ancladas a un punto superior de la zona de labor, y permiten al trabajador un desplazamiento vertical (ascenso/descenso).

La resolución No 1409 de 2012 considera trabajo en alturas cuando exista la posibilidad de caer a 1,5 m. o más de un nivel superior, siendo esta una de las primeras causas de accidentalidad y muerte en el trabajo. Establece la resistencia mínima que deben soportar los anclajes de 5000 libras – 22,2 KN [3]. Establece también que es obligación de los empleadores organizar y garantizar el funcionamiento de un programa de salud ocupacional, como realizar evaluaciones médicas y verificar que todos los equipos y sistemas de protección personal contra caídas cumplan con los requerimientos establecidos.

Por otra parte, el apéndice C-D de la NSR-10 define el anclaje como un dispositivo de acero ya sea preinstalado, antes de colocar el concreto o post – instalado, en un elemento de concreto endurecido, que es usado para transmitir fuerzas aplicadas. Incluye los tornillos con cabeza, los tornillos con extremo con forma de gancho (J o L), pernos con cabeza, anclajes de expansión, o anclajes con sobreperforación en su base [1].

Este apéndice, proporciona los requisitos de diseño para los anclajes en el concreto, utilizados para transmitir las cargas estructurales por medio de tracción, cortante o combinación de tracción y cortante entre elementos estructurales conectados. Para el desarrollo de este proyecto se escogieron anclajes post- instalados de expansión, figura 1.

Figura 1. Anclajes post-instalados



Fuente: Apéndice C-D NSR-10.

Este tipo de anclaje es instalado en el concreto endurecido y le transmite cargas por apoyo directo o por fricción, a través de la camisa de expansión. Este elemento cubre la parte externa del tornillo, la cual es forzada hacia fuera aplicando un golpe de impacto para poder apoyarse contra los lados del orificio previamente perforado en el concreto. El grupo de anclajes es el conjunto de anclajes que tienen aproximadamente la misma profundidad de embebido, entendiéndose como ésta, la profundidad total a partir de la cual el anclaje transfiere fuerza hacia el concreto que lo rodea.

4.2. COMPORTAMIENTO DE LOS ANCLAJES

Es necesario entender los tipos de fallas y las resistencias de los anclajes para comprender su comportamiento. Estas resistencias están ligadas al material con el cual está fabricado, a la profundidad de embebido, a la distancia a los bordes, al espesor y resistencia del elemento donde esté instalado, y al proceso de instalación del anclaje. Los anclajes se cargan a través de elementos de fijación y la carga puede ser de tracción o corte. Para nuestro caso se sobre-diseñaron cuatro (4) platinas de acero ASTM A-36 (f_y : 250 Mpa f_u : 410 Mpa) con un elemento sujetador conectado por soldadura de filete, de dimensiones 100x100 mm, para los anclajes individuales con una perforación en el centro de d_a : 9,525mm (3/8") y d_a : 12,7 mm (1/2") respectivamente y de 120x120 mm para los anclajes grupales con cuatro (4) perforaciones por platina figura 2. (Ver anexo 1).

Figura 2. Platinas de extracción de anclajes



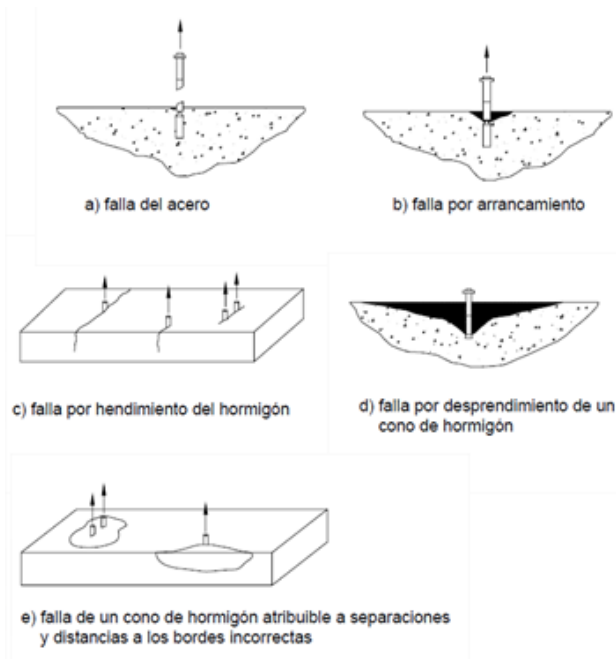
Fuente: Autores.

4.2.1. Relación carga-desplazamiento y modos de falla bajo cargas de tracción. Las cinco fallas principales de los anclajes solicitados a tracción se ilustran en la figura 3 y son las siguientes:

- a) Falla del acero
- b) Falla por arrancamiento o deslizamiento
- c) Falla por hendimiento del hormigón
- d) Falla por desprendimiento de un cono de hormigón de un anclaje traccionado.

- e) Falla de un cono de hormigón atribuible a la separación y distancias a los bordes.

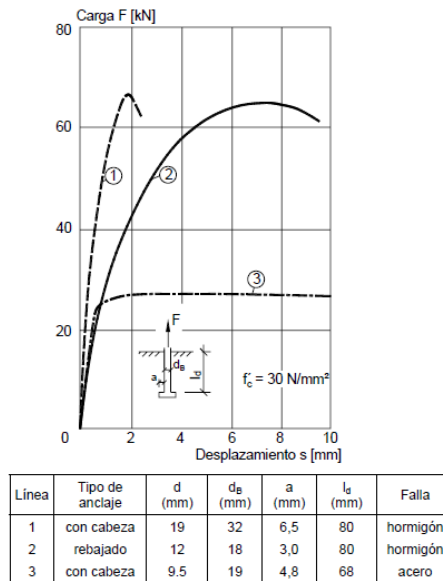
Figura 3. Fallas de anclajes solicitados a tracción



Fuente: ACI 355.1R-91.

En los anclajes de torque controlado, las características de desplazamiento dependen del torque de instalación, el mecanismo de transferencia de carga y del modo de falla. En la línea 1 figura 4, se muestran curvas para anclajes de expansión de torque controlado, tipo "drop-in" y autoperforantes. Si a un anclaje se le aplica una precarga, lo cual típicamente se realiza ajustando la tuerca, afecta el desplazamiento provocado por las cargas aplicadas externamente. Un anclaje que ha sido precargado evidencia poco desplazamiento a medida que aumenta la carga exterior hasta que se supera la precarga en el anclaje (y la fuerza resultante en el hormigón). La precarga no afecta la capacidad de tracción estática última del anclaje, pero reduce significativamente su desplazamiento total. [4].

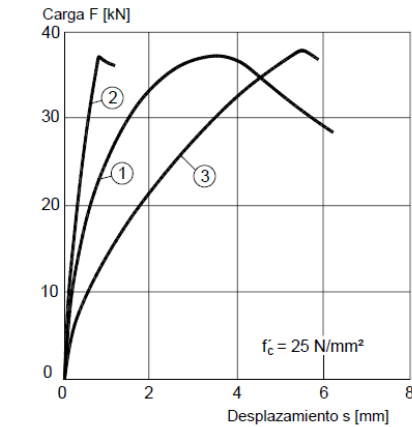
Figura 4. Relación carga- desplazamiento para anclajes con cabeza y rebajados.



Fuente: ACI 355.1R-91.

En el caso de la falla del acero, que se muestra en la línea 3 de la figura 4, la ductilidad depende de la relación entre la resistencia a la tracción y la tensión de fluencia del acero y de la longitud de anclaje. Se puede anticipar que, a menos que sean precargados, con cargas relativamente bajas, los anclajes con cabeza sufrirán desplazamientos inelásticos debajo de la cabeza debido a las deformaciones del hormigón. Aumentar el área de apoyo debajo de la cabeza puede reducir los desplazamientos inelásticos, pero tendrá poca influencia sobre la carga de falla. Los anclajes con cabeza que fallan debido a la fractura del hormigón exhibirán una falla frágil (figura 5 Línea 2) [4].

Figura 5. Relación carga-desplazamiento para anclajes de expansión bajo cargas de tracción



Línea	Tipo de anclaje	Diámetro del bulón (mm)	profundidad del anclaje (mm)
1	de torque controlado	10	65
2	tipo "drop-in"	16	65
3	autoperforante	16	63

Fuente: ACI 355.1R-91.

4.2.2. Resistencia última en tracción

4.2.2.1. Falla del acero: La resistencia del acero de los anclajes controla la falla si la longitud embebida del anclaje es suficiente para excluir las fallas del hormigón y si las fuerzas de expansión son suficientemente elevadas o si la superficie de apoyo es suficientemente grande para excluir las fallas por extracción por deslizamiento del anclaje. El modo de falla consiste en la rotura del acero del anclaje, dependiendo la ductilidad del tipo de acero del anclaje y de la longitud embebida [4].

4.2.2.2. Falla de un cono de hormigón: Cuando la longitud embebida de un anclaje o grupo de anclajes es insuficiente para desarrollar la resistencia a la tracción del acero de los anclajes, el modo de falla principal es una falla por

arrancamiento del hormigón en forma de cono ver Figura 3 (d). Cuando la separación de los anclajes o la ubicación de un borde ver Figura 3 (e), interfiere con el desarrollo de la totalidad de la resistencia al desprendimiento del hormigón de un anclaje traccionado (falla de un cono de hormigón) su capacidad se verá reducida [4].

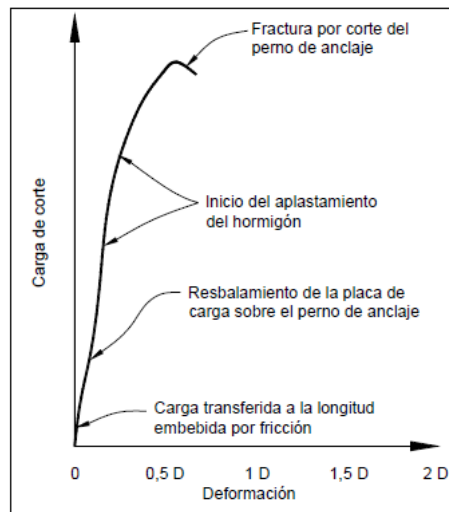
4.2.2.3. Arrancamiento (deslizamiento) del anclaje: La falla por deslizamiento por extracción de los anclajes de expansión Figura 3 (b), ocurre cuando la fuerza de expansión es demasiado pequeña para desarrollar ya sea la resistencia del acero del anclaje o una falla por corte en forma de cono de hormigón. La causa también puede ser una perforación sobredimensionada. En los hormigones de baja resistencia también puede haber una falla por resbalamiento del anclaje debido a la deformación de la pared de la perforación [4].

4.2.2.4. Falla por hendimiento del hormigón: Este modo de falla sólo ocurrirá si las dimensiones del hormigón son demasiado pequeñas, si los anclajes están ubicados demasiado cerca de un borde o demasiado cerca de otros anclajes Figura 3 (c), o si las fuerzas de expansión son demasiado elevadas. Generalmente la carga de falla es menor que la carga de falla de un cono de hormigón. Los anclajes de expansión de torque controlado y los anclajes de deformación controlada (por ejemplo los anclajes tipo "drop-in" y los anclajes autoperforantes) son los tipos de anclaje más propensos a experimentar fallas por hendimiento debido a la elevada presión lateral requerida para resistir el resbalamiento por fricción sobre las cuñas de acero [4].

4.2.3. Relación carga-desplazamiento y modos de falla en corte. En los anclajes a los cuales se les ha aplicado una carga previa, las fuerzas de fricción iniciales entre la placa base y el hormigón deben ser superadas por el esfuerzo de corte antes que el anclaje se mueva inicialmente, ver Figura 6. Durante una segunda etapa la placa base se desliza y el anclaje se mueve hacia el costado de

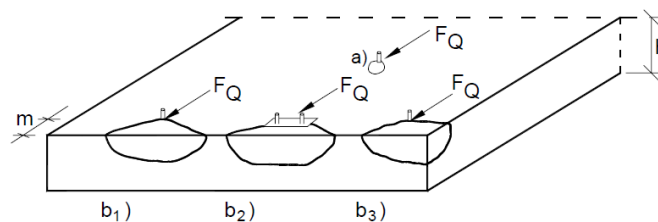
la perforación. La tercera etapa de la relación carga-desplazamiento consiste en una presión sobre la superficie superior del hormigón y el descantillado superficial del hormigón en el borde de la perforación. Dependiendo de la distancia al borde y la longitud embebida del anclaje, puede ocurrir una falla por corte del anclaje (para longitudes embebidas profundas) con o sin descantillado del hormigón antes de la falla del acero, Figura 7 (a), o por corte del hormigón (falla del hormigón) si se trata de anclajes cargados próximos a un borde Figura 7 (b1), (b2), (b3) [4].

Figura 6. Curva carga-desplazamiento para anclajes solicitados a tracción.



Fuente: ACI 355.1R-91.

Figura 7. Modos de falla típicos de los anclajes cargados en corte.



Fuente: ACI 355.1R-91.

Las cargas de corte generalmente producen desplazamientos más grandes que las cargas de tracción. Esto se puede atribuir a la flexión del anclaje y a la deformación del hormigón en la dirección de la carga. Esto es particularmente cierto si el anclaje no está a ras con el hormigón en la boca de la perforación (por ejemplo si durante la perforación el hormigón se descantilla). En el caso de los anclajes hormigonados in situ el comportamiento dependerá del tipo de anclaje utilizado, de la profundidad embebida y de la resistencia del acero [4].

5. CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA ANCLAJES POST-INSTALADOS DE EXPANSIÓN DE TORQUE CONTROLADO

5.1. REQUISITOS DE DISEÑO PARA CARGAS DE TRACCIÓN

5.1.1. Resistencia del acero de un anclaje en tracción. La resistencia nominal de un anclaje en tracción controlado por el acero, N_{sa} debe ser evaluada mediante cálculos basados en las propiedades del material del anclaje y en las dimensiones físicas del anclaje [1].

La resistencia nominal de un solo anclaje o grupo de anclajes en tracción, N_{sa} , no debe exceder:

$$N_{sa} = nA_{se}N_{futa} \quad (1)$$

5.1.2. Resistencia al arrancamiento del concreto de un anclaje en tracción. La resistencia nominal de arrancamiento del concreto, N_{cb} ó N_{cbg} de un solo anclaje o grupo de anclajes en tracción no debe exceder de:

(a) Para un solo anclaje:

$$N_{cb} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \Psi_{ed,N} \Psi_{c,N} \Psi_{cp,N} N_b \quad (2)$$

(b) Para un grupo de anclajes:

$$N_{cbg} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \Psi_{ec,N} \Psi_{ed,N} \Psi_{c,N} \Psi_{cp,N} N_b \quad (3)$$

5.1.3. Resistencia a la extracción por deslizamiento de un anclaje

$$N_{pn} = \Psi_{c,p} N_p \quad (4)$$

Para los anclajes de expansión post-instalados y anclajes con sobreperforación en su base los valores de N_p deben basarse en los resultados con un percentil del 5 por ciento de ensayos realizados y evaluados de acuerdo con ACI 355.2. No se permite determinar la resistencia a la extracción por deslizamiento para esos anclajes por cálculo [1].

5.2. REQUISITOS DE DISEÑO PARA SOLICITACIONES DE CORTANTE

5.2.1. Resistencia del acero del anclaje sometido a cortante. La resistencia nominal de un anclaje a cortante está controlada por el acero V_{sa} , debe ser evaluado por cálculos con base en las propiedades del anclaje y las dimensiones físicas del anclaje.

La NSR-10 recomienda que para los anclajes postinstalados debe basarse en los resultados de los ensayos realizados de acuerdo con el ACI 355.2 [1]. De manera alternativa, permite usar la ecuación:

$$V_{sa} = n0.6A_{se}v f_{uta} \quad (5)$$

5.2.2. Resistencia al arrancamiento del concreto de anclajes a cortante. La resistencia nominal al arrancamiento del concreto, V_{cb} o V_{cbg} , en cortante de un anclaje no debe exceder [1].

a) Para una fuerza cortante perpendicular al borde sobre un anclaje individual:

$$V_{cb} = \frac{A_{vc}}{A_{vco}} \Psi_{ed,v} \Psi_{c,v} \Psi_{h,v} V_b \quad (6)$$

b) Para una fuerza cortante perpendicular al borde sobre un grupo de anclajes:

$$V_{cbg} = \frac{A_{vc}}{A_{vco}} \Psi_{ec,v} \Psi_{ed,v} \Psi_{c,v} \Psi_{h,v} V_b \quad (7)$$

5.2.3. Resistencia al desprendimiento del concreto por cabeceo del anclaje sometido a cortante. La resistencia nominal al desprendimiento por cabeceo del anclaje causado por cortante V_{cp} no debe exceder de:

a) Para un solo anclaje:

$$V_{cp} = k_{cp} N_{cb} \quad (8)$$

b) Para un grupo de anclajes:

$$V_{cpg} = k_{cp} N_{cbg} \quad (9)$$

5.3. REQUISITOS DE POSICIÓN PARA ANCLAJES POST-INSTALADOS DE TORQUE CONTROLADO

Según lo expuesto en el numeral C-D.8.1 del Apéndice C-D de la NSR-10, el espaciamiento mínimo entre centro y centro para anclajes post-instalados de torque controlado debe ser de $6d_a$.

El numeral C-D.8.5 del Apéndice C-D de la NSR-10 establece que el valor de h_{ef} para un anclaje post-instalado, de expansión o con sobreperforación en su base, no debe exceder 2/3 del espesor del elemento donde se va a instalar el anclaje.

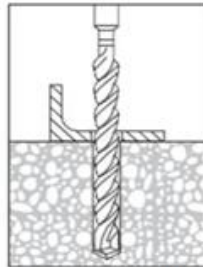
La distancia crítica al borde c_{ac} no debe tomarse menor que $4h_{ef}$, para anclajes de torque controlado. Esto se especifica en el numeral C-D.8.6 del Apéndice C-D de la NSR-10.

6. PROCEDIMIENTO DE EJECUCION DE LOS ENSAYOS

1. Limpiar la superficie donde se van a realizar los ensayos.
2. Perforar un orificio del diámetro y profundidad especificados.
3. Limpiar bien el interior del orificio retirando todo rastro de polvo dentro de él.
4. Insertar la camisa de expansión dentro del orificio.
5. Con la ayuda de un punzón metálico y un martillo, golpear el fondo de la camisa, para que se abra y se adhiera al concreto.
6. Posicionar la platina de tal manera que permita insertar el tornillo dentro del orificio.
7. Aplicar torque sobre el tornillo hasta que la camisa quede completamente abierta.
8. Realizar el montaje de la máquina de extracción de anclajes.
9. Aplicar carga sobre el anclaje y registrar el valor para el cual se presenta la falla por deslizamiento por extracción.
10. Retirar la máquina y el anclaje.
11. Repetir el mismo procedimiento para los demás anclajes que se deseen instalar.

El procedimiento de instalación se ilustra en la figura 8.

Figura 8. Procedimiento de instalación



a) *Perforación y limpieza de la superficie.*



b) *Camisa de Expansión*



c) *Herramientas de instalación*



d) *Latina de fijación*



e) *Correcta expansión de la Camisa*



f) *Máquina de extracción*



g) *Falla por deslizamiento*

Fuente: Autores.

El procedimiento realizado para los ensayos es el estipulado en el código ACI 355.2, y así obtener en los resultados con un percentil del cinco por ciento (5%).

Los anclajes constan de una planita de acero ASTM A-36 con una resistencia a la fluencia f_y de 250 MPa y una resistencia ultima a la tensión f_u de 410 MPa; tornillos SAE J429 grado 8, que tienen una resistencia a la fluencia f_y de 910 MPa y una resistencia ultima a la tensión f_u de 1050 MPa; y camisas de expansión. En las pruebas se varió el diámetro del tornillo d_a y la profundidad de embebido del anclaje h_{ef} , uno con d_a de 9.53 mm (3/8") y h_{ef} de 70 mm; otro con d_a de 12.7 mm (1/2") y h_{ef} de 80 mm.

El número mínimo de muestras estipuladas por la tabla 5.1 del código ACI 355.2 es de cinco (5), pero cabe aclarar que se realizaron ensayos en con un número mayor de muestras, con la finalidad de perfeccionar el procedimiento de instalación. Si se cometen errores en la instalación, como por ejemplo tener una menor o mayor h_{ef} que la requerida o si el orificio de perforación queda inclinado, influye significativamente en la resistencia a la extracción por deslizamiento.

7. ANALISIS DE RESULTADOS

Se realizaron las pruebas en concreto no fisurado. El concreto está diseñado para adquirir la resistencia a los tres días después del vaciado. Se tomaron dos testigos que hacen parte de las placas donde se van a realizar las pruebas y se sometieron a un ensayo de compresión (NTC 673) para determinar su resistencia. La Figura 9 muestra el montaje realizado para dicho ensayo.

Figura 9. Ensayo de compresión NTC 673.



Fuente: Autores

En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos en los ensayos de compresión en los testigos.

Tabla 1. Resultados de los ensayos de compresión.

	Resistencia Ultima [kN]	Esfuerzo Ultimo [psi]	f'c [MPa]
Testigo 1	443,3	3656	25,6
Testigo 2	463,5	3821	26,7

Fuente: Autores

Para el diseño y evaluación de los anclajes, se toma la resistencia más baja, es decir f'_c de 25.6 MPa.

El código ACI 355.2 señala el procedimiento a seguir para determinar la fuerza de extracción por deslizamiento en anclajes individuales de expansión de torque controlado instalados en concreto no fisurado.

Se realizaron ensayos para anclajes individuales alejados de los bordes y anclajes individuales afectados por los bordes, instalados a una distancia de 60 mm de un borde.

En las tablas 2 y 3, se muestran los resultados obtenidos de la fuerza requerida para que se produzca una falla por deslizamiento por extracción en anclajes de expansión de torque controlado alejado de los bordes, el promedio \bar{x} , desviación estándar s , el coeficiente de variación v , el cual según lo establecido en el numeral 7.2.1 del código ACI 355.2 no debe ser mayor del quince por ciento (15%).

Tabla 2. Ensayo No 1 ACI 355.1 da 9,525 mm y hef 70 mm.

Ensayo No 1. de la tabla 5.1 del ACI 355.2		
Tracción Anclaje individual influenciado por los efectos de borde profundidad de embebido de 70 mm.		
da= 9,525 mm (3/8 ")		f'c [Mpa] 25,60
n	Presión [psi]	Np [kN]
1	5000,00	23,00
2	5000,00	23,00
3	5800,00	26,68
4	5200,00	23,92
5	4600,00	21,16
Promedio \bar{x} [kN]		23,55
Desviación s [kN]		2,02
Variación v [%]		8,56

Fuente: Autores

Tabla 3. Ensayo No 1 ACI 355.1 da 12,7 mm y hef 80 mm.

Ensayo de No 1. de la tabla 5.1 del ACI 355.2		
Tracción Anclaje individual alejado de los bordes con una profundidad de embebido de 80 mm.		
da= 12,7 mm (1/2 ")		f'c [Mpa] 25,60
n	Presión [psi]	Np [kN]
1	8200,00	37,72
2	8200,00	37,72
3	8200,00	37,72
4	8800,00	40,48
5	8000,00	36,80
Promedio \bar{x} [kN]		38,09
Desviación s [kN]		1,40
Variación v [%]		3,66

Fuente: Autores.

En las tablas 4 y 5 se muestran los resultados obtenidos de la fuerza requerida para que se produzca una falla por deslizamiento por extracción en anclajes de expansión de torque controlado influenciados por los efectos de borde, el promedio \bar{x} , desviación estándar s , el coeficiente de variación v , el cual según lo establecido en el numeral 7.2.1 del código ACI 355.2 no debe ser mayor del quince por ciento (15%).

Tabla 4. Ensayo No 1 ACI 355.1 da 9,525 mm cerca de los bordes.

Ensayo de No 1. de la tabla 5.1 del ACI 355.2			
Tracción Anclaje individual cerca de los bordes			
da= 95,525 mm (3/8 ")		f'c [Mpa]	25,60
n	Presión [psi]	Np [kN]	K
1	5000,00	23,00	84,50
2	4800,00	22,08	81,12
3	5800,00	26,68	98,02
4	4800,00	22,08	81,12
5	5000,00	23,00	84,50
Promedio \bar{x} [kN]		23,37	
Desviación s [kN]		1,91	
Variación v [%]		8,16	

Fuente: Autores.

Tabla 5. Ensayo No 1 ACI 355.1 da 12,7 mm cerca de los bordes.

Ensayo de No 1. de la tabla 5.1 del ACI 355.2			
Tracción Anclaje individual cerca de los bordes			
da= 12,7 mm (1/2 ")		f'c [Mpa]	25,20
n	Presión [psi]	Np [kN]	K
1	7600,00	34,96	128,44
2	8200,00	37,72	138,58
3	7800,00	35,88	131,82
4	8000,00	36,80	135,20
5	8200,00	37,72	138,58
Promedio \bar{x} [kN]		36,62	
Desviación s [kN]		1,20	
Variación v [%]		3,28	

Fuente: Autores.

A continuación se procede a determinar la capacidad característica $F_{5\%}$ o N_p a partir de la capacidad de falla media F_m y el coeficiente de variación v , según lo estipulado en el Apéndice A.2 del código ACI 355.2.

$$F_{5\%} = F_m (1 - Kv) \quad (10)$$

Donde K es un factor para los límites de tolerancia unilateral para las distribuciones normales, y corresponden a una probabilidad de no excedencia del 5% con una confianza del 90%.

Los valores de K se obtienen de la tabla A2.1 del Apéndice A.2 del código ACI 355.2, estos valores de K dependen del número de ensayos realizados, (para nuestro caso el valor de K es igual 3.4, debido a que se realizaron 5 ensayos).

En la tabla 6, se muestran los resultados de la capacidad característica $F_{5\%}$ para anclajes individuales post-instalados en concreto no fisurado de expansión de torque controlado, de diámetro d_a de 9.525 mm (3/8") y h_{ef} de 70 mm.

Tabla 6. Resultados de la capacidad característica $F_{5\%}$ de anclajes individuales post-instalados en concreto no fisurado de expansión de torque controlado, de diámetro d_a de 9.525 mm (3/8") y h_{ef} de 70 mm.

	Fm [kN]	v [%]	F5% [kN]
Sin influencia de los bordes	23.55	8.56	16.7
Con Influencia de los bordes	23.37	8.16	16.88

Fuente: Autores

En la tabla 7, se muestran los resultados de la capacidad característica $F_{5\%}$ para anclajes individuales post-instalados en concreto no fisurado de expansión de torque controlado, de diámetro d_a de 12.7 mm (1/2") y h_{ef} de 80 mm.

Tabla 7. . Resultados de la capacidad característica $F_{5\%}$ de anclajes individuales post-instalados en concreto no fisurado de expansión de torque controlado, de diámetro d_a de 12.7 mm (3/8") y h_{ef} de 80 mm.

	Fm [kN]	v [%]	F5% [kN]
Sin influencia de los bordes	38.09	3.66	33.34
Con Influencia de los bordes	37.54	3.64	32.9

Fuente: Autores.

Al analizar los resultados obtenidos de las pruebas, se puede observar que la resistencia al deslizamiento por extracción de un anclaje no depende de la distancia al borde, ya que la diferencia entre la capacidad característica $F_{5\%}$ de un anclaje alejado de los bordes y la capacidad característica $F_{5\%}$ de un anclaje influenciado por los efectos de borde es mínima, ver tabla 8.

En la tabla 8 se muestra la diferencia de la capacidad característica $F_{5\%}$ para para anclajes individuales post-instalados en concreto no fisurado de expansión de torque controlado, de diámetro d_a de 9.525 mm (3/8") y h_{ef} de 70 mm y de d_a de 12,7 mm(1/2") y h_{ef} de 80 mm.

Tabla 8. Diferencia de la capacidad característica $F_{5\%}$ de anclajes individuales post-instalados en concreto no fisurado de expansión de torque controlado, de diámetro d_a de 9.525 mm (3/8") y h_{ef} de 70 mm y de diámetro d_a de 12,7 mm(1/2") y h_{ef} de 80 mm.

	Capacidad Característica de tracción F5% [kN]	Diferencia %	Diametro d_a
Sin influencia de bordes	16,70	1,09	9,525 mm (3/8")
Con influencia de bordes	16,88		
Sin influencia de bordes	33,34	1,34	12,7 mm (1/2")
Con influencia de bordes	32,90		

Fuente: Autores.

Cabe recalcar que un error de 1 o 2 mm, en el momento de la perforación de la profundidad de embebido h_{ef} , influye de manera significativa en la resistencia a la extracción por deslizamiento. En la tabla 9 se registraron valores de resistencia a la extracción con el error de instalación nombrado anteriormente en un anclaje post-instalado en concreto no fisurado de expansión de torque controlado de diámetro d_a de 9.525 mm (3/8) y una profundidad de embebido h_{ef} de 70 mm \pm 2 mm, sin influencia de los bordes.

Tabla 9. Ensayo No 1 ACI 355.1 da 9,525 mm y h_{ef} 70 mm \pm 2 mm.

Ensayo de No 1. de la tabla 5.1 del ACI 355.2		
Tracción Anclaje individual alejado de los bordes con una profundidad de embebido de 70 mm \pm 2mm		
da= 12,7 mm (1/2 ")		f'c [Mpa] 25,60
n	Presión [psi]	Np [kN]
1	3000,00	13,80
2	3200,00	14,72
3	3200,00	14,72
4	2800,00	12,88
5	3000,00	13,80
Promedio \bar{x} [kN]		13,98
Desviación s [kN]		0,77
Variación v [%]		5,50

Fuente: Autores.

Luego se procede a determinar la capacidad característica $F_{5\%}$ para el anclaje individual de diámetro d_a de 9.525 mm (3/8"). En la tabla 10, se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 10. Capacidad característica $F_{5\%}$ de anclajes individuales post-instalados en concreto no fisurado de expansión de torque controlado, de diámetro d_a de 9.525 mm (3/8") y h_{ef} de 70 mm \pm 2 mm.

	Fm [kN]	v [%]	F5% [kN]
Anclaje con error de instalación	13,98	5,50	11,37

Fuente. Autores.

Posteriormente se compararon la capacidad característica $F_{5\%}$ obtenida con una profundidad h_{ef} adecuada y una profundidad h_{ef} con un error de ± 2 mm. Estos valores se registran en la tabla 11.

Tabla 11. Comparación entre la capacidad característica $F_{5\%}$ obtenida con una profundidad h_{ef} adecuada y una profundidad h_{ef} con un error de ± 2 mm.

	F5% [kN]	Diferencia [%]
Anclaje sin error instalacion	16,70	46,91
Anclaje con error de instalación	11,37	

Fuente: Autores.

Se observa que un error en la instalación influye de forma significativa en la resistencia a la extracción por deslizamiento de anclajes post-instalados en concreto no fisurado de expansión de torque controlado.

Haciendo referencia al ICC-ES ESR 1545 [5], donde establecen la resistencia nominal a la extracción del anclaje como:

$$N_{p,n} = N_{p\ 2500} \lambda \frac{f'_c}{2500} \quad (11)$$

Dónde:

- $N_{p\ 2500}$: Resistencia a la extracción de un tipo de anclaje en un concreto de f'_c de 2500 psi.
- f'_c : Resistencia especificada a la compresión del concreto

- λ : Factor de modificación que tiene en cuenta las propiedades mecánicas reducidas del concreto de peso liviano, relativa a los concretos de peso normal de igual resistencia a la compresión.

Se correlaciona la ecuación anterior, para los siguientes casos:

- Resistencia a la extracción por deslizamiento de un anclaje post-instalado de expansión de torque controlado, que consta de un tornillo SAE J429 grado 8 y una camisa de expansión, de diámetro d_a de 9.525 mm (3/8'') y profundidad de embebido h_{ef} de 70 mm, se puede determinar por la siguiente ecuación:

$$N_{p,n} = 16700\lambda \frac{\overline{f'_c}}{25,6}, N \quad (12)$$

- Resistencia a la extracción por deslizamiento un anclaje post-instalado de expansión de torque controlado, que consta de un tornillo SAE J429 grado 8 y una camisa de expansión, de diámetro d_a de 12.7mm (1/2'') y profundidad de embebido h_{ef} de 80 mm, se puede determinar por la siguiente ecuación:

$$N_{p,n} = 32900\lambda \frac{\overline{f'_c}}{25,6}, N \quad (13)$$

En las ecuaciones anteriores los valores de 16.700 y 32.900, corresponden a la capacidad característica más bajo de un anclaje post-instalado de expansión de torque controlado, que consta de un tornillo SAE J429 grado 8 y una camisa de expansión, de diámetro d_a de 9.525 mm (3/8'') y profundidad de embebido h_{ef} de 70 mm y un anclaje post-instalado de expansión de torque controlado, que consta de un tornillo SAE J429 grado 8 y una camisa de expansión, de diámetro d_a de 12.7mm (1/2'') y profundidad de embebido h_{ef} de 80 mm, respectivamente.

El código ACI 355.2 establece los procedimientos para determinar la resistencia a la extracción por deslizamiento de anclajes post-instalados en concreto no fisurado

en anclajes dispuestos de manera individual. Siguiendo esos parámetros, se evaluaron anclajes post-instalados en concreto no fisurado de expansión de torque controlado dispuestos en forma grupal y se llevaron hasta una carga de tracción de 41 kN y no presentaron falla de ningún tipo, lo que quiere decir que cumplen los requisitos de exigidos por la Resolución 1409 de 2012, que indica que la resistencia mínima de los puntos de anclaje debe ser de 22.2 kN. En la figura 10 se ilustra el procedimiento de instalación y aplicación de la carga en tracción.

Figura 10. Ensayo grupal



Fuente: Autores.

8. CONCLUSIONES

- La falla por deslizamiento por extracción de un anclaje post-instalado de expansión de torque controlado depende del diámetro y de la profundidad de embebido del anclaje. Para anclajes de diámetro d_a de 9,525 mm (3/8") y profundidad de embebido h_{ef} de 70 mm se obtuvo una resistencia de 16.7 kN, y para anclajes de diámetro d_a de 12,7mm (1/2") y profundidad de embebido h_{ef} de 80 mm se obtuvo una resistencia de 32,9 kN.
- La resistencia de la falla por extracción por deslizamiento de un anclaje post-instalado de expansión de torque controlado no depende de la distancia al borde del anclaje, como se demostró en los anclajes de nuestro caso de estudio, que arrojaron unas diferencias de 1,09 % y 1,34 %.
- El procedimiento de instalación del anclaje de expansión de torque controlado es fundamental para que no varíe la resistencia a la extracción por deslizamiento del anclaje, ya que se pudo evidenciar una diferencia del 46,91 % en la resistencia a la extracción por deslizamiento cuando se ejecutó mal dicha instalación.

9. RECOMENDACIONES E INVESTIGACIONES FUTURAS

- Se recomienda que la instalación de los anclajes, debe ser sobre una superficie lisa y completamente recta, para así garantizar que la platina del anclaje quede totalmente paralela a la superficie. El orificio de instalación del anclaje debe ser completamente perpendicular a la superficie del anclaje. Una buena limpieza del orificio de instalación del anclaje garantiza una mayor precisión en la profundidad de embebido del anclaje. Golpear fuertemente con un punzón metálico y un martillo la camisa de expansión del anclaje para que se adhiera al concreto y se pueda aplicar el torque de instalación necesario del anclaje.
- Realizar estas pruebas para diferentes resistencias a la compresión del concreto f'_c , diámetros d_a y profundidades de embebido h_{ef} de los anclajes estudiados anteriormente, para así correlacionarlos con la ecuación propuesta de la resistencia nominal a la extracción por deslizamiento del anclaje.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10). Apéndice C-D: Anclaje al Concreto. Bogotá D.C Colombia. Marzo de 2010. pp C-483-C-514.
- [2] American Concrete Institute, Evaluación del comportamiento estructural de anclajes instalados en hormigón endurecido (ACI 555.2-01). Los Ángeles, California. Enero de 2002. pp 2-27.
- [3] Reglamento de seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas. Resolución número 1409 de 2012. pp 1-38.
- [4] Edwin A. Burdette et al. Informe sobre el Estado del Arte de los Anclajes en Hormigón Informado por el Comité ACI 355. 1. Los Angeles California. Julio de 1991. pp 1-75.
- [5] ICC-ES ESR 1545 Evaluation Report. Tulsa Oklahoma. Junio 2012. p. 2

BIBLIOGRAFIA

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, Evaluación del comportamiento estructural de anclajes instalados en hormigón endurecido (ACI 555.2-01). Los Ángeles, California. Enero de 2002. pp 2-27.

BURDETTE Edwin A. et al. Informe sobre el Estado del Arte de los Anclajes en Hormigón Informado por el Comité ACI 355. 1. Los Angeles California. Julio de 1991. pp 1-75.

ICC-ES ESR 1545 Evaluation Report. Tulsa Oklahoma. Junio 2012. p. 2

REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR-10). Apéndice C-D: Anclaje al Concreto. Bogotá D.C Colombia. Marzo de 2010. pp C-483-C-514.

REGLAMENTO DE SEGURIDAD PARA PROTECCIÓN CONTRA CAÍDAS EN TRABAJO EN ALTURAS. Resolución número 1409 de 2012. pp 1-38.

ANEXOS

ANEXO A. DISEÑOS DE LAS PLATINAS Y SOLDADURAS PLATINA

PLATINA INDIVIDUAL DIAMETRO 9,53 mm (3/8")

DISEÑO DE LA PLATINA INDIVIDUAL

Diametro Perno [mm]	9.53
Diametro de la Perforacion [mm]	11.13

PROPIEDADES DEL ACERO

Tipo de Acero	A-36
f_y [MPa]	250.00
f_u [MPa]	410.00

DIMENSIONES DE LA PLACA BASE

b_1 [mm]	100
b_2 [mm]	100
t [mm]	16

RESISTENCIA DE DISEÑO A TENSION DE LA PLACA

Fluencia en el Area Bruta	
ϕ	0.90
A_g [mm ²]	1590
ϕP_n [kN]	357.75
$\phi P_n = 0,9 * f_y * A_g$	
Rotura en el Area Neta	
ϕ	0.75
A_n [mm ²]	1413.11
ϕP_n [kN]	434.53
$\phi P_n = 0,75 * f_u * A_n$	
Cumple el Diseño	

Tabla F.2.10.3-3 Dimensiones Nominales de las Perforaciones de Pernos. NSR-10

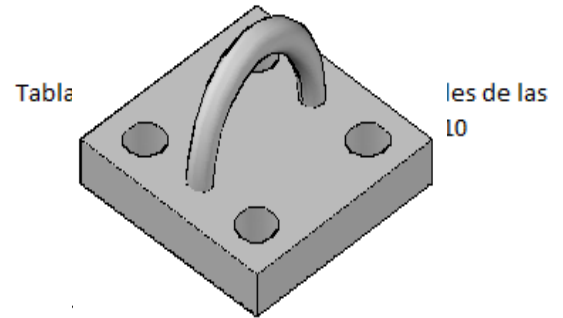
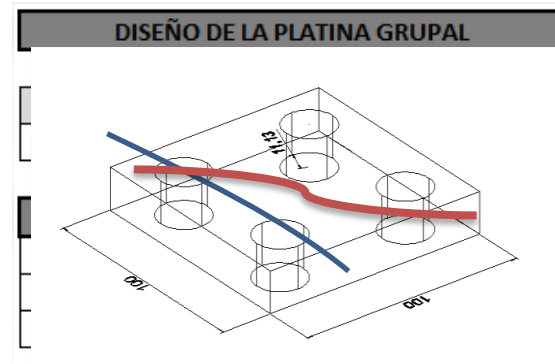


DISEÑO ELEMENTO SUJETADOR	
Diametro Barra [mm]	12.70

Diseño de la Soldadura	
D [mm]	10.00
ts [mm]	7.07
L [mm]	39.90
Awe [mm ²]	282.08
Fnw [Mpa]	279.21
∅	0.75
∅Rn [kN]	59.07
Resistencia Para la Línea de Vida	
Pu[kN]	22.20
Cumple el Diseño	

Tamaño Nominal del Cordón
 Longitud garganta efectiva
 Long. Soldadura
 Área Efectiva
 Resistencia Nominal del metal
 Coeficiente de Reducción de Resistencia
 Resistencia Nominal

PLATINA GRUPAL DIAMETRO 9,53 mm (3/8")



DIMENSIONES DE LA PLACA BASE	
b_1 [mm]	100
b_2 [mm]	100
t [mm]	15.90
S [mm]	60.00
g [mm]	60.00

RESISTENCIA DE DISEÑO A TENSION DE LA PLACA	
Fluencia en el Area Bruta	
ϕ	0.90
A_g [mm ²]	1590.00
ϕP_n [kN]	357.75
$\phi P_n = 0,9 * f_y * A_g$	
Rotura en el Area Neta	
ϕ	0.75
Filas de pernos, n	2.00
A_{n1} [mm ²]	1236.07
$A_{n1} = A_g - n * dorific * t$	
A_{n2} [mm ²]	1166.12
$A_{n2} = 0,9[A_g - n * dorific * t + \sum \frac{(S/2)^2}{4g} * t]$	
ϕP_n [kN]	358.58
$\phi P_n = 0,75 * f_u * A_n$	
Cumple el Diseño	

ELEMENTO SUJETADOR	
Diametro Barra [mm]	12.70

Diseño de la Soldadura		
D [mm]	10.00	Tamaño Nominal del Cordón
t_s [mm]	7.07	Longitud garganta efectiva
L [mm]	39.90	Long. Soldadura
A_{we} [mm ²]	282.08	Área Efectiva
F_{nw} [MPa] → E7018	279.21	Resistencia Nominal del metal
ϕ	0.75	Coefficiente de Reducción de Resistencia
ϕR_n [kN]	59.07	Resistencia Nominal
Resistencia Para la Línea de Vida		
P_u [kN]	22.20	
Cumple el Diseño		

PLATINA INDIVIDUAL DIAMETRO 12.7 mm (1/2")

DISEÑO DE LA PLATINA INDIVIDUAL

Diametro Perno [mm]	12.70
Diametro de la Perforacion [mm]	14.30

Tabla F.

PROPIEDADES DEL ACERO

Tipo de Acero	A-36
f_y [MPa]	250.00
f_u [MPa]	410.00

DIMENSIONES DE LA PLACA BASE

b_1 [mm]	100.00
b_2 [mm]	100.00
t [mm]	15.00

RESISTENCIA DE DISEÑO A TENSIÓN DE LA PLACA

Fluencia en el Area Bruta	
ϕ	0.90
A_g [mm ²]	1500.00
ϕP_n [kN]	337.50
$\phi P_n = 0,9 * f_y * A_g$	
Rotura en el Area Neta	
ϕ	0.75
A_n [mm ²]	1285.50
ϕP_n [kN]	395.29
$\phi P_n = 0,75 * f_u * A_n$	
Cumple el Diseño	



DISEÑO ELEMENTO SUJETADOR

Diametro Barra [mm]	12.70
---------------------	-------

Diseño de la Soldadura

D [mm]	10.00
t_s [mm]	7.07
L [mm]	39.90
A_{we} [mm ²]	282.08
F_{nw} [MPa] → E7018	279.21
ϕ	0.75
ϕR_n [kN]	59.07
Resistencia Para la Línea de Vida	
P_u [kN]	22.20
Cumple el Diseño	

Tamaño Nominal del Cordón
 Longitud garganta efectiva
 Long. Soldadura
 Área Efectiva
 Resistencia Nominal del metal
 Coeficiente de Reducción de Resistencia
 Resistencia Nominal

PLATINA GRUPAL DIAMETRO 12.7 mm (1/2")

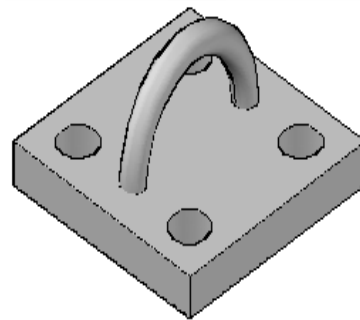
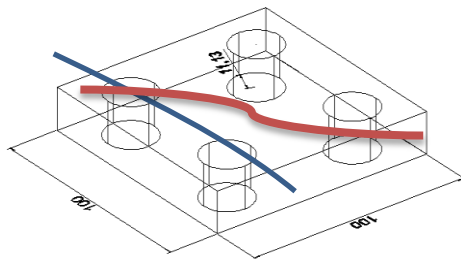
DISEÑO DE LA PLATINA GRUPAL

Diametro Perno [mm]	12.70
Diametro de la Perforacion [mm]	14.30
S = 6 diamperno	76.20
PROPIEDADES DEL ACERO	
Tipo de Acero	A-36
fy [MPa]	250.00
fu [MPa]	410.00

Tabla F.2.10.3-3 Dimensiones Nominales de las Separación

RESISTENCIA DE DISEÑO A TENSION DE LA PLACA

Fluencia en el Area Bruta	
ϕ	0.90
A_g [mm ²]	1908.00
ϕP_n [kN]	429.30
$\phi P_n = 0,9 * f_y * A_g$	
Rotura en el Area Neta	
ϕ	0.75
Filas de pernos, n	2.00
A_{n1} [mm ²]	1453.26
$A_{n1} = A_g - n * d_{orific} * t$	
A_{n2} [mm ²]	1377.70
$A_{n2} = 0,9[A_g - n * d_{orific} * t + \sum \frac{(s/2)^2}{4g} * t]$	
ϕP_n [kN]	423.64
$\phi P_n = 0,75 * f_u * A_n$	
Cumple el diseño	



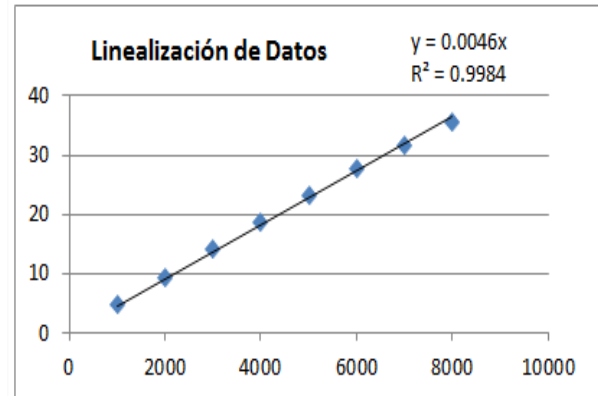
ELEMENTO SUJETADOR	
Diametro Barra [mm]	12.70

Diseño de la Soldadura	
D [mm]	10.00
ts [mm]	7.07
L [mm]	39.90
Awe [mm ²]	282.08
Fnw [MPa] → E7018	279.21
ϕ	0.75
ϕRn [kN]	59.07
Resistencia Para la Línea de Vida	
Pu [KN]	22.20
Cumple el Diseño	

Tamaño Nominal del Cordón
 Longitud garganta efectiva
 Long. Soldadura
 Área Efectiva
 Resistencia Nominal del metal
 Coeficiente de Reducción de Resistencia
 Resistencia Nominal

ANEXO B. DATOS DE LA CALIBRACIÓN DE LA MÁQUINA DE EXTRACCIÓN DE ANCLAJES EN LA MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS.

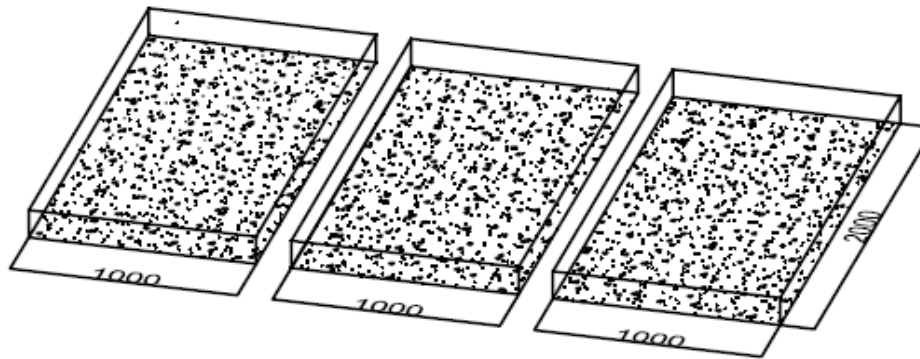
Presión [PSI]	Fuerza registrada [kN]
1000	4.9
2000	9.4
3000	14
4000	18.6
5000	23.1
6000	27.6
7000	31.8
8000	35.6
9000	39.9



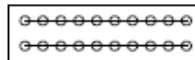
Presión [PSI]	Fuerza Registrada [kN]	Fuerza Teórica[kN]	% Error
1000	4.7	4.6	2.17
2000	9.4	9.2	2.17
3000	13.9	13.8	0.72
4000	18.6	18.4	1.09
5000	23.1	23	0.43
6000	27.6	27.6	0.00
7000	31.8	32.2	1.24
8000	35.9	36.8	2.45
9000	40.9	41.4	1.21

ANEXO C. PLANOS

PLACAS DE CONCRETO



Sección
Transversal



Malla electrosoldada

M-131 $\Phi=5\text{mm}$ @ 150 mm

Concreto Normal $f_c = 25.6\text{ Mpa}$
RA 3D.

Proyecto:

Evaluación del Comportamiento Estructural de Anclajes Metálicos Post-Instalados en Elementos de Concreto para Líneas de Vida

Diseño:

Catalina Calderón P
Edwing Angarita Suárez
Medidas: mm

Escala: 1:1

Revisó:

Ing .Leocadlo Rico

Institución:

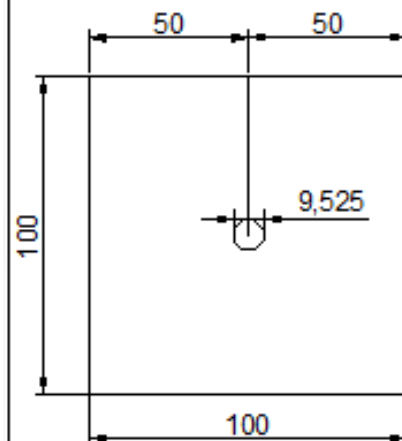
Universidad Industrial de Santander - UIS -



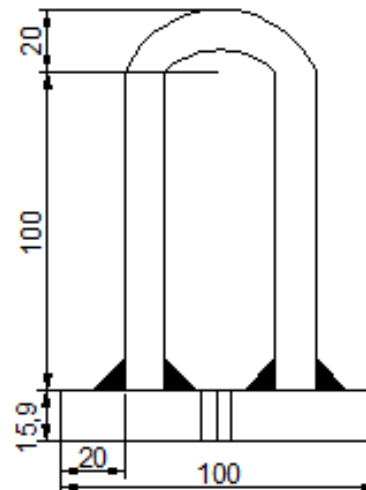
Fecha: 02 Agosto 2013

Platina de Anclaje Individual

Do 9,525 mm (3/8") Acero ASTM A-36



$f_y = 250 \text{ Mpa}$
 $f_u = 410 \text{ Mpa}$
Soldadura de filete E7018



Proyecto:

Evaluación del Comportamiento Estructural de Andajes Metálicos Post-Instalados en Elementos de Concreto para Líneas de Vida

Diseño:

Catalina Calderón P
Edwing Angarita Suárez
Medidas: mm

Escala: 1:1

Revisó:

Ing .Leocadio Rico

Institución:

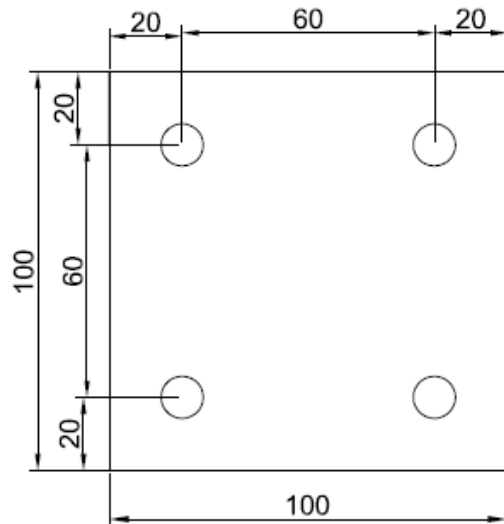
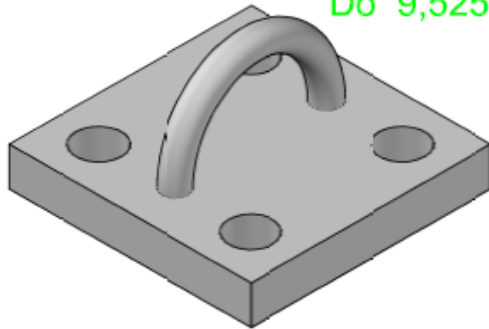
Universidad Industrial de Santander - UIS -



Fecha: 02 Agosto 2013

Platina de Anclaje Grupal

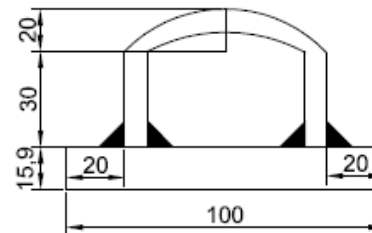
Do 9,525 mm(3/8") Acero ASTM A- 36



$f_y = 250 \text{ Mpa}$

$f_u = 410 \text{ Mpa}$

Soldadura de filete E7018



Proyecto:

Evaluación del Comportamiento Estructural de Anclajes Metálicos Post-Instalados en Elementos de Concreto para Líneas de Vida

Diseño:

Catalina Calderón P
Edwing Angarita Suárez
Medidas: mm

Escala: 1:1

Revisó:

Ing .Leocadio Rico

Institución:

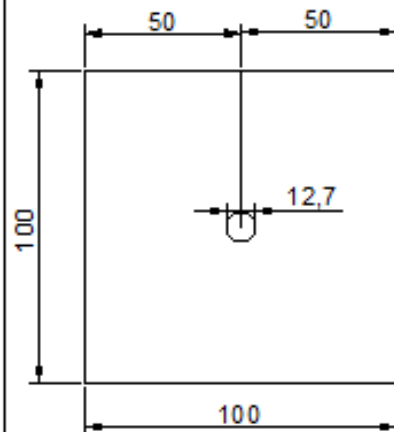
Unlversidad Industrial de Santander - UIS -



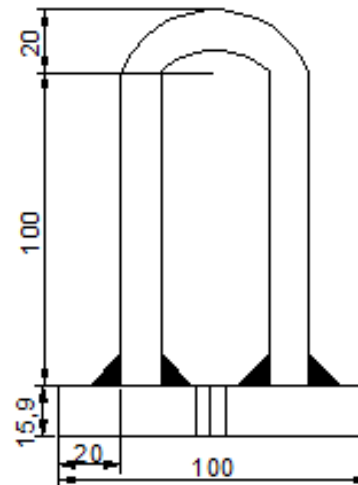
Fecha: 02 Agosto 2013

Platina de Anclaje Individual

Do 12,7 mm (1/2") Acero ASTM A-36



$f_y = 250 \text{ Mpa}$
 $f_u = 410 \text{ Mpa}$
Soldadura de filete E7018



Proyecto:

Evaluación del Comportamiento Estructural de Anclajes Metálicos Post-Instalados en Elementos de Concreto para Líneas de Vida

Diseño:

Catalina Calderón P
Edwing Angarita Suárez
Medidas: mm

Escala: 1:1

Revisó:

Ing. Leocadio Rico

Institución:

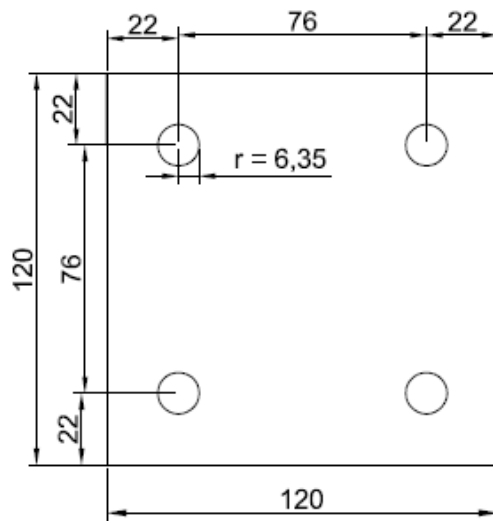
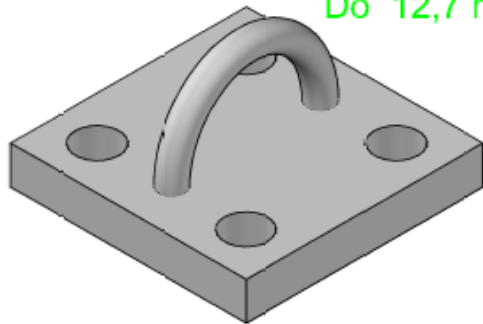
Universidad Industrial de Santander - UIS -



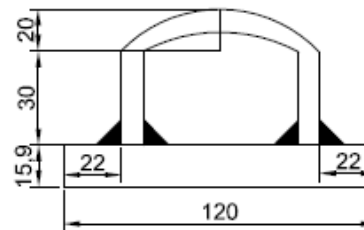
Fecha: 02 Agosto 2013

Platina de Anclaje Grupal

Do 12,7 mm (1/2") Acero ASTM A- 36



$f_y = 250 \text{ Mpa}$
 $f_u = 410 \text{ Mpa}$
Soldadura de filete E7018



Proyecto:

Evaluación del Comportamiento Estructural de Anclajes Metálicos Post-Instalados en Elementos de Concreto para Líneas de Vida

Diseño:

Catalina Calderón P
Edwing Angarita Suárez
Medidas: mm

Escala: 1:1

Revisó:

Ing .Leocadio Rico

Institución:

Unlversidad Industrial de Santander - UIS -



Fecha: 02 Agosto 2013