

Ensayos de tensión y flexión sobre una nueva propuesta de junta en pilotes hincados

Tension and bending tests of a newly proposed joint for driven piles

ÓSCAR VLADIMIR RUIZ SUÁREZ¹ - PEDRO NEL QUIROGA S.²

1. Maestría en Ingeniería Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

2. Profesor asociado y director del Centro de Estudios de Estructuras y Materiales.

oscar.ruiz@mail.escuelaing.edu.co - pedro.quiroga@escuelaing.edu.co

Recibido: 10/01/2017 Aceptado: 20/04/2017

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista

Resumen

Como resultado de este trabajo de grado se desarrolló un nuevo tipo de junta para pilotes hincados, con el fin de estudiar su comportamiento ante las principales solicitaciones de trabajo: tensión y flexión.

Para esto se efectuaron cuatro ensayos a tensión simple y uno a flexión sobre el modelo de la junta propuesta con el montaje que se comenta más adelante, uno para cada tipo de ensayo; como se describe en el desarrollo de este trabajo, dichos ensayos se realizaron en el Laboratorio de Materiales de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Evaluando experimentalmente el comportamiento ante diferentes solicitaciones estáticas (flexión y tensión axial), en condiciones normales, es decir, sin considerar la incidencia que tiene el hecho de ser una estructura enterrada.

A partir de los resultados de los ensayos experimentales, se determinaron los puntos críticos y la capacidad ante las solicitaciones mencionadas de la junta ensayada. Se obtuvo la información que se tabuló, de tal modo que sirva como guía para el diseño estructural de este tipo de juntas.

El prototipo de junta diseñada cumplió con las condiciones para resistir las solicitaciones más críticas a la que pueda estar sometida en su vida útil.

Palabras claves: junta, pilote hincado, tensión en pilotes, flexión en pilotes.

Abstract

This article reports on a new type of joint for driven piles to study their behavior in the main stresses of work, such as tension and bending.

There were four simple tension and bending tests on one joint model with the proposed structure discussed below, one for each type of test. As described in the development of this work, these tests were performed in the laboratory of Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Their behavior was experimentally assessed under different static stresses (bending and axial tension), under normal conditions, i.e. without considering the incidence of the structure being buried. From the results of the experiments, critical points and the capacity to endure stresses of the tested joint were determined. The information was tabulated, so that it works as a guide to the structural design of these joints.

The designed prototype joint satisfied the conditions to endure the most critical stresses to which it may be subjected in its lifetime.

Keywords: joint, driven pile, tension piles, bending in piles.

INTRODUCCIÓN

El uso de pilotes prefabricados hincados constituye una técnica eficiente para la construcción de cimentaciones profundas de estructuras con cargas importantes en suelos sueltos o blandos poco competentes. Por lo general, para llegar a estratos competentes se necesitan longitudes de pilotes de 20 a 50 m, los cuales normalmente se fabrican en longitudes de 12 m, por lo que para lograr la longitud total hay que utilizar entre los tramos prefabricados elementos de conexión —que con frecuencia son de acero—, de tal modo que se garantice una adecuada transferencia de solicitaciones entre un tramo y otro.

En nuestro medio se tiene conocimiento de dos fabricantes de estos elementos de conexión (juntas), y otros tres tipos que se pueden encontrar por internet de otros países. Las que se utilizan en el país se deben soldar en obra, lo cual desde el tipo constructivo es una desventaja por el bajo rendimiento y demora en el hincado, por lo cual la junta propuesta en este trabajo es unida por bulones.

Para efectos de este trabajo de grado se desarrolló un nuevo tipo de junta para pilotes hincados prefabricados, con el fin de estudiar su comportamiento ante las

principales solicitaciones de trabajo, de tal manera que esto pueda servir como base para el análisis de dicho tipo de juntas, y de forma específica para esta nueva propuesta. Quedaría por estudiar la incidencia del suelo sobre estos elementos, que se considera influyente para tener en cuenta en el buen comportamiento de las juntas dentro de su vida útil de servicio.

En la figura anterior se presenta de un modo particular el comportamiento del pilote largo, para conocer mejor las solicitaciones a las que se puede ver sometido un pilote (figura 1).

Como las longitudes que se requieren para este tipo de pilotes son considerablemente grandes, pueden estar en promedio entre 30 y 50 m, incluso hasta 60 m, y teniendo en cuenta que en nuestro medio el transporte se permite máximo para tramos de 12 m, se hace necesaria la unión de los tramos mediante “juntas”, que es el tema que nos compete en este trabajo de investigación.



Figura 2. Pilotes prefabricados y juntas en los extremos.

Fuente: <http://www.construaprende.com/docs/trabajos/306-pilotaje-cimentaciones-profundas?start=6>.

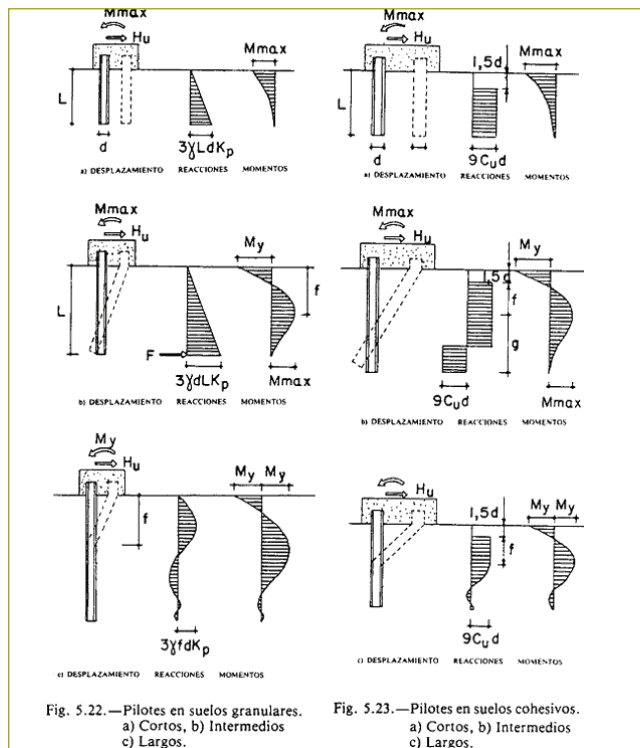


Figura 1. Diagramas de fuerzas y momentos en pilotes [4].

JUNTAS EN PILOTES HINCADOS

Estas juntas están hechas de acero, con diferentes formas geométricas y volúmenes prismáticos, de acuerdo con la sección transversal del pilote. La unión entre las dos partes de una junta se realiza por acople y luego con un cordón de soldadura en el contorno; en otros casos se hace el acople entre las dos partes y luego se introducen bulones o pasadores para que no se separen las partes. En nuestro trabajo de investigación nos enfocaremos en esta segunda opción.

Después de haber intentado conseguir información sobre estas juntas con dos empresas dedicadas a la fabricación de tales elementos en nuestro medio, y al ver que no era posible por razones de privacidad, se investigó

en libros y en internet, y se halló que las juntas con mayor información disponible, que han sido patentadas, son AAB, Hércules y CK-300, las cuales sólo aparecen en internet. Según [5], en el Reino Unido se conocen además las Bulken, GKN y West.

Las juntas se fabrican con materiales de alta calidad y están especialmente diseñadas para resistir esfuerzos incluso mayores que la propia sección tipo del pilote, como han demostrado los distintos ensayos a flexión, compresión y tracción realizados a éstas [6].

SOLICITACIONES EN LAS JUNTAS

Este tipo de juntas, según las cargas y esfuerzos a que van a estar sometidas (figura 1), así como por hincado, presentarán solicitaciones a tensión, compresión, flexión, corte, y en el caso de la formación de cavernas o vacíos entre el suelo y el fuste del pilote, en el sitio donde está la junta, se presentará flexocompresión. Además, hay que considerar los agentes agresores presentes en el suelo donde se hincan los pilotes, por lo cual en este trabajo se realizaron ensayos a tensión axial y flexión sobre una propuesta de junta.

INCONVENIENTES EN LAS JUNTAS

Las juntas para unir tramos de pilotes prefabricados hincados presentan inconvenientes como los siguientes:

De tipo constructivo

La mayoría de las juntas al acoplarse en obra, se deben soldar en los extremos que se van a unir, lo que implica en primer lugar que no se puede asegurar un control de calidad adecuado en la aplicación de la soldadura, ya que se debe hacer de manera rápida y sin revisión adecuada, lo que implica tener un margen alto en la reducción de la resistencia, que no permite aprovechar los materiales al máximo, teniendo en cuenta de antemano que la soldadura es la que va a tener que soportar las mayores solicitaciones [7].

Por otro lado, está el rendimiento en obra; estas juntas son poco prácticas, pues al acoplar los extremos que se van a unir, se debe esperar a que se suelden en contorno las partes de las juntas que hay que unir, para luego continuar con el hincado del pilote.

Durabilidad

Otro inconveniente para todos los tipos de estas juntas es la alta probabilidad de disminución de resistencia y durabilidad debido a agentes agresores presentes en el suelo con el que están en contacto permanente, lo cual es otro factor fundamental que se debe tener muy en cuenta para el buen funcionamiento del conjunto.

Dichos agentes agresores son suelos con pH alto, agentes químicos, sales, entre otros, que causan oxidación, corrosión y, por ende, disminución de la sección transversal de los materiales con que está construida la junta.

Como información adicional, se presentan a continuación los requisitos mínimos que considera la Norma Colombiana de Construcción y Diseño Sismo Resistente de 2010 - NSR-10 [7].

PROGRAMA EXPERIMENTAL

Luego de haber obtenido la mayor información posible, de tener una mayor claridad sobre la manera en que funcionan las juntas, las solicitaciones a las que se pueden ver sometidas, complementando con la información y asesoría de los directores de este trabajo, se realizaron varios prototipos iniciales en diferentes materiales y después se procedió a la construcción de dos prototipos iniciales con láminas de acero, los cuales se ensayaron a tensión axial.

De acuerdo con el comportamiento de los dos, se escogió para ensayos a escala 1:1 la que mejor se acopló en su armado y que mejor comportamiento tuvo en el ensayo. Previamente, se hicieron los cálculos preliminares, de conformidad con los diferentes estados límite que se esperan en este tipo de ensayos.

Después de esto, se construyeron cuatro juntas que se ensayaron a tensión axial, hasta lograr que la junta fallara, y por último se construyó una más para hacerla fallar a flexión. Con esto se tabuló la información obtenida de los ensayos, para tener una guía en el comportamiento que pueden presentar estas juntas. De igual manera, para el ensayo a flexión se tabulan los resultados y se dan las conclusiones pertinentes.

ENSAYO PRELIMINAR A TENSIÓN

Con estas indicaciones y cálculos se procedió a armar el montaje. La prueba se realizó para uno de los dos

modelos iniciales; sin embargo, al hacer el ensayo, la falla se presentó en la soldadura entre las láminas.

La falla se produjo con una carga de 1,5 toneladas, cuando se esperaba que se presentara con una carga de 3,7 toneladas por fractura en corte de los pasadores (ver las memorias de cálculo que se anexan más adelante).

De esto se concluyó que se debía mejorar la conexión con soldadura entre las láminas de acero que conforman la volumetría de la junta.

Luego de ser seleccionada la junta, se elaboran tres especímenes: dos para tensión axial y uno para flexión. Después se ensayará en condiciones normales y se evaluará el comportamiento, de acuerdo con los requisitos en NSR-10, sobre este tipo de juntas en estudio.

PRIMER ENSAYO A TENSIÓN

Con base en el ensayo realizado a la muestra preliminar, se procede a la fabricación de la primera junta a escala real, la cual se hace de sección transversal cuadrada de 300 x 300 mm con lámina de 1/4" (6 mm), bulones de 5/8" que al final quedan de 13 mm en la parte de menor diámetro, en grado 5 ($f_y=420$ MPa).

La propuesta es que la parte cercana a la cabeza del bulón tenga un menor diámetro, de tal modo que cuando el bulón se introduzca a presión, quede fijo entre las paredes de las platinas que conforman la junta, de manera que se garantice la excelente unión entre las partes que la conforman.

En este primer ensayo se presentó falla por fluencia en la platina que se unía con la varilla que iba a las mordazas. Se aprovecha esta primera junta para fallarla a tensión sin tener el macizo de concreto, colocándole platinas en los extremos y de éstas *soldadas dos trozos* de varillas de 15 cm de diámetro 1-1/4".

Se esperaba falla en la platina por desgarramiento causado por esfuerzo cortante cuando se alcanzara una carga de 17 toneladas, de acuerdo con las memorias de cálculo. La soldadura utilizada para esta muestra es de 420 MPa a tensión, en el contorno de las varillas.

Luego de seguir deformando la lámina, se terminó por falla por fractura la soldadura entre la lámina y una de las varillas.

Con estos resultados, se encontró que una forma de mejorar el siguiente modelo era que las platinas de los extremos para el ensayo a tensión debían ser de un

espesor mayor, el cual se define haciendo los cálculos respectivos.

Adicionalmente, se debe disminuir la longitud en la que al pasador se le reduce el diámetro para que quede fijo a la junta, con el fin de que sea más eficiente.

SEGUNDO ENSAYO A TENSIÓN

Luego de haber realizado el ensayo anterior, se procedió a remplazar esa platina que era de 1/4" por una de 1/2", con el fin de encontrar la fuerza de tensión que provoca la falla de los pasadores o de la platina de la junta como tal.

El montaje es igual al anterior, con la única diferencia de tener una platina de mayor espesor. Para este ensayo se decidió perforar la platina en un diámetro aproximadamente igual a la varilla, para luego soldar por las partes superior e inferior, con el fin de darle mayor resistencia a la unión entre la platina y la varilla.

Cuando se inició el ensayo se esperaba nuevamente una falla por desgarramiento en la platina de la junta propiamente dicha, causado por esfuerzo cortante cuando se alcanzara una carga de 16,48 toneladas, según se observa en las memorias de cálculo. Sin embargo, la falla se produjo con una fuerza de 19,22 toneladas por desprendimiento entre la soldadura de la varilla y la platina. Es decir, 26,7 % más de resistencia en comparación con la prueba inmediatamente anterior.

Por otra parte, se observa que los pasadores ya presentan una deformación más notoria, debido posiblemente a fractura por corte o por aplastamiento contra las paredes de la platina; por tal razón, esta muestra no se volvió a llevar a laboratorio y se decidió hacer una nueva junta, tomando en cuenta las conclusiones obtenidas de este ensayo.

TERCER ENSAYO A TENSIÓN

Después de haber realizado el ensayo inmediatamente anterior, se procedió a remplazar esa platina que era de 1/2" por una de 1/2" de 300 x 300 mm completa y sobre ésta soldada una de 1/4" de 150 x 150 mm, con el fin de encontrar la fuerza de tensión que provoque la falla de los pasadores o de la platina de la junta.

El montaje es igual al anterior, con la única diferencia de tener una platina de mayor espesor. Cuando se inició el ensayo, se esperaba nuevamente una falla por



Figura 3. Imágenes de la falla.

desgarramiento en la platina de la junta propiamente dicha, causado por esfuerzo cortante cuando se alcanzara una carga de 17 toneladas, según se observa en las memorias de cálculo.

Sin embargo, la falla se produjo con una fuerza de 22,67 toneladas por desprendimiento entre la soldadura y las platinas de 1/4" que conforman los volúmenes internos de la junta. Es decir, 18 % más de resistencia en comparación con la prueba inmediatamente anterior.

Fuera de esto, se presentó por primera vez falla por desgarramiento por esfuerzo cortante en la platina de 1/4" que conforma los prismas internos de la junta, lo que causó que se levantara la platina de la parte superior, como se observa en la siguiente imagen (figura 3).

Por otra parte, uno de los pasadores falló por aplastamiento y cortante, y otro quedó doblado (figura 3).

Se concluyó que como en esta ocasión no falló la platina de los extremos, sino la soldadura de unión interna, se debe reforzar mejor la soldadura que se va a hacer, es decir, aplicar interna y externamente a las tapas del prisma. También hubo falla en la soldadura de las caras externas de una de las dos partes de la junta.

CUARTO ENSAYO A TENSIÓN

Luego de haber hecho el ensayo inmediatamente anterior, se procedió a aplicar cordón de soldadura, no sólo

dentro de los prismas sino también por la parte externa, puliendo muy bien para que éstos sigan encajando perfectamente; además, se le aumentó la resistencia a la soldadura. El montaje es igual al anterior, con la única diferencia de tener mayor longitud de soldadura y aumento de resistencia de 60.000 psi a 70.000 psi y electrodo 13.

Cuando se inició el ensayo se esperaba nuevamente una falla por desgarramiento en la platina de la junta propiamente dicha, causado por esfuerzo cortante cuando se alcanzara una carga de 16,47 toneladas, que es lo que equivale a la mitad de lo que se observa en las memorias de cálculo, esto es, para una sola platina. Sin embargo, la falla se produjo con una fuerza de 28,45 toneladas por desprendimiento de la varilla del extremo de la platina de los extremos, es decir, 25,5 % más de resistencia en comparación con la prueba inmediatamente anterior. En esta oportunidad se presenta por falla en la soldadura de la varilla en la que se aplica la fuerza de tensión.

Se concluyó, entonces, que como las platinas y pasadores no presentaban mayores deformaciones, esto demuestra que la junta contaba con una capacidad muy superior a lo registrado.

A continuación se presenta una tabla de resumen de los cálculos utilizados y los resultados de laboratorio.

Resumen de cálculos de estados límite (primer ensayo a tensión)

Tipo de falla	Carga de falla esperada (t)	Carga de falla (t) en el laboratorio
En el bulón		
Fractura en corte	25,00	15,17
Aplastamiento contra las paredes del agujero	32,06	15,17
Aplastamiento	40,92	
En las platinas		
Fluencia	361,78	
Corte en el área neta efectiva	32,95	
Aplastamiento en el área proyectada del bulón	48,09	
Desgarramiento por esfuerzo cortante	45,30	
Desgarramiento por esfuerzo a tensión	247,96	
Fractura de la sección neta a tensión	108,23	
En la platina (tapa)		
Fluencia	21,46	15,17
En la varilla		
Fluencia	33,91	
En la soldadura		
Desgarramiento*	19,55	15,17

*Falla presentada en el ensayo de laboratorio.

Resumen de cálculos de estados límite (segundo, tercer y cuarto ensayo a tensión)

Tipo de falla	Carga de falla esperada (t)	Carga de falla (t) en el laboratorio
En el bulón		
Fractura en corte•	25,00	19,22, 22,67 y 28,45
Aplastamiento contra las paredes del agujero	32,06	19,22, 22,67 y 28,45
Aplastamiento	40,92	
En las platinas		
Fluencia	361,78	
Corte en el área neta efectiva	32,95	
Para una platina•	16,48	19,22, 22,67 y 28,45
Aplastamiento en el área proyectada del bulón	48,09	
Desgarramiento por esfuerzo cortante	45,30	
Desgarramiento por esfuerzo a tensión	247,96	
Fractura de la sección neta a tensión	108,23	
En la platina (tapa)		
Fluencia*	42,92	
En la varilla		
Fluencia	33,91	
En la soldadura		
Desgarramiento*•	19,55	19,22, 22,67 y 28,45

*Falla presentada en el segundo y cuarto ensayo de laboratorio.

•Falla presentada en el tercer ensayo de laboratorio.

ENSAYO A FLEXIÓN

Se realiza de acuerdo con la metodología establecida en la Norma Europea UNE-EN 12794:2006, en la que se estudian la robustez y la rigidez del tipo de junta propuesta.

El ensayo a flexión consiste en estudiar la deflexión en la junta a partir de una carga estática.

La muestra ensayada está formada por dos elementos de concreto armado, de sección transversal cuadrada de 30 cm de lado, unidos por la junta objeto de estudio. La longitud del pilote es de 2,8 m.

El ensayo a flexión que se desea realizar tendrá dos etapas. En la primera se estudia la rigidez a 75 % del momento de falla teórico y en la segunda hasta el valor de la carga última. El valor del momento de falla se presenta más adelante.

El montaje que se va a utilizar para este ensayo se presenta en el siguiente esquema, en el que también se muestran los diagramas de cortante y momento.

Las cargas están aplicadas a los tercios de la luz.

Por lo tanto, si la tensión máxima que puede soportar esta junta, según los cálculos anteriores y teniendo en cuenta la disminución por fisuración del concreto, es de:

$$20,28 \text{ t}$$

Y teniendo de precedente que la junta antes de la falla está inmediatamente después en el rango elástico, el brazo, entre la resultante de compresión y tensión, es aproximadamente 2/3 de h.

Por tanto

$$M = 4,06 \text{ T-m}$$

De aquí que

$$P = 8,69 \text{ t}$$

Con esta carga se espera que se presente la falla por flexión.

Refuerzo longitudinal 2 N.º 6 + 2 N.º 5

Refuerzo transversal estribo N.º 3 de 2 ramas C/,075

$$F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2 = 60.000 \text{ psi}$$

De acuerdo con la nomenclatura de la norma en mención, la rigidez en la junta ($E I_{eq}$) se calcula teniendo

en cuenta que el elemento está sometido a flexión mediante dos cargas puntuales e idénticas, aplicadas a un tercio de la longitud del vano (figura 4).

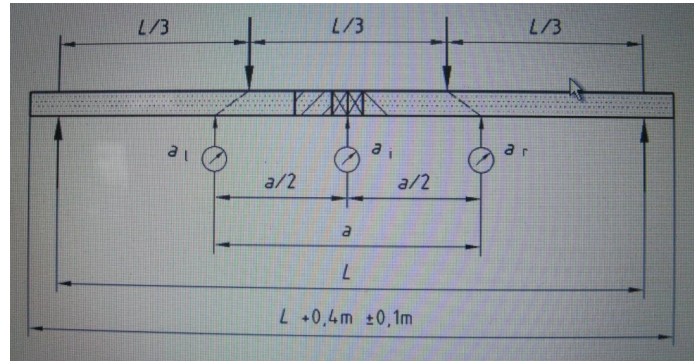


Figura 4. Disposición del ensayo a flexión.

Fuente: Norma UN 12794:2005+A2:2007.

Los valores registrados por los deformímetros tienen un valor inicial bajo su peso propio. Se tiene la precaución de que el incremento de carga de cada escalón se elija de tal manera que se efectúen al menos diez escalones de carga antes de que se alcance el momento flector último.

Para llegar al momento de interés se debe aplicar una carga, la cual debe ser reducida debido al peso propio del pilote. Así, el valor de esta carga es:

Tabla 1

Carga de ensayo para 75 % del momento de falla

Considerando la falla en la platina

Dimensiones de la muestra (cm)	Momento de falla- Mfalla (t-m)	Momento por peso propio- Mpp (t-m)	Momento total -MT (t-m)	Carga de ensayo (t)
30 x 30 x 280	3,04	0,21	2,83	6,06

Resultados del ensayo a flexión

Dimensiones de la muestra (cm)	Momento de falla- Mfalla (t-m)	Momento por peso propio- Mpp (t-m)	Momento total -MT (t-m)	Carga de ensayo (t)
30 x 30 x 280	3,10	0,21	2,88	6,18

RESULTADOS

Con el propósito de facilitar el registro interno de los datos del ensayo, se presenta el siguiente cuadro del resumen de resultados:

N.º	Fecha de ensayo	Tipo de junta	Sección	Refuerzo	Mfalla (Ton-m)	V1 (mm)		V2 (mm)		Vo (mm)
						Prom.	Med.	Prom.	Med.	
1	Flexión	Mecánica (bulón)	30 x 30 cm	2-6+2-5	3,04	1,7	3,4	2,3	2,9	1,98
					3,10	1,7	3,4	2,3	2,9	1,98
Diferencia de Resultados (%) (Teórico vs. ensayo)					-1,8 %					

Mflector	δ_i mm	δ_l mm	δ_r mm	δ_m mm	L (m)	h (m)	a (m)	Carga (t)	M (t-m)	El eq (t-m ²)
75 % teórico	6,0470	0,2781	0,1335	5,841	2,4	0,3	0,3	6,06	2,83	44,79
Múltimo	6,047	0,2781	0,1335	5,841	2,4	0,3	0,3	6,18	2,88	45,65
								-1,9 %	-1,9 %	-1,9 %

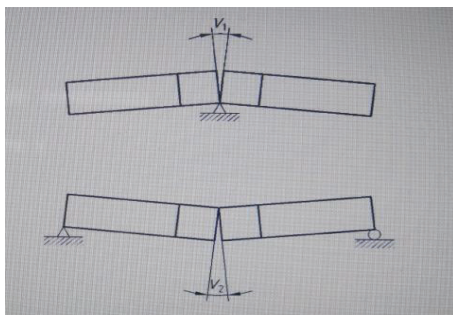


Figura 5. Esquema de medidas V1 y V2.
Fuente: Norma UN 12794:2005+A2:2007.

En el laboratorio se registró el valor del momento último cuando la probeta de ensayo estaba a punto de fallar, ya sea por las fisuras en el concreto o por un notable deterioro de la junta en su función de conectar los dos elementos.

Se construyó la junta a la cual se le unieron las varillas de refuerzo con soldadura, según cuantía exigida por NSR-10 en C.15.11.5.4 (figura 6). Vale la pena aclarar que el refuerzo principal se coloca teniendo en cuenta el recubrimiento mínimo que solicita la NSR-10, es decir, 7,5 cm, con el fin de hacer el ensayo en condiciones de obra.

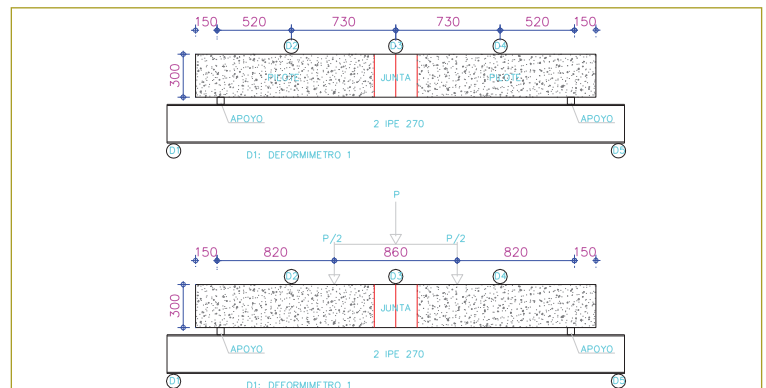


Figura 6. Esquema del ensayo a flexión.

De acuerdo con lo obtenido en el ensayo a flexión y la falla presentada, se encuentra que la diferencia entre el momento teórico de falla y el obtenido en laboratorio



Figura 7. Imágenes de la falla.

El módulo de elasticidad esperado con respecto al obtenido da una diferencia de 11,8 %.

es de 1,8 %, lo que es aceptable si se considera que el modelo de pilote ensayado se hizo según requisitos de NSR-10, con recubrimiento de 7,5 cm por los cuatro lados, que es como realmente se deben fabricar estos pilotes; por lo tanto, el ensayo se realizó como en verdad debía hacerse, es decir, con las condiciones con que el pilote y la junta van a trabajar.

Al tener la mitad de la sección con concreto de recubrimiento la sección presenta una más rápida fisuración y por consiguiente una mayor deformación que es considerada como la de falla, ya que sin incrementar la carga el modelo seguía deformándose (figura 7).

En los deformímetros 2 y 4, por el contrario, las deformaciones siempre van en aumento, aunque en el deformímetro 2 entre la carga de 2,8 y 3,5 t la deformación no aumenta, pero de ahí en adelante la deformación se incrementa más rápidamente. En el caso del deformímetro 4, entre la carga de 3,5 y 4,2 t la deformación disminuye un poco, pero después de la carga de 4,9 t la deformación aumenta más rápidamente.

CONCLUSIONES

De conformidad con los ensayos realizados a la junta propuesta dentro de este trabajo de grado, se puede concluir lo siguiente:

- Los puntos de la junta con más probabilidad de falla son: a) las uniones soldadas entre los prismas y la platina fallan por desgarramiento (figura 3); b) la platina de los prismas falla por corte en el área neta efectiva y por último los bulones, que presentaron falla por aplastamiento contra las paredes de la platina.
- De acuerdo con el ensayo 3 a tensión simple, la secuencia de falla en este tipo de junta es la siguiente: a) falla por corte en el área neta efectiva de la platina de los prismas; b) falla por desgarramiento de las uniones soldadas entre los prismas y la platina; c) falla por aplastamiento contra las paredes de la platina en los bulones.
- Por lo anterior, se concluye que los espesores de las paredes de los prismas deben ser mayores que el resto de las platinas utilizadas.
- Los bulones deben tener un mayor diámetro y deben ser de la más alta resistencia que se puedan encontrar en el mercado (mínimo G-8 $f_y=490$ MPa). Además, los bulones deben quedar intercalados, entre las dos partes de la junta.
- La resistencia máxima alcanzada a tensión axial fue de 28,45 toneladas, después de cuatro ensayos.
- La carga de falla o última a la que se podría llevar la junta, según lo observado en los diferentes ensayos, es mucho más que la carga máxima alcanzada.
- Por lo anterior, se debe tener especial cuidado en las uniones soldadas entre las platinas y los prismas, así como en la distancia de las perforaciones para los bulones al borde de la platina, ya que cuanto más alta la distancia, mayor resistencia área neta efectiva va a resistir el corte, y el diámetro necesario del bulón, según las sollicitaciones previstas.
- En consonancia con los cálculos realizados y los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, donde sí falló la junta como tal, se concluye que la falla no se originó por un solo tipo de falla, sino que es la combinación de las tres fallas mencionadas anteriormente.

- Se recomienda fabricar la junta por el método de fundición.

Del ensayo a flexión se puede concluir lo siguiente:

- Para buscar que la falla a flexión se presente con una carga más alta que la obtenida en este proyecto, se debe aumentar la longitud de la platina de la caja que confina el concreto a los dos lados de la junta.
- La diferencia entre los resultados obtenidos teóricamente y los experimentales es admisible. Las diferencias entre las cargas, momentos y rigidez calculadas frente a las obtenidas experimentalmente están entre el 1,8 y 1,9 %.

Recomendaciones

De acuerdo con el alcance del presente trabajo de grado y los objetivos trazados, quedan pendientes para el mejor conocimiento en el comportamiento estructural de estas juntas los siguientes puntos:

- Estudiar la incidencia de diferentes tipos de suelos, especialmente agresivos –con sulfatos, suelos ácidos y agentes químicos agresores– sobre la resistencia de las juntas a mediano y largo plazo.
- Hacer ensayos a corte y compresión.
- Desarrollar este tipo de ensayos en nuevos diseños de juntas, para evaluar y comparar contra los resultados obtenidos en los ensayos realizados durante este trabajo de grado.

Lista de símbolos de letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
m	Longitud	m	DF
m ³	Volumen	m ³	DF
mm	Longitud	mm	DF
cm	Longitud	cm	DF
cm ²	Área	cm ²	DF
kg	Kilogramo	kg	DF
t	Tonelada	ton	DF
kN	kilonewton	kN=9,81 ² kg	DF
∅	Diámetro	1	DF
t	Espesor de la platina	1	DF
bef	Ancho efectivo	1	DF
Aef	Ancho efectivo	1	DF
Agv	Área a corte por desgarramiento		
Tn	Tensión nominal		
MPa	Megapascal	N/mm ²	DF
fy	Esfuerzo de fluencia del acero	MPa; kg/cm ²	DF
Fu	Esfuerzo de rotura del acero	MPa; kg/cm ²	DF
f'c	Esfuerzo a compresión del concreto	MPa; kg/cm ²	DF
As	Área transversal de acero		
Asf	Área neta efectiva por corte		
Apb	Área proyectada del pasador		
Ant	Área neta a tensión		
Rn	Resistencia nominal	kg; kN	
Ru	Resistencia última		
RuT	Resistencia última a tensión		
G-50	Acero grado 50	fy=350 MPa	
A-36	Acero calidad 36	fy=250 MPa	
M	Momento flector en la junta del pilote causado por la carga aplicada	T-m	
Pu	Carga última de rotura		
PuT	Carga última de rotura a tensión		

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
ϕ	Coefficiente de reducción de resistencia según el estado límite en estudio	NA	
θ	Diámetro	1	DF
δ_m	Deformación en la mitad del vano	mm	
δ_i	Lectura del deformímetro en la mitad del vano	mm	
δ_l	Lectura del deformímetro a la izquierda del vano	mm	
δ_r	Lectura del deformímetro a la derecha del vano	mm	

REFERENCIAS

- [1] Cimentaciones NECS. Pilotes. En ¿Cuándo utilizar pilotes? [en línea] [consultado 26 ene. 2012]. Disponible en <<http://www.gruponecs.com.mx/cuando-utilizar-pilotes.shtml>>.
- [2] Construmática. Pilotes. En Casos en que se usan pilotes [en línea] [consultado 26 ene. 2012]. Disponible en <<http://www.construmatica.com/construpedia/Pilotes>>.
- [3] Salina, L. Fundación indirecta o pilotes. En Pilotes prefabricados de hormigón armado [en línea] [consultado 26 ene. 2012]. Disponible en <<http://profesoralorenasalina.blogspot.com/2012/07/fundacion-indirecta-o-pilotes.html>>.
- [4] Rodríguez, J., Serrata, J. & Oteo, C. (1989). *Curso aplicado de cimentaciones*, 4.ª ed. Madrid: Servicio de Publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos, pp. 179-180,198.
- [5] Tomlinsin, M. (2005). *Cimentaciones. Diseño y construcción*, 5.ª ed. México, D.F.: Editorial Trillas, pp. 260, 290-291,340, 345-346, 511.
- [6] Terratest Cimentaciones. Pilotes prefabricados pretensados. En 2. Hince [en línea] [consultado 26 ene. 2012]. Disponible en <<http://www.terratest.es/descargas/catalogopretensados.pdf>>.
- [7] Colombia. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). Reglamento colombiano de construcción sismorresistente 2010, C-296,304.