

ESCUELA
COLOMBIANA
DE INGENIERÍA
JULIO GARAVITO

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

Oscar Vladimir Ruiz Suárez

Escuela Colombiana de Ingeniería

Posgrado en Ingeniería Civil

Bogotá, Colombia

2014

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

Oscar Vladimir Ruiz Suárez

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ingeniería Civil

Director:

Ph.D. Pedro Nel Quiroga

Línea de Investigación:

Tecnología del Concreto

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

Posgrado en Ingeniería Civil

Bogotá, Colombia

2014

*A Dios y a mi esposa Karolina por su apoyo
constante e incondicional, a mis hijos Ana María,
Oskar David, Cielo y Nicolás.*

Agradecimientos

A la Ing. M.Sc. Nancy Torres, Directora del Laboratorio de Estructuras de la Escuela Colombiana de Ingeniería, quien con sus conocimientos orientó, corrigió y dirigió para que este trabajo sea una realidad.

Al Ph.D. Pedro Nel Quiroga, Profesor de la Maestría en Estructuras de la Escuela Colombiana de Ingeniería, Director del Trabajo de grado, quien con sus conocimientos realizó grandes aportes para iniciar este trabajo de grado, así como en los cursos dictados por él.

A los Ingenieros: Jaime Erasmo Garzón, Sandra Jerez y Luis Enrique Aycardi, Profesores de la Maestría en Estructuras de la Escuela Colombiana de Ingeniería, por todos los conocimientos aportados.

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, como son: tensión y flexión.

Para esto se realizaron 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 tener en cuenta 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. Obteniendo información que se tabuló, de tal forma 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.

Junta

Pilote Hincado

Tensión en pilotes

Flexión en pilotes

Abstract

In this degree work created a new type of meeting for driven piles, in order to study their behavior in the main stresses of work, such as: Tension and Bending.

To which there were four simple tension tests and bending on one board model with mounting proposal discussed below, one for each type of test, as described in the development of this work, these tests are performed in the laboratory of the Colombian School of Engineering "Julio Garavito". Assessing experimentally the behavior under different static stresses (Bending and Axial Tension), under normal conditions , ie without taking into account the incidence of the structure being buried.

From the results of the experiments were determined critical points and the ability to solicitations mentioned, the board tested. Getting information was tabulated, so that serves as a guide to the structural design of these joints.

The designed prototype board, satisfied the conditions to resist the most critical stresses to which it may be subjected in its lifetime.

Board

Driven pile

Tension piles

Bending in piles

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Lista de figuras	XIII
Lista de Símbolos y abreviaturas	XV
Introducción	1
1. Marco Teórico	3
1.1 Pilotes	3
1.1.1 Clasificación.....	4
1.1.2 Clasificación de los pilotes según la forma	6
1.1.3 Clasificación de los pilotes según el material.....	7
1.2 Juntas en Pilotes Hincados.....	12
1.2.1 Solicitaciones en las juntas.....	15
1.2.2 Inconvenientes en las juntas	15
1.2.3 Requisitos según NSR-10	16
2. Programa Experimental	19
2.1 Modelo Preliminar	23
2.1.1 Ensayo a Tensión preliminar	27
2.2 Primer Ensayo a Tensión.....	30
2.3 Segundo Ensayo a Tensión	38
2.4 Tercer Ensayo a Tensión	47
2.5 Cuarto Ensayo a Tensión	50
2.5.1 Resumen de Cálculos	53
2.6 Ensayo a Flexión	55
2.6.1 Introducción	55
2.6.2 Términos y definiciones	55
2.6.3 Características del elemento ensayado	56
2.6.4 Ensayo.....	56
2.6.5 Rigidez a flexión 75% momento de falla teórico.....	59
2.6.6 Resultados	61
2.7 Cometarios de los resultados	71
3. Conclusiones y recomendaciones	79
3.1 Conclusiones	79
3.2 Recomendaciones	81

A. Anexo: Registro Fotográfico.....	83
B. Anexo: PLANOS	107
C. Anexo: CD. Incluye Registro Fotográfico completo y videos.	108
Bibliografía	109

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1: Esquema cimentación profunda.....	3
Figura 2: Solicitaciones en pilotes a fricción.....	5
Figura 3: Esquema pilote mixto.....	6
Figura 4: Diagrama de fuerzas y momentos en pilotes.....	8
Figura 5: Secciones y materiales utilizados en pilotes.....	10
Figura 6: Esquema proceso constructivo de pilotes fundidos en sitio.....	10
Figura 7: Esquema proceso de hincado.....	11
Figura 8: Pilotes prefabricados y juntas en los extremos.....	12
Figura 9: Junta tipo AAB.....	13
Figura 10: Junta tipo CK-300.....	14
Figura 11: Junta tipo Hércules.....	14
Figura 12: Forma básica de una junta.....	15
Figura 13: Propuesta preliminar de juntas.....	20
Figura 14: Modelo preliminar a escala 1:4.....	23
Figura 15: Montaje para ensayo preliminar.....	27
Figura 16: Colocación de pasadores.....	28
Figura 17: Montaje antes del ensayo.....	28
Figura 18: Inicio del ensayo a tensión preliminar.....	29
Figura 19: Falla de la junta preliminar.....	29
Figura 20: Falla en la soldadura.....	29
Figura 21: Falla en la soldadura.....	30
Figura 22: Construcción del primer modelo a escala.....	31
Figura 23: Construcción del primer modelo a escala.....	32
Figura 24: Colocación de pasadores.....	36
Figura 25: Fluencia de la platina durante el ensayo a tensión.....	37
Figura 26: Fluencia de la platina en un extremo.....	37
Figura 27: Desgarramiento de la platina en el otro extremo.....	38
Figura 28: Segundo modelo a escala.....	39
Figura 29: Montaje.....	45
Figura 30: Fluencia de la platina durante el ensayo a tensión.....	45
Figura 31: Imagen de la falla.....	46
Figura 32: Imagen de la falla.....	46
Figura 33: Imagen de la falla.....	46
Figura 34: Montaje tercer ensayo a tensión.....	47
Figura 35: Carga de falla registrada y falla.....	48
Figura 36: Imagen de la falla.....	48
Figura 37: Imagen de la falla.....	48
Figura 38: Imagen de la falla.....	49
Figura 39: Imagen de la falla.....	49
Figura 40: Imagen de la falla.....	50

Figura 41:	Imagen de la falla.....	50
Figura 42:	Montaje cuarto ensayo a tensión.....	51
Figura 43:	Carga de falla registrada y falla.....	51
Figura 44:	Imagen de la falla.....	51
Figura 45:	Imagen de la falla.....	52
Figura 46:	Montaje de la junta.....	52
Figura A:	Partes del pilote en estudio.....	56
Figura B:	Disposición del ensayo a flexión.....	58
Figura C:	Esquema medidas V_1 y V_2	60
Figura 47:	Armado de la junta ensayo a flexión.....	63
Figura 48:	Esquema del ensayo a flexión.....	64
Figura 49:	Montaje del ensayo a flexión.....	64
Figura 50:	Imágenes de la falla.....	72
Figura 51:	Imágenes de la falla.....	72
Figura 52:	Ensayo módulo de elasticidad.....	73
Figura 53:	Ensayo módulo de elasticidad.....	74

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con 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
Ton	Tonelada	ton	DF
kN	kilo Newton	kN=9.81 ² kg	DF
Ø	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	N.A.	
\emptyset	Diámetro	1	DF
δm	Deformación en la mitad del vano	mm	
δi	Lectura deformimetro en la mitad del vano	mm	
δl	Lectura deformimetro a la izquierda del vano	mm	
δr	Lectura deformimetro a la derecha del vano	mm	

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 30 m, los cuales normalmente se fabrican en longitudes de 12m, por lo que para lograr la longitud total, es necesario usar entre los tramos prefabricados elementos de conexión, que con frecuencia son de acero, de tal forma 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 nuestro medio 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 forma que esto pueda servir como base para el análisis de este 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.

A continuación se describen los objetivos trazados para este trabajo de grado.

Objetivo general

Desarrollar un tipo de junta para pilotes hincados de concreto que permita aumentar la velocidad de acoplamiento entre los tramos y que tenga resistencia mecánica adecuada.

Objetivos específicos

Desarrollar modelos a escala de diferentes tipos de juntas y evaluar la facilidad de acoplamiento y la resistencia.

Evaluar la facilidad de acoplamiento y la resistencia en especímenes en escala 1:1 del modelo más prometedor.

Determinar analítica y experimentalmente la resistencia a tensión y flexión de 5 especímenes.

Metodología General

Al inicio de este trabajo, se realizaron varias reuniones con los directores de este trabajo, con el fin de contextualizar y enmarcar el tipo de trabajo a realizar, así como la unificación de conceptos sobre el comportamiento de los pilotes de gran profundidad.

Se buscó toda la información disponible sobre este tema, en libros y artículos en internet, donde se encuentra la experiencia y trabajo de algunas empresas sobre este tema.

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, luego se procede a la construcción de dos prototipos iniciales con láminas de acero, los cuales fueron ensayados a tensión axial.

De acuerdo con el comportamiento de los dos, se escoge para ensayos a escala 1:1 la que mejor se acoplo en su armado y que mejor comportamiento tuvo en el ensayo.

Previamente, se realizan los cálculos preliminares de acuerdo con los diferentes estados límites que se esperan en este tipo de ensayos.

Después de esto, se construyeron cuatro juntas que se ensayaron a tensión axial, hasta obtener que la junta fallara, y por último se construyó una más para fallarla a flexión.

Con esto se tabulo la información obtenida de los ensayos, para que se tenga una guía en el comportamiento que pueden presentar estas juntas.

De igual forma para el ensayo a flexión se tabulan los resultados y se dan las conclusiones pertinentes.

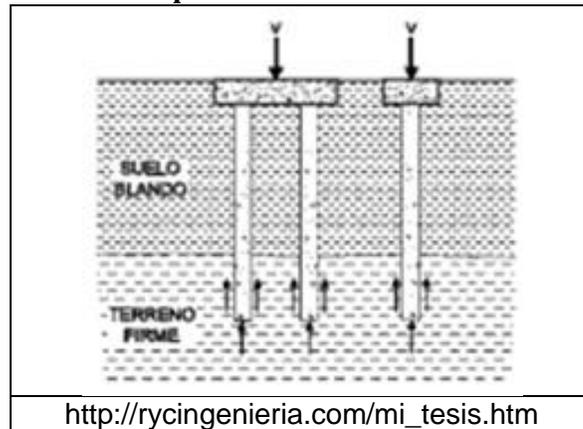
Finalizando se presentan las conclusiones y recomendaciones de acuerdo a los resultados encontrados en los ensayos sobre las juntas.

1. Marco Teórico

1.1 Pilotes

El pilote es un tipo de cimentación profunda hincado o pre-excavado, que busca transmitir las cargas de la estructura a uno o varios estratos de suelo de cimentación, como se observa en la figura 1.

Figura 1: Esquema cimentación profunda



Se llama cimentación profunda a aquella cuya relación profundidad lado más ancho es superior a diez (10), teniendo en cuenta que esto hace que el comportamiento sea diferente en comparación con una cimentación superficial, ya que la transmisión de las cargas se hace al suelo por fricción a diferentes estratos y no por distribución de la carga en el área de contacto de la cimentación.

Los pilotes se usan en los siguientes casos:

- Cuando una cimentación superficial no garantiza un comportamiento adecuado teniendo en cuenta la capacidad portante del suelo de fundación.
- Cuando el suelo de fundación es demasiado blando o es bastante suelto.
- Cuando el terreno está sometido a grandes variaciones de temperatura por contracciones y retracciones producidos por arcillas expansivas.
- Cuando la edificación está situada sobre agua o que el nivel freático está muy cerca del nivel de suelo.
- Cuando la cimentación está sometida a esfuerzos de tracción. [1].

En la cimentación por pilotaje pueden encontrarse las siguientes posibilidades de transmisión de las cargas al suelo:

1. El rozamiento y adherencia entre el suelo y el cuerpo del pilote.
2. La resistencia por punta, en caso de transmitir compresiones, para absorber esfuerzos de tracción puede ensancharse la parte inferior del pilote, para que trabaje el suelo superior.
3. La combinación de ambos. [2].

Para hincar el pilote siempre se busca el apoyo sobre una capa resistente que soporte las cargas transmitidas. Frecuentemente la capa firme está a mucha profundidad, entonces el rozamiento lateral puede ser de importancia según el caso.

Con un terreno regular en superficie y fuertes cargas, el rozamiento lateral será menos importante cuanto más débiles sean las capas del terreno atravesadas; por ello conviene emplear este sistema.

1.1.1 Clasificación

Por la forma en que trabaja el pilote, se lo clasifica en:

- **Pilote en Punta**

El pilote trabaja por punta, clavado en la mayoría de los casos a gran profundidad.

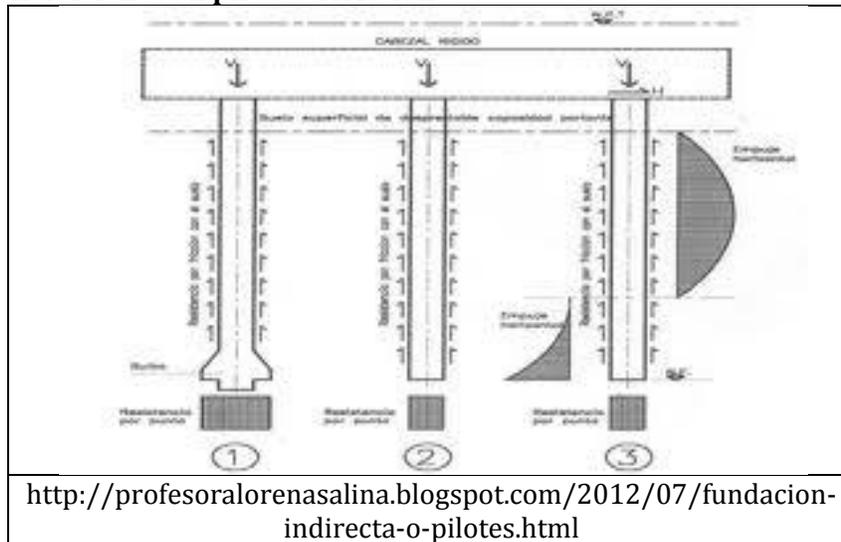
La punta del pilote se *clava* en terreno firme; de manera que se confía en el apoyo en ese estrato, aún si hubiere una pequeña descarga por rozamiento del fuste al atravesar estratos menos resistentes. Lo cual denota que las fuerzas de apoyo actúan sobre la punta del pilote, y en menor medida mediante el rozamiento de la superficie lateral del pilote. [3] [4].

Es el mejor apoyo y el más seguro, porque el pilote se apoya en un terreno de gran resistencia.

- **Pilote por fricción**

Cuando el terreno donde se construye posee el estrato a gran profundidad; en este caso los pilotes están sumergidos en una capa blanda y no se apoyan en ningún estrato de terreno firme, por lo que la carga que transmite al terreno lo hace únicamente por efecto de rozamiento del fuste del pilote, [3] como se puede observar en la figura 2.

Figura 2. Solicitaciones en pilotes a fricción

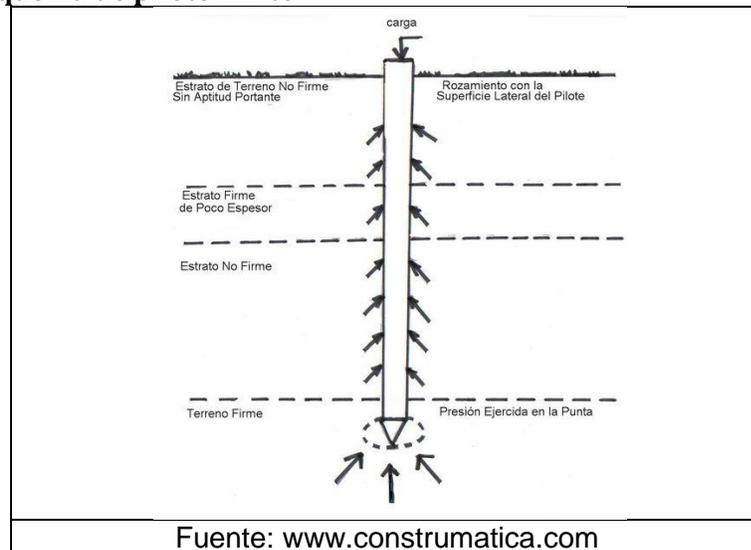


Se calcula la longitud del pilote en función de la resistencia a fricción de los diferentes estratos del suelo.

▪ **Pilote Mixto**

Cuando el pilote se encuentra con un estrato resistente pero de poco espesor y otros inferiores menos firmes.

En este caso se debe profundizar hasta encontrar terreno firme de mayor espesor. El pilote transmite su carga al terreno por punta, pero también descarga gran parte de los esfuerzos de las capas de terreno que ha atravesado por rozamiento lateral. Si la punta del pilote perfora la primera capa firme, puede sufrir asentamientos diferenciales considerables. Como en los de primer orden, las fuerzas de apoyo actúan sobre la planta del pilote y por rozamiento con las caras laterales del mismo. Ver figura 3.

Figura 3. Esquema de pilote mixto

1.1.2 Clasificación de los pilotes según la forma

Los constructores a través del tiempo han probado y usado con éxito variable, muchas formas y tipos de pilotes. Cada forma ha tenido, probablemente, éxito bajo ciertas condiciones; sin embargo, el uso de cierto tipo o forma de pilote que ha dado buen resultado en una obra, puede que no tenga éxito en una situación diferente. En los Estados Unidos de América las compañías constructoras que tienen grandes y bien equipadas organizaciones para la hincada de pilotes usan, en general, unos pocos tipos y formas de pilotes, que también son frecuentemente utilizados en nuestro medio.

Cuatro formas básicas se usan comúnmente: primera, sección transversal uniforme en toda la longitud del pilote; segunda, base o punta ensanchada; tercera, forma cónica y cuarta, pilote hueco.

El pilote de sección uniforme puede presentarse en varias formas: sección circular, cuadrada, octagonal, estriada, y H. La sección uniforme hace que la resistencia del pilote como columna sea uniforme de la punta a la cabeza y que el rozamiento superficial esté bien distribuido en todo el fuste. *Se adapta bien* para hacer juntas y cortes, ya que todas las secciones del pilote son iguales.

Con objeto de aumentar la resistencia en la punta y la fricción en la parte inferior del pilote, se han usado diferentes formas de ensanchamiento de la punta. En una se usa una punta grande prefabricada que se une a un pilote cilíndrico, mientras que en otra se forma un bulbo de concreto que es forzado dentro del suelo en la punta del pilote. Los pilotes de esta última forma han demostrado ser muy efectivos para desarrollar resistencia en la punta en suelos cohesivos compactos y aun en arenas sueltas. Tienen poco valor como pilotes de fricción y una ligera ventaja sobre los de sección uniforme, cuando se usan como pilotes resistentes por la punta, en roca.

La forma cónica se originó con el pilote de madera, que está de acuerdo con la forma natural del tronco del árbol; sin embargo, esta forma ha sido imitada en pilotes de concreto y de acero para hacer más fácil la construcción. Los pilotes cónicos son útiles para compactar arenas sueltas debido a su acción de cuña, pero en otros casos pueden ser menos efectivos que los de sección uniforme. Tanto la resistencia en la punta como la fricción lateral en la porción inferior del pilote cónico son bajas porque el área de la punta y el área superficial del pilote son pequeñas. El resultado es que los pilotes de forma cónica resistentes por la punta requieren mayor longitud que los de sección uniforme para soportar la misma carga. Los pilotes cónicos que dependen de la fricción para soportar la carga, pueden transmitir una gran parte de la misma a los estratos superiores más débiles, con lo cual se producen asentamientos inconvenientes.

Los pilotes que son huecos tienen, sobre los que no lo son, la ventaja de que pueden ser inspeccionados en toda su longitud después de hincados. Durante la hinca los pilotes se pueden desviar de la vertical, encorvarse o doblarse en ángulos cerrados o pueden dañarse por una hinca excesiva.

Los pilotes huecos se pueden inspeccionar dejando caer en su interior una llama brillante o reflejando los rayos del sol con un espejo; pero en las otras formas hay que suponer que están correctos sin poder comprobarlo. Por lo tanto en los pilotes que no se pueden inspeccionar deben usarse factores de seguridad más altos. Los pilotes huecos que se hincan con los extremos abiertos y en los que después se extraen el material del interior, permite examinar el suelo situado debajo de la punta del pilote. Cuando un pilote con el extremo abierto se apoye en una roca de superficie irregular, se puede allanar la superficie de la roca rebajándola y, si se encuentra que el pilote se va a apoyar en una piedra que está más arriba que el estrato indicado para soporte del pilote, se puede barrenar la piedra o dinamitarla para que el pilote pueda llegar a la profundidad requerida. [5].

1.1.3 Clasificación de los pilotes según el material

Pilotes de madera

La madera se emplea desde la prehistoria; en ese entonces los habitantes lacustres construían sus chozas apoyándolas sobre troncos hincados en el lecho del lago. Estos troncos lograron conservarse mientras las aguas que los rodeaban eran ácidas, es decir de pantanos turbosos.

Los rollizos de madera se conservan más tiempo si se los mantiene permanentemente mojados o secos, pero si se alternan estas condiciones de humedad, se destruyen rápidamente.

Antes de colocar los pilotes se aconseja impregnarlos a presión con una sustancia protectora para evitar el ataque de hongos o insectos que destruyen sus fibras.

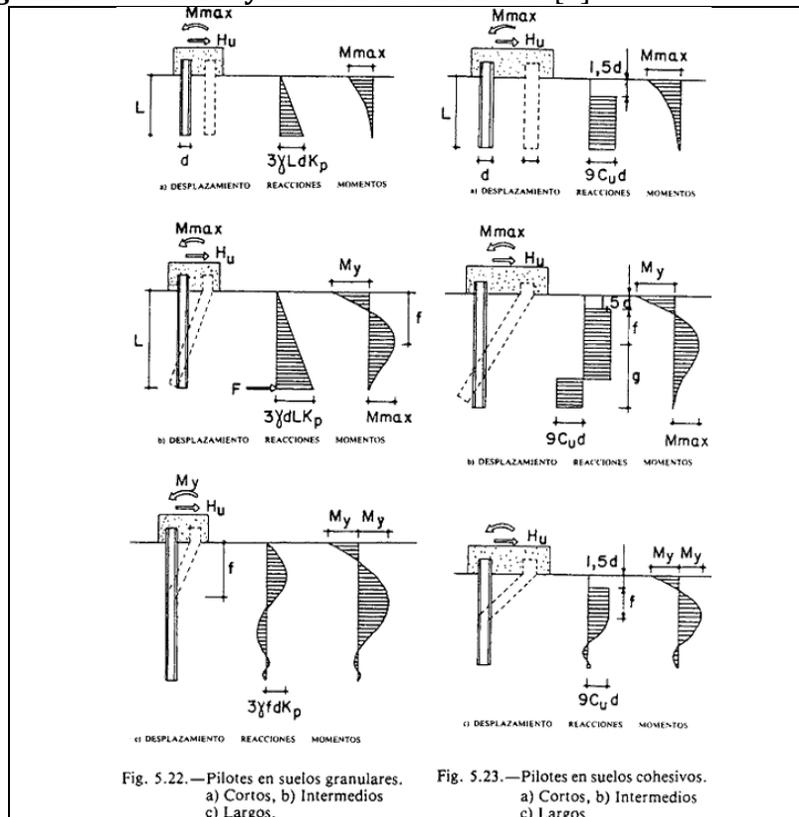
Las maderas más usadas, por ser más económicas, son pino y abeto. Si se requiere de mayor resistencia por el ataque de aguas de mar o por impactos, se debe recurrir a maderas más costosas pero de mayor dureza, como por ejemplo la haya o la teca. [6]

Los rollizos naturales son más económicos, pero si poseen sección cuadrada, son mejores para sus posibles empalmes.

La madera que no haya sido sometida a tratamiento y esté situada por arriba del nivel freático se pudre y arruina por las termitas y otros insectos. En agua salada la madera puede ser atacada por horadadores marinos. Hay muchos tipos de horadadores marinos, la mayoría pertenece a los crustáceos (langostas y cangrejos) o a la de las ostras y almejas. La limonaria, que es un crustáceo de la familia del cangrejo, destruye la madera de afuera hacia adentro, dejando el pilote como si fuera una aguja de madera. El teredo, que es un molusco, de la familia de las almejas, destruye la madera de adentro hacia afuera; se introducen en el pilote por una pequeña abertura y destruye su interior dejándolo hueco. Se puede hacer que los pilotes de madera duren más sometiéndolos a un tratamiento con cloruro de zinc, sulfato de cobre y otros productos químicos patentados. La impregnación con creosota es uno de los procedimientos más eficaces y de más duración para la protección de los pilotes de madera. [7].

En la siguiente figura se muestran las diferentes fuerzas y sollicitaciones que se pueden presentar en un pilote.

Figura 4. Diagramas de fuerzas y momentos en Pilotes [4].



Generalmente se emplea de 200 a 400 kg. de creosota por m³ de que se introducen por un procedimiento de vacío y presión. En las áreas donde el ataque de los organismos marinos es muy severo, se protegen los pilotes sometiéndolos a un tratamiento que es una combinación de arseniato de cobre seguido por alquitrán de hulla y creosota; ambas sustancias, aplicadas bajo calor y presión, son necesarias para que los pilotes se conserven en agua salada entre 15 y 25 años.

Los pilotes de madera sufren grandemente por un exceso de hinca; en la cabeza se separan las fibras y el fuste puede llegar a rajarse o romperse, cuando encuentran una gran resistencia a la hinca. En la construcción de una esclusa en el río Mississippi fue necesario hincar varios miles de pilotes de madera a través de un estrato de arena cementada que no se había descubierto. Una excavación posterior puso en relieve que muchos de los pilotes se habían astillado y roto. [8].

Los pilotes de madera pueden soportar con seguridad de 15 a 30 toneladas por pilote en función de su longitud y profundidad. Se han utilizado pilotes de madera para cargas de 45 toneladas o más y los ensayos de carga han demostrado que pueden soportarlas con seguridad. El problema principal, en estos casos, es que hay que estar seguro que la calidad estructural de la madera es uniforme y alta para que no haya peligro de que se rompan durante la hinca. El bajo costo del material y la hinca, se hacen a menudo del pilote de madera la cimentación más económica por toneladas de carga. [8].

Acero

Se utilizan con secciones en **H** o en Cajón.

En tipo cajón pueden rellenarse de concreto después de haberse colocado.

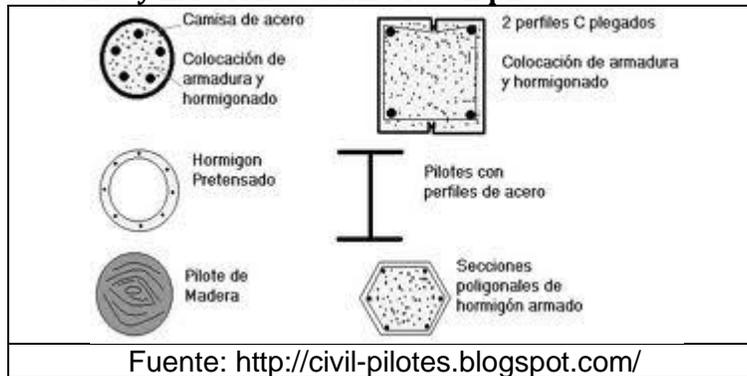
A veces se constituye el pilotaje con perfiles planos empalmables, es el tablestacado, que se consiguen con secciones de acero laminado en caliente. Se los utiliza como contención de tierras y como barrera del agua en caso de excavaciones para cimentaciones, sótanos. En muelles y zonas ribereñas también suele usarse.

Para evitar la corrosión, el acero puede contener una cantidad importante de cobre, se lo llama *acero de oxidación controlada* o estar impregnado con pintura bituminosa.

Los hincados en pilotes de acero son más fuertes y rígidos.

Si es necesario, pueden recuperarse y se les puede hacer variar su longitud por corte y aplicación de soldadura. [9].

A continuación se presenta en la figura 5, las diferentes secciones y materiales que se utilizan en los pilotes.

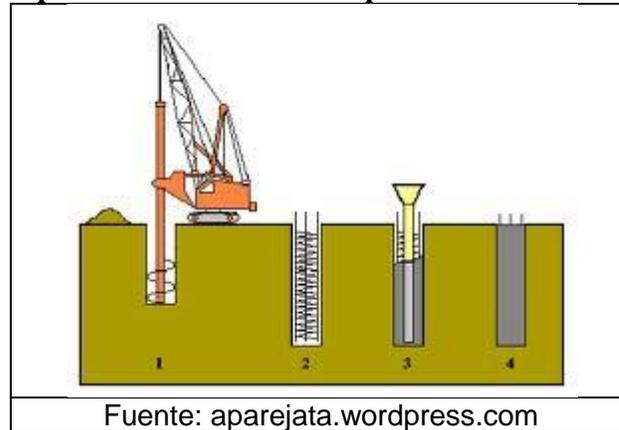
Figura 5. Secciones y materiales utilizados en pilotes

Concreto Reforzado

Los pilotes fabricados de este material se dividen en:

- Pilotes fundidos en sitio

Se construyen en obra, siguiendo en general el siguiente proceso: excavación, colocación de la canasta de refuerzo, adición de polímeros (cuando se requiere) y por último el vaciado del concreto tipo tremie o tipo tornillo. Según se ilustra en la figura 6.

Figura 6. Esquema proceso constructivo de pilotes fundidos en sitio

- **Pilotes Prefabricados**

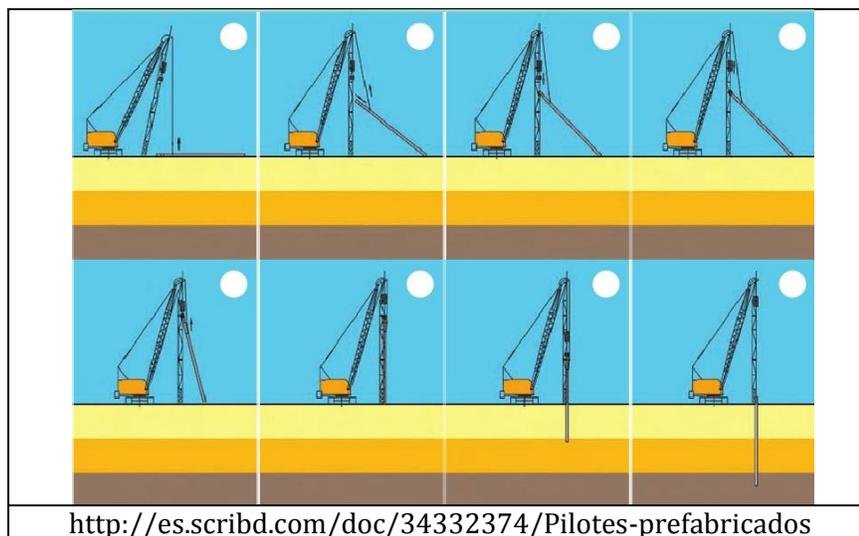
Son pilotes que se pueden fabricar en concreto reforzado común o concreto presforzado. [10].

Los pilotes de concreto reforzado convencional se utilizan para trabajar a la compresión; los de concreto presforzado funcionan bien a tracción.

Dichos elementos son colocados verticalmente sobre la superficie del terreno y posteriormente "hincados" en el piso a base de golpes de "martinete" o con un martillo

metálico equipado para hincar pilotes, esto hace que el elemento descienda, penetrando el terreno, tarea que se prolonga hasta que se alcanza la profundidad del estrato resistente y se produzca el "rechazo" del suelo en caso de ser un pilote que trabaje por "punta", o de llegar a la profundidad de diseño, en caso de ser un pilote que trabaje por "fricción".[11] [12]. Ver figura7.

Figura 7. Proceso de hincado



Los pilotes prefabricados de concreto tienen el fuste de sección uniforme circular, cuadrada y octagonal, con refuerzo suficiente para que puedan resistir los esfuerzos que se producen durante su manipulación. Los tamaños más pequeños tienen de 20 a 30 cm de ancho de sección transversal y son generalmente sólidos; los tamaños mayores son sólidos o huecos para reducir el peso. El uso del pretensado en los pilotes de concreto permite tener la resistencia necesaria con paredes de espesores relativamente delgados; pilotes huecos de 140 cm de diámetro y paredes de 10 cm de espesor, similares a los tubos de concreto, generalmente se han usado cuando se ha requerido gran rigidez y alta capacidad de carga.

Los pilotes de concreto prefabricados se usan principalmente en construcciones marinas y puentes, donde la durabilidad bajo condiciones severas de intemperie es importante y donde los pilotes se extienden fuera de la superficie del terreno como una columna sin soporte lateral.

En este último caso el refuerzo se proporciona de acuerdo con su condición de columna corta. Las longitudes corrientes de los pilotes sólidos pequeños varían entre 15 y 18 m y para los pilotes largos, huecos, se puede llegar hasta 60 m. La carga típica para los pilotes pequeños esta entre 30 y 50 toneladas y para los pilotes grandes hasta más de 200 toneladas. [13].

Figura 8. Pilotes prefabricados y juntas en los extremos



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

El uso de los pilotes prefabricados está limitado por dos factores: primero, son relativamente pesados si se les compara con otros pilotes de tamaño similar. Segundo, es dificultoso cortarlos si resultan demasiado largos y es aun más difícil empatarlos para aumentar su longitud. [14].

Como las longitudes que se requieren para este tipo de pilotes son considerablemente grandes, pueden estar en promedio entre 40 y 50 m, incluso hasta 60 m, y teniendo en cuenta que en nuestro medio el transporte permite máximo es para tramos de 12 m se hace necesario la unión de los tramos mediante “*juntas*”, que es el tema que nos compete en este trabajo de investigación.

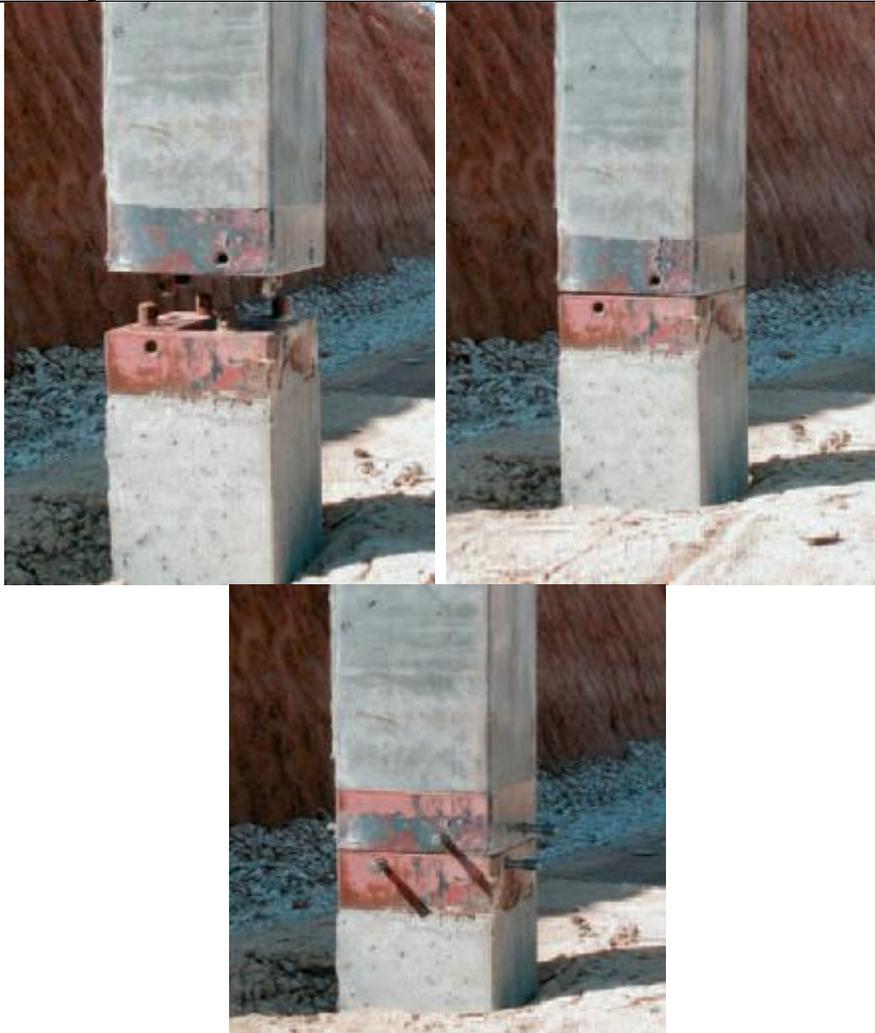
1.2 Juntas en Pilotes Hincados

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 realiza 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 estos elementos en nuestro medio, y al ver que no era posible por razones de privacidad, se investigó en libros y en internet, encontrando que las juntas con mayor información disponible, que han sido patentadas son: AAB, Hércules y CK-300, las cuales sólo aparecen en internet. Ver figuras 9-12. También en [12] se encuentran que en Reino Unido se conocen otras como son: Balken, GKN y West.

Las juntas se fabrican con materiales de alta calidad y están especialmente diseñadas para resistir mayores esfuerzos incluso que la propia sección tipo del pilote, como han demostrado los distintos ensayos a flexión, compresión y tracción realizados a las mismas. [15].

Figura 9. Junta tipo AAB



<http://www.fontarquitectura.com/productos/cimentaciones/pilotes/588>
<http://wequips.com/es/leimet.html>

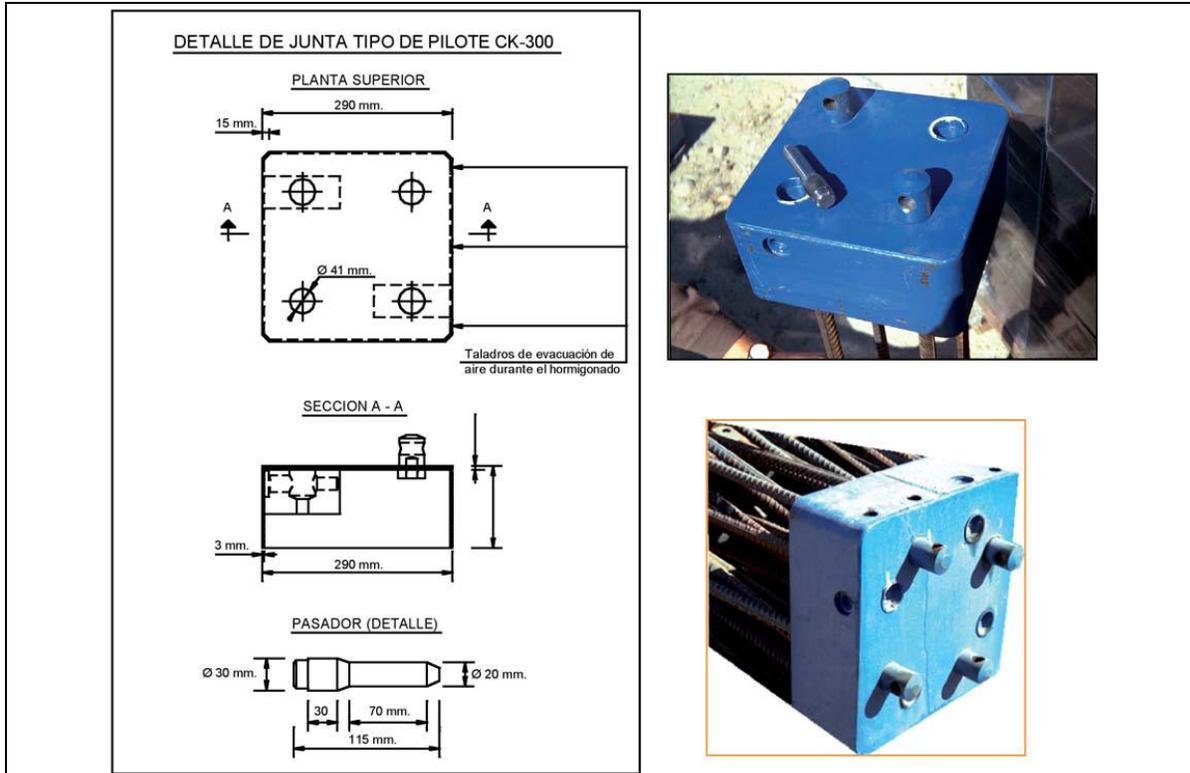


Figura 10. Junta Tipo CK-300

http://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/fundaciones/pilotes_prefabricados.pdf

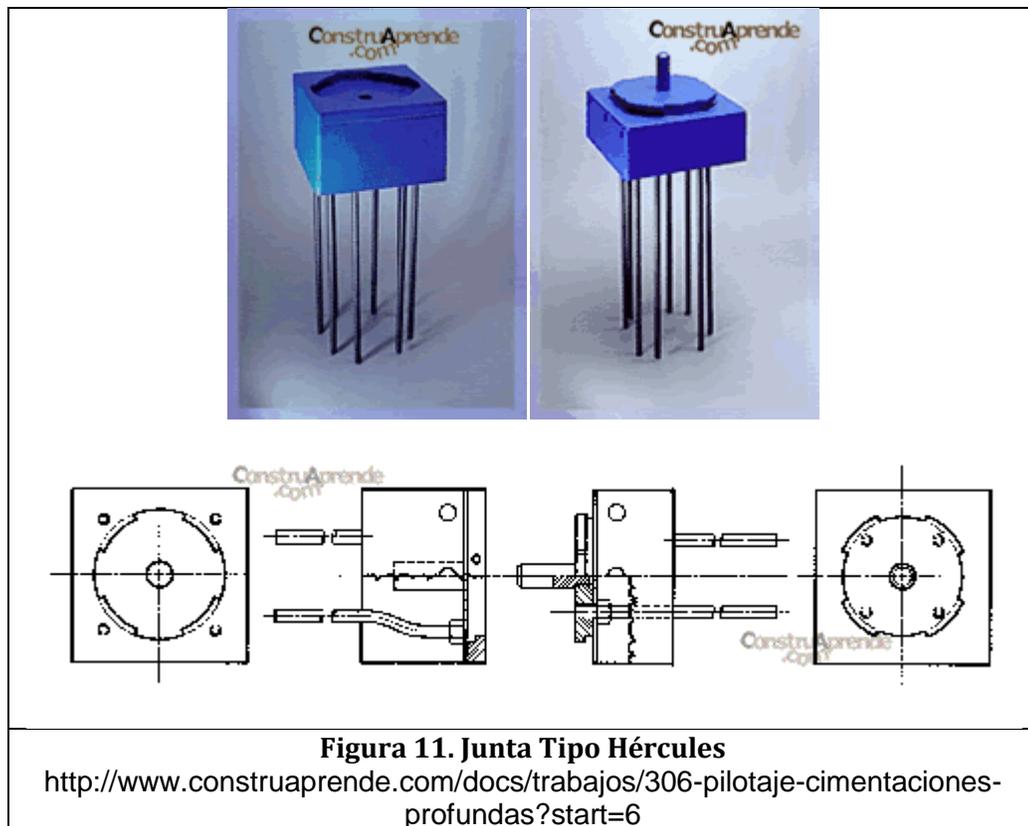
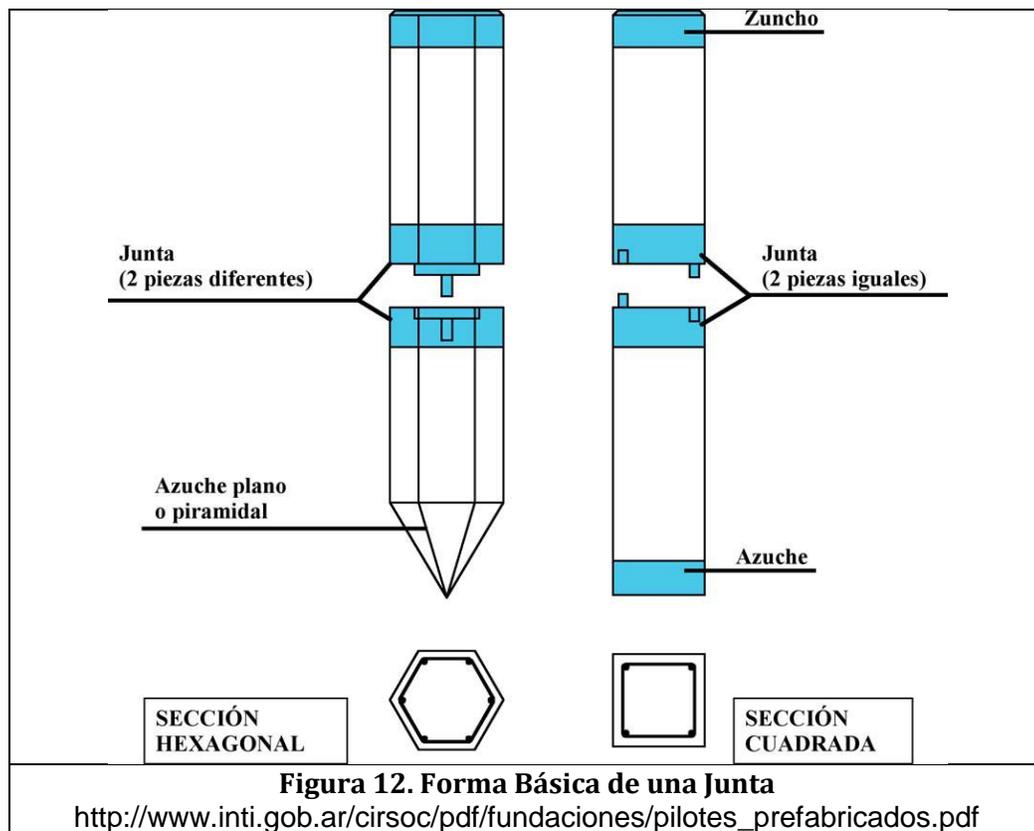


Figura 11. Junta Tipo Hércules

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



1.2.1 Solicitaciones en las juntas

Este tipo de juntas según las cargas y esfuerzos a que van a estar sometidas (ver figura 4) 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 flexo-compresión. Además se debe tener en cuenta 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.

1.2.2 Inconvenientes en las juntas

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

-De Tipo Constructivo.

La mayoría de juntas al acoplarse en obra, se deben soldar en los extremos 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 tener que soportar las mayores sollicitaciones. [12].

Por otro lado, está el rendimiento en obra, son poco prácticas, pues, al acoplar los extremos a unir, se debe esperar a que se suelde en contorno las partes de las juntas a 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 cual 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 presenta a continuación los requisitos mínimos que considera la Norma Colombiana de Construcción y Diseño Sismo Resistente de 2.010 - NSR-10- [16].

1.2.3 Requisitos según NSR-10

Capítulo C.15 – Cimentaciones C-296

C.15.11.5.4 — Pilotes prefabricados de concreto reforzado – Debe colocarse refuerzo longitudinal con una cuantía mínima de 0.01 en toda la longitud del pilote. Deben colocarse estribos, o una espiral equivalente, con un diámetro de barra mínimo N° 2 (1/4”) ó 6M (6 mm) con una separación máxima de 100 mm en los 600 mm superiores del pilote y 16 diámetros de barra longitudinal en el resto del pilote. Debe verificarse que el refuerzo mínimo anterior sea suficiente para garantizar la integridad del pilote durante el proceso de hincado, y aumentarlo en caso que se requiera una mayor cantidad. La resistencia mínima a la compresión del concreto antes de iniciar el hincado debe ser $f_c = 21$ MPa. En estructuras con capacidad especial de disipación de energía (DES) debe colocarse una espiral con una cuantía mínima $\rho_s \geq 0.006$, en vez de los estribos indicados anteriormente.

C.15.11.5.5 — Pilotes prefabricados de concreto preesforzado – Deben colocarse estribos, o una espiral equivalente, con un diámetro de barra mínimo N° 3 (3/8”) ó 10M (10 mm) con una separación máxima de 100 mm en los 600 mm superiores del pilote. La conexión a la zapata o dado, debe hacerse por medio de barras adicionales. La resistencia mínima a la compresión del concreto antes de iniciar el hincado debe ser $f_c = 28$ MPa.

2. Programa Experimental

Se obtiene información muy general acerca de las tres juntas que se nombraron anteriormente.

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, y los estados límites que estas pueden producir (cortante, tensión, aplastamiento, desgarramiento, fluencia), complementando con la información y asesoría de los directores de este trabajo, se realizaron varios prototipos en diferentes materiales, para luego proceder a la construcción de dos prototipos iniciales con láminas de acero, los cuales fueron ensayados a tensión axial.

A partir de esto llegar a escoger de las dos juntas, la más apropiada, la cual se construyó a escala 1:1 para realizar los ensayos. El criterio de la más viable dependió de la estabilidad, facilidad de ajuste -es decir que se tenga mayor facilidad de ejecución en obra- y de la resistencia del ensayo a tensión simple realizado.

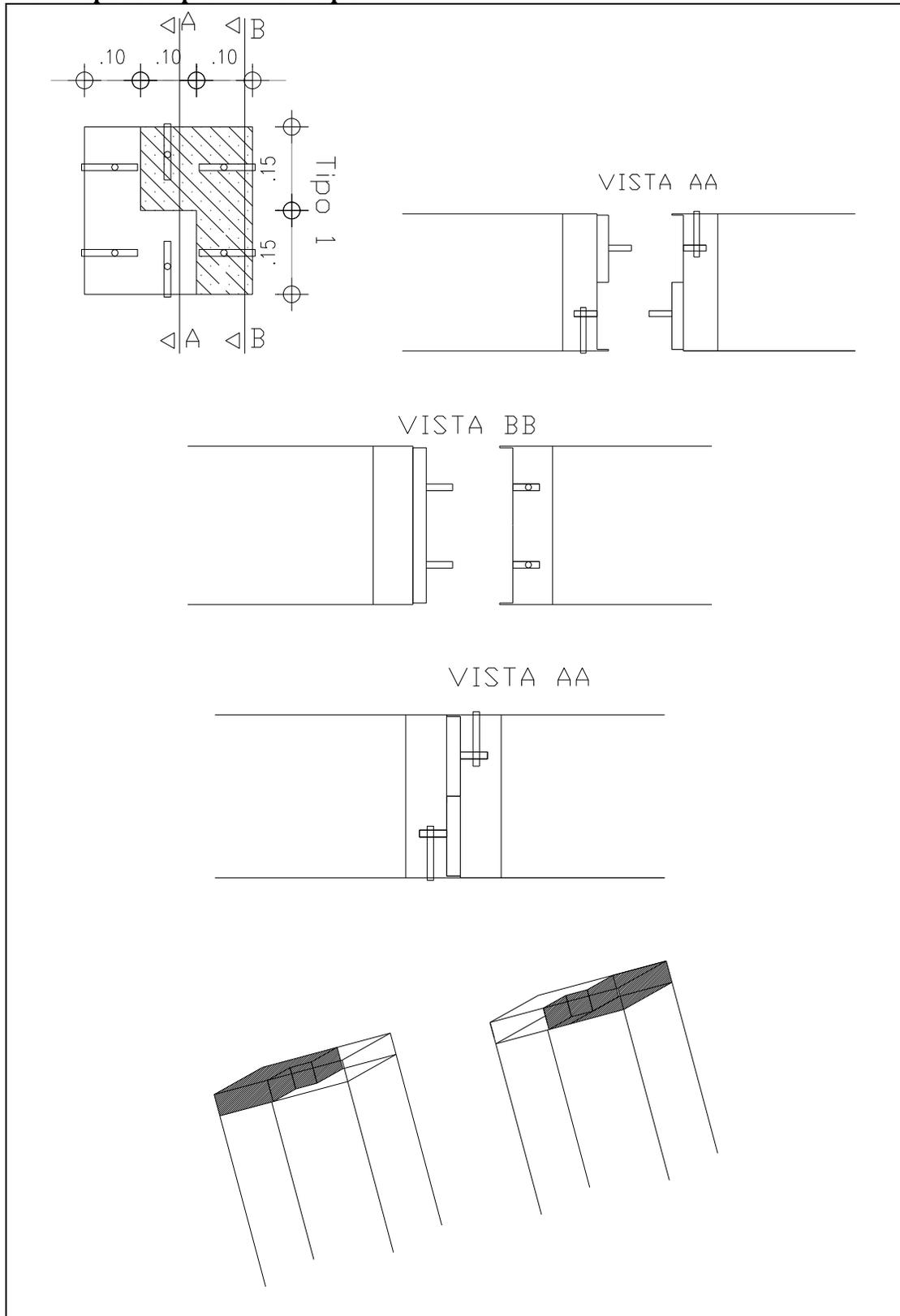
Previamente, se realizan los cálculos iniciales de acuerdo con los diferentes estados límites que se esperan en este tipo de ensayos. Los cuales se presentan más adelante.

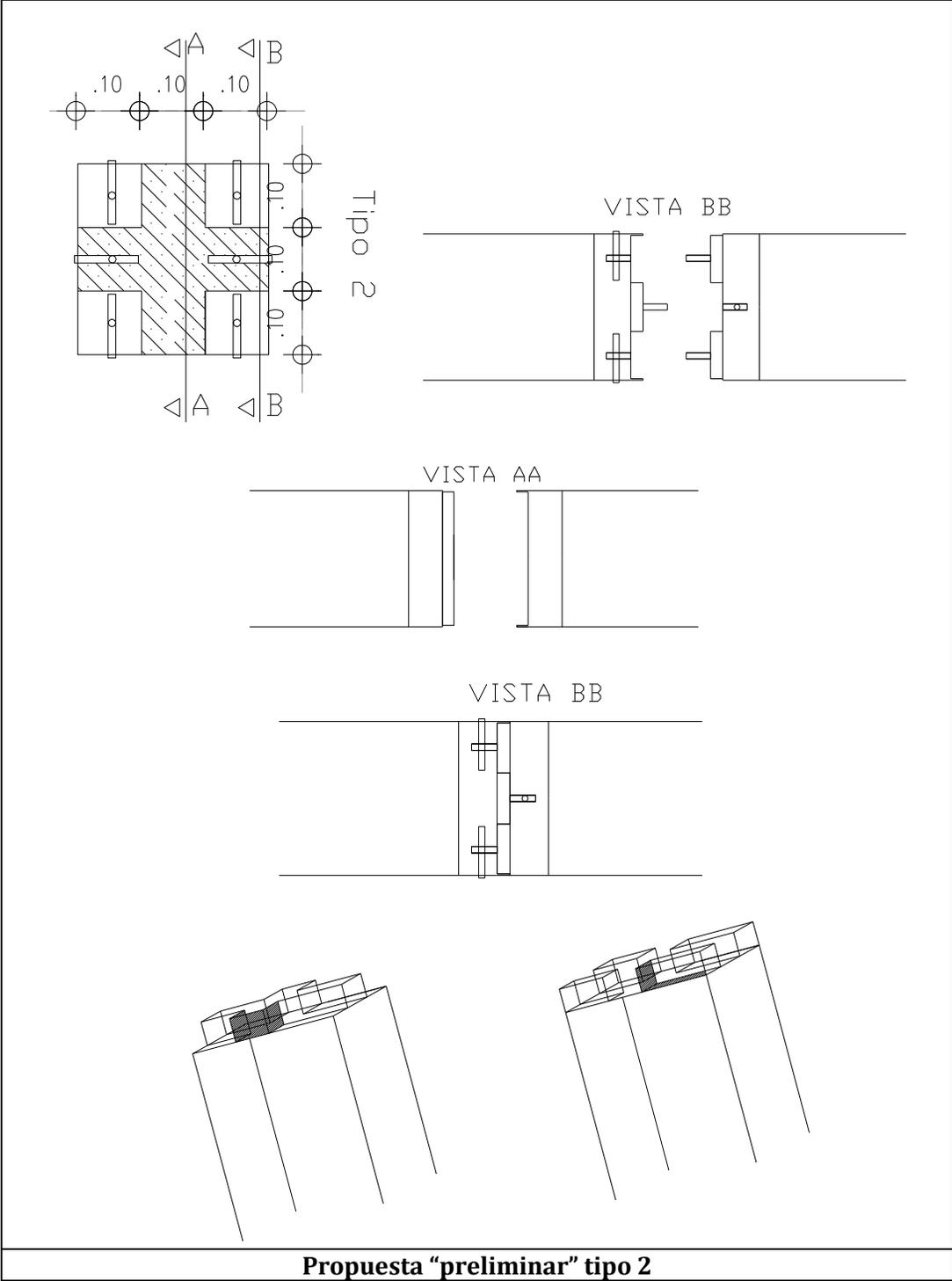
La única información se consigue en internet, donde se encontraron imágenes y una pequeña información acerca de tres tipos de juntas, tipo AAB, CK-300 y tipo Hércules. De las cuales se anexaron las figuras 9-12 en el capítulo anterior.

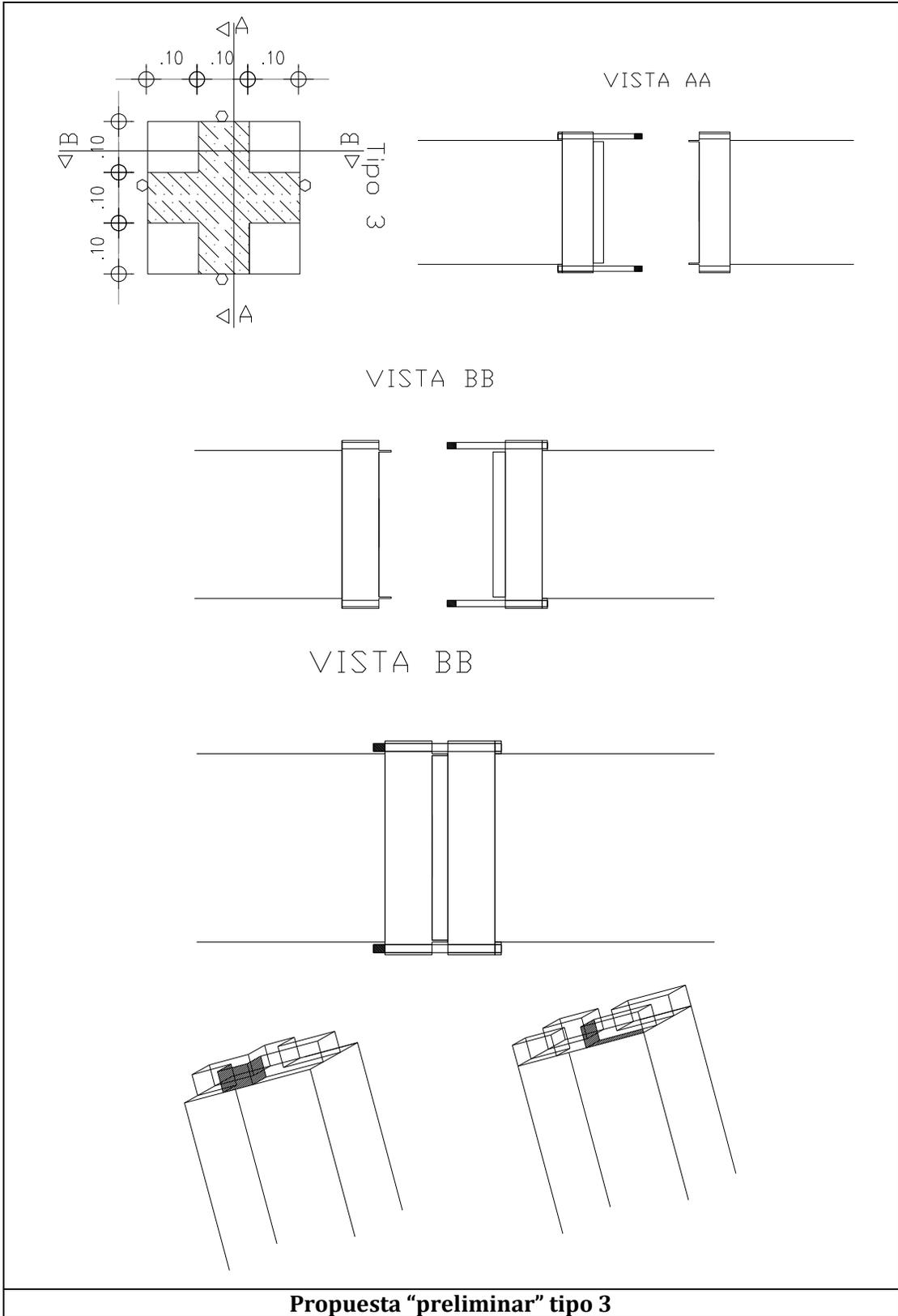
Con esta pequeña información, se plantearon nuevas juntas teniendo en cuenta las indicaciones dadas por los directores de trabajo de grado, y las solicitaciones a las que va a estar sometida una junta de este tipo.

Con lo anterior, se planteo en primera instancia cinco propuestas preliminares en planos que fueron revisadas por los Directores de tesis, las propuestas se presentan a continuación en la figura 13, y se complementa en el registro fotográfico.

Figura 13. Propuesta "preliminar" tipo 1







Al final se armaron dos modelos, para fallar en el laboratorio a tensión axial, como se puede observar en la figura 14. Uno de los modelos era en forma de L y el otro en forma de cruz, se escoge el de forma de cruz porque garantiza mejor estabilidad al ser ensamblada.

Figura 14. Modelo preliminar a escala 1:4



A continuación se presentan los cálculos previos realizados para el modelo preliminar, con el fin de conocer la carga aproximada de falla.

2.1 Modelo Preliminar

CÁLCULOS DE ESTADOS LÍMITES DE FALLA

EN EL PASADOR

$F_y = 250 \text{ MPa}$ $\phi = 7.5 \text{ mm}$

FALLA POR FRACTURA EN TENSIÓN AXIAL

$\phi = 0.75$ $A = 44.18 \text{ mm}^2$

$\phi R_n = 8.28 \text{ kN}$ $\phi R_n T = 66.27 \text{ kN}$
 Para los 8 pasadores

FALLA POR FRACTURA EN CORTE

$\phi = 0.75$ $m = 8$
 (# secciones a cizallamiento)

$F_v = 17.5 \text{ MPa}$

$\phi R_n = 4.56 \text{ kN}$ $\phi R_n T = 36.45 \text{ kN}$

FALLA POR APLASTAMIENTO CONTRA LAS PAREDES DEL AGUJERO

$\phi = 0.75$ $\phi = 7.5 \text{ mm}$

$$t = 1.5 \text{ Mm} \quad F_u = 250 \text{ MPa}$$

$$\phi_{Rn} = 5.06 \text{ kN} \quad \phi_{RnT} = \mathbf{40.50} \text{ kN}$$

FALLA POR APLASTAMIENTO

$$\phi = 0.75$$

$$R_u = 14.91 \text{ kN} \quad R_{uT} = \mathbf{56.94} \text{ N}$$

CÁLCULOS DE ESTADOS LÍMITES DE FALLA

EN LA PLATINA G-50

$$F_y = 350 \text{ MPa} \quad t = 1.5 \text{ mm}$$

FALLA POR FLUENCIA

$$F_u = 449.75 \text{ MPa} \quad \phi_t = 0.75$$

$$b_{ef} = 185 \text{ m} \quad A_{ef} = 277.5 \text{ mm}^2$$

$$P_u = 93.60 \text{ kN}$$

$$P_{uT} = \mathbf{374.42} \text{ kN} \quad \text{Para las cuatro caras}$$

FALLA POR CORTE EN EL ÁREA NETA EFECTIVA

$$\phi_{st} = 0.75 \quad a = 47.04 \text{ mm}$$

$$A_{sf} = 152.38 \text{ mm}^2 \quad F_u = 449.75 \text{ MPa}$$

$$\phi_{Pn} = 30.84 \text{ kN} \quad \phi_{PnT} = \mathbf{246.72} \text{ N}$$

Para las cuatro caras

FALLA POR APLA TAMIENTO EN EL ÁREA PROYECTADA DEL PASADOR

$$\phi = 0.75 \quad A_{pb} = 11.25 \text{ mm}^2$$

$$\phi_{Pn} = 5.32 \text{ kN} \quad \phi_{PnT} = 42.53 \text{ kN}$$

Para las cuatro caras

FALLA POR DESGARRAMIENTO

POR ESFUERZO CORTANTE

$$\phi = 0.75 \quad A_{nv} = 141.13 \text{ mm}^2$$

$$P_u = 28.56 \text{ kN} \quad P_{uT} = 114.25 \text{ kN}$$

Para las cuatro caras

POR ESFUERZO A TENSIÓN

$$\phi = 0.75 \quad A_{nt} = 289.94 \text{ mm}^2$$

$$P_u = 97.80 \text{ kN} \quad P_{uT} = 391.20 \text{ kN}$$

Para las cuatro caras

Teniendo en cuenta cada una de las partes que hacen parte del montaje.

CÁLCULOS DE ESTADOS LÍMITES DE FALLA

$$a) \quad 130.40 \text{ kN} \geq 38.08 \text{ kN} \quad \text{No}$$

$$b) \quad 38.08 \text{ kN} \geq 130.40 \text{ kN} \quad \text{Sí}$$

FRACTURA DE LA SECCION NETA A CORTE

$$b_{gt} = 50 \text{ mm}$$

$$A_{gt} = 75 \text{ mm}^2 \quad P_u = 48.25 \text{ kN}$$

$$P_{uT} = 193.00 \text{ kN} \quad \text{Para las cuatro caras}$$

EN CONCLUSIÓN

Se espera que la falla suceda con una tensión de:

$$36.45 \text{ kN} = 3.72 \text{ Ton} = 3715.33 \text{ kg}$$

FALLA POR FRACTURA EN CORTE en los Pasadores

También se tiene una alta probabilidad que se presenten las siguientes fallas, ya que presentan valores muy cercanos:

FALLA POR APLASTAMIENTO CONTRA LAS PAREDES DEL AGUJERO del Pasador

$$40.50 \text{ kN} = 4.13 \text{ Ton} = 4128.44 \text{ kg}$$

FALLA POR APLASTAMIENTO EN EL ÁREA PROYECTADA DEL PASADOR en la Platina

$$42.53 \text{ kN} = 4.33 \text{ Ton} = 4334.86 \text{ kg}$$

Resultado del Ensayo Preliminar

En el ensayo se presentó la falla con 1.5 Ton

La falla ocurrió porque fallaron en los puntos de la soldadura que unía las platinas que conformaban la junta, faltando longitud de soldadura o más puntos.

PERNOS

G-2	A-36	250 MPa
G-5		
G-8		490 MPa

DIMENSIONES Y REFUERZO MICROPILOTE DE PRUEBA

Según C.15.11.5.4	b=	20 cm
	l=	20 cm
$\rho=$	0.01	As= 4.00 cm ²
		4#4

Estribos #2 C/.10

2.1.1 Ensayo a Tensión preliminar

Con estas indicaciones y cálculos se procedió a armar el montaje, del cual se presenta a continuación la figura 15, antes de fundir el concreto. Luego se solicita no fundir el macizo de concreto, teniendo en cuenta que la resistencia a tensión que aportaría el concreto es mínima y que lo que se desea observar es cómo se presenta la falla en la junta, con el fin de corregir o mejorar algunos aspectos para la muestra a escala 1:1.

Figura 15. Montaje para ensayo preliminar



La prueba se realizó para uno de los dos modelos iniciales, sin embargo al realizar el ensayo, como se observa en las figuras 18 a 21, la falla se presentó en la soldadura entre las láminas.

La falla se presentó 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, como se observa en las memorias de cálculo que se anexan más adelante.

A continuación se presenta una secuencia de imágenes de la forma en que se realizó el ensayo.

Figura 16. Colocación de pasadores



Figura 17. Montaje listo para ensayar



Figura 18. Inicio de ensayo a preliminar a tensión



Figura 19. Falla de la Junta



Este ensayo se realizó el 18 de febrero de 2013 en el laboratorio de estructuras de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

Figura 20. Falla en la soldadura



Figura 21. Falla en la soldadura

De lo cual 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, 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, tenemos:

C.16.6 — Diseño de conexiones y apoyos

C.16.6.1 — Se permite que las fuerzas sean transmitidas entre los elementos a través de juntas inyectadas con mortero, llaves de cortante, conectores mecánicos, conexiones con refuerzo de acero, afinado de piso reforzado, o combinación de estos métodos.

C.16.6.1.1 — La efectividad de las conexiones para transmitir fuerzas entre elementos debe ser determinada por medio del análisis o de ensayos. Cuando el cortante sea la principal carga impuesta, se permite usar las disposiciones de C.11.6.

Teniendo en cuenta lo anterior, a partir de estos ensayos se identificarán los sitios y sollicitaciones críticas de las juntas.

2.2 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 mm x 300 mm con lámina de ¼" (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 forma que cuando el bulón se introduzca a presión, quede fijo entre las paredes de las platinas que conforman la junta, de la forma que se garantice la excelente unión entre las partes que la conforman.

Para armar este modelo se presentaron problemas para lograr que las dos partes que conforman la junta ajustaran exactamente sin que se tuviera dificultad para soltarlas o para acoplarlas, para lo cual se tuvo que pulir las partes y mejorar su acabado. Para lo cual se manejan tolerancias de 2 mm, lo cual se muestra en planos anexos.

Al presentar la junta a escala, como se observa en la figura 22, la directora de tesis hace algunas observaciones sobre la altura de cada parte de la junta, la cual debe ser reducida a la mitad y que la ubicación de la perforación quede lo más alejada posible del borde de la lámina, teniendo en cuenta las diferentes fallas que se pueden presentar en esta.

Figura 22. Construcción del primer modelo a escala



Este ensayo se realiza el 22 de marzo de 2013 en el laboratorio de estructuras de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

Figura 23. Construcción del primer modelo a escala

A continuación se presentan los cálculos realizados para el ensayo #1 a escala real con diferentes coeficientes de reducción de resistencia según el estado límite, los cuales se estipulan dentro de los cálculos.

Los cálculos que se presentan tienen en cuenta cada una de las partes que conforman el montaje.

CÁLCULOS DE ESTADOS LÍMITES DE FALLA

EN EL PASADOR

$F_y = 420 \text{ MPa}$ $\phi = 13 \text{ mm}$

FALLA POR FRACTURA EN TENSIÓN AXIAL

$\phi = 0.75$ $A = 132.73 \text{ mm}^2$

$\phi R_n = 41.81 \text{ kN}$ $\phi R_n T = 36.76 \text{ Ton}$
Para los 8 pasadores

FALLA POR FRACTURA EN CORTE

$\phi = 0.75$ $m = 8$
(# secciones a cizallamiento)

$F_v = 231 \text{ MPa}$

$\phi R_n = 23.00 \text{ kN}$ $\phi R_n T = 18.75 \text{ Ton}$

FALLA POR APLASTAMIENTO CONTRA LAS PAREDES DEL AGUJERO

$\phi = 0.75$ $\phi = 13 \text{ mm}$

$t = 6 \text{ mm}$ $F_u = 420 \text{ MPa}$

$\phi R_n = 58.97 \text{ kN}$ $\phi R_n T = 24.04 \text{ Ton}$

FALLA POR APLASTAMIENTO

$\phi = 0.75$

$R_u = 75.26 \text{ kN}$ $R_u T = 61.37 \text{ Ton}$
Para los 8 pasadores

CÁLCULOS DE ESTADOS LÍMITES DE FALLA

EN LA PLATINA G-50

$F_y = 420 \text{ MPa}$ $t = 6 \text{ mm}$

FALLA POR FLUENCIA

$F_u=$	539.7 MPa	$\phi_t=$	0.75
$b_{ef}=$	274 mm	$A_{ef}=$	1644 mm ²
$P_u=$	665.45 kN		
$P_{uT}=$	271.34 Ton	Para las cuatro caras	

FALLA POR CORTE EN EL ÁREA NETA EFECTIVA

$\phi_{st}=$	0.75	$a=$	14.29 mm
$A_{sf}=$	249.53 mm ²	$F_u=$	539.7 MPa
$\phi_{Pn}=$	60.60 kN	$\phi_{PnT}=$	24.71 Ton
		Para las cuatro caras	

FALLA POR APLASTAMIENTO EN EL ÁREA PROYECTADA DEL PASADOR

$\phi=$	0.75	$A_{pb}=$	78 mm ²
$\phi_{Pn}=$	44.23 kN	$\phi_{PnT}=$	24.04 Ton
		Para las cuatro caras	

FALLA POR DESGARRAMIENTO

POR ESFUERZO CORTANTE

$\phi=$	0.75	$A_{nv}=$	171.53 mm ²
$P_u=$	41.66 kN	$P_{uT}=$	33.97 Ton
		Para las cuatro caras	

POR ESFUERZO A TENSIÓN

$\phi=$	0.75	$A_{nt}=$	1126.76 mm ²
$P_u=$	456.09 kN	$P_{uT}=$	185.97 Ton
		Para las cuatro caras	

a)	608.11 kN \geq	55.54 kN	Sí
b)	55.54 kN \geq	608.11 kN	No

FRACTURA DE LA SECCION NETA A TENSIÓN

bgt=	50 mm		
Agv=	1800 mm ²	Pu=	796.29 kN
PuT=	81.17 Ton		

EN CONCLUSIÓN

Se espera que la falla suceda con una tensión de:

$$\mathbf{183.97 \text{ kN} = 18.75 \text{ Ton} = 18753.00 \text{ kg}}$$

FALLA POR FRACTURA EN CORTE en los Pasadores

También se tiene una alta probabilidad que se presenten las siguientes fallas, ya que tienen valores muy cercanos:

FALLA POR CORTE EN EL ÁREA NETA EFECTIVA en la Platina

$$\mathbf{242.40 \text{ kN} = 24.71 \text{ Ton} = 24709.84 \text{ kg}}$$

Otro tipo de falla con gran probabilidad de ocurrencia es:

FALLA POR APLASTAMIENTO EN EL ÁREA PROYECTADA DEL PASADOR

$$\mathbf{242.40 \text{ kN} = 24.04 \text{ Ton} = 24.040 \text{ kg}}$$

En este primer ensayo que se realizo con el siguiente montaje se presento falla por fluencia en la platina, la cual no se esperaba, la falla se observa en el registro fotográfico, de la cual se presentan los resultados de los cálculos obtenidos.

Se aprovecha esta primera junta para fallarla a tensión sin tener el macizo de concreto, colocándole platinas en los extremos y de estas soldadas dos trozos de varillas de 15 cm de diámetro 1-1/4", como se observa en la siguiente figura.

Figura 24. Colocación de Bulones

Se esperaba falla en la platina por desgarramiento causado por esfuerzo cortante cuando se alcanzara una carga de 17 Toneladas, como se observa en las memorias de cálculo anexas más adelante.

Sin embargo, la falla se produjo por fluencia de las platinas a las cuales se soldaron los trozos de varilla, como se observa en la figura 25 que se presenta a continuación. Nuevamente se *presentó* una falla que no se había tenido en cuenta, se dudaba más de la soldadura que unía las varillas con la platina, que de la misma platina, la carga con la que se produce la falla es de 15,17 Ton.

La soldadura utilizada para esta muestra es de 420 MPa a tensión, en contorno a las varillas.

Figura 25. Fluencia de la platina durante el ensayo a tensión



Figura 26. Fluencia de la platina en un extremo



Imagen 27. Desgarramiento de la platina en el otro extremo



Luego de seguir deformando la lámina se termino 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 debía ser de un espesor mayor, el cual se define realizando los cálculos respectivos.

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

2.3 Segundo Ensayo a Tensión

Luego de haber realizado el ensayo anterior, y observando que lo que falló fue la platina que se une a las varillas de 1-1/4", se procedió a reemplazar 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, como se puede observar en la siguiente imagen.

Figura 28. Segundo modelo a escala



Para este ensayo se decidió que con el fin de darle mayor resistencia a la unión entre la platina y la varilla, perforar la platina en un diámetro aproximadamente igual a la varilla, para luego soldar por la parte superior e inferior.

Cuando se inicio 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 17 Toneladas, según se observa en las memorias de cálculo.

B. Complemento para ensayo a tensión #2

FLUENCIA EN LA PLATINA

G-50

Fy= 420 MPa t= 6 mm

FALLA POR FLUENCIA

Fu= 539.7 MPa ϕ_t = 0.75

bef prom= 65 mm Aef= 390 mm²

Pu= 157.86 kN

PuT= **16.09** Ton Para las cuatro caras

FLUENCIA EN LA VARILLA 1-1/4"

$F_y=$	420 Mpa	$A_s=$	7.92 cm ²
$\phi_t=$	0.90	$\phi_{Tn}=$	299.38 kN 30.52 Ton

En una de las dos.

Resultado del Ensayo 1

En el ensayo se presento la falla con **15.17** Ton

Esto se presento por fluencia de la platina a la que estaba soldada la varilla, lo que no se había previsto.

Los elementos de la junta no fallaron.

A continuación se presentan los cálculos realizados para el ensayo #2 a escala real con un coeficiente de reducción de resistencia igual a la unidad con el fin de obtener las resistencias nominales, ya que no estamos diseñando sino comprobando valores de falla en laboratorio.

Los cálculos que se presentan tienen en cuenta cada una de las partes que conforman el montaje.

CÁLCULOS DE ESTADOS LÍMITES DE FALLA**EN EL PASADOR**

$F_y=$	420 MPa	$\phi=$	13 mm
--------	---------	---------	-------

FALLA POR FRACTURA EN TENSIÓN AXIAL

$\phi=$	1.0	$A=$	132.73 mm ²
---------	-----	------	------------------------

$\phi_{Rn}=$	55.75 kN	$\phi_{RnT}=$	49.01 Ton
			Para los 8 pasadores

FALLA POR FRACTURA EN CORTE

$\phi=$	1.0	$m=$	8
		(# secciones a cizallamiento)	
$F_v=$	231 MPa		

$$\phi_{Rn} = 30.66 \text{ kN} \quad \phi_{RnT} = 25.00 \text{ Ton}$$

FALLA POR APLASTAMIENTO CONTRA LAS PAREDES DEL AGUJERO

$$\phi = 1.0 \quad \phi = 13 \text{ mm}$$

$$t = 6 \text{ mm} \quad F_u = 420 \text{ MPa}$$

$$\phi_{Rn} = 78.62 \text{ kN} \quad \phi_{RnT} = 32.06 \text{ Ton}$$

FALLA POR APLASTAMIENTO

$$\phi = 1.0$$

$$R_u = 100.35 \text{ kN} \quad R_{uT} = 40.92 \text{ Ton}$$

CÁLCULOS DE ESTADOS LÍMITES DE FALLA

EN LA PLATINA G-50

$$F_y = 420 \text{ MPa} \quad t = 6 \text{ mm}$$

FALLA POR FLUENCIA

$$F_u = 539.7 \text{ MPa} \quad \phi_t = 1.0$$

$$b_{ef} = 274 \text{ mm} \quad A_{ef} = 1644 \text{ mm}^2$$

$$P_u = 887.27 \text{ kN}$$

$$P_{uT} = 361.78 \text{ Ton} \quad \text{Para las cuatro caras}$$

FALLA POR CORTE EN EL ÁREA NETA EFECTIVA

$$\phi_{st} = 1.0 \quad a = 14.29 \text{ mm}$$

Asf= 249.53 mm² Fu= 539.7 MPa

ϕ_{Pn} = 80.80 kN ϕ_{PnT} = **32.95** Ton
Para las cuatro caras

FALLA POR APLASTAMIENTO EN EL ÁREA PROYECTADA DEL PASADOR

ϕ = 1.0 Apb= 78 mm²

ϕ_{Pn} = 58.97 kN ϕ_{PnT} = **48.09** Ton
Para las cuatro caras

FALLA POR DESGARRAMIENTO

POR ESFUERZO CORTANTE

ϕ = 1.0 Anv= 171.53 mm²

Pu= 55.54 kN PuT= **45.30** Ton
Para las cuatro caras

POR ESFUERZO A TENSIÓN

ϕ = 1.0 Ant= 1126.76 mm²

Pu= 608.11 kN PuT= **247.96** Ton
Para las cuatro caras

CÁLCULOS DE ESTADOS LÍMITES DE FALLA

- | | | | |
|----|-------------|-----------|----|
| a) | 608.11 kN ≥ | 55.54 kN | Sí |
| b) | 55.54 kN ≥ | 608.11 kN | No |

FRACTURA DE LA SECCION NETA A TENSIÓN

bgt= 50 mm
Agv= 1800 mm² Pu= 1061.71 kN

PuT= **432.91** Ton Para las cuatro caras

EN CONCLUSIÓN

Se espera que la falla suceda con una tensión de:

$$245.29 \text{ kN} = 25.00 \text{ Ton} = 25004.00 \text{ kg}$$

FALLA POR FRACTURA EN CORTE en los Pasadores

También se tiene una alta probabilidad que se presenten las siguientes fallas, ya que tienen valores muy cercanos:

FALLA POR CORTE EN EL ÁREA NETA EFECTIVA en la Platina

$$323.20 \text{ kN} = 32.95 \text{ Ton} = 32946.46 \text{ kg}$$

Otro tipo de falla pero mucho más alejado es el siguiente, lo cual es menos probable:

FALLA POR APLASTAMIENTO CONTRA LAS PAREDES DEL AGUJERO del Pasador

$$314.50 \text{ kN} = 32.06 \text{ Ton} = 32.060 \text{ kg}$$

En este segundo ensayo que se realizo con el siguiente montaje se presento falla por desgarramiento en la soldadura, la cual no se esperaba, la falla se observa en el registro foto gráfico, de la cual se presentan los resultados de los cálculos obtenidos.

FLUENCIA EN LA PLATINA

G-50

Fy= 420 MPa t= 6 mm

FALLA POR FLUENCIA

Fu= 539.7 MPa Φ_t = 1.0

bef prom=	65 mm	Aef=	390 mm ²
Pu=	210.48 kN		
PuT=	21.46 Ton	Para las cuatro caras	

FLUENCIA EN LA VARILLA 1-1/4"

Fy=	420 Mpa	As=	7.92 cm ²
ϕ_t =	1.0	ϕ_{Tn} =	332.64 kN 33.91 Ton

En una de las dos.

Resultado del Ensayo 2

En el ensayo se presento la falla con **19.22** Ton

Esto debido a error en la parte constructiva del modelo, ya que se perforó la platina para soldar la varilla por encima y por debajo, lo que en lugar de mejorar hizo que la falla se presentara con una carga menor a la esperada.

Los elementos de la junta no fallaron.

Comprobando lo que resistía la SOLDADURA tenemos:

L=	99.75 mm	t=	4 mm
A=	399.00 mm ²	Rn=	4900 kg/cm ² 70000 psi
Rn=	19.55 Ton		

Lo cual concuerda casi exactamente con lo obtenido en el laboratorio.

Figura 29. Montaje para el ensayo

Sin embargo, la falla se produjo con una fuerza de 19,22 Ton 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 Ver imágenes a continuación.

Figura 30. Fluencia de la platina durante el ensayo a tensión

Con lo cual se concluyó, que el hecho de haber perforado la platina y haberle colocado soldadura por la parte superior e inferior a la varilla no funcionó como se esperaba, ya que no falló ni la platina ni los pasadores que conforman la junta. Teniendo en cuenta que la deformación de la platina era mucho menor la del ensayo anterior, lo que quiere decir que esta hubiera resistido mucho más.

Por otra parte, se observa que los pasadores ya presentan una deformación más notoria, debido posiblemente a fractura por corte y/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 teniendo en cuenta las conclusiones obtenidas de este ensayo.

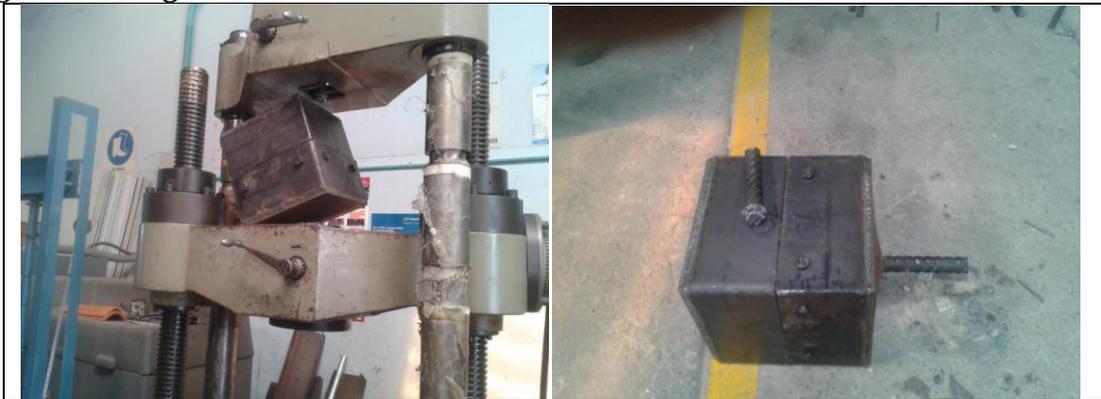
Por tanto, se construye una nueva junta, que permita superar estos errores constructivos.

Este ensayo se realiza el 5 de Abril de 2.013 en el laboratorio de estructuras de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

Adicionalmente se obtiene la siguiente información: La separación entre las dos partes de la junta inicia con una fuerza de 7 Ton.

Figura 31. Imagen de la falla

La deformación o fluencia de la platina se inicia con una fuerza de 15 Ton.

Figura 32. Imágenes de la Falla**Figura 33. Imágenes de la Falla**

2.4 Tercer Ensayo a Tensión

Luego de haber realizado el ensayo inmediatamente anterior, y observando que la que fallo fue nuevamente la platina que se une a las varillas de 1-1/4" y de la soldadura, se procedió a reemplazar esa platina que era de 1/2" por una de 1/2" de 300x300 mm completa y sobre esta soldada una de 1/4 " de 150x150 mm, con el fin de encontrar la fuerza de tensión que provoque 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, como se puede observar en la siguiente imagen.

Figura 34. Montaje tercer ensayo a tensión



En este ensayo se decidió para darle mayor resistencia a la platina aumentándole el espesor, así como en el ensayo anterior a la unión entre la platina y la varilla, perforando la platina en un diámetro aproximadamente igual a la varilla, para luego soldar por la parte superior e inferior.

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 alcanzará una carga de 17 Toneladas, según se observa en las memorias de cálculo.

Figura 35. Carga de falla registrada y falla

Sin embargo, la falla se produjo con una fuerza de 22,67 Ton por desprendimiento entre la soldadura y las platinas de $\frac{1}{4}$ " que conforman los volúmenes internos de la junta. Es decir 18% más de resistencia en comparación con la prueba inmediatamente anterior. Ver imágenes a continuación.

Figura 36. Imágenes de la falla

Adicional a esto, se presentó por primera vez, falla por desgarramiento por esfuerzo cortante en la platina de $\frac{1}{4}$ " 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 37. Imágenes de la falla

Por otra parte, uno de los pasadores, el que hizo fallar la platina por cortante, falló por aplastamiento y cortante, y otro quedó doblado, como se observa en la siguiente imagen.

Figura 38. Imágenes de la falla



Con lo cual se concluyó, que como en esta ocasión no falló la platina de los extremos, sino lo primero fue la soldadura de unión interna, se debe reforzar mejor la soldadura a aplicar, es decir, aplicar interna y externamente a las tapas del prisma.

Este ensayo se realiza el 19 de Septiembre de 2013 en el laboratorio de estructuras de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

Figura 39. Imágenes de la Falla



También se observa falla en la soldadura de las caras externas de una de las dos partes de la junta, como se observa en la primera imagen del grupo que se presenta a continuación.

Figura 40. Imágenes de la Falla**Figura 41. Imágenes de la falla**

2.5 Cuarto Ensayo a Tensión

Luego de haber realizado el ensayo inmediatamente anterior, y observando que la falla se procedió a aplicar cordón de soldadura, no sólo internamente en los prismas sino también por la parte externa, puliendo muy bien para que los prismas sigan encajando perfectamente, adicionalmente se le aumento 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 la misma de 60.000 psi a 70.000 psi y electrodo 13, como se puede observar en la siguiente imagen.

Figura 42. Montaje cuarto ensayo a tensión



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 alcanzará una carga de 16,47 Toneladas, que es lo que equivale a la mitad de lo que se observa en las memorias de cálculo, es decir para una sola platina.

Figura 43. Carga de falla registrada y falla



Sin embargo, la falla se produjo con una fuerza de 28,45 Ton 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. Ver imágenes a continuación.

Figura 44. Imágenes de la falla



En esta ocasión se presenta por falla en la soldadura de la varilla en la que se aplica la fuerza de tensión, como se observa en la anterior y en la siguiente imagen.

Figura 45. Imágenes de la falla



Con lo cual se concluyó, que como las platinas y pasadores no presentaban mayores deformaciones, indica que la junta contaba con una capacidad muy superior a lo registrado en este ensayo, lastimosamente por la falla en la soldadura, no se pudo saber exactamente cuál es la resistencia máxima de la junta a tensión.

Este ensayo se realizó el 9 de Octubre de 2.013 en el laboratorio de estructuras de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

Figura 46. Montaje



En la próxima página se presenta una tabla de resumen de los cálculos utilizados.

2.5.1 Resumen de Cálculos

Resumen Cálculos Estados Límites Primer Ensayo a Tensión

Tipo de Falla	Carga de Falla Esperada (Ton)	Carga de Falla (Ton) 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 Cálculos Estados Límites
Segundo, Tercer y Cuarto Ensayo a Tensión**

Tipo de Falla	Carga de Falla Esperada (Ton)	Carga de Falla (Ton) 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 Para una platina•	32.95 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.

En el caso del desgarramiento de la soldadura, se presenta entre las platinas de la junta en el tercer ensayo. En los demás ensayos se presenta en la soldadura de la varilla.

2.6 Ensayo a Flexión

En primer lugar se presenta a continuación el **protocolo de carga**.

2.6.1 Introducción

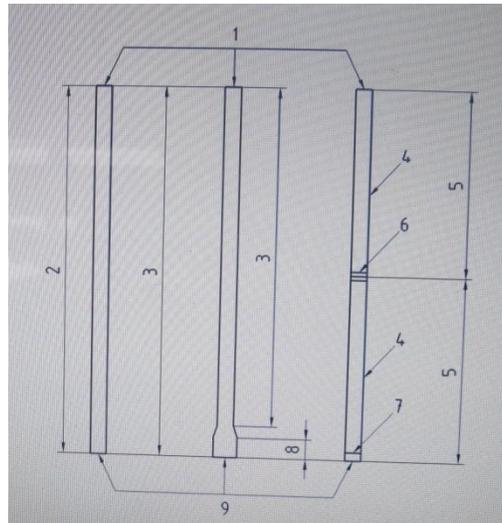
De acuerdo con la metodología establecida en la Norma Europea UNE-EN 12794:2006 se estudia la robustez y la rigidez del tipo de junta propuesta.

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

2.6.2 Términos y definiciones

Los elementos más importantes, que se relacionan con la figura A, para el desarrollo de este ensayo son:

- **Longitud del pilote:** Distancia entre la corona del pilote y la base. (2)
- **Elemento de pilote:** Unidad simple de un pilote unido por juntas. (4)
- **Longitud de un elemento:** Longitud de la unidad simple de un pilote. (5)
- **Corona de pilote:** Superficie superior de la cabeza del pilote. (1)
- **Cabeza de pilote:** Parte superior del pilote
- **Fuste del pilote:** Parte del pilote comprendida entre la cabeza y el pie. (3)
- **Pie del pilote:** Parte inferior del pilote. (8)
- **Base del pilote:** Superficie inferior del pilote. (9)
- **Coefficiente de forma:** Relación entre la longitud del pilote o de un elemento y la sección más pequeña del fuste
- **Junta de Pilote:** Dispositivo mediante el cual los elementos de un pilote compuesto por elementos se unen estructuralmente. (6)

Figura A. Partes del pilote estudiado

Fuente: Norma UN 12794:2005+1:2007

2.6.3 Características del elemento ensayado

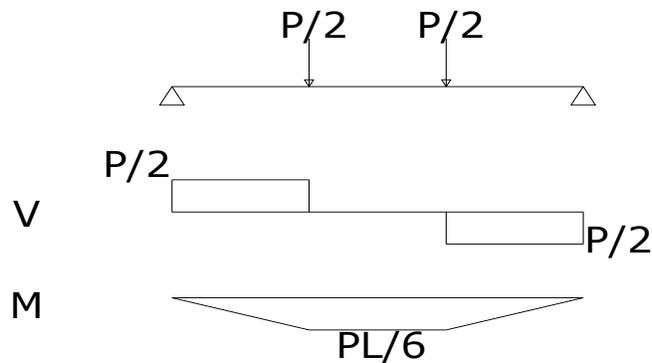
La muestra ensayada está formada por dos elementos de concreto armado, de sección transversal cuadrada de 30 cm de lado, unidos por la junta objeto de estudio. La longitud del pilote es de 2.8 m.

2.6.4 Ensayo

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 a continuación:

El montaje a utilizar para este ensayo, se presenta en el siguiente esquema, 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:

$$20.28 \text{ Ton}$$

Y teniendo de precedente que la junta antes de la falla esta inmediatamente después en el rango elástico, tenemos que el brazo, entre la resultante de compresión y tensión es aproximadamente $2/3$ de h , tenemos para la junta de 30×30 cm que:

$$d = 20 \text{ cm} \quad 0.20 \text{ m}$$

Por tanto

$$M = 4.06 \text{ T-m}$$

De aquí que

$$P = 8.69 \text{ Ton}$$

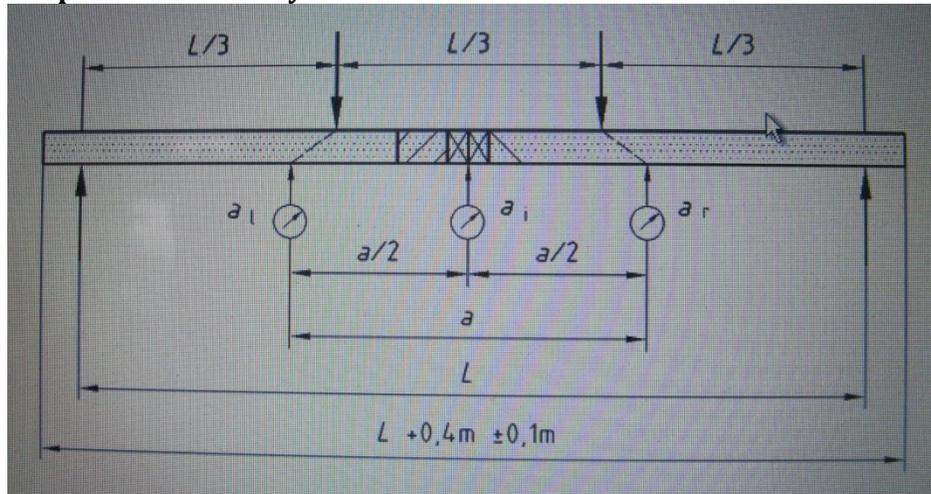
Con esta carga se espera que se presenta la falla por flexión.

Refuerzo longitudinal $2N^{\circ}6 + 2N^{\circ}5$

Refuerzo transversal estribo $N^{\circ}3$ de 2 ramas $C/.075$

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

De acuerdo a la nomenclatura de la Norma en mención, la rigidez en la junta (E_{leq}) 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 como se muestra en la siguiente figura.

Figura B. 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 debe tener la precaución que el incremento de carga de cada escalón se elija de tal manera que se efectúen al menos 10 escalones de carga antes de que se alcance el momento flector último.

El cálculo de la rigidez del pilote se calcula de a partir de la siguiente expresión:

$$E I_{eq} = \frac{M a^2}{8 \delta m}$$

Ecuación 2-1. Norma Europea UNE-EN 12794:2006

De donde

$a = 2h + L/3$ siendo h la profundidad del pilote.

M : Momento flector en la junta del pilote causado por la carga aplicada.

δm : Deformación en la mitad del vano.

$$\delta m = \delta i - \frac{\delta l + \delta r}{2}$$

Ecuación 2-2. Norma Europea UNE-EN 12794:2006

Los valores de δi , δl y δr son respectivamente los desplazamientos de los puntos a_i , a_l y a_r , que se observan en la figura 2.

2.6.5 Rigidez a flexión 75% momento de falla teórico

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

Considerando la Falla en la Platina

Dimensiones de la muestra (cm)	Momento de malla- M _{falla} (Ton-m)	Momento por peso propio- M _{pp} (Ton-m)	Momento Total -M _T (Ton-m)	Carga de Ensayo (Ton)
30x30x280	3.04	0.21	2.83	6.06

Resultados del Ensayo a flexión

Dimensiones de la Muestra (cm)	Momento de Falla- M _{falla} (Ton-m)	Momento por Peso Propio- M _{pp} (Ton-m)	Momento Total -M _T (Ton-m)	Carga de Ensayo (Ton)
30x30x280	3.10	0.21	2.88	6.18

Tabla 1. Carga de ensayo para 75% del momento de falla

- **Rigidez a flexión con el momento último**

El valor del momento último se registró por el laboratorio cuando la probeta de ensayo esté 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.

A continuación se presenta la forma de calcular el momento último (M_{ult}) en función de la carga última, donde M es el momento producido por el peso propio del pilote:

$$M_{ult} = \frac{P_{ult} L}{6} + M$$

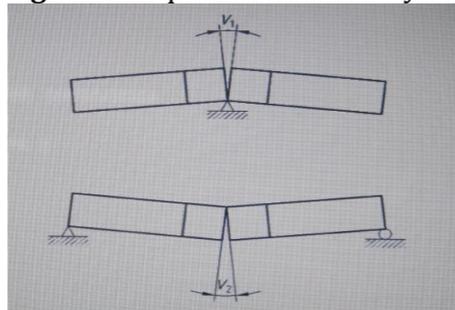
Ecuación 2-3. Norma Europea UNE-EN 12794:2006

2.6.6 Resultados

Con el fin de facilitar el registro interno de los datos del ensayo, se propone registrar los datos del ensayo en la siguiente tabla resumen. Que de acuerdo con el ensayo se presenta el siguiente cuadro del resumen de resultados:

N°	Fecha de Ensayo	Tipo de Junta	Sección	Refuerzo	Mfalla (Ton-m)	V1 (mm)		V2 (mm)		Vo (mm)	Mflector	δ_i (mm)	δ_l (mm)	δ_r (mm)	δ_m (mm)	L (m)	h (m)	a (m)	Carga (Ton)	M (Ton-m)	El eq (Ton-m ²)		
						Prom	Med	Prom	Med														
1	Flexión	Mecánica (Bulón)	30x30 cm	2-6+2-5	3.04	1.7	3.4	2.3	2.9	1.98	75% Teórico	6.0470	0.2781	0.1335	5.841	2.4	0.3	0.3	6.06	2.83	44.79		
					3.10	1.7	3.4	2.3	2.9	1.98	Múltimo	6.047	0.2781	0.1335	5.841	2.4	0.3	0.3	6.18	2.88	45.65		
					Diferencia de Resultados (%) (Teórico vs Ensayo)	-1.8%															-	-	-
																				1.9%	1.9%	1.9%	

Figura C. Esquema medidas V1 y V2



Fuente: Norma UN 12794:2005+A2:2007

A continuación se presenta un resumen general del ensayo.

En primer lugar, 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, como se observa en la figura 47 que se presenta a continuación. Vale 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 47. Armado Junta Ensayo a flexión



Luego este montaje fue llevado al laboratorio de materiales de la Escuela de Ingeniería donde se realizó la colocación de los estribos, los cuales son de 15x15 cm, es decir que el núcleo de concreto del pilote es de estas dimensiones.

El día 9 de noviembre de 2013 se realiza la mezcla del concreto y la fundida de los dos tramos de pilote, para un concreto de 4000 psi, adicionándosele acelerante para poder realizar el ensayo en 8 días. El diseño de mezcla es el siguiente:

0.25	Volumen m3 concreto
95.76	kg cemento
0.15	m3 Arena
0.19	m3 Grava
42.84	lt de agua*
2.87	kg acelerante

*De acuerdo con la humedad calculada de los agregados.

El 15 de noviembre se realiza el ensayo a compresión simple de los cilindros tomados el día de la fundida, los cuales dan los siguientes resultados:

El día 21 de noviembre se realiza el ensayo a flexión, de acuerdo con el protocolo de carga presentado anteriormente, el montaje utilizado se presenta a continuación.

Figura 48. Esquema Ensayo a Flexión

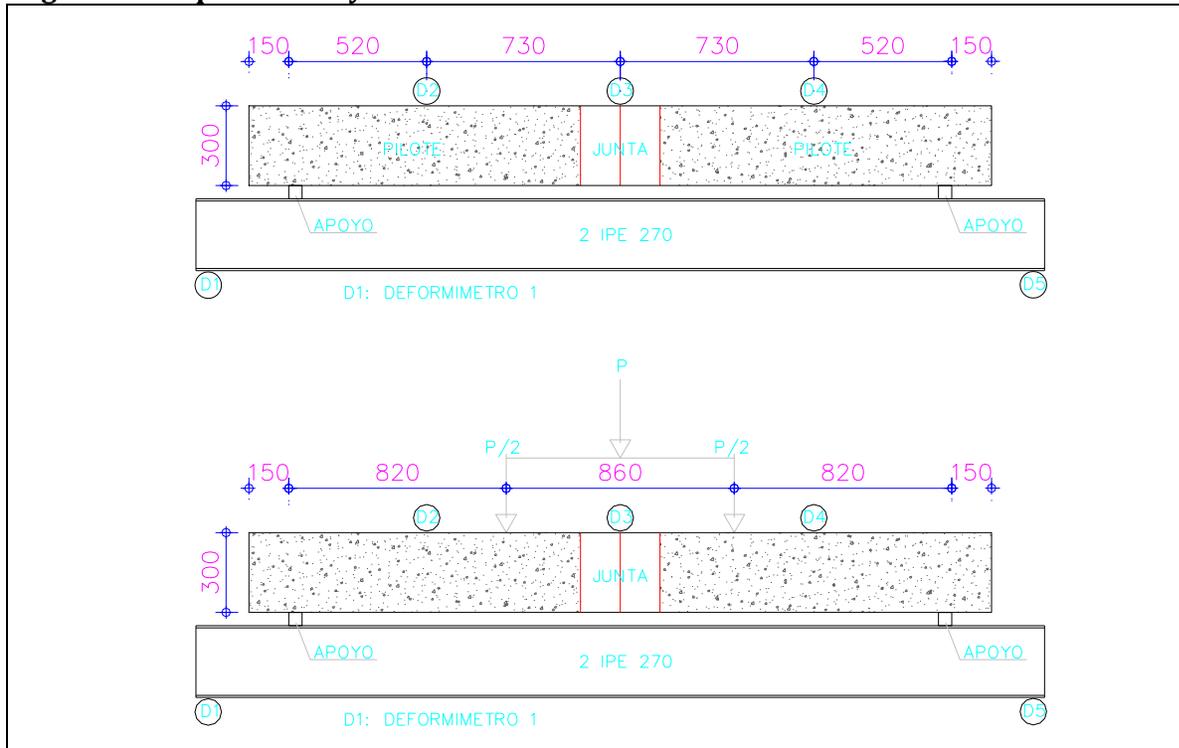


Figura 49. Montaje Ensayo a Flexión



A continuación se presentan las lecturas de los deformímetros:

**DATOS ENSAYO A FLEXIÓN
SOBRE JUNTA DE PILOTE HINCADO**

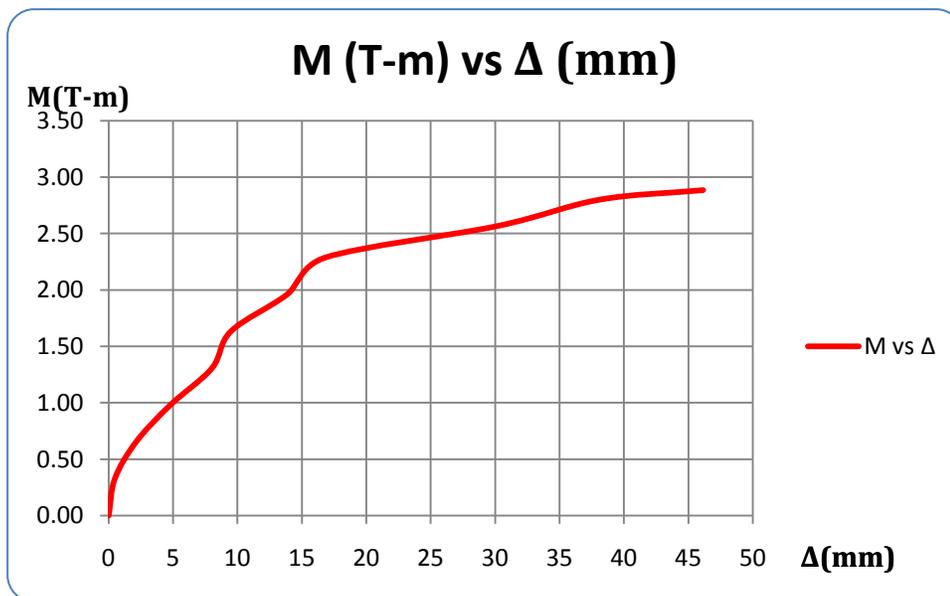
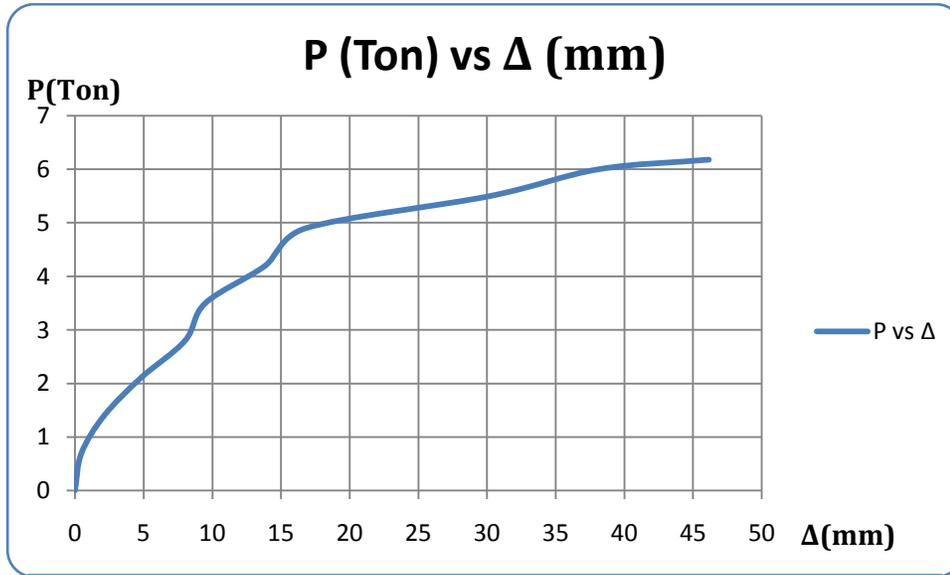
	Lecturas de los Deformímetros					
	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D4 (mm)	D5 (mm)	Mesa (mm)
	Lecturas Iniciales					
Δ de Carga (Ton)	0.3456	0.0060	0.2522	0.0995	0.5000	0
0.7	0.3223	0.1082	1.7780	0.1016	0.0035	2.0000
1.4	0.3052	0.1180	1.7272	0.1040	0.0042	3.6000
2.1	0.2850	0.1290	1.2700	0.1085	0.4572	5.8000
2.8	0.2610	0.1355	0.5334	0.1133	0.4391	8.3000
3.5	0.2278	0.1355	2.2606	0.1320	0.4095	11.5000
4.2	0.1939	0.1528	1.2954	0.1307	0.3797	14.9000
4.9	0.1448	0.1869	2.5413	0.1450	0.3370	19.1000
5.5	0.0250	0.2390	2.5438	0.1990	0.1870	32.5000
6.0	0.0032	0.2790	4.6228	0.2361	0.1090	42.5000
6.18	0.0032	0.2841	6.2992	0.2330	0.0700	52.2000
6.18	-0.3424	0.2781	6.0470	0.1335	-0.4300	52.2000

Datos
Finales

Con estas lecturas se calcularon las deflexiones en el centro del pilote, así como el momento generado por la carga a medida que se aumentaba, las cuales se presentan a continuación:

Carga P (Ton)	Deformación Δ (mm)	Momento Total(T-m)
0	0	0.00
0.7	0.4742	0.33
1.4	2.1250	0.65
2.1	4.7822	0.98
2.8	8.0188	1.31
3.5	9.4916	1.63
4.2	13.8568	1.96
4.9	16.8110	2.29
5.5	30.2084	2.57
6.0	38.1294	2.80
6.18	46.1530	2.88

La gráfica de la carga y momento vs deformaciones en el centro de la luz del pilote, resultado de las tablas anteriores se presenta a continuación:



Con estos datos se armo la tabla de resultados del punto 3.6.6. para calcular el EI equivalente (Rigidez del pilote).

El 25 de noviembre se realizó el ensayo para calcular el módulo elástico del concreto utilizado en este ensayo, los resultados son los siguientes:

**ENSAYO MODULO
DE ELASTICIDAD
CONCRETO DEL
PILOTE**

DATOS INICIALES

Cilindro	Ø(cm)	h (cm)	D1 ((cm)	D2 (cm)	H1 (cm)	H2 (cm)
1	10.1	20.3	5.5	5.6	9.9	10
2	10.0	20.3	5.4	5.6	9.9	9.9

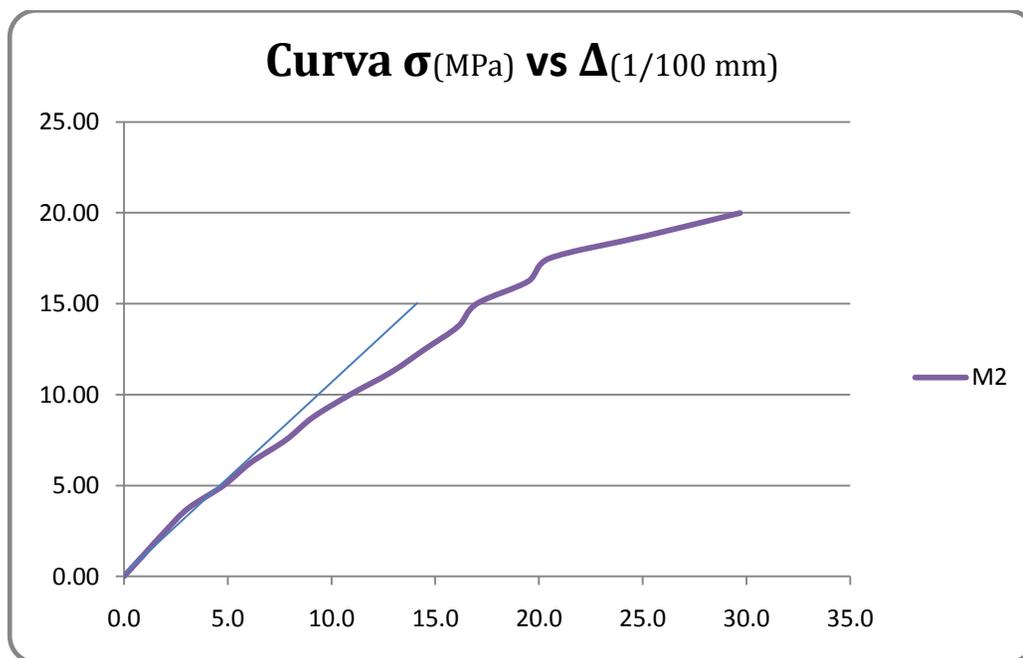
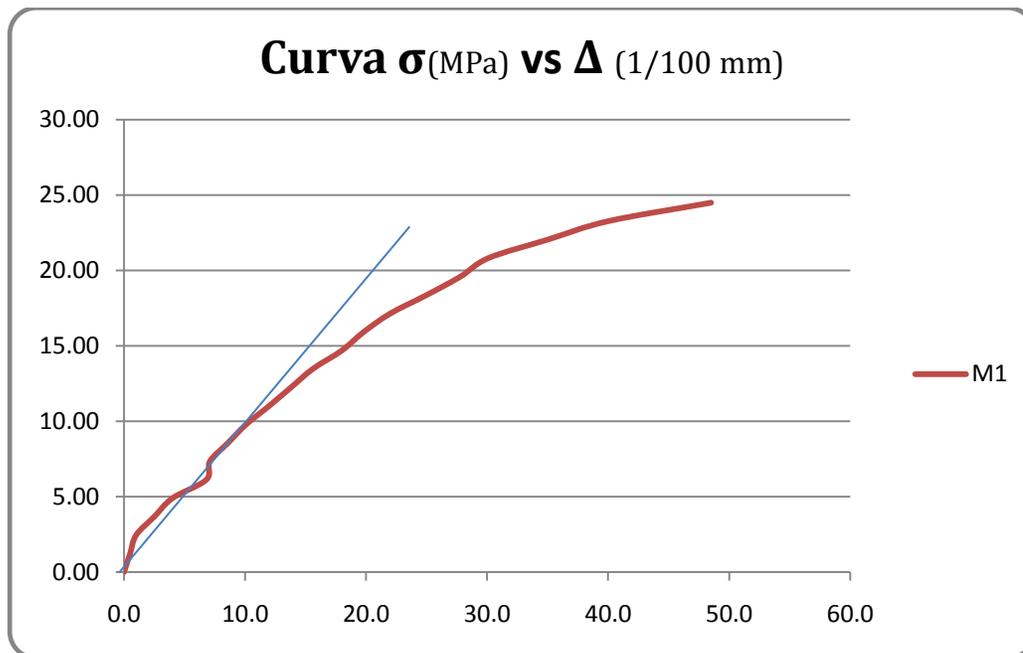
Carga (kg)	Deformación (1/100 mm)		Esfuerzo (MPa)	
	Cilindro 1	Cilindro 2	Cilindro 1	Cilindro 2
0	0.0	0.0	0.00	0.00
1000	0.5	1.0	1.22	1.25
2000	1.0	2.0	2.45	2.50
3000	2.5	3.1	3.67	3.75
4000	4.0	4.8	4.90	5.00
5000	6.8	6.1	6.12	6.25
6000	7.1	7.8	7.35	7.49
7000	8.6	9.1	8.57	8.74
8000	10.1	10.9	9.80	9.99
9000	12.0	12.9	11.02	11.24
10000	13.8	14.5	12.24	12.49
11000	15.6	16.1	13.47	13.74
12000	18.0	17.0	14.69	14.99
13000	19.8	19.5	15.92	16.24
14000	22.0	20.5	17.14	17.49
15000	25.0	25.2	18.37	18.74
16000	27.8	29.7	19.59	19.98
17000	30.1		20.82	
18000	35.0		22.04	
19000	40.0		23.26	
20000	48.5		24.49	
20600	P falla	16600	25.22	20.73

Esfuerzo
Promedio
22.24 MPa

Esfuerzo
Promedio
Rotura
22.98 MPa

σ proporcionalidad= **11.02** **8.99** (MPa)

A continuación se presentan las gráficas de estos primeros resultados.



Con los datos anteriores se calcula la deformación unitaria y se grafica la curva esfuerzo-deformación.

**ENSAYO MODULO
DE ELASTICIDAD
CONCRETO DEL
PILOTE**

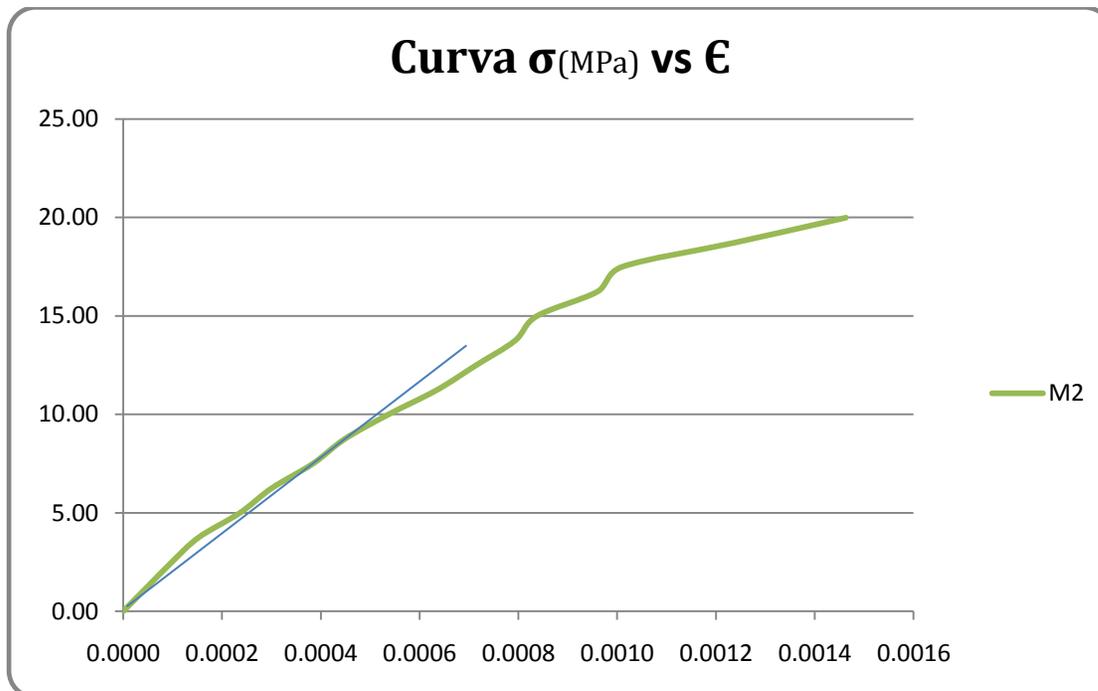
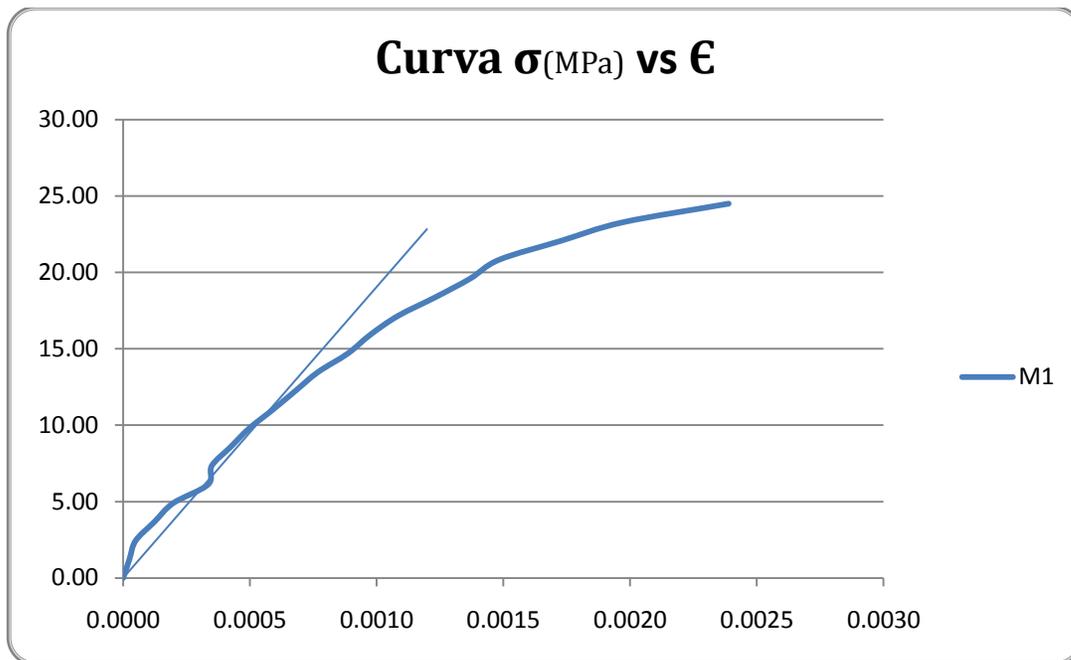
DATOS INICIALES

Cilindro	Ø(cm)	h (cm)	D1 ((cm)	D2 (cm)	H1 (cm)	H2 (cm)
1	10.1	20.3	5.5	5.6	9.9	10
2	10.0	20.3	5.4	5.6	9.9	9.9

Carga (kg)	Deformación (1/100 mm)		Esfuerzo (MPa)		
	Cilindro 1	Cilindro 2	Cilindro 1	Cilindro 2	
0	0.0	0.0	0.00	0.00	Esfuerzo Promedio 22.24 MPa
1000	0.00002	0.00005	1.22	1.25	
2000	0.00005	0.00010	2.45	2.50	
3000	0.00012	0.00015	3.67	3.75	Esfuerzo Promedio Rotura 22.98 MPa
4000	0.00020	0.00024	4.90	5.00	
5000	0.00033	0.00030	6.12	6.25	
6000	0.00035	0.00038	7.35	7.49	
7000	0.00042	0.00045	8.57	8.74	
8000	0.00050	0.00054	9.80	9.99	
9000	0.00059	0.00064	11.02	11.24	
10000	0.00068	0.00071	12.24	12.49	
11000	0.00077	0.00079	13.47	13.74	
12000	0.00089	0.00084	14.69	14.99	
13000	0.00098	0.00096	15.92	16.24	
14000	0.00108	0.00101	17.14	17.49	
15000	0.00123	0.00124	18.37	18.74	
16000	0.00137	0.00146	19.59	19.98	
17000	0.00148		20.82		
18000	0.00172		22.04		
19000	0.00197		23.26		
20000	0.00239		24.49		
20600	P falla	16600	25.22	20.73	

σ Proporcionalidad= 11.02 8.99 (MPa)

Se toma el esfuerzo de proporcionalidad como el 45% del f'c.



De acuerdo con los datos y las graficas anteriores se procede a calcular el módulo de elasticidad del concreto.

	Cilindro 1	Cilindro 2	Promedio	
Ec=	18600	19500	19100	MPa
	182878	191337	187108	kg/cm2
Ec teórico=			209000	kg/cm2

Con lo cual se observa que la diferencia entre el teórico y el obtenido en el ensayo es del orden del 11,8%.

A continuación se presenta el cálculo de la deflexión máxima teórica esperada para el ensayo y el calculado con la carga última, así como el obtenido en el ensayo.

Δ máximo en el Centro de la luz

P=	6064.65 kg	I=	67500 cm ⁴
	6180 kg	L=	250 cm
a=	82 cm		
Δ máx ensayo (real)=		5.22 cm	52.20 mm

De la Rigidez del Pilote

EI eq=	456,500,000	kg-cm ²
Δ máx ensayo (teórico)=	7.43	cm

El módulo de elasticidad tomado, es el que fue obtenido en el ensayo.

Como se puede observar entre la deflexión máxima obtenida en el ensayo y la calculada de manera teórica se tiene una diferencia del 42% más de la segunda sobre la primera.

2.7 Cometarios de los resultados

En primer lugar se observa y se acota que la falla que se presento en el ensayo no fue en la junta, según ensayos anteriores realizados a fabricantes de nuestro medio no ha sido así. La falla se produjo en el concreto de recubrimiento que presento falla a tensión en la parte inferior, como se observa en la figura que se presenta a continuación.

El concreto empieza a fisurarse con una carga de 4,5 Ton. Mientras en la junta, en ningún momento del ensayo se presentaron fisuras.

Figura 50. Imagen de la falla

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 es de 1,8%, lo cual es aceptable, teniendo en cuenta 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 realmente debía hacerse, es decir con las condiciones con que el pilote y la junta van a trabajar.

Figura 51. Imagen de la falla

Por otra parte, observando las gráficas y las tablas de los deformímetros se encuentra que el número 3 (ver figura 48), es decir el que está en el centro de la luz, aumenta y disminuye constantemente a medida que se incrementa la carga, pero después de la carga de 4,9 Ton se siguen aumentando las deformaciones. Esta carga es aproximadamente con la que aparecen las fisuras en el concreto según se había comentado anteriormente.

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 Ton la deformación no aumenta, pero de ahí en adelante la deformación aumenta más rápidamente. En el caso del deformímetro 4, entre la carga de 3,5 y 4,2 Ton la deformación disminuye un poco, pero después de la carga de 4,9 Ton la deformación aumenta más rápidamente.

La resistencia a la compresión obtenida en el ensayo del modulo de elasticidad para el concreto a 16 días de edad con acelerante fue de 22,24 MPa, prácticamente un concreto de 21 MPa ó 3000 psi.

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

Figura 52: Cilindros y Montaje Ensayo Modulo de Elasticidad





Figura 53: Ensayo Modulo de Elasticidad





Para poder comparar los resultados del ensayo a flexión, que se encuentran en el numeral 2.6.6, con posibles momentos actuantes se realiza los cálculos para un pilote largo en una arcilla de consistencia blanda media, que es un suelo común para la utilización de estos pilotes, utilizando la metodología propuesta por *Mattlock y Reese*. Los cálculos se presentan a continuación:

$K_n = \frac{0,2}{D} K_{n1}$	$c_u (Kp/cm^2)$	$K_{n1} (Kp/cm^3)$
	0,5 - 1	2,5
	1 - 2	5
	≥ 2	> 10

b) *Arenas y arcillas blandas*

$K_n = n_n \left(\frac{z}{D}\right)$ Valores de n_n (Kp/cm^3)		<u>Suelta</u>	<u>Media</u>	<u>Compacta</u>
	Arena seca o húmeda	0,6-2	2-10	10-32
	Arena sumergida	0,8	2,5	10
	Arcilla blanda		0,2-0,4	
	Arcilla orgánica		0,08-0,4	
	Turba		0,02-0,06	

Una vez fijado K_n puede definirse la rigidez relativa T del sistema suelo-pilote por la expresión:

$$T = \sqrt[5]{\frac{EI}{K_n}} \quad (m)$$

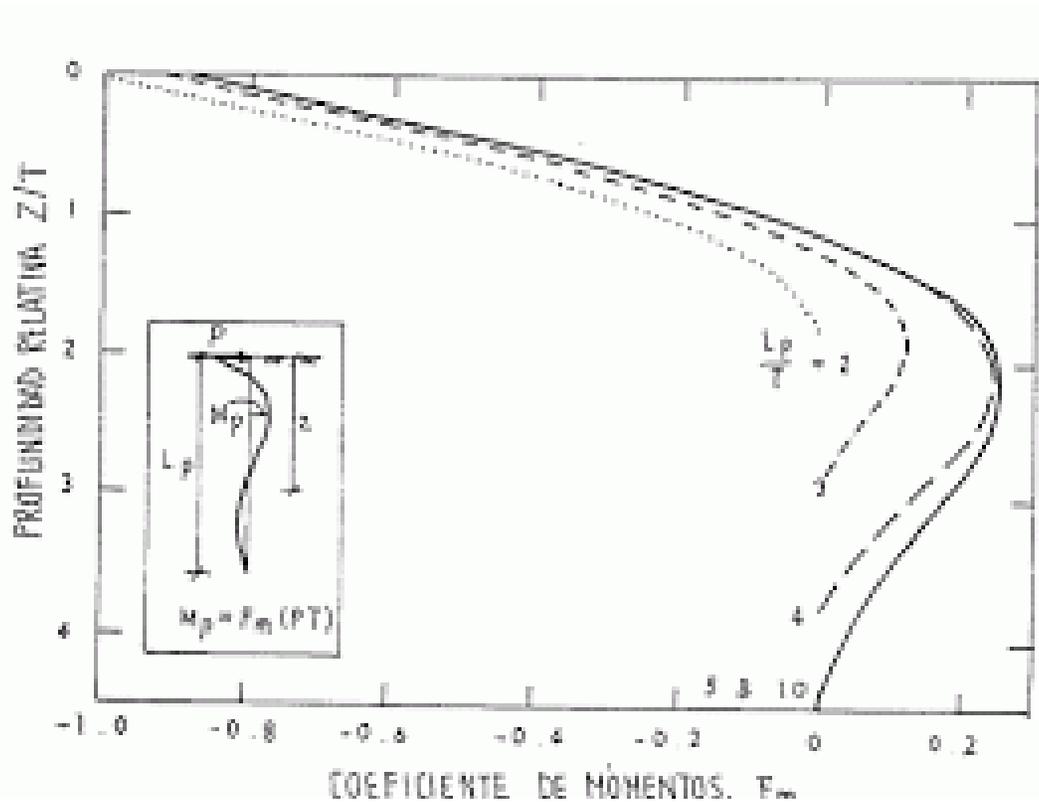
siendo EI la rigidez del pilote.

$$M_x = F_m \cdot H \cdot T$$

$$\delta_x = F_\delta \frac{HT^3}{EI}$$

Chequeo Momento Falla vs Momento Actuante

P=	40 Ton	nh=	293.7 T/m ³
Lp=	48 m	Arcilla Blanda Media	
Z=	12 m	D=	0.3 m
Kh=	7.34 T/m ³	EI=	45.65 Ton-m ²
T=	1.44 m	Z/T=	8.33
Rigidez Relativa suelo -pilote			
Mattlock y Reese		Lp/Z=	4
Fm=	0.05	M=	2.88 Ton-m
Mfalla=	2.88 Ton-m	¡Cumple!	



Chequeo Momento Falla vs Momento Actuante

P=	45 Ton	nh=	293.7 T/m ³
Lp=	48 m	Arcilla Blanda Media	
Z=	24 m	D=	0.3 m
Kh=	3.67 T/m ³	EI=	45.65 Ton-m ²
T=	1.66 m	Z/T=	14.50
Rigidez Relativa suelo -pilote Mattlock y Reese		Lp/Z=	2
Fm=	-0.01	M=	-0.74 Ton-m
Mfalla=	2.88 Ton-m	¡Cumple!	

3. Conclusiones y recomendaciones

3.1 Conclusiones

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

- En primer lugar, se logra cumplir con una parte de uno de los objetivos, que consistía en diseñar una junta para conexión de tramos de pilotes prefabricados hincados, con mayor facilidad constructiva y logrando resistencias superiores o a lo sumo iguales a las calculadas, ante solicitaciones por tensión axial y flexión.
- Por otra parte, los prismas del diseño de la junta –figura 22 y 23-, permitieron que las partes se acoplaran muy bien, sin dar espacio a desplazamientos relativos o desviaciones.
- Los puntos de la junta con más probabilidad de falla son: a) las uniones soldadas entre los prismas y la platina fallan por desgarramiento –figuras 36, 40 y 41-, b) la platina de los prismas falla por corte en el área neta efectiva –figura 37- y por último los bulones que presentaron falla por aplastamiento contra las paredes de la platina –figura 38 y 41-.
- Por lo anterior se concluye que los espesores de las paredes de los prismas deben ser mayores al resto de las platinas utilizadas.
- Que 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). Y que los bulones

deben quedar intercalados, es decir, la mitad de los bulones en una de las partes de la junta y la otra mitad en la otra.

- Las uniones soldadas entre los prismas y la platina deben ser ejecutadas con un control de calidad adecuado, en cuanto a resistencia de la soldadura y de forma especial de su aplicación.
- La resistencia máxima alcanzada a tensión axial fue de 28,45 Ton, 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 de 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 entre más alta la distancia, mayor resistencia área neta efectiva va a resistir el corte, y el diámetro necesario del bulón de acuerdo a las solicitaciones previstas.
- De acuerdo con los cálculos realizados y los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, la falla que se presentó en el tercer ensayo, donde si fallo la junta como tal, se concluye que *la falla no se originó por un solo tipo de falla*, sino que es la combinación de dos tipos: : a) las uniones soldadas entre las platinas de los prismas y las platinas fallan por desgarramiento, b) la platina de los prismas falla por corte en el área neta efectiva y por último los bulones presentan falla por aplastamiento contra las paredes de la platina.
- Se recomienda fabricar la junta por el método de fundición.

Del ensayo a flexión se puede concluir lo siguiente:

- Para aumentar la resistencia a flexión se debe aumentar la longitud de la platina de la caja que confina el concreto a los dos lados de la junta.
- Las diferencias entre las cargas, momentos y rigidez calculadas frente a las obtenidas experimentalmente son del orden de entre el 1,8% y 1,9%. Según tabla de resultados.
- La alta deformación que se presentó en el modelo del pilote, la cual fue del más del doble de la calculada, se debe, a que el pilote de concreto no es una sola pieza, sino que está conformada por dos tramos unidos por la junta, por tanto la rigidez va a disminuir. Y la deflexión se calcula para un elemento monolítico según las ecuaciones disponibles.
- De acuerdo con los cálculos realizados con El equivalente del pilote y el momento de falla de laboratorio, para un posible momento a diferentes profundidades, se encuentra que la mayor sollicitud por momento se puede presentar entre 10 y 14 m, ante lo cual la propuesta de junta respondería favorablemente, ya que el Momento actuante sería menor o igual al momento resistente.

3.2 Recomendaciones

De acuerdo con el alcance del presente trabajo de grado y los objetivos trazados, queda pendiente 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.
- Realizar 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.

A. Anexo: Registro Fotográfico





MODELO PRELIMINAR





FALLA A TENSIÓN MODELO PRELIMINAR



FALLA A TENSIÓN MODELO PRELIMINAR



ARMADO DEL PRIMER MODELO EN ESCALA REAL







MONTAJE EN EL LABORATORIO-ENSAYO A TENSIÓN Y FALLA







MONTAJE DEL SEGUNDO MODELO EN EL LABORATORIO



MONTAJE EN LA MAQUINA ENSAYO A TENSION Y FALLA



FALLA POR DESGARRAMIENTO DE LA SOLDADURA



FALLA A TENSION DEL TERCER MODELO





CUARTO MODELO- FALLA A TENSION



MODELO Y TRANSPORTE PARA ENSAYO A FLEXIÓN



MONTAJE PARA ENSAYO A FLEXIÓN



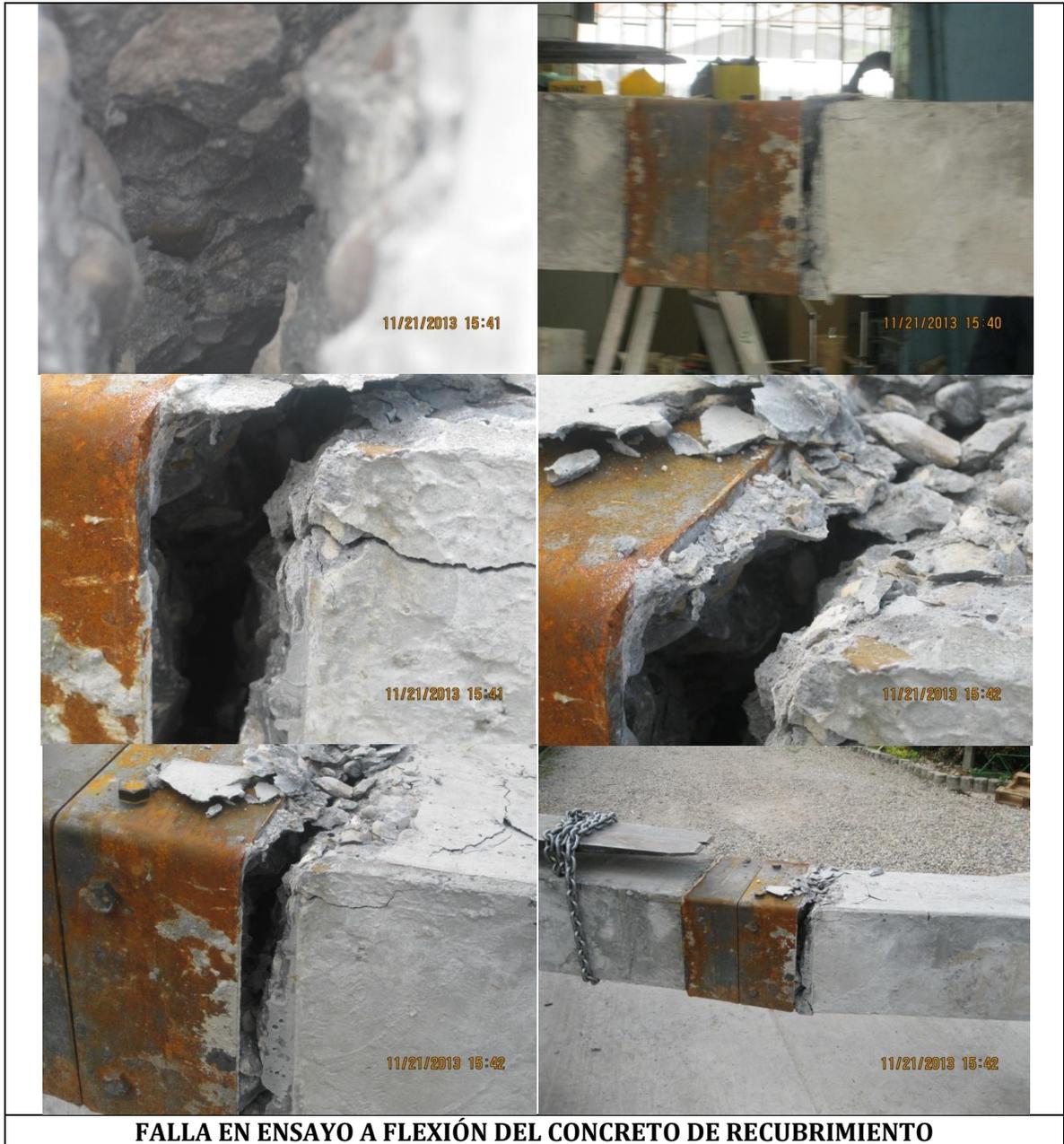
ENSAYO A FLEXIÓN. INICIO DE FISURAS EN EL CONCRETO Y DE LA FALLA



FALLA ENSAYO A FLEXIÓN



FALLA ENSAYO A FLEXIÓN DEL CONCRETO DE RECUBRIMIENTO



FALLA EN ENSAYO A FLEXIÓN DEL CONCRETO DE RECUBRIMIENTO



PRIMER ENSAYO PARA MODULO DE ELASTICIDAD



SEGUNDO ENSAYO PARA MODULO DE ELASTICIDAD

B. Anexo: PLANOS

**C. Anexo: CD. Incluye Registro
Fotográfico completo y videos.**

Bibliografía

[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] CONSTRUMATICA. Pilotes. En: Casos en que se usan pilotes. [en línea] [consultado 26 ene. 2012]. Disponible en <http://www.construmatica.com/construpedia/Pilotes>

[3] SALINA, Lorena. 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]. RODRIGUEZ, José; SERRATA, Jesús y OTEO, Carlos. Curso aplicado de cimentaciones. 4 ed. Madrid: Servicio de Publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos, 1989. p. 179-180,198.

[5] ARQUBA. Cimentaciones profundas. En: Tipos de pilotes y su construcción. [en línea] [consultado 26 ene. 2012]. Disponible en <http://www.arquba.com/monografias-de-arquitectura/pilotaje-2/>

[6]. DAVIDIANOS, Zaven y LASSAU, Pierre. Pilotes y cimentaciones sobre pilotes. 6 ed. Barcelona: Editores Técnicos Asociados S.A., 1982. p. 3-10.

[7] [14] CONSTRUMATICA. Pilotes. En: Materiales utilizados. [en línea] [consultado 26 ene. 2012]. Disponible en <http://www.construmatica.com/construpedia/Pilotes>

[8] ARQUBA. Cimentaciones profundas. En: Pilotes de madera. [en línea] [consultado 26 ene. 2012]. Disponible en <http://www.arquba.com/monografias-de-arquitectura/pilotaje-2/>

[9].ASOCIACIÓN DE EMPRESAS DE LA TECNOLOGÍA DEL SUELO Y SUBSUELO (AETESS). Pilotes prefabricados. En: Pilotes prefabricados. [en línea] [consultado 26 ene. 2012]. Disponible en <http://es.scribd.com/doc/34332374/Pilotes-prefabricados>

[10].WIKIPEDIA. Tipos de pilotes. En: Pilotes hincados. [en línea] [consultado 26 ene. 2012]. Disponible en [http://es.wikipedia.org/wiki/Pilote_\(cimentaci%C3%B3n\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Pilote_(cimentaci%C3%B3n))

[11,13] ARQUBA. Cimentaciones profundas. En: Pilotes prefabricados. [en línea] [consultado 26 ene. 2012]. Disponible en <http://www.arquba.com/monografias-de-arquitectura/pilotaje-2/>

[12]. TOMLINSIN, M. Cimentaciones. Diseño y construcción. 5 ed. México D.F.: Editorial Trillas, 2005. p. 260,290-291,340,345-346,511.

[15].TERRATEST CIMENTACIONES. Pilotes prefabricados pretensados. En: 2. Hinc. [en línea] [consultado 26 ene. 2012]. Disponible en <<http://www.terratest.es/descargas/catalogopretensados.pdf>>

[16]. COLOMBIA. ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA-AIS. Reglamento colombiano de construcción sismoresistente 2.010, 2.010. C-296,304.