



EVALUACION EXPERIMENTAL DE LA INTERACCIÓN ENTRE EL FIRME DE COMPRESION Y LA VIGUETA PRETENSADA FRENTE AL DESLIZAMIENTO HORIZONTAL

Oscar Ramírez Arvizu¹ y Daniel Padilla Romero²

RESUMEN

En versiones actuales del código ACI se ha disminuido la Resistencia al Cortante Horizontal en elementos compuestos de concreto sometidos a flexión solicitando conectores mecánicos entre los colados del elemento compuesto, esto crea una limitante muy importante en los sistemas de Losas a base de Vigueta Pretensada debido principalmente a que la vigueta pretensada se fabrica con maquina extrusora, el presente estudio evalúa experimentalmente los limites reales del sistema de Vigueta Pretensada con firme de compresión trabajando como sección compuesta antes que se presente fallas por cortante horizontal, conservando las características actuales de la producción de la vigueta.

ABSTRACT

In present versions of code ACI handicapped is had the Resistance to the Sharp Horizontal in elements composed of concrete put under flexion soliciting mechanical connectors between the strained ones of the composed element, this mainly creates a very important obstacle in the Slab systems with which had Prestressed Joist to that the prestressed joist makes with extrusora machine, the present study evaluates experimentally you limit them real of the system of firm Prestressed Joist with of compression working like compound section before it appears faults by sharp horizontal, conserving the present characteristics of the production of the joist.

ANTECEDENTES

HISTORICOS

La fabricación de vigueta pretensada se introdujo a México desde los años setentas y rápidamente se posiciono como un sistema alternativo para la construcción de losas de vivienda. En plazas como Hermosillo se introdujo desde los años ochentas y su arraigo tomo mucha importancia rápidamente. Desde aquellos años y como le sucede a las nuevas tecnologías, existieron cuestionamientos de ingenieros que requerían conocer mas a detalle el comportamiento y capacidades del elemento pretensado en forma de vigueta que llego al mercado y sustituía a la losa colada en sitio. Por lo que desde entonces se han realizado pruebas de carga logrando satisfacer exitosamente los requisitos de cargas y resistencias solicitados por los ingenieros y constructores.

FABRICACION DE LA VIGUETA PRETENSADA

La fabricación de la vigueta pretensada se realiza con los procedimientos generales de un elemento pretensado con la salvedad que el colado se realiza usando una maquina extrusora, el procedimiento es el siguiente.

El colado se realiza en una pista de entre 100 y 150 m de largo, en los extremos de estas pistas se disponen de muertos de anclaje que son capaces de tomar la fuerza pretensora. Se ancla, en un extremo de la pista, el acero de presfuerzo sobre el muerto de anclaje mediante barriletes y cuñas propios de este sistema, en el otro extremo se usa un gato hidráulico mono hilo para proporcionar la carga de tensión especificada en el diseño, la cual esta por debajo del limite elástico del acero para garantizar que no presente deformaciones permanentes, una vez alcanzada esta fuerza se ancla este extremo al muerto para liberar el gato hidráulico.

1 Estructuras, **TRABIS**, Calle Ing. Rogelio Villanueva Varela No.50, Col. La Victoria, C.P. 83304 Hermosillo, Sonora. Teléfono, (662) 109-22-00; Fax: (662) 280-00-38; oscarramirez@trabis.com.mx.

2 Gerencia, Asociación Nacional de Industriales de Vigueta Pretensada **ANIVIP**, González de Cossío 124 P.H., Col. Del Valle, 03100 México, D.F.; daniel.padilla@anivip.org.mx



Figura 1 Maquina Extrusora al inicio de la pista

Se posiciona la maquina extrusora al inicio de la pista sobre el acero de presfuerzo (ver figura 1), para quedar lista para recibir el concreto fresco, previamente dosificado y con revenimiento +2cm, la maquina extrusora dispone de tolvas donde se coloca el concreto que por gravedad y vibrado propio de la maquina hacer bajar al concreto para ser colocado en los moldes de la vigueta que se encuentran por debajo de la maquina extrusora a la ves que esta avanza conforme va quedando conformada la sección de la vigueta. La maquina avanza a lo largo de la pista sobre los cables de presfuerzo extruyendo la sección de la vigueta a una velocidad media de 160m/h dejando atrás el concreto fresco con la sección de la vigueta extruida. (ver figura 2).



Figura 2 Sección de la vigueta en estado fresco

Al final de la pista la maquina es retirada para proceder al curado del concreto, que se puede hacer mediante aditivos incluidos en las mezclas o con vapor. Cuando el concreto ha alcanzado una resistencia que le permita tomar la fuerza pretensora, normalmente el 80% de la especificada de diseño, se procede a transferir esta carga de los muertos al elemento de concreto, esto se hace cortando los cables en los extremos de la pista, lo que provoca que el acero de presfuerzo transmita por adherencia la fuerza pretensora al concreto. Finalmente la vigueta se corta con disco de diamante en las longitudes requeridas y se almacena o envía.

SISTEMAS DE PISO A BASE DE VIGUETA PRETENSADA Y BOVEDILLA

Los sistemas de piso a base de vigueta pretensada y bovedilla consiste en tres elementos: la vigueta pretensada colocada a cierta separación, la bovedilla que cubre perfectamente la distancia entre viguetas, esta puede ser de cemento-arena, barro rojo recocido, recuperable y poliestireno, además de un firme colado en sitio reforzado con malla y que ayuda a integrar el sistema. (ver figura 3).

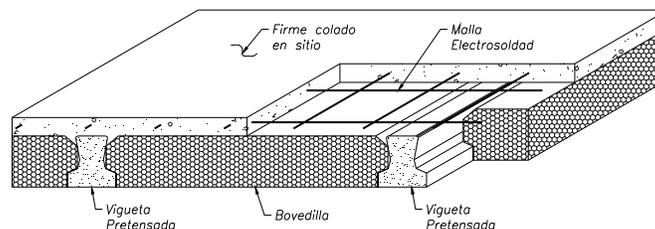


Figura 3 Sección transversal tipo de una Losa a base de Vigueta Pretensada y Bovedilla



Este sistema de losa se clasifica dentro de las que trabajan en una dirección y en el diseño son aplicables las disposiciones para vigas a flexión pertinentes de los códigos vigentes además a lo dispuesto en los códigos para concreto presforzado. Adicional al refuerzo principal de flexión, se debe proporcionar refuerzo por cambios volumétricos, normal al anterior, generalmente a base de malla electrosoldada.

SECCION COMPUESTA

Una sección compuesta de concreto es la fabricada con dos elementos de concreto de diferentes edades que se unen formando uno solo, de manera que conjuntamente colaboran para tomar las cargas externas. Normalmente son el resultado de complementar la resistencia de un elemento prefabricado de concreto colando en sitio un concreto sobre el. Para así obtener un conjunto parcialmente prefabricado o semi-prefabricado, cuyo análisis es más complejo que el de los elementos coladas monolíticamente.

Al unirse concretos de diferentes edades, el concreto del elemento prefabricado habrá experimentado ya una buena parte de su contracción, mientras que el concreto colado en sitio comienza su contracción en el instante de la unión de ambos, produciendo una contracción diferencial en virtud de lo cual el concreto más joven tratará de acortarse más que el viejo, con lo que sin no falla la unión entre ambos, el primero se encontrará comprimido y el más joven tensionado, originándose además momentos internos debido a la excentricidad de los esfuerzos.

Por otra parte, el concreto suelen ser de diferente calidad. Normalmente el concreto del elemento prefabricado se ha producido en una planta industrializada con mayor resistencia y ha sido compactado con sistemas especiales de vibración y ha experimentado con cuidadoso curado, frecuentemente a temperaturas más altas que las ambientales, además de haber sido sometido a un meticuloso control en todas sus fases. Mientras tanto que el concreto colado en sitio no alcanza la misma calidad, a lo más que se puede lograr es que sea dosificado con máquina y puesto en obra en una olla móvil.

Como consecuencia de todo lo expuesto, el módulo de deformación longitudinal del concreto del elemento prefabricado es en general mayor que el del concreto colado en sitio. Lo que diferencia fundamentalmente a las secciones compuestas es la existencia de una superficie de contacto entre ambos concretos en la cual se produce una tendencia al deslizamiento (tensiones rasantes) que la unión debe resistir en todas las etapas de carga del elemento. (ver figura 4).



Figura 4 Colado de firme de compresión sobre vigüeta

En los sistemas compuestos de piso a base de vigüeta pretensada y bovedilla, el elemento prefabricado recibe el nombre de Vigüeta semi resisten o simplemente semivigüeta, Una semivigüeta es, por tanto, un elemento prefabricado de concreto armado o pretensado, destinado a formar parte de un sistema de piso cuya resistencia total precisa la colaboración de una “cabeza” de concreto colado en sitio. En nuestro caso trabajamos con una vigüeta pretensada.

En el trabajo de estos sistemas de piso existen dos etapas principales de carga que se apegan estrictamente a las etapas constructivas del sistema. Inicialmente y hasta que el concreto colado en sitio haya alcanzado la resistencia suficiente para aportar su colaboración, la vigüeta pretensada debe ser capaz de soportar por sí sola la carga del sistema. Esta carga está constituida por el peso propio de la vigüeta pretensada, el peso de la bovedilla y el del concreto fresco colado sobre ellas, mas cualquier otra carga que pueda aplicarse durante la ejecución del colado y lo indicado en los reglamentos en la etapa constructiva, esta etapa de carga es la Inicial.



En la etapa inicial, para que la vigueta pretensada pueda soportar esta magnitud de cargas, con frecuencia, es necesario apoyarla sobre un o mas puntales que disminuyen su claro y por lo tanto sus momentos y contantes. La vigueta pretensada adquiere así una deformación y desarrolla unas tensiones que se fijan al endurecer el concreto en sitio.

En la segunda etapa de carga, el sistema de piso compuesto debe soportar tanto las sobre cargas muertas como las cargas vivas previstas, menos su peso propio, que ya ha sido absorbido por las viguetas pretensadas, mas el efecto de retirar los puntales, cuando se hayan dispuesto, esta etapa de carga es la de Servicio.

ESFUERZO HORIZONTAL

Partiremos esta explicación asumiendo que al flexionar una viga aparecen tensiones tangenciales sobre su sección transversal. La existencia de estas tensiones está relacionada a la aparición de esfuerzos rasantes longitudinales, los cuales los absorbe internamente la propia continuidad de la sección manifestándose en este caso con una deformación de la sección transversal continua.

Veamos que sucede con estos esfuerzos en los casos de vigas con sección compuesta, como nuestro caso de estudio, es decir, vigas cuya sección transversal queda conformada mediante diferentes elementos unidos entre si, como por ejemplo, una sección cajón de una viga de madera formada por cuatro tabloncillos unidos mediante clavos, una sección T de acero formada por ángulos y placas unidos mediante remaches. (Ver figura 5)

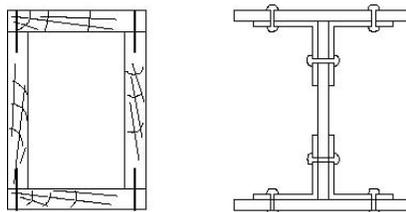


Figura 5 Secciones compuestas típicas

Para poder conformar la pieza se utilizan elementos de unión. Estos elementos deben cumplir la misión de transmitir los esfuerzos rasantes longitudinales entre los distintos elementos constructivos de la pieza de manera tal que funcionen en conjunto.

Para comprender esto analicemos el siguiente ejemplo, donde se trata de una ménsula con carga concentrada en el extremo. Primeramente supongamos que la viga está construida en una sección continua sólida. (ver figura 6)

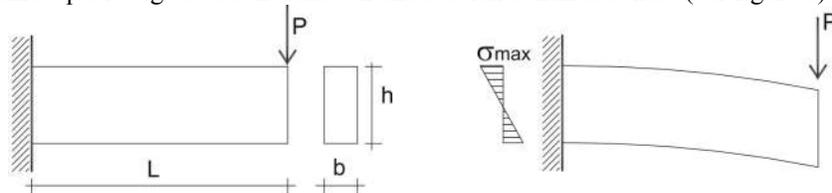


Figura 6 Viga en voladizo con sección conocida y carga P

El esfuerzo Normal a cualquier distancia 'y' del eje neutro esta dado por :

$$\sigma_x = M y / I \tag{1}$$

Por lo tanto el Esfuerzo Normal Máximo σ_{max} se obtiene de sustituir las propiedades de la sección en la "ecuación 1":

$$\sigma_{max} = 6Pl / bh^2 \tag{2}$$

Como segundo caso consideramos que la sección de la viga esta formada por cuatro láminas de iguales propiedades, puestas una arriba de la otra, las cuales no están vinculadas entre sí (ver figura 7).

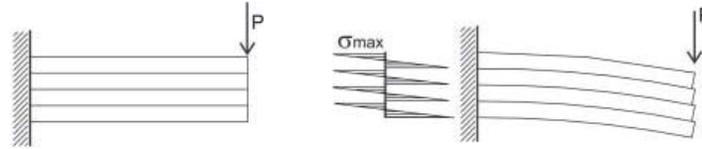


Figura 7 Viga en voladizo formado por cuatro láminas separadas

Como las láminas no tienen fricción entre si, cada una de ellas se flexiona independientemente. La fuerza exterior que toma cada lámina es proporcional a su rigidez, por lo que para este ejemplo es de la cuarta parte. Así que el esfuerzo de tensión máxima en cada una de ellas esta dada por :

$$\sigma_{i \max} = (6Pl / bh^2) / 4 \tag{3}$$

En este caso la tensión resulta mayor. Lo mismo podemos decir de la flecha. Esto se debe a que como no se pudieron absorber los esfuerzos en las superficies de contacto de las láminas, se pierde rigidez. Si las láminas se unen, por ejemplo, con pernos rígidos, se observa que la barra trabaja como una unidad, en forma similar a la primera situación. Lo que ocurre es que los pernos, trabajando al corte, adsorben los esfuerzos rasantes longitudinales (ver figura 8).

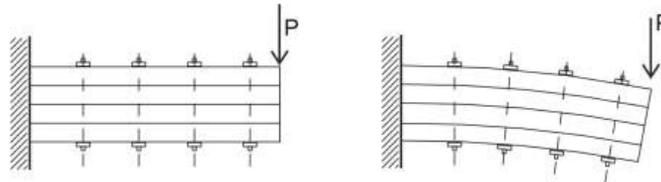


Figura 8 Viga en voladizo formada por cuatro láminas unidas por pernos.

El esfuerzo rasante se define como el producto de las tensiones tangenciales por el ancho 'b' de la sección en la superficie de deslizamiento.

$$H = \tau b = VQ / I \tag{4}$$

Es esfuerzo rasante resulta ser un esfuerzo por unidad de longitud de eje de la pieza y depende del esfuerzo de corte (V), del momento de inercia de la sección (I) y del momento estático de primer orden con respecto al eje neutro de la parte de la sección que tiende a separarse del conjunto (Q). Siendo que H depende de V, varía a lo largo del eje de la pieza según lo hace éste. En el caso del voladizo del ejemplo V=cte, por lo que H=cte. Se obtienen los siguientes Esfuerzos. (ver figura 9)

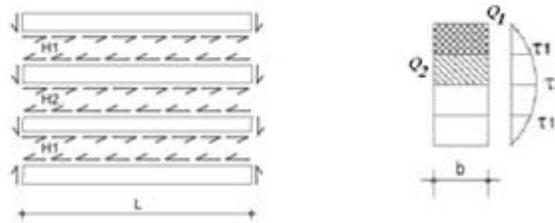


Figura 9 Esfuerzos en las juntas de láminas

$$H_1 = \tau_1 b = VQ_1 / I \tag{5}$$

$$H_2 = \tau_2 b = VQ_2 / I \tag{6}$$

Cada elemento de unión, en el caso de los pernos, que se coloca debe absorber el esfuerzo rasante que le corresponde según su zona de influencia, ya por ultimo si se elige el diámetro de los remaches se puede obtener la separación a que deben colocarse, o bien si se establece esta separación se puede determinar el diámetro necesario.

En el caso específico de este estudio podemos evaluar el esfuerzo que se está presentando entre las superficies de contacto en cada uno de los niveles de carga que se aplican en el ensaye y asociar la falla ya sea por cortante o por flexión al valor específico de esfuerzo rasante.

OBJETIVOS

- Realizar pruebas de carga y registrar los resultados de especímenes fabricados a base de vigueta pretensada y bovedilla de poliestireno con firme de compresión colado en sitio trabajando como sección compuesta.
- Realizar pruebas de carga y registrar los resultados de especímenes fabricados a base de vigueta pretensada y bovedilla de poliestireno con firme de compresión colado en sitio forzando su trabajo por separado.
- Realizar pruebas de carga y registrar los resultados de la vigueta pretensada como sección simple.
- Identificar los valores de falla experimental tanto para cortante, flexión y esfuerzo horizontal y comparar con los valores teóricos resistentes basados tanto en el trabajo como sección compuesta y sección simple, según lo indicado en los códigos vigentes del ACI-318-08 y la Norma Española (EHE-08).

DESCRIPCION DE LOS ESPECIMENES

DIMENSIONES GENERALES

Dimensiones generales de la sección de la vigueta pretensada: Los especímenes se fabricarán con una sección de vigueta con un peralte total de 11cm (V11), a esta sección transversal también se le conoce con el nombre de “cola de milano” y sus dimensiones se muestran en la figura 10.

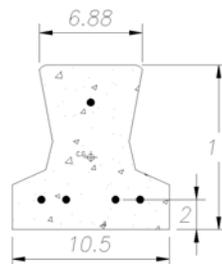


Figura 10 Sección vigueta pretensada V11

Dimensiones generales del sistema de piso a base de la V11 y Bovedilla de Poliestireno: El sistema de piso que se forma usando tanto la V11, la bovedilla de poliestireno y un colado complementario de 4cm de concreto colado en sitio conforman un peralte total de 15cm, en esta sección la distancia tipo en TRABIS es de 67cm a eje de vigueta y tiene las siguientes dimensiones generales (ver figura 11)

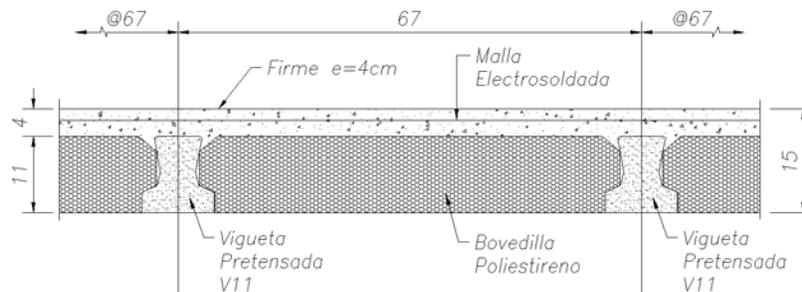


Figura 11 Sección tipo del sistema de piso de Vigueta pretensada y Bovedilla

Dimensiones generales de los especímenes: Los especímenes se fabricaron usando una sola vigueta pretensada sección V11 en conjunto de la bovedilla de poliestireno y para determinar el ancho del firme de concreto colado sobre de la V11 se observo lo indicado en el Art. 8.12 del ACI-318-08 donde el ancho efectivo (b) de una sección T no debe ser mayor a 1/4 del claro de la viga y el ancho efectivo que sobresale a cada lado del alma no debe ser mayor que 8 veces espesor de la losa además que la mitad de la distancia libre a la siguiente alma.

Si consideramos el largo de la viga 2.80m y se apoya en 10cm, la distancia entre ejes de apoyos es de 2.60m, además la distancia entre viguetas pretensadas (almas) es de 67cm y el espesor del firme 4cm, los anchos efectivos de la viga T son : b1=65cm, b2=74.5cm y b3=67cm.

Por facilidad constructiva se determina trabajar con solo dos anchos el menor y el mayor quedando b1=65cm y b2=74.5cm (ver figura 12).

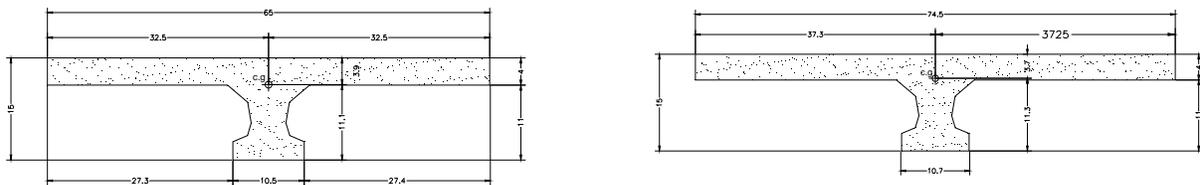


Figura 12 Sección compuesta V11 en 65cm de ancho y Sección compuesta V11 en 74.5cm de ancho.

ACERO DE REFUERZO

El refuerzo de la vigueta pretensada consiste acero de presfuerzo en alambré de 3mm y 5mm de diámetro, colocado en dos camas, la primera a 2.0cm y la segunda a 8.5cm de la base. Las viguetas que se fabrican de línea en la planta de TRABIS se clasifican según su refuerzo:

- V11-30 - indica que lleva dos alambres de 5mm de diámetro en la primera cama y un alambre de 3mm en la segunda cama.
- V11-40 - Indica que lleva tres alambres de 5mm diámetro en la primera cama y un alambre de 5mm en la segunda cama.
- V11-50 - Indica que lleva cuatro alambres de 5mm de diámetro en la primera cama y un alambre de 5mm en la segunda cama.
- Para efectos de estos ensayos de desecho la vigueta intermedia V11-40, por lo que se trabajo con las secciones V11-30 y V11-50, asociando los anchos anteriores a cada una.
- El firme colado en sitio se reforzó con malla electro soldada de calibre 6-6/10-10.

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Acero de Presfuerzo: El acero de presfuerzo que se utilizo es el de grado 235Ksi con un $f_{pu}=16900\text{kg/cm}^2$, ver propiedades en la Tabla 1. Estas propiedades se garantizan según el informe de calidad entregado por la Empresa DEACERO junto con su facturación. (ver anexo 1).

Tabla 1 Características de los alambres $\phi = 3\text{mm}$ y $\phi = 5\text{mm}$

Diametro	Alambre , $f_{pu}=16,900 \text{ kg/cm}^2$	
	3mm	5mm
Area [mm ²]	7.355	19.63
Peso [kg/ml]	0.058	0.154
$0.65 \cdot f_{pu} \cdot A_{ps}$ [kg/cm ²]	807.9	2,156.4
$0.75 \cdot f_{pu} \cdot A_{ps}$ [kg/cm ²]	932.2	2,488.1
$0.80 \cdot f_{pu} \cdot A_{ps}$ [kg/cm ²]	994.4	2,654.0



Concreto: En las viguetas pretensadas que se fabrican en TRABIS se especifica de línea un concreto $f'c=350$ kg/cm² a los 28 días, en el anexo 2 se muestra una tabla con los resultados de las resistencias históricas de al menos 3 meses de los colados realizados. (ver anexo 2). Para el firme de compresión colado en sitio se especifico un concreto $f'c=200$ kg/cm² a los 28 días. Ver anexo 3 donde se muestran los resultados de las resistencias de los concretos utilizados. (ver anexo 3)

FABRICACIÓN ESPECÍMENES

En la fabricación se pretendió emular el colado que normalmente se realiza en una obra convencional, donde frecuentemente no se realizan las mejores prácticas, como humedecer las superficies que reciben en concreto o como un curado correcto para que el concreto no pierda humedad, o como la falta de separadores o silletas de la malla electro soldada.

Las figuras siguientes muestran el proceso de colado de los especímenes, en primer lugar se muestra la vigueta sobre los apoyos y a los costados la bovedilla de poliestireno, después se muestra la cimbra delimitando el ancho de la losa y la malla colocada sobre silletas de 1" de alto. (ver figura 13a y 13b)



Figura 13 a) V11 y bovedilla de poliestireno



b) V11 y Bovedilla lista para recibir concreto

En estas imágenes se muestra el colado de la losa y el vibrado del concreto, que aunque sabemos que en obra no es una práctica común, dos de nuestros especímenes fueron elaborados con esta variable. (ver figura 14a y 14b).



Figura 14 c) Colado de la losa



b) Vibrado del concreto

En estas figuras se muestra el curado del espécimen y por último se muestra el espécimen ya pintado de blanco con el fin de resaltar las grietas. (ver figuras 15a y 15b).



Figura 15 a) Curado del espécimen



b) Especimen terminado y pintado

DESCRIPCION DE LOS ENSAYES

DESCRIPCION

El objetivo de los ensayos es determinar las resistencias a cortante, flexión y esfuerzo horizontal de la losa compuesta por una V-11 con firme de compresión colado sobre ella formando una sección compuesta. Para lo cual se establece la aplicación de cargas que generan el mecanismo de falla siguiente: (ver figura 16)

- I.- Flexión
- II.- Rasante horizontal o deslizamiento relativo V11- firme de compresión.
- III.- Cortante Vertical

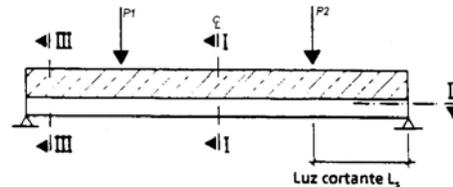
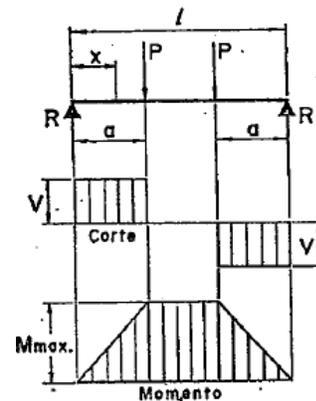


Figura 16 Mecanismos de falla esperados y sus secciones críticas correspondientes

En la figura 17 se muestra la disposición del ensayo. La carga aplicada por el cilindro hidráulico se distribuye a partes iguales sobre la viga de repartición. La rigidez de este perfil, conjuntamente con la de los bancos de acero tiene como objeto un reparto uniforme de la carga.



(a) Experimental



(b) Teórico

Figura 17 Disposiciones tipo para el ensayo. Reparto uniforme de carga

Un apoyo está fijo y el otro es móvil. Esta disposición consigue un momento flector constante y un esfuerzo cortante nulo en la zona central. En cambio, entre el punto de la aplicación de la carga y el punto de apoyo existe un esfuerzo cortante prácticamente constante. El peso de la losa modifica ligeramente estos conceptos.

Se colocan tres micrómetros para medir el desplazamiento vertical, dispuestos uno al centro del claro y uno debajo de cada punto de aplicación de la carga. Por último se colocan dos micrómetros en el extremo libre para medir el giro y el desplazamiento relativo entre la vigueta y el concreto. (ver figura 18)

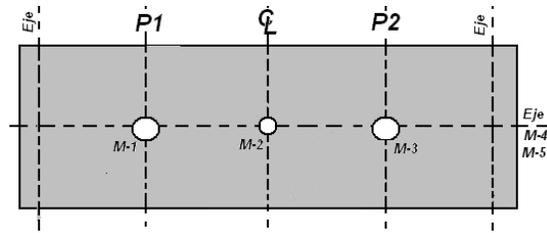


Figura 18 Disposición en planta de micrómetros

PROCEDIMIENTO ENSAYE

Los ensayos se han diseñado para registrar el comportamiento fuerza – deformación de los especímenes. Por lo que las pruebas de carga tendrán básicamente dos etapas:

En la primera etapa se aplicara una carga a intervalos constantes de aprox. 100kg y en cada etapa se tomara la lectura de la deformación vertical en tres puntos a lo largo del espécimen, esta etapa se realiza hasta que se alcance el punto de fluencia. Esta se marca en los especímenes por la aparición de fisuras en el concreto.

En la segunda etapa el control se determinara por deformación por lo que se aplicara un incremento de carga hasta que se llegue a una deformación establecida, este intervalo de deformación puede ser de 0.5mm o hasta 1.0mm. Con este esquema de aplicación de carga se llevara al espécimen hasta que llegue a la falla y presente una disminución de carga de al menos el 20%, esto marcara el fin del ensayo.

EQUIPO UTILIZADO

La instrumentación que se utilizo la podemos dividir en dos:

Aplicación y medición de carga aplicada: Para la aplicación de la carga se utilizo un pistón hidráulico del tipo Enerpak –C -506 conectado a una bomba hidráulica manual con una capacidad de hasta 16.5 ton. Para la lectura de la carga se utilizo una celda de carga con capacidad de 45,000lb marca 50K, con intervalos de medición de + - 1 libra.

Medición de la deformación vertical: Se utilizo micrómetros analógicos con conexión digital a un concentrados de datos con una precisión de hasta +/- 0.1mm.

PRUEBAS A REALIZAR

En la siguiente tabla 2 se muestran las características de los especímenes que se ensayaron, obsérvese que en esta tabla se muestra en detalle todas la variables que son de interés en este estudio.

Los ensayos 1, 2 y 12 no son validos debido a que se utilizaron para ajustar los equipos de aplicación de carga. En los ensayos 3, 6 7, 9, 10, 12 y 14 se utilizo vigueta pretensada V11-30, mientras en los ensayos 4, 5, 8, 11, 13, 15 y 16 la V11-50. Los colados de las losas de los ensayos 3, 4, 5 y 6 fueron realizados conforme lo acostumbrado en obra, de forma tradicional, solo se incluyo la práctica del vibrado, a estos especímenes se les llamo “Tradicional”. En los ensayos 7, 8, 10 y 16 se elimino intencionalmente la adherencia entre la vigueta y el firme colocando una película de plástico. Los ensayos 12, 13, 14 y 15 se ensayo la sección simple de la vigueta. En los ensayos 9 y 11 se utilizó una vigueta con rugosidad intencional (carantage).



Tabla 2 Características de los especímenes

ENSAVE No.	FECHA	FECHA DE COLADO	TIPO DE VIGUETA	VIBRADO		ADHERENCIA (+)		RUGOSIDAD (*)		LOSA			RESISTENCIA LOSA [kg/cm ²]	OBSERVACIONES
				SI	NO	SI	NO	SI	NO	ANCHO [cm]	LARGO [cm]	ESPESOR [cm]		
1	22-Jun-10	Dic-09	V11-30		X	X			X	67	280	4.5		ENSAYE NO VALIDO
2	27-Jun-10	24-Jul-10	V11-30	X		X			X	67	280	5	282	ENSAYE NO VALIDO
3	06-Ago-10	27-Jul-10	V11-30	X		X			X	65	281	4	327	
4	07-Ago-10	03-Ago-10	V11-50	X		X			X	74.5	280	4	261	
5	09-Ago-10	07-Ago-10	V11-50		X	X			X	74.5	280	4	196	
6	11-Ago-10	10-Ago-10	V11-30		X	X			X	65	280	4	211	
7	13-Ago-10	11-Ago-10	V11-30		X		X		X	65	280	4	191	
8	14-Ago-10	12-Ago-10	V11-50		X		X		X	74.5	280	4	230	
9	16-Ago-10	13-Ago-10	V11-30		X	X		X		65	280	4	221	
10	18-Ago-10	16-Ago-10	V11-30		X		X		X	65	280	4	230	
11	19-Ago-10	17-Ago-10	V11-50		X	X		X		74.5	280	4	180	
12	20-Ago-10	N/A	V11-30	N/A		N/A		N/A		0	0	0	N/A	ENSAYE NO VALIDO
13	20-Ago-10	N/A	V11-50	N/A		N/A		N/A		0	0	0	N/A	SECCION SIMPLE V11-50
14	20-Ago-10	N/A	V11-30	N/A		N/A		N/A		0	0	0	N/A	SECCION SIMPLE V11-30
15	20-Ago-10	N/A	V11-50	N/A		N/A		N/A		0	0	0	N/A	SECCION SIMPLE V11-50
16	23-Ago-10	19-Ago-10	V11-50		X		X		X	74.5	280	4	244	

(+) Indica que la vigueta debe llevar una membrana de plástico para eliminar la adherencia entre la vigueta y el firme colado en sitio.
 (*) Indica que la vigueta debe llevar "carantage"

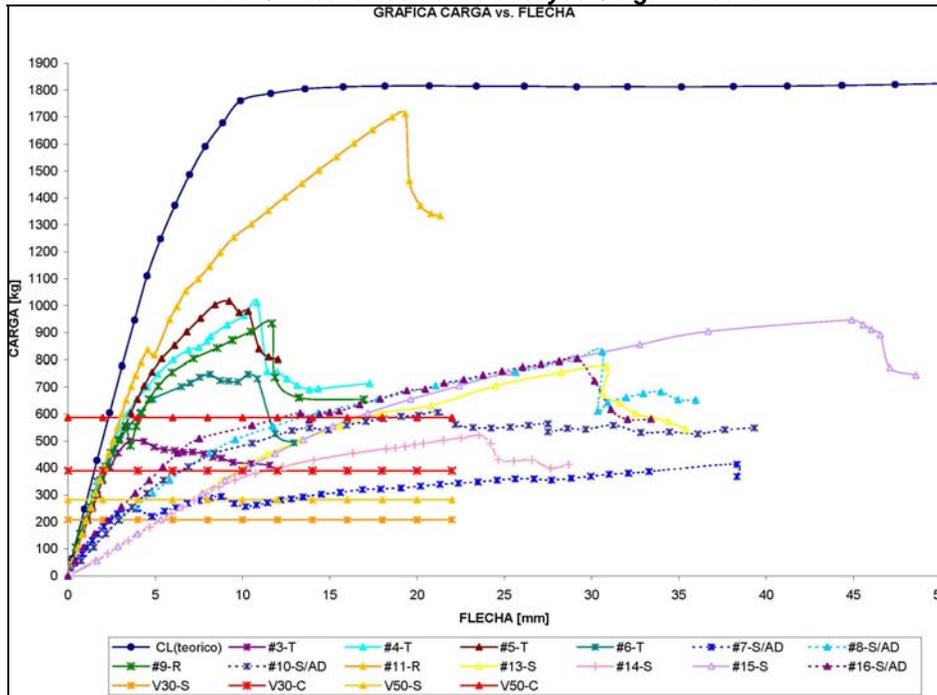
VARIABLES A ESTUDIAR

Las variables a estudiar en este artículo están directamente relacionadas con la determinación del cortante horizontal resistente de los modelos ensayados, estas variables son: área sección compuesta, ancho vigueta, peralte sección simple y compuesta, carga vs deformación aplicada. Todas estas variables serán evaluadas en las graficas siguientes en donde se identifica la falla por cortante horizontal en caso de haberse presentado.

ANÁLISIS DE RESULTADOS PRELIMINARES

Se muestra a continuación los resultados de los 15 ensayos que se realizaron siguiendo el procedimiento anterior, ver tabla 2. Así mismo se muestra la resistencia teórica de los modelos ensayados.

Tabla 3 Resultados de los ensayos Carga – Flecha



(V30-S) Indica la carga que produce la falla a Cortante para una vigueta V11-30 en Sección Simple.
 (V30-C) Indica la carga que produce la falla a Cortante para una vigueta V11-30 en Sección Compuesta.
 (V50-S) Indica la carga que produce la falla a Cortante para una vigueta V11-50 en Sección Simple
 (V50-C) Indica la carga que produce la falla a Cortante para una vigueta V11-50 en Sección Compuesta.



En esta grafica se puede observar el comportamiento de cada uno de los grupos de secciones ensayadas. En primer lugar se observa como se agrupan con la misma pendiente los especimenes hechos con un colado “Tradicional” (T) y (R), con otras pendientes se muestran los ensayos de sección sin adherencia (S/AD) y por último las de sección simple (S). Independientemente el punto de falla que alcancen los especimenes se muestra claramente que los especimenes colados de forma Tradicional tienen una rigidez mayor a los otros dos grupos.

Por otro lado, Se ha evaluado y graficado para cada una de las secciones la carga que produce el cortante de falla y se puede observar que todos los ensayos realizados alcanzan este valor sin presentar problema alguno y en prácticamente todos lo supera hasta por el doble.

EVALUACION DE LA RIGIDEZ DE LOS ESPECIMENES

TEÓRICA: Como se mencionó anteriormente se trabajo con dos secciones de losa, de 65cm (T-1) y de 74.50 cm (T-3) ambas de 4cm de espesor. Para obtener el ancho equivalente (b') de la sección T para un concreto uniforme de 350 kg/cm^2 se utiliza la relación modular $\eta=0.756$. Para la sección T-1 se obtiene un ancho efectivo de 49.1cm y para la sección T-2 50.6cm de ancho. Las propiedades geométricas teóricas de cada una se muestran en la figura 19, estas propiedades servirán para la validación del área de cortante horizontal involucrado en los ensayos.

Por otro lado, para la determinación de la rigidez teórica fuera del plano, se usara la fórmula para el cálculo de deformación para esquema de carga como el que se muestra en la fig. 17b, esta deformación se calculara en función de la fuerza experimental usada para la determinación de la rigidez experimental.

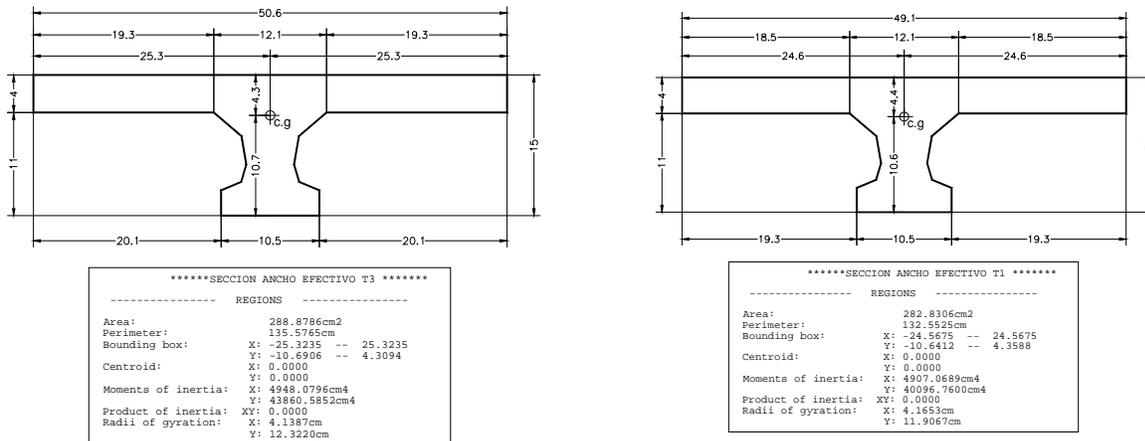


Figura 19 Propiedades de la sección efectiva T-1 y T-3

EXPERIMENTAL: Para la determinación de la rigidez experimental fuera del plano, se tomara un par coordenado de cada uno de los ensayos experimentales, este par coordenada se tomara del rango elástico de la respuesta experimental.

A continuación se muestra la grafica de formación teórica vs deformación experimental (ver fig. 20), obsérvese de esta grafica que la relación entre la deformación experimental y teórica es prácticamente igual a 1.0, esto indica que la rigidez inicial fuera del plano experimental y teórica son iguales.

Se sabe que la rigidez (inercia) es una variable importante en la determinación teórica y experimental del cortante horizontal en estudio. Con el párrafo anterior se puede concluir que el uso de la inercia teórica para la determinación del cortante horizontal teórico o experimental es adecuada.

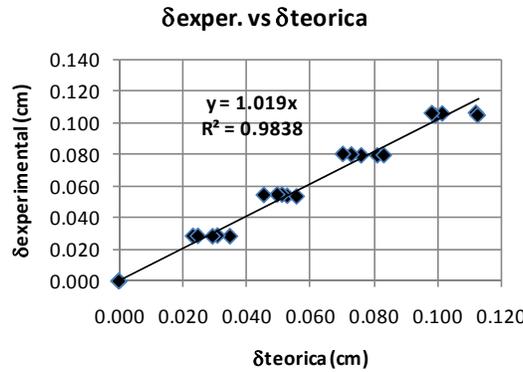


Figura 20 Comparación entre la $\delta_{experimental}$ vs $\delta_{teórica}$.

EVALUACION DE LA CAPACIDAD A CORTANTE HORIZONTAL TEÓRICA (REGLAMENTOS)

ACI

Según lo dispuesto en el ACI 318S-08 en el artículo 17.5 en un elemento compuesto, debe asegurarse la transmisión completa de las fuerzas cortantes horizontales en las superficies de contacto de los elementos interconectados. Por lo que se debe cumplir con la siguiente relación:

$$V_u = \phi V_{nh} \tag{7}$$

Donde V_{nh} es la resistencia nominal al cortante horizontal de acuerdo con 17.5.3.1, donde para superficies limpias, libres de lechada y se han hecho rugosas intencionalmente, la resistencia al cortante horizontal no debe tomarse mayor a:

$$0.55 b_v d \tag{8}$$

Evaluando la “ecuación 8” en las secciones de estudio T-1 y T-3 obtenemos los resultados mostrados en la tabla 4

Tabla 4 Resistencia al cortante horizontal de acuerdo al ACI

Sección	b_v [cm]	d [cm]	ϕV_{nh} [kg]
T-1 (V11-30)	12.1	13	64.89
T-3 (V11-50)	12.1	13	64.89

NORMATIVA ESPAÑOLA (EHE-08)

Según lo dispuesto en la normativa Española (EHE-08) en el artículo 4.72 relativo a la Resistencia a esfuerzo rasante en juntas entre hormigones, la comprobación del estado límite último a esfuerzo rasante se realizará comprobando que :

$$\tau_{r,d} \leq \tau_{r,u} \tag{9}$$

Donde $\tau_{r,u}$ es la tensión de agotamiento correspondiente al estado límite último de resistencia a esfuerzo rasante según se indica a continuación, supuesto que el espesor medio mínimo del hormigón a cada lado de la junta de 50mm, medido normalmente al plano de la junta, pudiéndose llegar localmente a un espesor mínimo de 30mm. Donde

$$\tau_{r,u} = \beta (1.30 - 0.30 f_{ck}/25) f_{ctd} \quad \text{pero no mayor } 0.70 \beta f_{ctd} \tag{10}$$

Donde β puede adoptar los siguientes valores:

- 0.8 En superficies de contacto rugosas de secciones compuestas en las que existe una imbricación tal que se impide el cabalgamiento de una de las partes de la sección compuesta sobre la otra, tales como las configuraciones



en cola de milano, y siempre que la superficie quede abierta y rugosa tal y como se obtiene de la fabricación de las viguetas con maquina ponedora.

- 0.40 en superficies intencionadamente rugosas, con rugosidad alta.
- 0.20 en superficies no intencionadamente rugosa con rugosidad baja.
- f_{ck} Resistencia característica a compresión del hormigón mas débil de la junta.
- f_{ctd} Resistencia de cálculo a tracción del hormigón mas débil de la junta.

En la tabla 5 se muestra la resistencia al esfuerzo resalte según EHE-08

Tabla 5 Resistencia al cortante horizontal de acuerdo al EHE-08

Sección	β	f_{ck} [N/mm ²]	f_{ctd} [N/mm ²]	τ_{ru} [N/mm ²]
T-1 (V11-30)	0.8	19.62	1.02	0.87
T-3 (V11-50)	0.8	19.62	1.02	0.87

DETERMINACION DEL CORTANTE HORIZONTAL EXPERIMENTAL

Para la determinación del cortante horizontal experimental se lleva a cabo el siguiente procedimiento de evaluación y determinación a partir de la curva fuerza vs deformación obtenido del ensayo experimental, se debe mencionar que la falla por cortante horizontal no se presento en todos los modelos ensayados.

- Se identifica la falla por cortante horizontal en el ensayo, este tipo de falla es interna por lo que el mecanismo de identificación que se uso fue acústico y visual.
- Una vez identificado se toma un registro fotográfico y marca en la grafica fuerza vs deformación.
- Para la carga experimental donde se identifica la falla por cortante horizontal, se obtiene un valor de cortante normal, el cual es el valor que se toma como valor del cortante horizontal ultimo.

COMPARACION DEL CORTANTE HORIZONTAL TEÓRICO Y EXPERIMENTAL

En las dos tabla siguientes (ver fig. 21) se muestra la comparación entre el cortante horizontal teórico y experimental, los cortante horizontales teóricos están calculados con respecto al ACI-08 y la EHE-08.

De la tabla de comparación del ACI se puede observar que en el caso más desfavorable la relación entre $V_{h_{exp}}/V_{h_{teorico}} = 10$, esto indica que la resistencia a cortante horizontal real es aproximadamente 10 veces mayor que la resistencia a cortante horizontal teórica calculado por el ACI.

De la tabla de comparación del EHE se puede observar que en el caso más desfavorable la relación entre $V_{h_{exp}}/V_{h_{teorico}} = 3$, esto indica que la resistencia a cortante horizontal real es aproximadamente 3 veces mayor que la resistencia a cortante horizontal teórica calculado por el EHE.

ACI 318S-08						EHE - 08										
ENSAYE	ID	b_v [cm]	d [cm]	V_{teo} ϕV_{nh} [kg]	V_{exp} V_u (*) [kg]	ENSAYE	ID	β	f_{ck} [N/mm ²]	f_{ctd} [N/mm ²]	τ_{ru} [N/mm ²]	ρ [mm]	d [mm]	$V_{h_{teo}}$		$V_{u_{exp}}$ (**)
#3	#3-T	12.1	13	64.89	n/a	#3	#3-T	0.2	19.62	1.02	0.22	121	130	2729	278.1	N/A
#4	#4-T	12.1	13	64.89	960.4	#4	#4-T	0.2	19.62	1.02	0.22	121	130	2729	278.1	960.4
#5	#5-T	12.1	13	64.89	1220.6	#5	#5-T	0.2	19.62	1.02	0.22	121	130	2729	278.1	1220.6
#6	#6-T	12.1	13	64.89	877.7	#6	#6-T	0.2	19.62	1.02	0.22	121	130	2729	278.1	877.7
#7	#7-S/AD	12.1	13	64.89	186.1	#7	#7-S/AD	0.2	19.62	1.02	0.22	121	130	2729	278.1	186.1
#8	#8-S/AD	12.1	13	64.89	308.0	#8	#8-S/AD	0.2	19.62	1.02	0.22	121	130	2729	278.1	308.0
#9	#9-R	12.1	13	64.89	665.7	#9	#9-R	0.8	19.62	1.02	0.87	121	130	10915	1112.6	665.7
#10	#10-S/AD	12.1	13	64.89	247.6	#10	#10-S/AD	0.2	19.62	1.02	0.22	121	130	2729	278.1	247.6
#11	#11-R	12.1	13	64.89	1002.9	#11	#11-R	0.8	19.62	1.02	0.87	121	130	10915	1112.6	1002.9
#13	#13-S	N/A	N/A	N/A	N/A	#13	#13-S	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
#14	#14-S	N/A	N/A	N/A	N/A	#14	#14-S	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
#15	#15-S	N/A	N/A	N/A	N/A	#15	#15-S	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
#16	#16-S/AD	12.1	13	64.89	246.0	#16	#16-S/AD	0.2	19.62	1.02	0.22	121	130	2729	278.1	246.0

(*) Factor de carga FC= 1.2
(*) Se desprecia el V_u de la losa

(**) Factor de carga FC= 1.5 según EHE-08 p

Figura 21 Tablas Comparación cortante Horizontal Teórico y Experimental (ACI-08, EHE-08)



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones preliminares que se obtienen de los primeros avances de este trabajo son:

- La estimación de rigídes teóricas en función de las ecuaciones de ingeniería estructural son adecuadas, siempre y cuando se tenga un buen control de las variables que intervienen, las cuales son el módulo de elasticidad, la geometría del modelo, su respectiva aplicación de cargas, y la inercia de la sección compuesta tomando en cuenta toda el área de la sección de concreto incluyendo la formación de la cuña.
- Se observa que la ecuación para la determinación del cortante horizontal que maneja el ACI es conservadora, esto se debe posiblemente a que esta ecuación está pensada en elementos de gran peralte en donde la participación de la sección compuesta (tablero) no es tan relevante como lo es en elementos de pequeño peralte (vigüeta pretensada) en donde la participación de la sección compuesta (tablero) es relevante.
- De manera similar a las expresiones del ACI, la expresión para la determinación del cortante horizontal según EHE-08 es conservadora pero en menor grado que el ACI, esto se debe a que el EHE-08 está más enfocada a elementos de pequeño peralte (vigüeta pretensada).
- En términos generales se observa que la resistencia al cortante horizontal experimental es mayor al estimado en forma teórica por ambos reglamentos. En función de lo anterior sería interesante promover mas investigación que permita ajustar las formulas para la estimación de cortante horizontal de los reglamentos con el fin de que la aplicación de las capacidades de elementos prefabricados y pretensados como lo es la vigüeta pretensada sean mejor aprovechados.

AGRADECIMIENTOS

Se le agradece infinitamente a la empresa TRABIS por sus aportaciones técnicas y económicas que hicieron posible llevar a cabo esta investigación, estos esfuerzos de empresas como la de ustedes por hacer aportaciones al mejor entendimiento de la ingeniería prefabricada y presforzada dejan ver lo profesional y comprometida que esta su empresa con la Ingeniería Mexicana.

Así mismo, se le agradece de igual forma a la Asociación Nacional de Industriales de Vigüeta Pretensada, ANIVIP por su participación activa en este trabajo de investigación, una vez más con esta participación cumplen con su objetivo de generar conocimiento para mejorar las practicas de la ingeniería Mexicana.