



EVALUACIÓN
EXPERIMENTAL DE LA
CAPACIDAD A
CORTANTE EN JUNTAS
DE LOSAS ALVEOLARES
Y VIGAS DE CONCRETO
REFORZADO

UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
COLOMBIA

DAVID ESPAÑA RODRÍGUEZ

**EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LA CAPACIDAD A CORTANTE EN JUNTAS DE
LOSAS ALVEOLARES Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO**



DAVID ALFONSO ESPAÑA RODRÍGUEZ

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA – ESTRUCTURAS
BOGOTÁ D.C.**

2015

**EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LA CAPACIDAD A CORTANTE EN JUNTAS DE
LOSAS ALVEOLARES Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO**

**TRABAJO FINAL DE MAESTRÍA PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE:
MAGISTER EN INGENIERÍA - ESTRUCTURAS**

DAVID ALFONSO ESPAÑA RODRÍGUEZ

**DIRECTOR DEL TRABAJO:
ING. ISMAEL SANTANA SANTANA**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA – ESTRUCTURAS
BOGOTÁ D.C.**

2015

REVISIONES

Ing. ISMAEL SANTANA SANTANA

Director

Ing. SANDRA JEREZ BARBOSA

Jurado

Ing. CAORI TAKEUCHI TAM

Jurado

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi esposa Carol y mi hija Silvana Sofía, quienes con su amor y paciencia me inspiraron para que este sueño sea una realidad.

A mis padres Alba y Rafael quienes con su modelo de amor y familia aún siguen guiando mis pasos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no hubiera sido posible realizarlo sin la valiosa colaboración de muchas personas que aportaron en gran medida, intelectual, económica y académicamente durante todas las fases del trabajo.

Inicialmente presento mi gratitud a la empresa **Manufacturas de Cemento TITAN S.A.** y en especial a Ingeniero Jaime Gomezjurado quienes suministraron todo el apoyo correspondiente a materiales y mano de obra para la fabricación de las probetas de esta investigación.

Especialmente agradezco el apoyo al Ingeniero Ismael Santana, quien con su amplia experiencia y conocimientos dirigió de manera más que satisfactoria este trabajo, aportando en gran medida al desarrollo del mismo guiando de la mejor forma el rumbo de esta investigación.

A las profesoras Caori Takeuchi y Sandra Jerez quienes con su conocimiento y criterio en el tema aquí desarrollado, aportaron para la finalización del presente trabajo.

A todos los profesores de la Maestría en Estructuras de la Universidad Nacional de Colombia, en especial al Ingeniero Juan Manuel Lizarazo, quien fue un importante apoyo para la facilidad del trabajo en los laboratorios y equipos utilizados durante la fase experimental.

Al personal de laboratorio, en especial al señor Darío Moreno, quienes brindaron toda su ayuda durante la ejecución de los ensayos experimentales.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. OBJETIVOS	13
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	13
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3. GENERALIDADES.....	14
3.1. LOSAS ALVEOLARES	14
3.2. MÉTODOS DE FABRICACIÓN.....	14
3.3. MATERIALES.....	15
3.4. VENTAJAS DE LAS LOSAS ALVEOLARES.....	16
3.5. NORMATIVIDAD	17
4. ESTADO DEL ARTE.....	18
5. PLACAS ALVEOLARES COMO SISTEMAS DE ENTREPISO.....	22
5.1. IMPORTANCIA DE LOS SISTEMAS DE ENTREPISO	22
5.2. SISTEMAS DE ENTREPISO.....	22
5.3. LOSAS ALVEOLARES COMO SISTEMAS DE ENTREPISO	27
5.4. SISTEMAS ALVEOLARES COMO DIAFRAGMA RÍGIDO.....	28
6. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA:	32
7. PROPUESTA EXPERIMENTAL	34
7.1. ENSAYO TIPO 1	34
7.2. ENSAYO TIPO 2	35
7.3. ENSAYO TIPO 3	35
8. METODOLOGÍA.....	36
8.1. CORTANTE POR FRICCIÓN.....	36
8.2. MÉTODO DE DISEÑO DE CORTANTE POR FRICCIÓN	37
8.3. CORTANTE POR FRICCIÓN SEGÚN MANUAL DE DISEÑO DE LOSAS ALVEOLARES DEL PCI.....	39
8.4. CORTANTE EN VIGAS DE GRAN PERALTE	39
9. DISEÑO DE LOS ENSAYOS	41

9.1.	DISEÑO PROBETA TIPO 1:	42
9.2.	DISEÑO PROBETA TIPO 2.....	46
9.3.	DISEÑO PROBETA TIPO 3.....	47
10.	EVALUACIÓN EXPERIMENTAL	50
10.1.	MONTAJE EXPERIMENTAL.....	50
10.1.1.	Equipos Empleados	50
10.1.1.1.	Marco de pruebas.....	50
10.1.1.2.	Cilindro Hidráulico	51
10.1.1.3.	Deformímetros	52
10.2.	FABRICACIÓN DE LOS ESPECÍMENES.....	52
10.2.1.	Fabricación Probeta Tipo 1	55
10.2.2.	Fabricación Probeta Tipo 2.....	56
10.2.3.	Fabricación probeta tipo 3.....	57
10.3.	EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS.....	59
10.3.1.	Ejecución probetas tipo 1.....	59
10.3.1.1.	Probeta 1.1	59
10.3.1.2.	Probeta 1.2.....	61
10.3.1.3.	Probeta 1.3.....	63
10.3.1.4.	Probeta 1.4.....	64
10.3.2.	Ejecución probetas tipo 2.....	65
10.3.2.1.	Probeta 2.1	66
10.3.2.2.	Probeta 2.2.....	67
10.3.2.3.	Probeta 2.3.....	68
10.3.2.4.	Probeta 2.4.....	69
10.3.3.	Ejecución probetas tipo 3.....	69
10.3.3.1.	Probeta 3.1.....	70
10.3.3.2.	Probeta 3.2.....	70
10.3.3.3.	Probeta 3.3.....	71
10.3.3.4.	Probeta 3.4.....	72

11.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	73
11.1.	PROBETAS TIPO 1	74
11.2.	PROBETAS TIPO 2	78
11.3.	PROBETAS TIPO 3	80
12.	ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO.....	84
13.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	87
14.	BIBLIOGRAFÍA.....	90

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. ESQUEMA GENERAL DE UNA LOSA ALVEOLAR.....	14
FIGURA 2. MÁQUINA PARA MANUFACTURA DE LOSAS ALVEOLARES POR SISTEMA MÓVIL.....	15
FIGURA 3 ENTREPISO EN LOSA MACIZA.....	23
FIGURA 4 ENTREPISO EN LOSA ALIGERADA CON POLIESTIRENO.....	23
FIGURA 5 ENTREPISO EN LOSAS CON LÁMINA COLABORANTE O STEEL-DECK.....	24
FIGURA 6 LOSAS DE CAPITEL.....	25
FIGURA 7 LOSAS ALVEOLARES COMO SISTEMA DE ENTREPISO.....	26
FIGURA 8 PARTES DE UNA LOSA ALVEOLAR.....	27
FIGURA 9. DETALLE CONSTRUCTIVO DE UN SISTEMA DE ENTREPISO EN LOSAS ALVEOLARES	30
FIGURA 10. ELEMENTOS DE UN DIAFRAGMA CONSTRUIDO A PARTIR DE LOSAS ALVEOLARES	30
FIGURA 11. ESQUEMA GENERAL DE ENSAYO TIPO 1.....	34
FIGURA 12. ESQUEMA GENERAL DE ENSAYO TIPO 2.....	35
FIGURA 14. ESQUEMA DE CORTANTE POR FRICCIÓN.....	36
FIGURA 15. MODELO ESTADÍSTICO EMPLEADO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CORTANTE POR FRICCIÓN.....	38
FIGURA 16. ESQUEMA GENERAL DE LOS ENSAYOS.....	41
FIGURA 17. CORTE TRANSVERSAL DE LA LOSA ALVEOLAR A ANALIZAR.....	41
FIGURA 18. ESQUEMA GENERAL DEL MONTAJE EXPERIMENTAL.....	42
FIGURA 19. ESQUEMA GENERAL DEL ENSAYO EN PLANTA Y CORTE.....	43
FIGURA 20. EFECTOS ESPERADOS EN EL ENSAYO.....	44
FIGURA 21. CORTE TRASVERSAL DE LA JUNTA DEL ENSAYO TIPO 1.....	44
FIGURA 23. SISTEMA ALVEOLAR CON CAPA DE COMPRESIÓN.....	48
FIGURA 24. CONFIGURACIÓN FINAL DEL MARCO DE PRUEBAS.....	51
FIGURA 25. MONTAJE EXPERIMENTAL.....	51
FIGURA 26. INSTRUMENTACIÓN GENERAL DE LOS ENSAYOS.....	52
FIGURA 27. VIGA DE BORDE.....	53
FIGURA 28. DETALLES DEL REFUERZO SUMINISTRADO EN LA VIGA DE BORDE.....	53
FIGURA 29. DETALLE DE “DESTIJERE” EN LOSA TIPO 1.....	54
FIGURA 30. LOSA TIPO 2 CON REGATA PARA COLOCACIÓN DE REFUERZO DE CORTANTE.....	55
FIGURA 31. DISPOSICIÓN GENERAL DE LA PROBETA TIPO 1.....	55
FIGURA 32. PROBETA TIPO 1 LISTA PARA FUNDICIÓN.....	56
FIGURA 33. PROBETA TIPO 1 TERMINADA.....	56
FIGURA 34. DISPOSICIÓN GENERAL DE LA PROBETA TIPO 2.....	57
FIGURA 35. PROBETA TIPO 2 TERMINADA.....	57
FIGURA 36. DETALLE DE LA JUNTA EN PROBETA TIPO 3.....	58
FIGURA 37. PROBETA TIPO 3 DURANTE PROCESO DE FUNDICIÓN.....	58
FIGURA 38. PROBETA TIPO 3 TERMINADA.....	58
FIGURA 39. MONTAJE PROBETA 1.1.....	60
FIGURA 40. MODO DE FALLA PROBETA 1.1.....	60
FIGURA 41. DETALLES DE FALLA PROBETA 1.1.....	61
FIGURA 42. FALLA POR APLASTAMIENTO EN LA LOSA ALVEOLAR EXTREMO IZQUIERDO.....	61
FIGURA 43. FALLA POR CORTANTE EN LA JUNTA EXTREMO DERECHO.....	62
FIGURA 44. APORTE DEL TENDÓN DE PRE ESFUERZO DE LA LOSA ALVEOLAR AL ENSAYO.....	62
FIGURA 45. FALLA POR TENSIÓN DIAGONAL EN LA LOSA ALVEOLAR.....	63
FIGURA 46. FALLA POR CORTANTE EN LA JUNTA.....	63
FIGURA 47. FALLA POR APLASTAMIENTO EN LA ZONA DERECHA DE LA PROBETA.....	64

FIGURA 48. MECANISMO DE FALLA DE LA PROBETA 1.4	64
FIGURA 49. DESACOPLE TOTAL DE LA PROBETA TERMINADA LA PRUEBA.....	65
FIGURA 50. MODO DE FALLA DE LA PROBETA 2.1	66
FIGURA 51. CONCENTRACIÓN DE ESFUERZOS EN ZONA DE APLICACIÓN DE LA CARGA.....	67
FIGURA 52. MECANISMO DE FALLA DE LA PROBETA 2.2	67
FIGURA 53. APLASTAMIENTO EN ZONA DE APLICACIÓN DE CARGA.....	68
FIGURA 54. MECANISMO DE FALLA DE PROBETA 2.3.....	68
FIGURA 55. MODO DE FALLA DE LA PROBETA 2.4	69
FIGURA 56. MODO DE FALLA DE LA PROBETA 3.1	70
FIGURA 57. MODO DE FALLA DE LA PROBETA 3.2	71
FIGURA 58. APLASTAMIENTO EN ZONA DE CARGA PROBETA 3.2.....	71
FIGURA 59. AGRIETAMIENTO EN LA JUNTA, EVIDENCIA DE FALLA POR CORTE EN LA PROBETA 3.3.....	72
FIGURA 60. AGRIETAMIENTO EN LA JUNTA, EVIDENCIA DE FALLA POR CORTE EN LA PROBETA 3.4.....	72
FIGURA 62. RELACIÓN CARGA VS DESPLAZAMIENTO PROBETA 1.2.....	75
FIGURA 63. RELACIÓN CARGA VS DESPLAZAMIENTO PROBETA 1.3	75
FIGURA 64. RELACIÓN CARGA VS DESPLAZAMIENTO PROBETA 1.4.....	76
FIGURA 65. EXCENTRICIDAD PRESENTE EN EL ENSAYO.....	77
FIGURA 66. DATOS CARGA VS DESPLAZAMIENTO PROBETA 2.2	78
FIGURA 67. DATOS CARGA VS DESPLAZAMIENTO PROBETA 2.3	79
FIGURA 68. DATOS CARGA VS DESPLAZAMIENTO PROBETA 2.4	79
FIGURA 69. DATOS CARGA VS DESPLAZAMIENTO PROBETA 3.2	81
FIGURA 70. DATOS CARGA VS DESPLAZAMIENTO PROBETA 3.3	81
FIGURA 71. DATOS CARGA VS DESPLAZAMIENTO PROBETA 3.4	82

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. VALORES DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN	38
TABLA 2. RESUMEN DE ENSAYOS PROBETAS TIPO 1	59
TABLA 3. RESUMEN PROBETAS TIPO 2	65
TABLA 4. RESUMEN PROBETAS TIPO 3	69
TABLA 5. FORMATO DE REGISTRO DE ENSAYOS.	74
TABLA 6. VALORES DE RESISTENCIA AL CORTANTE PARA PROBETAS TIPO 1.	77
TABLA 7. VALORES DE RESISTENCIA CALCULADA EN LA JUNTA	80
TABLA 8. VALORES DE RESISTENCIA REAL VS CALCULADA PARA PROBETAS TIPO 3	82
TABLA 9. MATRIZ DE RELACIÓN DE RESISTENCIAS	83
TABLA 10. CANTIDAD DE MATERIAL PARA EL ENSAYO 1	84
TABLA 11. CANTIDAD DE MATERIAL PARA EL ENSAYO 2	85
TABLA 12. CANTIDAD DE MATERIAL PARA EL ENSAYO 3	85

EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LA CAPACIDAD A CORTANTE EN JUNTAS DE LOSAS ALVEOLARES Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO

Resumen: A partir de ensayos experimentales se estudió la eficiencia de tres métodos constructivos para un sistema de entrepiso en losas alveolares. Dichos ensayos consistían en la evaluación de la capacidad a cortante en las juntas reforzadas con malla electro soldada, conectores de acero y sin refuerzo, de lo cual se obtuvo que el incremento de la resistencia respecto a los valores teóricos fue de aproximadamente el doble, lo cual confirma que las ecuaciones dadas por los manuales y reglamentos aquí estudiados son bastante conservadoras, dado que dichas ecuaciones se basan en análisis estadísticos que buscan predecir el comportamiento sin comprometer la seguridad en los cálculos. Adicionalmente se verifica que a pesar de haber diseñado los ensayos para que éstos fallaran a corte, esto no siempre fue así ya que se observaron fallas por aplastamiento en la losa alveolar, así como fallas por corte en el mismo elemento, lo cual es evidencia de la eficiencia para la transferencia de cortante de las losas al sistema de resistencia lateral. Finalmente se presenta un análisis de costo-beneficio el cual brinda una idea del incremento en la resistencia de los ensayos en función del costo de materiales invertido para cada tipo de ensayo.

Palabras Clave: Losas Alveolares, Resistencia a Cortante, Juntas.

EXPERIMENTAL EVALUATION OF SHEAR CAPACITY IN HOLLOW CORE SLABS AND REINFORCED CONCRETE BEAMS JOINTS

Abstract: The efficiency of three hollow core slabs construction methods was studied based on experimental tests. Those tests involved shear capacity evaluation in the reinforced joints with welded wire mesh, steel connectors and without reinforcement. It was observed a higher resistance than the theoretical values (approximately twice) thus confirming that the equations given by manuals and regulations studied here are quite conservative since these equations are based on statistical analyzes that predict the behavior without compromising safety in the calculations. Additionally, it was verified that despite the fact that the experimental tests were designed to obtain shear failure this was not always the case as shear failure and fault crush in alveolar slab were observed simultaneously in the same element, which is evidence of shear transfer efficiency from slabs to lateral resistance system. Finally, a cost-benefit analysis is presented which concludes that the higher the investment made for each type of test the increased the load values, which vary from one method to another.

Key Words: Hollow core Slabs, Shear Capacity, Joints.

1. INTRODUCCIÓN

Dadas sus evidentes ventajas en materia de economía, facilidad y efectividad, los sistemas prefabricados, han ganado un importante lugar en el ámbito de la construcción, por esta razón es importante estudiar el comportamiento de dichos sistemas, para validar o no su seguridad.

Los sistemas de losas alveolares, son parte de este gran panorama, los cuales han tomado una importante ventaja en el país, dadas su versatilidad, economía y rapidez en la fase constructiva, sin embargo aún se requiere de evidencias científicas que garanticen su seguridad y funcionalidad, especialmente en lo relacionado con su comportamiento como diafragma rígido.

En el presente documento se presentan los análisis y resultados de un trabajo experimental que pretende evaluar el desempeño de los sistemas alveolares ante el efecto de una carga lateral que genere cortantes en las juntas de la losa y vigas de concreto reforzado, para ello se evaluaron tres tipos de especímenes (cuatro ensayos de cada uno) para un total de doce ensayos, los cuales permiten concluir la efectividad de la transferencia de cortante en las juntas al sistema de resistencia sísmica.

El proceso de evaluación, comprende cuatro importantes fases las cuales se describen en detalle dentro del presente informe, éstas etapas son, una fase previa la cual comprende la revisión del estado del arte mediante una rigurosa investigación bibliográfica, la cual es presentada en el presente documento, posteriormente continúa una fase de análisis y diseño de los especímenes a partir de la información obtenida de anteriores investigaciones, así como de importantes institutos que lideran la implementación de este tipo de sistema constructivo, la fase experimental que comprende los ensayos realizados en el laboratorio de los cuales se extraen datos e imágenes que se utilizarán en la última fase denominada análisis de resultados, en la cual se presentan las respectivas conclusiones de este trabajo.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar experimentalmente, la capacidad a cortante de juntas entre losas alveolares y vigas de concreto reforzado.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un ensayo que pueda construirse en condiciones de laboratorio y en la que se pueda medir la transferencia a cortante entre las losas alveolares y su sistema de apoyo.
- Comprobar experimentalmente la funcionalidad de diferentes procesos constructivos de las juntas entre placas y el sistema de resistencia lateral.
- Determinar la resistencia al corte de las juntas entre placas alveolares y vigas de concreto reforzado.
- Avanzar en el estudio de la rigidez en el plano de sistemas alveolares.

3. GENERALIDADES.

3.1. LOSAS ALVEOLARES

Las losas alveolares, son elementos planos de concreto, prefabricados y pretensados utilizados principalmente como sistemas de losas de entrepiso y de cubierta, adicionalmente también pueden ser usadas como sistemas de muros o puentes.

Se caracterizan por ser elementos aligerados por medio de vacíos continuos denominados alveolos, los cuales reducen notablemente su peso y por lo tanto su costo de fabricación e instalación. Puede apreciarse su geometría típica en la Figura 1.

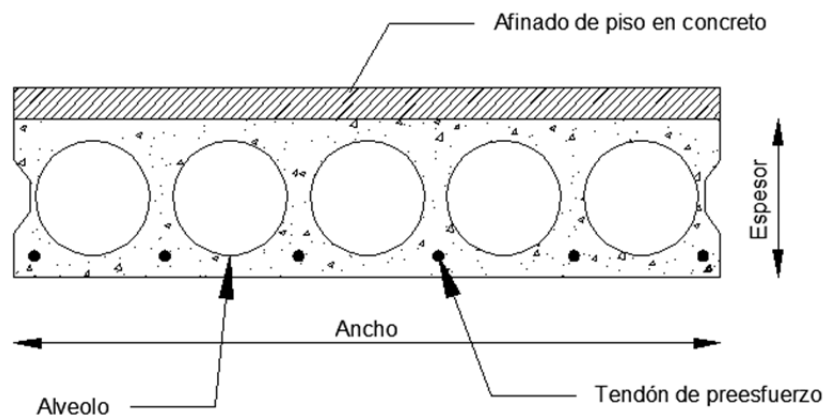


Figura 1. ESQUEMA GENERAL DE UNA LOSA ALVEOLAR

Su geometría puede variar principalmente en función del espesor h , el cual comprende dimensiones desde 8 cm hasta 25 cm, dependiendo del requerimiento en cuanto a cargas y luces.

3.2. MÉTODOS DE FABRICACIÓN

Es importante conocer los métodos de manufactura utilizados para la fabricación de éstos elementos para comprender mejor el concepto de losas alveolares.

Principalmente se pueden distinguir dos métodos para la producción de losas alveolares:

- **SISTEMA DE EXTRUSIÓN:** Este método consistió en forzar el paso de concreto de poco asentamiento a través de una máquina, los alveolos son formados con tubos o moldes los cuales compactarán el concreto.
- **SISTEMA MÓVIL:** Este método consistió en el uso de un concreto de mayor asentamiento, los alveolos son formados por medio de tubos conectados a una máquina los cuales resbalan de los alveolos al moverse la mencionada máquina, la cual se puede apreciar en la Figura 2.



Figura 2. MÁQUINA PARA MANUFACTURA DE LOSAS ALVEOLARES POR SISTEMA MÓVIL
(Fuente Dezhou Haitian Electromechanical Technology)

3.3. MATERIALES

Como ya se mencionó, las placas alveolares se pueden fabricar a partir de dos tipos de mezclas, una de poco asentamiento y otra de asentamiento normal. La de bajo asentamiento, generalmente utiliza una relación agua-cemento que garantice la total hidratación del cemento utilizado (0.3 generalmente). Dada esta baja relación es común la utilización de aditivos reductores de agua que optimicen la mezcla y reduzcan la cantidad de agua y cemento requeridos.

Para la mezcla de asentamiento normal, se utilizan mezclas con relaciones agua-cemento en el rango de 0.40-0.45, dependiendo del sistema de fabricación a usar, el asentamiento debe estar alrededor de 2" a 5"

Los agregados utilizados generalmente son de un tamaño máximo de 3/4", debido a que el área de confinamiento es limitada y se requiere de una mayor densificación de la mezcla, además de que las resistencias deseadas en este tipo de elementos suelen ser relativamente altas (mayor de 35MPa), lo cual es más fácil de obtener con agregados más finos.

Los tendones de pretensado son usados en una mayor variedad de tamaños, siendo la tendencia, la utilización de más de 1/2" de diámetro, aunque pueden llegarse a utilizar diámetros menores dependiendo de los requerimientos de la losa, el acero que se emplea es generalmente de baja relajación, con el objetivo de minimizar las pérdidas en el preesfuerzo del elemento alveolar.

3.4. VENTAJAS DE LAS LOSAS ALVEOLARES

Con el objetivo de ilustrar la razón de la gran acogida de los sistemas alveolares dentro de la ingeniería civil se pueden describir algunas ventajas de dicho sistema constructivo:

- Sistema económico
- Versatilidad en cuanto al uso (Pueden ser usadas como entresijos, cubiertas, muros o puentes)
- Proveen la eficiencia de un elemento preesforzado (capacidad de carga, control de deflexiones, rápida instalación, etc.)
- Importantes propiedades acústicas (aislador de sonido)
- Alta resistencia al fuego
- Los alveolos pueden ser utilizados como ductos para instalaciones eléctricas y de comunicaciones.

3.5. NORMATIVIDAD

El presente trabajo se basa en los lineamientos dados por las normas vigentes en materia de prefabricados y concreto preesforzado, de acuerdo con los siguientes documentos:

- NSR-10: “Reglamento Colombiano de Diseño y Construcción Sismo resistente”, Título C, Capítulo C.16.
- ACI-318: “American Concrete Institute” Capítulo 18 “Concreto Preesforzado”
- PCI “Prestressed Concrete Institute” “Manual for Design of Hollow core Slabs”

4. ESTADO DEL ARTE

Alrededor del mundo se han realizado diversas investigaciones estudian las losas alveolares, las cuales se han evaluado desde distintos puntos de vista, principalmente como sistemas de entrepiso donde se han estudiado efectos de flexión y corte ante cargas verticales y laterales; adicionalmente se han llevado a cabo investigaciones para valorar el comportamiento ante ataques por fuego y aislamiento acústico entre otros.

Considerando que el tema central de estudio de la presente propuesta es la capacidad a cortante en las juntas entre placas y vigas, a continuación se citan algunas investigaciones que involucran este efecto en el estudio de las losas alveolares:

- **Presstressed Concrete Institute (PCI):** El PCI, posee algunos documentos en los que se dictan ciertas disposiciones o recomendaciones para el diseño y montaje de elementos, prefabricados en los que se incluye las placas alveolares.

¹*El manual de diseño de losas alveolares (Manual for Design of Hollowcore Slabs-1998), en el capítulo 2 indica el procedimiento de diseño para cortante, así como las disposiciones dadas por ACI-318.*²

²*En el PCI Journal, se han publicado algunos estudios referentes a las placas alveolares, y el efecto del cortante en las mismas, en las que se analiza las previsiones dadas por ACI-318, y los resultados y análisis experimentales dados por tres fabricantes estadounidenses y una investigación referente al código europeo. Finalmente presentan los resultados de las investigaciones y recomendaciones para futuras investigaciones.*

Entre otras investigaciones se destaca la publicada por Sanputt Simasathien y Shih-Ho Chao, en PCI Journal, quienes basaron su investigación en la utilización de concreto fibroreforzado en la construcción de sistemas alveolares, encontrando que para el caso de

1- Presstressed Concrete Institute – Manual for design of Hollow Core Slabs Second Edition (PCI-1998). Chicago Illinois

2- Neil M. Hawkins, S. K. Gosch – Shear Strenght of Hollow Core Slabs – Presstressed Concrete Institute.

cortante lateral, los resultados experimentales duplicaron los valores calculados bajo las metodologías dadas por ACI 318.

Otra investigación desarrollada por Ryan M. Mones y Sergio F. Breña, y publicada para la misma revista, se realizó con el objetivo de determinar la capacidad a cortante en juntas de losas alveolares construidas con diferentes tipos de mezclas de concreto (mezclas secas y húmedas), de tal forma que se pueda determinar el efecto de dichas mezclas en la resistencia al cortante de este tipo de sistema constructivo.

- **RWTH Aachen University (Alemania)**: ³*Capacidad a cortante de losas alveolares en construcciones de piso delgado*⁴. Esta investigación, basada en la evidencia de que la resistencia al cortante se reduce cuando las losas alveolares están apoyadas en soportes flexibles tales como vigas delgadas. El objetivo del estudio fué analizar el comportamiento de las placas alveolares sometidas a cortante, y apoyadas en vigas de acero de poco peralte. Al final de la investigación se dan algunas recomendaciones de diseño, para el caso particular de construcciones de piso delgado.
- **Umea University (Suecia)**: ⁴*Pruebas y análisis de resistencia al cortante de unidades alveolares con capa de compresión*. En función de lo anteriormente dicho, se sabe que para los sistemas de entrepiso construidos con unidades alveolares, generalmente se funde una capa final de concreto, la cual tiene la función de brindar al sistema una buena capacidad para resistir esfuerzos cortantes. En la citada investigación se estudia el efecto de la reducción del espesor de la unidad alveolar, pero aumentando el correspondiente a la capa de cobertura, se concluye en el estudio que es evidente la mejora en la capacidad al corte, obteniendo un aumento del orden de 35%, respecto a la unidad trabajando sola.

3-J. Hegger, T. Roggendorf , N. Kerkeni Shear capacity of prestressed hollow core slabs in slim floor constructions – RWTH

4 -Ulf Arne Girhammar , Matti Pajari - **Tests and analysis on shear strength of composite slabs of hollow core units and concrete topping** – Umea University Sweden.

- **Decimotercera Conferencia Mundial de Ingeniería Sísmica:** ⁵⁻*Experimentos del Desempeño Sísmico de sistemas de entrepiso en losas alveolares en edificios prefabricados de hormigón*. Esta investigación trata el estudio del comportamiento de construcciones que utilizan las losas alveolares como entrepiso. En ella se puede observar el estudio de los detalles en las conexiones, entre unidades alveolares y el sistema de resistencia sísmica, encontrando como resultado que al utilizar cantidades relativamente pequeñas de material convencional, se puede mejorar notablemente el comportamiento de la estructura

- **King Fahd University of Petroleum and Minerals (Arabia Saudi):** ⁶⁻*Resistencia a la flexión y al corte de losas alveolares pretensadas*. Esta investigación se centró en analizar el modo de falla de algunos especímenes de losas alveolares a escala real, los cuales se sometieron a flexión y cortante, de tal forma que se intenta mostrar que las expresiones dadas por ACI subestiman la resistencia a cortante de las placas alveolares, por lo que al final proponen una modificación a dicho reglamento basados en el estudio anteriormente descrito.⁵

A nivel local, se han realizado investigaciones referentes a los sistemas de placas alveolares, en los cuales se incluye el estudio del efecto del cortante tanto vertical como longitudinal en los sistemas de entrepiso fabricados a partir de losas alveolares:

- **Universidad de los Andes – (Bogotá – Colombia):** ⁷⁻ Evaluación experimental de la capacidad a cortante en juntas entre losas alveolares de concreto preesforzado-. Esta investigación se enfoca en el estudio de las fuerzas cortantes y en la capacidad de las juntas formadas entre las losas para transmitir dichos esfuerzos al sistema principal de resistencia. Como se mencionó anteriormente el sistema alveolar se considera como

5- Renee A LINDSAY, John B MANDER and Des K BULL - **EXPERIMENTS ON THE SEISMIC PERFORMANCE OF HOLLOW-CORE FLOOR SYSTEMS IN PRECAST CONCRETE BUILDINGS** - 13th World Conference on Earthquake Engineering - University of Canterbury

6- M. K. Rahman · M. H. Baluch · M. K. Said · M. A. Shazali - **Flexural and Shear Strength of Prestressed Precast Hollow-Core Slabs** - King Fahd University of Petroleum and Minerals

7- Kure Bernal Santiago. **EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LA CAPACIDAD A CORTANTE EN JUNTAS ENTRE LOSAS ALVEOLARES DE CONCRETO PREESFORZADO.** Universidad de Los Andes.

diafragma rígido de acuerdo a los criterios de diseño que rigen en la actualidad, por este motivo, ésta investigación también analiza el efecto del cortante longitudinal sobre las juntas, de tal forma que al final de la investigación se puede comprobar la capacidad de las mismas para transferir cortante entre placas.

Dada la importancia de las juntas en el comportamiento estructural como diafragma rígido de los sistemas alveolares, esta investigación pretendía evaluar mediante pruebas de laboratorio la capacidad para la transferencia de cortante en las juntas longitudinales de dichos sistemas.

Al final de esta investigación se encontró que la geometría de estos elementos favorece notablemente la capacidad de transferir el cortante entre ellas, adicionalmente se validaron procesos de diseño de estos elementos basados en las recomendaciones dadas por el PCI, y al igual que la investigación presentada, se obtuvieron valores experimentales que excedían en más de dos veces los valores calculados.

Una vez revisado el estado del arte referente a la temática que aquí nos ocupa, se puede establecer que en la actualidad se cuenta con numerosas investigaciones que validan la eficiencia de los sistemas alveolares como entrepiso, bien sea que estos se analicen trabajando bajo cargas verticales u horizontales, siendo estas últimas sin embargo, las que más inquietudes generan dado que dichos sistemas se ensamblan por módulos, esto implica que deba garantizarse una adecuada transferencia de las cargas contenidas en el plano del entrepiso hacia el sistema de resistencia sísmico, esto se logra mediante una adecuado diseño tanto de las juntas entre losas o paneles y entre las losas y el sistema de resistencia lateral, lo cual es estudiado en el presente trabajo de investigación.

5. PLACAS ALVEOLARES COMO SISTEMAS DE ENTREPISO.

5.1. IMPORTANCIA DE LOS SISTEMAS DE ENTREPISO

Las edificaciones constituyen un importante elemento de la sociedad, debido a que en ellas se lleva a cabo gran parte de la vida de las personas, bien puede estar cumpliendo su función como vivienda, oficinas, instituciones educativas, hospitales etc., por lo que es necesario garantizar la seguridad e integridad de los ocupantes, ante eventos que puedan comprometer la estabilidad de la estructura.

A través de los años se han mejorado notablemente los métodos de diseño y construcción, siendo una tendencia la implementación de sistemas que agilicen técnica y económicamente dichos procesos, llegando al mercado nuevos productos y procesos que aunque facilitan los métodos constructivos, aún no se han estudiado en detalle, razón por la cual no se puede definir con claridad ni los métodos de diseño ni los constructivos.

Ahora bien, dado que los elementos de una estructura deben trabajar en forma conjunta, de tal forma que las demandas de carga a las que se vea expuesta, sean transmitidas de forma eficiente al sistema de resistencia sísmica, es fundamental tener en cuenta la acción del entrepiso en un sistema estructural, ya que es aquí donde se concentran gran parte de las cargas y donde inicia el flujo de las mismas.

5.2. SISTEMAS DE ENTREPISO

- **Sistema de Losa Maciza:**

Dentro de los sistemas estructurales para entrepisos de edificaciones se pueden distinguir algunos tradicionales y muy utilizados debido a su facilidad en cuanto a prácticas constructivas y de diseño, tales como el sistema monolítico de placa y viga o sistemas de losa maciza, tal y como se muestra en la Figura 3. Dicho sistema es utilizado cuando no sea necesario cubrir grandes luces y la demanda de cargas sea relativamente baja.



Figura 3 Entrepiso en losa maciza
(Fuente: Centro de Información, Innovación y Recursos Educativos de Elda)

- **Sistema de losa aligerada**

Otro sistema muy utilizado es el de placas aligeradas o placas nervadas, el cual consistió básicamente en reducir la masa de concreto mediante la utilización de casetones, de tal forma que las tracciones sean asumidas por el refuerzo embebido en los nervios y de esta forma se optimiza la utilización de material constructivo, un ejemplo de este sistema se presenta en la Figura 4.



Figura 4 Entrepiso en losa aligerada con poliestireno
(Fuente: Centro de Información, Innovación y Recursos Educativos de Elda)

- **Losas en Lámina Colaborante**

Una variación del sistema de losas nervadas o aligeradas, que ha tenido gran acogida en los últimos años, es la losa de lámina colaborante o Steel-Deck, la cual básicamente consistió en un sistema de entrepiso el cual se funde sobre una lámina de acero que es la encargada de tomar los esfuerzos de tensión generados por las solicitaciones de la edificación en reemplazo del refuerzo en barras, así como de la misma formaleta, reduciendo notablemente tiempos y costos de construcción. Se puede apreciar el sistema en lámina colaborante en la Figura 5.



Figura 5 Entrepiso en losas con lámina colaborante o Steel-Deck
(Fuente: Manual de Metaldeck Acesco)

- **Losas de Capitel**

Un sistema poco utilizado en la actualidad, dada su inconveniencia en cuanto requisitos sísmo resistentes son las losas de capitel, las cuales consistían en un sistema compuesto por losa la cual es sostenida por medio de elementos denominados capiteles, los cuales transmiten la carga a las columnas según se muestra en la Figura 6.

Dada su baja eficiencia en cuanto a comportamiento sísmico, este sistema no está permitido por la NSR-10.

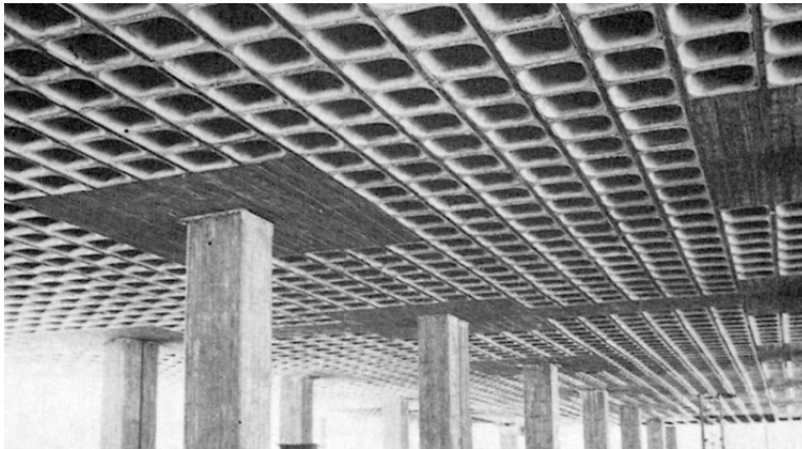


Figura 6 Losas de Capitel
(Fuente: Construmatica.com)

- Sistemas industrializados

Finalmente se encuentran sistemas industrializados para el montaje de entrepisos, los cuales han aportado para que nuevas formas de construcción mucho más eficientes en términos constructivos lleguen a la oferta del campo de la ingeniería, el uso de estos productos se ve reflejado en ahorro de tiempo y por tanto en economía para los constructores, aunque aún no han sido completamente probados, y todavía requieren de estudios que demuestren su fiabilidad en términos de seguridad e integridad estructural, aunque se sabe que si bien poseen una ductilidad reducida, el comportamiento es bueno.

- Otros sistemas

Entre otros sistemas aligerados se pueden citar algunos de muy poco uso actual pero que en algún momento fueron empleados en la construcción de entrepisos como son:

- Losas en bloque de escoria
- Losas en bloque de arcilla
- Losas en bloque de mortero

- Losas Alveolares

Un sistema muy utilizado en la actualidad para la construcción de entrepisos de edificaciones son las denominadas “**Losas Alveolares**”, los cuales básicamente

consistían en elementos prefabricados, pretensados que cumplen la función de placa de entrepiso, comportándose de manera relativamente buena ante cargas de servicio verticales tales como cargas vivas y muertas, pero que aún genera cierta incertidumbre en cuanto a su comportamiento bajo cargas laterales y principalmente su acción como diafragma rígido, cuando no se funde el afinado de piso sobre dicho sistema, concepto que se explica más adelante.

En el manual de diseño de losas alveolares del Instituto de Concreto Preesforzado se definen las losas alveolares de la siguiente forma: “*Una losa alveolar es un elemento prefabricado y preesforzado con vacíos continuos que reducen el peso del elemento y, en consecuencia, costos y, como beneficio añadido, para uso en casos eléctricos y/o mecánicos concebidos. Pueden ser usados principalmente como losas que funcionan como sistemas de piso o cubierta. Pero además pueden ser utilizados para muros y placas de puentes*”.

Según se muestra en la Figura 7 y la descripción dada por el PCI, se define la configuración de losas alveolares como sistema de entrepiso.



**Figura 7 Losas Alveolares como sistema de entrepiso
(Fuente: Titán Cemento S.A.)**

5.3. LOSAS ALVEOLARES COMO SISTEMAS DE ENTREPISO

Las losas alveolares, se han constituido como una alternativa de gran acogida en la industria de la construcción, debido a muchos factores que optimizan el proceso constructivo, tales como rapidez, economía, facilidad de montaje, desempeño, entre otros.

Las losas alveolares son sistemas prefabricados en concreto preesforzado, que disponen en su estructura de orificios de aligeramiento denominados alveolos, los cuales también pueden ser usados como ductos de instalaciones eléctricas o mecánicas. Generalmente se construye una capa adicional de concreto la cual es la responsable de brindar la capacidad como diafragma de este tipo de entrepisos. Se puede apreciar un esquema general de dicho sistema en la Figura 8.

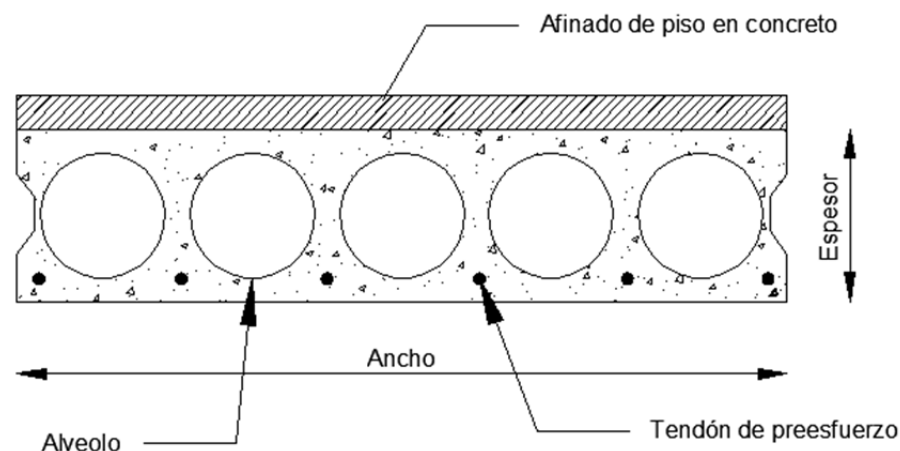


Figura 8 Partes de una losa alveolar

La metodología de diseño aplicada para el diseño y construcción de este tipo de sistemas está dada según las disposiciones dadas en los reglamentos NSR-10 y ACI 318, adicionalmente el Instituto del Concreto Prefabricado dicta algunas disposiciones y recomendaciones en el “**Manual de Diseño de Losas Alveolares**”, (PCI 1998).

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, tiene en cuenta la utilización de sistemas prefabricados en el Título C, **Capítulo C.16**, en el cual se dicta algunas disposiciones para el diseño estructural de elementos en concreto prefabricado

tales como losas alveolares, en este capítulo se incluyen las disposiciones para considerar fuerzas entre elementos (C.16.3), diseño de los elementos (C.16.4), Integridad Estructural (C.16.5), Diseños de Conexiones y Apoyos (C.16.6), entre otras consideraciones.

Aunque se dictan algunas disposiciones importantes para tener en cuenta, no está completamente clara la metodología tanto de diseño como de construcción de los sistemas de placas alveolares.

5.4. SISTEMAS ALVEOLARES COMO DIAFRAGMA RÍGIDO

La acción como diafragma rígido de los sistemas alveolares se garantiza con la construcción de una capa final de compresión, en concreto la cual en unión con las juntas, es la encargada de brindar el comportamiento mencionado.

En el capítulo 4 del Manual de Diseño de losas Alveolares del PCI, se da alguna información referente a la acción como diafragma de las losas alveolares, en este se indica las consideraciones a tenerse en cuenta para el diseño de este tipo de entrepisos:

*⁸ Cuando las losas alveolares se utilizan en pisos o cubiertas para soportar cargas verticales, lo natural es usar las losas como un diafragma para que también resistan y transmitan las cargas laterales. Las cargas laterales son aplicadas en edificaciones en forma de presiones laterales del suelo, cargas de viento o cargas sísmicas. La función de un diafragma es recibir las cargas aplicadas en los elementos de la edificación y transmitirlas a los elementos de resistencia lateral que a su vez las llevan a los cimientos. Las consideraciones para el diseño de diafragmas alveolares **son el diseño de las conexiones entre paneles, la resistencia y ductilidad del sistema alveolar para transmitir estas cargas a los elementos de resistencia lateral y el diseño de las conexiones para descargar las cargas laterales del diafragma a los elementos de resistencia lateral**⁷*

⁸ Manual de Diseño de Losas Alveolares. Sección 4.1. Acción como Diafragma de Losas Alveolares. PCI. 1998.

Puede notarse que para utilizar el sistema alveolar como diafragma rígido, se debe considerar el diseño de las conexiones entre paneles y las conexiones al sistema de resistencia lateral.

Adicionalmente el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 en el Capítulo C-21 correspondiente a los requisitos de diseño Sismo Resistente, también tiene en cuenta la acción como diafragma de los sistemas prefabricados, como pieza fundamental de los requisitos de integridad estructural de las edificaciones con capacidad especial de disipación de energía (DES):

C.21.11.4 — Afinado de piso (“topping”) compuesto construido en sitio actuando como diafragma

Se permite el uso como diafragma de un afinado de piso compuesto construido en sitio sobre un piso o cubierta prefabricados siempre que el afinado de piso se refuerce y la superficie del concreto previamente endurecido sobre la cual se coloca el afinado de piso debe estar limpia, libre de lechada y debe hacerse intencionalmente rugosa.

C.21.11.5 - Afinado de piso (“topping”) construido en sitio actuando como diafragma

Se permite que un afinado de piso no compuesto construido en sitio sobre un piso o cubierta prefabricado sirva como diafragma estructural siempre que el afinado de piso construido en sitio por sí mismo este diseñado y detallado para resistir las fuerzas sísmicas de diseño.

La diferencia entre el afinado de piso compuesto y el no compuesto radica principalmente en que el primero cuenta con un refuerzo que brinda una mayor resistencia al compararlo con el no compuesto.

Puede notarse que la acción como diafragma para sistemas prefabricados, se puede considerar siempre y cuando se construya el afinado de piso. De tal forma que la acción como diafragma no solo se concentra en el sistema de losas alveolares y sus respectivas juntas sino que la rigidez necesaria para su acción se la proporciona el afinado de piso y su correspondiente refuerzo, tal y como se indica en la Figura 9.

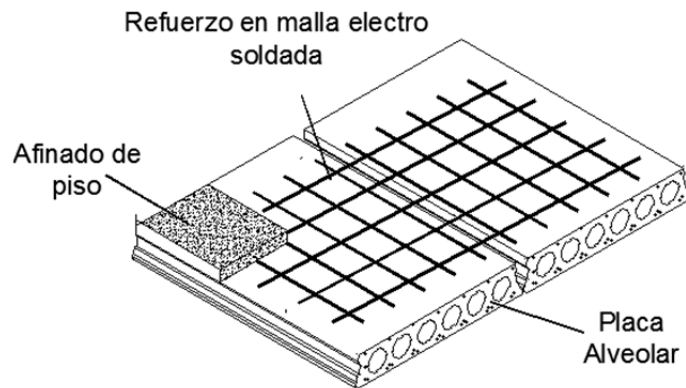


Figura 9. Detalle constructivo de un sistema de entepiso en losas alveolares

Adicionalmente es necesario considerar los requisitos de integridad estructural que para el caso colombiano está dado en la NSR-10 en el capítulo C.16.

5.4.1. Distribución de las Cargas Laterales:

Dentro de un sistema alveolar la transferencia de cargas laterales se da en función de los elementos formados dentro del diafragma o la losa que se esté analizando.

Un esquema que representa los elementos formados dentro de un diafragma alveolar se presenta en la Figura 10.

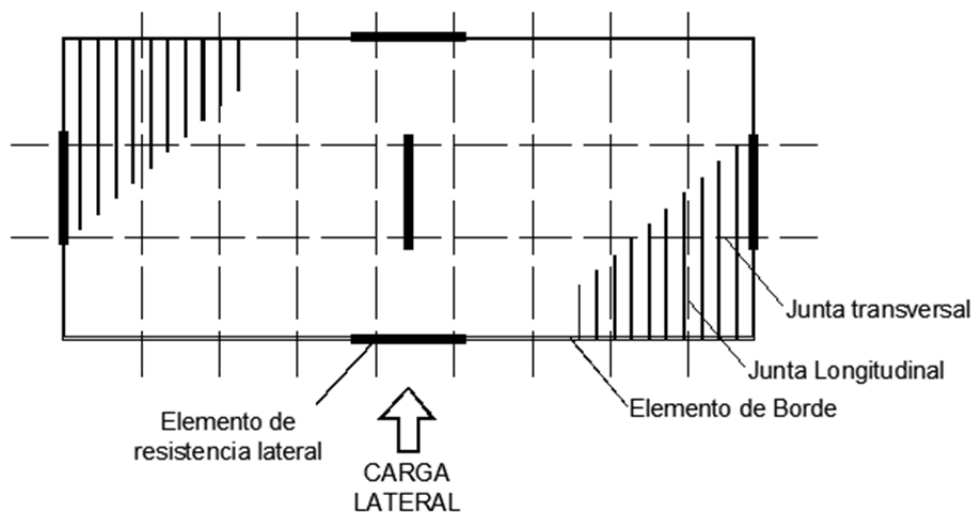


Figura 10. Elementos de un diafragma construido a partir de losas alveolares
(Esquema adaptado de Manual de Diseño de Losas Alveolares- PCI)

- **Elemento de frontera:** Elemento de extremo alrededor del perímetro del diafragma o de la abertura de un diafragma que lo mantiene unido. Un elemento de frontera puede funcionar como
- **Colector:** Elementos que transfieren los esfuerzos cortantes del diafragma a los elementos de resistencia lateral.
- **Junta transversal:** Junta orientada perpendicularmente a la extensión de la losa.

Según las definiciones dadas previamente y el modelo de ensayo descrito y mostrado en la Figura 10 se establece que las juntas que se van a ensayar dentro del alcance de esta investigación son juntas transversales.

Según la definición dada por el manual del PCI, se establece que para la junta transversal se puede determinar la resistencia al corte según los criterios dados en la sección 4.6.1. Juntas Longitudinales y 4.6.2., Juntas Transversales

6. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA:

El acelerado avance de la industria de la construcción ha generado la implementación de nuevas tecnologías y procesos que agilizan de manera considerable los procesos constructivos y de diseño.

Uno de los mencionados procesos de gran acogida en los últimos años, y particularmente en Colombia, es el sistema de losas alveolares, sistema utilizado como entrepiso en edificaciones; que si bien se ha comprobado un buen comportamiento bajo cargas verticales, aún plantea muchos interrogantes en cuanto a su comportamiento bajo cargas laterales, tales como sismos, cargas de viento, empujes de tierra; por lo tanto se hace necesario comprobar si el sistema es efectivo bajo el efecto de éstas acciones.

Una serie de investigaciones a nivel internacional y nacional, han intentado identificar el comportamiento bajo cargas laterales, estudiando la capacidad a cortante de las juntas entre placas y el sistema de resistencia sísmica, obteniendo resultados satisfactorios. Sin embargo aún se presentan interrogantes en cuanto al comportamiento de las juntas formadas entre las placas y el sistema de resistencia lateral, lo cual cuestiona la capacidad para la transferencia de cargas desde el entrepiso al sistema de resistencia sísmica, y por lo tanto su comportamiento como diafragma rígido.

Las técnicas actuales permiten evaluar el sistema como un diafragma rígido, siempre y cuando se funda un afinado de piso sobre las losas alveolares, haciendo que pierda efectividad desde el punto de vista económico dado que dicho proceso implica una inversión económica mayor que si se trabaja con las placas solas.

Según lo anterior aún hay un gran interrogante en cuanto a la capacidad a cortante de las juntas formadas entre las placas y vigas, para diferentes procesos constructivos lo que lleva a plantear la pregunta: **¿Cuál es la capacidad a cortante de las juntas entre losas alveolares y el sistema de resistencia lateral?**

Si bien la investigación no brinda al final una conclusión específica respecto al comportamiento como diafragma rígido de estos sistemas, si es un considerable avance hacia futuras investigaciones, teniendo en cuenta que ya existen estudios que han comprobado la capacidad de las juntas entre placas.

7. PROPUESTA EXPERIMENTAL

Con el objetivo de determinar la resistencia al cortante en las juntas de losas alveolares y vigas de concreto reforzado, se construyeron tres tipos de ensayo para realizar los análisis correspondientes y definir la eficiencia de cada método constructivo, teniendo en cuenta aspectos de economía funcionalidad, y seguridad para la estructura considerada.

7.1. ENSAYO TIPO 1

El primer fue el ensayo de espécimen construido a partir de una placa alveolar colocada entre dos vigas de concreto reforzado, las cuales son fundidas en dos etapas, la primera corresponde a la fundición de los elementos de apoyo (vigas) hasta una altura que permite apoyar el elemento alveolar, en la segunda se complementa la parte faltante de la viga y la junta para constituir el sistema de entrepiso alveolar. En este tipo de ensayo se consideró únicamente la junta fundida solamente con el concreto que se vertió en la segunda etapa de fundición, por lo cual se esperaba que éstos tengan la menor capacidad a cortante comparando con los otros dos tipos que se explican más adelante. El esquema general del ensayo tipo 1 puede apreciarse en la Figura 11.

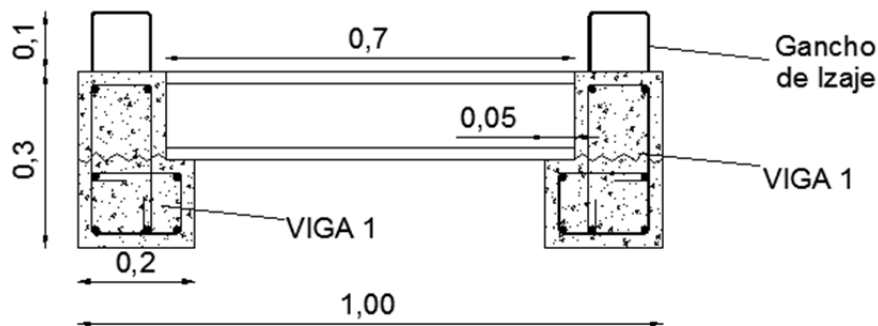


Figura 11. Esquema general de ensayo tipo 1 (dimensiones en metros)

7.2. ENSAYO TIPO 2

El segundo caso consistió en el ensayo de un espécimen de placa alveolar colocada entre dos vigas de concreto reforzado fundidas en dos etapas. A diferencia del caso anterior, en éste se colocaron pasadores de cortante según se aprecia en la Figura 12, esperando una mayor capacidad al cortante en este tipo de ensayo.

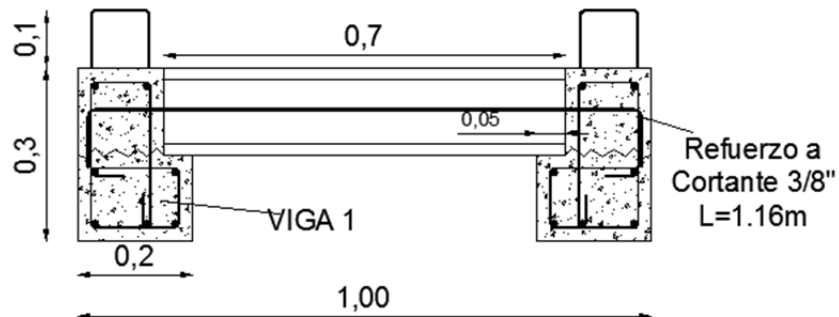


Figura 12. Esquema general de ensayo tipo 2 (dimensiones en metros)

7.3. ENSAYO TIPO 3

Finalmente se realizó un tercer tipo de ensayo, el cual consistió en un espécimen, construido a partir de una placa alveolar colocada entre dos vigas de concreto reforzado, que a diferencia de los casos anteriores, tenía un terminado final en concreto de 45mm de espesor y reforzado con malla electro soldada de 4mm C /0.15m, como se observa en la Figura 13, esperando la mayor resistencia a cortante de los tres tipos.

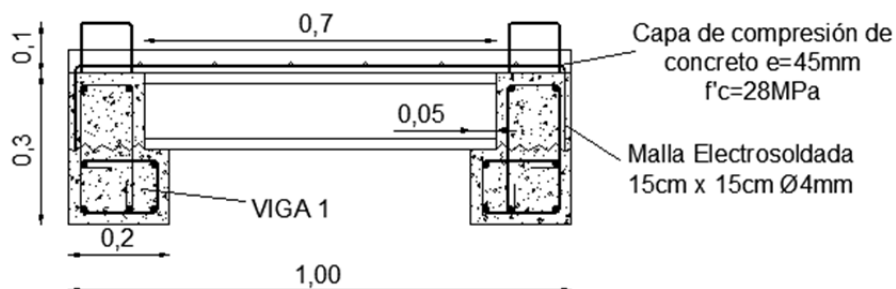


Figura 13. Esquema general de ensayo tipo 3 (dimensiones en metros)

8. METODOLOGÍA

8.1. CORTANTE POR FRICCIÓN

Para el diseño de los ensayos del presente estudio, se tuvo en cuenta la teoría del cortante por fricción del ACI, el cual brinda una herramienta para el análisis y diseño de elementos solicitados a corte, cuando en estos no se presentan efectos de tensión diagonal, como es el caso de las uniones prefabricadas.

El enfoque del cortante por fricción, consistió en la suposición de que se generará una fisura en una ubicación predeterminada la cual es producida por una fuerza de corte q a su vez es resistida por la fricción entre las superficies en contacto y el refuerzo del elemento en caso de existir, lo cual se puede apreciar en el esquema de la Figura 14.

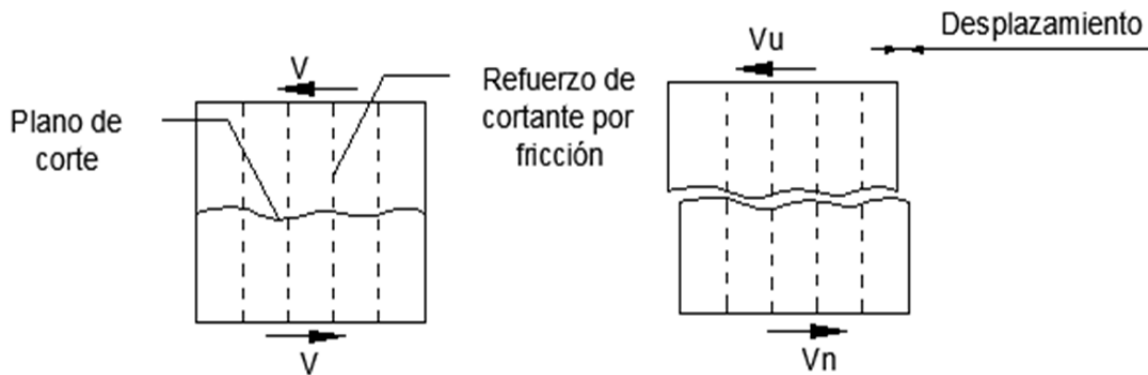


Figura 14. ESQUEMA DE CORTANTE POR FRICCIÓN
(Esquema basado en CIRSOC Capítulo 14)

Entre las aplicaciones más habituales del diseño de cortante por fricción se encuentran, para superficies de concretos fundidas a distintas edades, superficies en contacto entre acero y concreto o las uniones en elementos prefabricados de concreto.

8.2. MÉTODO DE DISEÑO DE CORTANTE POR FRICCIÓN

Como es habitual en la mayoría de casos de diseño por cortante, se puede representar la resistencia requerida en términos de la resistencia como:

$$V_u \leq \phi V_n$$

Dónde:

- V_u = Resistencia al corte requerida
 V_n = Resistencia nominal a cortante por fricción
 ϕ = Factor de reducción de resistencia = 0.75

La resistencia nominal a cortante se calcula:

$$V_n = A_{vf} * f_y * \mu$$

Es decir que

$$V_u \leq \phi * A_{vf} * f_y * \mu$$

Por lo que normalmente se determina el área de refuerzo a suministrar como:

$$A_{vf} \geq \frac{V_u}{\phi * f_y * \mu}$$

Debido a que la resistencia al corte, en realidad es proporcionada por la fricción entre las caras de la fisura y la armadura de refuerzo, es necesario afectar los valores de resistencia por medio de un coeficiente de fricción μ .

Dichos coeficientes predicen valores conservadores de resistencia en función del tipo de concreto a emplear, y la superficie contra la que se funde, según se muestra a continuación:

Hormigón Colocado monólicamente	1.4λ
Hormigón colocado sobre hormigón endurecido con la superficie intencionalmente rugosa.	1.0λ
Hormigón colocado sobre hormigón endurecido cuya superficie no se ha hecho intencionalmente rugosa	0.6λ
Hormigón anclado a placas o perfiles de acero laminado estructural por medio de pasadores con cabeza o barras de armadura	0.7λ

Tabla 1. Valores del coeficiente de fricción μ

Donde λ es el parámetro que tiene en cuenta la menor resistencia al corte de los concretos livianos y los concretos de agregados livianos y arena. siendo $\lambda = 1,0$ para hormigón de peso normal, $\lambda = 0,85$ para hormigón de agregados livianos y arena y $\lambda = 0,75$ para "hormigón de agregados livianos."

Los anteriores valores constituyen el límite inferior de una serie de datos obtenidos de un gran número de ensayos (según Figura 15), esto con el objetivo de brindar un confiable nivel de seguridad al momento de realizar cualquier diseño.

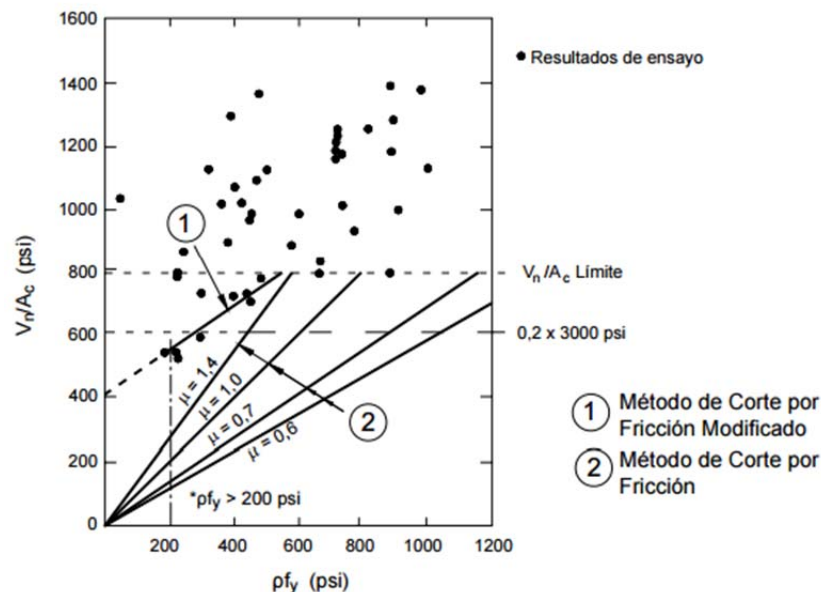


Figura 15. Modelo estadístico empleado para la determinación del cortante por fricción.
(Fuente CIRSOC Capítulo 14)

8.3. CORTANTE POR FRICCIÓN SEGÚN MANUAL DE DISEÑO DE LOSAS ALVEOLARES DEL PCI.

Dentro del documento del PCI, se encuentran algunas consideraciones a tener en cuenta para el diseño a cortante en las juntas basadas en la teoría del cortante por fricción.

Las juntas en losas unidas con concreto tienen la capacidad de transferir cortante longitudinal. Usando un esfuerzo cortante de 80 psi (0.55 MPa), la resistencia última utilizable para cortante longitudinal es:

$$\phi V_n = \phi * (0.05) * h_n * l$$

Donde

l = Longitud de la junta considerada

h_n = Altura neta de la junta

ϕ = 0.85

Cuando la resistencia del concreto se excede o se requiere un comportamiento dúctil, los principios del cortante de fricción explicados en la sección 8.2 del presente documento pueden ser utilizados para diseñar el refuerzo perpendicular a las juntas. Este refuerzo puede colocarse en las juntas dentro de los alveolos o en los extremos de las losas.

8.4. CORTANTE EN VIGAS DE GRAN PERALTE

Dadas las condiciones en que se desarrollarán los ensayos del presente estudio, se tiene en cuenta la teoría de cortante en vigas de gran peralte, ya que el ensayo planteado tiene una semejanza con este tipo de elementos.

Como parte del estudio del cortante en placas alveolares, se puede estudiar el efecto del cortante en vigas de gran peralte, dada la similitud entre estos dos tipos de elementos.

Las vigas de gran peralte son elementos que se caracterizan por tener una relación Luz/Peralte menor que 2, dichos elementos se caracterizan por demandar una baja cantidad de acero por flexión además de que el concreto rara vez presenta problemas por compresión, por lo anterior se concluye que el esfuerzo dominante en este tipo de elementos es el cortante.

Es importante proteger las zonas cercanas a los apoyos por efecto de las cargas de compresión diagonal ya que la concentración de cortante puede ser crítica.

La carga máxima esperada para este tipo de elementos se puede determinar aproximadamente mediante la ecuación:

$$V_{max} < \phi * 0.08 * b_w * h * f'_c$$

Varias teorías confirman que el refuerzo suministrado a este tipo de vigas considera el control de fisuración más que la resistencia como tal de la viga.

Lo anterior puede traducirse en que debido a la gran rigidez de este tipo de elementos, su resistencia es alta, sin embargo con el tiempo pueden llegar a presentarse fisuraciones excesivas que reducen notablemente la resistencia del elemento.

9. DISEÑO DE LOS ENSAYOS

Los ensayos propuestos se plantearon para determinar la resistencia a cortante de las juntas transversales formadas entre las placas alveolares y las vigas de concreto reforzado sobre las que van apoyadas, para ello se propuso un montaje en el laboratorio (Figura 16) y que permitiera medir la resistencia a cortante de las juntas transversales, y de esta forma avanzar en el estudio como diafragma de las losas alveolares.

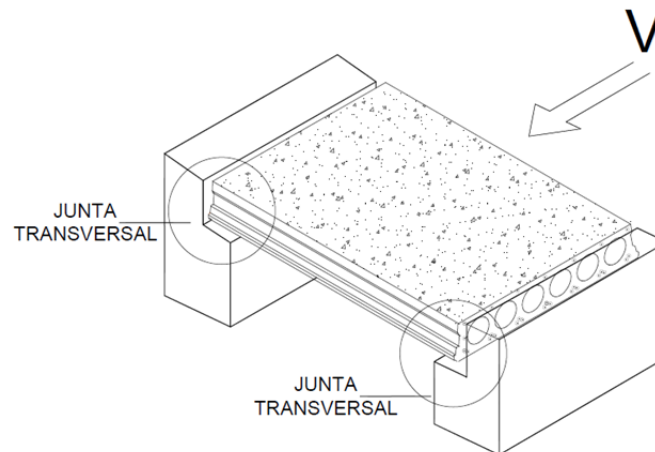


Figura 16. Esquema General de los Ensayos

A partir del esquema mostrado en la Figura 17 se determinaron las condiciones de ensayo en cuanto a geometría de la placa alveolar la cual es igual para todos los ensayos.

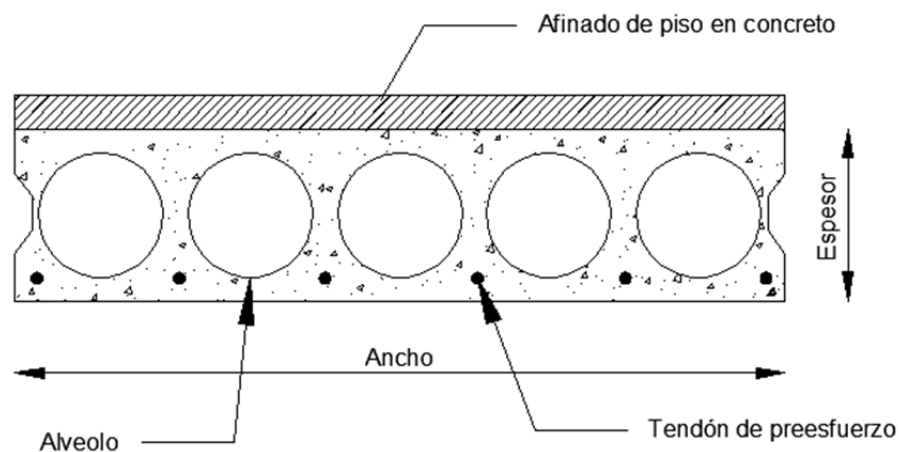


Figura 17. CORTE TRANSVERSAL DE LA LOSA ALVEOLAR A ANALIZAR

Adicionalmente fue necesario definir las condiciones de carga que se aplicaron a la estructura, según se aprecia en la Figura 18 y Figura 25. Dichas condiciones fueron utilizadas para todos los ensayos.

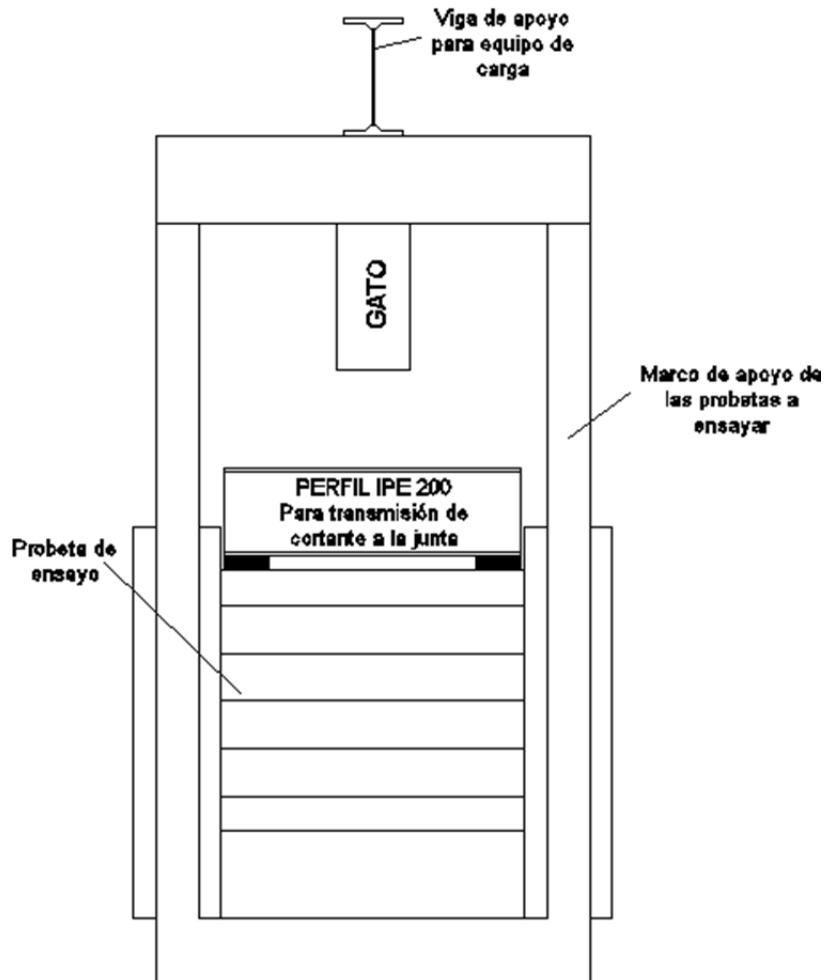


Figura 18. Esquema general del montaje experimental

9.1. DISEÑO PROBETA TIPO 1:

Como ya se había mencionado, el caso 1 consistió en el montaje de un espécimen armado de tal forma que las juntas transversales de éste se construyen únicamente con el concreto que alcance a penetrar dentro de los alveolos, es decir que la capacidad a cortante está dada únicamente por el concreto de la junta.

En la Figura 19, se puede apreciar la geometría general del ensayo correspondiente a este caso, en el Anexo 1 se puede observar en detalle las características del mismo.

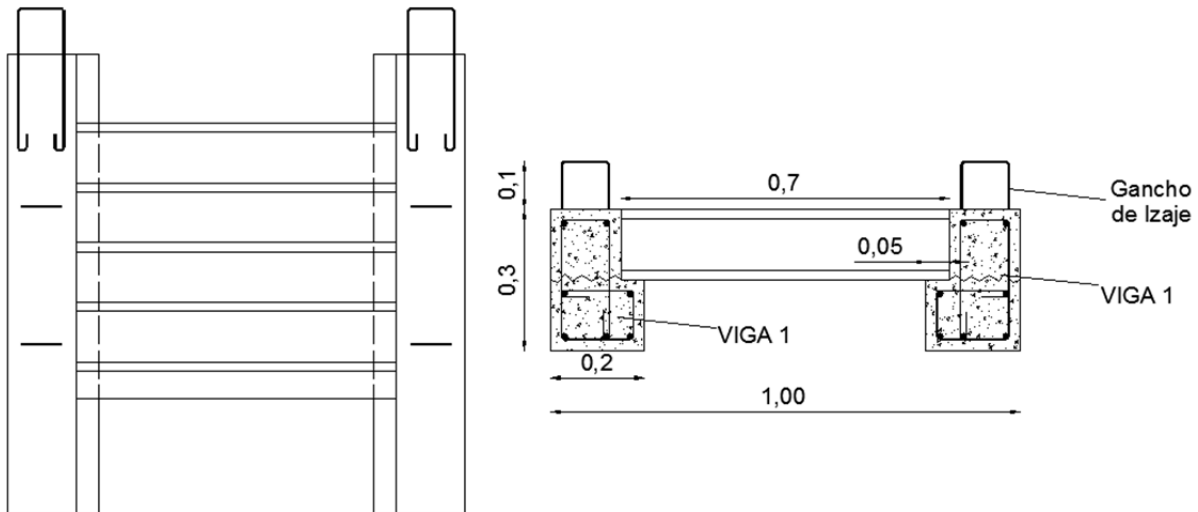


Figura 19. Esquema general del ensayo en planta y corte

Una vez definidas las condiciones geométricas de la estructura, se establecieron las condiciones de carga para generar los efectos necesarios para cumplir con los objetivos de éste trabajo, para ello se aplicará la carga de tal manera que en el espécimen únicamente se presentaran efectos de corte, o que los efectos de flexión sean despreciables. La aplicación de la carga se muestra en la Figura 20, en la que se puede apreciar que las platinas adicionales al perfil anulan el efecto de flexión sobre el espécimen.

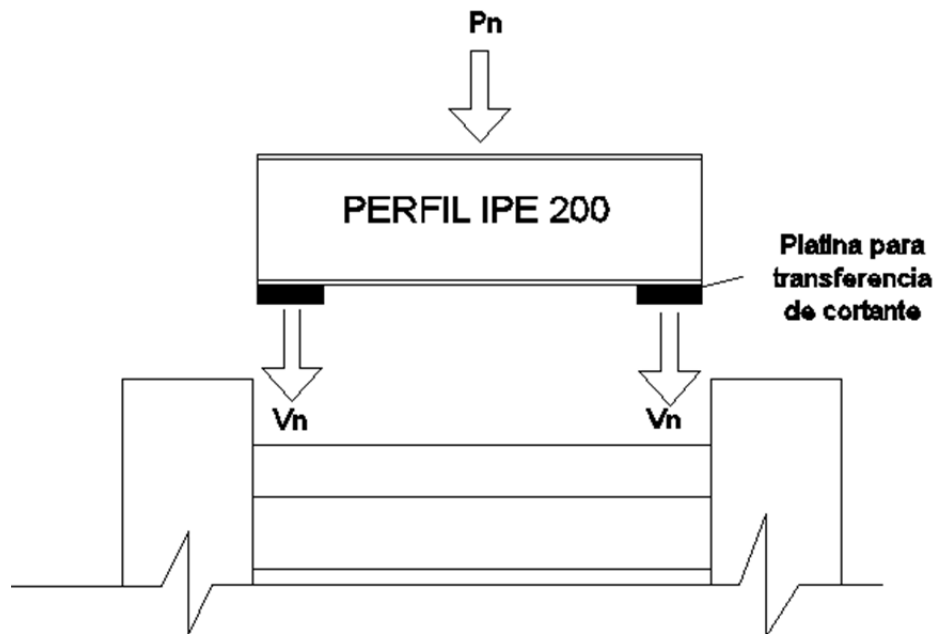


Figura 20. Efectos esperados en el ensayo

El caso 1, como se había mencionado previamente, tiene la particularidad que la junta formada entre la viga y la losa alveolar, solo se construye con el concreto de fundición según se indica en la Figura 21, para ello hay que tener algunas consideraciones.

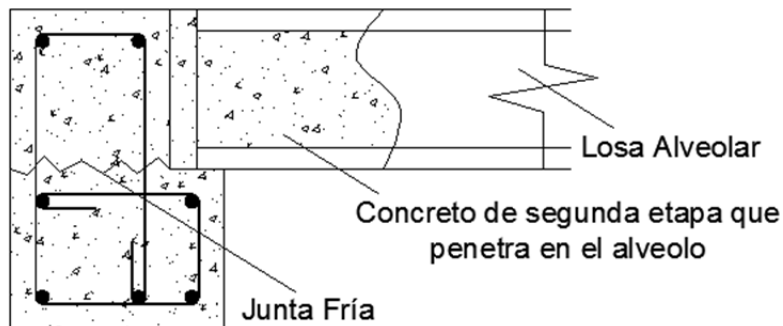


Figura 21. Corte transversal de la junta del ensayo tipo 1.

De acuerdo con la metodología presentada se procede a establecer la resistencia de las probetas de ensayo para lo cual debe considerarse que el concreto utilizado en este tipo de juntas tiene una resistencia al esfuerzo cortante de 80 PSI o 0.55MPa para lo cual se establece lo siguiente:

$$V_n = (0.55)h_n l$$

Donde

V_n = resistencia al corte

l = longitud de la junta considerada = 600mm

h_n = altura de la junta = 150mm

Como para el caso del ensayo descrito no se utilizó el factor de reducción de resistencia ϕ , dado que se trataba de establecer la resistencia nominal del elemento, tal y como se describe a continuación:

$$V_n = (0.55)h_n l$$

$$V_n = (0.08) \times 150 \times 600$$

$$V_n = 49500N$$

Cabe mencionar que este valor equivale a la resistencia de cada junta.

Con el valor de cortante obtenido, se procedió a determinar el valor de la carga necesaria para el ensayo, considerando un ensayo de cortante puro, sin considerar los momentos generados ya que estos en teoría no existirían.

$$V_a = V_b = 49500N$$

$$P = V_a + V_b = 99000N = 10Ton$$

De lo anterior se concluye que la carga promedio esperada para este tipo de ensayo es de 10Ton.

Los detalles constructivos de los especímenes del caso 1, se encuentran en el anexo 1.

9.2. DISEÑO PROBETA TIPO 2

El segundo ensayo a diferencia del primero ensayo consideraba que las juntas estaban reforzadas con pasadores según se muestra en la Figura 22. Adicionalmente las condiciones geométricas, de carga y de apoyo fueron iguales que para el caso 1.

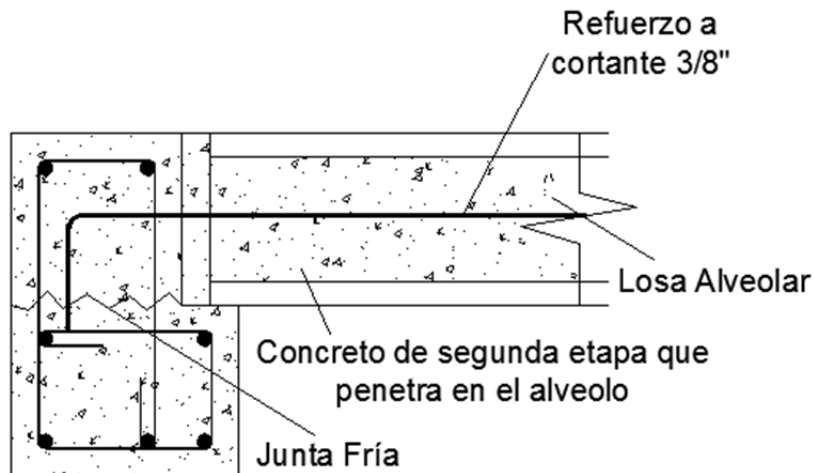


Figura 22. Ensayo tipo 2, junta armada con refuerzo transversal.

Para este caso se consideró que la capacidad a cortante estaba dada exclusivamente por los pasadores de acero instalados en el espécimen de ensayo. Según se detalla en el manual de diseño de losas alveolares del PCI, en la sección 4.6, se calculó la capacidad a cortante según la ecuación 4.6.2, la cual establece:

$$V_n = A_{vf} * f_y * \mu$$

Donde

A_{vf} = Área de refuerzo transversal

V_u = Cortante aplicado en la junta .

μ = Factor de amplificación de cortante (1.4 para cortante en las juntas transversales debido al concreto que entra en los alveolos)

Como para el caso que se estudiaba, no se requirió que las fuerzas fueran mayoradas ni las capacidades de los materiales reducidas, por lo cual no se tuvo en cuenta el factor ϕ ni se mayoró la carga V .

De esta forma se tiene que para un espécimen reforzado transversalmente con dos pasadores de 3/8", la capacidad a cortante estará dada por:

$$\begin{aligned}V_n &= A_{vf} * f_y * \mu \\A_{vf} &= 2 * 71 = 142 \text{ mm}^2 \\f_y &= 420 \text{ MPa} \\ \mu &= 1.4 \\V_n &= 142 * 420 * 1.4 \\V_n &= 83496 \text{ N}\end{aligned}$$

Una vez establecida la capacidad a cortante se estableció el valor de la carga total de falla:

$$\begin{aligned}P &= 2 * V_u = 166992 \text{ N} \\P &= 17040 \text{ kg} = 17 \text{ Ton}\end{aligned}$$

Los detalles constructivos de los especímenes del caso 2, se encuentran en el anexo 1.

9.3. DISEÑO PROBETA TIPO 3

El caso 3 corresponde al espécimen descrito en la Figura 9, la diferencia con los ensayos anteriores en que este espécimen dispuso de un acabado final de una capa de compresión de 4.5cm de espesor y que contaba con el refuerzo de retracción y temperatura calculado según NSR-10, el cual estará dado por una malla electro soldada, según se describe en la Figura 23.

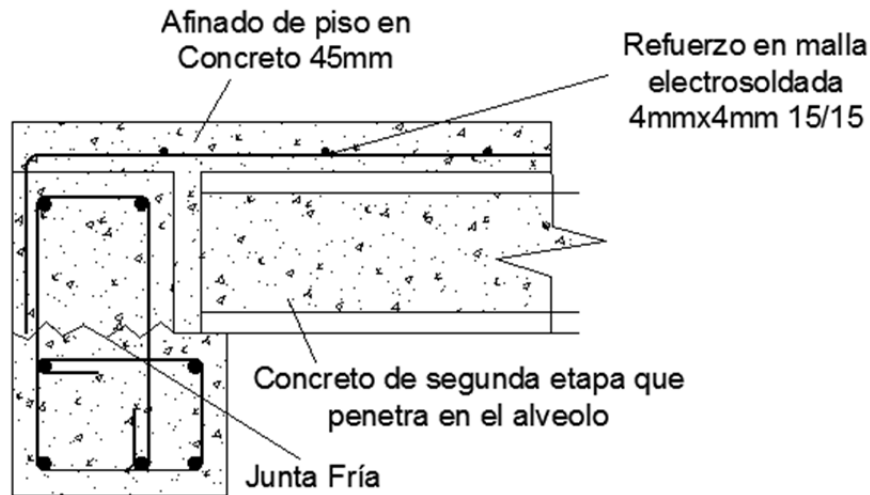


Figura 23. SISTEMA ALVEOLAR CON CAPA DE COMPRESIÓN

Para el cálculo de la capacidad a cortante se tuvieron en cuenta tres factores:

$$V_n = V_{cf} + V_c + V_s$$

<i>Aporte del mortero de inyección en la junta.</i>	<i>(Vcf)</i>
<i>Aporte del concreto de la capa de compresión.</i>	<i>(Vc)</i>
<i>Aporte del refuerzo electro soldado.</i>	<i>(Vs)</i>

Según lo anterior se estableció que el cortante por fricción aportado por el concreto de la junta, era igual que el calculado para el caso 1:

$$V_{cf} = 49500N = 5.0Ton$$

El aporte a cortante del concreto de la capa de compresión, se determinó según la ecuación C11-3 de NSR-10, la cual establece que:

$$V_c = 0.17 * \lambda * \sqrt{f'_c} * b * d$$

$$V_c = 0.17 * \sqrt{28} * 8.17 * 1$$

Finalmente el aporte dado por la malla electro soldada, se determinó según la sección C.11.4.7.5, de la NSR-10, la cual establece que:

$$V_s = A_v * f_y * \text{Sen}\alpha$$

Donde $\alpha=90^\circ$, y $A_v=50.3\text{mm}^2$ es decir:

$$V_s = 50.3 * 420 = 21126\text{N} = 2.2\text{Ton}$$

Una vez se estableció la capacidad a cortante de las juntas se procedió a determinar la carga necesaria para producir dicho efecto:

$$V_n = V_{cf} + V_c + V_s$$

$$P = 2 * (V_{cf} + V_c + V_s) = 2 * 9.7\text{Ton}$$

$$P = 19.4\text{Ton}$$

Los detalles constructivos de los especímenes del caso 3, se encuentran en el Anexo 1.

10. EVALUACIÓN EXPERIMENTAL

Para el montaje experimental se utilizaron diferentes equipos para medir cargas y deformaciones, para establecer el comportamiento de cada espécimen de ensayo y de esta forma definir qué método constructivo es el mejor, teniendo en cuenta aspectos de funcionalidad, seguridad y economía.

10.1. MONTAJE EXPERIMENTAL

Para el montaje experimental se utilizaron como base cuatro equipos para todos los tipos de ensayos, estos son: el marco de pruebas, el gato hidráulico, deformímetros y equipo de procesamiento de datos.

10.1.1. Equipos Empleados

Para la realización de los ensayos experimentales se utilizó el marco de pruebas disponible en el laboratorio del Instituto de Extensión e Investigación IEI, para lo cual se realizó el correspondiente análisis de resistencia ante los efectos más críticos esperados durante los ensayos.

10.1.1.1. Marco de pruebas

El marco de pruebas se adaptó para las condiciones de carga y geometría del ensayo descrito anteriormente según se presenta en la Figura 24.



Figura 24. Configuración final del marco de pruebas.

10.1.1.2. Cilindro Hidráulico

Para la aplicación de la carga, se utilizó un cilindro hidráulico Enerpac RR-5013, el cual dispone de una capacidad máxima de empuje de 55.3Ton, y una carrera de 13 pulgadas. El cilindro fue montado sobre el marco de pruebas según se muestra en la Figura 25.



Figura 25. Montaje experimental

10.1.1.3. Deformímetros

Si bien no es el objetivo fundamental del presente estudio, se utilizó como complemento, la instrumentación descrita en la Figura 26. Para la medición de desplazamiento en las probetas ensayadas se colocaron tres deformímetros marca Mitutoyo con precisión de 0.001mm, dispuestos en el centro y los extremos de la losa, para medir el desplazamiento durante la fase del ensayo.



Figura 26. Instrumentación general de los ensayos.

10.2. FABRICACIÓN DE LOS ESPECÍMENES

Con base en la información obtenida de la fase de diseño se construyeron cuatro especímenes de cada uno de los casos a evaluar, obteniendo así un total de doce probetas. Se utilizó el proceso constructivo empleado en los diferentes proyectos que usan losas alveolares como sistema de entrepiso.

Dado que los tipos de probetas ensayadas presentan similitudes en cuanto a geometría y partes a ensamblar, se presenta en las Figuras 27 y 28 las características generales de los elementos.



Figura 27. Viga de borde

La viga de borde consistió en un elemento en concreto reforzado de 1.0m de longitud, reforzado de acuerdo a la Figura 28, de igual se puede apreciar los detalles con mayor claridad en el Anexo 1.

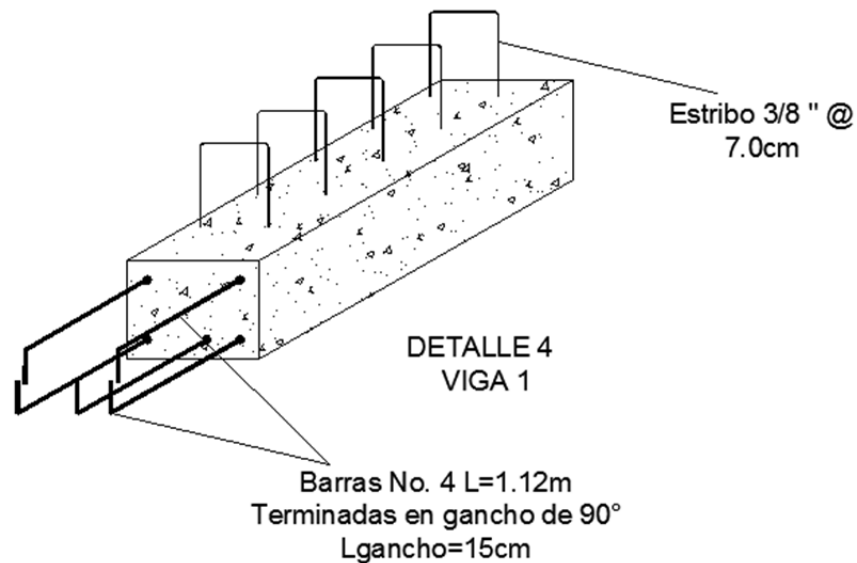


Figura 28. Detalles del refuerzo suministrado en la viga de borde

La viga se fundió en dos etapas, la primera, hasta la mitad de la misma, dejando expuestos los estribos como pudo apreciarse en las anteriores imágenes, posteriormente se fundió el resto de la viga en una segunda etapa, donde además se ensamblaron con la losa alveolar y se reforzó de acuerdo al tipo de ensayo explicados previamente. Los detalles constructivos de cada espécimen de ensayo se pueden apreciar en el Anexo 1.

Las losas alveolares a emplear, tienen la geometría detallada en la Figura 11 del presente documento, sin embargo, de acuerdo al tipo de ensayo, estas presentan detalles particulares para cada uno según se describe a continuación:

- La losa tipo 1 fue utilizada en los Casos 1 y 3 presentados previamente, ésta tiene la particularidad de un detalle de borde denominado “destijere” el cual tiene la función de facilitar la penetración de concreto en los alveolos de la losa al momento de su fundición, el detalle es presentado en la Figura 29.



Figura 29. Detalle de “destijere” en losa tipo 1

- La losa tipo 2 consistió en un elemento alveolar al cual se le realizó una regata a lo largo de la misma, con el objetivo de introducir un refuerzo (barra de acero corrugada), dentro del alveolo, el cual, durante la fundición fue rellenado de concreto, dejando la varilla embebida, y actuando como refuerzo a corte. El detalle de la losa tipo 2 es presentado en la Figura 30.



Figura 30. Losa tipo 2 con Regata para colocación de refuerzo de cortante

Una vez definidos los elementos se procedió a fundir las probetas de ensayo, de acuerdo a los diseños ya presentados.

10.2.1. Fabricación Probeta Tipo 1

Como ya se explicó, la probeta tipo 1, consistió en una losa tipo 1, soportada entre dos vigas, la cual se funde sin refuerzo, procurando que la mayor cantidad de concreto penetrara en los alveolos de tal forma que el aporte a cortante fuera suministrado únicamente por el concreto. La forma general del ensayo y el proceso de fundición se puede apreciar en las Figuras 31, 32 y 33.



Figura 31. Disposición general de la probeta tipo 1.



Figura 32. Probeta tipo 1 lista para fundición



Figura 33. Probeta tipo 1 terminada.

10.2.2. Fabricación Probeta Tipo 2

La probeta tipo 2 consistió en una losa alveolar tipo 2, apoyada sobre dos vigas en concreto reforzado, dentro de la regata de la losa se colocó una barra corrugada de 3/8" la cual actuó como refuerzo a cortante en el espécimen. La disposición y proceso constructivo de dicho ensayo, es presentado en las Figuras 34 y 35.



Figura 34. Disposición general de la probeta tipo 2.



Figura 35. Probeta tipo 2 terminada.

10.2.3. Fabricación probeta tipo 3.

La probeta tipo 3 consistió en una losa alveolar tipo 1, apoyada sobre dos vigas en concreto reforzado, la cual fue reforzada por medio de una malla electro soldada, que se coloca sobre la placa, y es embebida en una capa de concreto de 45mm de espesor aproximadamente. Los detalles del proceso de fundición son presentadas en las Figuras 36, 37 y 38.



Figura 36. Detalle de la junta en probeta tipo 3.



Figura 37. Probeta tipo 3 durante proceso de fundición.



Figura 38. Probeta tipo 3 terminada.

10.3. EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS

Una vez fundidas las probetas a se procedió a realizar su montaje según se indicó en la Figura 25, al momento del ensayo las probetas tenían una edad de 105 días, y habían cumplido un periodo de fraguado, secado y curado.

Con el objetivo de estimar la carga máxima esperada para cada tipo de ensayo, se ensayó el primer espécimen de cada tipo, sin instrumentación, esto con el fin de evitar posibles daños en los equipos de medición de deformación y evaluar el comportamiento general de las probetas ante la aplicación de las cargas.

10.3.1. Ejecución probetas tipo 1.

En la Tabla 1 se pueden observar los resultados obtenidos para las probetas tipo 1, en cuanto a carga y tipo de falla.

PROBETAS TIPO 1		
PROBETA	CARGA DE FALLA (Kg)	TIPO DE FALLA
1.1	25190	Corte en la junta
1.2	28785	Corte en la junta y aplastamiento de la losa
1.3	23190	Corte en la losa y la junta
1.4	23850	Corte en la junta

Tabla 2. Resumen de ensayos probetas tipo 1

A continuación se presenta una breve descripción de los tipos de falla obtenidos para cada uno de los ensayos presentados en la Tabla 2.

10.3.1.1. Probeta 1.1

La probeta 1.1 presentó falla por cortante en la junta derecha (vista desde la Figura 39), a 25.2Ton de carga, es decir que la junta resistió 12.6Ton aproximadamente.



Figura 39. Montaje Probeta 1.1

La característica más notable de la falla de la probeta 1, fue su fragilidad, es decir que dicha falla se presentó de forma violenta generando el desacople total de la viga con la losa, según se muestra en la Figura 40.



Figura 40. Modo de falla probeta 1.1

Además del tipo de falla ya mencionado, se pudo observar que el aporte al cortante ejercido sobre la junta fue suministrado por el concreto que alcanzó a penetrar en los alveolos, tal como puede apreciarse en la Figura 41.



Figura 41. Detalles de falla probeta 1.1

10.3.1.2. Probeta 1.2.

La probeta 1.2 presentó una falla simultánea entre cortante en la losa y aplastamiento en el sector de la aplicación de la carga de la losa alveolar, tal y como se aprecia en las Figuras 42 y 43.



Figura 42. Falla por aplastamiento en la losa alveolar extremo izquierdo



Figura 43. Falla por cortante en la junta extremo derecho

Esta probeta contó con la particularidad de no presentar una falla completamente frágil dado que la falla no se presentó únicamente en la junta de la probeta, sino que la losa presentó falla por aplastamiento en el sector donde ésta se estaba cargando, de tal forma que el tendón de pre esfuerzo mantuvo la integridad del espécimen como se aprecia en la Figura 44, sin embargo esto fue garantía de dicha integridad.



Figura 44. Aporte del tendón de pre esfuerzo de la losa alveolar al ensayo

10.3.1.3. Probeta 1.3.

La probeta 1.3 presentó un mecanismo de falla caracterizado por cortante presentado simultáneamente en la losa, la junta y aplastamiento en la zona de aplicación de la carga, según se muestra en las Figuras 45, 46 y 47.



Figura 45. Falla por tensión diagonal en la losa alveolar



Figura 46. Falla por cortante en la junta



Figura 47. Falla por aplastamiento en la zona derecha de la probeta

La falla presentada contó con la característica de ser frágil ya que esta se presentó de forma abrupta, sin embargo se mantuvo la integridad de la probeta, es decir que los elementos de la probeta no se desacoplaron, nuevamente gracias al aporte de los tendones de la losa alveolar.

10.3.1.4. Probeta 1.4.

Finalmente la probeta 1.4, presentó una falla similar a la de la probeta 1, es decir por cortante en la junta, caracterizada una vez más por ser una falla frágil y violenta, según se muestra en la Figura 48.



Figura 48. Mecanismo de falla de la probeta 1.4

Nuevamente la resistencia al cortante es suministrada por el concreto penetrado en los alveolos, esta vez no hubo aporte de los tendones de la losa, lo cual generó un desacople total de los elementos de la probeta al momento del desmontaje, según se aprecia en la Figura 49.



Figura 49. Desacople total de la probeta terminada la prueba

10.3.2. Ejecución probetas tipo 2.

La Tabla 3 presenta un resumen de los resultados obtenidos para las probetas tipo 2, en cuanto a mecanismo y carga de falla.

PROBETAS TIPO 2		
PROBETA	CARGA DE FALLA (Kg)	TIPO DE FALLA
2.1	34450	Corte en la junta
2.2	35780	Corte en la junta
2.3	31935	Corte en la junta
2.4	32260	Corte en la junta

Tabla 3. Resumen Probetas tipo 2

Se presenta a continuación una breve descripción de los resultados obtenidos para las probetas tipo 2.

10.3.2.1. Probeta 2.1

Si bien la falla presentada se caracterizó por su fragilidad, como era de esperarse el refuerzo suministrado aportó lo necesario para mantener la integridad del elemento, es decir que este mantuvo su configuración a pesar de haber perdido la rigidez en la junta (Ver Figura 43). Sin embargo también cabe resaltar que alcanzó a observarse aplastamiento en la zona de aplicación de la carga, muy seguramente por concentración de esfuerzos en dicha zona según se muestra en la Figuras 50 y 51.



Figura 50. Modo de falla de la probeta 2.1



Figura 51. Concentración de esfuerzos en zona de aplicación de la carga.

10.3.2.2. Probeta 2.2.

En la probeta 2.2 se obtuvo un modo de falla muy similar a la probeta 2.1, es decir que se presentó falla en la junta pero el acero de refuerzo aseguró la integridad del espécimen, según se puede apreciar en la Figura 52. Cabe anotar que nuevamente se pudo apreciar que se alcanzó a generar aplastamiento en el sector de aplicación de la carga, según muestra la Figura 53.



Figura 52. Mecanismo de falla de la probeta 2.2



Figura 53. Aplastamiento en zona de aplicación de carga

10.3.2.3. Probeta 2.3

La probeta 2.3, al igual que las dos anteriores presentó una falla por cortante en la junta e igualmente el refuerzo mantuvo la integridad de la probeta. Según se aprecia en la Figura 54.



Figura 54. Mecanismo de falla de probeta 2.3

10.3.2.4. Probeta 2.4

La probeta 2.4 mantuvo la constante de los ensayos anteriores presentando una falla por cortante en la junta, y manteniendo la integridad del ensayo, según se puede apreciar en la Figura 55.



Figura 55. Modo de falla de la probeta 2.4

10.3.3. Ejecución probetas tipo 3.

En la Tabla 4 se presenta el resumen de los resultados de las probetas tipo 3 para carga y modo de falla.

PROBETAS TIPO 3		
PROBETA	CARGA DE FALLA (Kg)	TIPO DE FALLA
3.1	40130	Corte en la junta
3.2	44270	Aplastamiento en losa alveolar
3.3	51210	Corte en la losa
3.4	43565	Corte en la junta

Tabla 4. Resumen Probetas tipo 3

Se presenta a continuación una breve descripción de los modos de falla presentados en las probetas tipo 3.

10.3.3.1. Probeta 3.1.

Presentó falla por cortante en la junta, generando gran daño a la viga de apoyo, según se puede apreciar en la Figura 56, se pudo observar rotura total de la malla electro soldada en la zona de la junta, por lo que se presume que ésta no aportó en gran medida a la integridad de la estructura.



Figura 56. Modo de falla de la probeta 3.1

10.3.3.2. Probeta 3.2

Se presenta falla por aplastamiento en la losa alveolar, impidiendo el incremento de carga del gato hidráulico, no se observó evidencia de falla en las juntas, por lo que se concluye que el tipo de ensayo es sumamente efectivo ante cargas laterales. Se puede apreciar en la Figura 57, que la probeta mantuvo su integridad, presentando daño únicamente en la zona de carga de la viga (Figura 58).



Figura 57. Modo de falla de la probeta 3.2



Figura 58. Aplastamiento en zona de carga probeta 3.2

10.3.3.3. Probeta 3.3

La probeta 3.3 se caracterizó por ser la que más carga resistió antes de fallar por cortante en la losa ante una carga de 51Ton aproximadamente, sin embargo a diferencia del ensayo anterior, éste si alcanzó a presentar señales de falla en la junta, según la Figura 59, por lo que se presume que se presentó una falla simultanea entre cortante en la junta y aplastamiento en la zona de aplicación de la carga.



Figura 59. Agrietamiento en la junta, evidencia de falla por corte en la probeta 3.3

10.3.3.4. Probeta 3.4

La probeta 3.4 presentó una carga de falla de 43.5Ton aproximadamente, manteniéndose dentro del rango promedio de los ensayos de este tipo, la falla se caracterizó por presentar agrietamiento en la losa, sin afectar notablemente las juntas, según indica la Figura 60, lo cual indica una falla en el elemento alveolar antes de la junta.



Figura 60. Agrietamiento en la junta, evidencia de falla por corte en la probeta 3.4

11. ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo a la instrumentación presentada en la sección 7.1, se obtienen los datos de carga vs desplazamiento para cada ensayo, de acuerdo a la disposición de deformímetros presentada en la Figura 61, la cual es igual para todos los ensayos.

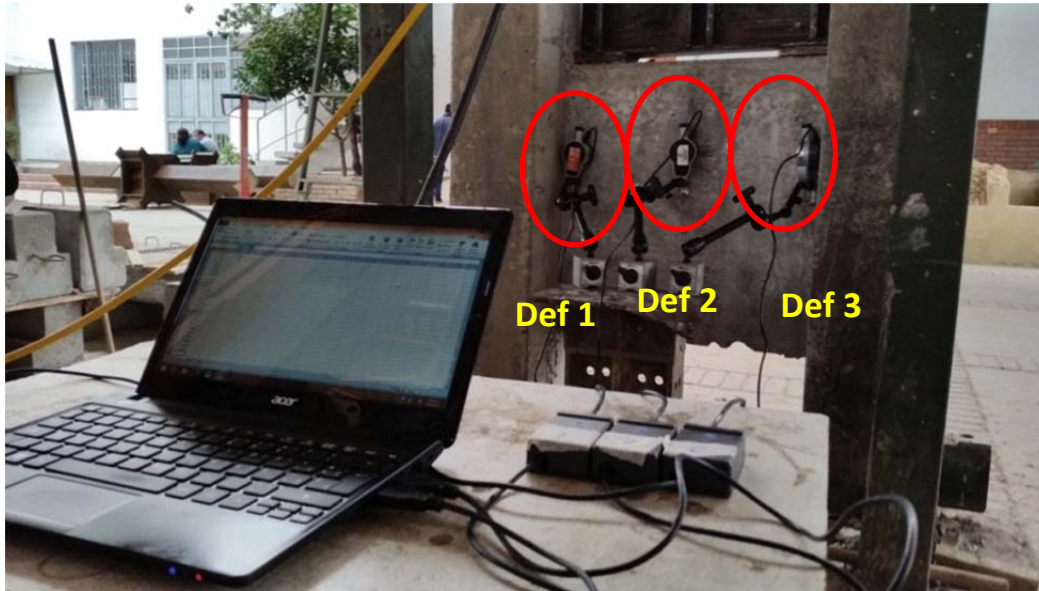


Figura 61. Distribución de los deformímetros para los ensayos.

Puede notarse que el Deformímetro 1 siempre está ubicado en la parte izquierda de la probeta, el Deformímetro 2 en la parte central y el Deformímetro 3 en la derecha. El formato a partir del cual se registraron los datos de laboratorio se presenta en la Tabla 5.

Los registros de cada uno de los ensayos se presentan en el anexo 2, correspondiente a “RESULTADOS EXPERIMENTALES”, a partir de donde se extraen las gráficas presentadas más adelante.

Cabe resaltar que dada la incertidumbre en cuanto al comportamiento de los ensayos, se procedió a realizar la primera prueba de cada tipo sin instrumentarla, con el fin de evitar cualquier daño a los equipos utilizados, por esta razón se presentan únicamente resultados para tres especímenes de cada ensayo.

REGISTRO DE ENSAYOS EXPERIMENTALES			
PRUEBAS DE CORTANTE EN JUNTAS DE LOSAS ALVEOLARES Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO			
PRUEBA No	XX		
TIPO	Tipo XX		
CARGA DE FALLA (Kg)	XXXXX		
TIPO DE FALLA	XXXX		
CARGA (Kg)	DEF 1 (mm)	DEF 2 (mm)	DEF 3 (mm)
0	0.000	0.000	0.000
500	XXX	XXX	XXX
1000	XXX	XXX	XXX
1500	XXX	XXX	XXX
2000	XXX	XXX	XXX

Tabla 5. Formato de Registro de ensayos.

11.1. PROBETAS TIPO 1.

Se presenta en las Figuras 62, 63, y 64, las gráficas fuerza vs desplazamiento registradas para los ensayos tipo 1.

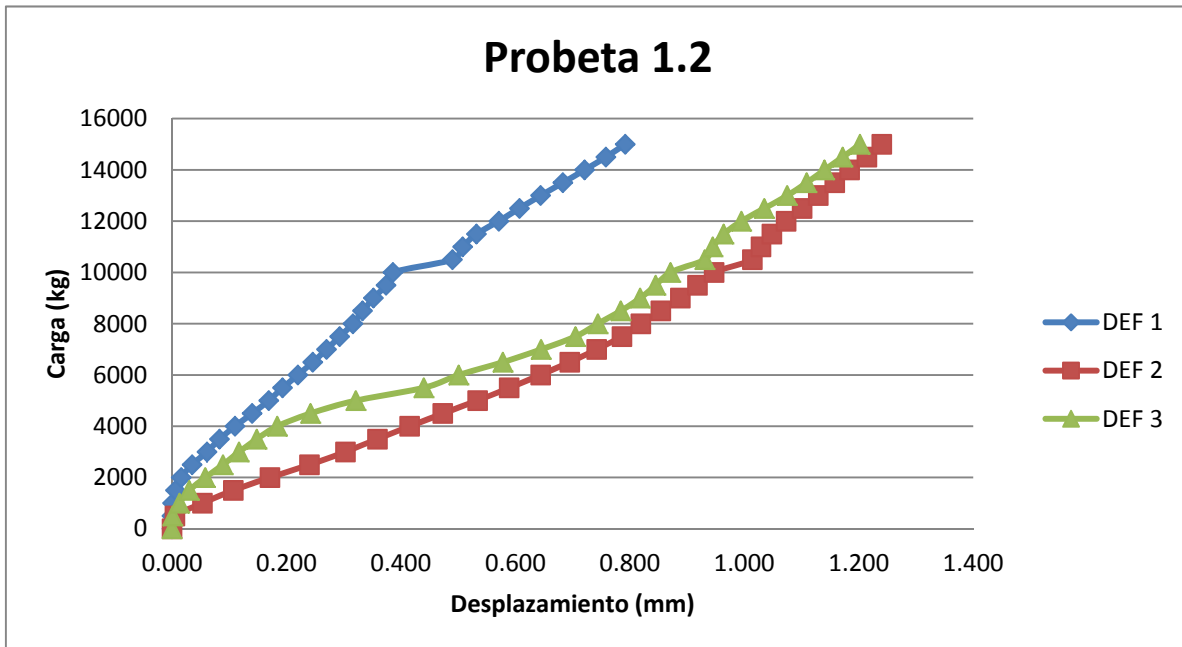


Figura 62. Relación Carga vs Desplazamiento Probeta 1.2.

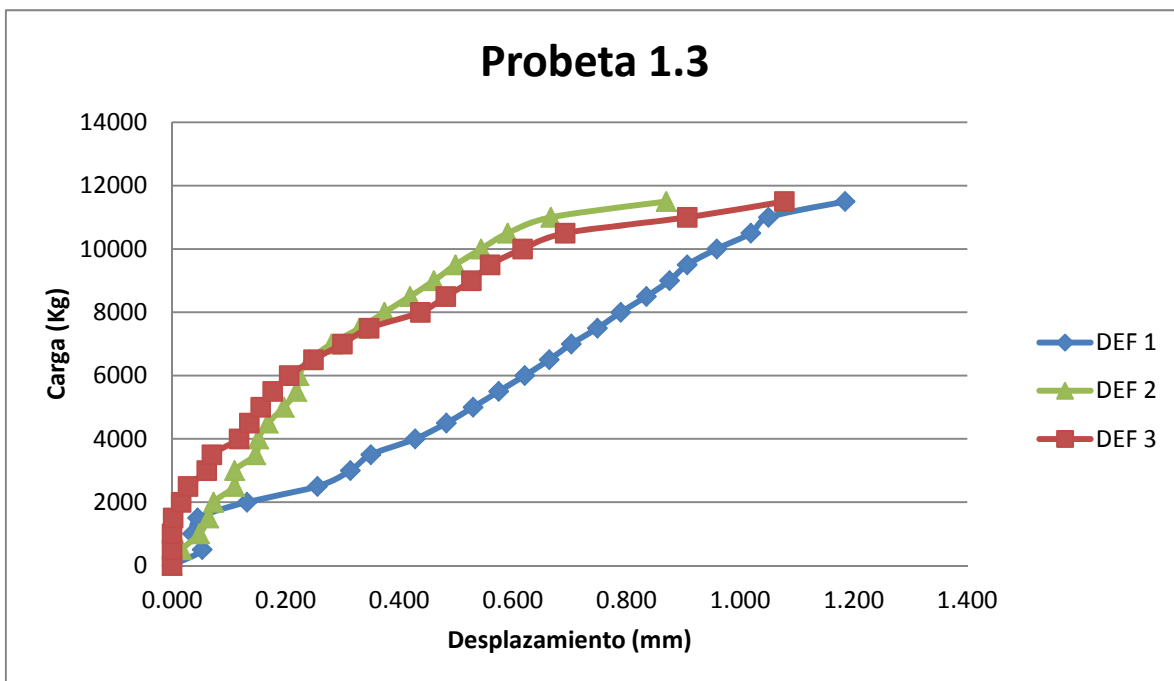


Figura 63. Relación Carga vs Desplazamiento Probeta 1.3

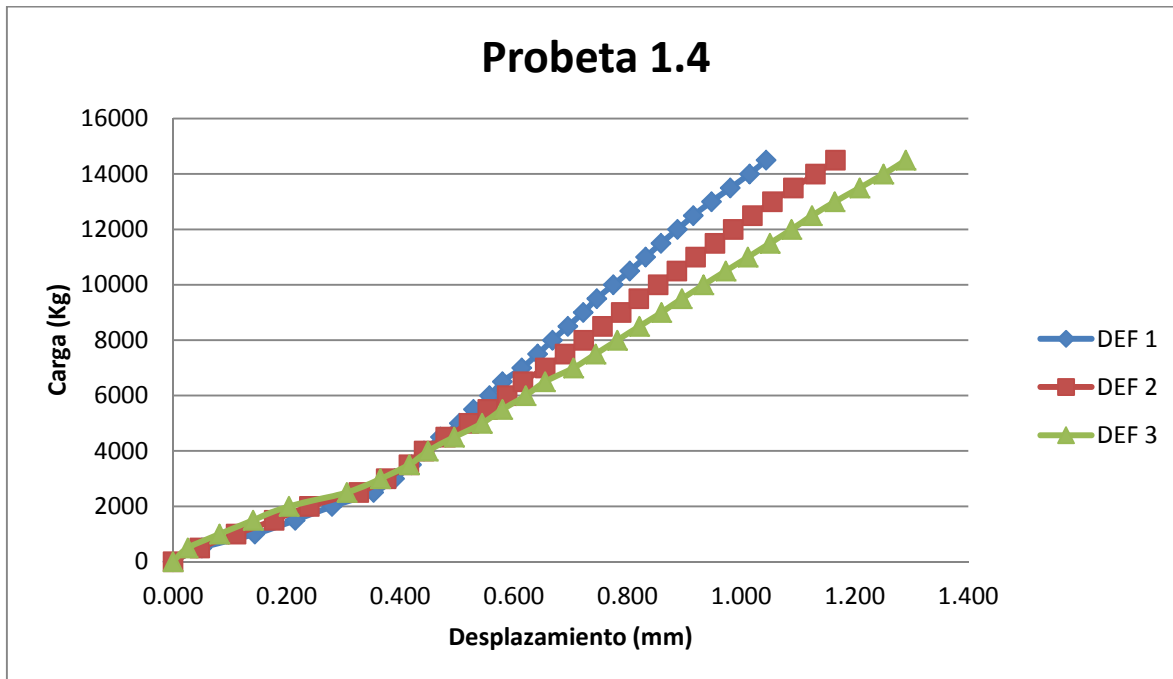


Figura 64. Relación Carga vs Desplazamiento Probeta 1.4.

De las gráficas anteriores, se puede establecer que el desplazamiento en las probetas se mantuvo relativamente uniforme, sin embargo si se presentó cierta dispersión en las primeras dos gráficas, específicamente en el Deformímetro 1, lo cual seguramente se debió a la excentricidad con la cual se realizó el ensayo según se aprecia en la Figura 65, dicha excentricidad generó un momento perpendicular al plano de la losa, el cual tendió a volcar la probeta, por este motivo fue necesario arriistrar las probetas para minimizar el efecto de la excentricidad.

Cabe señalar que de acuerdo con los datos presentados en la Tabla 1, el patrón dominante fue la falla por cortante en la junta, aunque en algunos, se presentaron fallas simultáneas por aplastamiento o cortante en la losa, esto quiere decir que se pueden establecer unos valores de resistencia al cortante en las juntas de concreto según los resultados obtenidos.



Figura 65. Excentricidad presente en el ensayo.

En la Tabla 6 se presentan los valores de resistencia al cortante en las juntas en función de la carga de falla y teniendo en cuenta que la geometría de la losa es la presentada en la Figura 11, con lo cual se establece el valor de la resistencia según se describe a continuación:

$$Vn = \frac{P}{2A}$$

Donde

Vn = Resistencia al cortante en la junta

P = Carga de falla de la probeta

A = Área transversal de la junta.

Probetas tipo 1				
Probeta	Carga de Falla (Kg)	Resistencia en la junta (Mpa)	Carga Calculada (Kg)	Relación Carga Experimental / Calculada
1.1	25190	1.50	10183	2.47
1.2	28785	1.71	10183	2.83
1.3	23190	1.38	10183	2.28
1.4	23850	1.42	10183	2.34
Promedio	25254	1.50	10183	2.48

Tabla 6. Valores de resistencia al cortante para probetas tipo 1.

Teniendo en cuenta que la recomendación del Manual de Diseño de Losas Alveolares de PCI, establece que la resistencia al corte del concreto se asume como 0.55MPa, se estaría tomando un valor conservador ya que los resultados obtenidos arrojan que el valor de la resistencia en promedio es 2.48 veces mayor al recomendado.

En cuanto a cargas, se encontró un valor promedio de resistencia en la junta de 12627Kg, es decir que comparado con los 4950Kg calculados en el diseño, se está hablando de un incremento de 2.55 veces el valor calculado.

11.2. PROBETAS TIPO 2

Bajo el mismo esquema de instrumentación se obtuvieron los datos que se presentan en el anexo 2 del presente informe, de los cuales se obtiene las gráficas presentadas en las Figuras 66, 67 y 68.

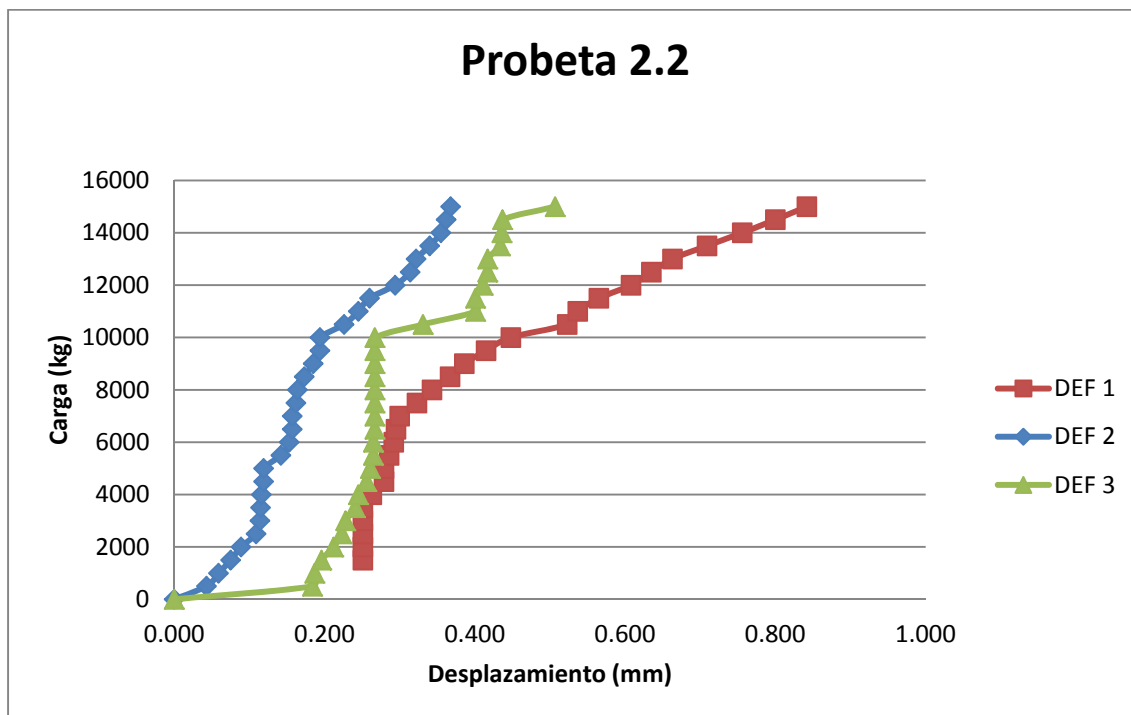


Figura 66. Datos Carga vs Desplazamiento Probeta 2.2

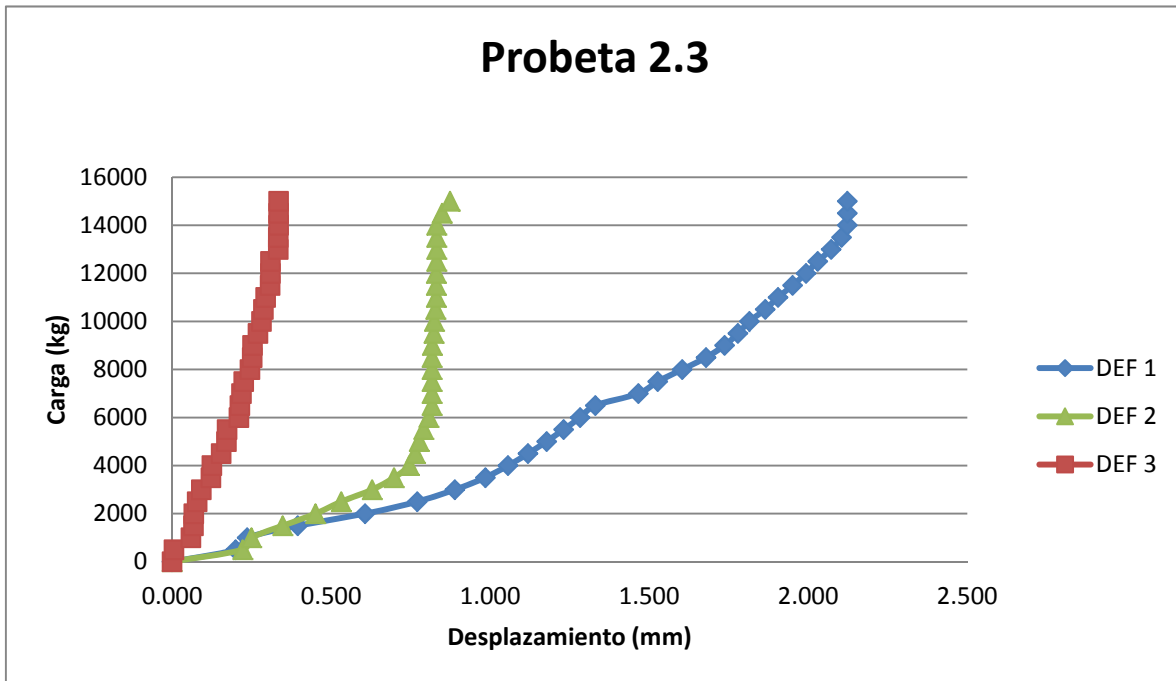


Figura 67. Datos Carga vs Desplazamiento Probeta 2.3

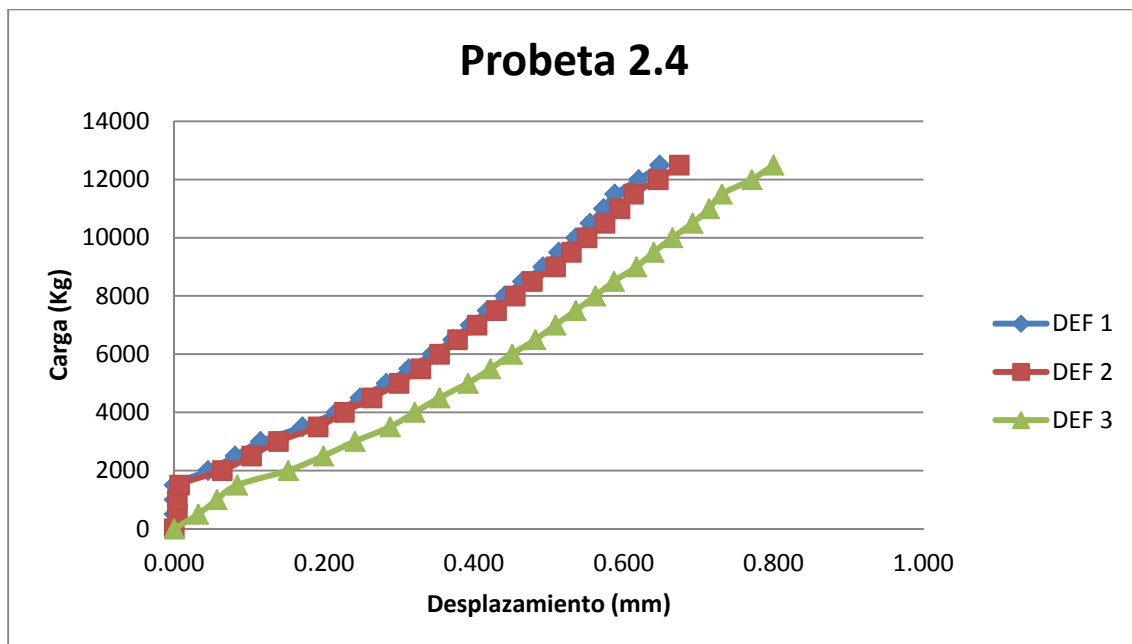


Figura 68. Datos Carga vs Desplazamiento Probeta 2.4

A excepción de la probeta 2.4, es evidente que se presentaron saltos en el registro de los desplazamientos, probablemente por la excentricidad generada por las condiciones de carga, sin embargo de la Tabla 7 se puede establecer que los valores de resistencia se mantuvieron en una dispersión relativamente baja.

Probetas tipo 2			
Probeta	Carga de Falla (Kg)	Carga Calculada (Kg)	Relación Carga Real / Calculada
05	34450	17040	2.02
06	35780	17040	2.10
07	31935	17040	1.87
08	32260	17040	1.89
Promedio	33606.25	17040	1.97

Tabla 7. Valores de Resistencia calculada en la junta

De forma global, se encontró un valor de resistencia de la probeta de 17040Kg, según los cálculos presentados en el diseño, mientras que el valor promedio experimental fue de 33606Kg, lo cual deja un incremento de 1.97 veces el valor calculado.

11.3. PROBETAS TIPO 3

Las pruebas tipo 3, mantuvieron una dispersión relativamente baja para los valores de resistencia de las juntas, en cuanto a los datos de Carga vs Desplazamiento, se puede decir que nuevamente se presentaron saltos como los que se aprecian en la Figura 69, mientras que las otras dos probetas mantuvieron cierta proporcionalidad como los presentados en la Figura 70 y 71.

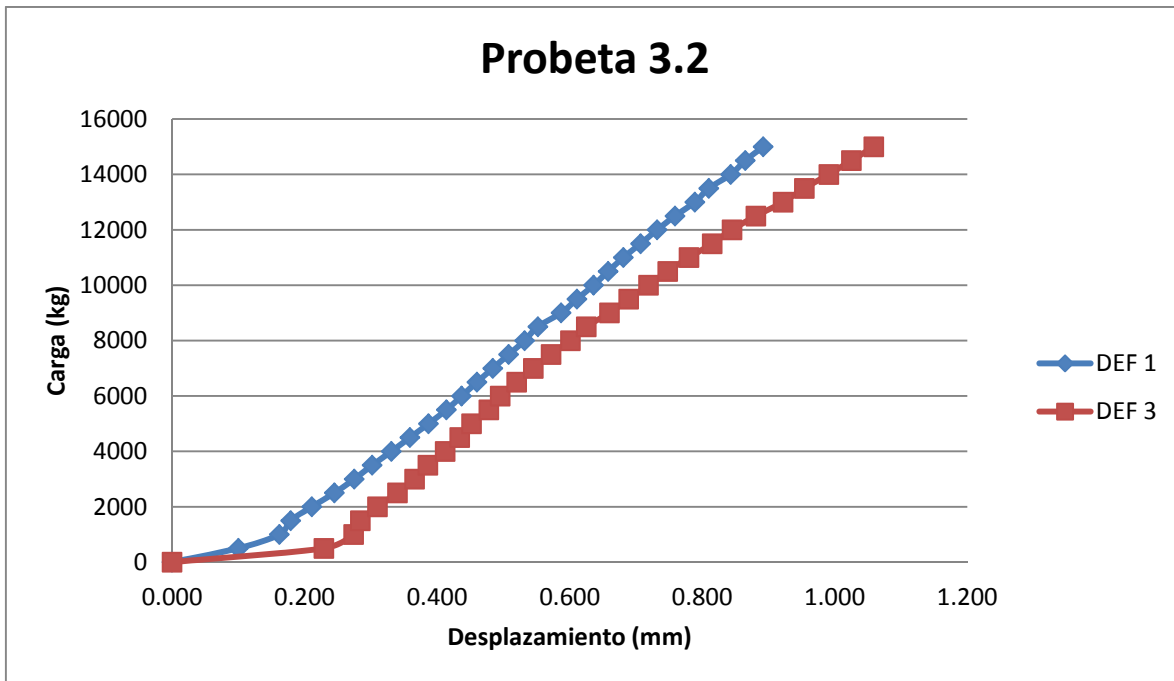


Figura 69. Datos Carga vs Desplazamiento Probeta 3.2

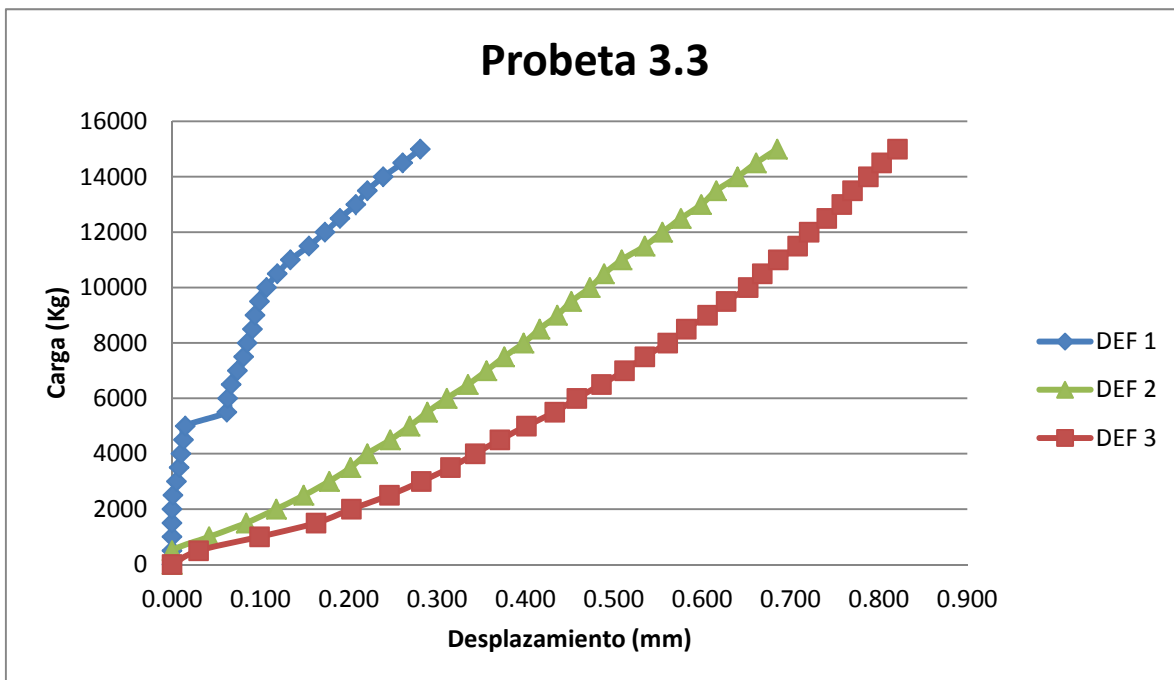


Figura 70. Datos Carga vs Desplazamiento Probeta 3.3

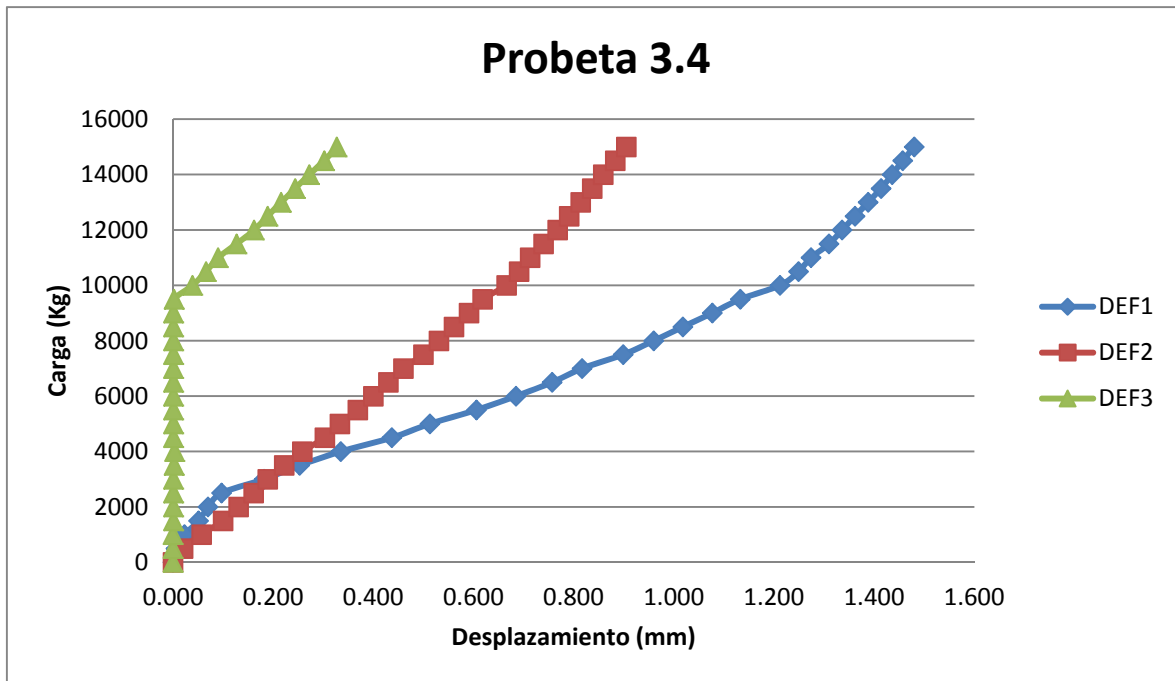


Figura 71. Datos Carga vs Desplazamiento Probeta 3.4

En las pruebas tipo 3, se presentaron fallas de diferentes tipos descritos en la Tabla 3, sin embargo se mantuvo cierta uniformidad en los datos de resistencia obtenidos, teniendo en cuenta que el promedio de carga presentado en la Tabla 8 fue de 44794Kg. Por otra parte, la carga calculada fue de 19400Kg, con lo cual se obtuvo un incremento promedio de 2.31 veces la carga calculada.

Probetas Tipo 3			
Probeta	Carga de Falla (Kg)	Carga Calculada (Kg)	Relación Carga Experimental / Calculada
09	40130	19400	2.07
10	44270	19400	2.28
11	51210	19400	2.64
12	43565	19400	2.25
Promedio	44794	19400	2.31

Tabla 8. Valores de Resistencia Real Vs Calculada para probetas tipo 3

Finalmente se establece en la Tabla 8 un cuadro resumen de la relación de carga obtenida para los valores de resistencia promedio de cada uno de los tres tipos de ensayo, teniendo en cuenta que las pruebas tipo 3 arrojaron los valores máximos de resistencia, se establece la relación de resistencia con base en esta última.

RELACIÓN DE RESISTENCIAS			
Tipo Prueba	Relación Tipo 1	Relación Tipo 2	Relación Tipo 3
Tipo 1	1	1.33	1.77
Tipo 2	----	1	1.33
Tipo 3	----	----	1

Tabla 9. Matriz de relación de resistencias

12. ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO

Como complemento a los ensayos realizados en este estudio, se presenta a continuación un análisis de costo beneficio, para cada uno de los tipos de ensayo realizados, de tal forma que pueda estimarse de manera preliminar los beneficios que genera la utilización de cada una de las alternativas en función de la cantidad de material utilizado.

No se considera el costo de la losa alveolar por ser constante para todos los ensayos.

Los precios fueron calculados teniendo en cuenta un precio de \$250.000 por m³ de concreto y \$2.500 por kg de acero

12.1. ENSAYOS TIPO 1

De acuerdo a los esquemas presentados en el anexo 1, se tiene que para el ensayo 1 se utilizó la siguiente cantidad de materiales presentado en la Tabla 8.

ENSAYO TIPO 1						
CONCRETO			ACERO			
ELEMENTO	CANTIDAD	VOL CONCRETO (M3)	No BARRA	CANTIDAD DE BARRAS	LONG (m)	PESO (Kg)
VIGA	2	0.18	4	8	1.12	10.114
LOSA	1	0.035	3	15	1.1	9.24
	TOTAL	0.215			TOTAL	19.354

COSTO DE LA PROBETA	\$ 102,135
----------------------------	-------------------

Tabla 10. Cantidad de material para el ensayo 1

12.2. ENSAYOS TIPO 2

Para los ensayos tipo 2, adicionalmente a las cantidades presentadas en la Tabla 1 se tiene que se utilizaron dos varillas de 3/8" de una longitud de 1.16m, de lo cual se obtienen las cantidades de la Tabla 2.

ENSAYO TIPO 2						
CONCRETO			ACERO			
ELEMENTO	CANTIDAD	VOL CONCRETO (M3)	No BARRA	CANTIDAD DE BARRAS	LONG (m)	PESO (Kg)
VIGA	2	0.18	4	8	1.12	10.114
LOSA	1	0.035	3	15	1.1	9.24
	TOTAL	0.215	3	2	1.16	1.2992
					TOTAL	20.6532

COSTO DE LA PROBETA	\$ 105,383
----------------------------	-------------------

Tabla 11. Cantidad de material para el ensayo 2

12.3. ENSAYOS TIPO 3

Finalmente las probetas de tipo 3, las cuales tiene un mayor consumo de concreto, se obtiene el análisis presentado en la Tabla 10.

ENSAYO TIPO 3						
CONCRETO			ACERO			
ELEMENTO	CANTIDAD	VOL CONCRETO (M3)	No BARRA	CANTIDAD DE BARRAS	LONG (m)	PESO (Kg)
VIGA	2	0.18	4	8	1.12	10.114
LOSA	1	0.035	3	15	1.1	9.24
CAPA COMPRESIÓN	1	0.063	*5mm	1	0.57	0.7581
	TOTAL	0.278	3	2	1.16	1.2992
					TOTAL	21.4113

COSTO DE LA PROBETA	\$ 123,028
----------------------------	-------------------

*Cantidad correspondiente a la malla electro soldada suministrada en las probetas

Tabla 12. Cantidad de material para el ensayo 3

De acuerdo con los resultados obtenidos se observa un incremento notable en cuanto a los costos de material a utilizar para cada uno de los tipos de ensayo tal y como se presenta a continuación:

Ensayo 3: El costo es 15% mayor que el ensayo 2 y 18% mayor que el ensayo 1.

Ensayo 2: El costo es aproximadamente 3% mayor el ensayo 1.

Se observa un incremento considerable para el ensayo 3 en relación a las alternativas 1 y 2 con un incremento de resistencia de 77% y 33% respectivamente, como era de esperarse; mientras que la alternativa 2 es apenas un 3% más costosa que la 1, incrementando en un 33% el valor de la resistencia.

13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

13.1. A partir de los métodos de análisis y diseño disponibles en la actualidad, se diseñaron y construyeron para condiciones de laboratorio tres tipos de especímenes, las cuales fueron sometidas a las condiciones descritas en el presente informe, de donde se establecen las siguientes conclusiones:

- La estructura tipo 1 se diseñó para una resistencia de 10Ton aproximadamente, sin embargo la resistencia obtenida fue en promedio de 25Ton, lo cual indica un incremento de 2.5 veces la carga calculada.
- La estructura tipo 2 fue diseñada para una carga de 17Ton aproximadamente, mientras que el valor de resistencia obtenida en laboratorio, fue de 33.6Ton, para un factor de incremento de 1.97 veces el valor calculado.
- Finalmente para la estructura 3 se obtuvo un factor de incremento de 2.31 veces la carga calculado, siendo ésta de 19.4Ton, mientras que la real fue de 44.8Ton en promedio.

De acuerdo a lo anterior, se concluye que los métodos de diseño con que se dispone en la actualidad son conservadores, lo cual se esperaba teniendo en cuenta que los métodos de cálculo se basan en los modelos estadísticos explicados en la sección 8.2 del presente documento.

13.2. En cuanto a la funcionalidad de los métodos constructivos analizados, se puede concluir lo siguiente:

- Como era de esperarse los ensayos tipo 1, presentaron los valores de resistencia más bajos, sin embargo éstos fueron del orden de 2.5 veces el valor calculado. Por otra parte después de analizar los tipos de falla presentados para este tipo de ensayo, estos fueron frágiles, como era de esperarse dada la naturaleza del ensayo.

- Los ensayos del tipo 2, presentaron un incremento de 1.33 veces el valor de la resistencia de los tipo 1, mientras que el valor de resistencia experimental fue del orden de dos veces el valor calculado. En cuanto a los mecanismos de falla se concluye que este tipo de ensayo, contó con la particularidad que si bien la falla por cortante que se observó fue frágil, el refuerzo suministrado, fue capaz de mantener la integridad del elemento, lo cual garantiza un desempeño muy superior al del ensayo anterior, teniendo en cuenta que el objetivo de una estructura es mantener su integridad para garantizar la seguridad de sus ocupantes.

- Para los ensayos tipo 3, se obtuvieron los mayores valores de resistencia, sin embargo el consumo de material fue mucho mayor al de los otros dos ensayos, dejando en evidencia una mayor efectividad desde el punto de vista técnico aunque con una mayor inversión.

13.3. En cuanto al avance en el estudio de diafragma rígido de este tipo de sistema de entrepiso se puede concluir:

Si bien el resultado final del presente estudio demostró la efectividad del sistema de losa de compresión y malla electro soldada, por encima de los otros dos analizados, cabe señalar que los ensayos del tipo 2 también arrojaron resultados que garantizan un buen desempeño estructural desde el punto de vista de integridad estructural; mientras que el tipo 1 a pesar de haber obtenido unos valores de resistencia relativamente altos en comparación a los valores calculados, su fragilidad no es garantía de un buen comportamiento ante cargas laterales.

De lo anterior, se establece que el método que mejor garantiza un comportamiento como diafragma rígido es la losa tipo 3, la cual es capaz de transmitir una mayor carga al sistema de resistencia lateral antes de fallar.

13.4. Si bien los resultados obtenidos en el presente estudio arrojaron resultados considerablemente mayores a los valores de resistencia teóricos, se recomienda que

estos no deben manejarse para aplicaciones prácticas como diseño o construcción ya que dichos resultados son netamente académicos, además de que los resultados a pesar de presentar cierta uniformidad, se basaron en una cantidad limitada de ensayos, por lo que se sugiere que se trabaje con la teoría presentada por PCI, la cual si bien es bastante conservadora, es lo suficientemente confiable para aplicarla a casos reales.

13.5. En cuanto al análisis de costo realizado se concluye lo siguiente:

- El ensayo tipo 3 tuvo un incremento del 17% en cuanto costos en relación a la alternativa 2, mientras que en resistencia se obtuvo un incremento del 33%.
- En relación al ensayo 1, la alternativa 3 tuvo un incremento de 23% en cuanto a costos, mientras que en resistencia se obtuvo un incremento de 77%.
- Finalmente el ensayo 2, tuvo un incremento del 3% en costos en relación a la alternativa 1, mientras que en resistencia se incrementó en un 33%.

De lo anterior se establece que las diferencias en los costos de inversión de las probetas son mínimos, comparados con el aumento de resistencia en los ensayos.

14. BIBLIOGRAFÍA

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA, AIS. Reglamento colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Título C – Estructuras de Concreto. Bogotá D.C., Colombia: Marzo de 2010.

PRESSTRESED / PRECAST CONCRETE INSTITUTE, PCI, Manual for Design of Hollow Core Slabs, Second Edition. Chicago, Illinois, USA: 1998.

INSTITUTO NACIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL, INTI, Reglamento Argentino para Construcciones Sismo Resistentes INPRES CIRSOC 103. Parte II – Construcciones de Hormigón Armado. Buenos Aires, Argentina: 2008.

KURE BERNAL SANTIAGO, Evaluación Experimental en Juntas de Losas Alveolares de Concreto Preesforzado. Universidad de los Andes. Bogotá D.C. Colombia: 2009.

CORREAL DAZA JUAN. Comportamiento Sísmico de Sistemas Prefabricados Alveolares. Universidad de Los Andes. Bogotá D.C. Colombia: 2010.

NEIL M. HAWKINS, S. K. GHOSH, Shear Strength of Hollow-Core Slabs. PCI Journal, Chicago IL, USA: 1998.

F. FU, D. LAM, Experimental Study on Semi-Rigid Composite Joints with Steel Beams and Precast Hollow core Slabs, School of Civil Engineering, University of Leeds, Leeds, LS2 9JT, UK: 2005.

J. HEGGER, T. ROGGENDORF , N. KERKENI, Shear capacity of prestressed hollow core slabs in slim floor constructions, RWTH Aachen University, Institute of Structural Concrete, Mies-van-der-Rohe-Str. 1, Aachen, Germany: 2008.

ULF ARNE GIRHAMMAR, MATTI PAJARI, Tests and analysis on shear strength of composite slabs of hollow core units and concrete topping. Elsevier: 2007

SCOTT NL. Performance of Precast Prestressed Hollow Core Slab with Composite Concrete Topping. PCI Journal, Chicago IL: 1973.

RENEE A. LINDSAY, JOHN B. MANDER AND DES K. BULL. Experiments on the Seismic Performance of Hollow Core Floor Systems in Precast Concrete Buildings. 13th World Conference on Earthquake Engineering. Vancouver, Canada: 2004.

M. K. RAHMAN M. H. BALUCH M. K. SAID M. A. SHAZALI. Flexural and Shear Strength of Prestressed Precast Hollow-Core Slabs. King Fahd University of Petroleum and Minerals 2012.

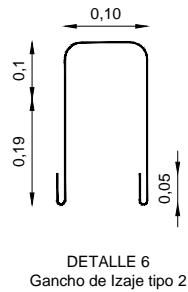
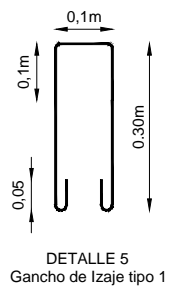
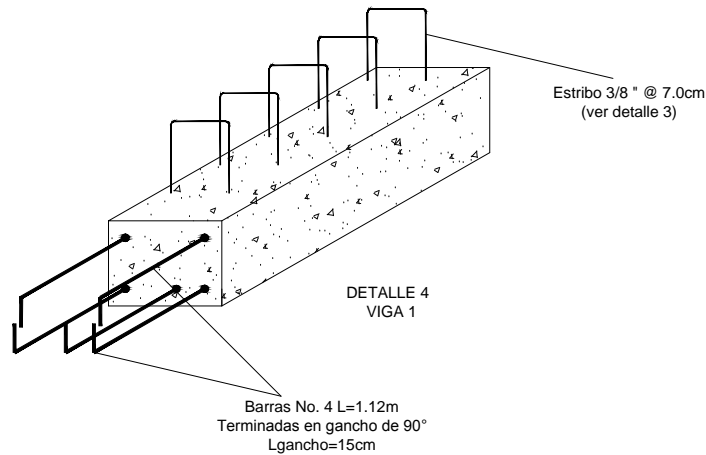
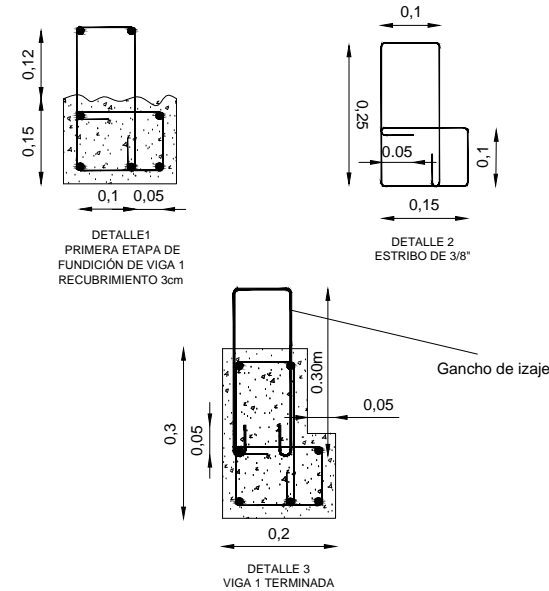
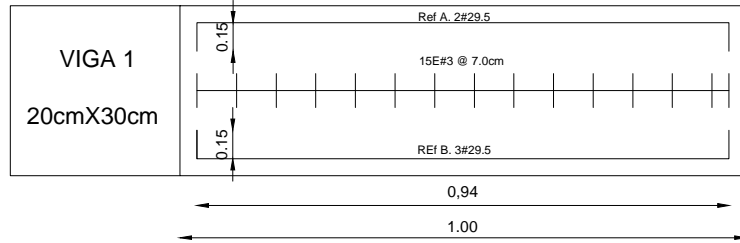
SANPUTT SIMASATHIEN, SHIH-HO CHAO, Shear Strength of Steel-Fiber-Reinforced Deep Hollow-Core Slabs. PCI Journal, Jul- Aug 2014. Chicago IL.

LAGUE DAVID J, Load Distribution Tests on Precast Prestressed Hollow-Core Slab Construction. PCI Journal, Nov-Dec 1971. Chicago IL.

SAAD E. MOUSTAFA. Effectiveness of Shear-Friction Reinforcement in Shear Diaphragm . PCI Journal, Jan-Feb 1980. Chicago IL.

MONES RYAN M., BREÑA SERGIO F. Hollow-core slabs with cast-in-place concrete toppings: A study of interfacial shear strength. PCI Journal, Jan-Feb. Chicago IL. 2013

ANEXO 1. ESQUEMAS DE LAS PROBETAS DE ENSAYO



NOTAS:

1. Refuerzo A. Ganchos de 90° de longitud 15cm.
2. Refuerzo tipo B, Ganchos de 90 de L=15cm
3. Los recubrimientos son de 3.0cm medido desde la cara externa del mismo
4. Las separaciones dadas en los detalles son medidas a los centros de las barras.
5. El primer estribo debe estar situado a 5.0 cm de la cara de la viga.
6. Los ganchos de izaje debe estar sujetos al estribo mas cercano según las medidas indicadas.
7. La resistencia a la compresión del concreto para las vigas será de 28MPa ($f'c=280kg/cm^2$).
8. Los ganchos de izaje deberán sujetarse al estribo o la barra longitudinal mas cercana.
9. Son 8 Vigas de este tipo para el ensayo 1.
10. Son 8 Vigas de este tipo para el ensayo 2.
11. Son 8 Vigas de este tipo para el ensayo 3.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Sede Bogotá

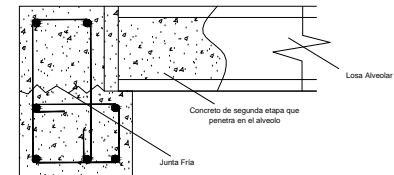
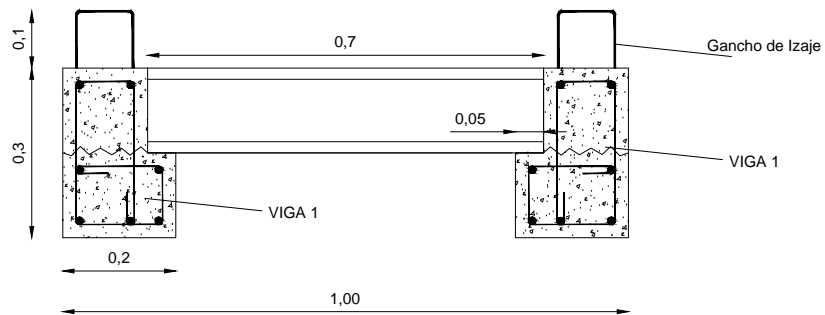
FACULTAD DE INGENIERIA

Proyecto:
Evaluación Experimental
de la capacidad a cortante
en juntas de losas
alveolares y vigas de
concreto reforzado

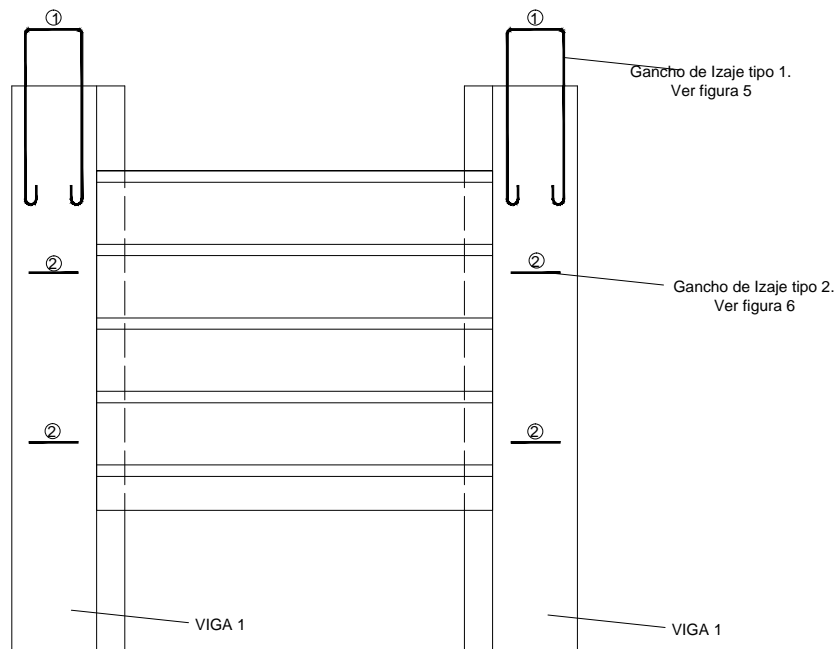
Contiene:
Descripción general y detalles
vigas de Apoyo

Observaciones:

PLANO
1 DE 4



DETALLE 7
Detalle junta sin refuerzo



NOTAS:

1. La junta entre la losa no debe llevar ningún tipo de refuerzo.
2. De deben construir 4 especímenes de este tipo.
3. Se deben construir 8 Vigas tipo 1 para este ensayo.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Sede Bogotá

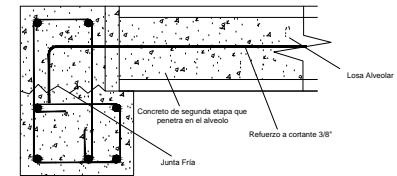
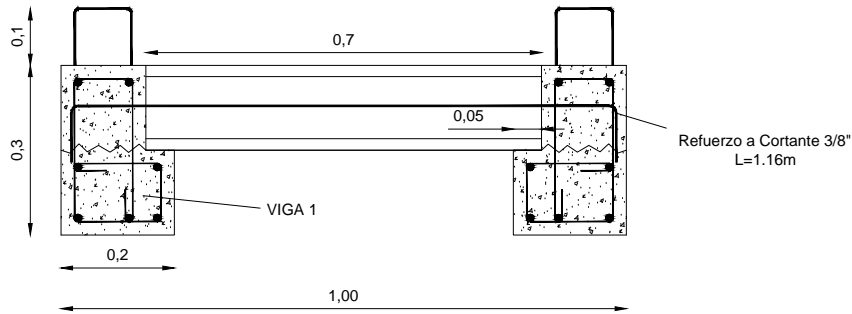
FACULTAD DE INGENIERIA

Proyecto:
Evaluación Experimental
de la capacidad a cortante
en juntas de losas
alveolares y vigas de
concreto reforzado

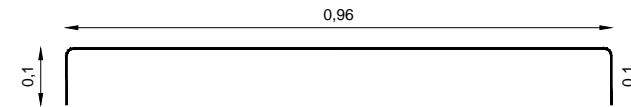
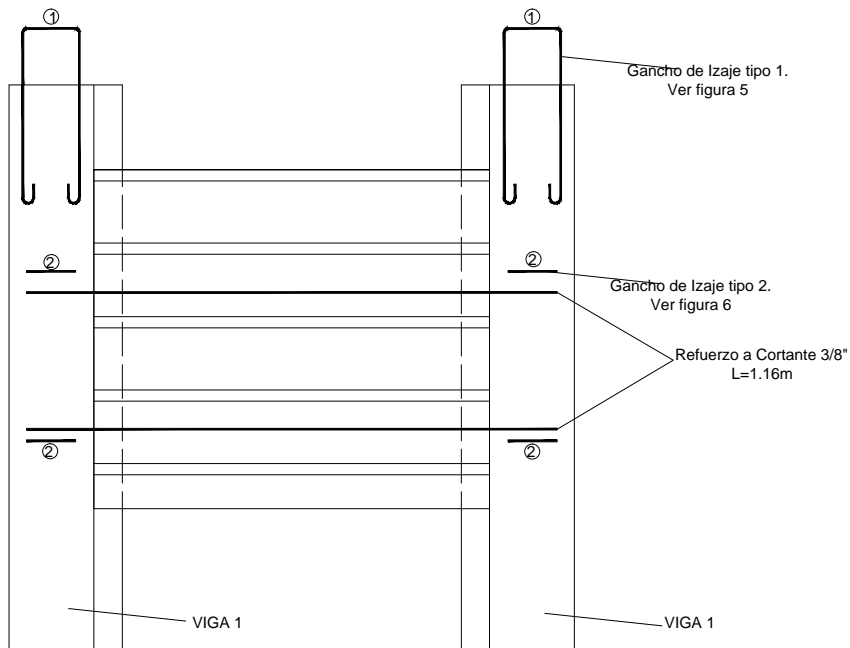
Contiene:
Descripción del especimen
tipo 1

Observaciones:

PLANO
2 DE 4



DETALLE 8
Junta con mortero de Unión y
refuerzo a cortante de 3/8"



DETALLE 9
Refuerzo a cortante de 3/8"

NOTAS:

1. La junta entre la losa debe llevar el refuerzo descrito en el detalle 9.
2. De deben construir 4 especímenes de este tipo.
3. Se deben construir 8 vigas tipo 1 para este ensayo.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Sede Bogotá

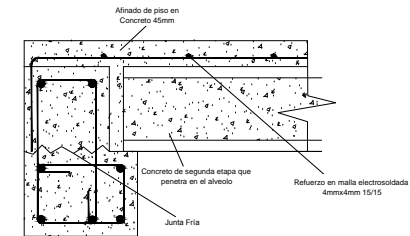
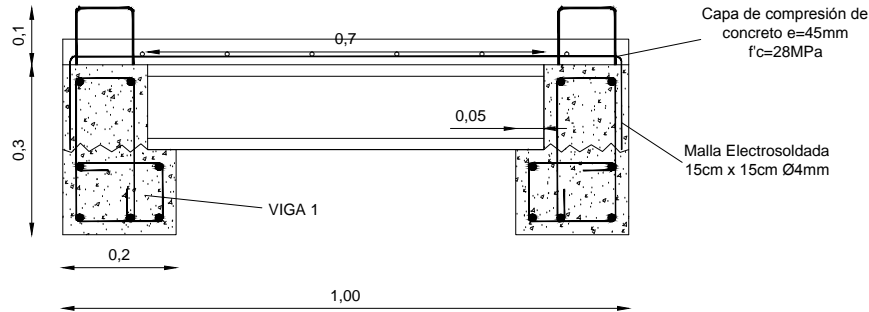
FACULTAD DE INGENIERIA

Proyecto:
Evaluación Experimental
de la capacidad a cortante
en juntas de losas
alveolares y vigas de
concreto reforzado

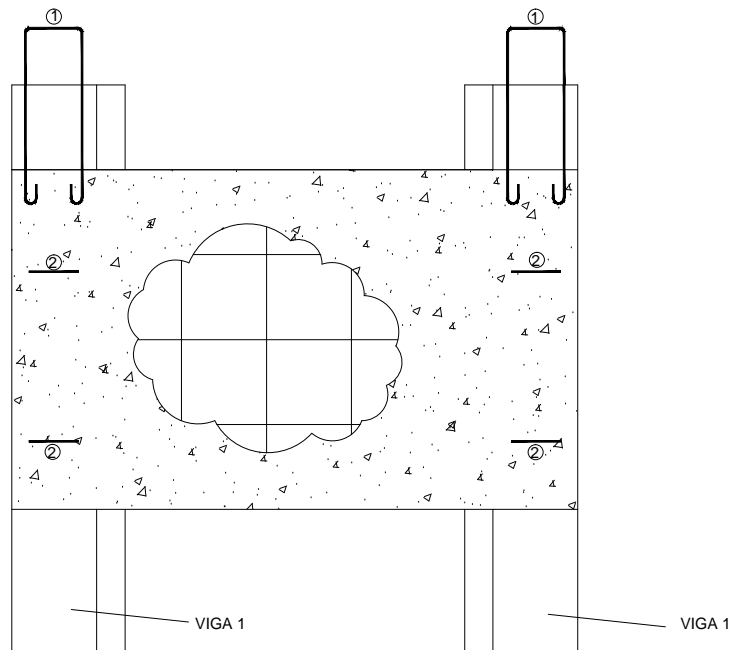
Contiene:
Descripción del espécimen
tipo 2

Observaciones:

PLANO
3 DE 4



DETALLE 8
 Junta con mortero de Unión y malla electrosoldada terminada en gancho de 90° L=15cm"



NOTAS:

1. Se deberá construir el espécimen terminado con una capa de compresión en concreto $f'c=28MPa$ y espesor de 45mm
2. Se deben construir 4 especímenes de este tipo.
3. Se deben construir 8 vigas tipo 1 para este ensayo.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
 DE COLOMBIA

Sede Bogotá

FACULTAD DE INGENIERIA

Proyecto:
 Evaluación Experimental
 de la capacidad a cortante
 en juntas de losas
 alveolares y vigas de
 concreto reforzado

Contiene:
 Descripción del espécimen
 tipo 3

Observaciones:

PLANO
4 DE 4

ANEXO 2. RESULTADOS EXPERIMENTALES

REGISTRO DE ENSAYOS EXPERIMENTALES**PRUEBAS DE CORTANTE EN JUNTAS DE LOSAS ALVEOLARES Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO**

PRUEBA No	1.2
TIPO	Tipo 1
CARGA DE FALLA (Kg)	28785
TIPO DE FALLA	Falla en la junta derecha

CARGA (Kg)	DEF 1 (mm)	DEF 2 (mm)	DEF 3 (mm)
0	0.000	0.000	0.000
500	0.000	0.005	0.001
1000	0.001	0.053	0.013
1500	0.006	0.107	0.030
2000	0.016	0.171	0.058
2500	0.035	0.240	0.089
3000	0.061	0.303	0.117
3500	0.083	0.359	0.148
4000	0.110	0.415	0.184
4500	0.140	0.473	0.242
5000	0.169	0.534	0.321
5500	0.193	0.589	0.440
6000	0.220	0.644	0.501
6500	0.246	0.695	0.578
7000	0.270	0.742	0.645
7500	0.293	0.786	0.705
8000	0.316	0.819	0.744
8500	0.333	0.854	0.784
9000	0.352	0.888	0.818
9500	0.374	0.918	0.845
10000	0.386	0.947	0.871
10500	0.490	1.014	0.931
11000	0.508	1.029	0.945
11500	0.532	1.048	0.964
12000	0.571	1.073	0.995
12500	0.607	1.101	1.035
13000	0.644	1.129	1.075
13500	0.683	1.158	1.109
14000	0.721	1.184	1.140
14500	0.758	1.214	1.172
15000	0.792	1.240	1.202

REGISTRO DE ENSAYOS EXPERIMENTALES**PRUEBAS DE CORTANTE EN JUNTAS DE LOSAS ALVEOLARES Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO**

PRUEBA No	1.3
TIPO	Tipo 1
CARGA DE FALLA (Kg)	23190
TIPO DE FALLA	Falla en la junta derecha

CARGA (Kg)	DEF 1 (mm)	DEF 2 (mm)	DEF 3 (mm)
0	0.000	0.000	0.000
500	0.053	0.017	0.000
1000	0.036	0.048	0.000
1500	0.045	0.064	0.002
2000	0.132	0.073	0.016
2500	0.256	0.110	0.028
3000	0.314	0.110	0.061
3500	0.350	0.147	0.070
4000	0.428	0.152	0.118
4500	0.483	0.169	0.136
5000	0.530	0.197	0.156
5500	0.575	0.219	0.177
6000	0.621	0.223	0.206
6500	0.664	0.242	0.249
7000	0.703	0.281	0.300
7500	0.749	0.330	0.347
8000	0.790	0.374	0.437
8500	0.835	0.419	0.482
9000	0.876	0.461	0.527
9500	0.907	0.499	0.560
10000	0.959	0.544	0.617
10500	1.019	0.591	0.692
11000	1.050	0.667	0.907
11500	1.185	0.870	1.078

REGISTRO DE ENSAYOS EXPERIMENTALES**PRUEBAS DE CORTANTE EN JUNTAS DE LOSAS ALVEOLARES Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO**

PRUEBA No	1.4
TIPO	Tipo 1
CARGA DE FALLA (Kg)	23850
TIPO DE FALLA	Falla en la junta derecha

CARGA (Kg)	DEF 1 (mm)	DEF 2 (mm)	DEF 3 (mm)
0	0.000	0.000	0.000
500	0.051	0.047	0.026
1000	0.144	0.111	0.082
1500	0.215	0.178	0.141
2000	0.280	0.240	0.204
2500	0.353	0.327	0.306
3000	0.390	0.375	0.365
3500	0.420	0.415	0.416
4000	0.442	0.442	0.449
4500	0.471	0.480	0.495
5000	0.504	0.521	0.544
5500	0.529	0.554	0.580
6000	0.557	0.588	0.621
6500	0.580	0.616	0.655
7000	0.614	0.655	0.705
7500	0.642	0.690	0.744
8000	0.668	0.723	0.782
8500	0.695	0.756	0.821
9000	0.722	0.789	0.860
9500	0.746	0.820	0.896
10000	0.775	0.854	0.934
10500	0.804	0.887	0.973
11000	0.832	0.920	1.012
11500	0.859	0.954	1.051
12000	0.888	0.986	1.089
12500	0.916	1.020	1.125
13000	0.948	1.055	1.165
13500	0.981	1.092	1.209
14000	1.015	1.131	1.251
14500	1.044	1.166	1.290

REGISTRO DE ENSAYOS EXPERIMENTALES**PRUEBAS DE CORTANTE EN JUNTAS DE LOSAS ALVEOLARES Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO**

PRUEBA No	2.2
TIPO	Tipo 2
CARGA DE FALLA (Kg)	37580
TIPO DE FALLA	Falla diagonal en la losa

CARGA (Kg)	DEF 1 (mm)	DEF 2 (mm)	DEF 3 (mm)
0	0.000	0.000	0.000
500	0.251	0.043	0.184
1000	0.251	0.059	0.187
1500	0.251	0.075	0.196
2000	0.251	0.089	0.212
2500	0.251	0.109	0.223
3000	0.251	0.114	0.228
3500	0.251	0.115	0.241
4000	0.263	0.116	0.245
4500	0.279	0.119	0.256
5000	0.279	0.119	0.261
5500	0.286	0.142	0.265
6000	0.292	0.153	0.265
6500	0.295	0.157	0.267
7000	0.300	0.157	0.267
7500	0.323	0.162	0.267
8000	0.343	0.164	0.267
8500	0.367	0.173	0.267
9000	0.386	0.185	0.267
9500	0.415	0.194	0.267
10000	0.448	0.194	0.267
10500	0.523	0.226	0.331
11000	0.537	0.245	0.401
11500	0.565	0.260	0.401
12000	0.608	0.294	0.411
12500	0.635	0.314	0.417
13000	0.663	0.322	0.417
13500	0.709	0.340	0.434
14000	0.756	0.355	0.436
14500	0.800	0.362	0.437
15000	0.842	0.368	0.507

REGISTRO DE ENSAYOS EXPERIMENTALES**PRUEBAS DE CORTANTE EN JUNTAS DE LOSAS ALVEOLARES Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO**

PRUEBA No	2.3
TIPO	Tipo 2
CARGA DE FALLA (Kg)	31935
TIPO DE FALLA	Falla por cortante en la junta

CARGA (Kg)	DEF 1 (mm)	DEF 2 (mm)	DEF 3 (mm)
0	0.000	0.000	0.000
500	0.200	0.222	0.006
1000	0.236	0.250	0.059
1500	0.395	0.348	0.067
2000	0.607	0.451	0.068
2500	0.771	0.532	0.079
3000	0.889	0.629	0.092
3500	0.985	0.698	0.122
4000	1.056	0.746	0.125
4500	1.119	0.765	0.154
5000	1.178	0.777	0.171
5500	1.231	0.791	0.173
6000	1.283	0.807	0.210
6500	1.331	0.817	0.213
7000	1.466	0.817	0.218
7500	1.527	0.817	0.225
8000	1.604	0.817	0.245
8500	1.679	0.817	0.252
9000	1.737	0.818	0.253
9500	1.779	0.823	0.270
10000	1.815	0.825	0.281
10500	1.865	0.829	0.287
11000	1.905	0.831	0.294
11500	1.951	0.831	0.308
12000	1.993	0.831	0.309
12500	2.030	0.832	0.309
13000	2.072	0.832	0.334
13500	2.105	0.832	0.334
14000	2.123	0.832	0.335
14500	2.123	0.849	0.335
15000	2.123	0.874	0.335

REGISTRO DE ENSAYOS EXPERIMENTALES**PRUEBAS DE CORTANTE EN JUNTAS DE LOSAS ALVEOLARES Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO**

PRUEBA No	2.4
TIPO	Tipo 2
CARGA DE FALLA (Kg)	32260
TIPO DE FALLA	Falla en la junta derecha

CARGA (Kg)	DEF 1 (mm)	DEF 2 (mm)	DEF 3 (mm)
0	0.000	0.000	0.000
500	0.000	0.004	0.032
1000	0.000	0.004	0.057
1500	0.000	0.007	0.084
2000	0.045	0.064	0.152
2500	0.081	0.103	0.199
3000	0.115	0.139	0.241
3500	0.171	0.192	0.288
4000	0.216	0.227	0.321
4500	0.248	0.264	0.354
5000	0.283	0.300	0.392
5500	0.313	0.329	0.422
6000	0.344	0.354	0.451
6500	0.372	0.378	0.482
7000	0.395	0.404	0.509
7500	0.418	0.430	0.536
8000	0.441	0.455	0.562
8500	0.465	0.478	0.587
9000	0.492	0.509	0.617
9500	0.513	0.530	0.640
10000	0.536	0.551	0.665
10500	0.555	0.575	0.692
11000	0.573	0.595	0.714
11500	0.588	0.613	0.731
12000	0.620	0.646	0.771
12500	0.648	0.674	0.800

REGISTRO DE ENSAYOS EXPERIMENTALES**PRUEBAS DE CORTANTE EN JUNTAS DE LOSAS ALVEOLARES Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO**

PRUEBA No	3.2
TIPO	Tipo 3
CARGA DE FALLA (Kg)	43565
TIPO DE FALLA	Falla en la junta derecha

CARGA (Kg)	DEF 1 (mm)	DEF 2 (mm)	DEF 3 (mm)
0	0.000	0.000	0.000
500	0.100	0.000	0.229
1000	0.162	0.000	0.274
1500	0.179	0.000	0.284
2000	0.211	0.000	0.310
2500	0.245	0.000	0.340
3000	0.275	0.000	0.366
3500	0.302	0.000	0.386
4000	0.331	0.000	0.412
4500	0.359	0.000	0.434
5000	0.387	0.000	0.452
5500	0.414	0.000	0.478
6000	0.437	0.000	0.495
6500	0.460	0.000	0.520
7000	0.484	0.000	0.545
7500	0.508	0.000	0.572
8000	0.532	0.000	0.601
8500	0.552	0.000	0.625
9000	0.587	0.000	0.660
9500	0.611	0.000	0.689
10000	0.636	0.000	0.719
10500	0.658	0.000	0.748
11000	0.681	0.000	0.780
11500	0.707	0.000	0.815
12000	0.732	0.000	0.845
12500	0.759	0.000	0.881
13000	0.789	0.000	0.922
13500	0.810	0.000	0.954
14000	0.843	0.000	0.991
14500	0.865	0.000	1.025
15000	0.892	0.000	1.059

REGISTRO DE ENSAYOS EXPERIMENTALES**PRUEBAS DE CORTANTE EN JUNTAS DE LOSAS ALVEOLARES Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO**

PRUEBA No	3.3
TIPO	Tipo 3
CARGA DE FALLA (Kg)	44420
TIPO DE FALLA	Falla en la junta derecha

CARGA (Kg)	DEF 1 (mm)	DEF 2 (mm)	DEF 3 (mm)
0	0.000	0.000	0.000
500	0.000	0.000	0.030
1000	0.000	0.042	0.099
1500	0.000	0.084	0.163
2000	0.000	0.118	0.203
2500	0.001	0.149	0.246
3000	0.005	0.178	0.282
3500	0.008	0.202	0.315
4000	0.010	0.221	0.343
4500	0.013	0.247	0.371
5000	0.015	0.269	0.401
5500	0.062	0.289	0.433
6000	0.063	0.311	0.458
6500	0.067	0.335	0.486
7000	0.074	0.356	0.512
7500	0.081	0.376	0.535
8000	0.085	0.398	0.561
8500	0.091	0.416	0.582
9000	0.094	0.436	0.606
9500	0.099	0.452	0.627
10000	0.107	0.473	0.652
10500	0.119	0.489	0.668
11000	0.134	0.509	0.686
11500	0.155	0.535	0.708
12000	0.173	0.555	0.721
12500	0.190	0.576	0.741
13000	0.208	0.599	0.758
13500	0.221	0.616	0.770
14000	0.239	0.640	0.788
14500	0.261	0.661	0.803
15000	0.281	0.685	0.821

REGISTRO DE ENSAYOS EXPERIMENTALES**PRUEBAS DE CORTANTE EN JUNTAS DE LOSAS ALVEOLARES Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO**

PRUEBA No	3.4
TIPO	Tipo 3
CARGA DE FALLA (Kg)	50535
TIPO DE FALLA	Falla en la junta derecha

CARGA (Kg)	DEF 1 (mm)	DEF 2 (mm)	DEF 3 (mm)
0	0.000	0.000	0.000
500	0.006	0.020	0.000
1000	0.023	0.057	0.000
1500	0.051	0.100	0.001
2000	0.070	0.131	0.001
2500	0.097	0.161	0.001
3000	0.182	0.189	0.001
3500	0.253	0.222	0.002
4000	0.335	0.258	0.003
4500	0.437	0.303	0.001
5000	0.513	0.333	0.001
5500	0.606	0.369	0.001
6000	0.685	0.400	0.001
6500	0.757	0.430	0.001
7000	0.817	0.460	0.001
7500	0.899	0.500	0.001
8000	0.960	0.531	0.001
8500	1.018	0.561	0.001
9000	1.077	0.591	0.001
9500	1.133	0.618	0.002
10000	1.212	0.666	0.039
10500	1.249	0.691	0.066
11000	1.274	0.713	0.090
11500	1.310	0.740	0.127
12000	1.336	0.768	0.162
12500	1.362	0.791	0.189
13000	1.388	0.814	0.216
13500	1.414	0.837	0.244
14000	1.436	0.859	0.272
14500	1.457	0.883	0.302
15000	1.480	0.905	0.327