



FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXION DE VIGUETAS DE CONCRETO DE DENSIDAD BAJA

PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATOLICA ANDRES BELLO

Como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO CIVIL

AUTORES:

Daniel González C.I. 24.410.141

Egger Romero C.I. 26.063.591

ASESOR:

MSc. Ing. Guillermo Bonilla

C.I. 5.534.957

Caracas, junio de 2018

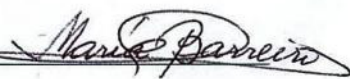
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGUETAS DE
CONCRETO DE DENSIDAD BAJA.

Este Jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo
ha evaluado su contenido con el resultado: 18 Ptos.

JURADO EXAMINADOR

Firma: 	Firma: 	Firma: 
Nombre: <u>G. Bonilla</u>	Nombre: <u>J. SURIANI</u>	Nombre: <u>MARÍA BASCAREIRO</u>

Realizado por

González M., Daniel E.

Romero J., Egger E.

Profesor Guía

Msc. Ing. Guillermo Bonilla.

Fecha

JULIO, 9 / 2018

Junio 2018



DEDICATORIA

Dedico el presente Trabajo especial de grado a mis padres por todo el apoyo que me han dado a lo largo de este camino, a mis familiares por estar siempre al tanto de mis estudios brindándome consejos y aliento en todo momento.

A los padres de mi gran compañero de tesis, por educar y criar a un excelente chico, responsable, honesto, educado y con una gran voluntad para hacer todo lo que se propone. Sin contar todo el apoyo que nos dieron en cada instante durante la realización de este Trabajo especial del grado.

A mis compañeros y amigos de la carrera, que siempre estuvieron en las situaciones buenas y malas junto a nosotros, para darnos todo el apoyo que les fuera posible brindarnos.

A mis profesores de la carrera, por respondernos ante cualquier duda sin importar que tan sencilla esta sea, por siempre alentarnos y exigirnos más en cualquier ámbito.

Egger E. Romero J.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primeramente a Dios en nombre de Jesús, por guiarme, darme lo necesario en el momento adecuada, por las bendiciones concedidas en sus muchas formas y como está escrito, que la Gloria sea para él.

Dedico el esfuerzo que aquí se resume a Maura Rosa, por ser mi ángel en la tierra, por ser mi consejera, mi inspiración, mi guía, por ser mi Madre.

Dedico este trabajo, resultado de un largo camino que hoy solo continúa, a mi padre por ser mi inspiración desde el principio, por enseñarme siempre tanto con tan pocas palabras, aunque nunca son pocas, son siempre las necesarias.

Dedico este logro a mi abuela, por tener siempre en sus oraciones, por bendecirme cada día, y haberme enseñado tanto cuando más lo necesite.

Finalmente concluyo este trabajo dedicándolo a mi hermana, que si de algo te debe servir, que se de inspiración, que te recuerde que todo lo que te propones es tuyo y que todo lo que inicias debes terminarlo.

Daniel E. González Morillo

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi madre Kathiuska Jaspe por siempre apoyarme en todo momento, brindándome consejos y aliento para poder continuar, dándome toda su energía y ángeles guardianes para seguir el camino correcto. A mi padre Edgar Romero por estar siempre ahí en todo lo que lo necesitara sin importar la hora o el momento.

A los padres de mi compañero Daniel, por también apoyarnos sin importar la hora o el momento, siempre estuvieron ahí para darnos aliento, haciéndonos reír o preparando unas increíbles comidas que nos subía el ánimo además de con sus consejos. A su hermana por darnos energía mientras realizábamos este gran proyecto, con sus muy ricos dulces.

A Gianpaolo Salvatorelli, un gran compañero y amigo que siempre nos motivó, estuvo pendiente de nosotros, preguntándonos siempre como íbamos y ayudándonos en todo lo que estuviera a su disposición y sin dejar de un lado a su padre Ricardo Salvatorelli, que también que estuvo ahí dándonos consejos.

A la Ingeniera Katerin y a los Ingenieros de Juguetelandia además de a Arcillas Livianas Venezolanas (ALIVEN) por el apoyo en cuanto al material donado que permitieron llevar a cabo el siguiente Trabajo Especial de Grado.

A nuestros compañeros de Tesis del Laboratorio de Materiales, José Dos Santos y Jesús Delgado por la ayuda en la recolección de los materiales, además de la ayuda con la limpieza. A Luis Marques y Marion Barriento por la motivación a continuar además de brindarnos energía con su carisma. Todos ustedes saben lo difícil que fue este camino.

A la Profesora e Ingeniera María Barreiro e Ingeniero José Suriani por la comprensión en todo momento y brindarnos la oportunidad de poder realizar la presentación, a pesar de todos los inconvenientes sucedidos.

A la Profesora e Ingeniera Yelitza Sirit, por ser como una madre para todo el equipo de los tesisistas en donde estuvo pendiente de todos nosotros y por respondernos ante cualquier duda que se nos generaba sin importar la hora y el día, además por su comprensión en los momentos de angustia.

Al Ingeniero Wilson Gonzáles por su gran colaboración para la realización de los ensayos y presentación del presente trabajo, sin contar toda su paciencia para todas las preguntas que le realizamos y el apoyo mostrado.

Al Profesor e Ingeniero Guillermo Bonilla quién fue nuestro tutor y nos ayudo en todo el proceso mostrando siempre un profundo interés, exigiéndonos siempre un poco más en la precisión de los ensayos y redacciones, además de brindarnos la oportunidad de poder realizar este trabajo de investigación.

Al técnico Sr. Luis Espinoza por estar pendiente de los ensayos, preparación y movilización de los miembros utilizados en el presente trabajo.

A la Señora Alejandra Astudillo por la inmensa paciencia que nos tuvo y por todos los favores que nos brindó, lo que llevaron a poder realizar este Trabajo de Grado sin contar, siempre su atención hacia nosotros con una gran sonrisa.

A mi Compañero de Tesis y gran amigo Daniel Gonzáles por todo el esfuerzo y empeño que le puso al trabajo, por ser siempre perseverante ante toda situación que se nos presentaba, por su gran genialidad para superar obstáculos y sin el este trabajo hubiera sido mil veces mas complicado.

A nuestros amigos Ismael Quijada, Andrés Alvarez, Franchesca Alfonzo, Arianne Estrada, Gustavo Kosler, Lorena Carballo, Jesus Ramirez y a todos aquellos que en este momento se me escapan, aportando un granito de arena a la realización de este Trabajo Especial de Grado, siendo un ejemplo que seguir de constancia y dedicación. Los amigos son un gran impulso para poder lograr todas las metas que uno se plantee y amigos como ustedes hay muy escasos, son un gran tesoro.

¡¡Infinitos Agradecimientos a Todos!!

Egger E. Romero J.

AGREDECIMIENTOS

A Dios...

Por sus bendiciones, por guiarme y por poner en camino a las personas adecuadas y necesarias.

A mi Familia...

A mi madre Maura por su infinita paciencia y comprensión, por trasnocharse y madrugar conmigo, apoyarme en los momentos difícil, celebrar los triunfos y sobre todo ser la inspiración para siempre continuar. A mi hermana Milena por estar siempre pendiente y alentando con un buen café, a mi abuela y mi padre, a Edixon, a míos tíos y mi tía por siempre estar atentos y ser fuente de energía positiva en todo momento.

A mis Amigos...

A Gianpaolo Salvatorelli por su colaboración, sugerencias acompañamiento, buena disposición y su preocupación. A Franchesca Alfonzo por estar atenta día y noche de mi trabajo dando aliento y buenas energías, sin dudar ni un instante de mis capacidades. A Gissell López por su atención, disposición y confianza. A Ismael Quijada, Andrés Álvarez y Arianne Estrada por su preocupación, disposición y colaboración en todo momento.

A mi Compañero...

A mi amigo y compañero de tesis y carrera Egger Romero por la dedicación, esfuerzo y perseverancia en este trabajo, por su capacidad incansable de trabajo y por su habilidad para las soluciones poco convencionales pero efectivas siempre.

Al Equipo...

Al ingeniero y profesor Guillermo Bonilla, quien fue nuestro tutor y no dudo en exigirnos más, presionar siempre en los momentos y sobre todo transferirnos todos los conocimiento que fueron posible. A la ingeniera y profesora Yelitza Sirit por su apoyo, ilimitada paciencia y por habernos apoyado y ofrecido soluciones en los momentos difíciles. Al ingeniero Wilson González para su colaboración en las actividades de laboratorio y disposición de responder todas las preguntas. Al técnico Luis Espinoza por ayuda con todos los trabajos que fueron necesarios.

A todos los compañeros tesisitas Luis Marques, Marion Barriento, Jesús Delgado y José Dos Santos, que nos brindaron ayuda y acompañamiento en las largas jornadas de trabajo.

A los Colaboradores...

Al Ingeniero José Suriani, por su colaboración y siempre buena disposición, a la profesora María Barreiro por su comprensión, a la empresa Arcillas Livianas de Venezuela (ALIVEN) por la colaboración de materiales, a la señora Alejandra Astudillo por su paciencia y todos los favores que nos brindo y que fueron indispensables para terminar esta tesis.

¡¡Infinitas Gracias a Todos!!

Daniel González Morillo

INDICE GENERAL

INTRODUCCION _____	1
CAPITULO I: EL PROBLEMA _____	3
1.1. Planteamiento del problema _____	3
1.2. Objetivo General de la investigación _____	4
1.3. Objetivos Específicos _____	4
1.4. Justificación _____	4
1.5. Alcance y Limitaciones _____	5
CAPITULO II: MARCO TEORICO _____	6
2.1. Antecedentes _____	6
2.2. Bases Legales _____	8
2.3. Bases Teóricas _____	9
2.3.1. Concreto Reforzado _____	9
2.3.2. Resistencia a la compresión del concreto _____	10
2.3.3. Resistencia a la tracción _____	11
2.3.4. Módulo de elasticidad _____	12
2.3.5. Módulo de rotura _____	13
2.3.6. Pellas de arcilla expandida _____	14

2.3.5. Relación Momento - Curvatura en miembros sometidos	
a flexión pura _____	15
2.3.8. Formación de grietas en concreto reforzado _____	17
2.3.8.1. Grietas por flexión _____	18
2.3.9. Deflexión en miembros de concreto _____	19
2.3.8. Ensayo a flexión de tres puntos _____	20
CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO _____	22
3.1. Tipo de la investigación _____	22
3.2. Diseño de la investigación _____	22
3.3. Fases de la investigación _____	23
3.3.1. Recopilación de información _____	23
3.3.2. Recolección de los materiales _____	23
3.3.3. Ensayo de agregados y preliminares _____	23
3.3.4. Preparación para el vaciado de probetas _____	25
3.3.5. Vaciado de las probetas _____	25
3.3.6. Preparación de probetas para ensayo _____	26

3.3.7. Montaje de ensayo	27
3.3.8. Ensayo y recolección de datos	28
3.3.9. Análisis, conclusiones y recomendaciones	28
3.4. Diseño Experimentales	29
CAPITULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS	30
4.1. Resultados	30
4.1.1 Vaciado 1	30
4.1.1.1 Vigueta 1-1	31
4.1.1.2 Vigueta 1-2	34
4.1.1.3 Vigueta 1-3	38
4.1.2 Vaciado 2	43
4.1.2.1 Vigueta 2-1	43
4.1.2.2 Vigueta 2-2	47
4.1.2.3 Vigueta 2-3	51
4.1.3 Vaciado 3	56
4.1.3.1 Vigueta 3-1	57
4.1.3.2 Vigueta 3-2	61
4.1.3.3 Vigueta 3-3	65

4.2 Análisis	71
CAPITULO V: CONCLUSIONES	74
CAPITULO VI: RECOMENDACIONES	75
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	76

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Diseño Experimental	29
Tabla 4.1 Resultados Vaciado 1	30
Tabla 4.2 Resultados V1-1	31
Tabla 4.3 Cambios de pendiente Carga – Deflexión V1-1	33
Tabla 4.4 Cambios de pendiente Carga-Desplazamiento Lateral V1-1	33
Tabla 4.5 Resultados V1-2	34
Tabla 4.6 Cambios de pendiente Carga – Deflexión V1-2	36
Tabla 4.7 Cambios de pendiente Carga-Desplazamiento Lateral V1-2	36
Tabla 4.8 Resultados V1-3	38
Tabla 4.9 Cambios de pendiente Carga – Deflexión V1-3	40
Tabla 4.10 Cambios de pendiente Carga-Desplazamiento Lateral V1-3	40
Tabla 4.11 Resultados Vaciado 2	43
Tabla 4.12 Resultados V2-1	44

Tabla 4.13 Cambios de pendiente Carga – Deflexión V2-1_____	46
Tabla 4.14 Cambios de pendiente Carga-Desplazamiento Lateral V2-1 ____	46
Tabla 4.15 Resultados V2-2_____	47
Tabla 4.16 Cambios de pendiente Carga-Desplazamiento Lateral V2-2 ____	49
Tabla 4.17 Resultados V2-3 _____	51
Tabla 4.18 Cambios de pendiente Carga – Deflexión V2-3_____	53
Tabla 4.19 Cambios de pendiente Carga-Desplazamiento Lateral V2-3 ____	53
Tabla 4.20 Resultados Vaciado 3_____	57
Tabla 4.21 Resultados V3-1 _____	57
Tabla 4.22 Cambios de pendiente Carga – Deflexión V3-1_____	59
Tabla 4.23 Cambios de pendiente Carga-Desplazamiento Lateral V3-1 ____	59
Tabla 4.24 Resultados V3-2 _____	61
Tabla 4.25 Cambios de pendiente Carga-Desplazamiento Lateral V3-2 ____	63
Tabla 4.26 Resultados V3-3 _____	65
Tabla 4.27 Cambios de pendiente Carga-Deflexión V3-3_____	67
Tabla 4.28 Cambios de pendiente Carga-Desplazamiento Lateral V3-3 ____	67
Tabla 4.29 Resumen de los ensayos_____	73

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 4.1 Carga vs. Deflexión V 1-1 _____	32
Gráfico 4.2 Carga vs. Desplazamiento Lateral V1-1_____	32
Gráfico 4.3 Carga vs. Desplazamientos Relativos V1-1_____	33
Gráfico 4.4 Esfuerzo vs. Deformación, V 1-1_____	34
Gráfico 4.6 Carga vs. Deflexión, V1-2_____	34
Gráfico 4.7 Carga vs. Desplazamientos Laterales V1-2_____	36
Gráfico 4.8 Carga vs. Desplazamientos Relativos V1-2_____	37
Gráfico 4.9 Esfuerzo vs. Deformación, V 1-2_____	38
Gráfico 4.10 Carga vs. Deflexión, V1-3_____	39
Gráfico 4.11 Carga vs. Desplazamientos Laterales V1-3_____	40
Gráfico 4.12 Carga vs. Desplazamientos Relativos V1-3_____	37
Gráfico 4.13 Esfuerzo vs. Deformación V 1-3_____	41
Gráfico 4.14 Comparación Carga vs Deflexión del Vaciado 1_____	42
Gráfico 4.15 Comparación Carga vs Desplazamiento Lateral del Vaciado 1_____	42
Gráfico 4.16 Carga vs. Deflexión V2-1_____	45
Gráfico 4.17 Carga vs. Desplazamientos Laterales V2-1_____	45
Gráfico 4.18 Carga vs. Desplazamientos Relativos V2-1_____	46
Gráfico 4.19 Esfuerzo vs. Deformación V 2-1_____	47

Gráfico 4.20 Carga vs. Deflexión V2-2_____	48
Gráfico 4.21 Carga vs. Desplazamientos Laterales V2-2_____	49
Gráfico 4.22 Carga vs. Desplazamientos Relativos V2-2_____	50
Gráfico 4.23 Esfuerzo vs. Deformación V 2-2_____	51
Gráfico 4.24 Carga vs. Deflexión V2-3_____	52
Gráfico 4.25 Carga vs. Desplazamientos Laterales V2-3_____	53
Gráfico 4.26 Carga vs. Desplazamientos Relativos V2-3_____	54
Gráfico 4.27 Esfuerzo vs. Deformación V 2-3_____	55
Gráfico 4.28 Comparación Carga vs Deflexión del Vaciado 2_____	55
Gráfico 4.29 Comparación Carga vs Desplazamiento Lateral del Vaciado 2_____	56
Gráfico 4.30 Carga vs. Deflexión V3-1_____	58
Gráfico 4.31 Carga vs. Desplazamientos Laterales V3-1_____	58
Gráfico 4.32 Carga vs. Desplazamientos Relativos V3-1_____	60
Gráfico 4.33 Esfuerzo vs. Deformación V3-1_____	61
Gráfico 4.34 Carga vs. Deflexión V3-2_____	62
Gráfico 4.35 Carga vs. Desplazamientos Laterales V3-2_____	63
Gráfico 4.36 Carga vs. Desplazamientos Relativos V3-2_____	64
Gráfico 4.37 Esfuerzo vs. Deformación V3-2_____	65

Gráfico 4.38 Carga vs. Deflexión V3-3_____	66
Gráfico 4.39 Carga vs. Desplazamientos Laterales V3-3_____	67
Gráfico 4.40 Carga vs. Desplazamientos Relativos V3-3_____	68
Gráfico 4.41 Esfuerzo vs. Deformación V3-3_____	69
Gráfico 4.42 Comparación Carga vs Deflexión del Vaciado 3_____	69
Gráfico 4.41 Comparación Carga vs Desplazamiento Lateral del Vaciado 3_____	66
Gráfico 4.42 Esfuerzo vs. Deformación de V1, V2 y V3_____	67
Gráfico 4.44 Resistencia vs. Relación A/C_____	68
Gráfico 4.45 Carga vs. Deflexión de V1, V2 y V3_____	69
Gráfico 4.46 Carga vs. Deflexión de de ensayo y ecuación V1_____	71
Gráfico 4.47 Carga vs. Deflexión de de ensayo y ecuación V2_____	71
Gráfico 4.48 Carga vs. Deflexión de de ensayo y ecuación V3_____	72

INDICE DE FIGURAS

Figuras 2.1 Curva Esfuerzo – Deformación del Concreto_____	11
Figura. 2.2- Deformación de un miembro a flexión_____	16
Figura. 2.3 Momento a partir del cual aparecen grietas de flexión_____	18
Figura 2.4 Grietas en elementos sometidos a flexión_____	18
Figura 2.5- Diagrama de ensayo a flexión de viga de concreto con carga en el centro del tramo_____	20
Figura 2.6- Diagrama de corte y momento (Ensayo de 3 puntos) _____	21
Figura 3.1 Cuarteo de Material para Granulometría de finos_____	24
Figura 3.2 Realización de Granulometría de Finos_____	24
Figura. 3.3 Vigüeta y los respectivos cilindros, para el segundo vaciado_____	25
Figura 3.4 Probetas curadas en condición de 100% de humedad_____	26
Figura 3.5 Preparación de probetas_____	27
Figura 3.6 Ubicación de instrumentos de medición_____	27
Figura 3.7 Montaje previo a ensayo_____	28

INTRODUCCIÓN

Desde la segunda mitad del siglo XX, la humanidad ha experimentado un rápido crecimiento y un vertiginoso desarrollo de nuevas tecnologías que han introducido al mundo entero en la conocida era de la globalización, era en la que todas las áreas del conocimiento han evolucionado en proporciones similares. El área de la construcción ha sido notable la búsqueda de nuevos métodos y materiales para el desarrollo de estructuras cada vez más atrevidas y con cuidado siempre de los aspectos económicos.

El concreto como principal recurso constructivo ha sido objeto de múltiples estudios para su optimización, la búsqueda de la reducción de la densidad de este material para aligerar el peso de la edificación y por consiguiente sus secciones, tiene sus inicios en la década de 1960 cuando se elaboran los primeros proyectos con estas consideraciones en Venezuela al igual que en varios países de Europa y Estados Unidos.

A pesar de concluirse satisfactoriamente varias edificaciones en la ciudad de Caracas, la utilización de concreto de densidad baja a partir de arcilla expandida quedó en desuso por varios años, actualmente surge la necesidad de emplear el mencionado material por las innumerables ventajas estructurales, acústicas, térmicas y económicas que representa, en tal sentido se inició una línea de investigación que busca caracterizar el material en todas sus propiedades mecánicas para lograr el desarrollo de estructuras mediante software especializados.

La investigación aquí desarrollada tiene como interés particular describir el comportamiento mecánico antes tensiones por flexión de elementos elaborados con concreto de densidad baja.

A continuación, se describe los capítulos de la siguiente manera.

- Capítulo I: El Problema, integrado por el planteamiento, objetivos, justificación a alcance y limitaciones.
- Capítulo II: Marco Teórico, se desarrollan los antecedentes de la investigación, bases legales, y bases teóricas.
- Capítulo III: Marco Metodológico, contiene diseño y tipo de investigación, fases de investigación y diseño experimental.
- Capítulo IV: Análisis y Resultados, se presentan los resultados de los ensayos acompañado de las descripciones y análisis pertinentes, tablas y registro fotográficos relevantes.
- Capítulo V: Conclusiones, sobre el estudio realizado.
- Capítulo VI: Recomendaciones, sobre el estudio realizado y para su continuidad.

CAPITULO I: EL PROBLEMA

1.1.-Planteamiento del Problema:

El concreto de densidad baja es un material constructivo cuyo uso se ha incrementado en los últimos años producto de las ventajas que ofrece, como la reducción de costos y peso debido a la secciones de las secciones. Pero su uso a nivel nacional se había limitado a reparaciones y rellenos descartándose su aplicación en el ámbito estructural, esta realidad ha venido cambiando en los últimos años con la tendencia a realizar proyectos con base a este material, por ejemplo edificio de la CAF en Altamira, proyecto que no llegó a ser ejecutado, losa de techo edificio de Jugueterlandia en el Rosal, Caracas, edificio residencial en Maracaibo, estado Zulia. En todos los casos mencionados se planteó el uso de concreto de densidad baja, para vale destacar el último mencionado, donde además de optimizar el aprovechamiento del espacio permitió el cumplimiento de las ordenanzas térmicas de dicha ciudad.

Lo antes expuesto ha generado una necesidad de caracterizar las propiedades mecánicas y el comportamiento de miembros y elementos hechos en este material, para ello se ha iniciado una línea de investigación, a la cual se le ha dado continuidad con el Trabajo Especial de Grado “Estudio de Propiedades Mecánicas del Concreto de Baja Densidad para Uso Estructural Elaborado con Agregado Grueso Proveniente de Arcilla Expandidas (Soto D. 2017). Unos de los estudios fundamentales a realizar es la evaluación del comportamiento de elementos de concreto de densidad baja sometidos a flexión para evaluar su comportamiento respecto a las capacidades máximas resistidas y energía disipada.

En tal sentido, este es un Trabajo Especial de Grado que da continuidad a la serie de estudio que se vienen realizando y son necesarios para definir las propiedades y características generales de concretos estructurales de densidad baja, dosificado con arcilla expandida a manera de grueso.

1.2.- Objetivo General de la Investigación

Analizar el comportamiento de vigas de concreto de densidad baja sometidas a flexión con base a ensayos de tres puntos.

1.3.- Objetivos Específicos:

- Analizar el comportamiento por flexión de elementos de concreto de densidad baja.
- Evaluar el comportamiento de elementos de concreto de densidad baja con base a la relación entre el desplazamiento lateral y la deflexión.
- Analizar el comportamiento de elementos de concreto de densidad baja con base a energía disipada.

1.4.- Justificación

El desarrollo de nuevas tecnologías va precedido siempre de una labor de optimización de los recursos (materiales e intelectuales) disponibles y/o una generación de nuevos conocimientos y medios. El caso particular de la construcción, por ser responsable de la seguridad de seres vivos, amerita una sólida y comprobada condición para la introducción de innovaciones.

En tal sentido la investigación se justifica en la necesidad de continuar con los estudios necesarios para lograr una completa y adecuada caracterización de las cualidades y comportamiento mecánico del concreto de densidad baja a partir de pellas de arcilla expandida como sustituto del agregado grueso. Es por

ello que la investigación desarrolla el estudio del concreto a flexión, evaluando el módulo de rotura, la variación de la deflexión en función de la relación Agua/Cemento y la proporcionalidad que existe entre el desplazamiento lateral y la deflexión de un miembro sometido a flexión.

1.5.- Alcances y limitaciones:

El estudio se centra en el análisis del comportamiento a flexión de concreto de densidad baja, desarrollado con base a agregado fino bien gradado, y arcilla expandida como sustituto del agregado grueso, dosificado con cemento tipo CPCAÍ.

Se emplea como sustituto del agregado grueso pellas de arcilla expandía proporcionadas por la empresa ALIVEN ®, arena media natural de río, las probetas y el ensayo son ejecutadas según lo establecido en la norma venezolana 340-2004 y 343-04 (R), respectivamente.

La ejecución, estudio y ensayo de las probetas fue realizada en el Laboratorio de Materiales de Construcción y Tecnología del Concreto de la Universidad Católica Andrés Bello.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1.- Antecedentes:

Isaac G. y Carlos R., en su proyecto especial de grado para obtener el título de Ingeniero Civil: “COMPORTAMIENTO DE CONCRETOS EN BASE A AGREGADO LIVIANOS (ESTUDIO COMPARATIVO CON CONCRETOS NORMALES)”. Realizado en la Universidad Católica Andrés Bello (UCAB), Caracas, Venezuela. Realizó una evaluación del comportamiento del agregado liviano (arcilla expandida) en mezclas de concreto como sustituto del agregado grueso. Se determinó que la disminución de la densidad es del 20% aproximadamente respecto a concretos normales, además de comprobó que el agregado presenta mejor comportamiento cuando está saturado y sin aditivos incorporadores de aire. Finalmente los autores señalan que el uso de concreto aligerado tienen implicaciones directas sobre los costos de la obra, reduciendo los mismos.

Soto Daniel. (2017), en su proyecto especial de grado para obtener el título de Ingeniero Civil: “ESTUDIO DE PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO DE BAJA DENSIDAD PARA USO ESTRUCTURAL ELABORADO CON AGREGADO GRUESO PROVENIENTE DE ARCILLAS EXPANDIDAS”. Realizado en la Universidad Católica Andrés Bello (UCAB), Caracas, Venezuela. Realizó un estudio donde determinó la influencia del agregado fino y grueso proveniente de la arcilla expandida en la capacidad mecánica del concreto estructural de baja densidad, así como un estudio de las propiedades en estado fresco del mismo.

Catherine A. y Abraham M. (2015), en su proyecto especial de grado para obtener el título de Ingeniero Civil: “EVALUACION EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS: RESISTENCIA, MÓDULO DE ELASTICIDAD Y

ESFUERZOS DE ADHERENCIA ANTRE EL ACERO DE REFUERZO Y EL CONCRETO LIVIANO ESTRUCTURAL”. Realizado en la Universidad Central de Venezuela (UCV) Caracas, Venezuela. Se evaluaron las propiedades mecánicas del concreto liviano, para lo que se realizaron tres diseños de mezcla para resistencias de 210, 250 y 300 kgf/cm², para cada uno de estos diseños se hicieron ensayos a la compresión, estudios ultrasónicos, evaluación de la mezcla en estado fresco y de adherencia. Los ensayos de compresión fueron a las edades de 7, 14 y 28 días, los ensayos de adherencia fueron para barras de ½”, 5/8” y ¾”. Se obtuvo como resultado que la mezcla óptima corresponde al diseño de 300 kgf/cm² y para el mismo diseño con una barra de ¾” se obtuvo la mayor adherencia, por otro lado los estudios ultrasónicos permitieron determinar una fórmula que se ajusta mejor a los valores reales del módulo de elasticidad del concreto liviano, siendo de gran utilidad en la etapa de diseño donde se pretenda emplear este material.

Stuart D. (2017), en su trabajo experimental para la obtención del título de Ingeniero Civil: “DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL HORMIGON ADICIONANDO ARIDO DE ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA) EN SUSTITUCION PARCIAL DEL AGREGADO GRUESO”. Realizado En la Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador; Realizó un estudio de cómo varia la resistencia del concreto según diferentes dosificaciones de arcilla expandida como sustituto del agregado grueso, para ello se empleó el Método de la Densidad Máxima para un $f'c = 210$ kgf/cm² con dosificaciones de 5%, 10%, 20% y 30%. Los resultados de la investigación concluyen que la mejor dosificación es de un 5% a 20% de arcilla expandida en sustitución de agregado grueso. Además se obtuvo una sensible disminución en el peso del concreto, siendo este de 2015 kgf/m³, lo que demuestra que los concretos elaborados con arcilla expandida pueden ser usados con fines estructurales y aportan un ahorro sustancial al diseño y costos de la obra.

2.2.- Bases legales:

En la normativa Venezolana vigente no se dispone de una normativa particular para el uso de agregados livianos, solo la norma COVENIN 1753:2006 “Proyectos y Construcción de Obras en Concreto Estructural” se expresa al respecto, en el Anexo H-3 “Requisitos constructivos”, rezando lo siguiente:

H-5.2.1 “El empleo de concretos con agregados livianos se limita a resistencias no mayores que 300 kgf/cm², esencialmente por la poca experiencia que hay en el país. Pueden aceptarse resistencias mayores, siempre que se presenten evidencias convincentes sobre su desempeño adecuado” (p. 189).

H-5.2.3 “Para el caso de los concretos con agregados livianos, se establecen dos métodos alternativos para definir la resistencia. Uno de ellos se basa en ensayos de laboratorio para determinar la relación entre la resistencia indirecta f_{ct} (obtenida por compresión diametral de cilindros) y la resistencia a la compresión f'_c que se especifica para el concreto de agregado liviano. Se trata de obtener con anticipación al diseño, los valores apropiados de f_{ct} para un agregado liviano de un origen dado” (p.189).

A continuación se presenta la normativa nacional disponible, que es competente en la materia y servirá de apoyo a lo largo de la investigación:

- COVENIN 340-79 “Métodos para la Elaboración y Curado en el Laboratorio de Probetas de Concreto para Ensayos de Flexión”.
- COVENIN 338-2002 (2da Revisión) “Concreto. Método Para La Elaboración, Curado y Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto”.
- COVENIN 277-2000 (3ra Revisión) “Concreto. Agregado. Requisitos”.

- COVENIN 340-2004 “Concreto. Elaboración y curado de probetas en el laboratorio para ensayos a flexión”.
- COVENIN 343(R) “Concreto. Determinación de la Resistencia a la Flexión en Vigas Simplemente Apoyadas con Carga en el Centro del Tramo”

2.3.- Bases Teóricas:

2.3.1 Concreto Reforzado

El concreto se define, según el Manual del Concreto Estructural, como “un material que se puede considerar construido por dos partes: una es un producto pastoso y moldeable, que tiene la propiedad de endurecer con el tiempo, y la otra son trozos pétreos que quedan englobados en esa pasta. A su vez, la pasta está constituida por agua y un producto aglomerante o conglomerante, que es el cemento”, los trozos pétreos mencionados en la definición anterior representan el agregado grueso y fino de la mezcla, responsable de conferir la capacidad portante al miembro de concreto.

La elaboración de estructuras de concreto ha sido el método constructivo más utilizado a lo largo de la historia, esto se debe a las ventajas que aporta este material; una alta resistencia que tiende a incrementarse con el tiempo, adaptabilidad a múltiples formas y la capacidad de elaborar estructuras monolíticas y continuas.

Debido a que la calidad del concreto depende de las condiciones de las materias primas (cemento, agregados, agua y aditivos), la dosificación, la forma de elaboración, transporte, disposición y curado. Se convierte en la principal desventaja la variabilidad de la mezcla y su poca resistencia a los esfuerzos de tracción.

2.3.2 Resistencia a la compresión del concreto

La resistencia a compresión como propiedad característica del concreto se determina en laboratorio según el ensayo tipificado en la norma COVENIN 338-2002, curada durante 28 días en una condición de 100% de humedad. La resistencia obtenida será referencia de la que se esperar conseguir en campo, con la consideración de que esta será siempre un tanto mayor por las condiciones ideales bajo la cual es elaborado, lo anterior trae como consecuencia que a la hora de tomar un diseño de mezcla se debe guardar una factor de seguridad que nos asegure llegar a la resistencia de proyecto establecida. (Park and Paulay, 1988, Cuarta Reimpresión)

Conocida el área sobre la cual se aplica la carga durante el ensayo de compresión es posible determinar el esfuerzo que resiste la probeta con la siguiente ecuación.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{Ecu. 2.1}$$

Donde:

P = Carga (kgf)

A = Área (cm²)

σ = Tensión de compresión (kgf/cm²)

La *Figura 2.1* muestra la curva típica de Esfuerzo – Deformación para el concreto, donde se puede apreciar la diferencia entre la resistencia a tracción y a compresión, siendo la segunda muy superior a la primera.

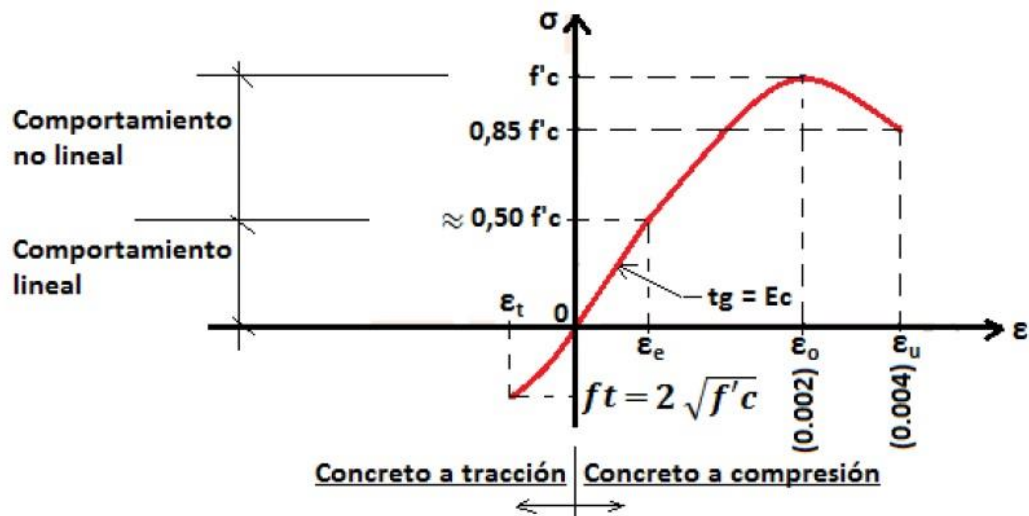


Figura. 2.1 Curva Esfuerzo – Deformación del Concreto. *Fuente:* Notas de clase (María Barreiro.)

2.3.3 Resistencia a la tracción.

La resistencia a la tracción es la característica del concreto que suele ser despreciada en los análisis y diseños por tener un valor tan bajo, entre 8 y 15% de la resistencia a la compresión, esto se debe a que el concreto tiene una cantidad de grietas internas que no aportan resistencia ante esfuerzos de tracción. Suele establecerse como resistencia máxima de tracción, aquella que se alcanza justo antes de la aparición de grietas por esfuerzos de tracción. La norma venezolana 1756-06 en su capítulo 5 establece que la resistencia a la tracción del concreto debe ser estimada de forma indirecta según lo establecido en la norma venezolana 341, donde se establece la siguiente ecuación para tal fin.

$$\sigma_{tr} = \frac{2P}{\pi L d} \quad \text{Ecu. 2.2}$$

Donde:

σ_{tr} = Esfuerzo de tracción (kgf/cm²)

P = Carga (kgf)

L = Longitud (cm)

d = Diámetro (cm)

Adicionalmente esta la ecuación $f_t = 2\sqrt{f'_c}$, función de la resistencia a la compresión (f'_c), que suele ser usada con bastante aceptación para obtener la resistencia a tracción del concreto.

2.3.4 Módulo de elasticidad

En general este se entiende como la pendiente del tramo donde la curva esfuerzo-deformación presenta un comportamiento lineal, existiendo diferentes formas de determinarlo, el módulo inicial, módulo tangente, módulo secante y módulo aparente. Cada uno de los métodos anteriores hace diferentes consideraciones conceptuales para determinar la pendiente del tramo elástico de la curva.

Módulo inicial, estimación a partir del origen de la pendiente del diagrama esfuerzo-deformación.

Módulo tangente, es la pendiente de una tangente trazada en un punto de la curva esfuerzo-deformación, usualmente el 50% de la resistencia última del concreto.

El módulo secante traza una pendiente que parte del origen de la curva hasta un punto ubicado entre el 25 y 50% de la resistencia última a compresión.

La norma venezolana 1753-03, en su Capítulo 8, establece la siguiente ecuación para el cálculo de módulo de elasticidad en concreto cuyo peso varía entre 1440 y 2500 kg/m³:

$$E_c = 0,14 \cdot w_o^{15} \cdot \sqrt{f_c} \quad \text{Ecu. 2.3}$$

De igual manera la norma ASTM C-496, establece detalladamente el procedimiento para la estimación del módulo elástico a partir de la curva Esfuerzo – Deformación.

2.3.5 Módulo de rotura

Se entiende como módulo de rotura, para miembros horizontales de concreto, la resistencia a tracción a flexión, esto mediante la ejecución de ensayos que aplican una cara puntual en el tramo central. Se calcula como la relación entre el momento flexionante de falla y el módulo de la sección transversal. (Park and Paulay, 1988).

Se puede conocer el módulo de rotura en el ensayo a flexión de tres puntos (norma 343-04 (R), detalla en apartados posteriores) con la aplicación de la siguiente ecuación:

$$f_r = \frac{3PL}{2bh^2} \quad \text{Ecu. 2.4}$$

Donde:

f_r = Módulo de rotura (kgf/cm³).

P = Carga máxima aplicada (kgf).

L = Luz entre apoyos (cm).

b = Anchura promedio de la probeta (cm).

h = Altura promedio de la probeta (cm).

2.3.6 Pellas de arcilla expandida

Es un material hecho de arcilla expandida, elaborado en grandes hornos rotatorios a una temperatura promedio de 1.150 °C, como materia prima se usan arcillas de alta capacidad expansiva que derivan en un producto rico en dióxido de silicio, óxido de aluminio, óxido de hierro, óxido de sodio, óxido de potasio, óxido de calcio y óxido de magnesio.

El proceso de elaboración a alta temperatura genera esferas o pellas con una corteza cerámica vitrificada que se agrega industrialmente, su estructura interna es alveolar y porosa, teniendo como resultado final pellas rígidas y resistentes que van de un color pardo a vinotinto.

El proceso de elaboración comienza con la extracción de arcillas puras en canteras a cielo abierto, son filtradas a través de un desbaste para luego ser almacenadas, homogenizadas y secadas. Una vez se garantiza las condiciones anteriores se muele el material para la obtención del crudo (polvo de alta finura) que es aglomerado con agua, de esa pasta se obtiene esferas de tamaño controlado gracias a la rotación de los hornos.

El proceso continúa en hornos rotativo donde se eleva la temperatura a más de 1.250 °C para lograr la expansión de la arcilla. A la temperatura antes mencionada, el material aglomerado y homogenizado, comienza a fundirse al mismo tiempo que la materia orgánica presente hace combustión por los gases contenidos en ella, y finalmente da lugar a la formación de pellas de arcillas expandida que pasan luego a un proceso de cribado para discriminarlas según las granulometrías deseadas.

La granulometría del material es otra característica de destacada importancia ya que propiedades como la resistencia y rigidez varían según la

distribución de tamaños, se dispone de cuatro granulometrías que van desde 0.01 mm hasta 20 mm. La calidad y uniformidad del material permiten disponer de una larga vida útil. Fuente www.aliven.com.ve

2.3.7 Relación Momento – Curvatura en miembros sometidos a flexión pura

La relación Momento – Curvatura es la correspondencia que existe entre el momento flexionante actuante y la curvatura que experimenta el miembro por dicha sollicitación, por otro lado la curvatura se refiere al ángulo que describe el perfil de deformaciones respecto a la vertical.

La formación de grietas en el miembro de concreto produce una variación de esfuerzo entre los segmentos agrietados y los no agrietados, trayendo como consecuencia variaciones a lo largo del elemento de la deformación, ubicación del eje neutro, radio de curvatura, entre otros. Tomando en cuentas la variaciones anteriores y con el fin de lograr estudio practico se considérese un elemento inicialmente recto de longitud dx que es sometido a unas condiciones de cargas que generan una rotación de los extremos del elemento, tal como se muestra en la Fig. 2.3.

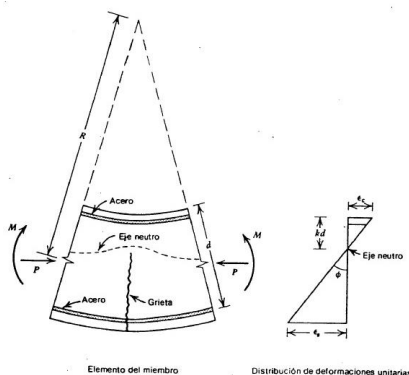


Figura. 2.2- Deformación de un miembro a flexión.

Fuente: Estructuras de Concreto Reforzado (Park and Paulay).

Para determinar la rotación entre los extremos del elemento se pueden establecer las siguientes relaciones geométricas.

$$\frac{dx}{R} = \frac{\varepsilon_c \cdot dx}{kd} = \frac{\varepsilon_s \cdot dx}{d(1-k)}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{\varepsilon_c}{kd} = \frac{\varepsilon_s}{d(1-k)}$$

Se puede entonces definir la curvatura como la rotación por longitud unitaria del miembro, que se representa de la siguiente manera.

$$\varphi = \frac{1}{R} = \frac{\varepsilon_c}{kd} = \frac{\varepsilon_s}{d(1-k)} = \frac{\varepsilon_c + \varepsilon_s}{d}$$

La relación anterior permite establecer gráficamente la relación Momento – Curvatura, esto se logra midiendo las deformaciones en una sección crítica de una viga de concreto a medida que se aumenta el momento flexionante.

2.3.8 Formación de grietas en Concreto Reforzado

Las grietas son un fenómeno muy común en miembros de concreto y estas se producen debido a la baja resistencia que ofrece el material a esfuerzos de tracción, es decir, cambios volumétricos por variación de temperatura, fuerzas cortantes y momentos flectores, generan esfuerzos de tracción que el concreto es incapaz de resistir, incapacidad que se manifiesta en la formación de grietas.

En el caso particular de vigas de concreto reforzado, cuando se le aplica una carga transversal se presenta una deformación inmediata, deflexión del miembro, producto del momento flexionante que genera la carga.

La magnitud de la carga determinará el instante a partir del cual aparecerán las grietas, mientras los momentos resultantes sean menores al momento de agrietamiento (valor que representa la carga máxima del módulo de rotura a tracción) no se evidenciarán grietas, una vez se supera este valor aparecerán las primeras grietas justo en aquellos puntos donde el momento real sea mayor al momento de agrietamiento, M_{gr} , acompañado esto de un desplazamiento del eje neutro hacia las fibras en compresión. En la Figura 2.1 se puede ver gráficamente a partir de donde aparecen las grietas. La inclinación y ubicación de las grietas varían según los esfuerzos que la originen.

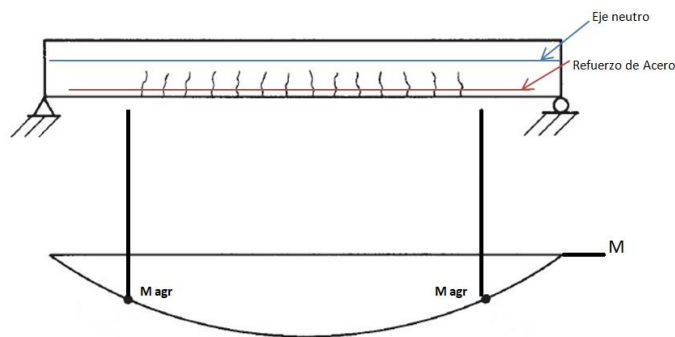


Figura. 2.3 Momento a partir del cual aparecen grietas de flexión.

Fuente: Elaboración propia.

2.3.8.1 Grietas por flexión

Se trata de grietas verticales que se extienden de las fibras más externas en flexión hasta las proximidades del eje neutro, y en algunos casos grietas horizontales que se presentan a la altura del eje neutro y el refuerzo.

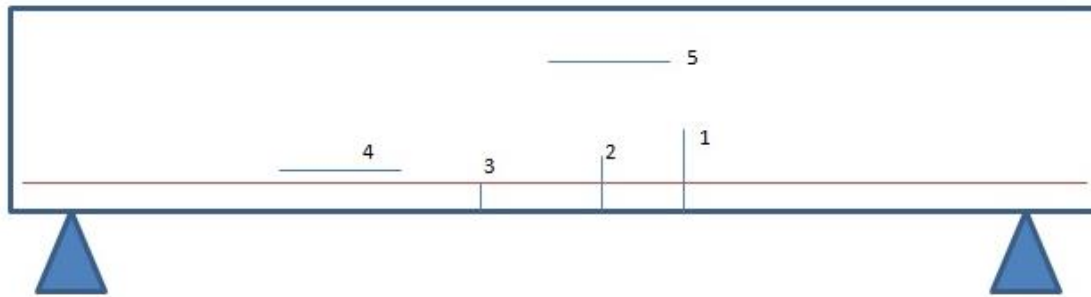


Figura 2.4 Grietas en elementos sometidos a flexión. *Fuente:* Elaboración propia.

En la Figura 2.2 se aprecia las grietas típicas y su orden de aparición, las grietas primarias (identificadas como 1) aparecen en la fibra más traicionada a cargas no muy altas y se van prologando hasta el eje neutro, las grietas secundaria (identificada como 2) aparecen a cargas superiores y tiene un menor desarrollo longitudinal que las anteriores, le siguen grietas también secundarias pero que no suelen exceder la altura del refuerzo longitudinal (identificada como 3). Cuando la carga es tal que el miembro se aproxima a su resistencia de diseño se forman grietas longitudinales a la altura del refuerzo, en un primer caso, y luego a la altura del eje neutro, identificadas en la Fig. 2.2 como 4 y 5 respectivamente.

2.3.9 Deflexión de miembros de concreto

El desarrollo y los avances tecnológicos en los métodos constructivos y los materiales permiten la construcción de estructuras cada vez más altas, esbeltas y complejas en su diseño, con parámetros estéticos muy exigentes. Con atención a lo anterior es necesario mantener un control riguroso sobre las deflexiones de los miembros estructurales, particularmente las vigas.

La consideración de las deflexiones cobra particular importancia en el diseño estructural, ya que serán estos valores los que determinara la rigidez de los

miembros estructurales. El cálculo de la deflexión tiene dos enfoques bien diferenciados; el primero de ellos se refiere a la estimación de la deflexión bajo cargas y condiciones conocidas, el segundo enfoque se refiere a la consideración de valores límites.

La deflexiones bajo condiciones de carga conocida resultan particularmente difícil de determinar con exactitud, porque si bien esto se hace de manera determinística, existe un factor probabilístico asociado de considerable importancia, debido a que el comportamiento del miembro estructural depende de una amplia cantidad de variables, tales como; el desarrollo de resistencia en el tiempo, magnitud y duración de cargas, humedad, temperatura, entre otras.

El segundo enfoque busca establecer valores límites, atendiendo en primer lugar a preservar la integridad de componente no estructurales tales como muros divisorios, pendiente indeseadas en losas, entre otros, y en segundo lugar pretende satisfacer exigencias visuales humanas orientadas a generar una sensación de seguridad y estética.

La norma venezolana 1753-06 establece en su Capítulo 9, subsección 9.6.2, que las flechas calculadas, instantáneas o diferidas, no excederán los valores límites estipulados en la tabla que se muestra a continuación.

2.3.8 Ensayo a flexión de tres puntos

En este método de ensayo tiene como objeto determinar la resistencia a la flexión del concreto, mediante la aplicación de una carga puntual en el tramo central a una viga simplemente apoyada.

Se puede conocer el módulo de rotura en el ensayo antes descrito con la aplicación de la Ecuación 2.4.

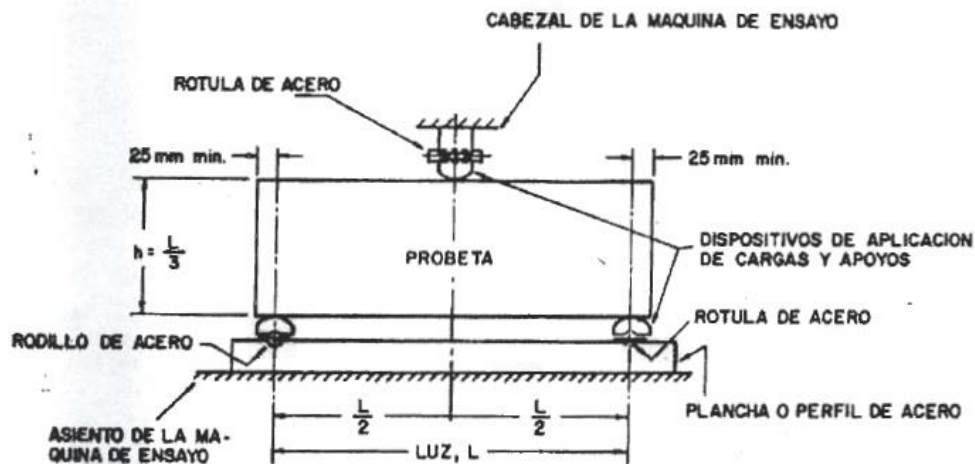


Figura 2.5- Diagrama de ensayo a flexión de viga de concreto con carga en el centro del tramo. *Fuente:* Norma Venezolana 342(R)-04

El ensayo de vigas de tres (3) puntos, con carga en el centro del tramo, permite obtener resistencias mayores que aquellos casos donde hay más de una carga aplicada, esto a causa de que la zona de esfuerzo máximo se concentra en una zona de menor longitud para el primer caso.

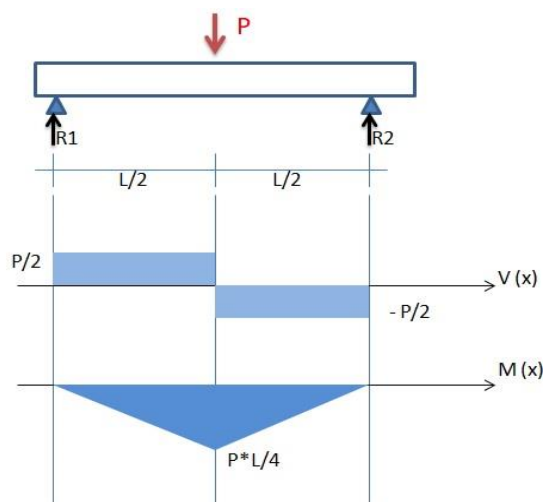


Figura 2.6- Diagrama de corte y momento (Ensayo de 3 puntos).

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO

3.1.- Tipo de la Investigación

La presente investigación surge de la necesidad de analizar la respuesta mecánica de miembros tipo viga de concreto estructural liviano a través de ensayos, esto con la finalidad de aportar información útil en el desarrollo del uso adecuado del concreto de densidad baja en el país. Con base a la definición de Valarino, Yarbe y Ceborian, la presente entonces, es una investigación aplicada del tipo: investigación evaluativa, experimental y exploratoria

Por otro lado, según la perspectiva de Sampieri (2014), esta investigación también se considera del tipo exploratoria al proponer una investigación de un tema poco estudiado en Venezuela y dejando abierta la posibilidad a continuar desarrollando el tema a nuevos estudios.

3.2.- Diseño de la Investigación

Según Arias F. (2006) se entiende como diseño de investigación "... la estrategia general que adopta el investigador para responder al problema planteado."(pag. 26). De igual manera define tres diseños de investigación; documental, de campo y experimental.

Atendiendo a lo establecido por Arias F. (2006) "La investigación experimental es un proceso que consiste en someter un objeto o grupo de individuos a determinadas condiciones, estímulos o tratamientos (variables independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente)."(pag. 33), se puede calificar el diseño de la investigación como experimental.

3.3.- Fases de la investigación

A continuación, se presenta los procedimientos realizados, necesarios para la elaboración de este trabajo de grado, así como las actividades, ensayos y otros que complementan dicha investigación:

3.3.1.- Recopilación de información

Previo a la realización de la investigación se llevó a cabo una búsqueda de información, partiendo del trabajo de grado que dio inicio a la línea de investigación que se desarrolla, seguido por documentación bibliográfica en libros especializados y finalmente en las normas venezolanas disponibles.

3.3.2.- Recolección de los materiales

En esta etapa del proyecto, se llevaron a cabo las gestiones necesarias para la adquisición de los materiales necesarios para la elaboración de mezclas y probetas requeridas. El cemento fue adquirido por medios propios, el agregado liviano fue donación realizada por MDT C.A., la arcilla expandida fue donación de Agregado Livianos de Venezuela. Finalmente los medios para el traslado de material fue contratación de servicios por medios propios.

3.3.3.- Ensayos de agregados y preliminares

En esta fase, se realizaron ensayos de granulometría, contenido de humedad, masa unitaria, módulo de finura, peso específico y pasante 200, estos ensayos se realizaron tanto para el agregado fino como para el agregado grueso, que en este caso están representado por la arena y la arcilla expandida respectivamente.



Figura 3.1 Cuarteo de Material para Granulometría de finos.



Figura 3.2 Realización de Granulometría de Finos.

3.3.4 Preparación para el vaciado de probetas

Previo al día de vaciado de las vigas se llevó a cabo el pesaje de los agregados necesario para la elaboración del concreto. Se pesaron y colocaron en sacos recipientes el agregado fino, el agregado grueso y el cemento necesario para cada viga.

3.3.5 Vaciado de las probetas

La ejecución de las viguetas, es decir, la elaboración de la mezcla de concreto y su posterior vaciado en los encofrados de plástico se llevó a cabo en el Laboratorio de Materiales y Tecnología del Concreto de la Universidad Católica Andrés Bello, ubicada en Antimano, municipio Libertador.

Durante la elaboración de cada mezcla, fueron tres (3) en total una por cada familia de probetas, se tomaron asentamientos para diferentes contenidos de agua de mezclado hasta alcanzar la trabajabilidad adecuada, de igual manera se tomaron tres probetas cilíndricas por cada vigueta.



Figura. 3.3 Vigueta y los respectivos cilindros, para el segundo vaciado.

Finalmente, una vez desencofradas las viguetas y los respectivos cilindros, estos fueron curados bajo una condición de humedad del 100%, sumergido completamente en agua.



Figura 3.4 Probetas curadas en condición de 100% de humedad.

3.3.6 Preparación de probetas para ensayo

Cada una de las probetas a ensayar fueron acondicionadas, esto implica un mejoramiento de las superficies que lo requerían, trazado de una cuadrícula para poder ubicar las grietas y la sujeción mediante pegamento de elemento necesario para registrara la deflexión del miembro.



Figura 3.5 Preparación de probetas.

3.3.7 Montaje de ensayos

Previo a la ejecución del ensayo se ejecutaron las modificaciones necesarias en la maquina marca Balwing para poder llevar a cabo el ensayo a flexión de tres puntos, cambiando el cabezal responsable de aplicar la carga y el apoyo de la probeta.

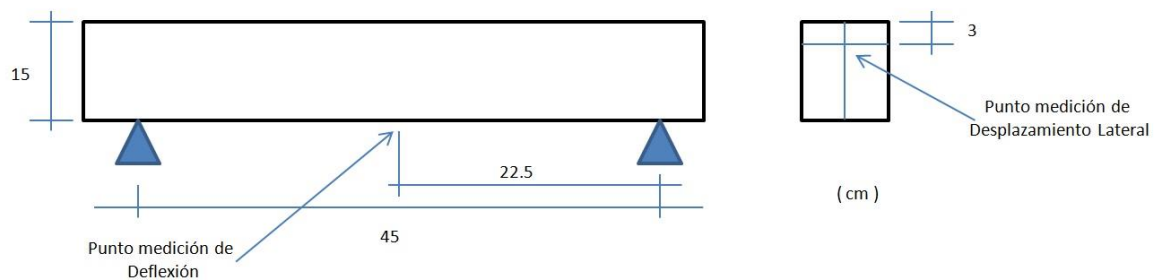


Figura 3.6 Ubicación de instrumentos de medición.



Figura 3.7 Montaje previo a ensayo.

3.3.8 Ensayo y Recolección de Datos

Los datos experimentales que se presenta en la investigación fueron obtenidos mediante el software ANDISOFT, el cual genera las medidas de deformación en función de la carga para los potenciómetros colocados, que en el caso particular de la investigación fueron dos.

3.3.9 Análisis, Conclusiones y Recomendaciones

Con la información obtenida del apartado anterior, comprendida por; gráficos, tablas e inspecciones visuales cualitativas, se dio paso al análisis de los mismo y la posterior elaboración de conclusiones y recomendaciones, finalizando así el trabajo de grado.

3.4.- Diseño Experimental

Para el desarrollo de las probetas fue necesario determinar el diseño de mezcla más conveniente, en este sentido se tomó como punto de partidas los diseños de mezcla propuestos en el TEG de Soto D. (2017), fue necesario verificar el diseño anterior debido al cambio del agregado fino y a la no utilización de aditivos, además se verificó que el tiempo óptimo de sumergencia de la arcilla expandida es de tres (3) días. Mediante el ensayo a compresión de cilindros se comprobó que las nuevas condiciones del diseño satisfacían las exigencias de trabajabilidad y resistencia deseada.

A continuación, se detalla las características de las probetas ejecutadas y el correspondiente pesaje de material.

Vaído	Dimensiones (m)			Vigetas	Cilindros	Arena (kg)	Cemento (kg)	ALIVEN (kg)	Agua (lts)	Tipo de Ensayo
	b	h	l							
V-1	0.15	0.15	0.535	1.1	3	16.54	11.99	16.3	7,50	3P
				1.2	3				8,00	
				1.3	3				8,10	
V-2	0.15	0.15	0.535	2.1	1	10,26	11,25	10,11	5,50	3P
				2.2	1				5,50	
				2.3	1				5,50	
V-3	0.15	0.15	0.535	3.1	3	16.54	24.28	16.29	9,80	3P
				3.2	3				9,50	
				3.3	3				9,50	

Tabla 3.1 Diseño Experimental.

CAPITULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1.- Resultados

A continuación se muestran los resultados de las probetas desarrolladas en función del promedio de los registros obtenidos de cada familia según la resistencia obtenida a partir de ensayos de cilindro. Seguidamente se presenta y analiza el comportamiento descrito por las diferentes curvas que arroja el estudio. Por otro lado es necesario destacar que a partir de este apartado los tres grupos muestrales serán señalados como Vaciado 1, Vaciado 2 y Vaciado 3.

De igual manera se presenta la estimación del módulo de elasticidad a partir de la curva Esfuerzo-Deformación, obtenida del ensayo de las probetas cilíndricas, según la norma ASTM C 496.

4.1.1 Vaciado 1

La *Tabla 4.1* muestra de manera resumida valores característicos obtenidos de las probetas ensayadas correspondientes a familia Vaciado 1.

Viguetas	Densidad Aparente (kg/m ³)	Carga de Falla (kgf)	Módulo de rotura (fr) (kgf/cm ²)	Resistencia Cilindro (kgf/cm ²)	Relación Agua/Cemento (a)
1	1,620.72	9,470.00	21.99	85,6	0.71
2	1,606.40	14,145.0	16.76	72,6	0.76
3	1,609.04	15,010.6	23.96	72,1	0.76

Tabla 4.1 Resultados Vaciado 1.

4.1.1.1 Vigüeta 1 -1 (Rcc = 85.58 kgf/cm²)

La *Tabla 4.2* muestra de manera resumida los valores característicos obtenidos del ensayo.

Vigüeta	Carga de falla (kgf)	Módulo de rotura (fr) kgf/cm ³	Deflexión máxima (mm)	Despl Max (mm)	Momento Ultimo (kgf*cm)	Corte Ultimo (kgf)
1.1	923.40	22.00	0.029	0.062	10,388	461.7

Tabla 4.2 Resultados V1 - 1.

En la curva Carga vs. Deflexión mostrada en el Gráfico 4.1 se observa como el elemento va aumentando la deflexión proporcional a la carga hasta llegar al primer cambio de pendiente brusca en el punto 1, el cual produce una “berma” que se mantiene hasta el punto 2, esto implica que internamente comienza una generación de grietas seguido de un reacomodo de las partículas de agregado internas, luego de esto se produce un incremento de resistencia sin aumento de la deformación hasta el punto 3, para finalmente alcanzar la falla a una deflexión de 0,029 y carga de 923,4 kgf.

Por otro lado la curva Carga vs Desplazamiento Lateral mostrada en el Gráfico 4.2 inicia con una pendiente lineal hasta el punto 1, donde experimenta un cambio brusco de pendiente que se mantiene hasta el punto 2, la berma generada entre ambos puntos corresponde con la generación de grietas internas y reacomodo de partículas señalada en el anterior (Grafico 4.1) y de igual manera se genera un incremento de resistencia sin aumento de las deformaciones hasta el punto 3 para finalmente alcanzar la falla a una desplazamiento de 0,062 y carga de 923,4 kgf..

DEFLEXIÓN V1 - 1

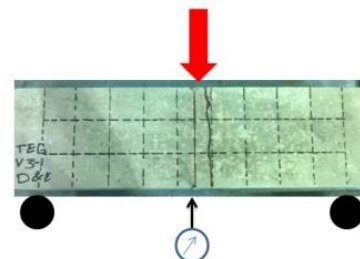
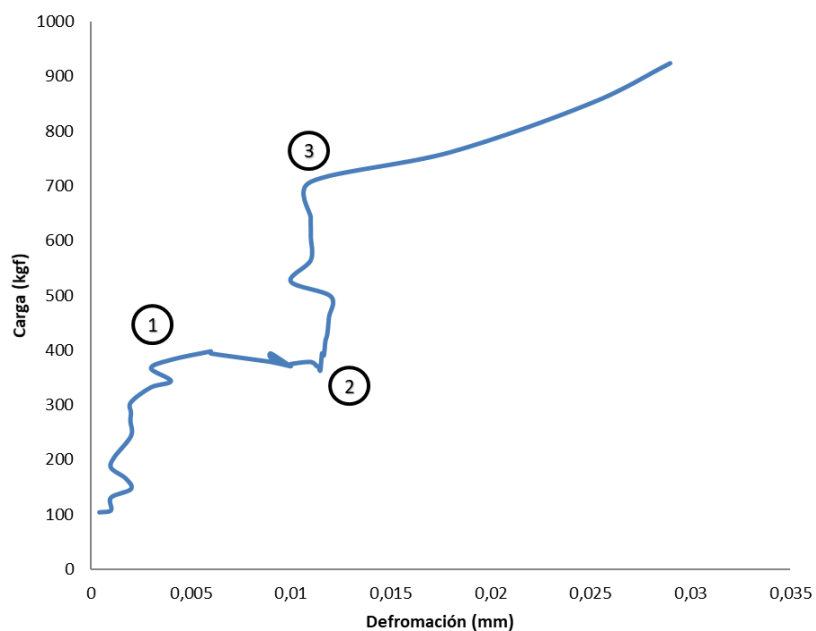


Gráfico 4.1 Carga vs. Deflexión V1-1.

DESPLAZAMIENTO LATERAL V1 - 1

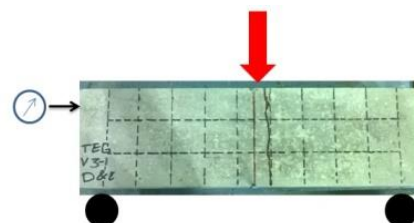
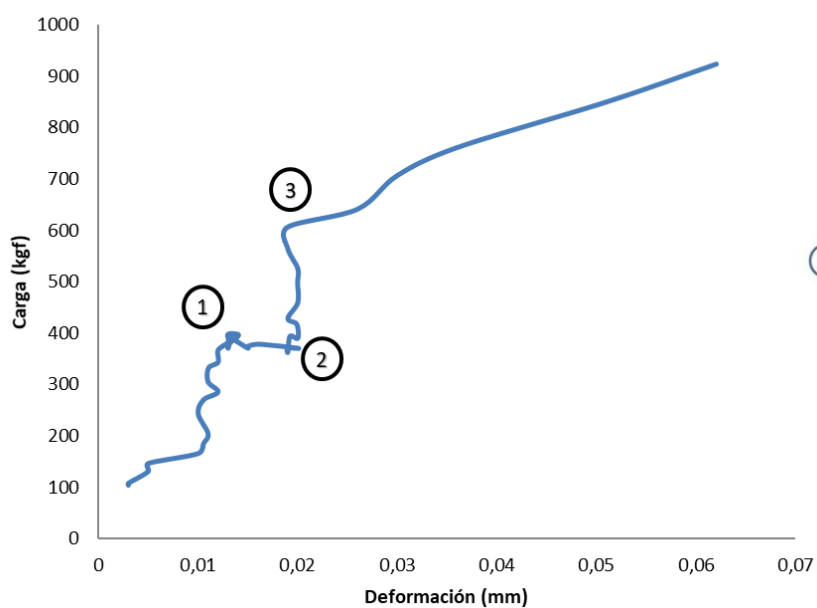


Gráfico 4.2 Carga vs. Desplazamiento Lateral V1-1.

Puntos de Interes		
#	Deflexión (mm)	Carga (kgf)
1	0,003	367,1
2	0,011	363,2
3	0,011	707,1
falla	0,029	923,4

Tabla 4.3 Cambios de pendiente Carga - Deflexión V1 - 1.

Puntos de Interes		
#	Deflexión (mm)	Carga (kgf)
1	0,015	370
2	0,02	370
3	0,02	564
falla	0,062	923,4

Tabla 4.4 Cambios de pendiente Carga – Desplazamiento Lateral V1 - 1.

En el Grafico 4.3 se evidencia la correlación entre la deflexión y el desplazamiento lateral del miembro.

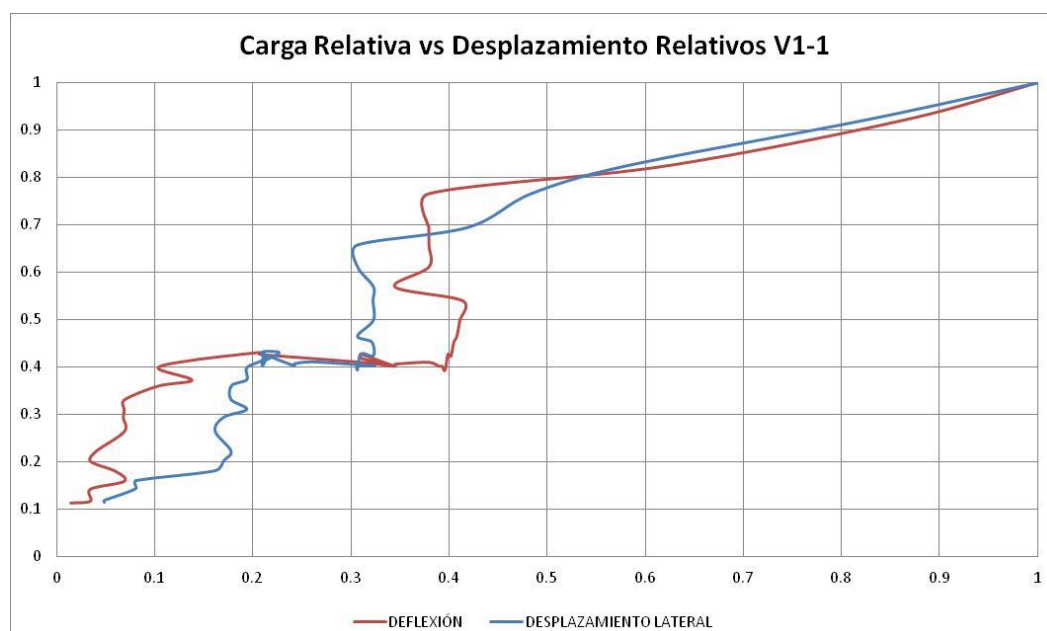


Gráfico 4.3 Carga vs. Desplazamientos Relativos V1-1.

La estimación de módulo de elasticidad a partir de la curva Esfuerzo vs Deformación arrojó un valor 51.227 kgf/cm².

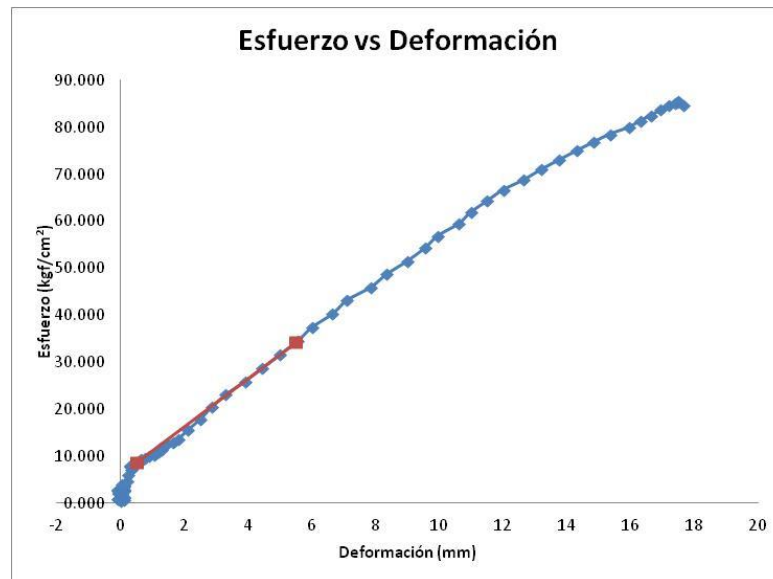


Gráfico 4.4 Esfuerzo vs. Deformación V1-1.

4.1.1.2 Vigueta 1 -2 (Rcc = 72,57 kgf/cm²)

La *Tabla 4.5* muestra de manera resumida los valores característicos obtenidos del ensayo.

Vigueta	Carga de falla (kgf)	Módulo de rotura (fr) kgf/cm ³	Deflexión máxima (mm)	Despl Max (mm)	Momento Ultimo (kgf*cm)	Corte Ultimo (kgf)
1.2	695,50	21,99	0,083	0,094	7.824,38	347,75

Tabla 4.5 Resultados V1 - 2.

En la curva Carga vs. Deflexión mostrada en el Gráfico 4.5 se observa como el elemento inicia su comportamiento resistiendo el incremento de carga sin mayores deformaciones hasta llegar al punto 1, donde experimenta un cambio brusco de pendiente que implica grandes deformaciones para un reducido incremento de carga hasta llegar al punto 2, se asocia este comportamiento a la

generación de fisuras internas y posterior reacomodo de partículas que contribuye al incremento de resistencia, tal como lo evidencia el comportamiento a partir último punto, donde se genera otro cambio brusco de pendiente que implica el incremento de la resistencia sin mayores deformaciones hasta alcanzar la falla a una deflexión de 0,092 y carga de 695,5 kgf..

La curva Carga vs Desplazamiento Lateral mostrada en el Gráfico 4.6 inicia su comportamiento con una variación muy reducida en los desplazamientos ante el incremento de carga, hasta llegar al punto 1, donde se presenta un cambio brusco de pendiente que al igual que el caso anterior se asocia a un reacomodo de las partículas internas, cuando alcanza el punto 2 se genera un nuevo cambio de pendiente a partir del cual se registra poca variación con el aumento de la carga, para finalmente alcanzar la falla a una desplazamiento de 0,094 y carga de 695,5 kgf.

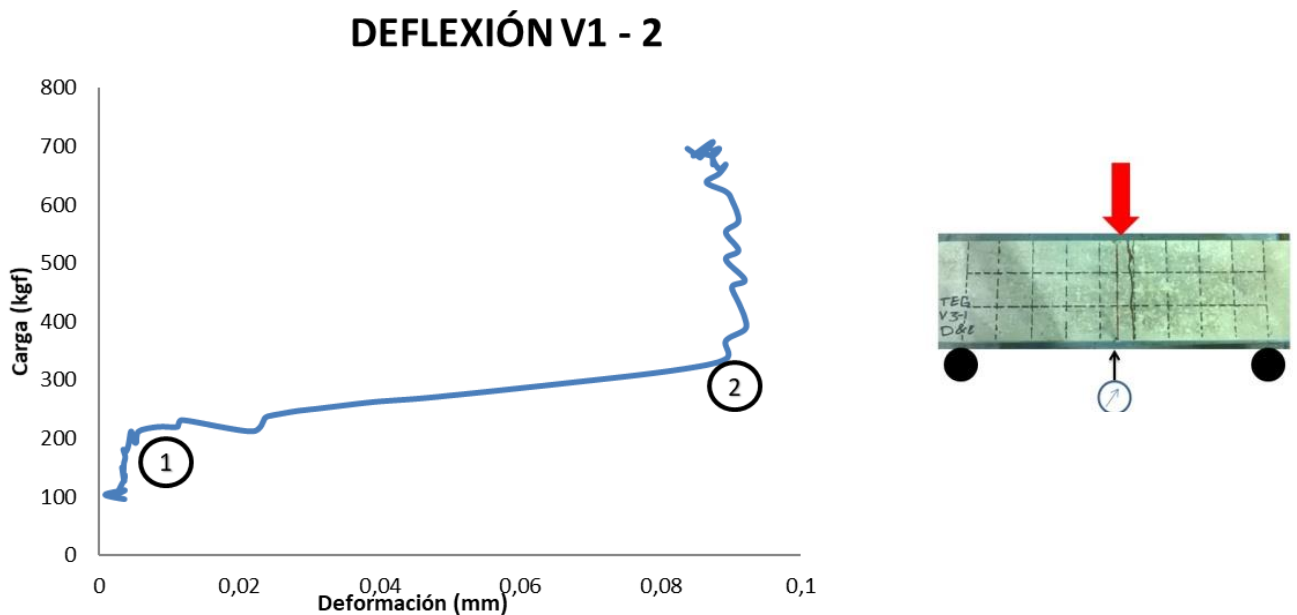


Gráfico 4.5 Carga vs. Deflexión, V 1-2.

Desplazamiento Lateral V1 - 2

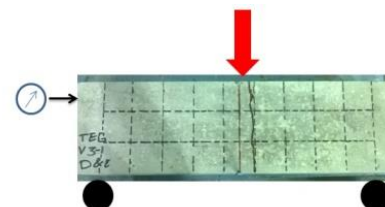
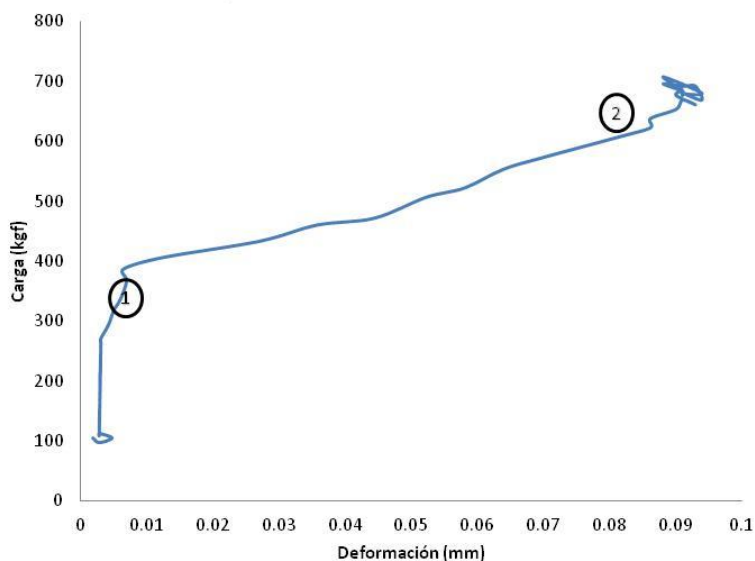


Gráfico 4.6 Carga vs. Desplazamiento Lateral, V 1-2.

Puntos de Interes		
#	Deflexión (mm)	Carga (kgf)
1	0,004	189,1
2	0,089	367,1
falla	0,092	695,5

Tabla 4.6 Cambios de pendiente Carga - Deflexión V1 - 2.

Puntos de Interes		
#	Deflexión (mm)	Carga (kgf)
1	0,011	571
2	0,09	653
falla	0,094	695,5

Tabla 4.7 Cambios de pendiente Carga – Desplazamiento Lateral V1 - 2.

En el Gráfico 4.7 se evidencia la correlación entre la deflexión y el desplazamiento lateral del miembro y como este último requiere de mayores

cargas para el incremento de las deformaciones, sin perder su relación directa con las deflexiones.

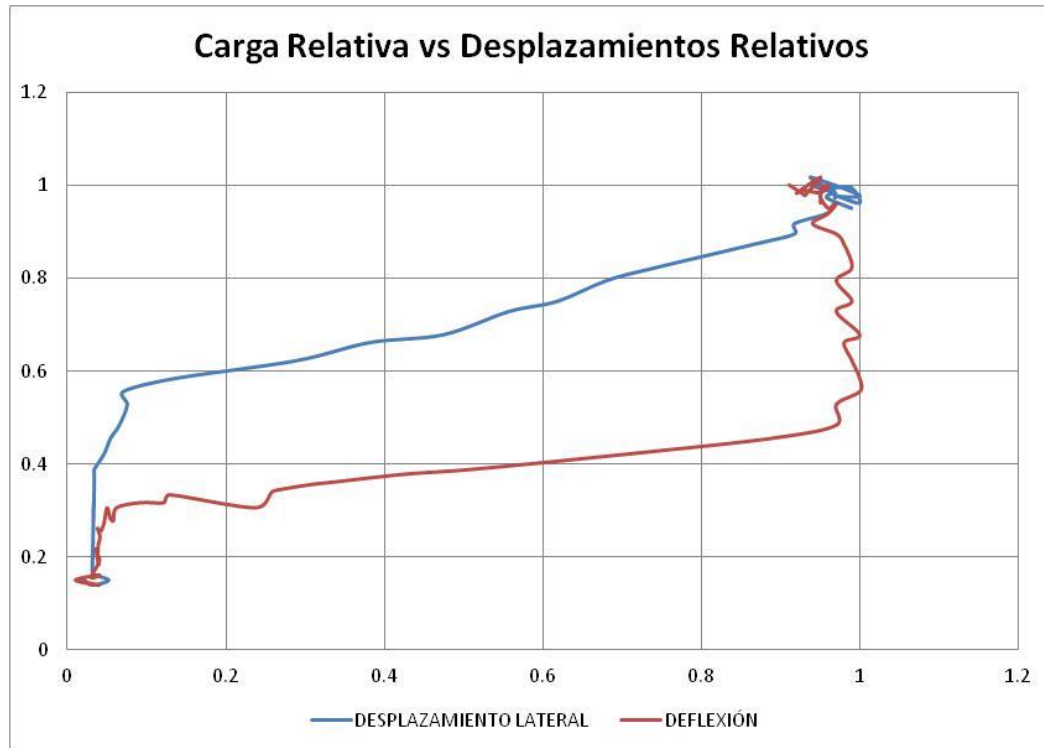


Gráfico 4.7 Carga Relativa vs Desplazamientos Relativos V1-2.

La estimación de módulo de elasticidad a partir de la curva Esfuerzo vs Deformación arrojó un valor 54.856 kgf/cm².

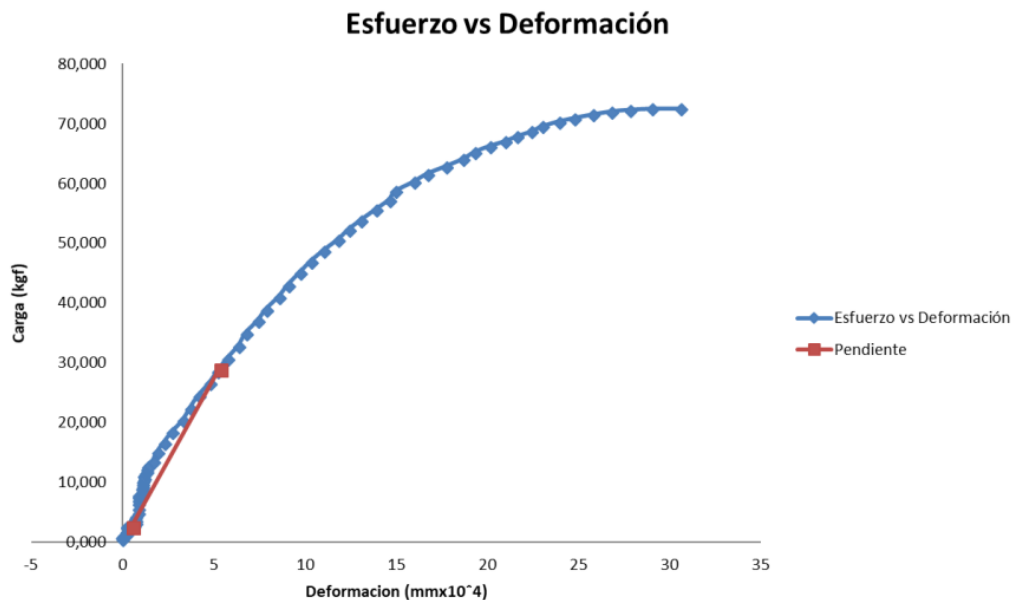


Gráfico 4.8 Esfuerzo vs. Deformación V1-2.

4.1.1.3 Vigüeta 1 -3 (Rcc = 72,15 kgf/cm²)

La *Tabla 4.8* muestra de manera resumida los valores característicos obtenidos del ensayo.

Vigüeta	Carga de falla (kgf)	Módulo de rotura (fr) kgf/cm ³	Deflexión máxima (mm)	Despl Max (mm)	Momento Ultimo (kgf*cm)	Corte Ultimo (kgf)
1.3	1027,80	23,96	0,339	0,158	11.562,75	513,9

Tabla 4.8 Resultados V1 - 3.

En la curva Carga vs. Deflexión mostrada en el Gráfico 4.9 se observa como el elemento va aumentando la deflexión como bajo incremento de carga, en este tramo inicial se presenta un reacomodo de las partículas internas consecuencia de la formación de fisuras internas, lo anterior trae como consecuencia un incremento en la resistencia del elemento, situación que se evidencia a partir del punto 1, donde un cambio brusco de pendiente conlleva a la

resistencia de carga con un bajo nivel de deflexiones hasta alcanzar la falla a una deflexión de 0,339 y carga de 1027,8 kgf..

Por otro lado la curva Carga vs Desplazamiento Lateral mostrada en el Gráfico 4.10 inicia con grandes deformaciones ante poca variación de la carga aplicada hasta llegar al punto 1 donde experimenta un cambio brusco de pendiente, al igual que el caso anterior el comportamiento de esta primera zona de la curva se asocia al reacomodo de partículas, situación que incrementa la resistencia de miembro, una vez superado el punto 1 se genera bajos incremento de desplazamiento antes el aumento de la carga, para finalmente alcanzar la falla a una desplazamiento de 0,339 y carga de 1027,8 kgf.

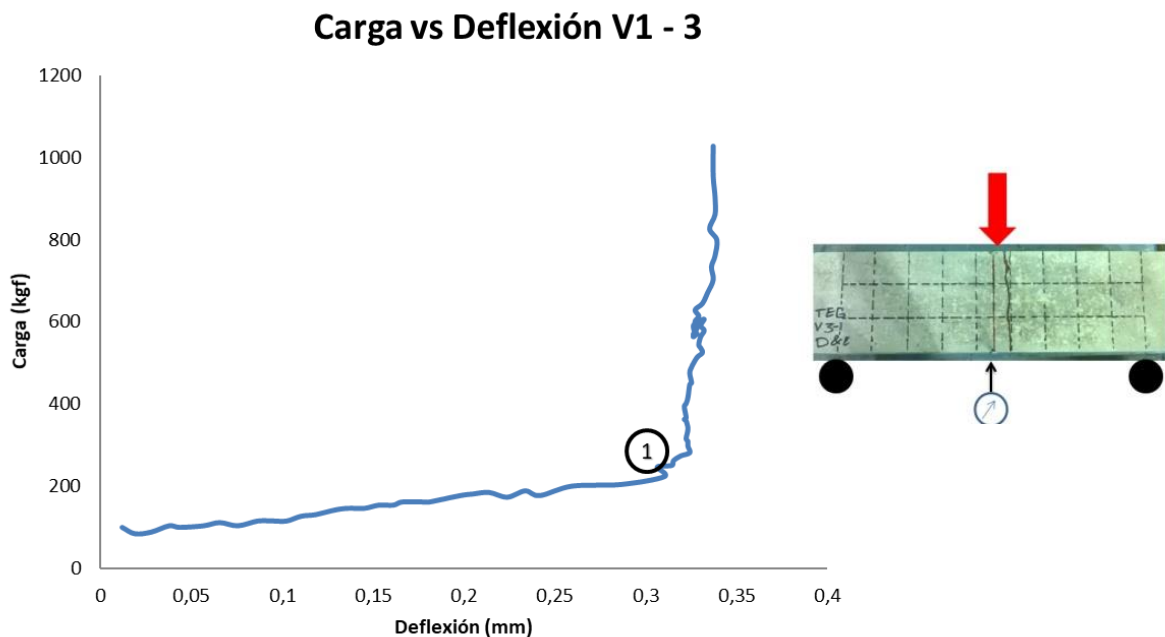


Gráfico 4.9 Carga vs. Deflexión, V 1-3.

Carga vs Desplazamiento Lateral V1 - 3

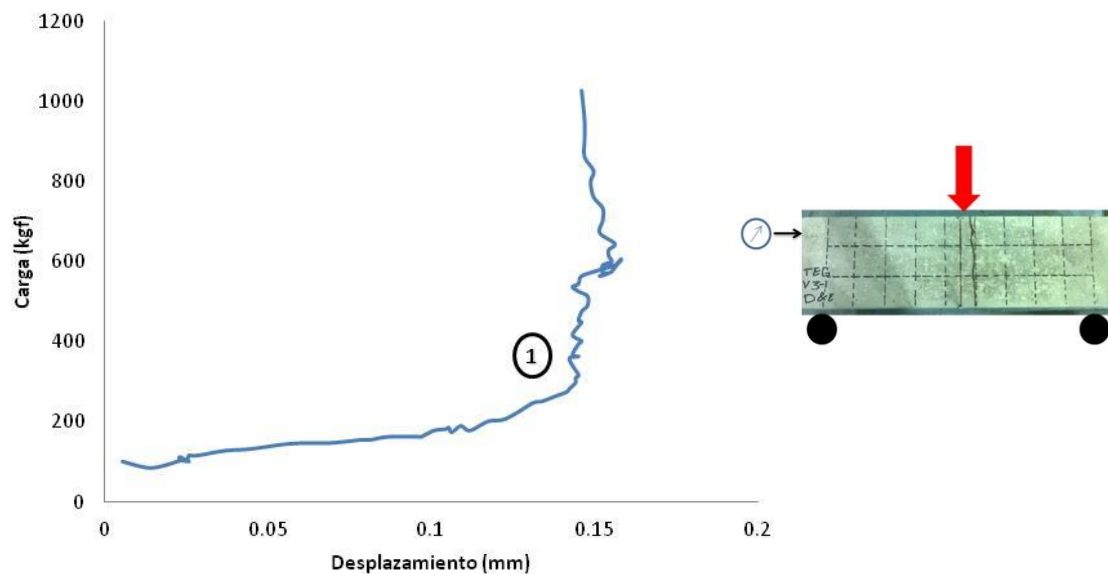


Gráfico 4.10 Carga vs. Desplazamiento Lateral V1-3.

Puntos de Interes		
#	Deflexión (mm)	Carga (kgf)
1	0,314	251,1
falla	0,339	1027,8

Tabla 4.9 Cambios de pendiente Carga - Deflexión V1 - 3.

Puntos de Interes		
#	Deflexión (mm)	Carga (kgf)
1	0,142	247,3
falla	0,158	1027,8

Tabla 4.10 Cambios de pendiente Carga – Desplazamiento Lateral V1 - 3.

En el Gráfico 4.11 se evidencia la correlación entre la deflexión y el desplazamiento lateral del miembro.

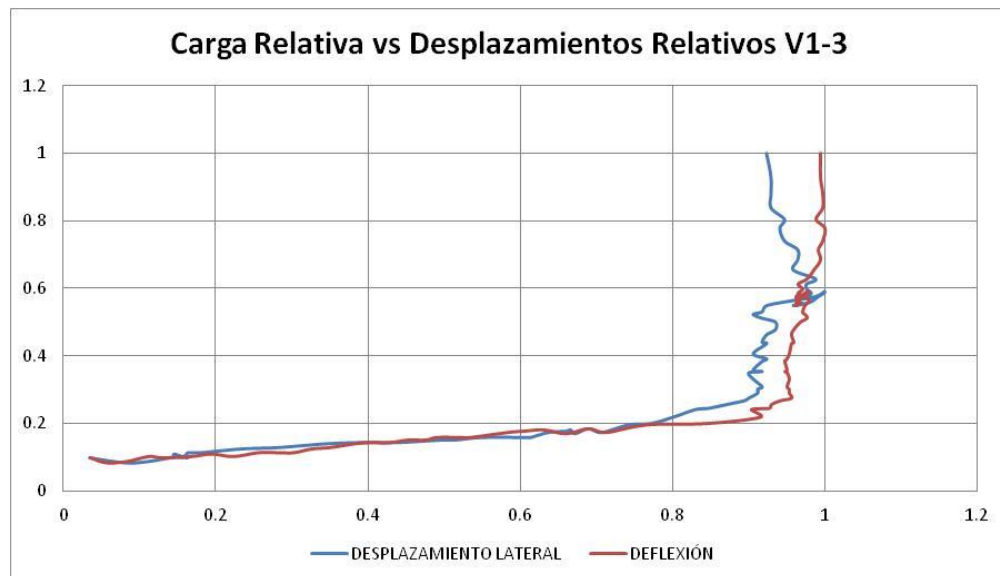


Gráfico 4.11 Carga Relativa vs Desplazamiento Relativos V1-3

La estimación de módulo de elasticidad a partir de la curva Esfuerzo vs Deformación arrojó un valor 24.838 kgf/cm².

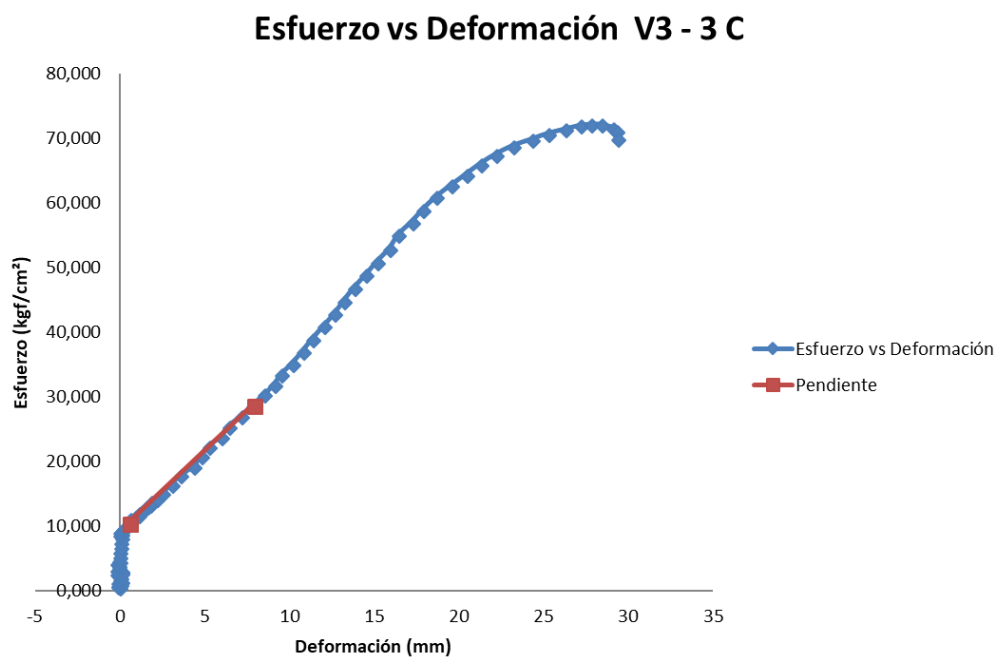


Gráfico 4.12 Esfuerzo vs. Deformación V1-3.

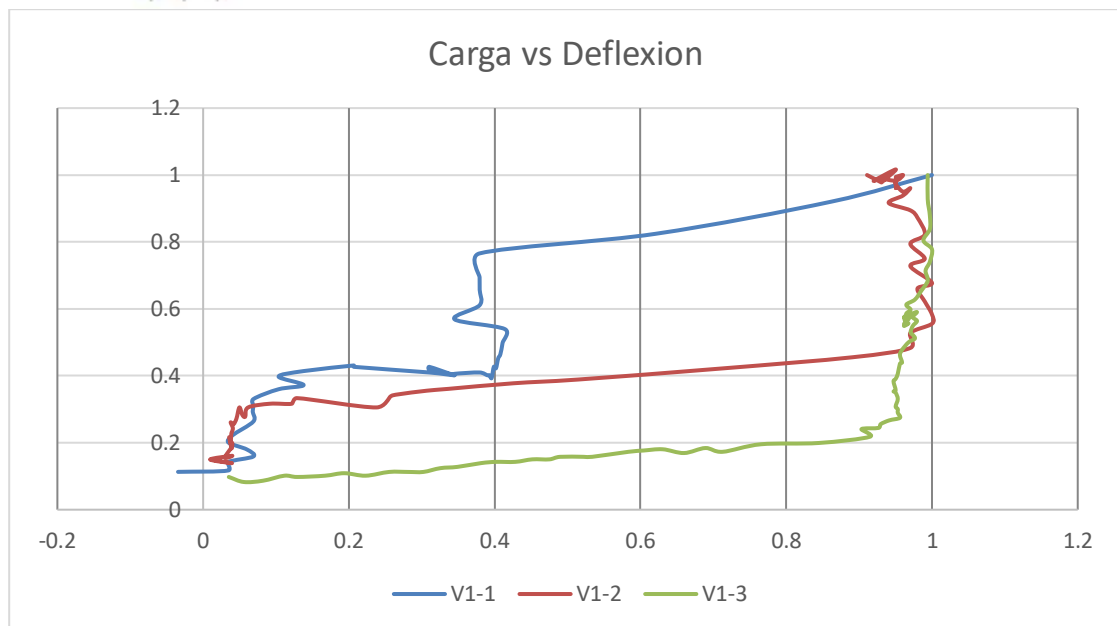


Gráfico 4.13 Comparación Carga vs Deflexión del Vaciado 1.

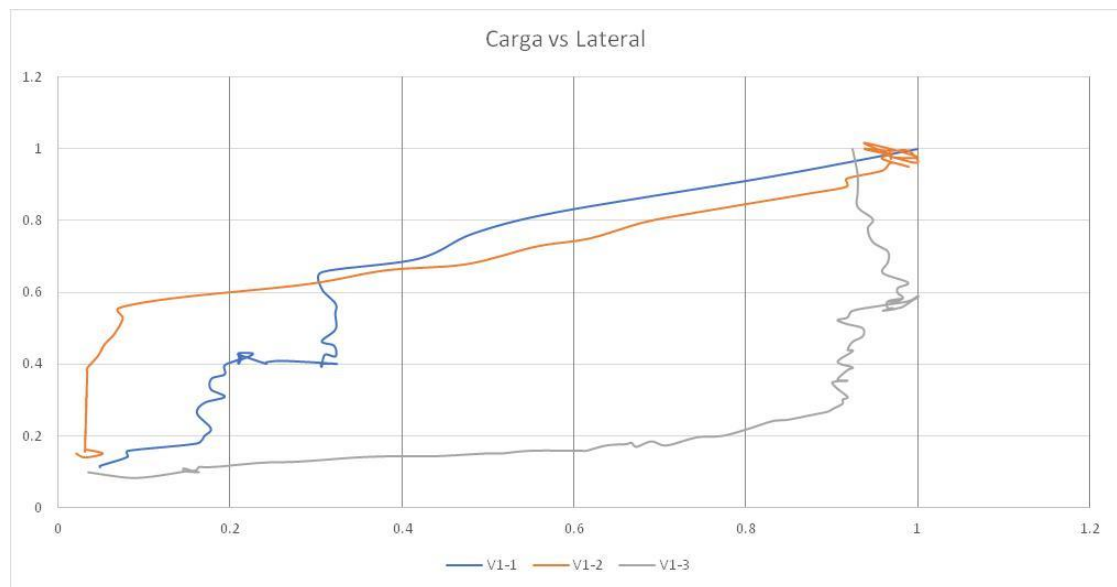


Gráfico 4.14 Comparación Carga vs Desplazamiento Lateral del Vaciado 1.

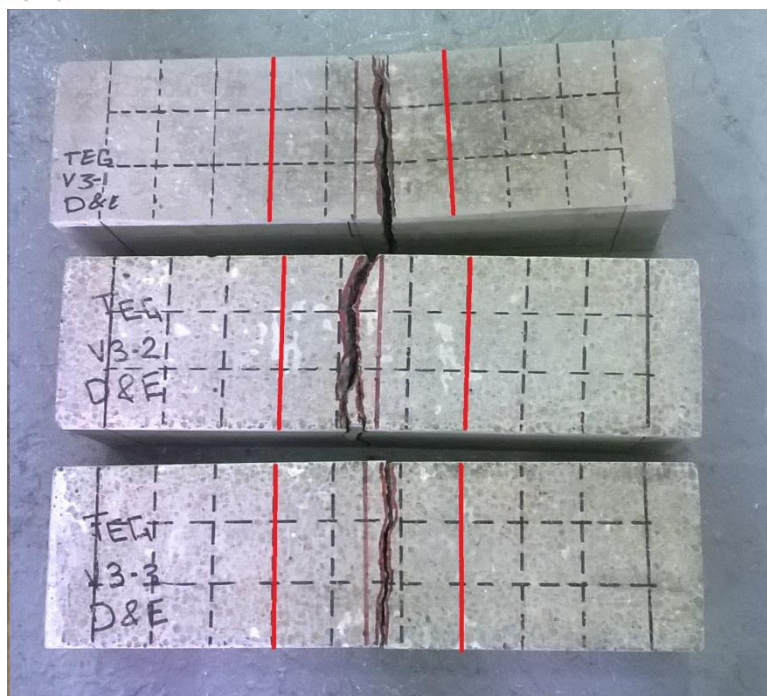


Figura 4.1 Falla de grupo Vaciado 1.

4.1.2 Vaciado 2

La *Tabla 4.11* muestra de manera resumida valores característicos obtenidos de las probetas ensayadas correspondientes a familia Vaciado 2.

Vigetas	Densidad Aparente	Carga de Falla	Módulo de rotura (fr)	Resistencia	Relación Agua/Cemento (a)
	(kg/m ³)	(kgf)	kgf/cm ³	(kgf/cm ²)	(a)
1	1,621	1,201.60	28.06	54.31	0.51
2	1,606	1,282.80	30.33	80.05	0.51
3	1,609	908.00	21.59	84.94	0.51

Tabla 4.11 Resultados Vaciado 2.

4.1.2.1 Vigüeta 2 -1 (Rcc = 54,31 kgf/cm²)

La *Tabla 4.12* muestra de manera resumida los valores característicos obtenidos del ensayo

Vigueta	Carga de falla (kgf)	Módulo de rotura (fr) kgf/cm ³	Deflexión máxima (mm)	Despl Max (mm)	Momento Ultimo (kgf*cm)	Corte Ultimo (kgf)
2.1	1000.70	28.06	0.201	0.021	11,257.88	500.35

Tabla 4.12 Resultados V2 - 1.

En la curva Carga vs. Deflexión mostrada en el Gráfico 4.15 se observa como el elemento va aumentando la deflexión proporcional a la carga hasta llegar al primer cambio de pendiente brusca en el punto 1 con una carga de 595 Kgf y una deflexión de 0,169 el cual produce un berma que se mantiene hasta el punto 2, de carga 618 con una deflexión de 0,195 , esto implica que internamente comienza una generación de grietas seguido de un reacomodo de las partículas de agregado internas, luego de esto se produce un incremento de resistencia sin aumento de la deformación hasta el punto , para finalmente alcanzar la falla a una deflexión de 0,2 y carga de 1000,7 kgf.

Por otro lado la curva Carga vs Desplazamiento Lateral mostrada en el Gráfico 4.16 inicia con una pendiente lineal hasta el punto 1, donde experimenta un cambio brusco de pendiente a una carga de 595 Kgf con un desplazamiento de 0,015 mm en donde comienza a aumentar los desplazamientos que se mantiene produciendo un berma, que implica la generación de grietas internas y reacomodo de partículas hasta el punto 2 a partir del cual se genera un incremento de resistencia para finalmente alcanzar la falla a una desplazamiento de 0,019 mm y carga de 1000,7 kgf.

Carga vs Deflexión V2 - 1

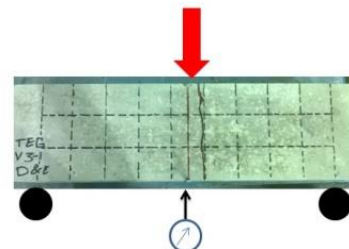
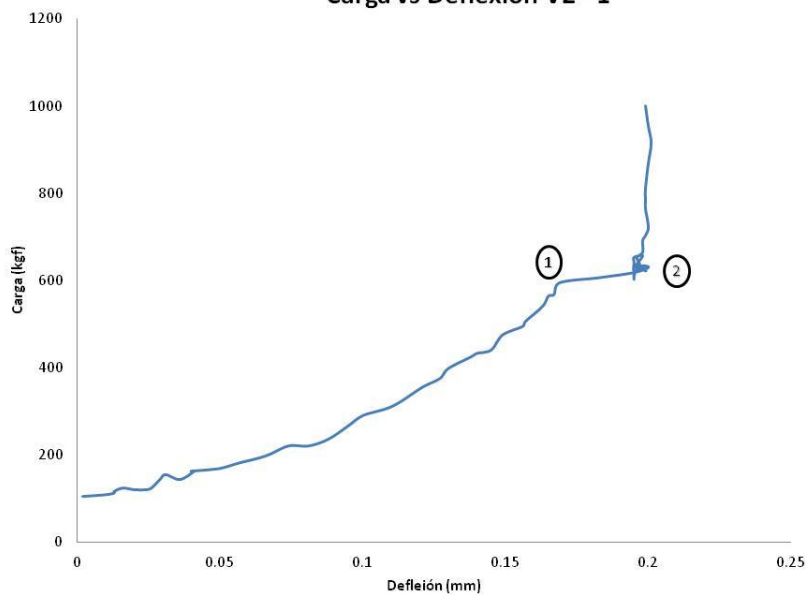


Gráfico 4.15 Carga vs. Deflexión V2-1.

Carga vs Desplazamiento Lateral V2 - 1

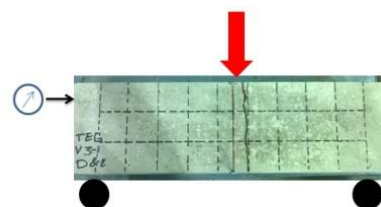
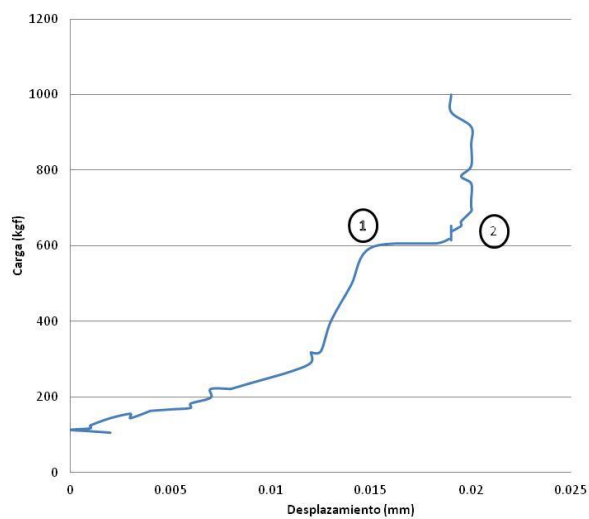


Gráfico 4.16 Carga vs. Desplazamiento Lateral V2-1.

Puntos de Interes		
#	Deflexión (mm)	Carga (kgf)
1	0.169	595
2	0.195	618
falla	0.2	1000.7

Tabla 4.13 Cambios de pendiente Carga - Deflexión V2 - 1.

Puntos de Interes		
#	Deflexión (mm)	Carga (kgf)
1	0.015	595
2	0.018	606
falla	0.019	1000.7

Tabla 4.14 Cambios de pendiente Carga – Desplazamiento Lateral V2 - 1.

En el Gráfico 4.17 se evidencia la correlación entre la deflexión relativa y el desplazamiento lateral relativo del miembro, se puede observar que tienen comportamientos similares.

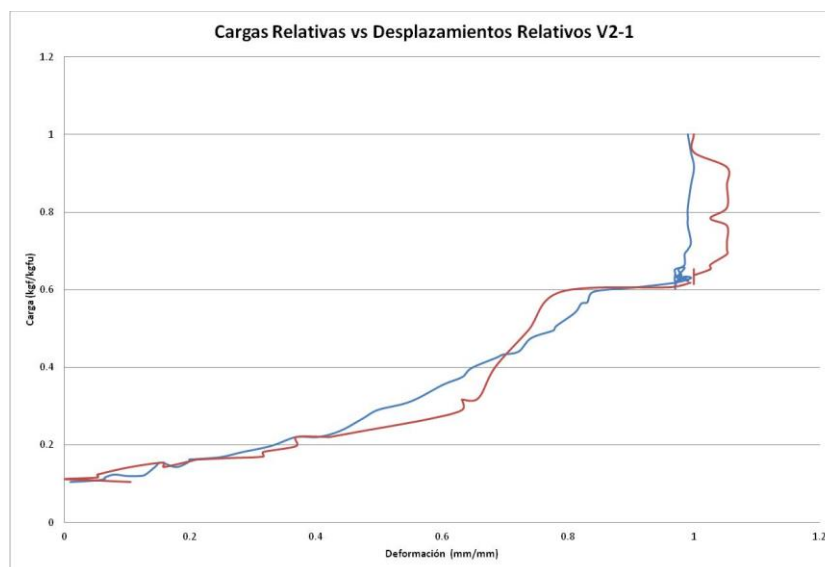


Gráfico 4.17 Carga vs. Desplazamientos Relativos V2-1.

Para la estimación del módulo de elasticidad a partir de la curva Esfuerzo vs Deformación de la Grafica 4.18, no se podría estimar por no tener un comportamiento consonó con su misma familia.

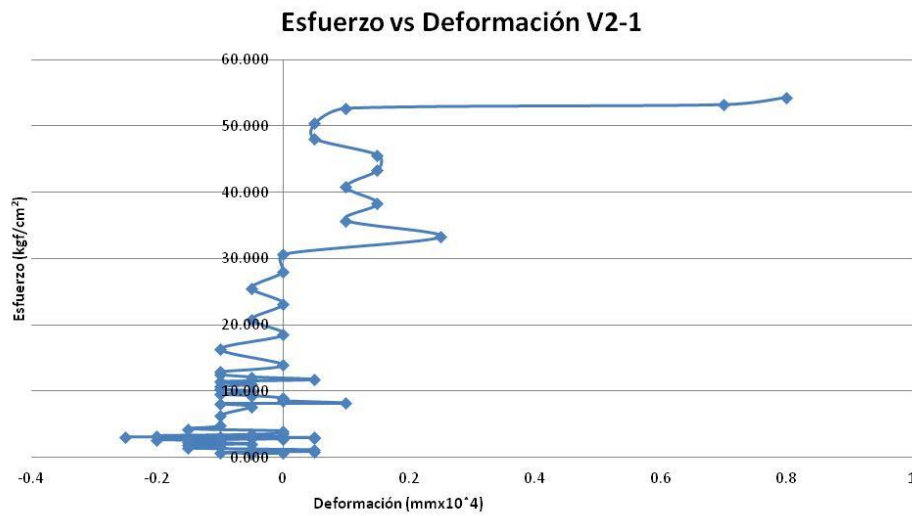


Gráfico 4.18 Esfuerzo vs. Deformación V2-1.

4.1.1.2 Vigueta 2 -2 ($R_{cc} = 80,05 \text{ kgf/cm}^2$)

La *Tabla 4.15* muestra de manera resumida los valores característicos obtenidos del ensayo.

Vigueta	Carga de falla (kgf)	Módulo de rotura (fr) kgf/cm^3	Deflexión máxima (mm)	Despl Max (mm)	Momento Ultimo ($\text{kgf}\cdot\text{cm}$)	Corte Ultimo (kgf)
2.2	1282.80	30.33	0.006	0.046	14,431.50	641.4

Tabla 4.15 Resultados V2 - 2.

En la curva Carga vs. Deflexión mostrada en el Gráfico 4.19 es complejo observar como el elemento a pesar de tener un comportamiento inicial de resistencia a medida que aumenta la carga hasta la deflexión 0,0005 mm con carga de 302 Kgf, comienza a tener un comportamiento en donde se podría decir

que se tienen aumentos de cargas pero con valores de desplazamientos que tienen ir a valores negativos, pero para la carga 684 Kgf vuelve a su comportamiento pero falla sin aumento de deflexiones aparentes. En conclusión la curva en cuestión presenta un comportamiento anormal en comparación al resto, situación que puede ser resultado de múltiples variables.

La curva Carga vs Desplazamiento Lateral mostrada en el Gráfico 4.20 inicia su comportamiento con una variación muy reducida en las cargas ante el incremento del desplazamiento, hasta llegar al punto 1, donde se presenta un cambio brusco de pendiente que al igual que en casos anteriores se asocia a un reacomodo de las partículas internas, cuando alcanza el punto 2 se genera un nuevo cambio de pendiente a partir del cual se comporta de manera lineal pero con una pendiente mayor que en el primer tramo hasta el punto 1, para finalmente alcanzar la falla a una desplazamiento de 0,043 mm y carga de 1282 kgf.

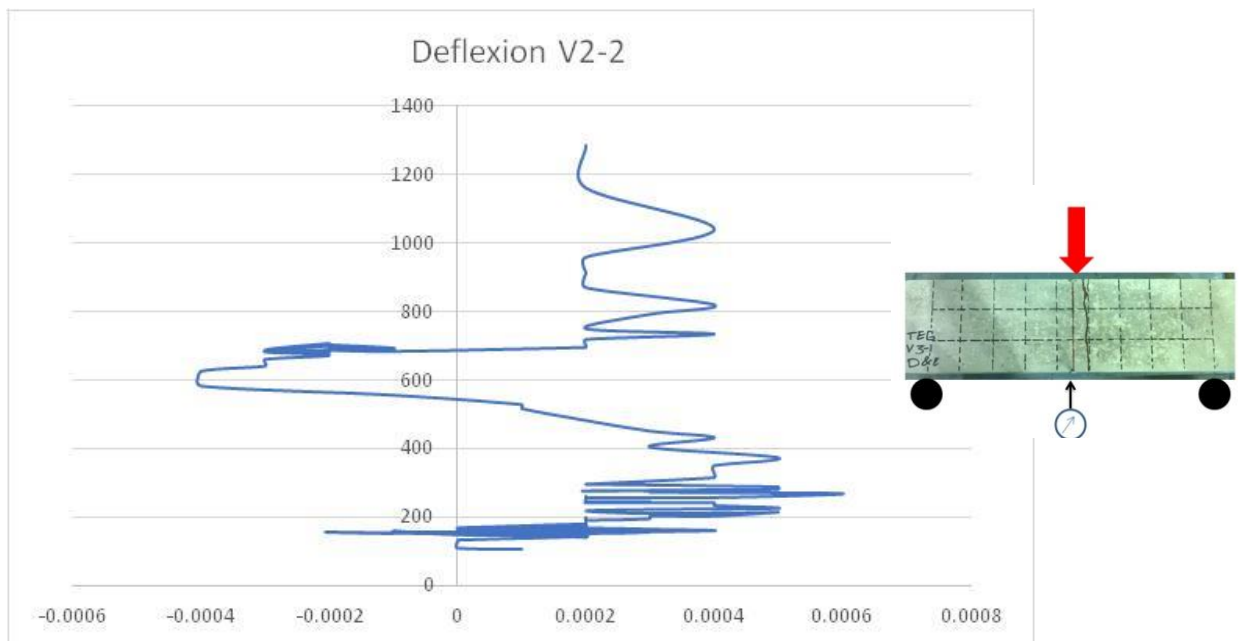


Gráfico 4.19 Carga vs. Deflexión, V2- 2.

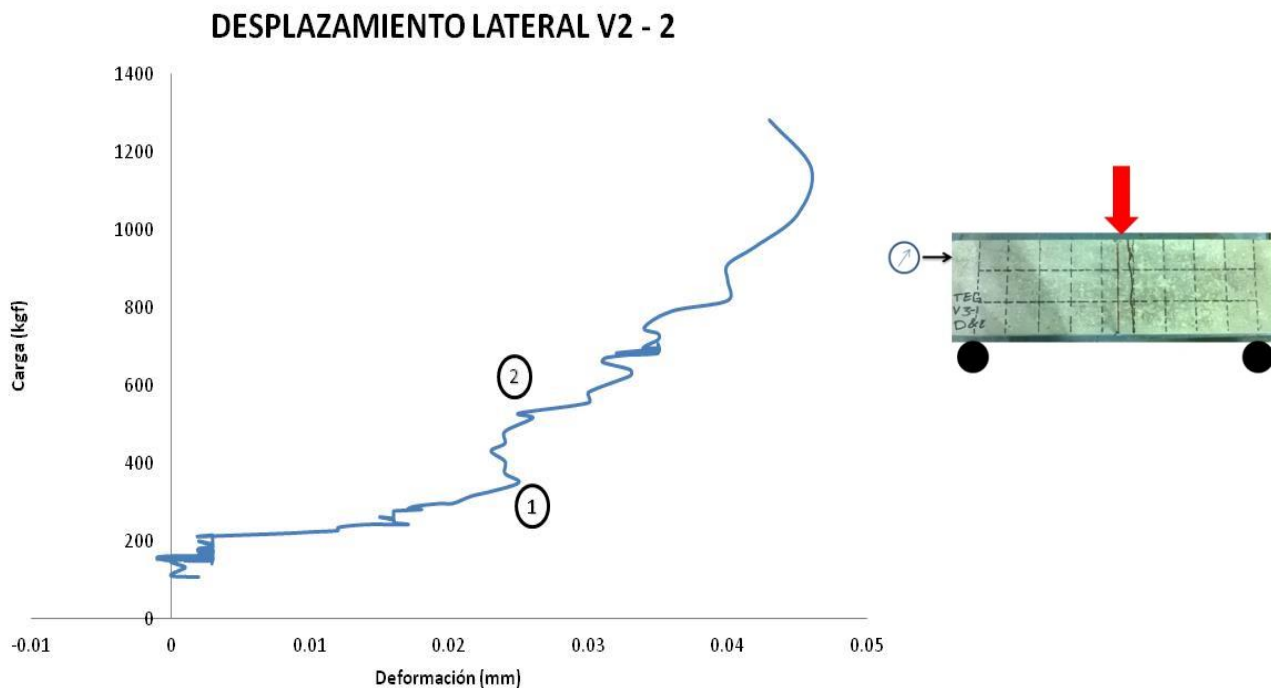


Gráfico 4.20 Carga vs. Desplazamiento Lateral, V2-2.

Puntos de Interés		
#	Deflexión (mm)	Carga (kgf)
1	0.024	374.8
2	0.025	529
falla	0.043	1282

Tabla 4.16 Cambios de pendiente Carga – Desplazamiento Lateral V2 - 2.

En el Gráfico 4.21 se evidencia una falta de correlación entre la deflexión y el desplazamiento lateral del miembro, esto debido al comportamiento anormal del miembro reflejado en el Gráfico 4.19..

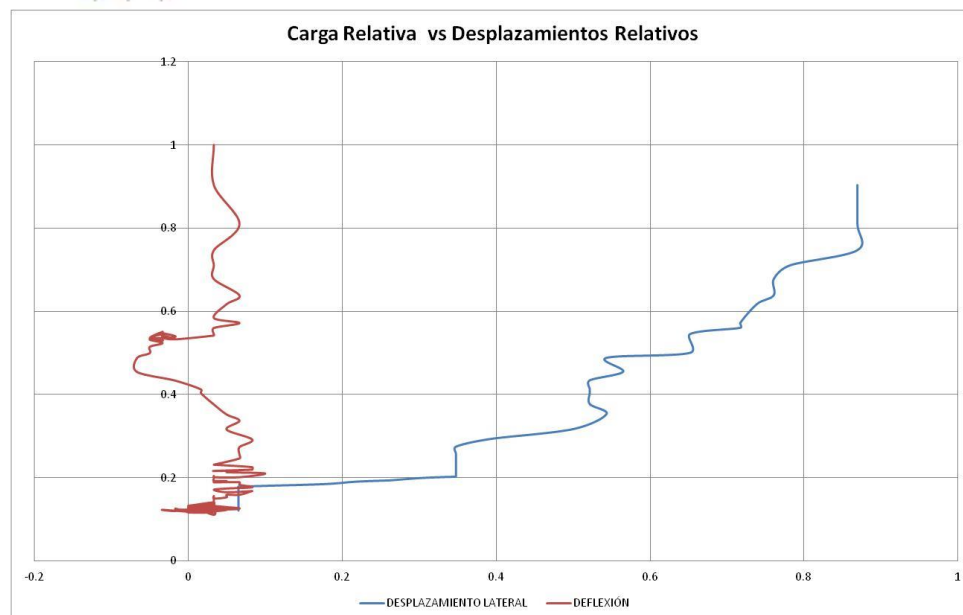


Gráfico 4.21 Carga Relativa vs Desplazamientos Relativos V2-2.

Para la estimación del módulo de elasticidad a partir de la curva Esfuerzo vs Deformación de la Gráfica 4.23, no se podría estimar por no tener un comportamiento consonó con su misma familia, situación que puede tener su origen en múltiples variables.

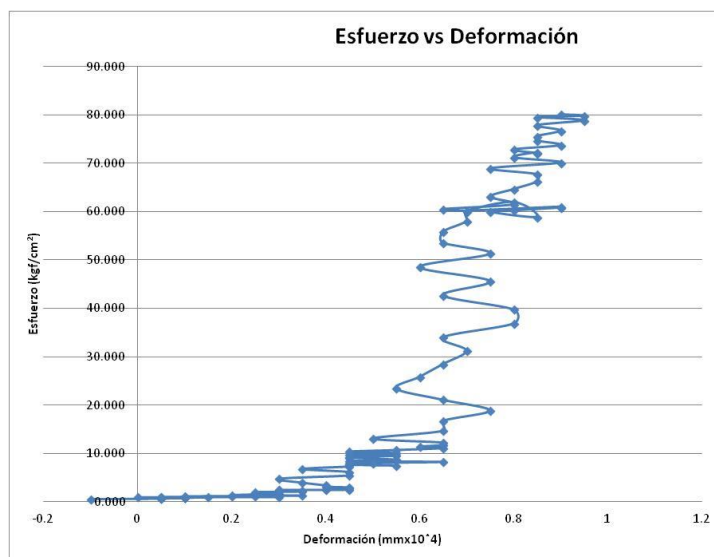


Gráfico 4.22 Esfuerzo vs. Deformación V2-2.

4.1.2.3 Vigueta 2 -3 ($R_{cc} = 84,94 \text{ kgf/cm}^2$)

La *Tabla 4.17* muestra de manera resumida los valores característicos obtenidos del ensayo.

Vigueta	Carga de falla (kgf)	Módulo de rotura (fr) kgf/cm^3	Deflexión máxima (mm)	Despl Max (mm)	Momento Ultimo (kgf*cm)	Corte Ultimo (kgf)
2.1	908.00	21.59	0.049	0.144	10,215.00	454

Tabla 4.17 Resultados V2 - 3.

En la curva Carga vs. Deflexión mostrada en el Gráfico 4.23 se observa como el elemento va aumentando la carga sin deflexiones, teniendo un comportamiento bastante frágil donde se generan bajas variaciones de deflexiones hasta llegar al punto 1 en una carga de 734 Kgf con una deflexión de 0,004 mm a partir del cual comienza el incremento de la deflexión de manera lineal hasta alcanzar la falla a una carga de 908 Kgf con una deflexión de 0,144 mm. Esta curva exhibe un comportamiento anormal y de mayor fragilidad en comparación al resto de los elementos de la misma muestra.

Por otro lado la curva Carga vs Desplazamiento Lateral mostrada en el Gráfico 4.24 inicia con grandes deformaciones ante poca variación de la carga aplicada hasta llegar al punto 1 con carga de 300 Kgf y un desplazamiento de 0,014 mm donde experimenta un cambio brusco de pendiente donde no deja al miembro generar un reacomodo de partículas, antes de la falla frágil, donde esta ocurre a una carga de 908 Kgf con un desplazamiento de 0,145 mm.

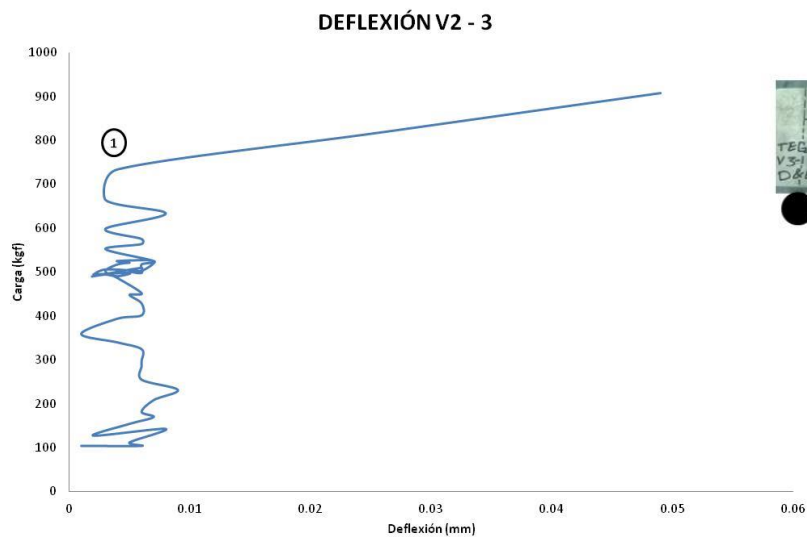


Gráfico 4.23 Carga vs. Deflexión, V 2-3.

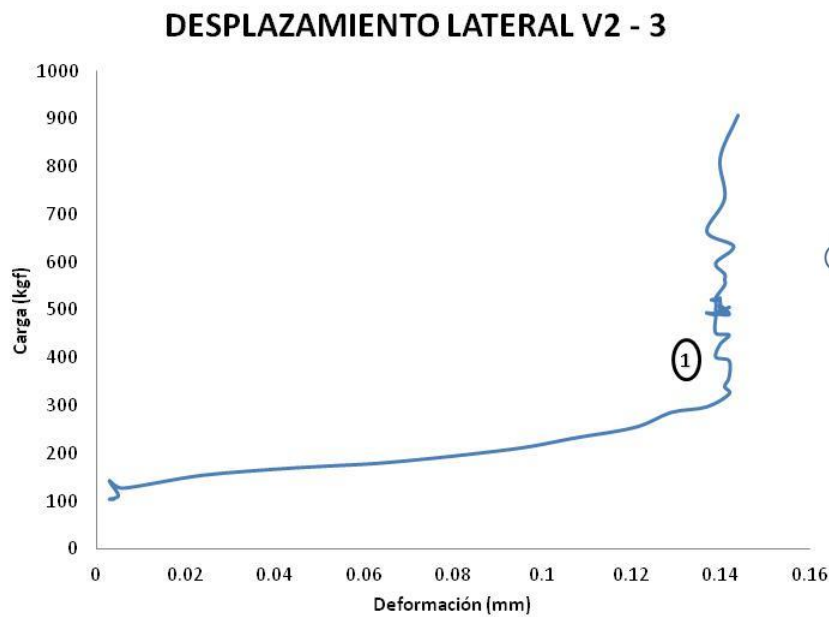


Gráfico 4.24 Carga vs. Desplazamiento Lateral, V2-3.

Puntos de Interes		
#	Deflexión (mm)	Carga (kgf)
1	0.004	734
falla	0,049	908

Tabla 4.18 Cambios de pendiente Carga - Deflexión V2 - 3.

Puntos de Interes		
#	Deflexión (mm)	Carga (kgf)
1	0.14	300
falla	0.145	908

Tabla 4.19 Cambios de pendiente Carga – Desplazamiento Lateral V2 - 3.

En el Gráfico 4.25 se evidencia la falta de correlación entre la deflexión y el desplazamiento lateral del miembro, situación que se debe al comportamiento anómalo de la curva que describe la deflexión, esta incongruencia puede ser producto de factores diversos, razón por la que no se considera representativo de la muestra.

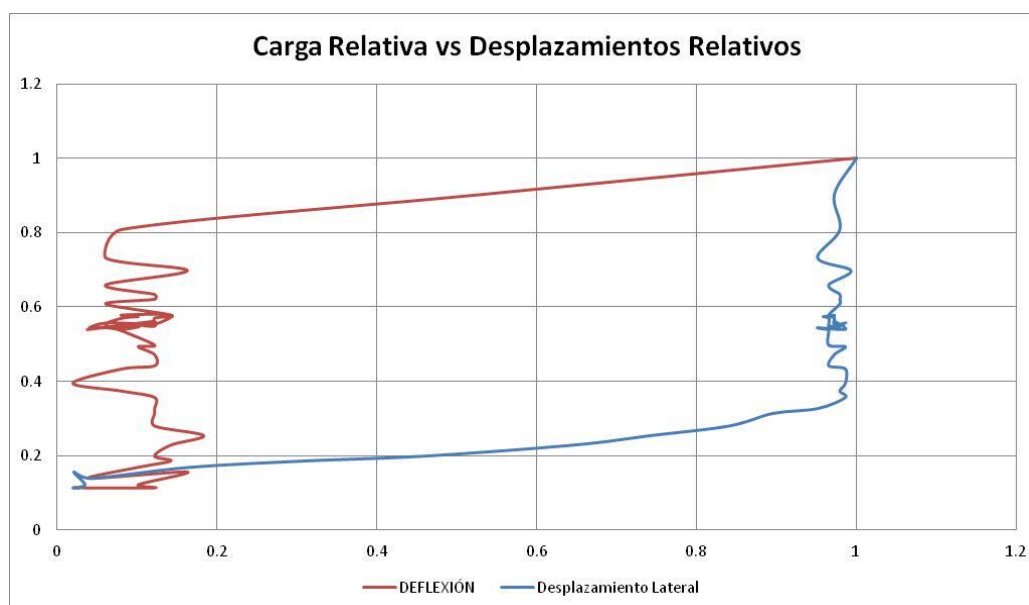


Gráfico 4.25 Carga Relativa vs Desplazamiento Relativos V2-3

La estimación de módulo de elasticidad a partir de la curva Esfuerzo vs Deformación arrojó un valor 41.908 kgf/cm².

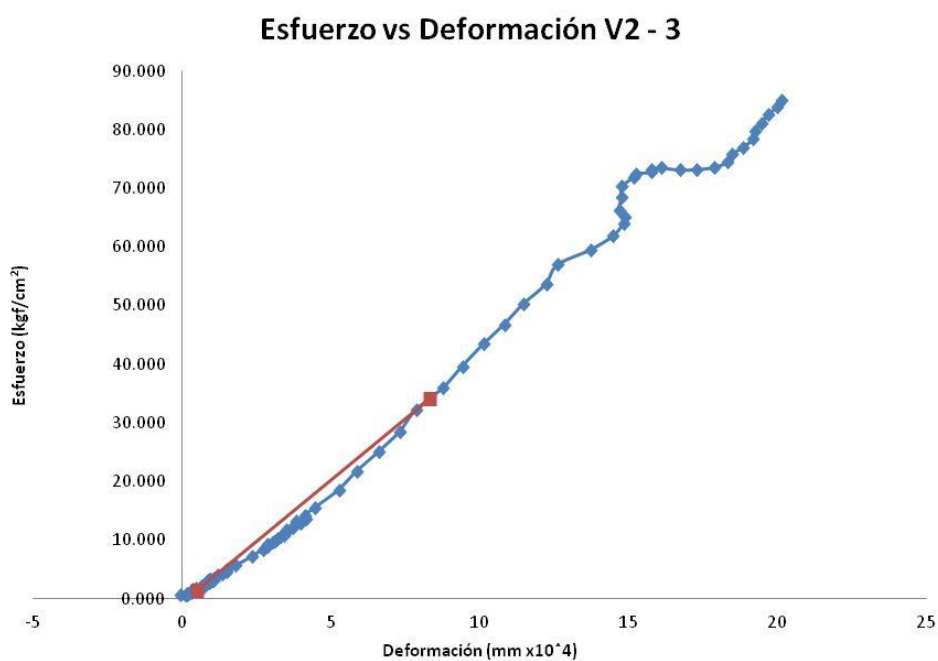


Gráfico 4.26 Esfuerzo vs. Deformación V2-3.

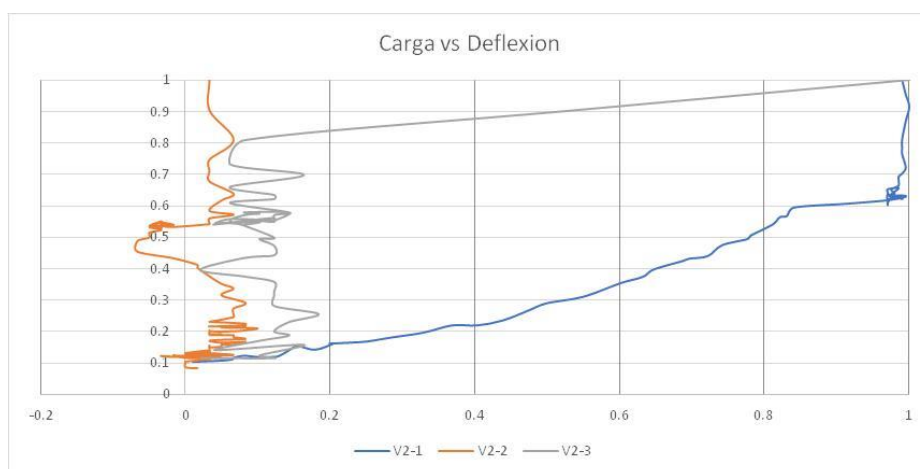


Gráfico 4.27 Comparación Carga vs Deflexión del Vaciado 2.

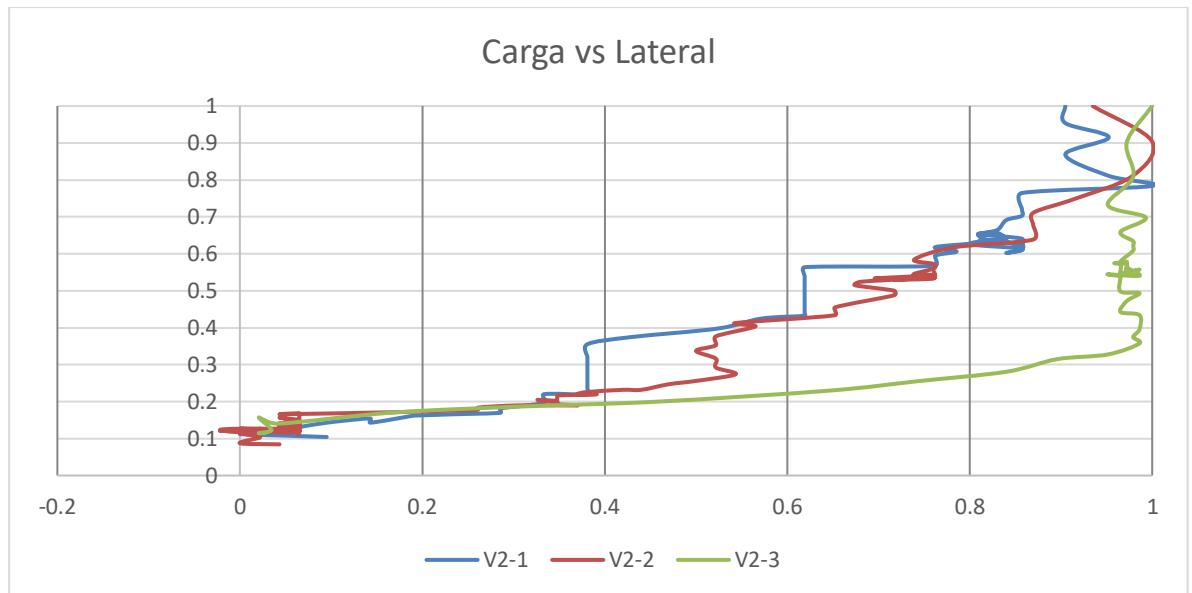


Gráfico 4.28 Comparación Carga vs Desplazamiento Lateral del Vaciado 2.

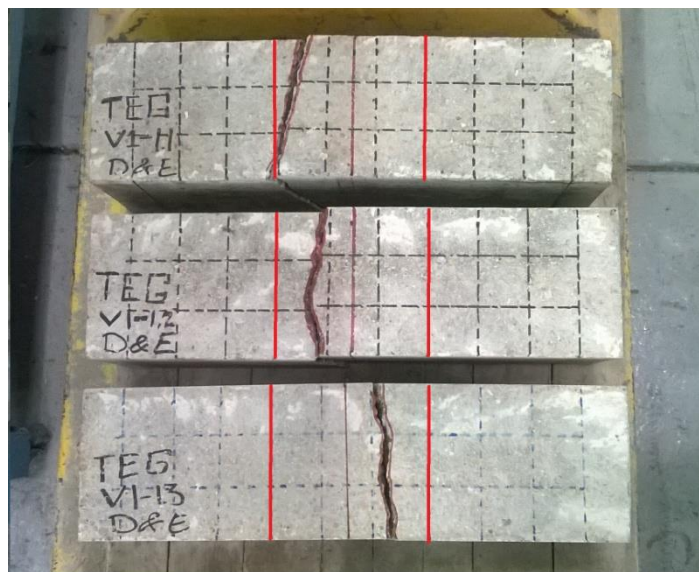


Figura 4.2 Falla de grupo Vaciado 2.

4.1.3 Vaciado 3

La *Tabla 4.20* muestra de manera resumida valores característicos obtenidos de las probetas ensayadas correspondientes a familia Vaciado 3.

Vigetas	Densidad Aparente	Carga de Falla	Módulo de rotura (fr)	Resistencia	Relación Agua/Cemento (a)
	(kg/m ³)	(kgf)	kgf/cm ³	(kgf/cm ²)	(a)
1	1,696	1,020.00	23.94	106.02	0.48
2	1,660	1,147.50	27.29	151.65	0.47
3	1,752	896.40	21.13	163.68	0.47

Tabla 4.20 Resultados Vaciado 3.

4.1.3.1 Vigüeta 3 -1 (Rcc = 106 kgf/cm²)

La *Tabla 4.21* muestra de manera resumida los valores característicos obtenidos del ensayo.

Vigüeta	Carga de falla (kgf)	Módulo de rotura (fr) kgf/cm ³	Deflexión máxima (mm)	Despl Max (mm)	Momento Ultimo (kgf*cm)	Corte Ultimo (kgf)
3.1	1020.00	23.94	0.026	0.118	11,475.00	510

Tabla 4.21 Resultados V3 - 1.

En la curva Carga vs. Deflexión mostrada en el Gráfico 4.29 se observa como el elemento va aumentando la deflexión con bajos aumentos de carga hasta llegar al primer cambio de pendiente brusca en el punto 1 a una carga de 367,1 Kgf con una deflexión de 0,003 mm, a partir del cual se generan aumentos de cargas sin variaciones considerables en los desplazamientos hasta finalmente alcanzar la falla a una deflexión de 0,118 mm y carga de 1020 kgf.

Por otro lado la curva Carga vs Desplazamiento Lateral mostrada en el Gráfico 4.30 inicia con aumentos de desplazamientos sin generar aumentos considerables de carga hasta el punto 1, donde experimenta un ligero cambio pendiente, a partir del cual se tiene incrementos de carga sin desplazamientos hasta alcanzar la falla a una desplazamiento de 0,118 mm y carga de 1020 kgf.

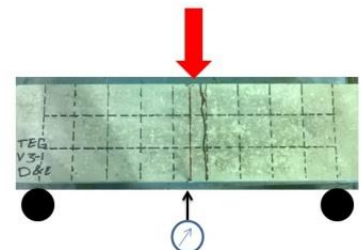
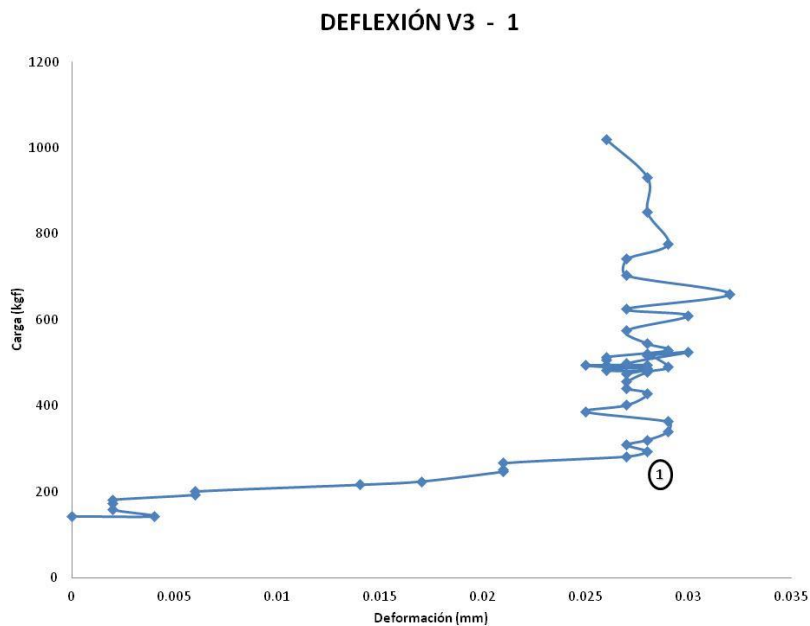


Gráfico 4.29 Carga vs. Deflexión V3-1.

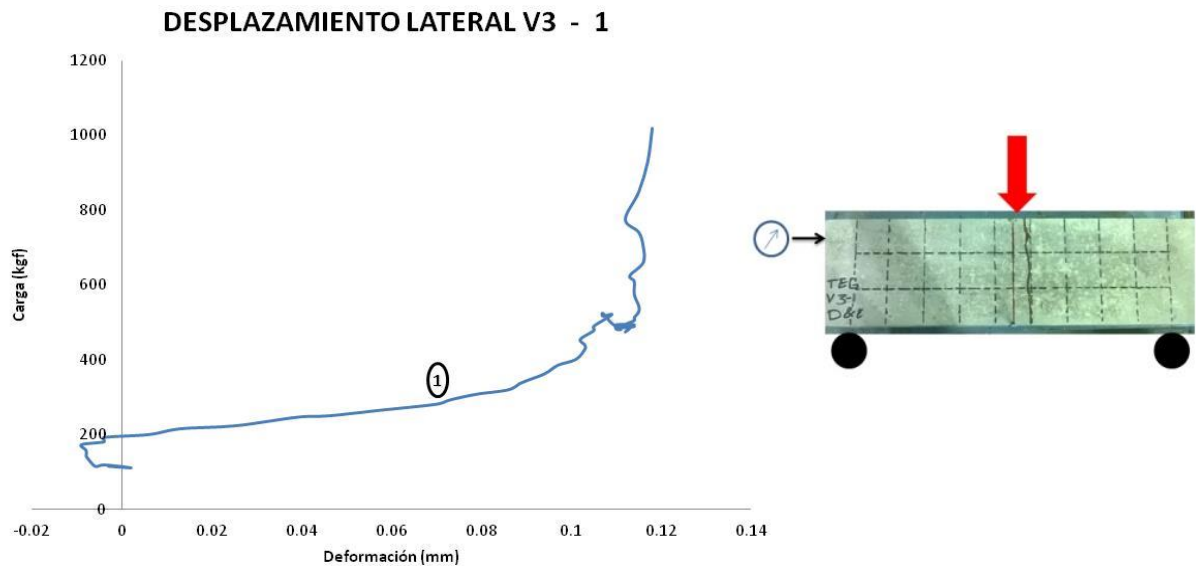


Gráfico 4.30 Carga vs. Desplazamiento Lateral V3-1.

Puntos de Interés		
#	Deflexión (mm)	Carga (kgf)
1	0.003	367.1
falla	0.118	1020

Tabla 4.22 Cambios de pendiente Carga - Deflexión V3 - 1.

Puntos de Interés		
#	Deflexión (mm)	Carga (kgf)
1	0.103	429
falla	0.118	1020

Tabla 4.23 Cambios de pendiente Carga – Desplazamiento Lateral V3 - 1.

En el Gráfico 4.31 se evidencia la correlación entre la deflexión y el desplazamiento lateral del miembro, teniendo un comportamiento similar.

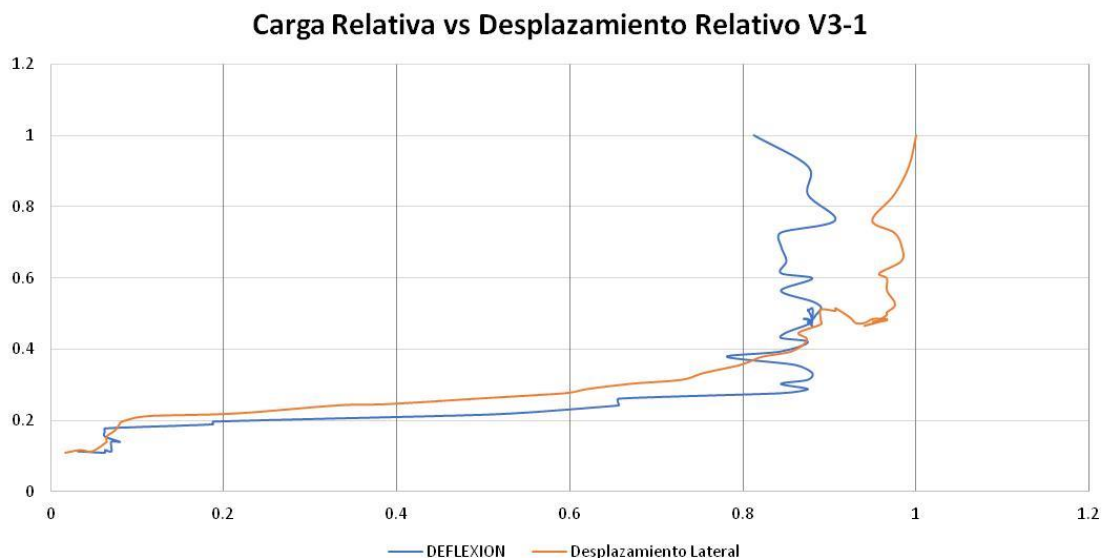


Gráfico 4.31 Carga vs. Desplazamientos Relativos V3-1.

La estimación de módulo de elasticidad a partir de la curva Esfuerzo vs Deformación arrojó un valor 60.350 kgf/cm².

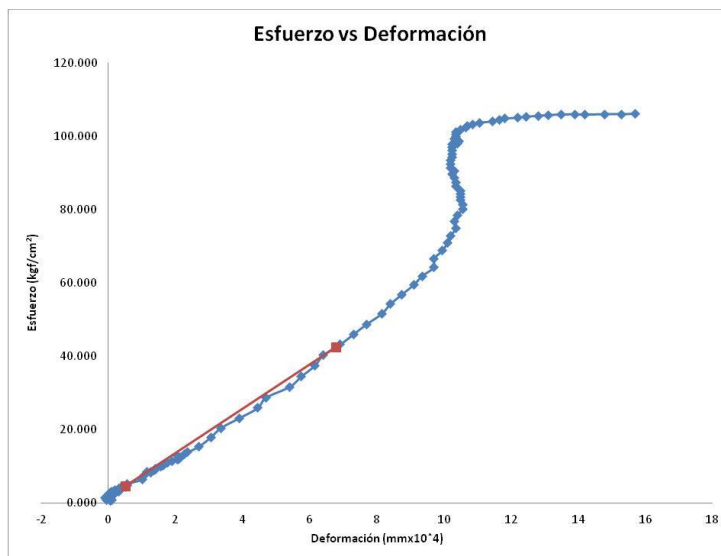


Gráfico 4.32 Esfuerzo vs. Deformación V3-1.

4.1.3.2 Vigueta 3 -2 ($R_{cc} = 152 \text{ kgf/cm}^2$)

La *Tabla 4.24* muestra de manera resumida los valores característicos obtenidos del ensayo.

Vigueta	Carga de falla (kgf)	Módulo de rotura (fr) kgf/cm^3	Deflexión máxima (mm)	Despl Max (mm)	Momento Ultimo (kgf*cm)	Corte Ultimo (kgf)
3.2	1147.50	27.29	0,036	0,63	12,909.38	573.75

Tabla 4.24 Resultados V3 - 2.

En la curva Carga vs. Deflexión mostrada en el Gráfico 4.33 se observa como el elemento inicia su comportamiento resistiendo el incremento de carga de manera casi lineal hasta que llega a una carga de 603 Kgf y comienza a tener pérdidas en la deflexión hasta la carga 800 Kgf donde vuelve a generar tenciones el miembro, tienen un incremento en las deflexiones donde lo llevan a alcanzar la falla a una deflexión de 0,036 mm y carga de 1147,5 kgf.

La curva Carga vs Desplazamiento Lateral mostrada en el Gráfico 4.34 inicia su comportamiento con una variación en los desplazamientos ante el incremento de carga, hasta llegar al punto 1 a una carga de 436 Kgf con un desplazamiento de 0,057 mm , donde se presenta un cambio brusco de pendiente que al igual que el caso anterior se asocia a un reacomodo de las partículas internas, donde comienza a resistir mayores cargas sin desplazamientos laterales para finalmente alcanzar la falla a una desplazamiento de 0,063 y carga de 1147,5 kgf.

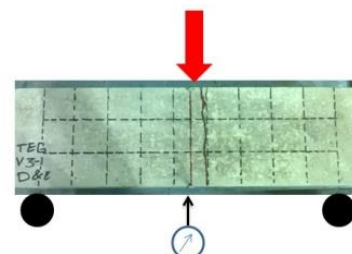
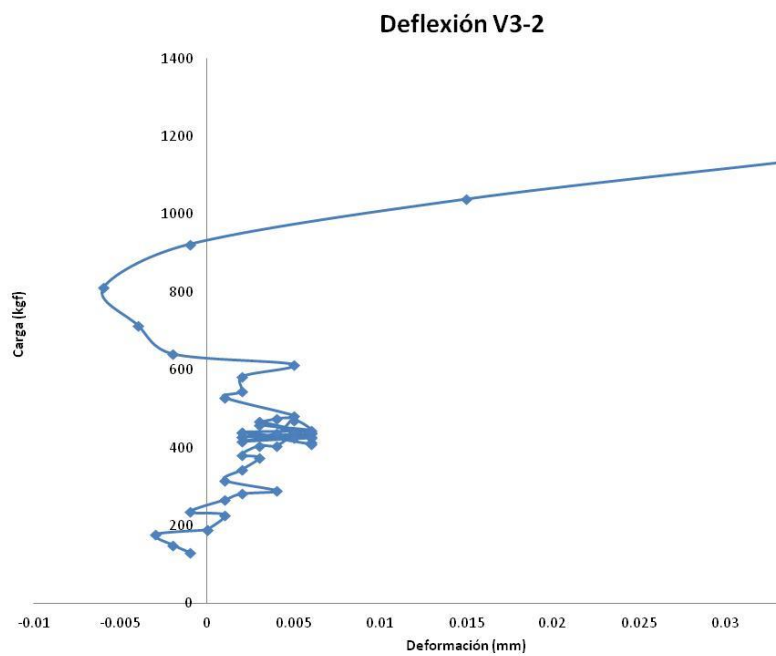


Gráfico 4.33 Carga vs. Deflexión, V3-2.

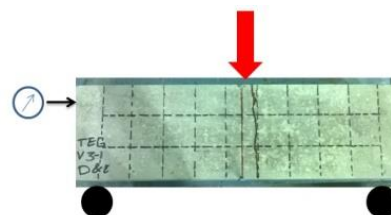
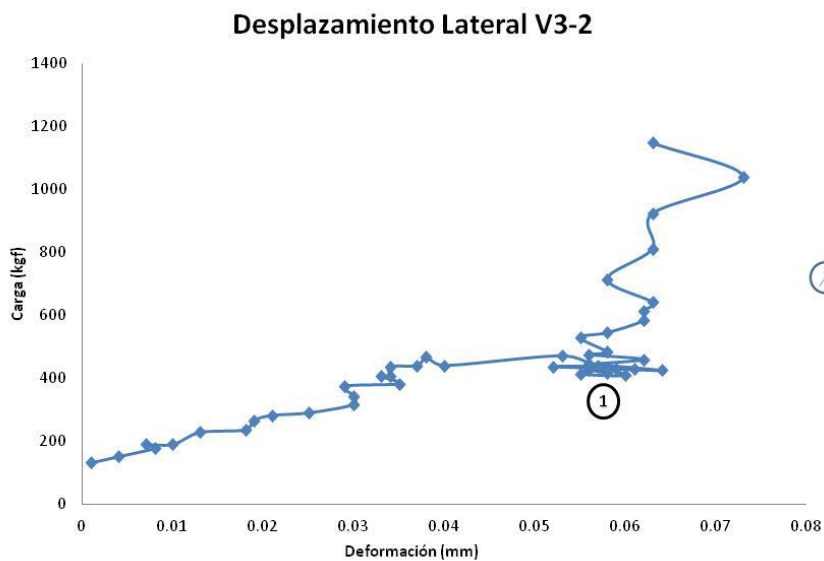


Gráfico 4.34 Carga vs. Desplazamiento Lateral, V3-2.

Puntos de Interes		
#	Deflexión (mm)	Carga (kgf)
1	0.057	436
falla	0.063	1147.5

Tabla 4.25 Cambios de pendiente Carga – Desplazamiento Lateral V3 - 2.

En el Gráfico 4.35 se evidencia la correlación entre la deflexión y el desplazamiento lateral del miembro y como este último requiere de mayores cargas para el incremento de las deformaciones.

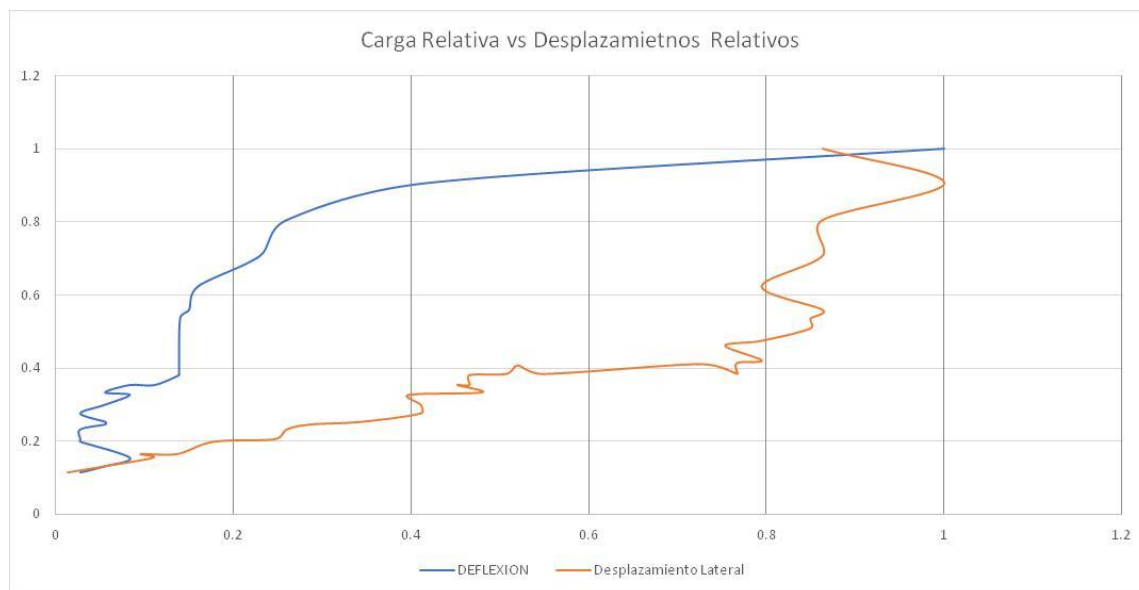


Gráfico 4.35 Carga Relativa vs Desplazamientos Relativos V3-2.

Para la estimación del módulo de elasticidad a partir de la curva Esfuerzo vs Deformación de la Grafica 4.36, no se podría estimar por no tener un comportamiento consonó con su misma familia.

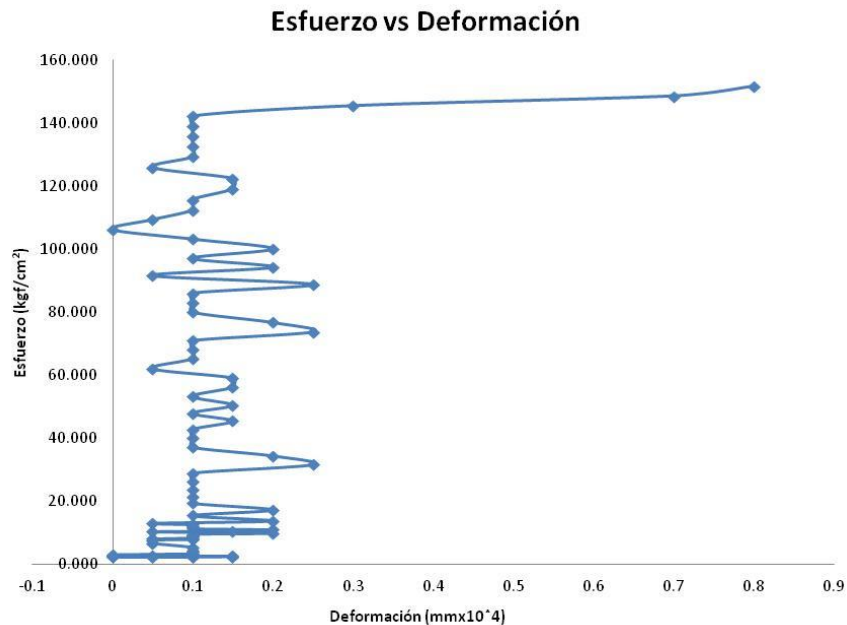


Gráfico 4.36 Esfuerzo vs. Deformación V3-2.

4.1.3.3 Vigueta 3 -3 (Rcc = 164 kgf/cm²)

La *Tabla 4.26* muestra de manera resumida los valores característicos obtenidos del ensayo.

Vigueta	Carga de falla (kgf)	Módulo de rotura (fr) kgf/cm ³	Deflexión máxima (mm)	Despl Max (mm)	Momento Ultimo (kgf*cm)	Corte Ultimo (kgf)
3.2	896.40	21.13	0.096	0.081	10,084.50	448.2

Tabla 4.26 Resultados V3 - 3.

En la curva Carga vs. Deflexión mostrada en el Gráfico 4.37 se observa como el elemento va aumentando la deflexión con bajos incrementos de carga, en este tramo Inicial hasta el punto 1 de carga 181,6 Kgf con una deflexión de 0,093 mm la pendiente se mantiene constante y cambia de manera brusca, lo que trae

como consecuencia un incremento en la carga sin cambio apreciables en la deflexión hasta alcanzar la falla a una deflexión de 0,093 mm y carga de 896,4 kgf.

Por otro lado la curva Carga vs Desplazamiento Lateral mostrada en el Gráfico 4.38 inicia con grandes deformaciones ante poca variación de la carga aplicada hasta llegar al punto 1 a una carga 108 Kgf con un desplazamiento de 0,033 mm donde experimenta un cambio brusco de pendiente donde se podrían generar tensiones internas que genere pequeñas grietas microscópicas hasta llegar al punto 2 a una carga de 220 kgf con desplazamiento de 0,035 mm donde se tiene un comportamiento de aumento de carga y desplazamiento hasta llega al punto 3 en una carga de 502 Kgf con desplazamiento de 0,081 mm donde inicia un cambio de pendiente grande al cual aumenta la carga hasta alcanzar la falla a un desplazamiento de 0,081 mm y carga de 896 kgf.

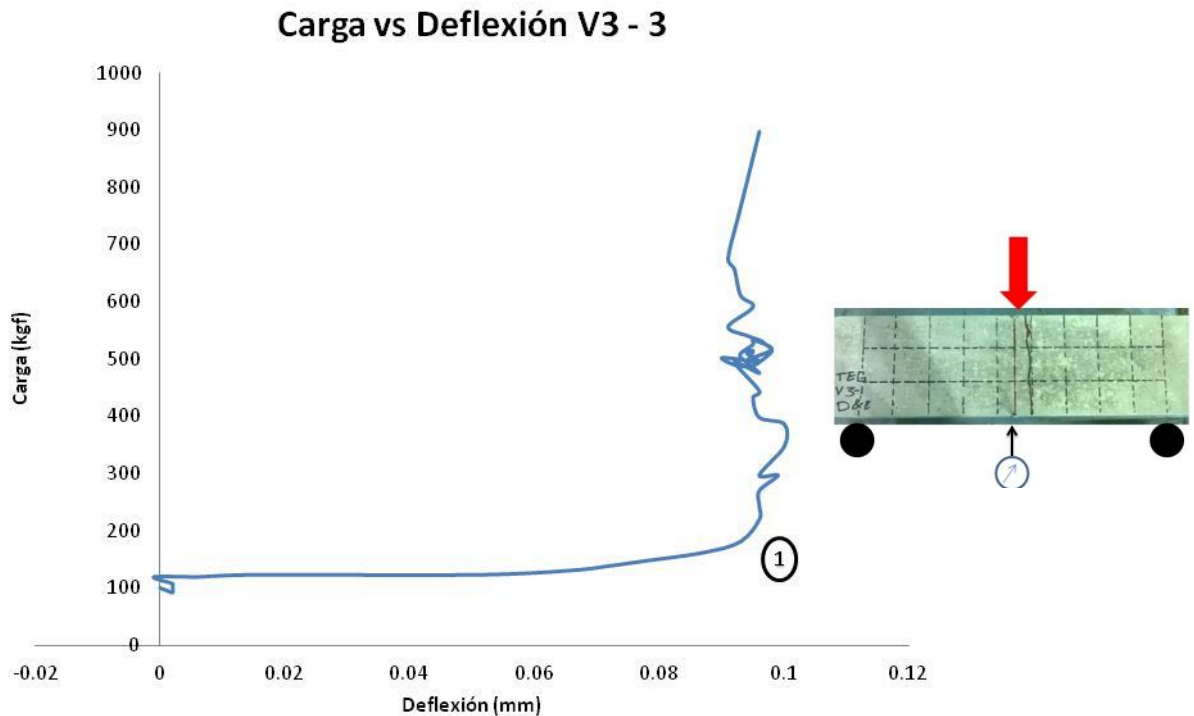


Gráfico 4.37 Carga vs. Deflexión, V3-3.

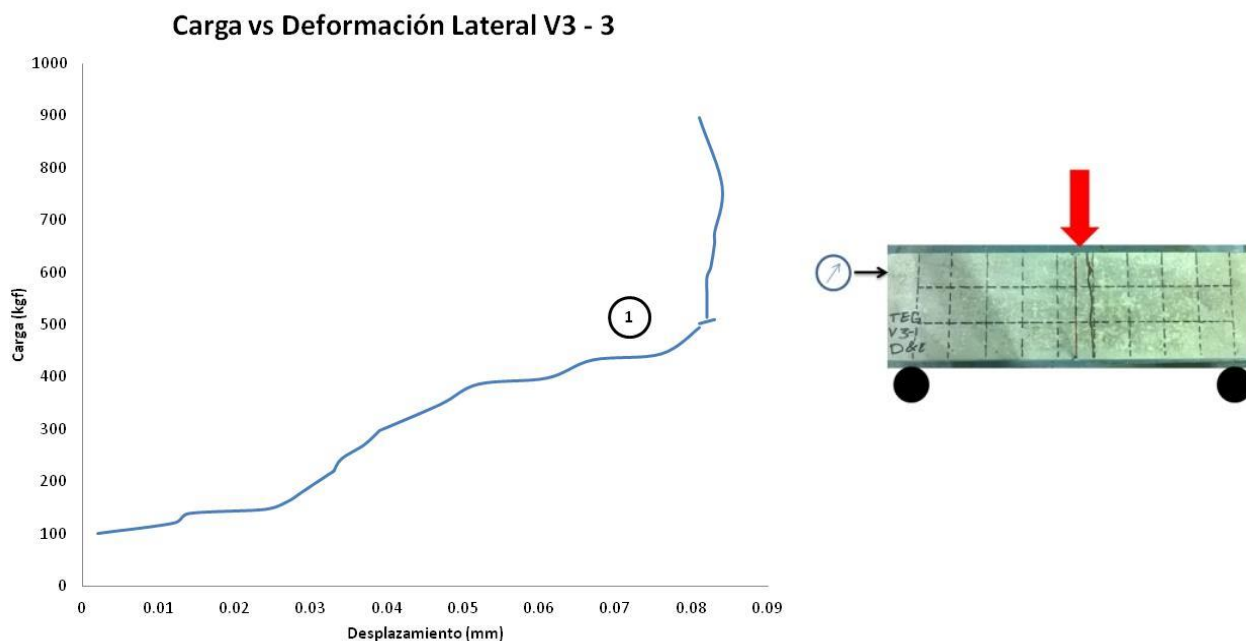


Gráfico 4.38 Carga vs. Desplazamiento Lateral, Vigueta 3-3.

Puntos de Interes		
#	Deflexión (mm)	Carga (kgf)
1	0.093	181.6
falla	0.096	896.4

Tabla 4.27 Cambios de pendiente Carga - Deflexión V3 - 3.

Puntos de Interes		
#	Deflexión (mm)	Carga (kgf)
1	0.076	444.3
falla	0.081	896.4

Tabla 4.28 Cambios de pendiente Carga – Desplazamiento Lateral V3 - 3.

En el Gráfico 4.39 se evidencia la correlación entre la deflexión y el desplazamiento lateral del miembro.

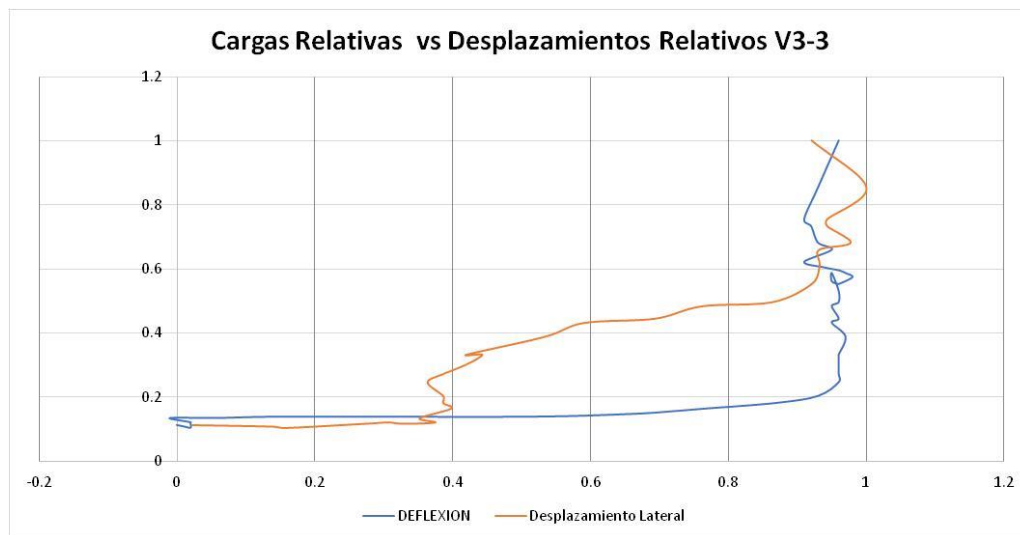


Gráfico 4.39 Carga Relativa vs Desplazamiento Relativos V3-3

La estimación de módulo de elasticidad a partir de la curva Esfuerzo vs Deformación arrojó un valor 74.323 kgf/cm².

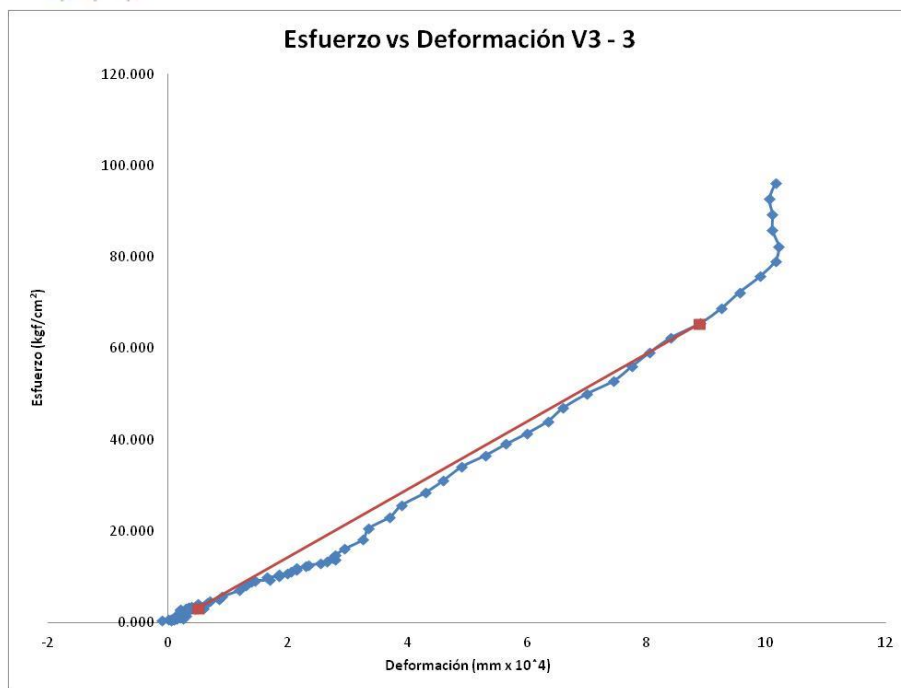


Gráfico 4.40 Esfuerzo vs. Deformación V3-3.

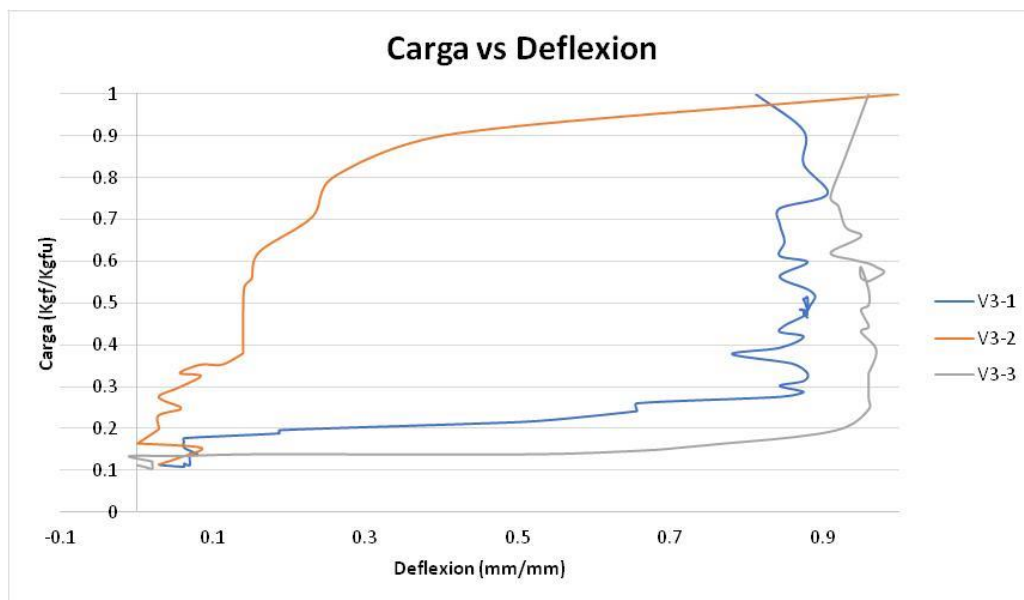


Gráfico 4.41 Comparación Carga vs Deflexión del Vaciado 3.

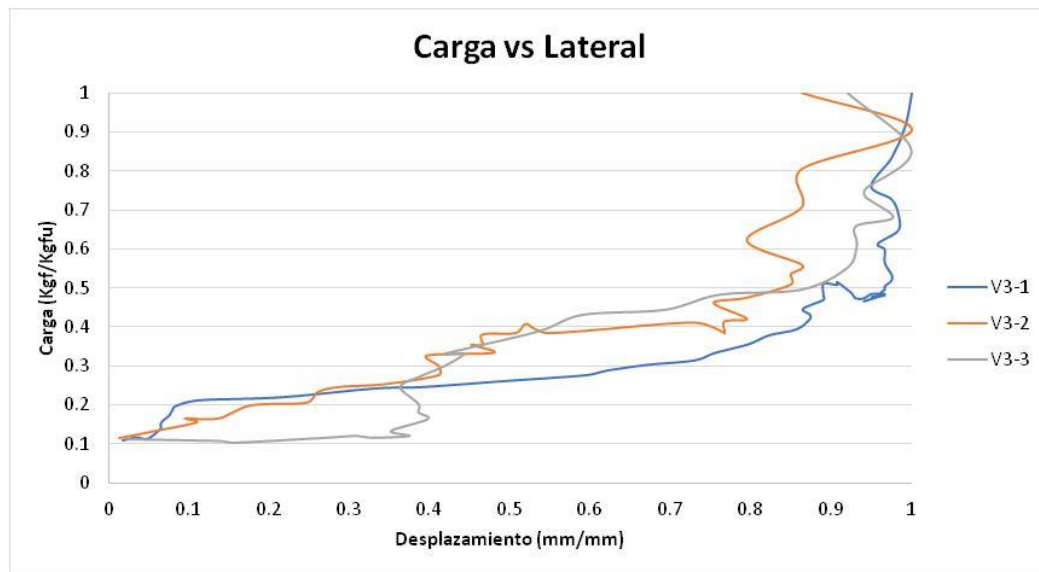


Gráfico 4.42 Comparación Carga vs Desplazamiento Lateral del Vaciado 3.



Figura 4.3 Falla de grupo Vaciado 3.

4.2.- Análisis

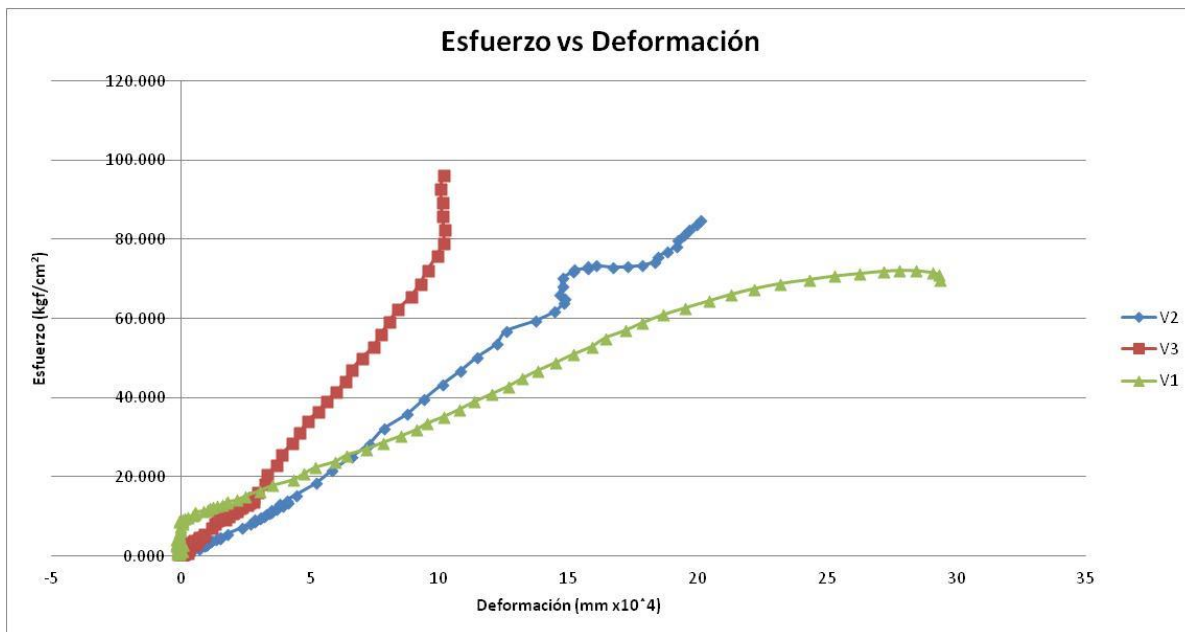


Gráfico 4.43 Esfuerzo vs. Deformación de V1, V2 y V3.

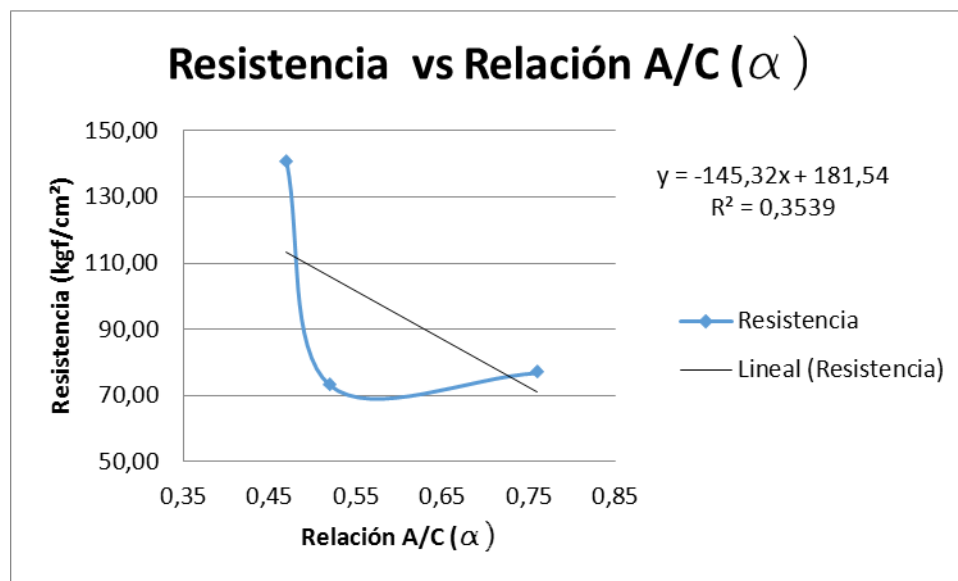


Gráfico 4.44 Resistencia vs Relación A/C.

El Grafico 4.43 evidencia el incremento del módulo de elasticidad con el aumento de la relación agua/ cemento, es decir, para Muestra 3 con un incremento de la dosis de cemento de 30% obtuvimos un incremento de 77% en el módulo de elasticidad respecto a la Muestra 2 , por otro lado la Muestra 1 con una disminuían de la dosis de cemento en un 30% presenta una reducción del 41% en el módulo de elasticidad. Lo dicho anteriormente se corresponde con lo descrito en el Grafico 4.10, donde para un incremento de Alfa (disminución de la dosis de cemento) se obtiene menores resistencias.

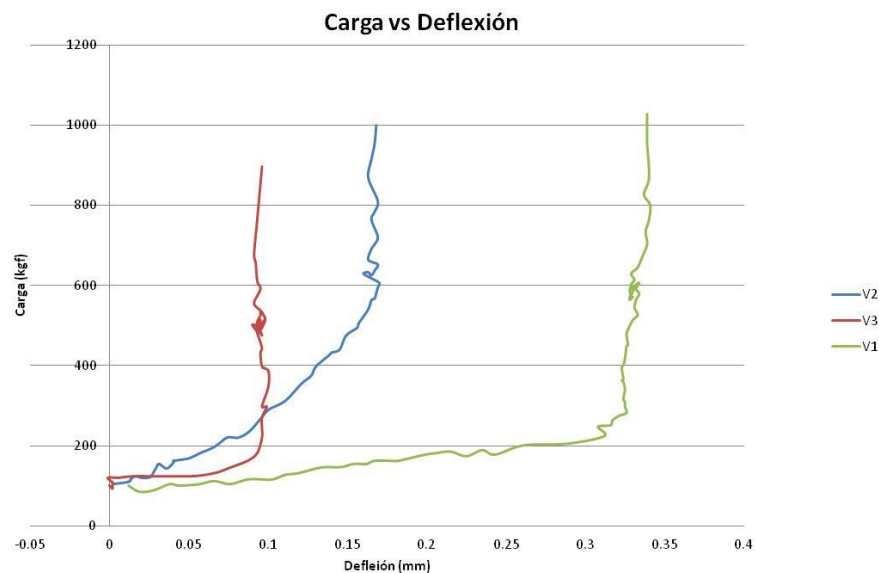


Gráfico 4.45 Carga vs Deflexión V1, V2 y V3.

El Gráfico 4.45 describe como un incremento en la cantidad de cemento reduce la capacidad de deflexión, es decir, para la Muestra 1 con un alfa de 0,76 se obtuvieron las mayores deflexiones mientras que para la Muestra 3 con un alfa

de 0,47 se obtuvieron las menores deflexiones, en los tres casos la carga de falla fue cercana entre las muestras.



Figura 4.4 Comparación Fallas.

En la Figura 4. se aprecia el tipo de falla de todas las probetas ensayadas, en todos los casos la falla se mantiene en el tercio central, la Muestra 2 ($a= 0.51$) las grietas forman aproximadamente a 2,5 cm del centro y presente un recorrido aparentemente vertical , la Muestra 3 ($a= 0.47$) la grieta se forma aproximadamente a 5 cm del centro de la vigueta con una inclinación pronunciada en el recorrido de la grieta, finalmente la Muestra 1 ($a= 0.76$) la falla se ubica próxima al centro de la vigueta con una verticalidad aparente.

Finalmente se llevó a cabo una comparación entre la deflexión obtenida mediante el ensayo de tres puntos y las deflexiones máximas teóricas obtenidas mediante la ecuación $y_{max} = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I}$, esto con la finalidad de evaluar la precisión de dicha expresión para el concreto de densidad baja a partir de pellas de arcilla expandida.

Los gráficos 4.46; 4.47 y 4.48 son representativos de los Vaciado 1, 2 y 3 respectivamente.

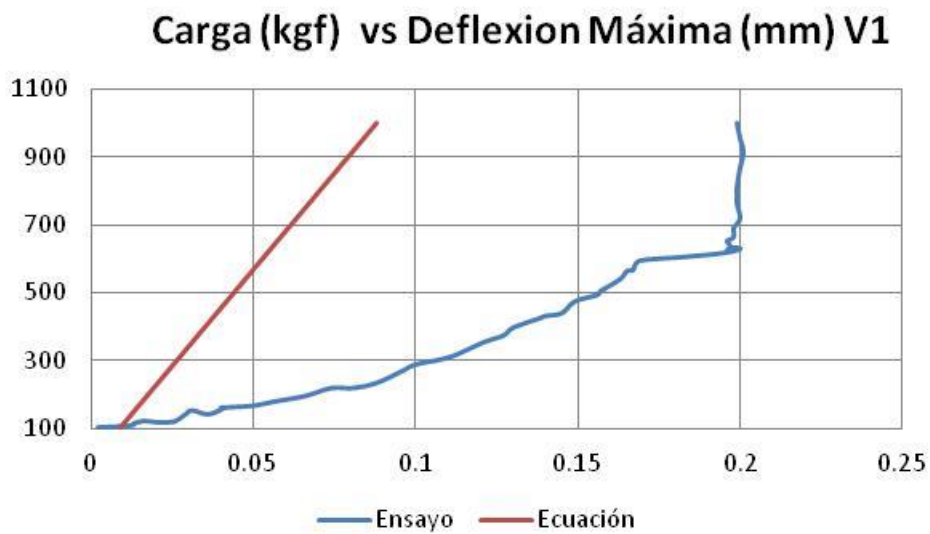


Gráfico 4.46 Carga vs Deflexión de ensayo y ecuación V1.

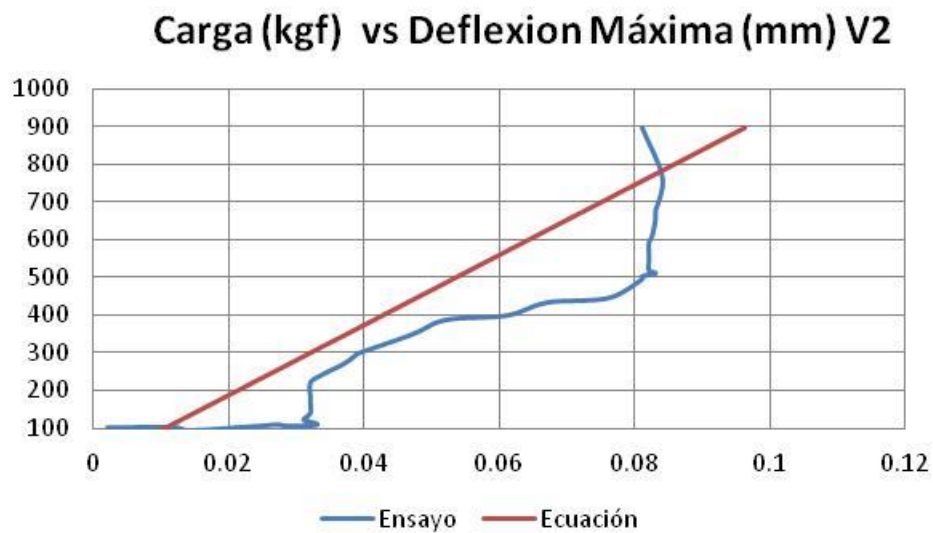


Gráfico 4.47 Carga vs Deflexión de ensayo y ecuación V2.

Carga (kgf) vs Deflexion Máxima (mm) V3

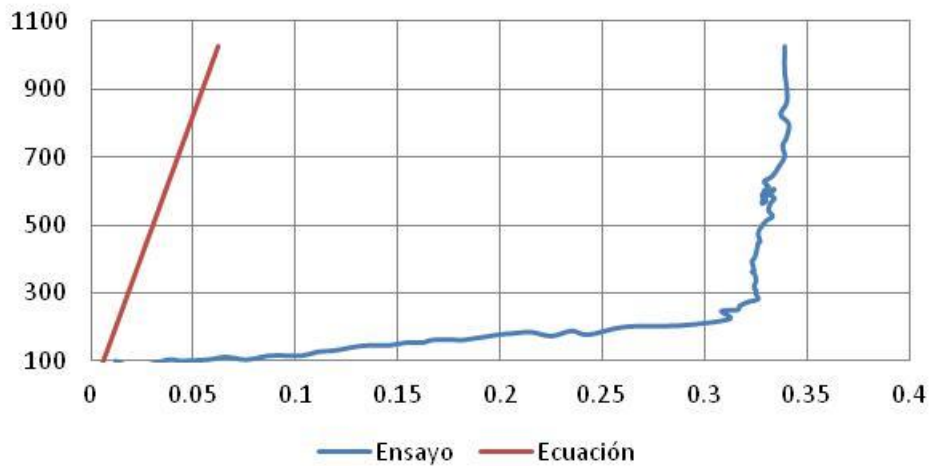


Gráfico 4.48 Carga vs Deflexión de ensayo y ecuación V3.

Como se puede observar en los tres gráficos anteriores la ecuación obtenida mediante la teoría de resistencia de materiales no describe con suficiente exactitud las deformaciones máximas experimentadas por un elemento de concreto de densidad baja evaluado en un ensayo de tres puntos.

Resumen de los ensayos									
Vigueta	Carga Ultima		Deflexión		Desplazamiento L.		Momento maximo	Módulo de Rotura	Tensión
	kgf	Relación	mm	Relación	mm	Relación	(kgf*cm)	kgf/cm ²	kgf/cm ²
V1-1	923.4	89.84	0.029	8.55	0.062	39.24	10388	22	54
V1-2	695.5	67.67	0.083	24.48	0.094	59.49	7824	16.76	20
V1-3	1027.8	100.00	0.339	100	0.158	100	11563	23.96	85
V2-1	1201	6.57	0.201	100	0.021	14.583	11658	28	85
V2-2	18283	100.00	0.006	2.99	0.046	31.944	14431	30	72
V2-3	908	4.97	0.049	24.38	0.144	100	10215	21.6	72
V3-1	1020	88.93	0.026	27.08	0.118	100	11475	23.94	106
V3-2	1147	100.00	0.036	37.5	0.63	533.90	12909	27.29	151
V3-3	896	78.12	0.096	100	0.081	68.64	10084	21.13	163

Tabla 4.29 Resumen de los ensayos

CAPITULO V: CONCLUSIONES

Una vez evaluado el comportamiento de las viguetas elaboradas con variaciones en la relación Agua/Cemento es posible exponer conclusiones con base en los métodos de ensayos empleados, que para la investigación fueron ensayos a flexión de tres puntos, según la norma venezolana 343-04 (R).

El comportamiento a flexión de elemento de concreto de densidad baja con la variación de la relación agua/cemento arrojó como principal característica que la disminución de esta implica una ganancia de resistencia a costa de una pérdida de flexibilidad del material, ya que para los valores más bajos de alfa se obtuvieron los valores más bajos de deformación.

De igual manera destaca como la generación de fisuras internas y reacomodo de las partículas de agregados generan un incremento de la capacidad resistente del elemento, sin embargo, las fallas últimas analizadas fueron de tipo frágiles igual que en el concreto de densidad normal.

Por otro lado los módulos de elasticidad obtenidos a partir de los ensayos de cilindros a compresión fueron incrementando sus valores conjuntamente con la reducción de la relación Agua/Cemento, es decir, a medida que se incrementó la dosis de cemento y por consiguiente las resistencias, se incrementaron los módulos de elasticidad, comportamiento que es de esperar, sin embargo, estos valores siguen siendo bajos comparado con los concretos de densidad normal.

Finalmente se resalta el hecho de que la ecuación obtenida mediante la teoría de resistencia de materiales no describe con suficiente exactitud las flechas reales obtenidas durante los ensayos.

CAPITULO VI: RECOMENDACIONES

A fin de profundizar los conocimientos desarrollados en esta investigación se recomienda el estudio a flexión con el uso de vigas entalladas, esto con la finalidad de que la falla y por consecuente la generación de grietas suceda a menor velocidad y lograr un registro cualitativo más detallado.

En la misma línea de pensamiento del párrafo anterior se recomienda trabajar con vigas de escalas más cercanas a la realidad, así como desarrollar un estudio descriptivo comparativo para lograr una comparación del concreto de densidad baja con el concreto de densidad normal.

Es necesario destacar que debido a la complejidad y cuidado que requieren los ensayos de probetas de concreto a flexión, tanto en su elaboración, curado y ensayo, no puede considerarse una actividad rutinaria que puede ser ejecutada en condiciones poco controladas, en tal sentido es necesario desarrollar correlaciones entre la resistencia a la compresión, obtenida a partir de cilindros, y la resistencia a la flexión.

Finalmente se recomienda emplear el concreto de densidad baja elaborado a partir de pellas de arcilla expandida, conjuntamente con la continuación de la línea de investigación hasta ahora desarrollada a fin de lograr una caracterización del concreto elaborado con arcilla expandida y profundizar en las novedosas y versátiles ventaja que este ofrece como material de construcción.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1) Libros consultados

Porrero, J., Ramos, C., Graces, J., Velazco, G., (2004) Manual del Concreto Estructural según la norma COVENIN 1753:03. Sidetur, Caracas.

R. Park y T. Paulay. (1988). Estructuras de concreto reforzado. Cuarta Reimpresión. México: Limusa

McCORMAC, BROWN (2011). Diseño de concreto reforzado. Octava Edición. México: Alfaomega

Pytel, Singer (20012). Resistencia de Materiales. Décimo Segunda Edición. México: Alfaomega

G. Cuevas, R. Fernández (2011). Aspectos fundamentales del Concreto Reforzado. Cuarta Edición. México: Limusa.

2) Normas

COVENIN 339:2003. “Concreto. Método Para la Medición del Asentamiento con el Cono de Abrams”.

COVENIN 340:2004. “Concreto. Elaboración y curado de probetas en el laboratorio para ensayos a flexión”.

COVENIN 343:2004. “Concreto. Determinación de la resistencia a la flexión en vigas simplemente apoyadas carga en el centro del tramo.”

COVENIN 338:2002. “Concreto Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto”.

Fondonorma 1753:2003. “Proyecto y diseño de obras en concreto estructural.”