

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO

**Evaluación del desempeño de columnas cortas de concreto de densidad baja sometido
a compresión.**

Presentado por:

De Martino, Jean-Michell
Urdaneta Sánchez, María Stephanie

Para optar al título de:

Ingeniero Civil

Asesor:

MSc. Ing. Guillermo Bonilla

Caracas, octubre de 2018

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO

**Evaluación del desempeño de columnas cortas de concreto de densidad baja sometido
a compresión.**

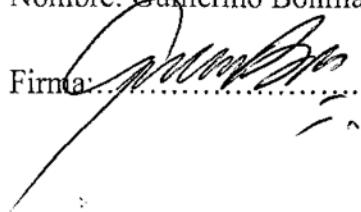
Este Jurado: una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con
el resultado: VEINTE (20).

JURADO EXAMINADOR

Nombre: Guillermo Bonilla

Nombre: Javier Rodríguez

Nombre: María Barreiro

Firma: 

Firma: 

Firma: 

REALIZADO POR:

De Martino, Jean-Michell

Urdaneta Sánchez, María Stephanie

PROFESOR GUIA:

MSc. Ing. Guillermo Bonilla

FECHA:

Octubre de 2018

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Evaluación del desempeño en columnas de concreto de densidad baja sometido a
compresión

Autores: De Martino, Jean-Michell
Urdaneta Sánchez, María Stephanie
Tutor: MSc. Ing. Guillermo Bonilla
Año: 2018

Palabras Clave: Concreto, Densidad Baja, Agregados, Columnas, Energía.

Línea de Investigación: Estructuras y Patología del Concreto, UCAB.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	5
CAPITULO I: EL PROBLEMA.....	7
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
1.1.1 Formulación del Problema.....	8
1.2 OBJETIVOS.....	8
1.2.1 Objetivo General.....	8
1.2.2 Objetivos Específicos.....	9
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	9
1.4 ALCANCE Y DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	9
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	10
2.1 ANTECEDENTES.....	10
2.3 BASES LEGALES.....	13
2.3 BASES TEORICAS.....	17
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	17
3.1 TIPO DE INVESTIGACION.....	18
3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....	18
3.3 POBLACION Y MUESTRA.....	18
3.4 FASE DE LA INVESTIGACION.....	19
3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	22
CAPITULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	25
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	44
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.....5

Figura 2.....7

Figura 3.....12

Figura 4.....13

Figura 5.....15

Figura 6.....16

Figura 7.....18

Figura 8.....18

Figura 9.....18

Figura 10.....18

Figura 11.....18

Figura 12.....22

Figura 13.....22

Figura 14.....22

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.....	17
Tabla 2.....	17
Tabla 3.....	19
Tabla 4.....	19
Tabla 5.....	19
Tabla 6.....	20
Tabla 7.....	21
Tabla 8.....	21
Tabla 9.....	21
Tabla 10.....	24
Tabla 11.....	25
Tabla 12.....	26
Tabla 13.....	27
Tabla 14.....	27
Tabla 15.....	28
Tabla 16.....	29
Tabla 17.....	35
Tabla 18.....	35
Tabla 19.....	36
Tabla 20.....	36
Tabla 21.....	37
Tabla 22.....	37
Tabla 23.....	38
Tabla 24.....	38
Tabla 25.....	39
Tabla 26.....	41
Tabla 27.....	41
Tabla 28.....	42

ÍNDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1.....	20
Gráfica 2.....	20
Gráfica 3.....	22
Gráfica 4.....	26
Gráfica 5.....	27
Gráfica 6.....	28
Gráfica 7.....	29
Gráfica 8.....	30
Gráfica 9.....	31
Gráfica 10.....	31
Gráfica 11.....	32
Gráfica 12.....	33
Gráfica 13.....	33
Gráfica 14.....	34
Gráfica 15.....	34
Gráfica 16.....	35
Gráfica 17.....	36
Gráfica 18.....	37
Gráfica 19.....	38
Gráfica 20.....	39
Gráfica 21.....	42
Gráfica 22.....	43

DEDICATORIA

Este trabajo de grado va dedicado a todas esas personas que estuvieron conmigo durante todos estos años de carrera universitaria, a mis padres, familiares y amigos, que sin su ayuda no podría haber podido llegar donde me encuentro ahora.

Gracias por tanto.

Jean-Michell De Martino.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en todo a mis padres Zaida y Antonio, a mi hermana Rosbella, mis abuelos Rodolfo, Irene, Michelle y Rosa, mis tías Belkys y Nena, mi cuñado Juan Francisco, por haberme ayudado en esos momentos en el cual necesitaba mucha ayuda de su parte, a Samuel, Ricardo, Jesús, Arturo, Giuseppe, Gabriela, Andrea, Cristina, María Fernanda, Victoria, que me han acompañado durante todo este trayecto de vida, en el cuales creamos momentos inolvidables y me ayudaron a alcanzar este objetivo, a la escuela de ING.Civil, a la Sra. Alejandra por su apoyo, a mis profesores que han formado parte de mi vida profesional, al jurado de este trabajo de grado, la Profesora Ing. María Barreiro y al Ing. Javier Rodríguez, mis tutores Guillermo Bonilla y Yelitza Sirit, a la empresa ALIVEN® y a la Ing. Ana Acevedo por el donativo del material para poder realizar este Trabajo Especial de Grado.

Gracias a Dios por haberme dado esa fortaleza que necesitaba en los momentos más duros de la carrera, cuando creía que todo estaba perdido, siempre encontré la luz al final del túnel y nunca perdí la esperanza de seguir adelante.

Domaní andrà meglio

Gracias por tanto.

Jean-Michell De Martino

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado a mi familia, amigos, compañeros y profesores.

Gracias a todos.

María Stephanie Urdaneta Sánchez.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios y a la virgen por llevarme y acompañarme por este camino lleno de retos y aprendizaje. Gracias a mis padres por estar siempre a mi lado apoyándome y enseñándome valores y que con trabajo y esfuerzo se alcanzan todos los retos. Agradezco a mis hermanos Rolando y Juan por siempre estar ahí para sacar una sonrisa, un consejo y por ser pilares de apoyo.

Doy gracias a la UCAB por darme tan valiosa oportunidad de estudios, a todos los que me acompañaron en esta trayectoria llena de retos y a mis profesores.

Agradezco la ayuda de la escuela de Ingeniería Civil, en mi tiempo de Beca Trabajo especialmente a la profesora María Barreiro. Agradezco la ayuda y el apoyo de nuestro Tutor el Ingeniero Guillermo Bonilla, Ingeniero Yelitza Sirit y el Ingeniero Wilson González. También el agradecimiento a Egger por su apoyo técnico en el laboratorio de tecnología del concreto y materiales de construcción.

Agradezco el apoyo de la empresa Aliven C.A, Ingeniero Ana Acevedo y al Ingeniero Heathcliff.

Gracias a todos.

María Stephanie Urdaneta Sánchez

INTRODUCCIÓN

El concreto es un material pétreo que ha sido utilizado desde la época del imperio romano, hasta llegar a la época moderna en la cual se cuenta con tecnología adecuada para facilitar las investigaciones y el uso adecuado del material. Actualmente las estructuras de concreto reforzado presentan un problema de sobrepeso, esto es debido a que la mezcla de concreto clásica (cemento, agregados finos y gruesos) tiene una densidad in situ de aproximadamente $(2200-2300) \text{ kg/m}^3$, la tecnología ha avanzado a tal punto que se desarrolla la idea de poder crear concretos de densidad baja con masa aproximada $(1350-1850) \text{ kg/m}^3$.

Desde tiempos del Imperio Romano se ha buscado construir estructuras con gran resistencia y de poco peso, los romanos utilizaron materiales naturales de tipo volcánico para construir el Puerto de Cosa, el Domo del Panteón y el Coliseo. El Panteón fue finalizado en 27 a.C y construido con concreto que varía en densidad desde la parte inferior a la cima de la cúpula.



Figura 1: Panteón Romano. 27 a.C.

Fuente: https://www.nationalgeographic.com.es/viajes/grandes-reportajes/los-secretos-del-panteon-roma_11000.

El Puerto de Cosa fue construido alrededor del 273 a.C se encuentra en la costa oeste de Italia y consiste en una serie de cuatro muelles extendidos hacia el mar que durante dos milenios han resistido las fuerzas de la naturaleza con solo abrasión superficial. Históricamente se ha demostrado que el concreto de baja densidad o liviano es de provecho para la construcción debido a su alta resistencia y durabilidad.

Tomando esto en consideración, se desarrolló este trabajo en capítulos, los cuales permitió un mejor manejo de la información, quedando organizado de la siguiente manera:

- Capítulo I, corresponde al problema en estudio y en este se plasma el planteamiento del problema, objetivos que se deseaban alcanzar con el desarrollo de la investigación, así como la justificación para realizarla.
- Capítulo II, se presenta el marco teórico, el cual está compuesto por los antecedentes de investigaciones previas y bases teóricas y legales que lo sustentan.
- Capítulo III, presentación del marco metodológico, integrado por el tipo de investigación y procedimientos ejecutados.
- Capítulo IV, a través del cual se muestra una serie de resultados y análisis del proyecto presentado.
- Capítulo V, contiene las conclusiones y recomendaciones del proyecto presentado.

CAPITULO I: EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

El concreto es un material usado en las construcciones, formado por un aglomerante (cemento) al cual se le añaden agregados finos y gruesos, agua y aditivos para formar una pasta heterogénea, esta mezcla al secarse genera un material pétreo de alta resistencia a la compresión. Este material posee un alto peso y resistencia específica, lo que hace necesario secciones (columnas y vigas) grandes, esto a su vez genera que la edificación sea pesada, en comparación a una estructura de acero, por lo que se ha desarrollado el uso de agregados de densidad baja, sustituyendo así agregados usados (canto rodado o piedra picada) por nuevos y mejorados agregados sintéticos que generan la misma resistencia a la compresión de un concreto de agregados naturales, además de hacer un concreto que sea más liviano disminuyendo así el peso total de la estructura.

El primer gran proyecto en tiempo moderno que empleó concreto liviano estructural conocido en Estados Unidos se llevó a cabo en 1928 y 1929, para una adición a la oficina de Southwestern Bell Telephone Company en la ciudad de Kansas. El edificio originalmente sería una estructura de 14 pisos, y la compañía encontró que los cimientos y el apuntalamiento soportarían ocho pisos adicionales, tomando en cuenta la carga muerta adicional del concreto normal convencional. Sin embargo, el análisis realizado por los diseñadores indicó que, mediante el uso de hormigón con agregados de pizarra liviana expandida en lugar de agregados convencionales (arena y grava), podrían agregarse 14 pisos adicionales de concreto liviano sin peligro en lugar de 8 pisos de concreto convencionales, doblando la altura sobre el suelo del edificio y produciendo un rascacielos con un total de 28 pisos.



Figura 2: Southwestern Bell Telephone Company 1928, Kansas City USA.

Fuente: <http://www.builddex.com/haydite.html>.

El desarrollo y descubrimiento de nuevos materiales que puedan ser empleados en la construcción civil genera una nueva necesidad de realizar nuevas investigaciones y ensayos de dichos materiales, para así determinar sus propiedades mecánicas y mecanismos de fallas para garantizar un factor de seguridad en su eventual uso, además de poder así generar una normativa nacional con base en ensayos de laboratorios y experiencias en el uso de este.

Actualmente en Venezuela no se posee información y normativa específica de concreto liviano, por lo cual es necesario invertir en investigaciones para poder desarrollar normas especiales para este tipo de concreto. Al no poseer ninguna normativa o directiva nacional válida no se puede proceder al uso del concreto de densidad baja. En la ciudad de Caracas, Venezuela, se tenía planificado el uso del material para la construcción de la Torre CAF, al no disponer ninguna normativa del adecuado uso y diseño del material, se descartó la idea del concreto de densidad baja.

1.1.1 Formulación del Problema

Con el desarrollo de nuevos elementos a ser usados en la construcción, nace la necesidad de realizar ensayos y pruebas para tener un control adecuado de calidad y así generar conclusiones y criterios de diseño que conduzcan a una normativa para construcciones con concreto de densidad baja. Se pretende implementar una nueva tecnología de agregados sobre la base experimental que pueda ser adaptada a un proceso constructivo en masa. El concreto con agregados de densidad baja ha sido utilizado a nivel internacional en los últimos 50 años desde su lanzamiento al mercado, en Venezuela actualmente no se tiene información al respecto del uso de agregados de baja densidad para crear un concreto liviano.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Análisis del desempeño en columnas de concreto de densidad baja sometido a carga axial.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analizar efecto de capas colocadas sobre el comportamiento mecánico del concreto de densidad baja.
- Analizar la variación de tenacidad con base en el proceso de compresión axial.
- Analizar influencia de capas en el comportamiento del módulo de elasticidad.
- Analizar influencia de capas en el comportamiento de la energía total.

1.3 Justificación de la Investigación

Con este proyecto se buscó generar recomendaciones y conclusiones con respecto al uso de agregados de baja densidad en columnas y como al usar este tipo de material puede producir o no el aumento de la tenacidad y el módulo de elasticidad con el aumento de las capas de vibrado, la investigación servirá de referencia al aplicar este material en los procesos constructivos.

1.4 Alcance y Limitaciones del Trabajo de Grado

El siguiente proyecto de grado se basó únicamente en el estudio del desempeño en probetas prismáticas y cilíndricas, variando la energía de compactación, usando concreto de baja densidad para analizar su comportamiento al aplicarle cargas a compresión y verificar el tipo de falla que presentaron, analizar la tenacidad y el módulo de elasticidad con respecto a la energía de compactación, además de verificar si la calidad del vibrado obtenida produce una influencia directa en la resistencia del elemento sometido a compresión y sus deformaciones volumétricas. La investigación se realizó para un tipo de dosificación de mezcla, y para encofrado prismático de sección transversal 20x20 cm y altura 40 cm y cilíndrico de diámetro 15 cm y altura 30 cm, solo se usó como agregado grueso de tipo liviano de materiales provenientes de arcilla expandidas. Para cada vaciado se varió la cantidad de capas de vibrado y se fijó la cantidad de ciclos por vibrado (entrada y salida del vibrador).

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

Entre los diferentes estudios considerados como antecedentes para sustentar la investigación, se pueden mencionar aquellos que poseen información al respecto del concreto de baja densidad o también llamado concreto ligero.

- Díaz López Stuart, presento su trabajo de grado en la Universidad Técnica de Ambato, con el título: “***Determinación de la resistencia a compresión del hormigón adicionado árido de arcilla expandida (arlita) en sustitución parcial del agregado grueso***”. En Ambato, Ecuador 2017. Realizó una evaluación experimental para determinar la resistencia a compresión del hormigón adicionado árido de arcilla expandida en sustitución parcial del agregado grueso. Con los resultados obtenidos concluyó que el decrecimiento de la resistencia del hormigón a mayor porcentaje de arcilla expandida puede darse debido a su alta porosidad demorando de esta manera el tiempo de fraguado según el especificado.
- Diana Yagual y Daniel Villacís, presentaron su trabajo de grado en la Universidad Estatal Península de Santa Elena, con el título: “***Hormigón liviano de alto desempeño con arcilla expandida***”. En Libertador, Ecuador 2015. Realizaron la investigación experimental para definir las propiedades del hormigón liviano hecho con agregado de arcilla, del cual concluyeron que para obtener hormigón liviano con arcilla expandida de densidad menor a 1850 kg/m^3 y de resistencia de diseño mayores a 20 MPa.
- Daniel Soto, presento su trabajo especial de grado en la Universidad Católica Andrés Bello, con el título: “***Estudio de propiedades mecánicas del concreto de baja densidad para uso estructural elaborado con agregado grueso proveniente de arcillas expandidas***”, en Caracas, Venezuela 2017. Como resultado se obtuvo que un concreto estructural de baja densidad, debe contar con un beta mayor al 40%, con lo que se confirma que a medida que aumenta la dosis de arena; la resistencia aumenta, sin embargo, la proporción de finos no debe superar el 80% por motivos de densidades.
- Simón Porras Martin, presento su trabajo especial de grado en la Universidad Católica Andrés bello, con el tirulo: “***Determinación experimental de las leyes de***

comportamiento mecánico (ley de Abrams y relación triangular) de concretos elaborados con agregado liviano”, en Caracas, Venezuela 2009. Comparando los resultados de resistencia de los cilindros para 7, 14 y 28 días obtuvo que a los 7 días el concreto liviano alcanza 85% de resistencia esperada a los 28 días de fraguado. Dadas las propiedades del agregado liviano, su utilización en obras exige un mayor control ya que el método de compactación que se utilice puede variar la distribución del agregado. Se recomendó realizar estudios de elementos estructurales.

1.2 Bases legales

Actualmente en Venezuela no se dispone de normas que avalen y especifiquen detalladamente el uso del concreto de baja densidad en columnas, en la norma COVENIN 1753-2006 especifica en su artículo 18.4.2 sección “C” lo siguiente, “La dimensión mínima de columnas de concreto de peso normal y de cualquier sección, h , en la dirección paralela a acero de refuerzo de la viga no será menor que lo obtenido con la fórmula (18-3), donde d_b , es el diámetro de la barra longitudinal de mayor diámetro de la viga, cuando esta se extiende a través del nodo viga - columna.

$$h = \frac{0,08 d_b f_y}{\sqrt{f'_c}} \quad (18 - 3)$$

La dimensión mínima de columnas de concreto con agregado liviano será un 30% mayor que la correspondiente a las columnas de concreto con agregados de peso normal. La norma en su sección “d” especifica lo siguiente, “Los efectos de esbeltez no exceden los límites establecidos en el Artículo 10.6.”

ACI 318-14; 19.2. Propiedades del diseño del concreto

- **19.2.1.1** El valor de f'_c debe ser especificado en los documentos de construcción y debe estar de acuerdo con (a) hasta (c)
 - (a) Límites de la Tabla 19.2.1.1.
 - (b) Requisitos de durabilidad de la tabla 19.3.2.1.
 - (c) Requisitos de resistencia estructural.

Tabla 19.2.1.1 — Límites para f'_c

Aplicación	Concreto	f'_c Mínimo, MPa	f'_c Máximo, MPa
General	Peso normal y liviano	17	Ninguno
Pórticos especiales resistentes a momentos y muros estructurales especiales	Peso normal	21	Ninguno
	Liviano	21	35 ^[1]

^[1] Este límite puede ser excedido cuando la evidencia experimental demuestre que los elementos estructurales hechos con concreto liviano proporcionan una resistencia y tenacidad iguales o mayores que las de elementos comparables hechos con concreto de peso normal de la misma resistencia.

Figura 3, Tabla 19.2.1.1 Límites para f'_c .

Fuente: ACI 318-14 version en español.

- **19.2.2** Módulo de elasticidad
 - **19.2.2.1** Se permite calcular el módulo de elasticidad “ E_c ”, para el concreto por medio de (a) o (b):
 - (a) Para valores de W_c entre 1440 y 2560 kg/m³.

$$E_c = w_c^{1.5} 0.14 \sqrt{f'_c} \quad (\text{kgf/cm}^2)$$
 - (b) Para concreto de peso normal.

$$E_c = 15,100 \sqrt{f'_c} \quad (\text{kgf/cm}^2)$$
- **19.2.4.1** Para considerar las propiedades del concreto de peso liviano, se debe emplear el factor de modificación λ como multiplicador de $\sqrt{f'_c}$ en todos los requisitos aplicables de este Reglamento.
- **19.2.4.2** El valor de λ debe estar basado en la composición del agregado en la mezcla de concreto de acuerdo con la Tabla 19.2.4.2.
- **R19.2.4 Concreto liviano** — El factor de modificación λ se utiliza para tener en cuenta la relación entre la resistencia a tracción y a compresión del concreto de peso liviano en comparación con el concreto de peso normal. Para diseño utilizando concreto liviano, la resistencia a cortante, las propiedades de fricción, la resistencia al hendimiento, la adherencia entre el concreto y el refuerzo y los requisitos de longitud de desarrollo, no se toman como equivalentes al concreto de peso normal de la misma resistencia a compresión.

2.1 Bases Teóricas

2.3.1 Términos y Definiciones

Cemento

“El cemento portland o cemento simplemente es una especie de cal hidráulica perfeccionada. Se produce haciendo que se combinen químicamente unas materias de carácter ácido provenientes de arcillas, con otras de carácter básico aportadas por calizas”. (Manual de Concreto Estructural).

El cemento tipo CPCA 1 es el Cemento Gris Portland Compuesto producido en Venezolana de Cementos S.A.C.A. Este producto cumple con las especificaciones de FONDONORMA 3134.

Concreto

“El concreto es un material que se puede considerar constituido 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. El agua cumple la doble misión de dar fluidez a la mezcla y de reaccionar químicamente con el cemento dando lugar, con ello, a su endurecimiento.” (Porrero, J; Ramos, C; Graces, J; Velazco, G)

Concreto liviano

El concreto liviano es un concreto similar al concreto de peso normal, excepto que tiene una densidad menor. Se produce con agregados livianos o con una combinación de agregados livianos y normales. El concreto ligero tiene una densidad que varía de 1350 a 1850 kg/m³ y una resistencia a compresión a los 28 días que supera los 180 kg/cm². En el libro “*Manual del Concreto Estructural*” pagina 304, establece una comparacion de propiedades de concretos normales y con agregados livianos.

TABLA XIII.5
COMPARACIÓN DE PROPIEDADES DE CONCRETOS NORMALES Y CONCRETOS CON AGREGADOS LIVIANOS

PROPIEDAD O CARACTERÍSTICA	CONCRETOS NORMALES	CONCRETOS LIVIANOS
PESO/UNIDAD DE VOLUMEN, W (kgf/m ³)		1.840 < W < 1.930 (1)
• Concreto	~ 2.300	1.550 < W < 1.620 (2)
• Agregados gruesos	1.350–1.450	550–900
• Agregados finos	1.500–1.600	750–1.200
RESISTENCIA ESPECIFICADA F _c (kgf/cm ²)		2,04 W–3,556 (1)
vs W (kgf/m ³)	-	1,61 W–2,281 (2)
MODULO DE ELASTICIDAD E _c (kgf/cm ²)		
• General	0,137 W ^{1,3} √F _c	0,137 W ^{1,3} √F _c
• Para W = 2.300 kgf/m ³	15.100 √F _c	
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (kgf/cm ²)		
• Por flexión: F _t	0,74 F _c ^{0,7}	-
• Por tracción indirecta: F _{ct}	0,46 F _c ^{0,7}	0,10 a 0,12 (3)

(1) Agregado grueso liviano y arena natural.

(2) Agregado grueso y fino, liviano.

(3) Valores solo de orientación; elevada variabilidad.

Figura 4, Comparación de concretos normales y livianos.

Fuente: Manual del concreto estructural.

Agregado

Material granular inerte, conjunto de partículas inorgánicas de origen natural o artificial el cual se mezcla con cemento hidráulico y agua para producir concreto. Los agregados son la fase discontinua del concreto y son materiales que están embebidos en la pasta y que ocupan aproximadamente el 75% del volumen de la unidad cúbica de concreto.

Agregado Liviano

Agregado con una densidad seca suelta no mayor que 1120 kgf/m³ (COVENIN 1753).

Arcilla expandida

La arcilla expandida es elaborada 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 de la arcilla expandida inicia con la extracción de arcillas puras en canteras, son filtradas a través de un desbaste para luego ser almacenadas, homogenizadas y secadas. La arcilla entra en el horno a alta temperatura, posteriormente 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 se generan esferas o pellas con una corteza cerámica vitrificada e internamente porosa. Teniendo como resultado final pellas rígidas y resistentes que van de un color marrón rojizo de distintos diámetros.

Columna

Miembro estructural utilizado principalmente para soportar cargas axiales, acompañada o no de momentos flectores, y que tiene una altura de por lo menos 3 veces su menor dimensión transversal. Son los elementos estructurales generalmente verticales, que reciben las cargas de las losas y de las vigas con el fin de transmitirlos hacia la cimentación, y permiten que una edificación tenga varios niveles. Desde el punto de vista sísmico, las columnas son elementos muy importantes, pues forman con las vigas los denominados pórticos, que constituyen el esqueleto sismo-resistente junto con los muros, si estos existen.

Diagrama Tensión - Deformación

Con base en investigaciones experimentales, E. Hognestad (1955) propone el modelo esfuerzo-deformación del concreto en compresión. Este modelo está compuesto de una parte curvilínea descrita por una parábola que comienza en cero y termina cuando el concreto a compresión alcanza la resistencia máxima, en este punto la parábola es tangente a la horizontal. A partir de este punto los esfuerzos del concreto disminuyen linealmente conforme aumentan las deformaciones hasta que ocurre la falla. Donde f_c y ϵ_c es el esfuerzo y la deformación unitaria en el concreto, respectivamente, mientras que ϵ_{cu} es la deformación unitaria máxima útil del concreto en compresión.

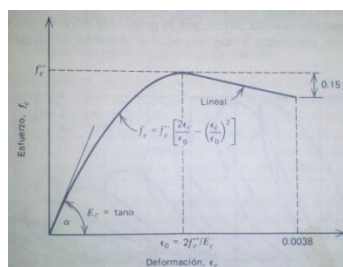


Figura 5, Curva idealizado esfuerzo deformación para el concreto en compresión uniaxial.

Fuente: Estructuras de concreto reforzado. R. Park y T. Paulay. Figura 2.3 Pagina 15.

Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad, también llamado módulo de Young, es un parámetro característico de cada material, en comportamiento elástico, que indica la relación existente entre los incrementos de tensión aplicados ($d\sigma$) en el ensayo de tracción y los incrementos

de deformación longitudinal unitaria ($d\epsilon$) producidos. Equivale a la tangente en cada punto de la zona elástica en la gráfica tensión-deformación (σ - ϵ) obtenida del ensayo de compresión. En muchos casos el módulo de elasticidad es constante durante la zona elástica del material, indicando un comportamiento lineal del mismo (ley de Hooke). El módulo de elasticidad indica la rigidez de un material: cuanto más rígido es un material mayor es su módulo de elasticidad.

Energía disipada

Energía perdida en forma de calor y no recuperable en un proceso de deformación. “El área bajo una gráfica Tensión – Deformación da la medida de la capacidad del material para resistir una carga de energía hasta que sobrevenga su ruptura” (Popov, 1983, pág.149).

Resiliencia

Es la capacidad de un material para absorber energía cuándo es deformado elásticamente y devolverla cuando se elimina la carga (área bajo la curva elástica).

$$U_r = \frac{1}{2} * \sigma * \epsilon = \frac{1}{2} \sigma * \frac{\sigma}{E} = \frac{\sigma^2}{2E} \left(\frac{J}{m^3} \right)$$

Ecuación 1, Calculo de energía disipada en rango lineal en Joules por metro cúbico.

Tenacidad

Resistencia que opone un cuerpo a ser roto. “la tenacidad define la capacidad del material para absorber energía antes de fracturarse. Puede demostrarse que es el área bajo el diagrama esfuerzo- deformación unitaria representada la densidad de la energía de deformación unitaria absorbida por el material antes de fracturarse”. (Popov. Mecánica de Sólidos. Segunda Edición. Página 74).

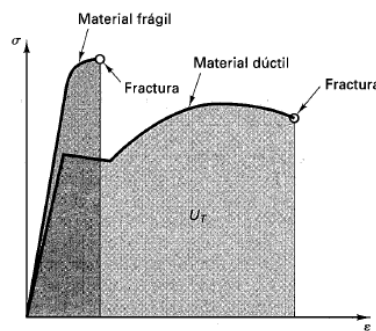


Fig. 2-20 (b) módulo de tenacidad U_T .

Figura 6, Figura 2-20 (b) Modulo de tenacidad.

Fuente: Mecánica de Sólidos. Popov. Página 75

Relación de Poisson

“Relación entre la deformación transversal y la deformación en la carga uniaxial aplicada, oscila entre 0.15 a 0.20 para el concreto, sin embargo, se han determinado valores de 0.10 y 0.30. A esfuerzos elevados de compresión las deformaciones transversales aumentan rápidamente, debido al agrietamiento interno paralelo a la dirección de la carga dentro del espécimen”. (“Estructuras de concreto reforzado”, R. Park y T. Paulay. Página 19).

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de Investigación

La investigación se realizó en base a ensayos experimentales de campo, se fundamentó en el control de variables. Es de tipo evaluativa, experimental y explicativa.

3.2 Población y Muestra

3.2.1 Población

Población																				
Probeta																				
Medidas	15x30							15x15x55						20x20x40						
Tipo de cemento	CPCA-1				CPCA-2			CPCA-1			CPCA-2			CPCA-1				CPCA-2		
Capas	0	4	6	8	4	6	8	4	6	8	4	6	8	0	4	6	8	4	6	8
Cantidad	2	8	9	9	5	6	0	0	0	0	1	1	0	1	3	2	2	1	1	0

Tabla 1, Población

3.3.2 Muestra

Muestra														
Probeta														
Medidas	15x30							20x20x40						
Tipo de Cemento	CPCA-1				CPCA-2			CPCA-1				CPCA-2		
Capas	0	4	6	8	4	6	8	0	4	6	8	4	6	8
Cantidad	2	8	9	9	5	6	0	1	3	2	2	1	1	0

Tabla 2, Muestra

3.3 Fases de la Investigación

3.3.1 Recopilación de información

Las fuentes de información en normativas, libros, investigaciones y trabajos de grado acerca del concreto de baja densidad, dieron características y propiedades para así recolectar la información necesaria para la investigación.

3.3.2 Recolección de los materiales

En esta etapa, fueron adquiridos los materiales necesarios para las mezclas, la arena, el cemento y trasladados a la universidad por medios propios. El agregado grueso proveniente de arcilla expandida fue donado por la empresa Agregados Livianos de Venezuela (ALIVEN) y trasladado por cuenta propia a la universidad.



Figura 7: Fábrica ALIVEN en Charallave, Miranda, Venezuela.

Fuente: Fuente propia.

3.3.3 Ensayo de agregados

En esta fase se realizó los ensayos de porcentaje de humedad, porcentaje de absorción, granulometría; estos ensayos fueron realizados para los agregados finos (arena) y agregados gruesos (arcilla expandida) según métodos que establecen las normativas COVENIN y ASTM para ensayos de agregados.



Figura 8-11: Agregado grueso (Aliven), Agregado fino, Ensayo de granulometría y Horno de secado, Laboratorio de Materiales de construcción UCAB, Laboratorios UCAB.

Fuente: Fuente propia.

En esta sección se realizaron los ensayos netamente a los agregados, arena y arcilla expandida (ALIVEN) a ser usados en la mezcla de concreto.

Humedad y absorción de agregado fino (arena)

Agregado Fino Mezcla CPCA-1		Agregado Fino Mezcla CPCA-2	
Masa natural (Gramos)	2232	Masa natural (Gramos)	1250
Masa seca al horno 24h (Gramos)	1833	Masa seca al horno 24h (Gramos)	1075
Masa SSS (Gramos)	2068	Masa SSS (Gramos)	1348
Agua (Gramos)	399	Agua (Gramos)	175
% Humedad	21.77	% Humedad	16.28
% Absorción	12.82	% Absorción	25.39

Tabla 3, Porcentajes de humedad y absorción de arena

Humedad y absorción de agregado grueso (arcilla expandida)

Agregado Grueso Mezcla CPCA-1		Agregado Grueso Mezcla CPCA-2	
Masa natural (Gramos)	811	Masa natural (Gramos)	1100
Masa seca al horno 24h (Gramos)	650	Masa seca al horno 24h (Gramos)	1047
Masa SSS (Gramos)	845	Masa SSS (Gramos)	1351
Agua (Gramos)	161	Agua (Gramos)	53
% Humedad	24.77	% Humedad	5.06
% Absorción	30.00	% Absorción	29.04

Tabla 4, Porcentajes de humedad y absorción de arcilla expandida.

Granulometría de agregado fino (arena)

Tamiz (mm)	Tamiz (in)	Masa Retenida (gr)	Retenido (%)	Retenido acumulado (%)	Pasante (%)
6.35	1/4	0	0.00	0.00	100.00
4.76	#4	278.8	42.43	42.43	57.57
2.38	#8	148.3	22.57	65.00	35.00
1.19	#16	99.7	15.17	80.17	19.83
0.595	#30	64.1	9.75	89.93	10.07
0.297	#50	38.7	5.89	95.81	4.19
0.149	#100	12.3	1.87	97.69	2.31
0.074	#200	14.1	2.15	99.83	0.17
Total		657.1			

Tabla 5, Granulometría agregado fino.

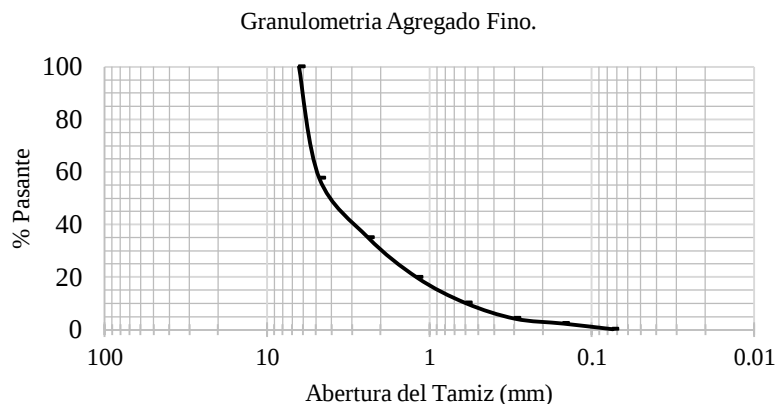


Gráfico 1, Curva Granulométrica agregado fino.

Granulometría de agregado grueso (arcilla expandida)

Tamiz (mm)	Tamiz (in)	Masa Retenida (gr)	Retenido (%)	Retenido acumulado (%)	Pasante (%)
12.7	1/2	0	0.00	0.00	100.00
9.53	3/8	11.2	1.86	1.86	98.14
6.35	1/4	388.4	64.40	66.26	33.74
4.76	#4	107.9	17.89	84.15	15.85
2.38	#8	67	11.11	95.26	4.74
1.19	#16	9.5	1.58	96.83	3.17
0.595	#30	2.7	0.45	97.28	2.72
0.297	#50	3.2	0.53	97.81	2.19
Total		603.1			

Tabla 6, Granulometría agregado grueso

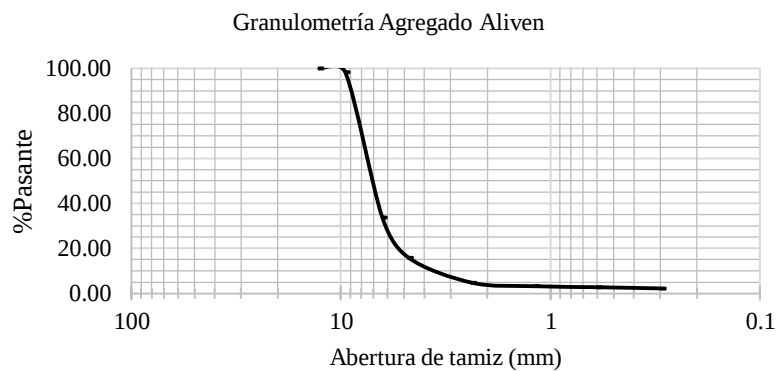


Gráfico 2, Curva Granulométrica agregado grueso.

Mezclas

- **Corrección por humedad y absorción**

Corrección por humedad y absorción CPCA-1		
Agua (Ad)	283	lt
Gw	577	Kg
Aw	585	Kg
$G_{ss} = G_w * (100 + A_b) / (100 + w)$	601	Kg
$A_{ss} = A_w * (100 + A_b) / (100 + w)$	542	Kg
$AM = Ad + A_{ss} - A_w + G_{ss} - G_w$	264	lt

Corrección por humedad y absorción CPCA-2		
Agua (Ad)	343	lt
Gw	394	Kg
Aw	401	Kg
$G_{ss} = G_w * (100 + A_b) / (100 + w)$	484	Kg
$A_{ss} = A_w * (100 + A_b) / (100 + w)$	432	Kg
$AM = Ad + A_{ss} - A_w + G_{ss} - G_w$	464	lt

Tabla 7, Corrección por humedad y absorción.

3.3.4 Dosificación de mezcla

Mezcla CPCA-1 y CPCA-2

Mezcla CPCA1 por m ³	
Cemento (kg)	424
Arena (kg)	585
Aliven (kg)	577
Agua (l)	283
Corrección por agua	264
A/C	0.62
Densidad del Aliven (kg/m ³)	519.43
Beta	0.503

Mezcla CPCA2 por m ³	
Cemento (kg)	914
Arena (kg)	401
Aliven (kg)	394
Agua (l)	343
Corrección por agua	464
A/C	0.51
Densidad del Aliven (kg/m ³)	549.9
Beta	0.504

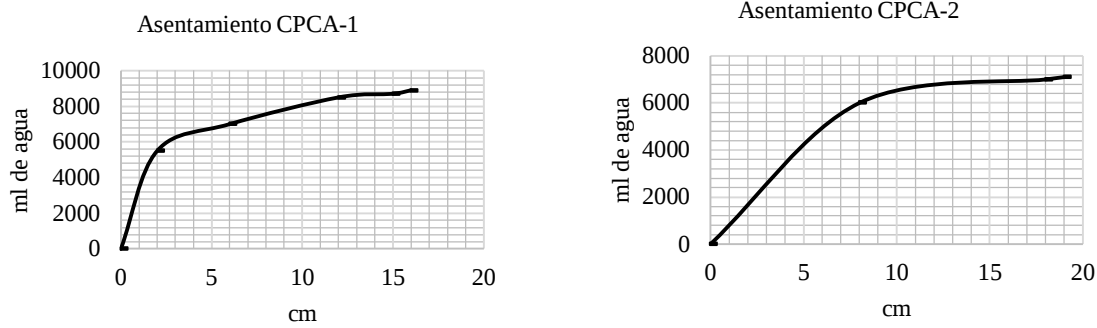
Tabla 8, Mezcla por m³

- **Asentamiento promedio de los vaciados**

Asentamiento CPCA-1		
Agua (ml)	Acumulado (ml)	Asentamiento (cm)
0	0	0
5500	5500	2
1500	7000	6
1500	8500	12
200	8700	15
200	8900	16

Asentamiento CPCA-2		
Agua (ml)	Acumulado (ml)	Asentamiento (cm)
0	0	0
6000	6000	8
1000	7000	18
100	7100	19

Tabla 9, Asentamiento vs cantidad de agua



Gráfica 3, Asentamiento vs cantidad de agua



Figuras 12-14, Preparación de las mezclas.

Fuente: Propias.

3.1.1 Preparación de las probetas

Para esta fase de la investigación se procedió, el día previo al vaciado, al pesaje de los materiales a ser usado según las dosificaciones requeridas, el agregado grueso (arcilla expandida) fue sumergido en agua por 24 horas para evitar que este flote en la mezcla.

3.1.1 Vaciado de probetas

En esta etapa se prosiguió a realizar el mezclado en tolva en el laboratorio de la Universidad Católica Andrés Bello, usando los materiales ya pesados en la fase anterior y añadiendo agua cada 1000 mililitros (ml) para elaborar como mínimo tres (3) asentamientos por cada vaciado en tolva para poder así medir su consistencia y llegar a un asentamiento aceptable para realizar mezclas de consistencia fluida, luego de tener la mezcla se realizó el vaciado de las probetas, por cada vaciado de cemento CPCA-1 se realizó un (1) prisma de 20x20x40 centímetros y tres (3) cilindros de 15x30 centímetros, se realizó el vaciado en paralelo, y se vibraba a diez (10) ciclos de vibrado, entrada y salida del vibrador en la mezcla, por el número de capas requeridas, cuatro (4), seis (6) y ocho (8).

Una vez concluido el vaciado se procedió a él desencofrado a las 72 horas, ya que el encofrado de 20x20x40 requiere más tiempo de fraguado, y paso al proceso de curado bajo una

condición de humedad al 100% sumergido en agua a una temperatura aproximada promedio de 23 grados Celsius.

3.1.2 Montaje de ensayo

Para esta fase de la investigación se utilizó la máquina de compresión marca Baldwin del laboratorio de la Universidad Católica Andrés Bello para poder realizar los ensayos de compresión de las probetas anteriormente mencionadas, adicionalmente se usó un armazón de acero para poder medir las deformaciones verticales de las probetas.

3.1.3 Ensayo y recolección de datos

Los datos se recolectaron mediante el software ANDISOFT, disponible en el laboratorio de Materiales y Ensayos, el cual registra las medidas de deformación de los elementos utilizando potenciómetros, a medida que se está aplicando la carga.

3.4 Diseño experimental

Se realizó el diseño experimental que permitió evaluar el concreto de baja densidad con distintas cantidades de capas de compactación con vibrado a una frecuencia de 239 Hz, sometido a carga axial para la obtención de comportamientos Tensión - Deformación axial y transversal. Se evaluaron seis (6) prismas y veinticuatro (24) cilindros los cuales fueron ensayados bajo compresión hasta alcanzar la rotura.

Probeta						
Medidas	15x30			20x20x40		
Capas	4	6	8	4	6	8
Ensayo	Ensayo de Compresión			Ensayo de Compresión		
Repeticiones	8	8	8	2	2	2
Energía						
Tensión Deformación axial						
Tensión Deformación Transversal						
Capas Vs Módulo de elasticidad						
Resistencia Vs Energía						

Tabla 10, diseño experimental.

CAPITULO IV: RESULTADOS Y ANALISIS

En el presente capítulo se presentarán los resultados de todos las probetas vaciadas y ensayadas en el trabajo de grado, además se vislumbran las gráficas y tablas de los ensayos. Este capítulo está separado por ensayos de agregados y ensayos a probetas.

4.3 Ensayos

4.3.1 CPCA-1

4.3.1.1 Ensayo de probetas cilíndricas

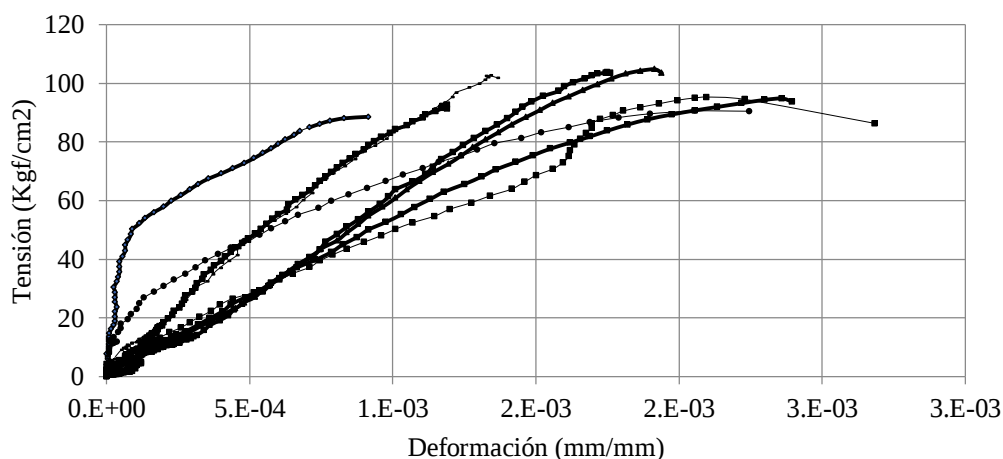
Cuatro (4) Capas

Código	4-1	4-2	4-3	4-4	4-5	4-6	4-7	4-8
Densidad (kg/m ³)	1630.76	1631.14	1625.86	1644.92	1620.57	1678.13	1606.04	1546.40
Resistencia (kgf/cm ²)	95.3	102.5	103.8	90.5	94.8	92.5	104.7	88.6

Tabla 11, Resistencia de probetas cilíndricas

Comportamiento de Tensión- Deformación axial de los cilindros

Comportamiento de Tensión- Deformación axial de los cilindros de 4 capas de compactación.



Gráfica 4, Comportamiento Tensión- Deformación axial de 4 capas de compactación.

Código	Resistencia (kgf/cm ²)	Módulo Elástico. (kgf/cm ²)	Tenacidad (Joules/m ³)
4-1	95.267	50086	0.185
4-2	102.530	92531	0.205
4-3	103.776	53963	0.205
4-4	90.542	117040	0.178
4-5	94.786	59033	0.159
4-6	92.511	51955	0.146
4-7	104.739	55835	0.210
4-8	88.551	57930	0.155

Tabla 12, Módulo de Elasticidad

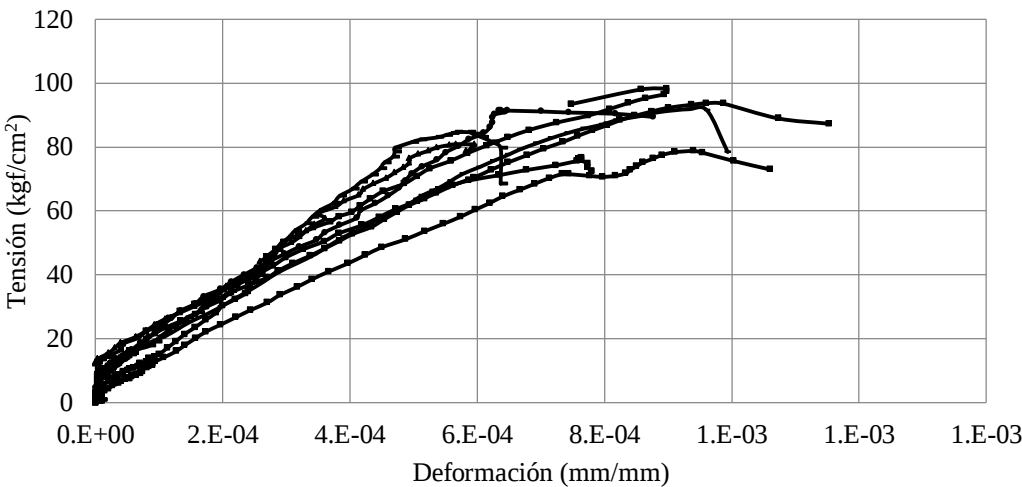
Seis (6) Capas

Código	6-1	6-2	6-3	6-4	6-5	6-6	6-7	6-8	6-9
Densidad (kg/m ³)	1561.50	1609.80	1537.50	1533.57	1571.74	1577.35	1543.01	1553.06	1587.34
Resistencia (kgf/cm ²)	98.17	78.69	93.64	78.78	91.52	76.59	84.88	91.82	79.22

Tabla 13, Resistencia de probetas cilíndricas

Comportamiento de Tensión- Deformación axial de los cilindros

Comportamiento de Tensión- Deformación axial de los cilindros de 6 capas de compactación.



Gráfica 5, Curva Tensión- deformación axial de 6 capas de compactación.

Código	Resistencia (kgf/cm ²)	Módulo Elástico. (kgf/cm ²)	Tenacidad (Joules/m ³)
6-1	98.17	112723	0.15
6-2	78.69	106144	0.08
6-3	93.64	100967	0.18
6-4	78.78	75668	0.05
6-5	91.52	117991	0.05
6-6	76.59	85651	0.04
6-7	84.88	130963	0.03
6-8	91.82	94255	0.06
6-9	79.22	105736	0.08

Tabla 14, Módulo de Elasticidad

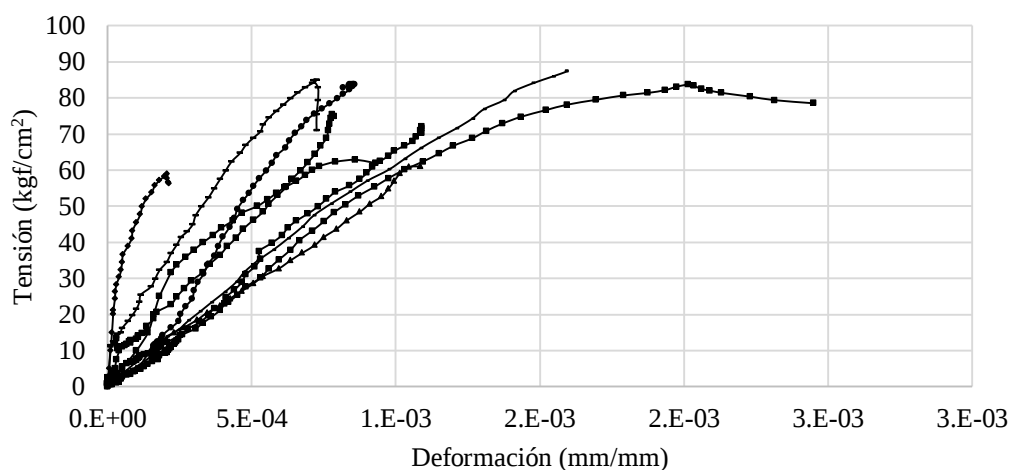
Ocho (8) Capas

Código	8-1	8-2	8-3	8-4	8-5	8-6	8-7	8-8	8-9
Densidad (kg/m ³)	1561.50	1609.80	1593.62	1582.72	1576.41	1564.26	1548.67	1596.23	1592.83
Resistencia (kgf/cm ²)	83.69	59.17	60.69	63.77	62.84	87.41	84.91	83.82	80.35

Tabla 15, Resistencia de probetas cilíndricas

Comportamiento de Tensión- Deformación axial de los cilindros

Comportamiento de Tensión- Deformación axial de los cilindros de 8 capas de compactación.



Gráfica 6, Curva Tensión deformación axial de 8 capas de compactación.

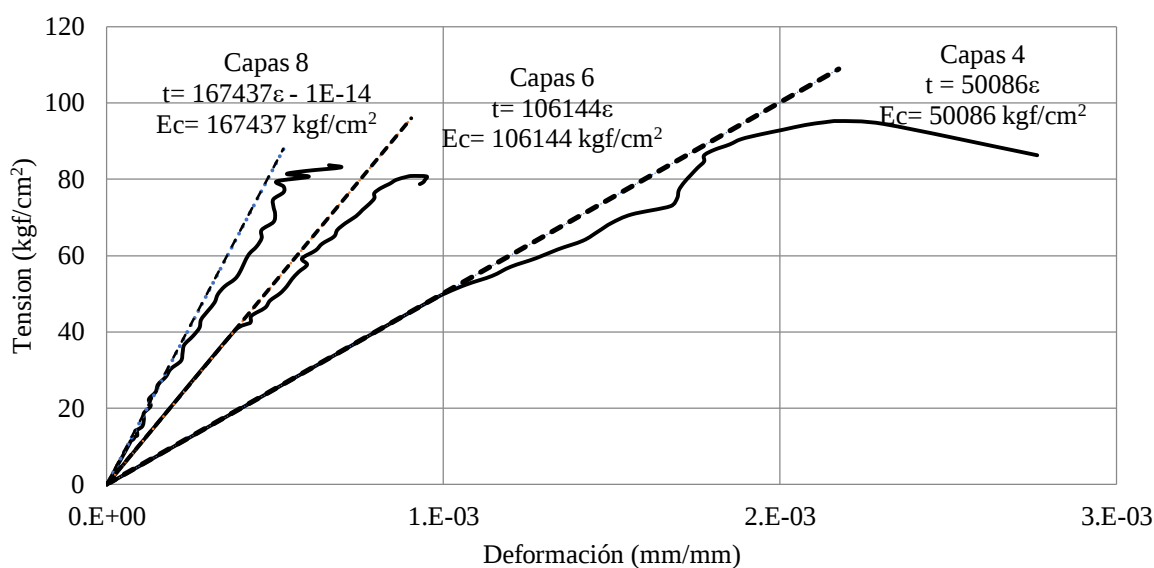
Código	Resistencia (kgf/cm ²)	Módulo Elástico. (kgf/cm ²)	Tenacidad (Joules/m ²)
8-1	83.70	57055	0.09
8-2	58.84	167437	0.01
8-3	61.52	77705	0.01
8-4	75.46	91763	0.02
8-5	62.84	167762	0.04
8-6	87.41	65560	0.05
8-7	84.92	173968	0.03
8-8	83.83	157553	0.04
8-9	72.02	40389	0.04

Tabla 16, Módulo de Elasticidad

Comparación de los comportamientos de deformaciones axiales entre capas.

Promedio	Capas 4	Capas 6	Capas 8
Resistencia (kgf/cm ²)	95.026	88.248	72.608
Módulo Elástico. (kgf/cm ²)	51519	106712	166680

Tabla 17, Comparación entre capas



Gráfica 7, Tensión-Deformación axial de cilindros.

El comportamiento de las probetas sometidas a compresión demostrada en las gráficas de Tensión - Deformación axial presentan comportamientos típicos de probetas de concreto de agregado normal, donde incrementando la carga aplicada se generan deformaciones axiales

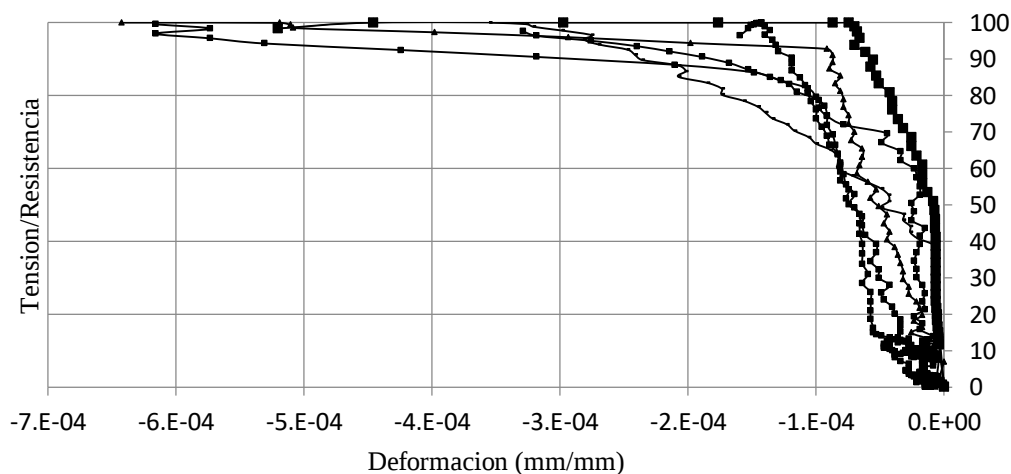
formando una recta inicial casi lineal, siendo el cambio de las tensiones con respecto a la deformaciones el módulo de elasticidad del concreto y el área bajo la curva desde el inicio de la misma hasta el punto de rotura es la energía total, a la cual será llamada tenacidad. Las gráficas muestran los puntos de rotura de las probetas, las cuales obtuvieron máximas deformaciones en el orden de 0.6×10^{-3} a 2.5×10^{-3} mm/mm.

En la gráfica número siete (7) se puede observar la comparación entre las gráficas de deformación axial entre las distintas capas de compactación de las probetas cilíndricas ensayadas en el cual, al aumentar las capas de compactación de las probetas, estas tienden a deformarse menos, se muestra que a medida que se disminuyen las capas de compactación y vibrado aumenta la tendencia a perder la linealidad a deformaciones tempranas a razón de 20% con respecto a cada capa.

Gráficas Deformaciones Transversales

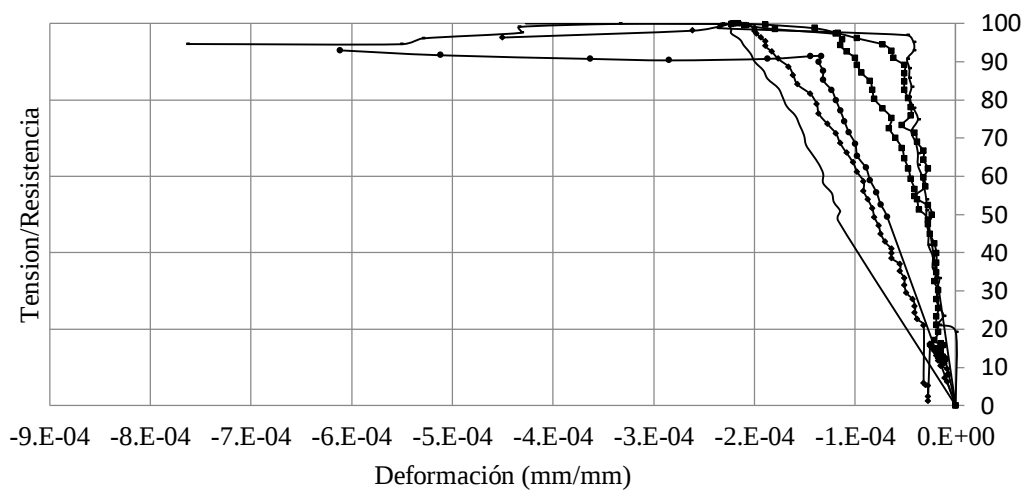
Se presentan las grafica de Tensión- deformación transversal de las probetas cilíndricas ensayadas con distintos números de capas de compactación.

Comportamiento de deformación transversal para probetas de 4 capas de compactación.



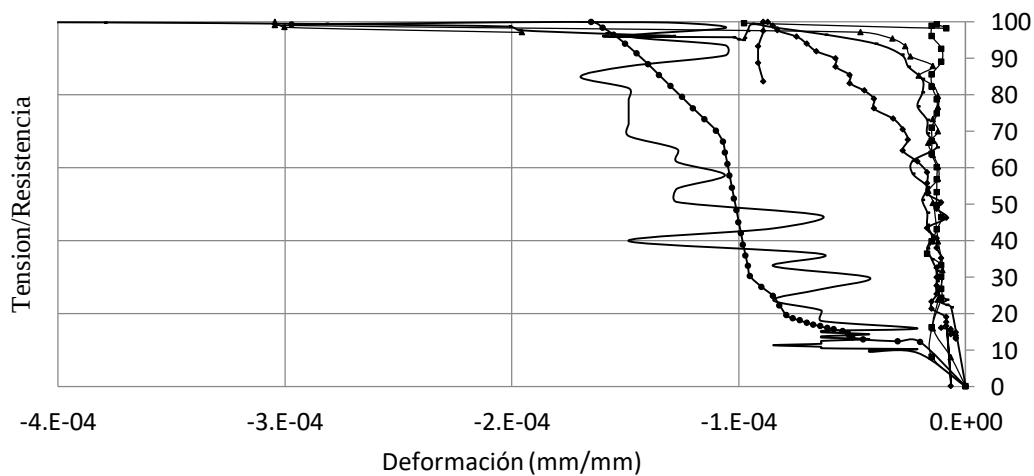
Gráfica 8, Tensión-Deformación axial de cilindros.

Comportamiento de deformación transversal para probetas de 6 capas



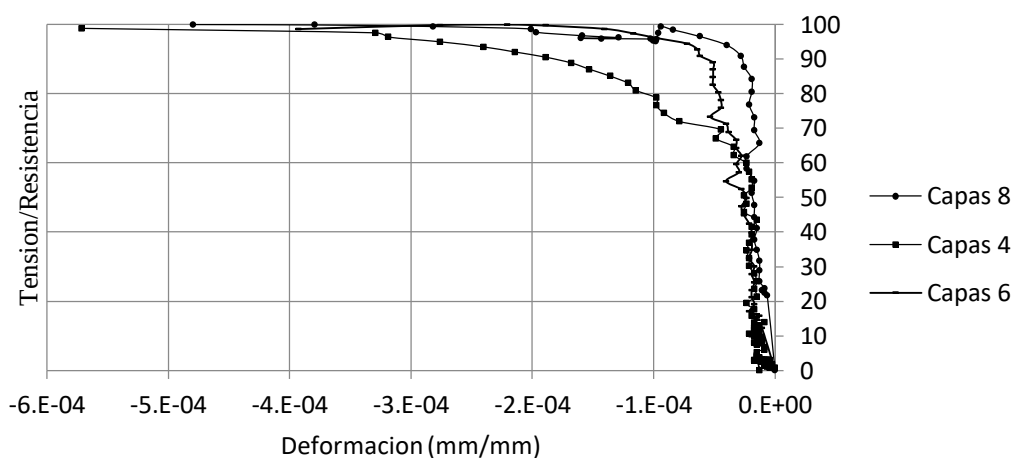
Gráfica 9, Tensión-Deformación axial de cilindros.

Comportamiento de deformación transversal para probetas de 8 capas



Gráfica 10, Tensión-Deformación axial de cilindros.

Comparación de los comportamientos entre los distintos números de capas de compactación en deformaciones transversales



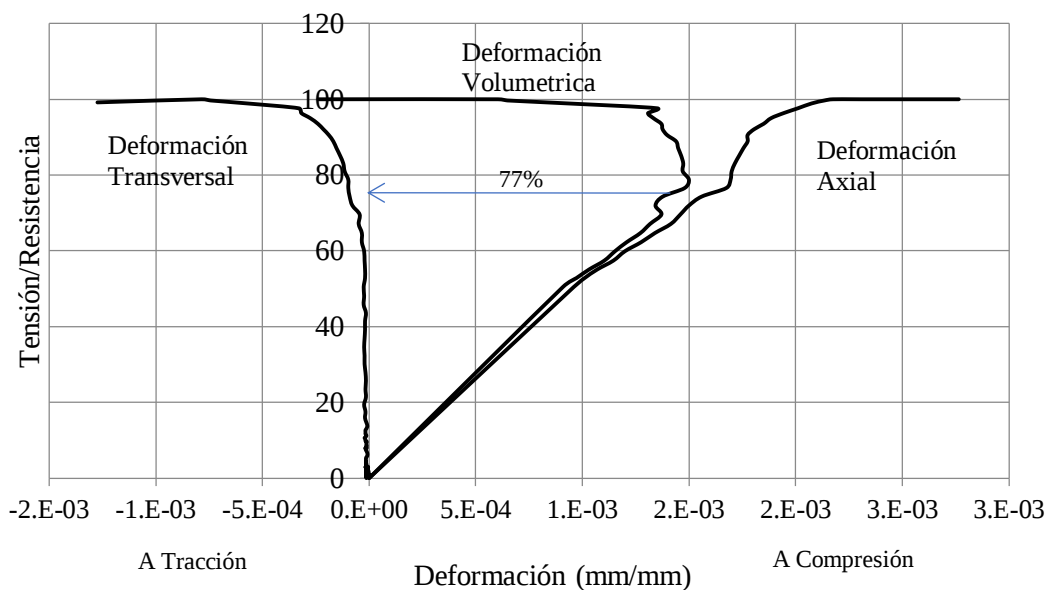
Gráfica 11, Tensión-Deformación axial de cilindros.

En la gráfica anterior se puede observar en el eje de las ordenadas la relación porcentual entre la tensión y la tensión máxima alcanzada en los ensayos realizados a las probetas cilíndricas; a medida que se comprimen las probetas, se agrietaron generando deformaciones transversales negativas por el ensanchamiento de las probetas, al llegar a su punto máximo de tensión relativa, este aumenta su deformación bajo la misma carga hasta llegar a su punto de falla, a medida que aumentamos las capas de compactación en las probetas tienden a deformarse transversalmente menos que las de mayor capa de compactación.

Gráficas variación volumétrica

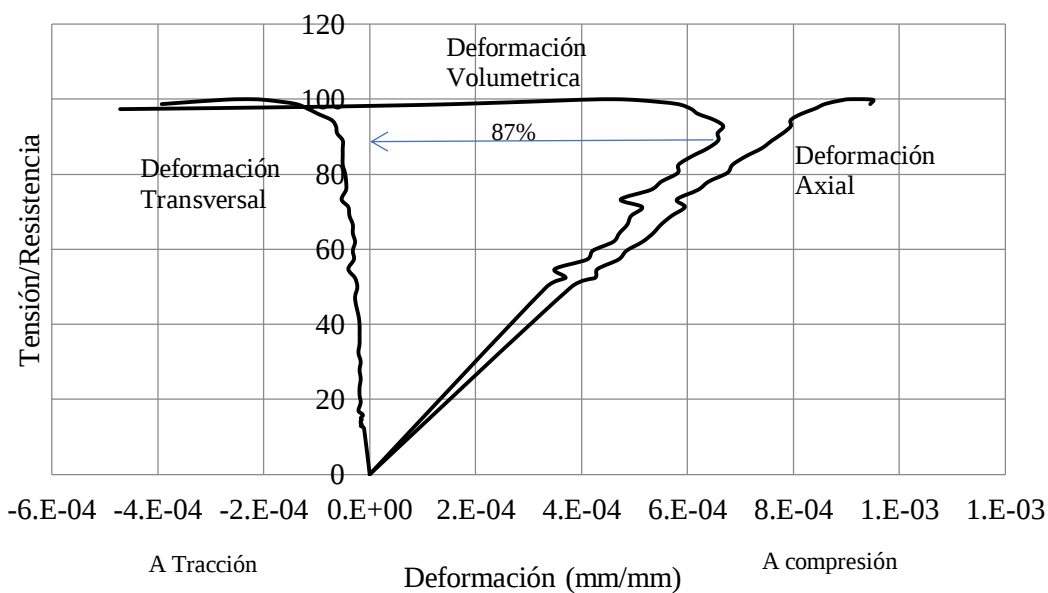
La deformación axial representa la deformación de la probeta longitudinalmente cuando se comprime y se muestra con valores positivos, a diferencia de la deformación transversal la cual se representa con valores negativos ya que muestra el ensanchamiento transversal, siendo este una deformación representada a tracción, el cambio volumétrico representa como varía el volumen a medida que se le aplica la carga de compresión, a su vez esto está relacionado con la relación de Poisson.

Comportamiento de variación volumétrica para cilindros de 4 capas



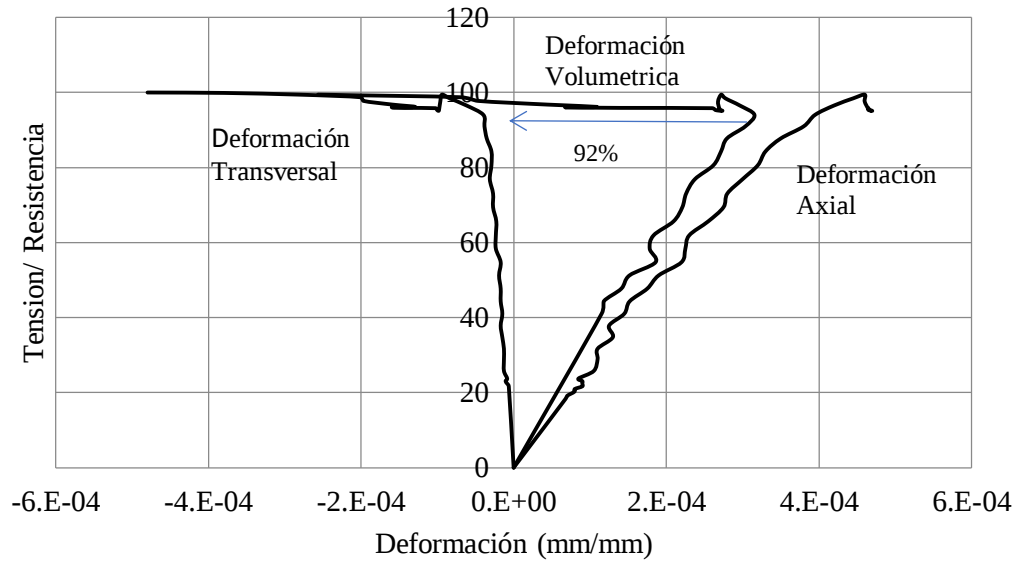
Gráfica 12, Tensión-Deformación volumétricas para 4 capas de compactación.

Comportamiento de variación volumétrica para cilindros de 6 capas



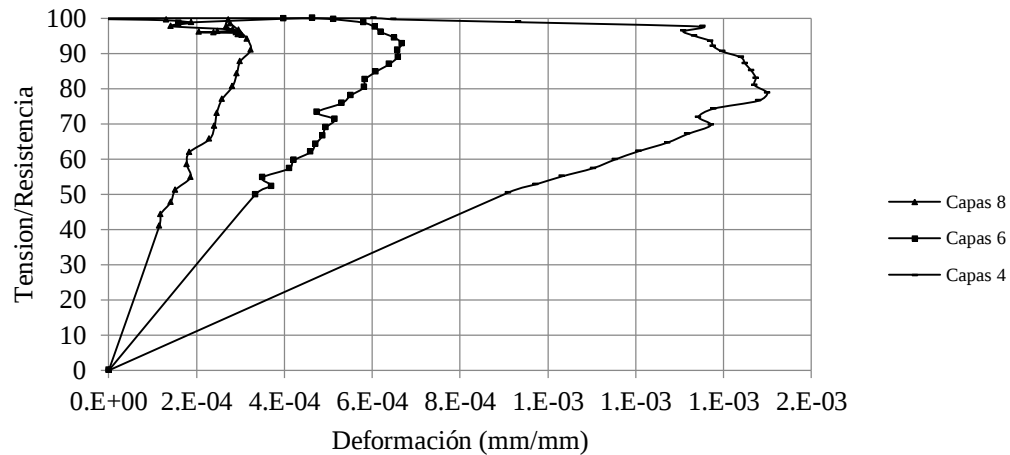
Gráfica 13, Tensión-Deformación volumétricas para 6 capas de compactación.

Comportamiento de variación volumétrica para cilindros de 8 capas



Gráfica 14, Tensión-Deformación volumétricas para 8 capas de compactación

Comparación de comportamientos de los distintos números de capas de compactación en gráficas volumétricas



Gráfica 15, Tensión-Deformación axial de cilindros.

La deformación volumétrica presentada en las gráficas anteriores demuestra que inicialmente el volumen disminuye durante casi todo el rango que se aplicó la carga, hasta

alcanzar tensiones máximas o próximas a la rotura, donde comienza a aumentar el volumen debido al aumento de las deformaciones transversales hasta llegar al agotamiento de la resistencia. Durante la disminución del volumen de las probetas ocurre la falla progresiva de la interface de adherencia entre las pellas y el mortero, hasta que aumentan las tensiones y ocurre el aumento de la deformación transversal debido a la falla de las pellas ocasionando un aumento del volumen. Al aumentar el número de capas la relación de deformación transversal y axial disminuye, demostrando que a mayores capas es menor la deformación transversal.

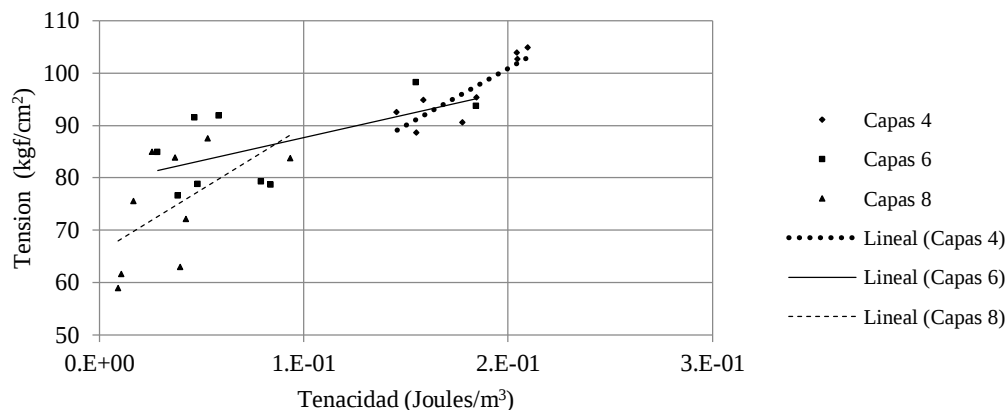
Capas	Relación de Poisson
4	0,36
6	0,24
8	0,1

Tabla 18, Relación de Poisson.

Capas	Tenacidad (Joules/m ³)
4	0.176
6	0.051
8	0.036

Tabla 19, capas vs Tenacidad

Cilindros



Gráfica 16, Energía

En las gráficas y tablas anteriores se puede apreciar que a medida que se aumentan las capas la relación de Poisson y la tenacidad van disminuyendo, además, a medida que se va

aumentando la resistencia a la compresión de las probetas se puede observar que la tenacidad aumenta.

4.3.1.2 Ensayo de probetas Prismáticas

La siguiente información presentada en tablas contiene los resultados obtenidos en los ensayos de los prismas de concreto de densidad baja sometida a compresión.

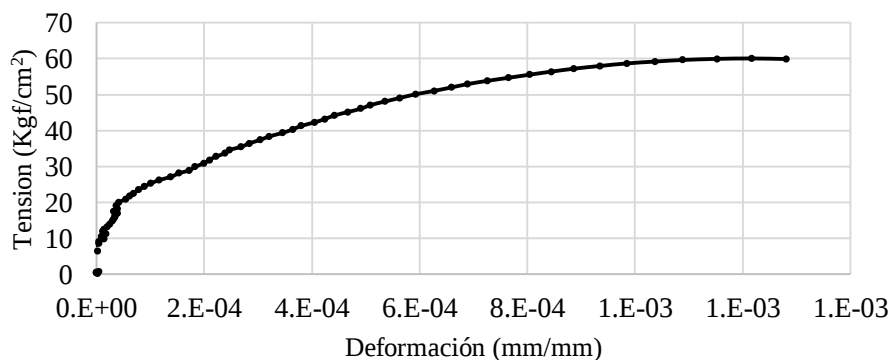
Sin vibrado adecuado

Código	Densidad (kg/m ³)	Resistencia (kgf/cm ²)
0	1523.77	60.08

Tabla 20, Resultados de resistencias de prismas.

Comportamiento de tensión- deformación

- 010-1



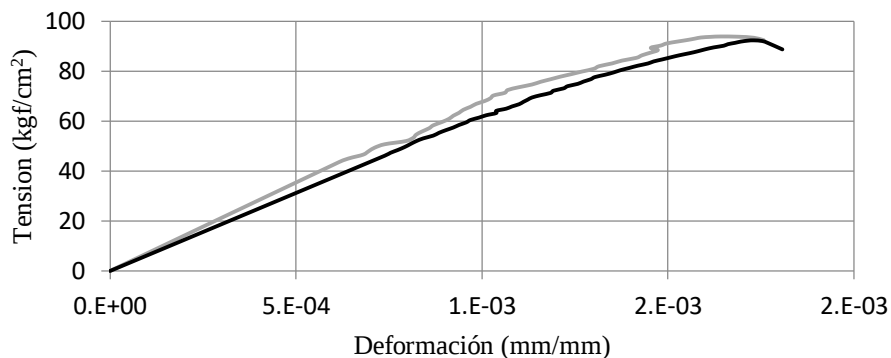
Gráfica 17, Comportamiento Tensión- Deformación axial para 0 capas de compactación.

Cuatro (4) Capas de vibrado

Código	Densidad (kg/m ³)	Resistencia (kgf/cm ²)
4-1	1577.68	92.46
4-2	1606.69	94.00

Tabla 21, Resultados de resistencias de prismas.

Comportamiento de Tensión- Deformación axial



Gráfica 18, Curva Tensión- Deformación axial para 4 capas de compactación.

Código	Resistencia (kgf/cm ²)	Módulo Elástico. (kgf/cm ²)	Tenacidad (Joules/m ³)
4-1	92.45	62551	0.11
4-2	94.00	70892	0.12

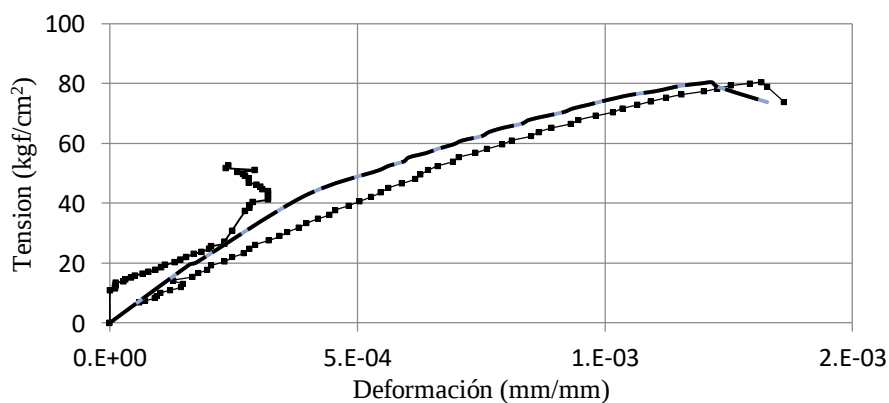
Tabla 22, Módulo de Elasticidad

Seis (6) Capas de vibrado

Código	Densidad (kg/m ³)	Resistencia (kgf/cm ²)
6-1	1510.00	52.51
6-2	1582.00	80.42

Tabla 23, Resultados de resistencias de prismas.

Comportamiento de Tensión- Deformación axial



Gráfica 19, Curva Tensión- deformación axial para 6 capas de compactación.

Código	Resistencia (kgf/cm ²)	Módulo Elástico. (kgf/cm ²)	Tenacidad (Joules/m ³)
6-1	52.508	81236	0.025
6-2	80.42	55679	0.078

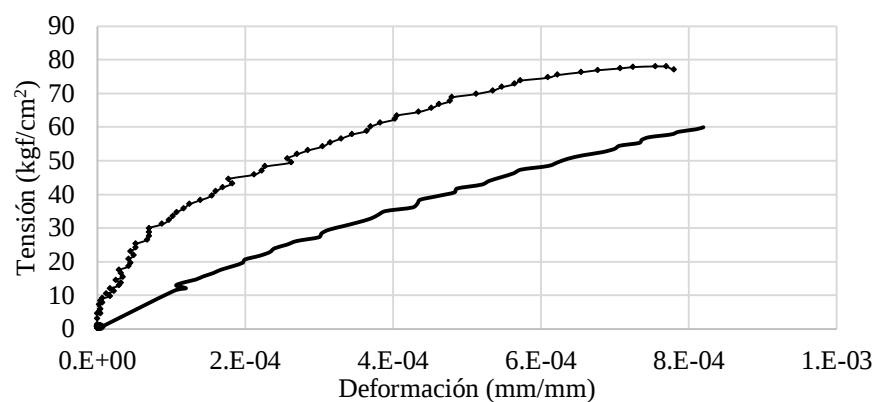
Tabla 24, Módulo de elasticidad.

Ocho (8) Capas de vibrado

Código	Densidad (kg/m ³)	Resistencia (kgf/cm ²)
8-1	1555.88	59.95
8-2	1567.36	78.03

Tabla 25, Resultados de resistencias de prismas.

Comportamiento de Tensión- Deformación axial

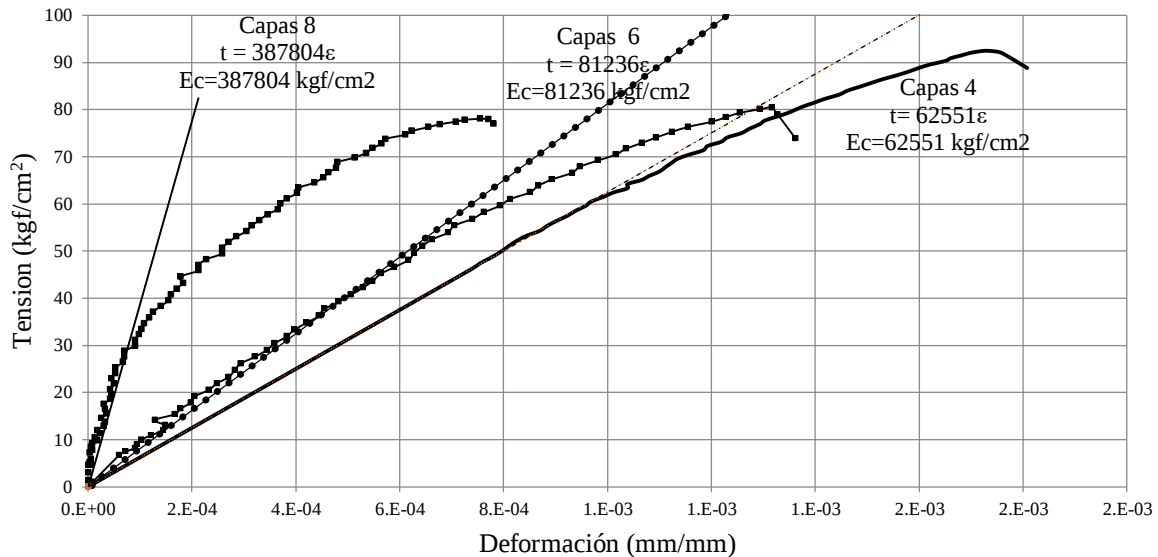


Gráfica 20, Curva Tensión- deformación axial para 8 capas de compactación.

Código	Resistencia (kgf/cm ²)	Módulo Elástico. (kgf/cm ²)	Tenacidad (Joules/m ³)
8-1	60.00	229158	0.022
8-2	78.03	387804	0.015

Tabla 26, Módulo de elasticidad

Comportamiento de Tensión- Deformación axial entre capas de compactación.



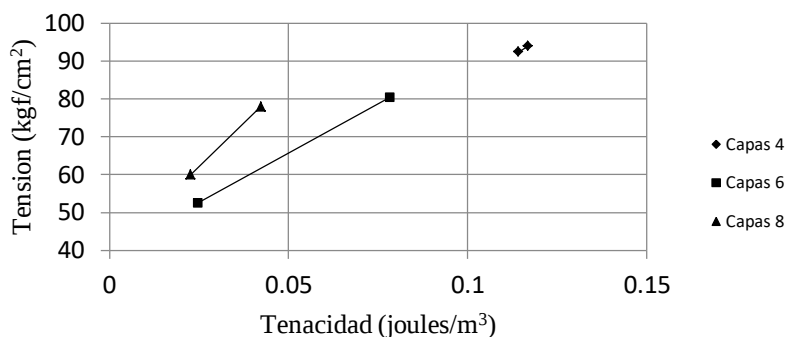
Gráfica 21, Curva Tensión- deformación axial.

Analizando los módulos de elasticidad obtenidos de los comportamientos de tensión-deformación se puede afirmar que a mayor número de capas de compactación aumenta el módulo de elasticidad indicando menor deformación lineal pero mayores tensiones alcanzadas, provocando que las probetas menos tenaces. Las gráficas muestran que al disminuir las capas hay un incremento de energía necesaria para alcanzar la deformación a la rotura. Como se apreció en las gráficas anteriores, las probetas menores capas de compactación absorben mayor energía por ser las que presentaron mayores deformaciones y altas resistencia a la rotura.

Capas	Tenacidad (Joules/m3)
4	0.115461459
6	0.0513744
8	0.03248603

Tabla 28, Tenacidad

Prismas



Gráfica 22, Energía

En la gráfica anterior se puede observar como a medida que aumentamos las capas de compactación aumenta la tenacidad de las mismas, y su resistencia a la rotura.

4.3.2 CPCA-2

Ensayo de probetas cilíndricas

Resistencia Cilindros								
Código	Peso (kg)	Diámetro	Altura (cm)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Densidad (kg/m ³)	Carga (kg)	F'c (kg/cm ²)
4.1	9.1	15.1	30.2	179.1	5408.2	1678.9	13295.0	74.2
4.2	9.2	15.1	30.2	179.1	5408.2	1698.7	21466.0	119.9
4.3	9.1	15.0	30.1	176.7	5319.1	1712.1	28200.0	159.6
4.4	9.0	15.0	30.2	176.7	5336.8	1695.2	28000.0	158.4
4.5	9.0	15.2	30.2	181.5	5480.0	1644.3	24000.0	132.3
Promedio de 4 Capas						1685.9	22992.2	128.9
6.1	9.2	15.0	29.9	176.7	5283.8	1743.1	26130.0	147.9
6.2	9.2	14.9	30.0	174.4	5231.0	1749.2	23371.0	134.0
6.3	9.2	15.0	30.0	176.7	5301.4	1739.2	30200.0	170.9
6.4	9.2	15.0	29.7	176.7	5248.4	1746.4	29000.0	164.1
6.5	9.1	14.8	30.2	172.0	5195.4	1743.3	30110.0	175.0
6.6	9.1	14.9	29.9	174.4	5213.6	1750.8	30600.0	175.5
Promedio de 6 Capas						1745.3	28235.2	161.2

Tabla 30, Datos y resultados de probetas

Código	Densidad kgf/m ³	F'c kgf/cm ²
410-1	1750.82	175.49
410-2	1743.27	175.02
410-3	1644.33	132.26
410-4	1695.22	158.45
410-5	1746.43	164.11
410-6	1739.15	170.90
610-1	1712.13	159.58
610-2	1678.94	74.24
610-3	1698.72	119.87
610-4	1743.07	147.87
610-5	1749.19	134.03

Tabla 31, Datos y resultados de probetas

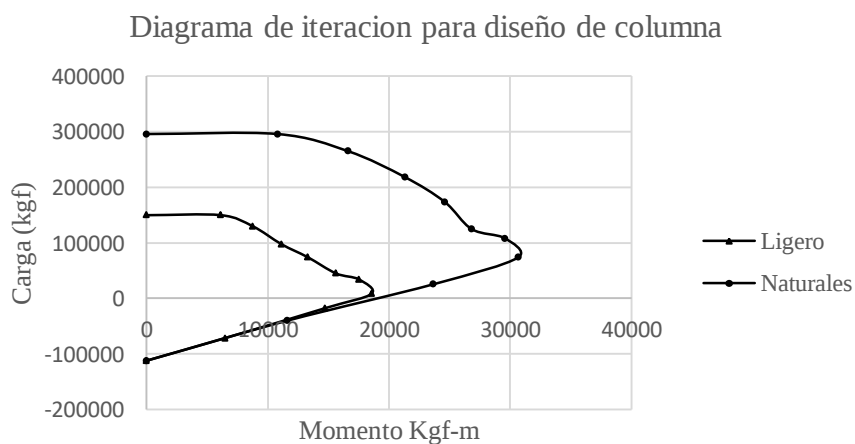
Ensayo de probetas Prismáticas

Resistencia Prismas 20x20x40									
Código	Peso (kg)	Lado (cm)	Lado (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Densidad (kg/m ³)	Carga (kg)	F'c (kg/cm ²)
410-1	26.881	20.1	20.1	40	404.01	16160.4	1663.39	46279.8	114.55
610-1	26.924	20	20	39.9	400	15960	1686.97	57569.6	143.92

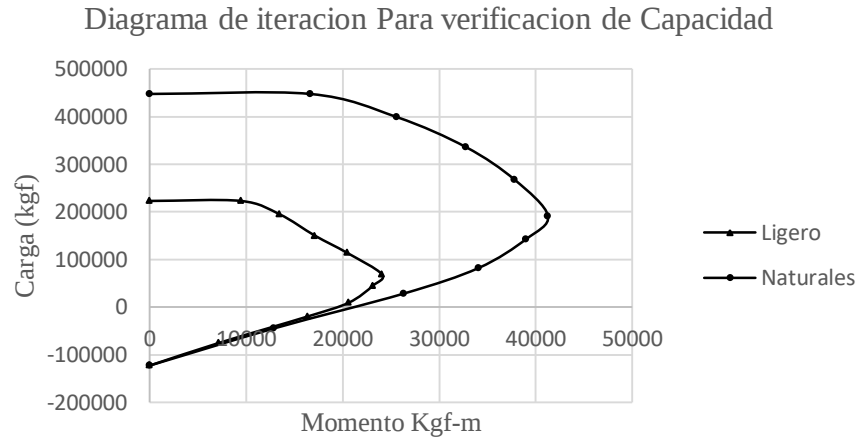
Tabla 32, Datos y resultados de probetas prismáticas 20x20x40.

Diagramas de iteración de columnas tipo.

Columna de sección 50x50 centímetros con cabillas de número 8 (#8).



Gráfica 23, Diagrama de interacción Concreto.



Gráfica 24, Diagrama de interacción Concreto.

El diseño de columnas usando el concreto ligero es esencial al igual que con columnas de agregado natural, la reducción de la resistencia y de las deformaciones presentadas en este trabajo, afectan los diagramas de iteración de las columnas, mediante el programa SAP2000 versión 19, se asoció una curva tensión deformación promedio de todas las columnas ensayadas en este trabajo de grado para poder así generar los diagramas de iteración de una columna tipo y poder ser comparada con el concreto de agregados convencionales , en la cual pudimos observar que el punto balanceado de los diagrama de concreto ligero tienden a estar cercanos a un punto de fuerza axial cero y momento elevado, la reducción de esfuerzo a compresión y el momento flector tiende a ser de un 45% a 50% con respecto al concreto normal.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

A medida que se aumentan las capas de compactación de la mezcla las probetas tienden a deformarse menos, esto se ve reflejado en el módulo de elasticidad, que tiende a aumentar por el cambio diferencial de la tensión con respecto a las deformaciones en la zona lineal que es cada vez mayor, el exceso del vibrado tiene influencia directa en la calidad del concreto en términos de módulo de elasticidad y energía, todas estas propiedades fueron alteradas al variar la cantidad de capas de vibrado que se le da a la mezcla de concreto al momento de encofrar.

Los módulos de elasticidad obtenidos a partir de los ensayo de cilindros y prismas se fueron incrementando a medida que aumentan las compactaciones de la mezcla y esto ocasionó a su vez un descenso en la tenacidad de los elementos generando así la pronta rotura, un concreto de agregados normales tiene una tenacidad de hasta 0.6-0.65 Joules por metro cúbico de concreto mientras que las probetas de concreto liviano arrojaron como resultado 0.09-0.15 Joules por metro cúbicos una diferencia en porcentaje de 85% esto puede ser perjudicial al momento de un evento sísmico, debido a que este no es tan tenaz como el concreto de agregados naturales. A medida que aumentan las capas de compactación se observa en las gráficas presentadas en el capítulo 4 el módulo de elasticidad aumenta en un 33% cada vez que aumentamos la cantidad de capas.

La tenacidad de las probetas con respecto a cada capa disminuye en un 35% con respecto a la anterior, es decir, la tenacidad de un prisma de 4 capas es 35% mayor de la de un prisma de 6 capas al momento de aplicar la carga.

Se puede observar que al momento de alcanzar la resistencia máxima, las probetas fallan inmediatamente, la teoría moderna del concreto reforzado, establece que al llegar a la resistencia máxima hay un descenso de resistencia en forma lineal de un 15% y un aumento de la deformación de 2×10^{-3} a 4×10^{-3} , este tipo de concreto posee la tendencia de llegar a la rotura muy cercano al llegar a la tensión máxima; la rotura de las probetas muestra tendencia a fractura de la pella de arcilla expandida, la unión pella y mortero que constituye la fase de adherencia

Interfacial Shear Bond (ISB) tiene mayor capacidad que el grano propiamente, generando la falla; la ISB define la resistencia de estas.

De la investigación realizada en laboratorio se concluye que las secciones deben ser mayores a las secciones en elementos comprimidos diseñadas en concreto de agregados normales, dado el diagrama de iteración anteriormente presentado en el capítulo 4, demuestra que una columna tiene que ser aumentada hasta un 55% de su tamaño original.

El control inmediato en obra de resistencia debe ser realizado mediante la evaluación de masa de concreto ya que se demostró que este varía uno con respecto al otro, esto afectaría la estructura pues se estarían obteniendo diferentes densidades en los elementos estructurales y diferentes resistencias en los pórticos o muros.

Finalmente, a menor número de capas de compactación en el concreto con agregado grueso de densidad baja, género que el materia presentara mayor tenacidad y mayor ductilidad con una disminución del módulo de elasticidad, las curvas tendían a ser menos inclinadas en el inicio, sin embargo a mayor capas ocurre lo contrario, las curvas tendían a ser más inclinadas al inicio, el riesgo como antes se menciona es la falla pronta del material sin este poder disipar energía que este necesita en caso de un movimiento sísmico o un movimiento brusco que se le aplique.

Recomendaciones

- Se recomienda mantener una relación de vibrado de 4 capas en el vaciado de columnas para así garantizar el comportamiento deseable de laboratorio en obra, el aumento de capas en el concreto produjo que la mezcla sea menos resistente, menos tenaz, y menos densa.
- Aumentar las secciones que lo requieran hasta un 55%, si el diseño inicialmente estaba planteado para concreto convencional y se desea cambiar a concreto ligero, se recomienda el aumento de las secciones mencionadas y un análisis exhaustivo mediante programas especializados para el modelaje estructural, enlazar las curvas tensión - deformación obtenidas en el laboratorio al modelo en el programa, para así comprobar el desempeño del material en eventos sísmicos.
- El control adecuado e inmediato de resistencia de este tipo de concreto realizado mediante la evaluación de masa de concreto para así evitar que elementos estructurales tengan diferentes densidades y resistencias, cuando lo que se busca es que todo sea homogéneo.
- Generar mayores investigaciones con el material incorporándole aditivos acelerantes de resistencia y al incorporarle acero de refuerzo para analizar la interacción acero mortero en este tipo de concreto y analizar el comportamiento a flexo-compresión.
- Realizar estudios económicos antes de usar este material, ya que este tipo de concreto tiende a ser hasta más de 1% más costoso que el agregado convencional, se reducen los pesos de estructura y disminuyen los esfuerzos en las fundaciones, reduciendo así los costos de excavación y volumen de concreto en sistema de fundaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bibliografía

Ander-Egg, E; (1993) *Técnicas de Investigación Social*, (23^{ava} Edición), Buenos Aires, Argentina, Magisterio del Rio de la Plata.

Arias, F; (2006). *El proyecto de Investigación*. Caracas: Episteme.

Barreiro, M; (2016) *E-book, Hipótesis de flexión: Deformación Lineal*, (1^{era} edición), Caracas, Venezuela, UCAB.

Maglione, P; (2017) *Guía de Concreto Reforzado II*, (1^{era} edición), Caracas, Venezuela, UCAB.

Nilson, H; (2010) *Design of Concrete Structures*, (14th edición), Nueva York, Nueva York, Mc Graw Hill.

Porrero, J; Ramos, C; Graces, J; Velazco, G; (2014) *Manual del Concreto Estructural según la norma COVENIN 1753:03*. (1^{era} edición digital), Caracas, Venezuela, Sidetur.

R. Park; T. Paulay *Estructuras de concreto reforzado*.

Normativa

American Concrete Institute ACI-318-14, (2014). “*Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*” ACI Committee 318.

American Concrete Institute ACI-213R-04, (2004). “*Guide for Structural Lightweight-Aggregate Concrete*” ACI Committee 213.

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

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

ANEXOS

Imágenes de proceso asentamientos de mezcla de concreto de densidad baja





Imágenes del proceso de mezcla de concreto de densidad baja.



Imágenes de ensayos de concreto de densidad baja.

