

ESTUDIO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL DE DENSIDAD
BAJA SOMETIDO A FATIGA DE BAJO CICLAJE

TRABAJO DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar al título de

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

PRESENTADO POR: Marion Adriana Barrientos Molina.
Luis Alejandro Marques da Silva.

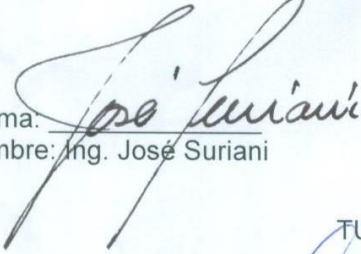
PROFESOR GUIA: MSc. Ing. Guillermo Bonilla.

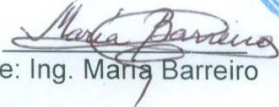
Caracas, Junio de 2018.

ESTUDIO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL DE DENSIDAD
BAJA SOMETIDO A FATIGA DE BAJO CICLAJE

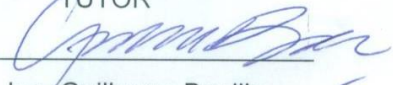
Este Jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con
el resultado: 14 Ptos.

JURADO EXAMINADOR

Firma: 
Nombre: Ing. José Suriani

Firma: 
Nombre: Ing. María Barreiro



TUTOR
Firma: 
MSc. Ing. Guillermo Bonilla.

PRESENTADO POR:

Marion Adriana Barrientos Molina.
Luis Alejandro Marques Da Silva.

PROFESOR GUIA:

MSc. Ing. Guillermo Bonilla.

Caracas, Junio de 2018

10 JULIO
2018

SINOPSIS

A medida que transcurren los años el ser humano siempre ha buscado la manera de realizar los proyectos en manera factible y económica por lo que ha innovado en distintos ramos tales son como la construcción de sus viviendas y áreas de trabajo, tomando en cuenta que ha surgido materiales no convencionales y por lo que viene la incertidumbre de que si el material elegido cumple con los requisitos señalados ante nuestra normativa que se rige en el país.

El concreto de densidad baja es un material que se ha empezado a utilizar para obras, existiendo la incertidumbre del comportamiento a largo plazo respecto a las propiedades mecánicas de los miembros, sometidos a cargas actuantes aleatorias.

Por lo que las cargas aleatorias producidas por sismos o equipos vibratorios pudieran afectar la capacidad del concreto, por lo que se plantea someter a cargas cíclicas para generar fatiga en el elemento “cilindro de concreto estructural de densidad baja” estudiando así sus propiedades mecánicas y características geométricas a través de cambios en deformaciones axiales.

DEDICATORIA

*Este trabajo de grado está dedicado en primer lugar a Dios,
Por ayudarnos en todo momento a lo largo de este trabajo.
Así mismo, a nuestros padres y hermanos por apoyarnos.*

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer principalmente a nuestro tutor Guillermo Bonilla por el apoyo incondicional para el logro de este trabajo de grado.

A nuestros compañeros de trabajo de grado que nos ayudaron a la elaboración del prototipo de medición, por sus ideas y sus consejos.

A la empresa Bici Camping, su trabajador Cesar por ayudarnos en la obtención del material para la fabricación del prototipo y a las mejoras realizadas.

A la Empresa Arcillas Livianas Venezolanas (Aliven, C.A.) la cual nos donó parte del material de estudio.

A la constructora MDT, C.A. por la donación de la arena utilizada.

A los técnicos del Laboratorio de Materiales de Construcción de la Universidad Católica Andrés Bello por la ayuda suministrada durante la realización del sistema de medición y los ensayos realizado.

ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA.....	2
I.1) Planteamiento del Problema.....	2
I.2) Objetivo General.....	2
I.3) Objetivos Específicos.....	2
I.4) Justificación.....	3
I.5) Alcance y Limitaciones.....	3
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	4
II.1) Antecedentes.....	4
II.2) Bases Legales.....	5
II.3) Bases Teóricas.....	6
II.3.1) Concreto.....	6
II.3.2) Comportamiento del concreto.....	7
II.3.3) Concreto de densidad Baja.....	7
II.3.4) Arcilla Expandida.....	7
II.3.5) Componentes de la Arcilla Expandida.....	8
II.3.6) Proceso de Creación.....	8
II.3.7) Modulo de Elasticidad.....	8
II.3.8) Fatiga del Concreto.....	8
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	10
III.1) Naturaleza de la Investigación.....	10
III.2) Población.....	10
III.3) Muestra.....	10
III.4) Recolección de Datos.....	10
III.5) Equipos de Aplicación de Carga.....	10
III.6) Accesorios Empleados.....	11

III.7) Variables de Ensayo.....	11
III.7.1) Variables Dependientes.....	11
III.7.2) Variable Derivada.....	11
III.7.3) Variables Independientes.....	11
III.7.4) Elementos a mantener Constante.....	11
III.8) Materiales Utilizados.....	12
III.9) Diseño Experimental.....	13
III.9.1) Diseño y Elaboración de Equipo de de Medición.....	13
III.9.2) Desarrollo de Prototipo.....	15
III.9.3) Montaje de Equipo.....	16
III.10) Procedimiento de Ensayo.....	18
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	19
IV.1) Relación Tensión - Densidad.....	19
IV.2) Ensayo Monofónico.....	20
IV.3) Curvas de Comportamiento.....	24
IV.4) Módulo de Elasticidad.....	27
IV.5) Curvas de Bajo Ciclaje.....	30
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES.....	34
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES.....	36
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla II.1. Composición Química de la Arcilla Expandida.....	08
Tabla II.2. Propiedades y Características de la Dosificación.....	12
Tabla IV.1. Comparación de Resistencias.....	19

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura II.1. Dosis de Materiales según Beta.....	12
Figura II.2. Dosis de Materiales según Diseño.....	12
Figura III.1. Diseño inicial del Prototipo de Medición.....	13
Figura III.2. Proceso de Diseño del Prototipo de Medición.....	15
Figura III.3. Verificación de Paralelismo.....	15
Figura III.4. Medición de Diámetros de Probetas.....	16
Figura III.5. Montaje de Equipos de Medición.....	17
Figura IV.1. Grafica Tensión de Rotura – Densidad.....	19
Figura IV.2. Grafica Tensión– Deformación Axial Mezcla 1.....	20
Figura IV.3. Grafica Tensión – Deformación Transversal Mezcla 1.....	21
Figura IV.4. Grafica Tensión – Deformación Axial Mezcla 2.....	22
Figura IV.5. Grafica Tensión – Deformación Transversal Mezcla 2.....	22
Figura IV.6. Grafica Tensión – Deformación Axial Mezcla 3.....	23
Figura IV.7. Grafica Tensión – Deformación Transversal Mezcla 3.....	23
Figura IV.8. Curva Comportamiento Relativo Mezcla 1.....	24
Figura IV.9. Curva Comportamiento Relativo Mezcla 2.....	25
Figura IV.10. Curva Comportamiento Relativo Mezcla 3.....	26
Figura IV.11. Módulo de Elasticidad Mezcla 1.....	27
Figura IV.12. Módulo de Elasticidad Mezcla 2.....	28
Figura IV.13. Módulo de Elasticidad Mezcla 3.....	28
Figura IV.14. Comparación de Módulo de Elasticidad de Mezclas.....	29
Figura IV.15. Curvas de Bajo Ciclaje de Mezcla 1.....	30
Figura IV.16. Curvas de Bajo Ciclaje de Mezcla 2.....	31
Figura IV.17. Curvas de Bajo Ciclaje de Mezcla 3.....	32
Figura IV.17. Agrupación de Curvas de Envolventes.....	33

INTRODUCCIÓN

El conocimiento profundo de los materiales que ha dado la naturaleza, y de los otros que han sido transformados a partir de estos, es el primer paso para lograr innovaciones tecnológicas constructivas que es la demanda principal que existe en la actualidad. Problemas como el agotamiento de recurso naturales y necesidad de viviendas en continuo crecimiento, hace que cada día sea de mayor urgencia materiales distintos con cualidades superiores a los convencionales.

Dentro de este contexto, el concreto es uno de los materiales con mayor uso en la construcción, ya que es durable y resistente; además que es moldeado en forma fluida, lo que permite darle distintas formas.

Dentro de este ámbito, el concreto de densidad baja es un material utilizado en Europa y Estados Unidos tomando en cuenta que existen grandes fallas tectónicas entre las cuales se hacen referencia a la Placa Euroasiática y la Placa Norteamericana que cubre gran parte de la zona del continente, respectivamente, siendo el concreto de densidad baja una opción de construcción de edificaciones además del concreto convencional, en Venezuela tiene muy poco reconocimiento actualmente además de falta de información en las normas existentes, a pesar de que tuvo un amplio uso en la década de los 70' del siglo pasado; es por ello la realización de trabajos de grado, donde sean estudiadas las propiedades mecánicas de este concreto se hace necesario con el objetivo que puedan ser definidas las propiedades requeridas para desarrollar una norma de cálculo para el diseño de concreto reforzado de densidad baja.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

I.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El desarrollo de estructuras de concreto reforzado en baja densidad requiere de estudios que establezcan propiedades del material y aporten criterios para ser incorporados a las normas correspondientes, por lo que se plantea en el siguiente trabajo de grado el estudio experimental del comportamiento mecánico bajo carga uniaxial de bajo ciclaje.

Para llevarlo a cabo fue necesario diseñar y producir un prototipo de dispositivo para la medición diametral que se acoplara al equipo de medición de deformaciones axiales desarrollado como trabajo de grado anteriormente.

I.2. OBJETIVO GENERAL

Estudiar el comportamiento del concreto de densidad baja sometido a bajo ciclaje con probetas normalizadas.

I.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la variación del comportamiento mecánico del concreto de densidad baja según la deformación axial, con base al incremento de la proporción de pellitas al ser sometido a cargas axiales de bajo ciclaje.
- Determinar la variación del comportamiento mecánico del concreto de densidad baja según la deformación transversal, con base al incremento de la proporción de pellitas, al ser sometido a cargas axiales de bajo ciclaje.
- Determinar la variación volumétrica de probetas normalizadas en concreto de densidad baja, con base al incremento de la proporción de pellitas, al ser sometido a cargas axiales de bajo ciclaje.

I.4. JUSTIFICACIÓN

Este trabajo de tesis de grado forma parte de un conjunto de estudios experimentales que tienen como objeto definir las propiedades mecánicas del concreto de densidad baja, que permitirán desarrollar una norma para el diseño estructural de Estructuras en Concreto de baja densidad reforzado.

I.5. ALCANCE Y LIMITACIONES

Se trata de un estudio experimental en concreto no reforzado con resistencias menores a 210 Kg/cm^2 debido a que el trabajo de grado se hace en conjunto con ensayos de prismas y los mismos tienen soportan una carga mayor que los cilindros estudiados debido a que tienen mayor área, por lo que para la realización de ensayos se debía tomar en cuenta que la Máquina de Ensayo Universal tiene una capacidad útil de 85t, donde el material aligerado son arcillas expandidas con tamaño máximo de 3/8" (9,53mm) a ser utilizado como agregado grueso.

La arena es natural bien gradada con tamaño máximo #4 (4,76 mm) y el cemento utilizado es tipo CPCA2

CAPITULO II: MARCO TEORICO

II.1. ANTECEDENTES

Iker Marañón, Luciano Rodríguez, en el 2015, en su Trabajo Especial de grado para obtener título de Ingeniero Civil: “ESTUDIO DEL CONCRETO SOMETIDO A FATIGA DE BAJO CICLAJE”. Realizado en la Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela; realizó el estudio de la variación volumétrica de concreto estructural convencional tomando en cuenta el daño del concreto a lo largo de las aplicaciones de cargas, demostrando que las deformaciones horizontales presentan mayor sensibilidad en la variación volumétrica, también se evaluaron las curvas envolventes de cada ciclo para funciones daño del concreto, entendiéndose que poseen un comportamiento similar, produciendo una tendencia de falla igual para diferentes tipo de ciclaje.

Porras M., Simón J. en el 2009, en su Proyecto especial de grado para obtener título de Ingeniero Civil: “DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LAS LEYES DE COMPORTAMIENTO MECÁNICO (LEY DE ABRAHAMS Y RELACIÓN TRIANGULAR) DE CONCRETOS ELABORADOS EN AGREGADO LIVIANO”. Realizado en la Universidad Católica Andrés Bello (UCAB), Caracas, Venezuela; Realizó una evaluación experimental de las leyes del comportamiento mecánico de concretos elaborados con agregados livianos. Se obtuvo que el valor de la relación de agregados (Beta) óptimo fue para un 40%, aunque se usó un beta de 70%, esto no influyó significativamente en la resistencia. Además se obtuvo la caracterización del agregado fino con todas sus propiedades. Se realizó un estudio comparativo del conjunto de curvas de la Ley de Abrams para 7,14 y 28 días, del cual se concluyó que el concreto de baja densidad presenta a los 7 días, aproximadamente un 85% de la resistencia esperada a 28 días y a los 14 días un 90% de la misma. Se recomendó realizar la compactación de la mezcla con la barra compactadora y no mediante el vibrado para que el agregado quede de forma uniforme en la mezcla.

II.2. BASES LEGALES

Al no existir una normativa Venezolana exclusiva para concretos de densidad baja:

La norma COVENIN 1753-2006 “PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE OBRAS EN CONCRETO ESTRUCTURAL” en su Anexo H-3 “Requisitos constructivos” expresa respecto al uso de concretos con agregados livianos:

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” (Pág.189)

H-5.2.3 “Para el caso de los concretos con agregados liviano, se establecen dos métodos alternativos para definir la resistencia a la compresión. Uno de los ellos se basa en ensayos de laboratorio para determinar la relación entre 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” (Pág. 189)

A continuación se presenta la normativa Nacional competente que servirán de apoyo para la presente investigación:

- COVENIN 1975:1983 “ METODOS DE ENSAYOS PARA DETERMINAR EL PESO UNITARIO DE CONCRETO ESTRUCTURAL LIVIANO”

- COVENIN 338-2002 (2^{DA} REVISIÓN) “CONCRETO. METODO PARA LA ELABORACION, CURADO Y ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO”
- COVENIN 277-2000 (3^{RA} REVISION)” CONCRETO. AGREGADOS. REQUISITOS”.

II.3. BASES TEORICAS

II.3.1. Concreto

Es una mezcla de los siguientes componentes, cemento, agua y agregados (fino y grueso), aditivo que al transcurrir un tiempo, inicia un proceso de fraguado que le permite transformarse en una piedra artificial. En esta mezcla el agua y el cemento reaccionan químicamente otorgando una determinada resistencia. Los agregados finos y gruesos conforman el cuerpo del concreto, los cuales ocupan un mayor porcentaje de volumen de la mezcla.

II.3.2. Comportamiento del Concreto

El estudio del comportamiento del concreto es descrito mediante la curva de tensión-deformación bajo diferentes condiciones. La tensión axial es la carga ejercida verticalmente sobre el espécimen, perpendicular a sus tapas y la deformación axial es una medida adimensional de acortamiento según una longitud referencial que se obtiene por la acción de la carga sobre el espécimen.

En este sentido, la deformación, como comportamiento determinante de muchos comportamientos del concreto, se define como, la variación de una longitud definida previamente, antes y después de una acción, ya sea ésta una aplicación de carga, cambios de temperatura o cualquier impacto.

Tomando en cuenta lo mencionado, se podría decir que:

"Si L_0 es la longitud calibrada inicial y L es la longitud observada después de la acción, la deformación calibrada sería $\Delta L = L - L_0$. La deformación ε por unidad de la longitud calibrada inicial está dado por:" (Popov, 2000)

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2)$$

II.3.3. Concreto de densidad baja

Se denomina concreto de densidad baja a todo aquel que tiene una masa volumétrica en estado fresco menor de 1.900 kg/m³. Las principales ventajas con el empleo de concreto de densidad baja inician con la disminución de masa y por lo tanto el costo de las cimentaciones y de la estructura en general. Uno de los principales componentes de los concreto de densidad baja lo constituye las pelltas provenientes de arcillas expandidas.

II.3.4. Arcilla expandida

Es un material hecho de arcilla expandida en forma de pequeñas pellas livianas construidas por una corteza vitrificada, rígida, resistencia y de color pardo, que encierra una estructura alveolar porosa de color gris. (Recuperado de: www.aliven.com.ve)

II.3.5. Componentes de la Arcilla Expandida

Aunque no es parte del trabajo, los autores consideramos adecuado incluir los componentes de la arcilla expandida.

Componente	Nomenclatura	% de Participación
Dióxido de silicio	SiO ₂	71.92%
Óxido de Aluminio	Al ₂ O ₃	8.42%
Óxido de Hierro	Fe ₂ O ₃	4.96%
Óxido de Sodio	NaO ₂	1.09%
Óxido de Potasio	K ₂ O	1.63%
Óxido de Calcio	CaO	1.73%
Óxido de Magnesio	MgO	1.66%

TABLA II.1. Composición Química de la Arcilla Expandida.

(Recuperado de: www.aliven.com.ve)

II.3.6. Proceso de Creación:

El proceso de creación de las arcillas expansivas se obtienen en grandes hornos rotatorios a temperaturas de hasta 1.150°C, convirtiéndola en pellas de diferentes tamaños. Luego, son separadas a través de una cernidora con mallas de varios diámetros. (Recuperado de: www.aliven.com.ve)

II.3.7. Módulo de Elasticidad:

El Módulo de Elasticidad es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplica una fuerza y para determinarlo experimentalmente (ASTM C-496) se requiere observar la tensión a compresión aplicada al cilindro cuando la deformación del mismo es de 50

millonésimas (0,00005) como valor inicial para la pendiente del módulo de elasticidad y como valor final el 40% de la resistencia última con su deformación respectiva.

Ahora bien, la norma COVENIN (1753:06) para el concreto liviano define las unidades en Kg/cm² y se presenta a continuación la ecuación:

$$E = 0,14 * Wc^{1.5} \sqrt{f'_c} \quad (3)$$

II.3.8. Fatiga del Concreto

La fatiga es la capacidad que presenta un material para soportar un cierto número de repeticiones de carga, con niveles de tensiones menores a la resistencia última del material, esta propiedad se ha estudiado experimentalmente mediante ensayos de especímenes tanto a compresión como a flexión. La fatiga es uno de los problemas de falla más frecuentes en el concreto, cuando es sometido a cargas cíclicas de distintas magnitudes durante su tiempo de vida útil. Existen dos tipos de fatiga de concreto las cuales son:

- Fatiga de altos ciclos: Se refiere a fallas de concreto ocurridas por encima de los 10⁵ ciclos.
- Fatiga de bajos ciclos: Se entiende, convencional y no unánimemente, el estudio de la fatiga que limita las repeticiones de la carga a menos de 10.000, campo correspondiente a cargas a mucho mayores que las corrientes en los estudios de fatiga “clásicos”, y en donde se habla en general de repeticiones del orden de 1.000.000 o más, y se definen “límites de aguante” para ese orden de repeticiones.

CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO

III.1. Naturaleza de la investigación

El estudio es de carácter investigativo, experimental y descriptivo, en el cual se planteó someter probetas cilíndricas de concreto de densidad baja a la acción de cargas axiales de bajo ciclaje.

III.2. Población

La población estuvo conformada por el concreto representado por un total de 18 cilindros normalizados.

III.3. Muestra

La muestra estuvo conformada tres (3) probetas con proporción de agregado liviano y arena, para los las siguientes variaciones de beta ($\beta_1=64\%$, $\beta_2=68\%$, $\beta_3=72\%$) para un total de nueve (9) cilindros elaborados, los cuales fueron ensayos de la siguiente manera:

- 3 Cilindros a ensayos de carga cíclica.
- 6 Cilindros a ensayos de rotura.

III.4. Recolección de Datos

Los datos experimentales reportados mediante el uso de potenciómetros digitales, captados de formas electrónicas, a través de una computadora con el programa ANDISOFT. Además de calibración del equipo como lo son comparadores.

III.5. Equipos de Aplicación de Carga

Máquina de Ensayo Universal Marca Baldwin Capacidad 100 t., del Laboratorio de Materiales y Ensayos de la Universidad Católica Andrés Bello, Sede Caracas. Fecha de Calibración: Febrero de 2017.

III.6. Accesorios Empleados

- Potenciómetros Lineales tipo LDVT: 2 Unidades, Marca REO Transducers. Calibración por medida comparativa y verificación de voltaje.

III.7. Variables de Ensayo

III.7.1. Variables Dependientes:

- Deformación axial / deformación transversal.

III.7.2. Variable Derivada:

- Variación volumétrica

III.7.3. Variables Independientes:

- Carga aplicada al miembro, reportado en Kgf.
- Cantidad de ciclos por ensayo.
- Resistencia del Concreto.

III.7.4. Elementos a mantener constantes:

- Velocidad de Aplicación de Carga.
- Carga mínima por ciclo / carga máxima por ciclo.
- La relación agua/cemento.

III.8. Materiales Utilizados.

Diseño	% β_{Peso}	Cemento (kg)	Arena (Kg)	Arcilla Expandida (Kg)	Agua (Litros)	Agua Corregida (Litros)	Densidad (Kg/m ³)	α	Energía de Compactación (KNm/m ³)
D1	64,24	461	741	412	296	315	1757,45	0,683	10,40
D2	68,14	445	786	368	286	304	1734,50	0,683	10,40
D3	72,19	427	830	320	274	290	1722,71	0,679	10,40

$$\beta_{\text{Peso}} = \frac{\text{Arena (Kg)}}{(\text{Arcilla Expandida} + \text{Arena}) (\text{Kg})}$$

$$\text{Energía de Compactación (KNm/n)} = \frac{N \times \# \text{Golpes} \times \text{Peso Barra} \times \text{Hcaída}}{\text{Volumen de Cilindro}}$$

Tabla 2.2. Propiedades y Características de Dosificación.

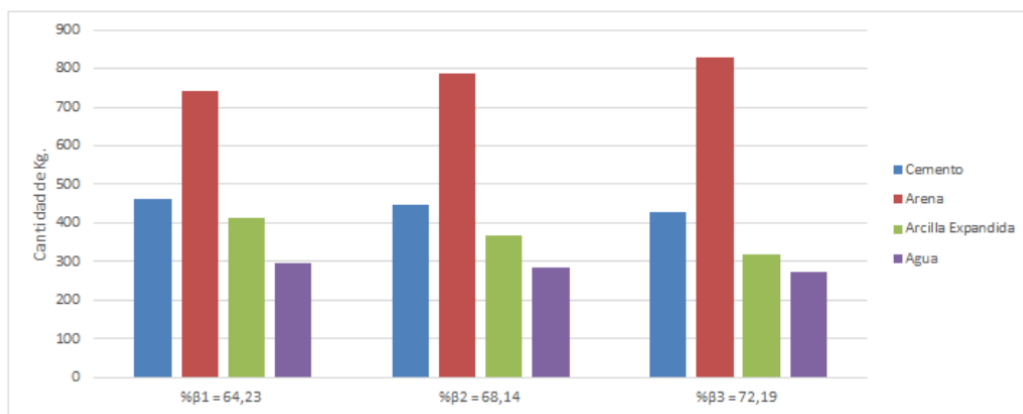


Figura II.1. Dosis de Materiales según Beta.

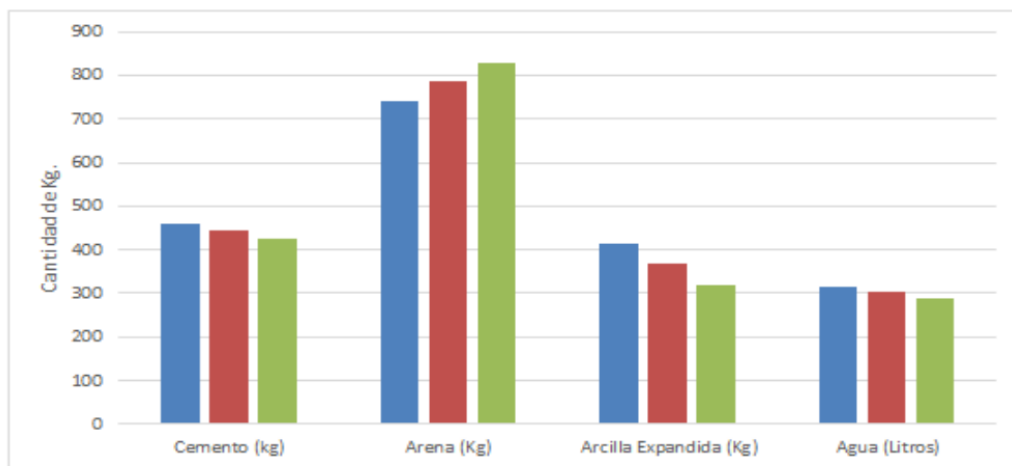
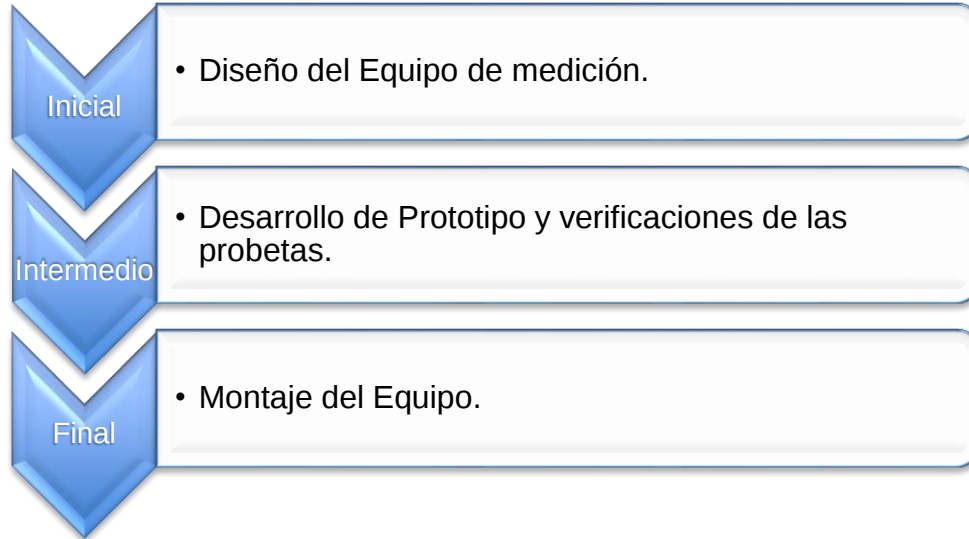


Figura II.2. Dosis de Materiales según Diseño.

III.9. DISEÑO EXPERIMENTAL

Fases de Ejecución:



III.9.1 Diseño y Elaboración De Equipo De Medición:

El diseño del prototipo se inició con la idea implantada por el tutor, conformado por cadena y un sistema elástico para medir las deformaciones transversales con un la colocación de un potenciómetro.

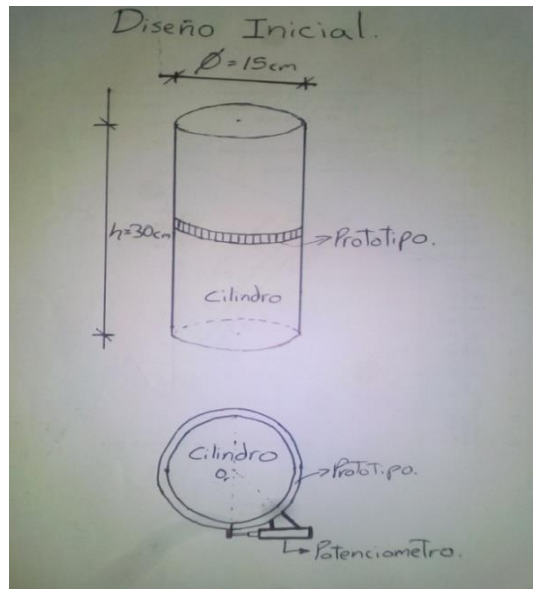


Figura III.1. Diseño inicial del Prototipo de Medición.

El prototipo está constituido de los siguientes materiales:

- Cadena de Bicicleta.
- Arandelas.
- Tornillos.
- Ángulos de hierro.
- Tuercas.
- 2 Resortes.
- Base plástica para colocar el potenciómetro.

Las herramientas utilizadas en la elaboración del equipo fueron las siguientes:

- Lijadora
- Alicata de presión, esmeril.

También se contó con un equipo de medición de deformación axial que se encontraba en el laboratorio de materiales el cual se adaptó para ser usado en los ensayos requeridos.

III.9.2 Desarrollo de Prototipo:

Para la elaboración del equipo de medición se debía tener en consideración los siguientes puntos importantes:

- Era necesario que el equipo se mantenga en un plano horizontal durante el transcurso del ensayo, colocado en la mitad de la altura del cilindro ya que es donde ocurre la mayor deformación.
- La placa de contacto que va a medir las deformaciones debe estar perpendicular al potenciómetro.
- El prototipo de medición transversal debía tener un grosor adecuado tal que al colocarlo con el equipo de mediciones axiales no quede pegado y permita la medición de deformaciones transversales del cilindro.

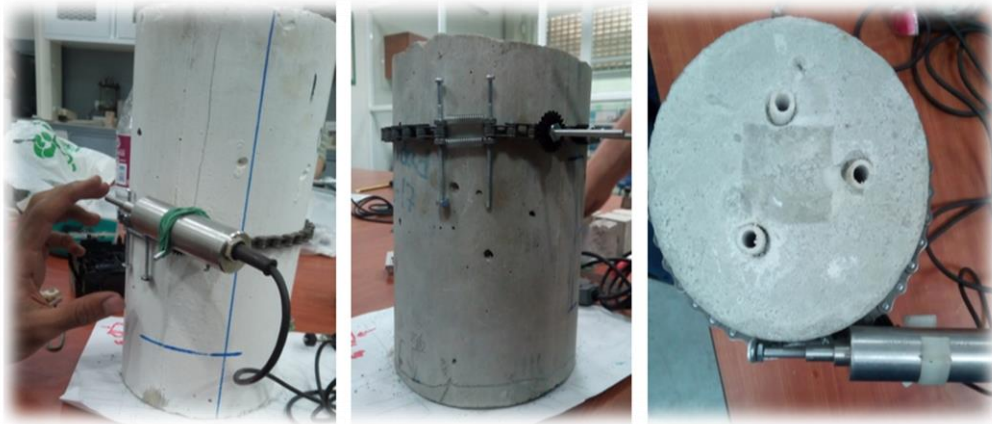


Figura III.2. Proceso de Diseño del Prototipo de Medición.

Inicialmente se usó 1 cadena, la cual no permitía sostener adecuadamente el potenciómetro debido a su peso, por lo que la colocación de 2 cadenas fue la solución para mantener la estabilidad y la colocación de 2 resortes que permitieran una tensión adecuada en la cadena. Además se disminuyó peso al ser de plástico tanto el soporte del potenciómetro como el tope que el potenciómetro hace contacto.

Con estos cambios se logró que el potenciómetro permanezca perpendicular al radio del cilindro y paralelo a las bases del mismo, así medir correctamente la variación diametral, lo cual es más preciso que la medición de un solo punto debido a que representa el promedio de las variaciones que deforman transversalmente a la probeta.



Figura III.3. Verificación de Paralelismo.



Figura III.4. Medición de Diámetros de Probetas

III.9.3 Montaje Equipo:

Para poder determinar de manera precisa la variación axial se utilizó el equipo existente en el Laboratorio de Materiales y construcción de la Universidad Católica Andrés Bello, Sede Caracas, el cual se le realizó reparaciones respecto a la verticalidad y paralelismo entre planos del equipo, así como también la adaptación del equipo para que el mismo pudiese trabajar de manera simultánea con el equipo de mediciones diametrales y así reflejar la deformación del cilindro a lo largo del ensayo.



FIGURA III.5. Montaje de Equipos de Medición.

III.10. Procedimiento de Ensayo

Se realizó la evaluación del comportamiento tensión - deformación de las dosificaciones de mezclas, ensayando las probetas cilíndricas cargando a una velocidad constante hasta el 80% de la carga última calculada a partir de los ensayos de rotura, y descargando de igual forma, teniendo como mínima carga 1000 Kgf. durante 6 ciclos para luego cargar hasta la rotura, para este caso se tiene como muestra un (1) cilindro por mezcla.

CAPITULO IV: RESULTADOS Y ANALISIS

Mezcla	Cilindro	β	$\beta_{\text{volumetrico}}$	Densidad (Kg/m ³)	Tension de rotura de los CILINDROS (Kg/cm ²)	Tensión de rotura de los PRISMAS (Kg/cm ²)	Ec. (Kg/cm ²)	α
1	1	0,64	0,44	1751,4	123,51	112,31	63.820	0,683
	2			1778,8	142,74		60.310	
2	1	0,68	0,48	1715,8	107,06	109,63	46.124	0,683
	2			1736,9	141		73.360	
3	1	0,72	0,53	1759,9	131,01	110,55	64.500	0,679
	2			1701,2	121,78		69.800	

Ec = Modulo de Elasticidad.

TABLA IV.4. Comparación de Resistencias Últimas.

IV.1 Relación Tensión – Densidad:

Se puede observar que a pesar de la variación de la relación entre la arena y la arcilla expandida no ocurrió un cambio significativo en la densidad, ya que se trabajó dentro del rango de valores de beta (β) que se recomiendan en estudios anteriores, no se observa cambio significativo que demuestre una tendencia entre la densidad y la tensión de rotura del cilindro.

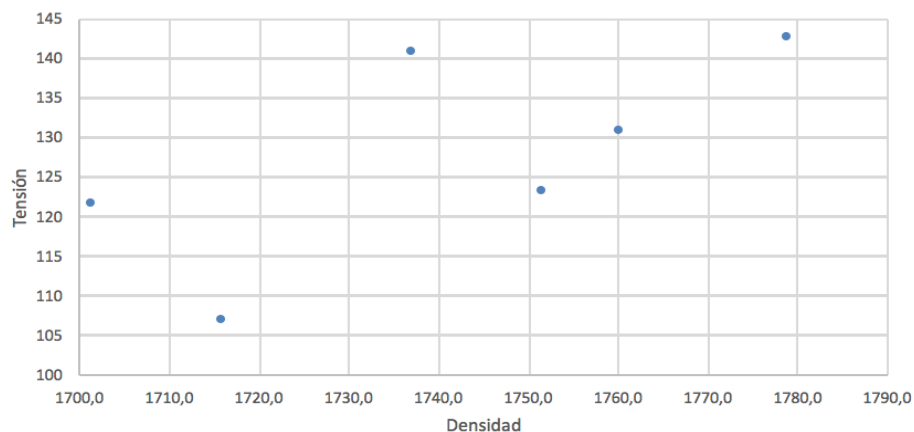


FIGURA IV.1. Gráfica Tensión de Rotura – Densidad.

IV.2 Ensayo Monotónico:

Mezcla 1: ($\beta = 64,23\%$).

En la realización de los ensayos que tienen una relación de $\beta = 64,23\%$ se observa que la deformación que se obtiene en el cilindro #1 está aproximadamente a 0,0030 y la deformación del cilindro #2 a 0,0029, tomando en cuenta que la tensión ultima que obtuvieron fue de 141 Kgf/cm² y 123 Kgf/cm² respectivamente. En las deformaciones transversales, se observa que el cilindro #2 al inicio de las mediciones de deformación presenta ruido por lo que las mediciones no son registradas de manera directa y la falla ocurre a una deformación de 0,00028, el cilindro #1 está aumentando su diámetro fuertemente hasta una tensión de 60 Kgf/cm² que se empieza a reagrupar el el aumento de diámetro es mas suave hasta que sucede la falla a una deformación de 0,0022 donde su deformación aumenta bruscamente.

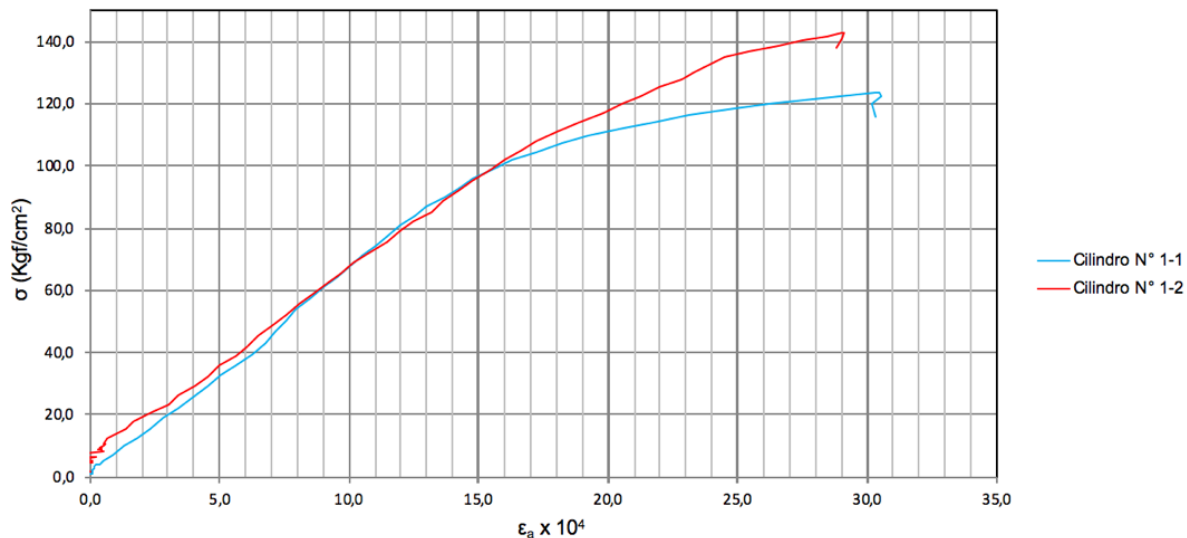


FIGURA IV.2. Gráfica Tensión - Deformación Axial Mezcla 1.

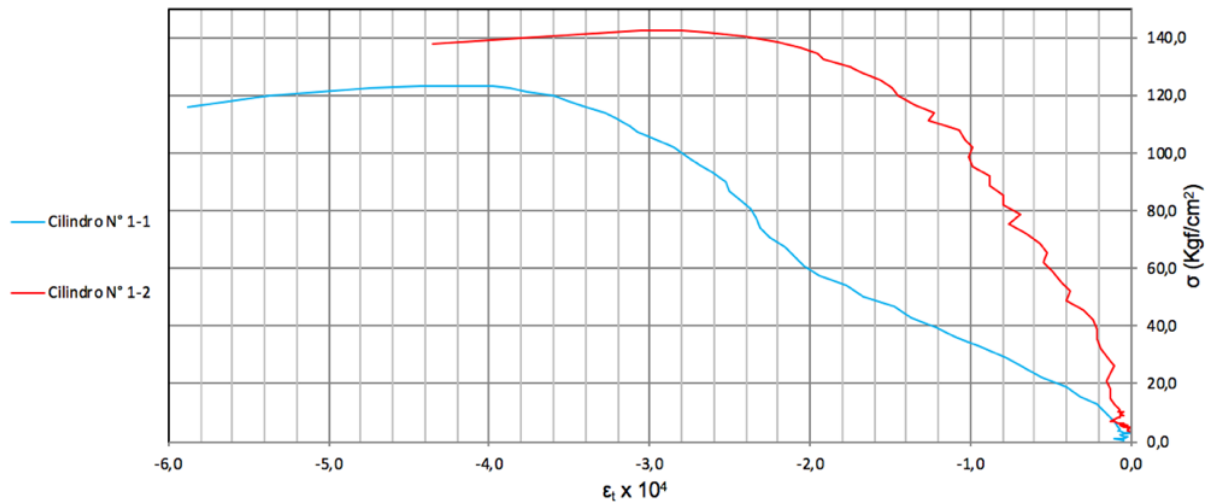


FIGURA IV.3. Gráfica Tensión - Deformación Transversal Mezcla 1.

Mezcla 2: ($\beta = 68,14\%$).

Para los cilindros que tienen una relación de $\beta = 68,14\%$, se puede observar que al inicio de las mediciones del cilindro #2 el prototipo de medición transversal registró deformaciones incoherentes al movimiento por lo que se presume que es falta de lubricación en el prototipo, no obstante las curvas de deformaciones axiales tomaron una mayor pendiente que las obtenidas por el cilindro #1 tomando en cuenta además que las fallas ocurren a una deformación de 0,0025 para el cilindro #2 y 0,0022 para el cilindro #1 soportando una mayor tensión el cilindro #2 la cual es de 141 Kgf/cm² y para el cilindro #1 una tensión máximas de 123 Kgf/cm².

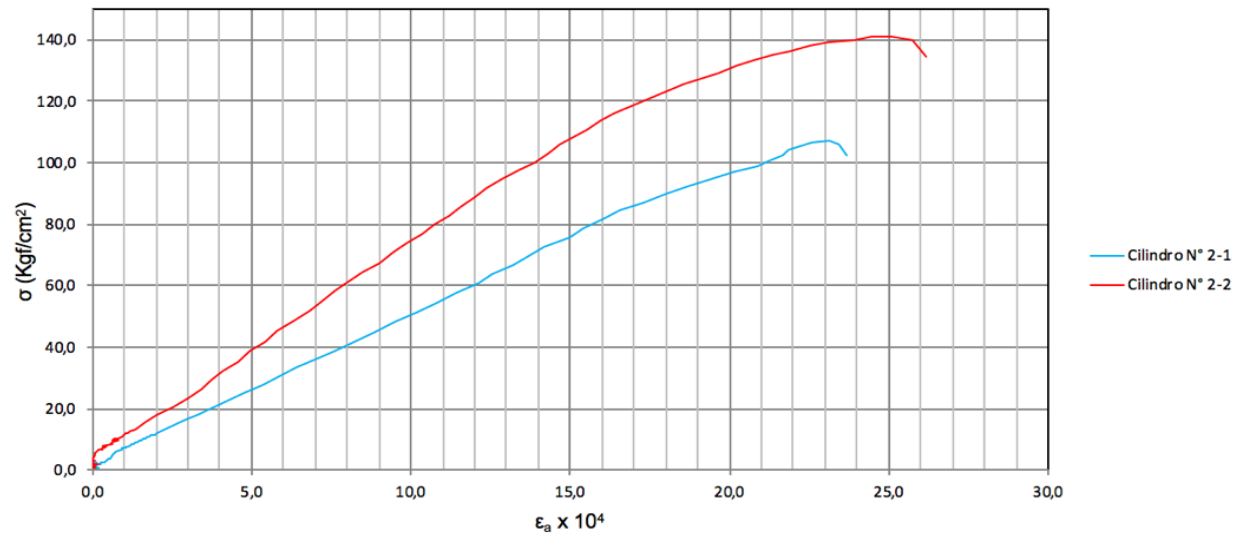


FIGURA IV.4. Gráfica Tensión - Deformación Axial Mezcla 2.

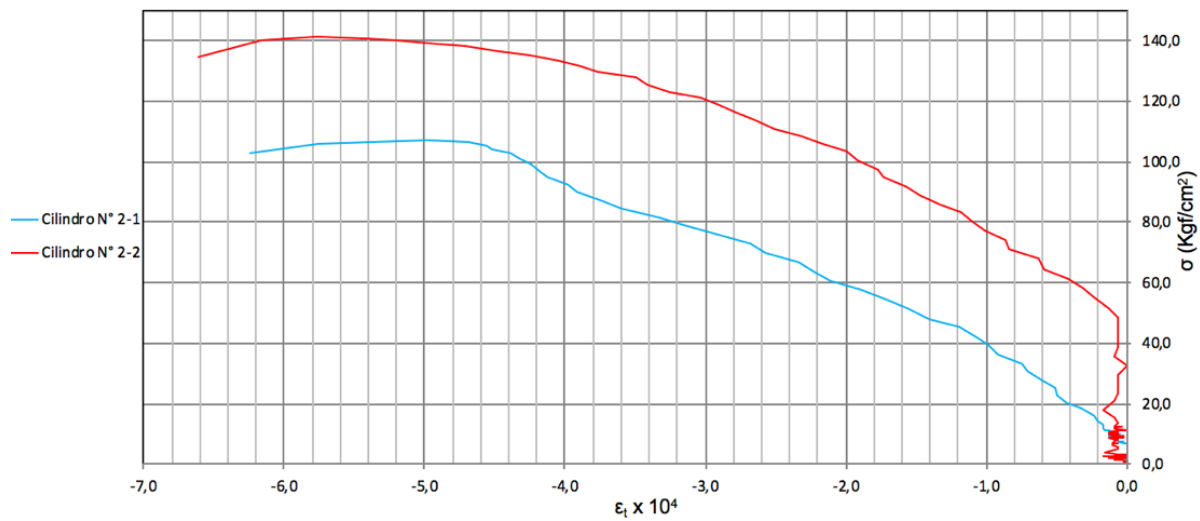


FIGURA IV.5. Gráfica Tensión - Transversal Mezcla 2.

Mezcla 3: ($\beta = 72,19\%$).

La realización del ensayo de los cilindros de $\beta = 72,19\%$, se puede observar que al inicio del ensayo el cilindro #1 el prototipo de medición presentó ruido en las deformaciones transversal, pero se puede notar que para la curva de tensión – deformación axial fue insignificante el ruido ya que las curvas presentan una similitud y buen comportamiento, detalle que no se aprecia en la curva de tensión- deformación transversal donde hasta una tensión de 100 Kgf/cm² empieza su registro y falla a una tensión aproximadamente de 131 Kgf/cm² con una deformación axial de 0,0025 y el cilindro #2 a una tensión de aproximadamente 121 Kgf/cm² y una deformación de 0,0022.

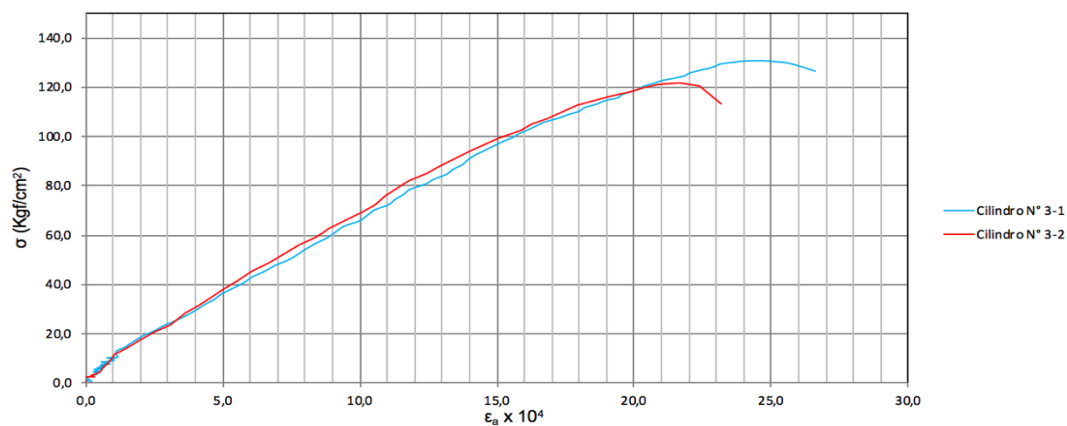


FIGURA IV.6. Gráfica Tensión - Deformación Axial Mezcla 3.

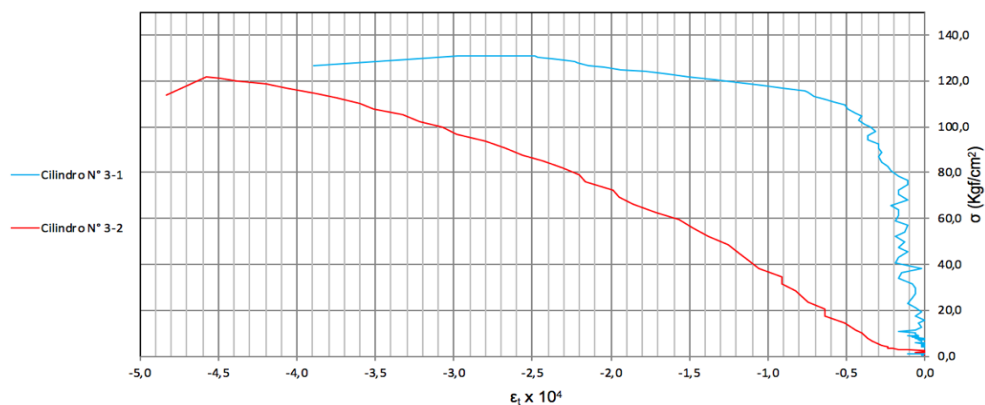


FIGURA IV.7. Gráfica Tensión - Deformación Transversal Mezcla 3.

IV.3. Curvas de Comportamiento:

Mezcla 1: ($\beta = 64,23\%$).

En la realización del ensayo de la mezcla #1 ($\beta = 64,23\%$) se observa que el cilindro se acorta más de lo que se expande transversalmente por lo que su volumen disminuye, es decir, el cilindro está reagrupándose internamente, este comportamiento se puede notar hasta un 50% de tensión con una deformación axial de 0,00090 y una deformación transversal de 0,00020, a partir del 50% de la carga se muestra como cede el material comprimiéndose a un cambio de deformación mayor surgiendo en este caso una falla frágil y brusca.

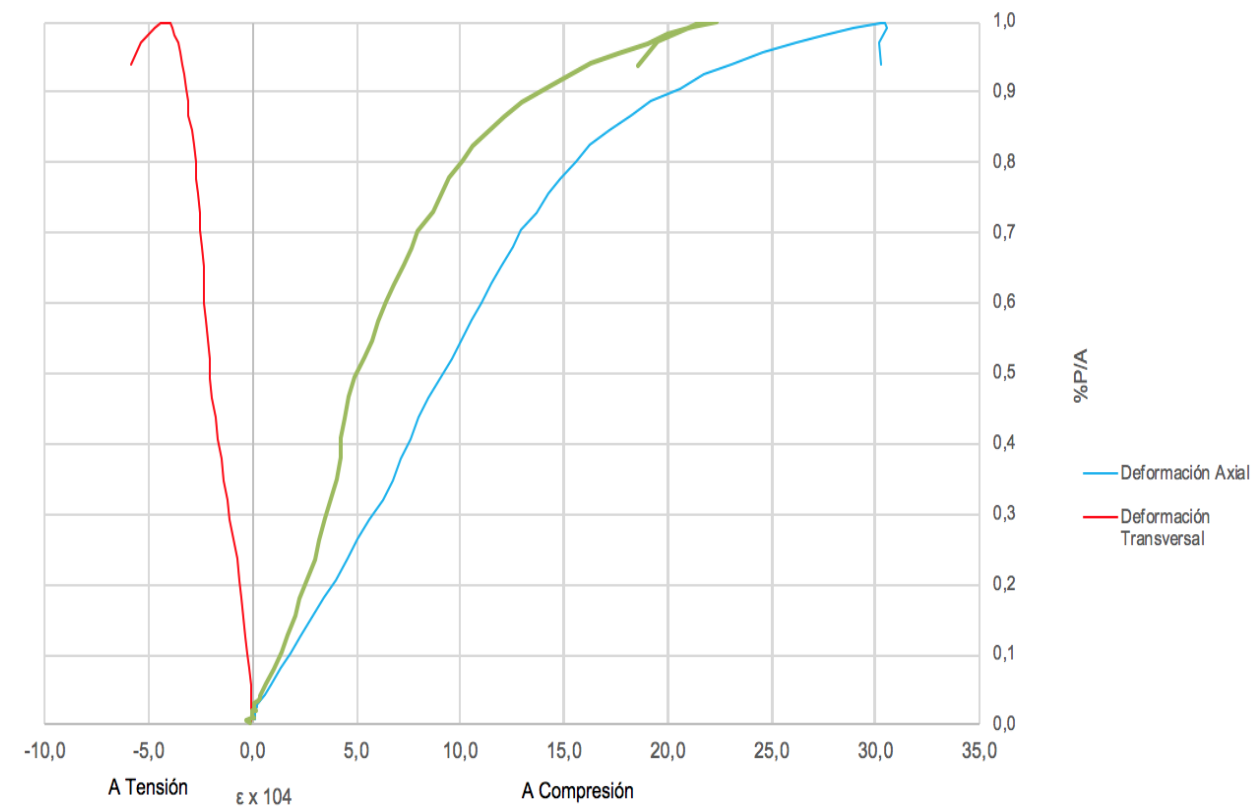


FIGURA IV.8. Curvas de Comportamiento Relativo Mezcla 1.

Mezcla 2: ($\beta = 68,14\%$).

En el transcurso del ensayo de la mezcla #2 ($\beta = 68,14\%$) se observa que el cilindro se acorta mientras que el equipo no registró deformación significativas hasta un 40% de tensión con una deformación axial de 0,00075 y una deformación transversal de 0,00 y a partir de este punto el cambio volumétrico se expandió hasta llegar a la falla. uno de los motivos de que no se registró deformación hasta el 40% de la carga se debe a que el equipo de medición transversal quedó bastante ajustado al equipo de medición axial por lo que se deduce que no permitió que la cadena se expanda y el potenciómetro registre deformaciones.

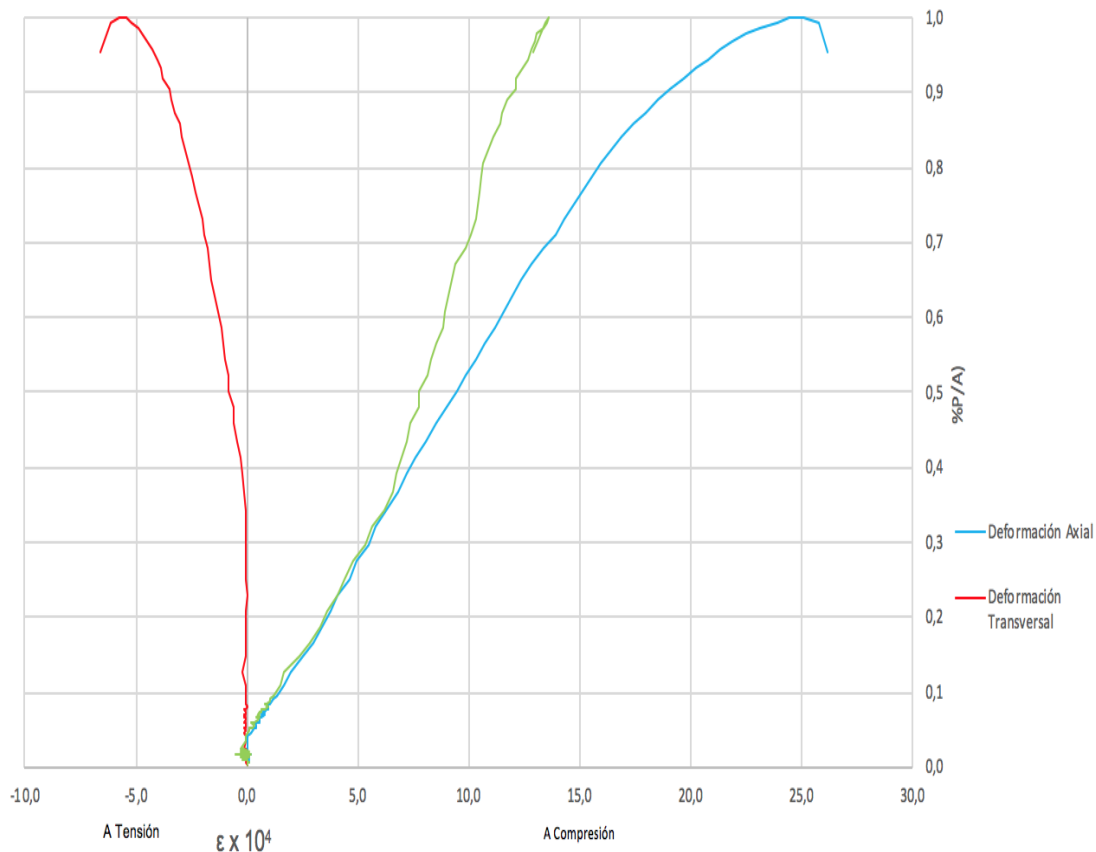


FIGURA IV.9. Curvas de Comportamiento Relativo Mezcla 2.

Mezcla 3: ($\beta = 72,19\%$).

En la realización del ensayo de la mezcla #3 ($\beta = 72,19\%$), se puede observar que el cilindro se acorta a medida de que el %tensión de compresión aumenta y la deformación transversal gradualmente pero a menor proporción que la deformación axial, estando la deformación transversal en el rango de (15-25)% de la deformación axial, esto se ha observado como una tendencia en las gráficas estudiadas.

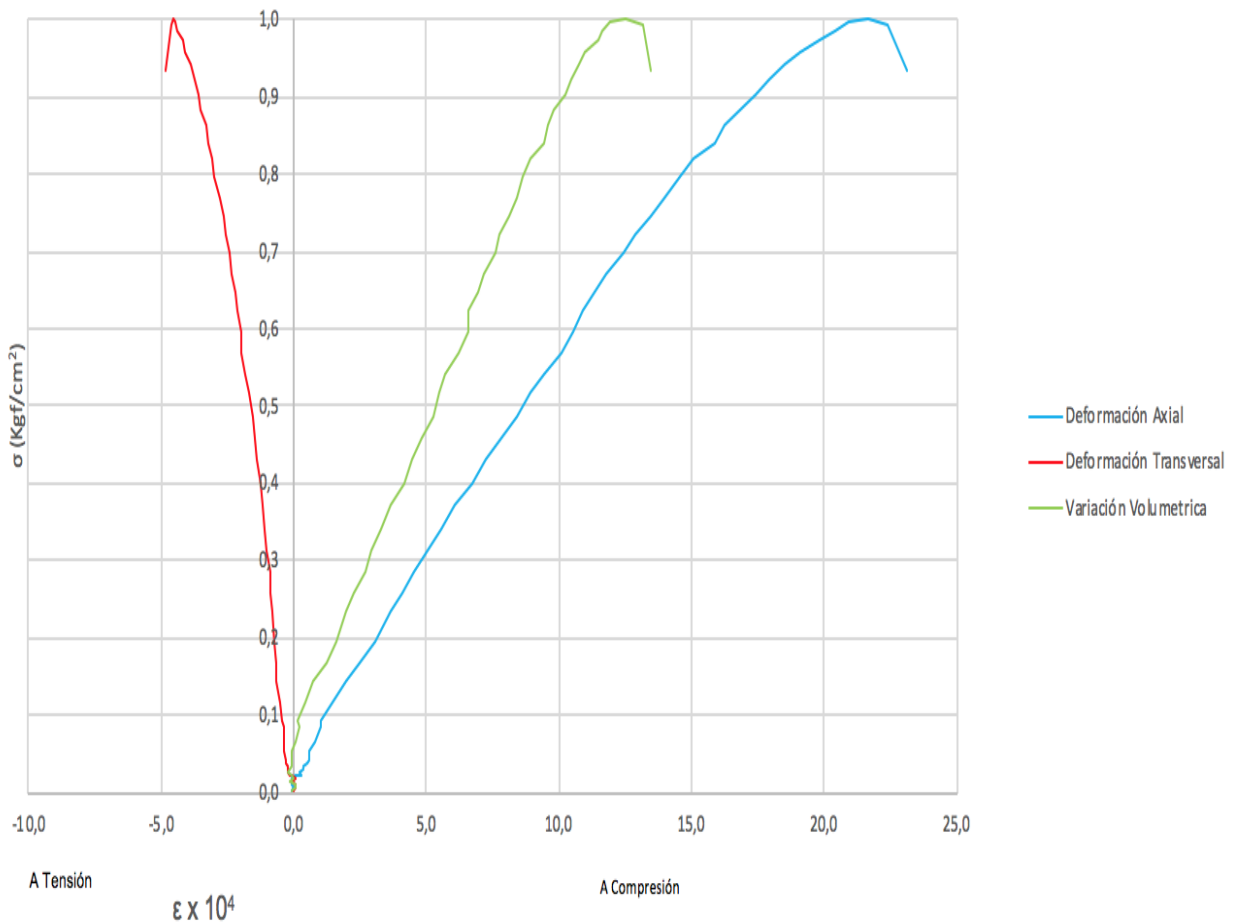


FIGURA IV.10. Curvas de Comportamiento Relativo Mezcla 3.

IV.4. Módulo de Elasticidad:

Para el cálculo del Módulo de Elasticidad se hace uso de la gráfica de tensión vs deformación axial, en la cual se determina la pendiente a partir del método experimental ASTM C-469 donde se especifica que el punto de inicio es para la carga cuando la deformación es cincuenta (50) millonésimas y el siguiente punto a usar es cuando la carga es el 40% de la resistencia última del cilindro con su correspondiente deformación.

Mezcla 1: ($\beta = 64,23\%$).

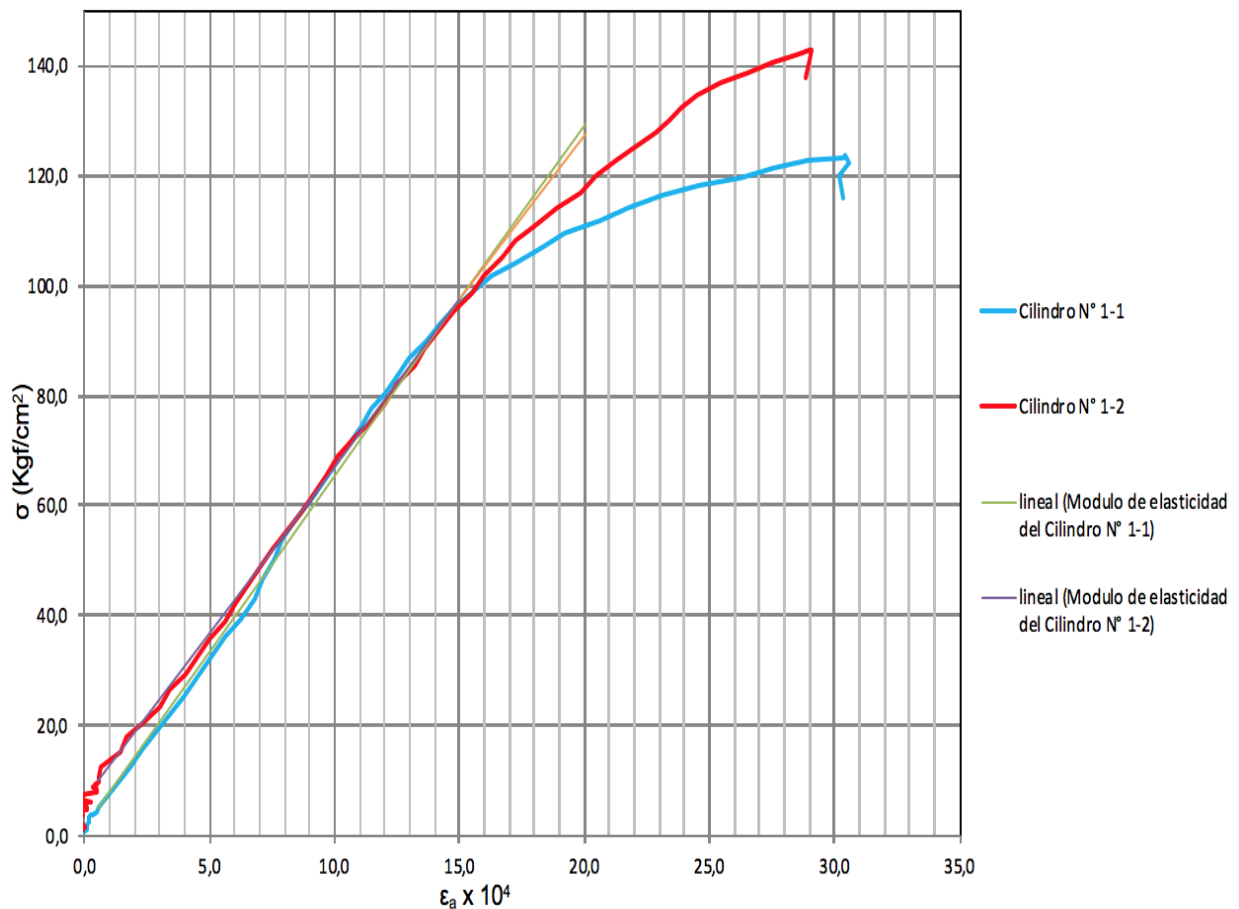


FIGURA IV.11. Módulo de Elasticidad Mezcla 1.

Mezcla 2: ($\beta = 68,14\%$).

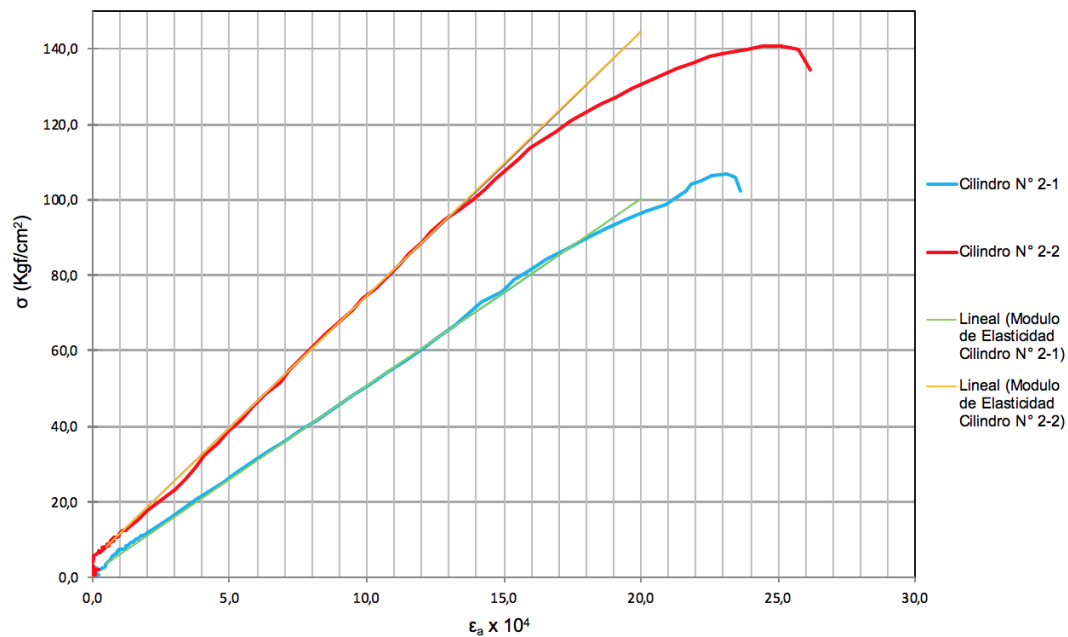


FIGURA IV.12. Módulo de Elasticidad Mezcla 2.

Mezcla 3: ($\beta = 72,19\%$).

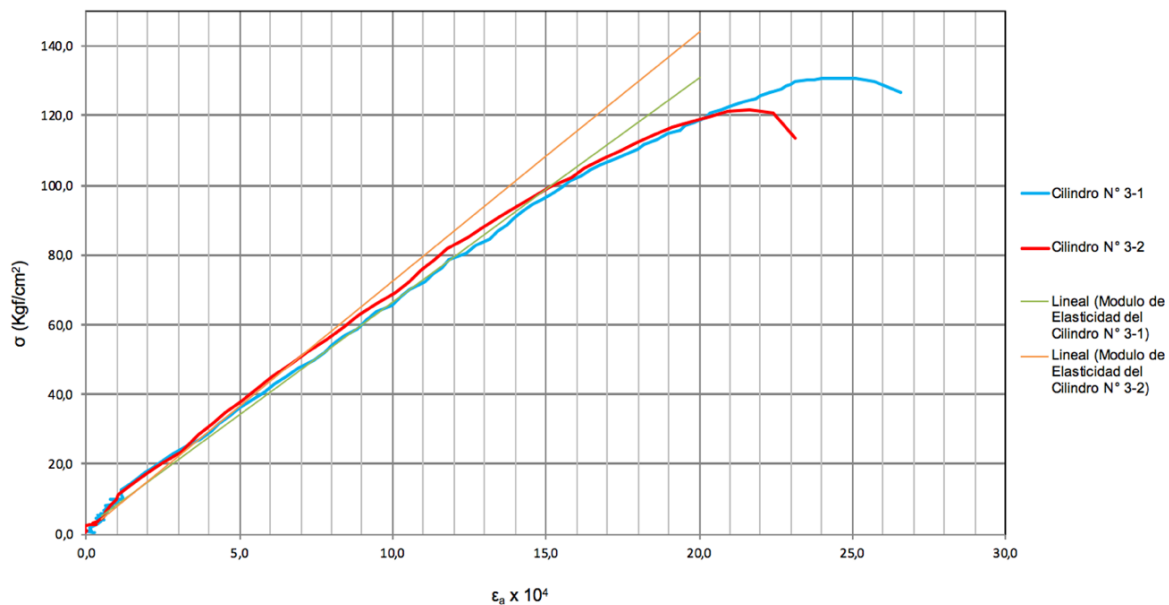


FIGURA IV.13. Módulo de Elasticidad Mezcla 3.

En el siguiente gráfico se observa la tendencia que presentan todas las mezclas, se puede apreciar como la mezcla #1 ($\beta = 64,23\%$) y la mezcla #3 ($\beta = 72,19\%$) que presentan similar comportamiento hasta los 100 Kgf/cm² que representa aproximadamente el 75% de la carga máxima con unas deformaciones axial de 0,0015 y 0,0016 respectivamente, demuestra que la tensión que soportan los cilindros no dependen del beta cuando está entre el rango (0,64 – 0,72), tomando en cuenta además que la rotura se produce a una deformación entre (0,0022-0,0025) para la mayoría y para la mezcla 1 que tiene mayor densidad se observa que resiste deformaciones de hasta 0,003. además la resistencia promedio se encuentra entre (120-142)Kgf/cm², descartando así el cilindro que obtuvo como resistencia 107 Kgf/cm² ya que dicho cilindro se considera que no tenía las caras paralelas lo cual influyó en el ensayo.

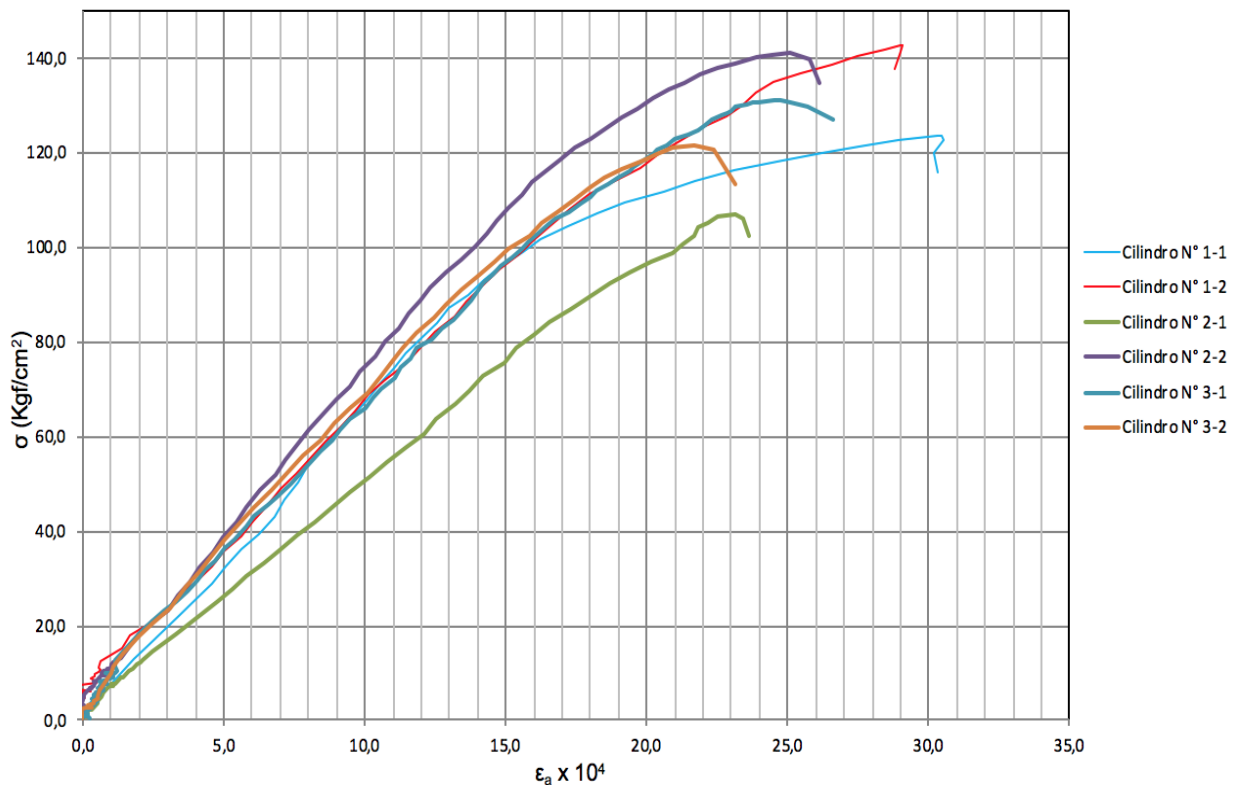


FIGURA IV.14 Comparación de Módulo de Elasticidad de Mezclas.

IV.5 Curvas a Bajo Ciclaje:

Mezcla 1 ($\beta = 64,23\%$).

En la siguiente curva de tensión-deformación tanto axial como transversal sometido a bajo ciclaje, que se puede observar en la realización del ensayo el cual consisten en seis (6) ciclos de carga y descarga, se aprecia al terminar el primer ciclo una deformación remanente ya que el concreto pasó a un estado plástico y por ello el cilindro no volvería a su estado de volumen inicial, teniendo una deformación axial de 0,00018 y una deformación transversal de 0,00018: luego de la repetición de los ciclos de carga y descarga los mismos se mantienen paralelos entre ellos presentando una deformación axial final de 0,00027 y una deformación transversal final de 0,00034. Por consiguiente se lleva la probeta a la falla, para obtener así una deformación axial en donde ocurre la máxima tensión de 0,0012 y una deformación transversal de 0,0006.

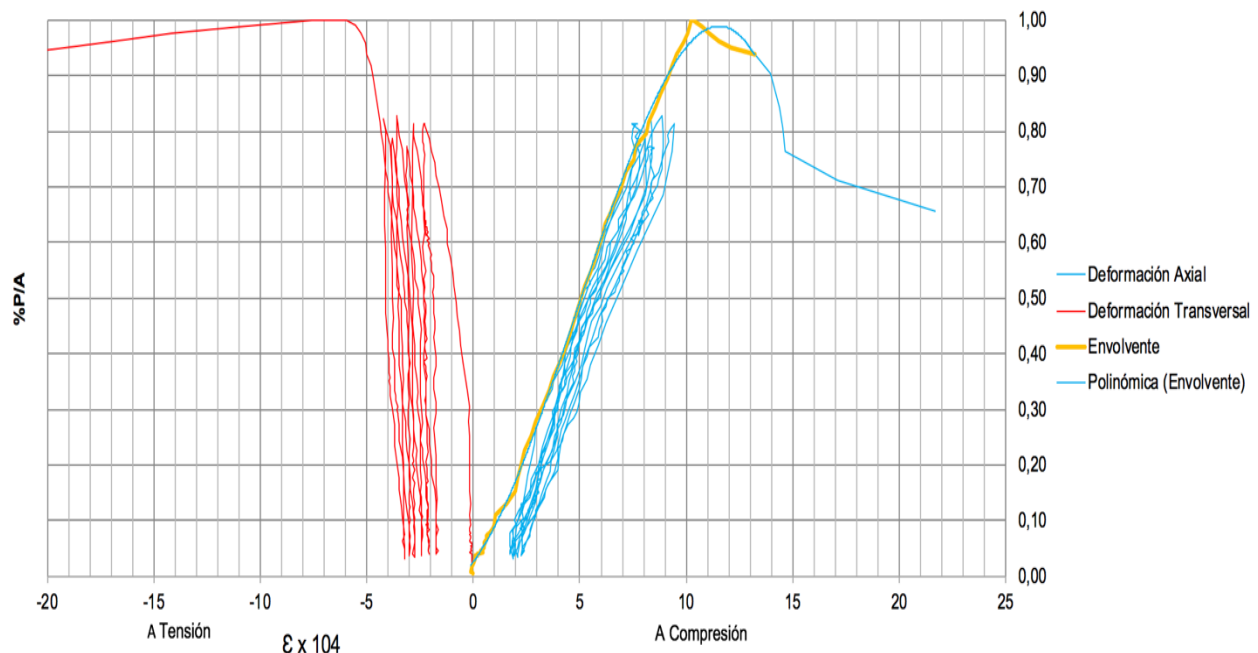


FIGURA IV.15 Curvas de Bajo Ciclaje Mezcla 1.

Mezcla 2 ($\beta = 68,14\%$)

En la siguiente curva de tensión- deformación tanto axial como transversal sometido a bajo ciclaje, se aprecia que la pendiente se mantienen paralelas durante las continuas cargas y descarga, luego de la repetición de todos ciclos de carga y descarga se muestrala deformación axial remanente de 0,0002 y una deformación transversal final de 0,00034. Para luego llevar la probeta a la falla, donde se obtene una deformación axial de 0,0024 y una deformación transversal de 0,00065.

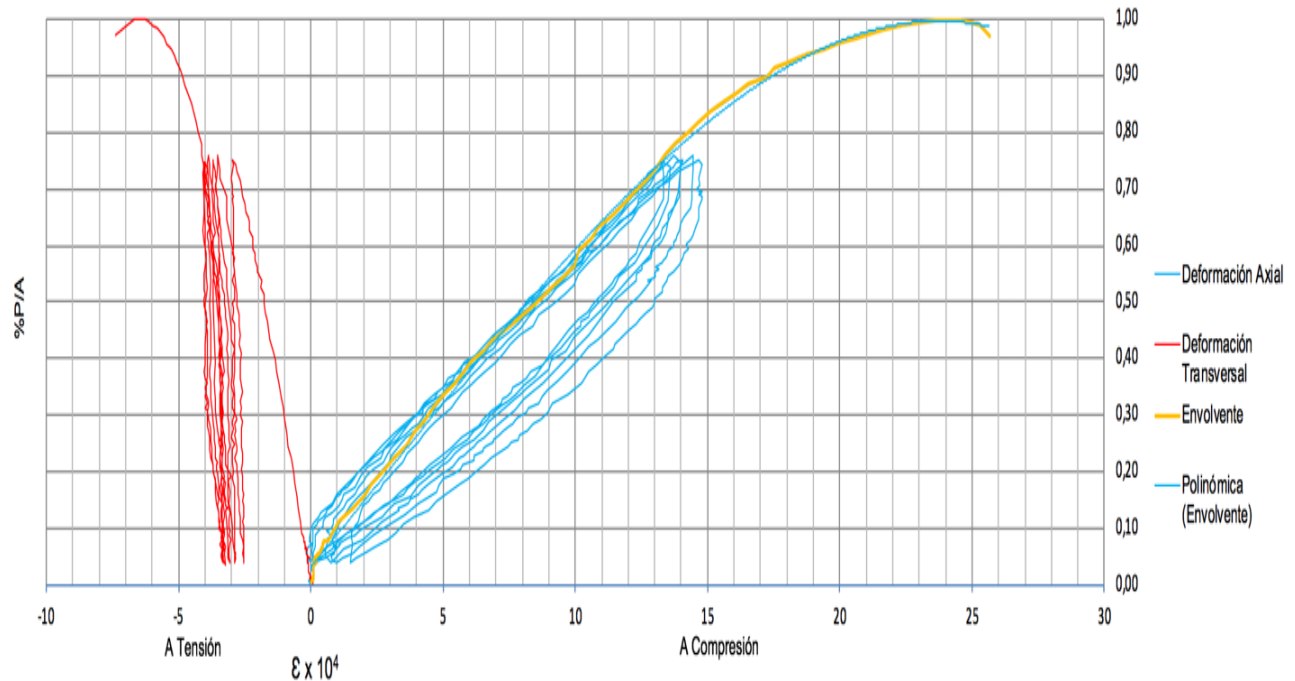


FIGURA IV.16 Curvas de Bajo Ciclaje Mezcla 2.

Mezcla 3 ($\beta = 72,19\%$)

En la siguiente curva de tensión- deformación tanto axial como transversal sometido a bajo ciclaje, se aprecia que al terminar del primer ciclo una deformación axial remanente de 0,00047 y deformación transversal remanente de 0,0001 ya que el concreto pasó a un estado plástico, además pendiente mas inclinada que los anteriores β . luego de la repetición de los ciclos de carga y descarga los mismos se mantienen paralelos entre ellos presentando una deformación axial final de 0,0007 y una deformación transversal final de 0,00019. Por consiguiente se lleva la probeta a la falla, para obtener así una deformación axial de 0,0024 y una deformación transversal de 0,00037.

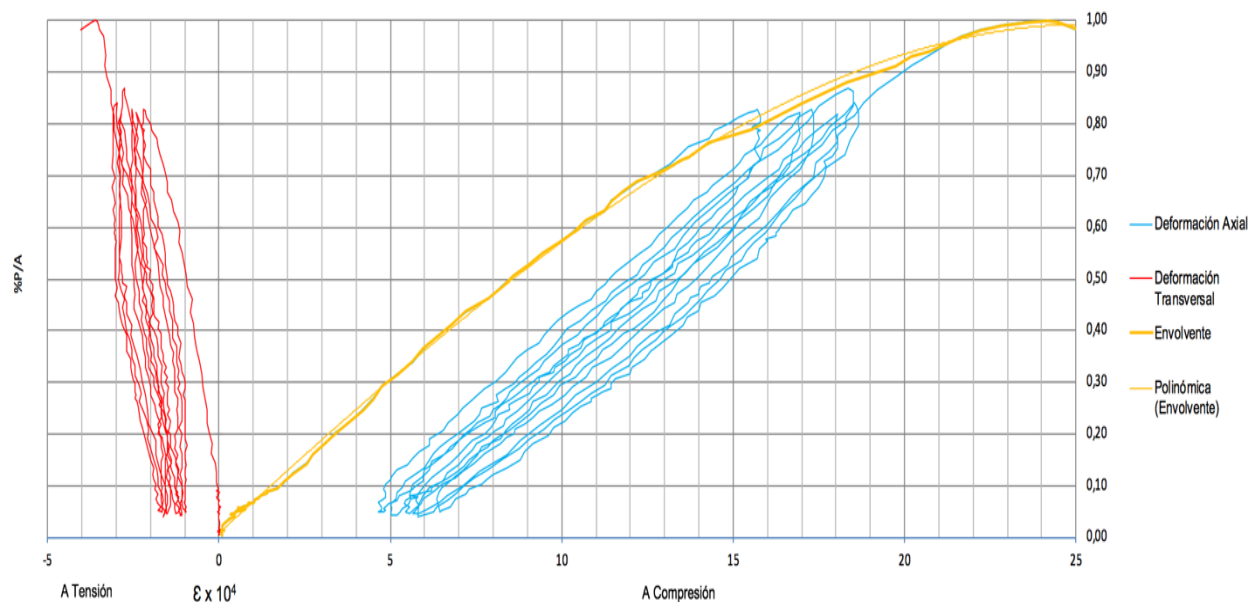


FIGURA IV.17 Curvas de Bajo Ciclaje Mezcla 3.

En las curvas estudiadas de deformaciones axiales respecto a las deformaciones transversales ambas en función del %Tensión para cada ciclo de estudio se observa que la curva de envolvente toma en consideración solos las cargas máximas obtenidas en cada ciclo de carga y en conjunto con la carga máxima a la rotura, lo cual describe el comportamiento de la probeta, siendo las mezclas similares las de $\beta = 68,14\%$ y $\beta = 72,19\%$, a una tensión del 70% de la carga máxima con una deformación axial de 0,0014 se observa que empieza el cambio de pendiente donde se empieza a comportar de forma plastica hasta alcanzar la rotura que se produce a una deformación de aproximadamente 0,0024 por lo que no se demuestra cambio significativo en la resistencia y deformación luego de que ocurren los 6 ciclos de carga y descarga que representan el movimiento de un sismo. mientras que la probeta de $\beta = 64,23\%$ presento una rotura frágil a una deformación axial de 0,0011, que se estima que fue una rotura a temprana deformación por falta de paralelismo en las caras de la probeta, demostrando de igual forma una rotura fragil.

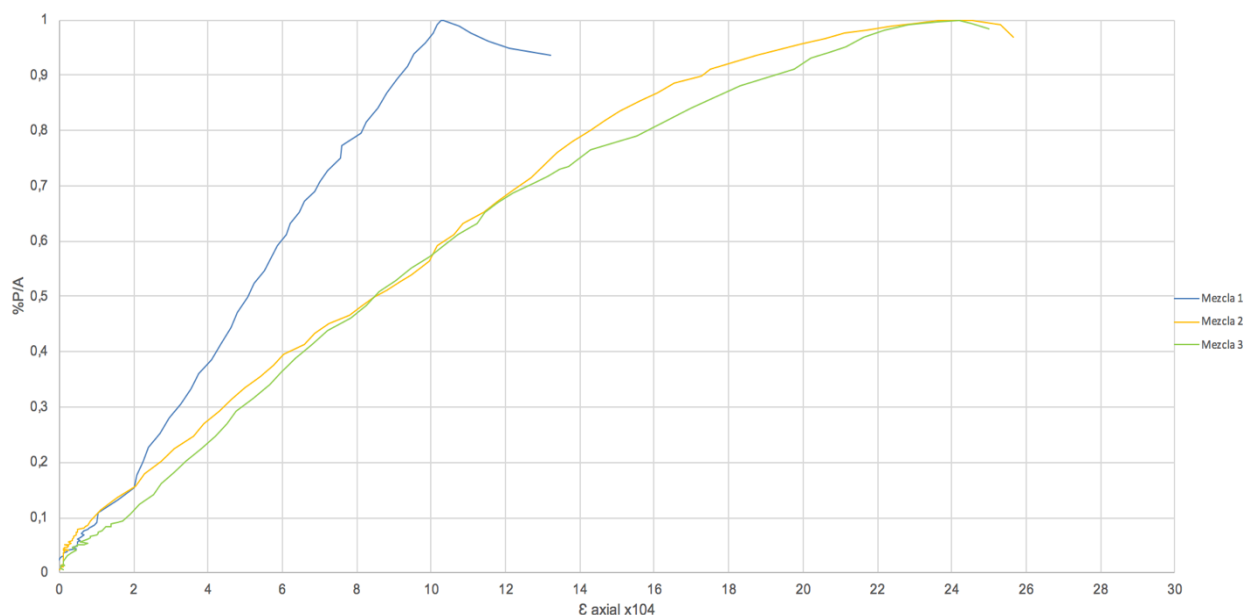


FIGURA IV.18. Agrupación de Curvas Envolventes.

CAPITULO V: CONCLUSIONES

En el estudio pudo evaluarse que la deformación para el momento de la rotura de las probetas cilíndricas fue en término medio 0,0025 mientras que en concreto convencional se considera de 0,0020 consideramos que esto es debido a la interacción mortero interface y pellita que es diferente al comportamiento de los concretos típicos con la piedra.

Por otra parte, a medida que el beta incrementó el comportamiento de las probetas de concreto a la falla se hizo más dúctil, lo que resulta interesa en el punto de vista del concreto en estructuras; se entiende que esto puede suceder solo en pequeños intervalos de variaciones y esto puede significar ventajas de concreto de comportamiento de una estructura que está sometida a acciones cercanas a la falla.

En lo que se refiere al módulo de elasticidad pudo observarse que su magnitud es menor al concreto convencional; al respecto a la forma de la curva del comportamiento tensión deformación mostró ser de tendencia lineal y no cóncava hacia abajo como es el concreto convencional, esto constituye otra ventaja del material al presentar una zona elástica mejor definida lo cual también se explica con la interacción pellita mortero.

Transversalmente la deformación de las probetas durante los ensayos a compresión demostraron que la deformación axial en todo momento es mayor que la deformación transversal y se ubica entre un (15-30) % de la axial; en consecuencia la variación volumétrica tiende al lado de la compresión lo que quiere decir que es válida la disminución de volumen a lo largo del ensayo. Ahora bien, a partir del 70% de la carga máxima el volumen disminuye a mayor tasa para aumentar bruscamente justo antes de la falla.

En el estudio realizado a las cargas pulsatorias constantes, donde la carga mínima al momento de descargar fue de mil (1000) Kgf, se demostró que la deformación más significativa se produce en el primer ciclo, este recorrido de carga está entre el 70% - 85% de la carga máxima por lo que el concreto pasó de la región elástica a la región plástica produciéndose una deformación remanente. Inmediatamente, las deformaciones comienzan a disminuir hasta llegar a valores similares entre ellos, donde, a partir de entonces se mantienen constantes, observándose además que las pendientes son paralelas en cada ciclo de carga y descarga, demostrando así, que el concreto aún trabaja de manera correcta en el rango elástico.

Las deformaciones obtenidas en el ensayo monotónico se mantienen similares a las deformaciones del ensayo a bajo ciclaje de 6 ciclos que asemejan los movimientos ocurridos ante un sismo por lo que se comprueba que el reacomodo de las partículas no es motivo de falla en las probetas y se entiende que en casos de terremotos el comportamiento del concreto será similar esto significa que ante cargas dinámicas este material presenta buen comportamiento.

El material es apto e ideal para poder desarrollar edificaciones de concreto por las ventajas que presenta como componente de baja densidad y por las propiedades que transmite al concreto propiamente

CAPITULO VI: RECOMENDACIONES

Desarrollar los mismos estudios para concretos de mayores resistencias.

Realizar estudios similares donde el material de baja densidad se logre por sustitución del fino.

El estudio de mayor cantidad de miembros, de manera de obtener más resultados y mayor información para el estudio del elemento en los ensayos monotónicos y de bajo ciclaje.

Realizar ensayos de núcleos a los elementos, con la finalidad de determinar el estado del concreto después del ciclaje.

Se recomienda el mejoramiento del prototipo de medición transversal de modo de que no se requiera la lubricación del sistema para deslizar y así disminuir los errores sistemáticos en el transcurso de los ensayos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

González Cuevas, O. M., Robles Fernández-Villegas, F. (4ta). (2005). Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado. Mexico D.F. Mexico: Editorial Limusa, S.A.

Park, R., Paulay, T. (2da). (1983). Estructuras de Concreto Reforzado. Mexico D.F. Mexico: Editorial Limusa, S.A.

Boyer, H. E., Gall, T. L. Metals Handbook. Ohio. United States of America: American Society for Metals.

Marañón Iribarren, I. J., Rodríguez Orofino, I. B. (2015). Estudio del Concreto Sometido a Fatiga de Bajo Ciclaje. (Pregrado). UCAB, Caracas, Venezuela.

Soto, D. (2017). Estudio de Propiedades Mecánicas del Concreto de Baja Densidad para Uso Estructural Elaborado con Agregado Grueso Proveniente de Arcillas Expandidas. (Pregrado). UCAB, Caracas, Venezuela.

Paparoni, M. (1968). Funciones de Daño para Concreto Sometido a Fatiga de Bajo Ciclaje. (Doctoral). UCV, Caracas, Venezuela.