

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES  
MECÁNICAS: RESISTENCIA, MÓDULO DE ELASTICIDAD Y  
ESFUERZOS DE ADHERENCIA ENTRE EL ACERO DE REFUERZO  
Y EL CONCRETO LIVIANO ESTRUCTURAL**

Presentado ante la ilustre  
Universidad Central de Venezuela

Por los bachilleres:

Angulo, V. Catherine.

Malavé, R. Abraham H.

Para optar al Título de  
Ingeniero Civil.

Caracas, 2015.

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES  
MECÁNICAS: RESISTENCIA, MÓDULO DE ELASTICIDAD Y  
ESFUERZOS DE ADHERENCIA ENTRE EL ACERO DE  
REFUERZO Y EL CONCRETO LIVIANO ESTRUCTURAL**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Julio Vincenti.

CO-TUTOR ACADÉMICO: Prof. Ronald Torres.

Presentado ante la ilustre  
Universidad Central de Venezuela

Por los bachilleres:

Angulo, V. Catherine.

Malavé, R. Abraham H.

Para optar al Título de  
Ingeniero Civil.

Caracas, 2015.

## ACTA

El día 02 de Noviembre de 2015 se reunió el jurado formado por los profesores:

Julio Vincenti

\_\_\_\_\_  
María Eugenia Korody

\_\_\_\_\_  
César Peñuela

Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado titulado: *"Evaluación experimental de las propiedades mecánicas: resistencia, módulo de elasticidad y esfuerzos de adherencia entre el acero de refuerzo y el concreto liviano estructural"*.

Presentado ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela para optar al Título de **INGENIERO CIVIL**.

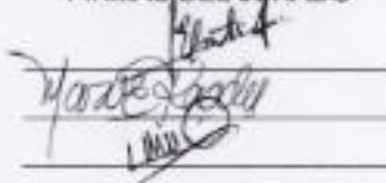
Una vez oída la defensa oral que los bachilleres hicieron de su Trabajo Especial de Grado, este jurado decidió las siguientes calificaciones:

| NOMBRE                   | CALIFICACIÓN |        |
|--------------------------|--------------|--------|
|                          | Números      | Letras |
| Br. Angulo V. Catherine  | 20           | VEINTE |
| Br. Malavé R. Abrahan H. | 20           | VEINTE |

Recomendaciones:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

FIRMAS DEL JURADO



Caracas, 02 de Noviembre de 2015

## **DEDICATORIA**

A DIOS, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy por haberme guiado y darme fuerzas para seguir adelante a lo largo de mi carrera.

A MIS PADRES, Marina Vincenzi y Ramón Angulo, por darme la vida, por su amor, por creer en mí y porque siempre me apoyaron en todo momento, todo esto se lo debo a ustedes, este logro es de ustedes, Los Amo.

A MI NONA, Donatina Reino, por apoyarme y estar siempre pendiente de mí, eres el pilar fundamental de mi vida y mi segunda mama, todo esto también te lo debo a ti, Te quiero con todo mi corazón.

A MIS TÍOS Y HERMANA, Claudio Vincenzi, Bruno Vincenzi y Daniela Angulo, por ser parte importante en mi vida, por estar conmigo siempre y ayudarme en todo lo que necesite, los quiero.

A MI MEJOR AMIGA, Maira Acosta, por brindarme su amistad incondicional y sincera y por estar conmigo en los buenos y malos momentos, más que una amiga eres una hermana para mí, Te quiero Amiga.

**Catherine Angulo.**

## DEDICATORIA

A DIOS, por su gracia y amor insuperable, por ser el centro de mi vida y mostrar tu propósito en la tierra para conmigo. Eternamente agradecido de ser tu hijo.

A MIS PADRES, Abraham José Malavé y Maritza Ramírez, son únicos, mis ejemplos a seguir, mi motivación, la mejor enseñanza, gracias por tanta felicidad, amor y por su sabiduría. Aquí está su logro, los Amo son todo para mí.

A MIS ABUELAS, Quintina Vera y Pilar Marín, por su apoyo y su hospitalidad en sus casas, por ser mi compañía en caracas y ser esa segunda madre, gracias por tanto amor, atención y momentos de dedicación.

A MIS HERMANOS Y SOBRINOS, Maritza Malavé (Tita), Dubisay Malavé (Duby), Josuet Malavé, Mariana Malavé (Nana), Stephanie Guerrero (Teti), Ever Guerrero y Camila Buitrago (Cami), por ser mi descanso, quienes me sacaron de la rutina y compartieron momentos de paz, amor y muchísimas risas durante toda mi carrera.

A MI NOVIA Y MI SUEGRO, Dalerys Nicastro y Gaetano Nicastro por su gran apoyo en la parte final de mi carrera, por sus consejos y a ti bebe por comprenderme y amarme tanto, haciendo mis días agradables, Te Amo Princesa.

*“Mas buscad primeramente el reino de Dios y su justicia, y todas estas cosas os serán añadidas” Mateo 6:33.*

**Abrahan Malavé.**

## **AGRADECIMIENTO**

A DIOS, por haberme dado las herramientas necesarias para seguir adelante, la capacidad de poder estudiar y la sabiduría para entender las cosas más difíciles.

A MIS PADRES, por su amor, su apoyo, su ayuda incondicional, por motivarme cuando más lo necesitaba.

A MI NONA, MI HERMANA, TIOS Y PRIMOS, por su ayuda y motivación a seguir adelante y por estar siempre para mí.

A MI COMPAÑERO DE TESIS, Abrahan Malavé, por su amistad y ser un buen compañero de tesis, por tener mucha paciencia y motivación para seguir adelante a pesar de las adversidades.

A NUESTROS TUTORES, Julio Vincenti y Ronald Torres, por ser la guía y aportar sus conocimientos y por ayudarnos en todo momento.

A MIS AMIGOS, Maira Acosta, Anyela Salcedo, Daniel Zurita, Mariana León, Airlin Contreras, Carla Luzón, Wilnesky López y Miguel Cervantes, por su gran amistad, porque siempre estar en las buenas y en las malas, siempre serán incondicionales para mí.

Al Sr. Eleone por ayudarnos a realizar todos los ensayos para culminar este trabajo de grado.

A LA UCV, por formarme como profesional y ser mi segunda casa.

**Catherine Angulo.**

## **AGRADECIMIENTO**

A DIOS, por darme la oportunidad de estar aquí, enderezar mis caminos, por su fidelidad. Nada le falta a los que te creen, todo viene de ti, es por ti y es para ti.

A MIS PADRES, por darme todo lo que necesite, sus consejos, sus regaños, sus direcciones, su dinero, su tiempo, su dedicación y sobre todo su amor.

A MI TIO Y PRIMOS, Alejandro Ramírez, Edney Mendoza y Luiggi Carucci, por ayudarme en la elaboración de los ensayos de este trabajo especial de grado.

A MI COMPAÑERA, Catherine Angulo, por haber sido una excelente amiga y compañera de tesis, por ayudarme en tantas materias y por motivarme a dar más.

A MIS AMIGOS, Daniel Zurita, Anthony Hernández, Maira Acosta, Deniss Machado, Mervin Mejías y Héctor Matos, con ustedes todo esfuerzo se hizo agradable y a todos aquellos que fueron parte de este logro.

A NUESTROS TUTORES, Julio Vincenti y Ronald Torres, por darnos la oportunidad de desarrollar esta tesis y apoyarnos en su elaboración.

A Eleone y Leonardo por colaborarnos en la realización de los ensayos.

A LA IGLESIA VISION DON DIVINO CAGUA, en especial a Jesús Rojas, Daniel Rivero, Carlos R. Villanueva y a cada persona de esta familia que me ayudó a ser mejor persona y a entender que para Dios no hay imposibles.

**Abrahan Malavé.**

**Angulo, V. Catherine.**

**Malavé, R. Abraham, H.**

**EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES  
MECÁNICAS: RESISTENCIA, MÓDULO DE ELASTICIDAD Y  
ESFUERZOS DE ADHERENCIA ENTRE EL ACERO DE  
REFUERZO Y EL CONCRETO LIVIANO ESTRUCTURAL**

**Tutor Académico: Prof. Julio Vincenti.**

**Co-Tutor Académico: Prof. Ronald Torres.**

**Trabajo Especial de Grado. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería.**

**Escuela de Ingeniería Civil. 2015. 197 Pág.**

Palabras Claves: Concreto Liviano, Aliven, Resistencia, Modulo de Elasticidad, Adherencia.

**RESUMEN**

El uso de concreto liviano en Venezuela ha sido limitado y muy poco aplicado debido a que las bases legales en el país en cuanto a normas relacionadas con el uso de este tipo de concreto no existen. Esto trae como consecuencia que los profesionales en el área se limiten a trabajar con este tipo de concreto, ya que las normas existentes son de origen extranjero y sus especificaciones en cuanto a la aplicabilidad pueden variar debido a los materiales utilizados y condiciones de uso.

El presente estudio tiene como propósito fundamental la evaluación de las propiedades mecánicas: resistencia a compresión, módulo de elasticidad



y adherencia entre el acero y el concreto liviano. Se elaboraron diseños de mezclas para las resistencias 210, 250 y 300 kg/cm<sup>2</sup>. Además de ello, se realizaron los ensayos para las probetas de 15 cm de diámetro por 30 cm de alto para las edades de 7, 14 y 28 días.

Se realizaron 3 diseños de mezclas y una patrón, de las cuales se evaluaron para ver si cumplían con las resistencias deseadas, quedando así la mezcla 3 como la óptima señalando, que el concreto con agregado liviano es aplicable a la mezcla de concreto liviano estructural, para las resistencias de 210 y 250 Kg/cm<sup>2</sup>

En el estado fresco de la mezcla se ensayó el asentamiento; asimismo se evaluó el peso unitario y la resistencia a compresión en el concreto endurecido. Con los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia y peso unitario,

Se caracterizaron las técnicas de medición del ensayo de adherencia, para luego ensayar 27 probetas y analizar los esfuerzos de adherencia entre el acero y el concreto liviano, utilizando barras de 1/2", 5/8" y 3/4". Además se elaboraron 9 probetas para el cálculo de la velocidad de pulso ultrasónico y el módulo de elasticidad. Con los valores de la gráfica esfuerzo-deformación del módulo de elasticidad, se planteó una fórmula que se ajustara a los valores reales del módulo para el concreto liviano.

Se obtuvo una fórmula para el módulo de elasticidad, que se ajusta mejor a los valores reales del concreto liviano, lo cual mejoraría la calidad del diseño en obras estructurales de concreto armado. El esfuerzo adherente presentó un resultado mayor para la resistencia de 300kg/cm<sup>2</sup> y para las barras de 3/4", ya que poseen una mayor adherencia.

## INDICE

|  |    |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN.....  | 1  |
| CAPÍTULO I.....  | 2  |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....  | 2  |
| I.1. El problema de la investigación. ....   | 2  |
| I.2. Objetivos de la Investigación. ....   | 6  |
| I.2.1. Objetivo general: .....   | 6  |
| I.2.2. Objetivos específicos:.....   | 6  |
| I.3. Justificación de la investigación. ....   | 7  |
| CAPITULO II.....   | 8  |
| MARCO TEÓRICO .....  | 8  |
| II.1. Antecedentes de la investigación. ....   | 8  |
| II.2. Concreto convencional. ....  | 11 |
| II.2.1. Usos y ventajas del concreto convencional. ....  | 12 |
| II.2.2. Propiedades del concreto fresco. ....  | 12 |
| II.2.3. Propiedades del concreto endurecido. ....  | 15 |
| II.2.4. Diseño de mezcla de concreto convencional. ....  | 22 |
| II.3. Concreto liviano.....  | 28 |
| II.3.1. Clasificación del concreto liviano. ....   | 29 |
| II.3.2. Ventajas y desventajas del concreto liviano. ....  | 30 |
| II.3.3. Diseño de mezcla del concreto liviano estructural. ....                                    | 31 |
| II.4. Arcillas expandidas (ALIVEN).....  | 31 |
| II.4.1. Proceso de producción del ALIVEN. Fuente: Agregados Livianos C.A. (2012).....              | 32 |
| II.4.2. Características y ventajas del ALIVEN. ....  | 33 |
| II.4.3. Aplicaciones del agregado liviano de arcilla expandida ALIVEN utilizado en Venezuela. .... | 36 |
| II.5. Esfuerzo de adherencia en barras de refuerzo. ....   | 39 |
| II.6. Caracterización de la adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo. ....              | 40 |

|                    |   |    |
|--------------------|---|----|
| II.6.1             | Ensayo de arrancamiento “pull-out” .....  | 40 |
| II.6.2             | Ensayo de adherencia en vigas, ( <i>beam test</i> ). Fuente: UNE 36748:98 .....   | 41 |
| II.6.3.            | Ensayo de arrancamiento (pull-out test) (NBR: 7211-1983 “Determinación de las propiedades mecánicas a tracción – Método de ensayo”. Fuente: NBR 7211:1983 ..... | 42 |
| II.6.4             | Ensayo para la determinación de la adherencia desarrollada entre el concreto y el acero usado como refuerzo. Fuente: Norma COVENIN (1668-80). .....             | 43 |
| II.7.              | Mecanismo de pérdida de adherencia. ....  | 46 |
| II.8.              | Mecanismo de falla por deslizamiento. Fuente: Vera (2002). ....   | 48 |
| CAPITULO III       | .....   | 49 |
| MARCO METODOLÓGICO | .....   | 49 |
| III.1              | Búsqueda y recopilación de información.....   | 51 |
| III. 2             | Caracterización de los agregados.....   | 51 |
| III.2.1            | Granulometría del agregado fino (arena lavada). ....  | 51 |
| III.2.2.           | Determinación del peso específico y absorción. ....   | 53 |
| III.2.3.           | Determinación del peso unitario suelto y compacto. ....   | 55 |
| III.2.4.           | Determinación del contenido de humedad.....   | 57 |
| III.3              | Diseño de mezcla. ....  | 57 |
| III.4              | Elaboración de la mezcla de concreto liviano. ....  | 59 |
| III.5              | Caracterización del concreto liviano en estado endurecido. ....   | 62 |
| III.5.1            | Peso unitario. ....   | 62 |
| III.6              | Ensayo a compresión de probetas de concreto de 15 x 30 cm. ....   | 64 |
| III.7              | Determinación del módulo de elasticidad.....  | 66 |
| III.8              | Velocidad de pulso ultrasónico de probetas de concreto de 15 x 30 cm. ....  | 69 |
| III.9              | Ensayo para la determinación de la adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo. ....  | 72 |
| III.10             | Análisis y comparación de resultados .....  | 81 |
| CAPITULO IV        | .....   | 82 |

|  |     |
|--|-----|
| RESULTADOS Y ANÁLISIS .....  | 82  |
| IV.1 Caracterización de los agregados. ....  | 82  |
| IV.1.1 Granulometría del agregado fino (arena lavada). ....  | 82  |
| IV.1.2. Determinación del peso específico y absorción.....   | 83  |
| IV.1.3. Determinación del peso unitario suelto y compacto. ....                                      | 84  |
| IV.1.4. Determinación del contenido de humedad de la arena.....                                      | 84  |
| IV.2. Diseño de mezcla.....  | 84  |
| IV.2.1. Componentes del diseño de mezcla. ....   | 84  |
| IV.2.2. Dosificación de los materiales para la mezcla patrón. ....                                   | 85  |
| IV.2.3 Dosificación de los materiales para las mezclas elaboradas. ....                              | 86  |
| IV.3 Elaboración de la mezcla de concreto liviano. ....  | 91  |
| IV.3.1 Medición del asentamiento.....  | 91  |
| IV.4 Caracterización del concreto liviano en estado endurecido. ....                                 | 93  |
| IV.4.1 Peso unitario .....   | 93  |
| IV.5 Ensayo de Compresión de probetas de concreto de 15 x 30cm. ....                                 | 107 |
| IV.6 Determinación del módulo de elasticidad. ....   | 122 |
| IV.7 Velocidad de pulso ultrasónico.....   | 143 |
| IV.8 Ensayo para la determinación de la adherencia entre el concreto y el<br>acero de refuerzo. .... | 145 |
| IV.9 Comparación con Concreto Convencional .....   | 153 |
| CAPITULO V .....   | 155 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....   | 155 |
| V.1 Conclusiones .....   | 155 |
| V.2 Recomendaciones .....  | 159 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....  | 160 |
| ANEXOS .....   | 165 |

## INDICE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 2.1 Resistencia promedio a la compresión requerida. (Porrero, 2012) Manual del concreto estructural. ....                          | 23 |
| Tabla 2.2 Factores para corregir $\alpha$ por Tamaño Máximo, mm (pulgada). Porrero y otros (2012). Manual del concreto estructural. .... | 25 |
| Tabla 2.3 Factores para corregir $\alpha$ por tipo de agregado. Porrero y otros (2012). Manual del concreto estructural. ....            | 25 |
| Tabla 2.4 Valores usuales de Asentamiento con el Cono de Abrams. (Porrero, 2012) Manual del concreto estructural. ....                   | 27 |
| Tabla 2.5 Factores para corregir C por Tamaño Máximo, mm (Pulgadas). Porrero y otros (2012). Manual del concreto estructural. ....       | 28 |
| Tabla 2.6 Factor para corregir C por tipo de agregado. Porrero y otros (2012). Manual del concreto estructural. ....                     | 28 |
| Tabla 4.1 Granulometría de la arena. ....  | 82 |
| Tabla 4.2 Peso específico y porcentaje de absorción de la arena lavada. ...  | 83 |
| Tabla 4.3 Peso unitario suelto y compacto. ....  | 84 |
| Tabla 4.4 Contenido de humedad de la arena. ....   | 84 |
| Tabla 4.5 Componentes del diseño de mezcla. ....   | 84 |
| Tabla 4.6 Dosificación de los materiales para la mezcla patrón con resistencia 210 kg/cm <sup>2</sup> . ....                             | 85 |
| Tabla 4.7 Dosificación de los materiales para la mezcla patrón con resistencia 250 kg/cm <sup>2</sup> . ....                             | 85 |
| Tabla 4.8 Dosificación de los materiales para la mezcla de patrón con resistencia 300 kg/cm <sup>2</sup> . ....                          | 86 |
| Tabla 4.9 Dosificación de los materiales para la mezcla 1 con resistencia 210 kg/cm <sup>2</sup> . ....                                  | 86 |
| Tabla 4.10 Dosificación de los materiales para la mezcla 1 con resistencia 250 kg/cm <sup>2</sup> . ....                                 | 87 |
| Tabla 4.11 Dosificación de los materiales para la mezcla 1 con resistencia 300 kg/cm <sup>2</sup> . ....                                 | 87 |
| Tabla 4.12 Dosificación de los materiales para la mezcla 2 con resistencia 210 kg/cm <sup>2</sup> . ....                                 | 88 |
| Tabla 4.13 Dosificación de los materiales para la mezcla 2 con resistencia 250 kg/cm <sup>2</sup> . ....                                 | 88 |
| Tabla 4.14 Dosificación de los materiales para la mezcla 2 con resistencia 300 kg/cm <sup>2</sup> . ....                                 | 89 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 4.15 Dosificación de los materiales para la mezcla 3 con resistencia 210 kg/cm <sup>2</sup> .....  | 89  |
| Tabla 4.16 Dosificación de los materiales para la mezcla 3 con resistencia 250 kg/cm <sup>2</sup> .....  | 90  |
| Tabla 4.17 Dosificación de los materiales para la mezcla 3 con resistencia 300 kg/cm <sup>2</sup> .....  | 90  |
| Tabla 4.18 Medición del asentamiento (cm).....   | 91  |
| Tabla 4. 19 Numero de cilindros ensayados para obtener su peso unitario.                                 | 94  |
| Tabla 4. 20 Pesos unitarios promedios a los 7 días para un f'c de 210 kg/cm <sup>2</sup> .<br>.....      | 94  |
| Tabla 4. 21 Pesos unitarios promedios a los 14 días para un f'c de 210 kg/cm <sup>2</sup> .<br>.....     | 96  |
| Tabla 4. 22 Pesos unitarios promedios a los 28 días para un f'c de 210 kg/cm <sup>2</sup> .<br>.....     | 97  |
| Tabla 4. 23 Pesos unitarios promedios a los 7 días para un f'c de 250 kg/cm <sup>2</sup> .<br>.....      | 99  |
| Tabla 4. 24 Pesos unitarios promedios a los 14 días para un f'c de 250 kg/cm <sup>2</sup> .<br>.....     | 100 |
| Tabla 4. 25 Pesos unitarios promedios a los 28 días para un f'c de 250 kg/cm <sup>2</sup> .<br>.....     | 102 |
| Tabla 4. 26 Pesos unitarios promedios a los 7 días para un f'c de 300 kg/cm <sup>2</sup> .<br>.....      | 103 |
| Tabla 4. 27 Pesos unitarios promedios a los 14 días para un f'c de 300 kg/cm <sup>2</sup> .<br>.....     | 105 |
| Tabla 4. 28 Pesos unitarios promedios a los 28 días para un f'c de 300 kg/cm <sup>2</sup> .<br>.....     | 106 |
| Tabla 4. 29 Numero de cilindros ensayados para obtener su resistencia...                                 | 108 |
| Tabla 4. 30 Resistencia a compresión promedios a los 7 días para un f'c de 210 kg/cm <sup>2</sup> .....  | 108 |
| Tabla 4. 31 Resistencia a compresión promedios a los 14 días para un f'c de 210 kg/cm <sup>2</sup> ..... | 110 |
| Tabla 4. 32 Resistencia a compresión promedios a los 28 días para un f'c de 210 kg/cm <sup>2</sup> ..... | 111 |
| Tabla 4. 33 Resistencia a compresión promedios a los 7 días para un f'c de 250 kg/cm <sup>2</sup> .....  | 113 |
| Tabla 4. 34 Resistencia a compresión promedios a los 14 días para un f'c de 250 kg/cm <sup>2</sup> ..... | 114 |
| Tabla 4. 35 Resistencia a compresión promedios a los 28 días para un f'c de 250 kg/cm <sup>2</sup> ..... | 116 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 4. 36 Resistencia a compresión promedios a los 7 días para un $f'c$ de 300 kg/cm <sup>2</sup> .....                | 117 |
| Tabla 4. 37 Resistencia a compresión promedios a los 14 días para un $f'c$ de 300 kg/cm <sup>2</sup> .....               | 119 |
| Tabla 4. 38 Resistencia a compresión promedios a los 28 días para un $f'c$ de 300 kg/cm <sup>2</sup> .....               | 120 |
| Tabla 4. 39 Numero de cilindros ensayados para obtener su modulo de elasticidad .....                                    | 122 |
| Tabla 4. 40 Carga máxima aplicada a los cilindros a los 28 días ( $f'c$ 210kg/cm <sup>2</sup> ). .....                   | 122 |
| Tabla 4. 41 Resultados de módulo de elasticidad a los 28 días (mezcla 3) cilindro 1 .....                                | 123 |
| Tabla 4. 42 Resultados de módulo de elasticidad a los 28 días (mezcla 3) cilindro 2 .....                                | 125 |
| Tabla 4. 43 Resultados de módulo de elasticidad a los 28 días (mezcla 3) cilindro 3 .....                                | 127 |
| Tabla 4. 44 Carga máxima aplicada a los cilindros a los 28 días ( $f'c$ 250kg/cm <sup>2</sup> ). .....                   | 128 |
| Tabla 4. 45 Resultados de módulo de elasticidad a los 28 días (mezcla 3) cilindro 1 .....                                | 129 |
| Tabla 4. 46 Resultados de módulo de elasticidad a los 28 días (mezcla 3) cilindro 2 .....                                | 131 |
| Tabla 4. 47 Resultados de módulo de elasticidad a los 28 días (mezcla 3) cilindro 3 .....                                | 133 |
| Tabla 4. 48 Carga máxima aplicada a los cilindros a los 28 días ( $f'c$ 300kg/cm <sup>2</sup> ). .....                   | 134 |
| Tabla 4. 49 Resultados de módulo de elasticidad a los 28 días (mezcla 3) cilindro 1 .....                                | 135 |
| Tabla 4. 50 Resultados de módulo de elasticidad a los 28 días (mezcla 3) cilindro 2 .....                                | 137 |
| Tabla 4. 51 Resultados de módulo de elasticidad a los 28 días (mezcla 3) cilindro 3 .....                                | 139 |
| Tabla 4. 52 Valores del módulo de elasticidad por el método de la secante y tangente $f'c$ 210kg/cm <sup>2</sup> . ..... | 140 |
| Tabla 4. 53 Valores del módulo de elasticidad por la fórmula de cálculo $f'c$ 210kg/cm <sup>2</sup> . .....              | 141 |
| Tabla 4. 54 Valores del módulo de elasticidad por el método de la secante y tangente $f'c$ 250kg/cm <sup>2</sup> . ..... | 141 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 4. 55 Valores del módulo de elasticidad por la fórmula de cálculo $f_c$ 250 kg/cm <sup>2</sup> .....                             | 141 |
| Tabla 4. 56 Valores del módulo de elasticidad por el método de la secante y tangente $f_c$ 300kg/cm <sup>2</sup> .....                 | 142 |
| Tabla 4. 57 Valores del módulo de elasticidad por la fórmula de cálculo $f_c$ 300 kg/cm <sup>2</sup> .....                             | 142 |
| Tabla 4. 58 Valores de la variable “k” para la fórmula establecida para cada una de las resistencias de diseño. ....                   | 143 |
| Tabla 4. 59 Valor de la variable “k” promedio definitivo para la fórmula establecida para cada una de las resistencias de diseño. .... | 143 |
| Tabla 4. 60 Numero de cilindros ensayados para obtener su velocidad de pulso ultrasonico.....  | 144 |
| Tabla 4. 61 Velocidad de pulso ultrasónico para el diseño mezcla 3. ....   | 144 |
| Tabla 4. 62 Número de cilindros ensayados para obtener los esfuerzos de adherencia.....  | 146 |
| Tabla 4. 63 Esfuerzos adherentes acero-concreto para $f_c$ 210 Kgf/cm <sup>2</sup> . (Mezcla 3).....                                   | 150 |
| Tabla 4. 64 Esfuerzos adherentes acero-concreto para $f_c$ 250 Kgf/cm <sup>2</sup> . (Mezcla 3).....                                   | 151 |
| Tabla 4. 65 Esfuerzos adherentes acero-concreto para $f_c$ 300 Kgf/cm <sup>2</sup> . (Mezcla 3).....                                   | 152 |



## INDICE DE GRÁFICOS

|  |     |
|--|-----|
| Gráfico 4. 1 Curva granulométrica de la arena.....   | 83  |
| Gráfico 4. 2 Comparación de asentamiento para un f'c 210 Kg/cm <sup>2</sup> .....                          | 92  |
| Gráfico 4. 3 Comparación de asentamiento para un f'c 250 Kg/cm <sup>2</sup> .....                          | 92  |
| Gráfico 4. 4 Comparación de asentamiento para un f'c 300 Kg/cm <sup>2</sup> .....                          | 93  |
| Gráfico 4. 5 Pesos unitarios promedios a los 7 días para un f'c de 210 kg/cm <sup>2</sup> .....            | 95  |
| Gráfico 4. 6 Pesos unitarios promedios a los 14 días para un f'c de 210 kg/cm <sup>2</sup> .....           | 96  |
| Gráfico 4. 7 Pesos unitarios promedios a los 28 días para un f'c de 210 kg/cm <sup>2</sup> .....           | 98  |
| Gráfico 4. 8 Pesos unitarios promedios a los 7 días para un f'c de 250 kg/cm <sup>2</sup> .....            | 99  |
| Gráfico 4. 9 Pesos unitarios promedios a los 14 días para un f'c de 250 kg/cm <sup>2</sup> .....           | 101 |
| Gráfico 4. 10 Pesos unitarios promedios a los 28 días para un f'c de 250kg/cm <sup>2</sup> .....           | 102 |
| Gráfico 4. 11 Pesos unitarios promedios a los 7 días para un f'c de 300 kg/cm <sup>2</sup> .....           | 104 |
| Gráfico 4. 12 Pesos unitarios promedios a los 14 días para un f'c de 300 kg/cm <sup>2</sup> .....          | 105 |
| Gráfico 4. 13 Pesos Unitarios promedios a los 28 días para un f'c de 300 kg/cm <sup>2</sup> .....          | 107 |
| Gráfico 4. 14 Resistencia a compresión promedios a los 7 días para un f'c de 210 kg/cm <sup>2</sup> .....  | 109 |
| Gráfico 4. 15 Resistencia a compresión promedios a los 14 días para un f'c de 210 kg/cm <sup>2</sup> ..... | 110 |
| Gráfico 4. 16 Resistencia a compresión promedios a los 28 días para un f'c de 210 kg/cm <sup>2</sup> ..... | 112 |
| Gráfico 4. 17 Resistencia a compresión promedios a los 7 días para un f'c de 250 kg/cm <sup>2</sup> .....  | 113 |
| Gráfico 4. 18 Resistencia a compresión promedios a los 14 días para un f'c de 250 kg/cm <sup>2</sup> ..... | 115 |
| Gráfico 4. 19 Resistencia a compresión promedios a los 28 días para un f'c de 250 kg/cm <sup>2</sup> ..... | 116 |
| Gráfico 4. 20 Resistencia a compresión promedios a los 7 días para un f'c de 300 kg/cm <sup>2</sup> .....  | 118 |

|  |     |
|--|-----|
| Gráfico 4. 21 Resistencia a compresión promedios a los 14 días para un $f'c$ de 300 kg/cm <sup>2</sup> ..... | 119 |
| Gráfico 4. 22 Resistencia a compresión promedios a los 28 días para un $f'c$ de 300 kg/cm <sup>2</sup> ..... | 121 |
| Gráfico 4. 23 Esfuerzo-deformación unitaria cilindro 1 (mezcla 3) .....                                      | 124 |
| Gráfico 4. 24 Esfuerzo-deformación unitaria cilindro 2 (mezcla 3) .....                                      | 126 |
| Gráfico 4. 25 Esfuerzo-deformación unitaria cilindro 3 (mezcla 3) .....                                      | 128 |
| Gráfico 4. 26 Esfuerzo-deformación unitaria cilindro 1 (mezcla 3) .....                                      | 130 |
| Gráfico 4. 27 Esfuerzo-deformación unitaria cilindro 2 (mezcla 3) .....                                      | 132 |
| Gráfico 4. 28 Esfuerzo-deformación unitaria cilindro 3 (mezcla 3) .....                                      | 134 |
| Gráfico 4. 29 Esfuerzo-deformación unitaria cilindro 1 (mezcla 3) .....                                      | 136 |
| Gráfico 4. 30 Esfuerzo-deformación unitaria cilindro 2 (mezcla 3) .....                                      | 138 |
| Gráfico 4. 31 Esfuerzo-deformación unitaria cilindro 3 (mezcla 3) .....                                      | 140 |
| Gráfico 4. 32 Velocidad de pulso ultrasónico para el diseño mezcla 3. ....                                   | 145 |
| Gráfico 4. 33 Esfuerzo de Adherencia para $f'c$ 210Kgf/cm <sup>2</sup> .....                                 | 146 |
| Gráfico 4. 34 Esfuerzo de Adherencia para $f'c$ 250Kgf/cm <sup>2</sup> . ....                                | 147 |
| Gráfico 4. 35 Esfuerzo de Adherencia para $f'c$ 300 Kgf/cm <sup>2</sup> . ....                               | 147 |
| Gráfico 4. 36 Esfuerzo de Adherencia para barras de 1/2". ....   | 148 |
| Gráfico 4. 37 Esfuerzo de Adherencia para barras de 5/8" .....   | 148 |
| Gráfico 4. 38 Esfuerzo de Adherencia para barras de 3/4". ....   | 149 |
| Gráfico 4. 39 Esfuerzos adherentes acero-concreto para $f'c$ 210 Kgf/cm <sup>2</sup> . (Mezcla 3).....       | 150 |
| Gráfico 4. 40 Esfuerzos adherentes acero-concreto para $f'c$ 250 Kgf/cm <sup>2</sup> . (Mezcla 3).....       | 151 |
| Gráfico 4. 41 Esfuerzos adherentes acero-concreto para $f'c$ 300 Kgf/cm <sup>2</sup> . (Mezcla 3).....       | 152 |
| Gráfico 4. 42 Módulo de elasticidad de concreto convencional fuente: Meléndez y Pérez (2014). ....           | 153 |
| Gráfico 4. 43 Esfuerzo-deformación del concreto convencional. Fuente: Propia .....                           | 154 |
| Gráfico 4. 44 Esfuerzos de Adherencia del concreto convencional. Fuente: Arellano y De Abreu (2012). ....    | 154 |

## INDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 2. 1 Ensayos de extracción directa (pull-out). .....   | 10 |
| Figura 2. 2 Medición del asentamiento. Fuente: Norma COVENIN 339 (2003).<br>.....   | 13 |
| Figura 2. 3 Elementos de carga en una prueba de compresión. Fuente: El<br>constructor civil (2011). .....   | 16 |
| Figura 2. 4 Grafica Esfuerzo-Deformación. Fuente: Blog 360 grados en<br>Concreto (2011). .....  | 17 |
| Figura 2.5 Esquema de disposición de emisor y receptor en el ensayo del<br>pulso ultrasónico. Fuente: Porrero y otros (2012). Manual del concreto<br>estructural. ....            | 21 |
| Figura 2.6 Relación entre la trabajabilidad (T), el contenido de cemento (C) y<br>la relación agua/cemento ( $\alpha$ ). (Porrero, 2012) Manual del concreto<br>estructural. .... | 27 |
| Figura 2.7 Arcilla natural al inicio del proceso. Fuente: Folleto Agregados<br>Livianos C.A (2012). ....  | 32 |
| Figura 2. 8 Hornos rotatorios de agregado liviano. Fuente: Folleto Agregados<br>Livianos C.A (2012). ....   | 33 |
| Figura 2. 9 Pellas de ALIVEN. Fuente: Folleto Agregados Livianos C.A<br>(2012). ....  | 33 |
| Figura 2.10 Bloques de concreto ALIVEN. Fuente: Folleto Agregados<br>Livianos C.A (2012). ....  | 37 |
| Figura 2.11 Paneles livianos aislante. Fuente: Folleto Agregados Livianos<br>C.A (2012). ....   | 37 |
| Figura 2.12 Vaciado de una losa nervada con bloques ALIVEN. Fuente:<br>Folleto Agregados Livianos C.A (2012). ....  | 38 |
| Figura 2.13 Pavimento Asfáltico ALIVEN. Fuente: Folleto Agregados Livianos<br>C.A (2012). ....  | 38 |
| Figura 2. 14 Ensayo tipo beam test para la homologación de la adherencia en<br>barras corrugadas. Fuente: Norma Española UNE 7436 (1982). ....                                    | 42 |
| Figura 2. 15 Máquina universal de ensayos. Fuente: Norma COVENIN 1667<br>(1980). ....   | 44 |
| Figura 2. 16 Longitud de Adherencia y Refuerzo Transversal. Fuente: Norma<br>COVENIN 1667 (1980). ....  | 45 |
| Figura 2.17 Colocación del extensómetro usado en los ensayos de<br>adherencia. Fuente: Norma COVENIN 1667 (1980). ....  | 45 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 2.18 Mecanismo de resistencia de adherencia. Fuente: Bertero, Popov y Shao, (1976) Experimental and Analytical Studies on the Hysteretic Behavior of Reinforced Concrete Rectangular ant T-Beams.....    | 46 |
| Figura 2.19 Relación esfuerzo adherencia–deslizamiento. Fuente: Bertero, Popov y Shao (1976) Experimental and Analytical Studies on the Hysteretic Behavior of Reinforced Concrete Rectangular ant T-Beams..... | 47 |
| Figura 2.20 Mecanismo de falla local de una barra con estrías. Fuente: Nielsen (1999) Limit Analysis and Concrete Plasticity.....   | 48 |
| Figura 3.1 Horno.....   | 52 |
| Figura 3.2 Tamices para la realización de la granulometría. ....  | 52 |
| Figura 3.3 Secado de la muestra con una estufa. ....  | 53 |
| Figura 3.4 Colocación y compactación de una porción de arena dentro del cono.....   | 53 |
| Figura 3.5 Picnómetro con la muestra y agua.....  | 54 |
| Figura 3.6 Colocación de la arena en la cubeta. ....  | 55 |
| Figura 3.7 Compactación de la muestra. ....   | 56 |
| Figura 3.8 Colocación del cono de Abrams. ....  | 60 |
| Figura 3.9 Vaciado del concreto. ....   | 60 |
| Figura 3.10 Compactación en el cono de Abrams. ....   | 61 |
| Figura 3.11 Medición del asentamiento. ....   | 61 |
| Figura 3.12 Medición del diámetro y altura de la probeta.....   | 63 |
| Figura 3.13 Balanza de apreciación 1gr.....   | 63 |
| Figura 3.14 Colocación de la probeta en la prensa.....  | 64 |
| Figura 3.15 Falla del cilindro.....   | 65 |
| Figura 3.16 Colocación y nivelación de la probeta.....  | 66 |
| Figura 3.17 Colocación del instrumento de medición (LVDT). ....   | 67 |
| Figura 3.18 Falla de los cilindros. ....  | 68 |
| Figura 3.19 Limpieza y secado de la superficie lisa de las probetas.....  | 70 |
| Figura 3.20 Calibración de los transductores.....   | 70 |
| Figura 3.21 Colocación de vaselina y acoplamiento entre el transductor y el concreto.....   | 71 |
| Figura 3. 22 Tiempo de propagación de la onda.....  | 71 |
| Figura 3. 23 Base de madera. ....   | 73 |
| Figura 3.24 Colocación de las mangueras y zunchos.....  | 74 |
| Figura 3.25 Colocación de parafina. ....  | 74 |
| Figura 3.26 Limpieza de las barras.....   | 75 |
| Figura 3.27 Colocación de los moldes en la base de madera.....  | 75 |
| Figura 3.28 Elaboración de mezcla y vaciado.....  | 76 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 3. 29 Compactación del concreto.....                               | 76 |
| Figura 3.30 Desencofrado de las probetas. ....                            | 77 |
| Figura 3. 31 Colocación de las probetas en la piscina de curado.....      | 77 |
| Figura 3. 32 Cilindro en contacto con la plataforma. ....                 | 78 |
| Figura 3. 33 Colocación y calibración de los instrumentos.....            | 79 |
| Figura 3. 34 Aplicación de carga a una velocidad de 2.250 kg/minuto. .... | 79 |
| Figura 3. 35 Deslizamiento de las barras en el concreto.....              | 80 |

## INDICE DE ANEXOS

|  |     |
|--|-----|
| Anexos 1 Cálculo del diseño de mezcla para resistencia 210kg/cm <sup>2</sup> .....                                     | 165 |
| Anexos 2 Cálculo del diseño de mezcla para resistencia 250kg/cm <sup>2</sup> .....                                     | 166 |
| Anexos 3 Cálculo del diseño de mezcla para resistencia 300kg/cm <sup>2</sup> .....                                     | 167 |
| Anexos 4 Fallas presentadas en los cilindros ensayados para f'c 210 Kg/cm <sup>2</sup><br>.....                        | 168 |
| Anexos 5 Fallas presentadas en los cilindros ensayados para f'c 250 Kg/cm <sup>2</sup><br>.....                        | 169 |
| Anexos 6 Fallas presentadas en los cilindros ensayados para f'c 300 Kg/cm <sup>2</sup><br>.....                        | 171 |
| Anexos 7 Diagrama de fallas de cilindros sometidos a compresión. Fuente: El<br>constructor civil (2011).....           | 172 |
| Anexos 8 Modelo de Ensayo Brasileiro Normas NBR.....   | 173 |
| Anexos 9 Modelo de Ensayo Brasileiro Norma NBR .....   | 173 |
| Anexos 10 Esfuerzos vs deslizamientos para un f'c 210 Kgf/cm <sup>2</sup> y barras de<br>1/2" .....                    | 174 |
| ANEXOS 11 Gráfico esfuerzos vs deslizamientos para un f'c 210 kg/cm <sup>2</sup> y<br>barras de 1/2" cilindro 1 .....  | 175 |
| ANEXOS 12 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un f'c 210 Kgf/cm <sup>2</sup> y<br>barras de 1/2" Cilindro 2 ..... | 175 |
| Anexos 13 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un f'c 210 Kgf/cm <sup>2</sup> y<br>barras de 1/2" Cilindro 3 ..... | 176 |
| Anexos 14 Esfuerzos vs deslizamientos para un f'c 210 Kgf/cm <sup>2</sup> y barras de<br>5/8" .....                    | 177 |
| Anexos 15 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un f'c 210 Kgf/cm <sup>2</sup> y<br>barras de 5/8" Cilindro 1 ..... | 178 |
| Anexos 16 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un f'c 210 Kgf/cm <sup>2</sup> y<br>barras de 5/8" Cilindro 2 ..... | 178 |
| Anexos 17 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un f'c 210 Kgf/cm <sup>2</sup> y<br>barras de 5/8" Cilindro 3 ..... | 179 |
| Anexos 18 Esfuerzos vs deslizamientos para un f'c 210 Kgf/cm <sup>2</sup> y barras de<br>3/4" .....                    | 180 |
| Anexos 19 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un f'c 210 Kgf/cm <sup>2</sup> y<br>barras de 3/4" Cilindro 1 ..... | 181 |
| Anexos 20 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un f'c 210 Kgf/cm <sup>2</sup> y<br>barras de 3/4" Cilindro 2 ..... | 181 |

|   |     |
|---|-----|
| Anexos 21 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un f`c 210 Kgf/cm <sup>2</sup> y barras de 3/4" Cilindro 3 ..... | 182 |
| Anexos 22 Esfuerzos vs deslizamientos para un f`c 250 Kgf/cm <sup>2</sup> y barras de 1/2" .....                    | 183 |
| Anexos 23 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un f`c 250 Kgf/cm <sup>2</sup> y barras de 1/2" Cilindro 1. .... | 183 |
| Anexos 24 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un f`c 250 Kgf/cm <sup>2</sup> y barras de 1/2" Cilindro 2 ..... | 184 |
| Anexos 25 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un f`c 250 Kgf/cm <sup>2</sup> y barras de 1/2" Cilindro 3 ..... | 184 |
| Anexos 26 Esfuerzos vs deslizamientos para un f`c 250 Kgf/cm <sup>2</sup> y barras de 5/8" .....                    | 185 |
| Anexos 27 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un f`c 250 Kgf/cm <sup>2</sup> y barras de 5/8" Cilindro 1 ..... | 186 |
| Anexos 28 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un f`c 250 Kgf/cm <sup>2</sup> y barras de 5/8" Cilindro 2 ..... | 186 |
| Anexos 29 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un f`c 250 Kgf/cm <sup>2</sup> y barras de 5/8" Cilindro 3 ..... | 187 |
| Anexos 30 Esfuerzos vs deslizamientos para un f`c 250 Kgf/cm <sup>2</sup> y barras de 3/4" .....                    | 188 |
| Anexos 31 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un f`c 250 Kgf/cm <sup>2</sup> y barras de 3/4" Cilindro 1 ..... | 189 |
| Anexos 32 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un f`c 250 Kgf/cm <sup>2</sup> y barras de 3/4" Cilindro 2 ..... | 189 |
| Anexos 33 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un f`c 250 Kgf/cm <sup>2</sup> y barras de 3/4" Cilindro 3 ..... | 190 |
| Anexos 34 Esfuerzos vs deslizamientos para un f`c 300 Kgf/cm <sup>2</sup> y barras de 1/2" .....                    | 190 |
| Anexos 35 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un f`c 300 Kgf/cm <sup>2</sup> y barras de 1/2" Cilindro 1 ..... | 190 |
| Anexos 36 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un f`c 300 Kgf/cm <sup>2</sup> y barras de 1/2" Cilindro 2 ..... | 191 |
| Anexos 37 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un f`c 300 Kgf/cm <sup>2</sup> y barras de 1/2" Cilindro 3 ..... | 191 |
| Anexos 38 Esfuerzos vs deslizamientos para un f`c 300 Kgf/cm <sup>2</sup> y barras de 5/8" .....                    | 192 |
| Anexos 39 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un f`c 300 Kgf/cm <sup>2</sup> y barras de 5/8" Cilindro 1 ..... | 193 |

|   |     |
|---|-----|
| Anexos 40 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un $f'c$ 300 Kgf/cm <sup>2</sup> y barras de 5/8" Cilindro 2 ..... | 193 |
| Anexos 41 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un $f'c$ 300 Kgf/cm <sup>2</sup> y barras de 5/8" Cilindro 3 ..... | 194 |
| Anexos 42 Esfuerzos vs deslizamientos para un $f'c$ 300 Kgf/cm <sup>2</sup> y barras de 3/4" .....                    | 195 |
| Anexos 43 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un $f'c$ 300 Kgf/cm <sup>2</sup> y barras de 3/4" Cilindro 1 ..... | 196 |
| Anexos 44 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un $f'c$ 300 Kgf/cm <sup>2</sup> y barras de 3/4" Cilindro 2 ..... | 196 |
| Anexos 45 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un $f'c$ 300 Kgf/cm <sup>2</sup> y barras de 3/4" Cilindro 3 ..... | 197 |



## INTRODUCCIÓN

El concreto es un material considerablemente pesado, el cual se obtiene mezclando, arena como agregado fino, la piedra como agregado grueso, agua y cemento; este gran peso por unidad de volumen se le puede atribuir al agregado grueso, que ha venido siendo uno de sus principales componentes, lo cual hace pensar en el diseño de elementos estructurales como vigas, columnas y sobre todo en sus fundaciones o cimentaciones, por razones sobre todo económicas, a buscar nuevas alternativas al sustituir éste agregado, por otro que permite reducir el peso en la construcción de obras civiles; logrando así, estructuras más livianas sin afectar su resistencia y otras características mecánicas.

El presente trabajo de investigación consiste en evaluar las propiedades mecánicas: resistencia a compresión, módulo de elasticidad y adherencia entre el acero de refuerzo y el concreto liviano, para ello se sustituyó la piedra picada por el Aliven (agregado liviano venezolano), para analizar la resistencia a compresión que posee este tipo de concreto y garantizar la capacidad de adherencia entre el acero de refuerzo y el concreto liviano, ya que la degradación de ésta propiedad mecánica traería como consecuencia la falla de elementos estructurales importantes en una edificación.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### I.1. El problema de la investigación.

A nivel mundial, las construcciones de obras civiles requieren de mucha tecnología y grandes habilidades para poder ofrecer soluciones a los problemas que se presentan, ya que hay una gran demanda de viviendas e infraestructuras y a las que se deben garantizar su durabilidad y resistencia frente a todo tipo de acciones o cargas sobre todo a los fenómenos naturales. Para ello los Ingenieros y los constructores, deben someter a los materiales y técnicas al cumplimiento de las exigencias, reglamentos y normas que respondan a éstas necesidades.

El concreto armado es el material disponible más importante para la construcción. Puede usarse en la mayoría de las estructuras, sean grandes o pequeñas como en edificios, viaductos, puentes, pavimentos, muros, entre otros. El concreto convencional tiene una alta resistencia a la compresión, posee gran durabilidad y va incrementando su resistencia con el paso del tiempo, esto debido a la mezcla de los agregados gruesos y finos con el agua. Fuente: McCormac (2012).

Otro tipo de concreto es el liviano formado por cemento, agua, arena y un agregado liviano por cambio del agregado grueso, el cual es de peso reducido y por lo general de baja resistencia; sin embargo, tiene amplia aplicación en muchos tipos de estructuras, donde no se requiere un concreto de alta resistencia.

En Venezuela las construcciones se rigen estricta y obligatoriamente por las normas elaboradas por los organismos competentes, en un principio estaban a cargo de estas normas, la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN 2001) y Fondo para la Norma y Certificación de la Calidad (FONDONORMA 2006). En la actualidad es el Servicio Autónomo Nacional de Normalización, Calidad, Metrología y Reglamentos Técnicos (SENCAMER), quien regula la calidad y uso de los materiales, especificando además los criterios en cuanto a los análisis (cálculo) y diseño en las obras de construcciones civiles.

Paralelamente a estas normas, existen en el mundo empresas de construcción y profesionales de la Ingeniería, que han incorporado técnicas en las que se puede utilizar el concreto liviano, por considerarlo en muchos caso más ventajoso que el convencional; tal es el caso de la empresa de Arcillas Livianas Venezolanas (ALIVEN), la cual trabaja con un material hecho de arcilla expandida producida en grandes hornos rotatorios, que se presenta en forma de pequeñas esferas livianas constituidas por una corteza vitrificada, rígida, resistente y de color pardo, cuyas características lo hacen el componente ideal para muchas aplicaciones en la industria de la construcción, donde compite, con grandes ventajas, con los agregados convencionales, por sus cualidades de liviandad (70% más que los agregados convencionales), resistente al fuego hasta 1200°C, y aislante del ruido, aislante del calor (Agregados Livianos C.A 2012).

El reglamento o norma más utilizada en estructuras o el sector construcción, es la Norma COVENIN 1753-2006, titulada: Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural, en su capítulo 3, apartado 3 literal b, hace la siguiente mención sobre los agregados del concreto estructural:

“Hasta tanto no se disponga de Normas Venezolanas para agregados livianos, se debe consultar la norma ASTM C330 o las recomendaciones del comité ACI 211.2 Excepcionalmente y con la autorización por escrito del Ingeniero Inspector, podrán usarse agregados que aun cuando no cumplan con las especificaciones de esta sección, permitan obtener un concreto de resistencia y durabilidad adecuadas, lo cual debe comprobarse previamente sea por ensayos especiales o en obras existentes con concretos y condiciones de servicio similares” (pag.21).

En base a esto se puede concluir que los agregados livianos se podrán utilizar si cumplen con la resistencia y durabilidad, y su utilización será avalada por el Ingeniero Inspector mediante la realización de ensayos, ya que en el país no se encuentran normas de dichos agregados, por lo cual se debe recurrir a normas internacionales como la American Society Of Testing Materials. (ASTM C330-1999) y el American Concrete Institute (ACI 211.2-1998). Los profesionales venezolanos se rigen por estas normas en algunas especificaciones de construcción, pero no sienten la plena seguridad en las normas de origen extranjero y su aplicabilidad en el país, debido a las condiciones de uso y diferencias entre la calidad de los materiales a utilizar en comparación con los que se dispone en Venezuela, así como también las diferentes características sísmicas y la tipología natural de falla geológica, entre otras.

De lo anterior se destaca la poca claridad en las bases legales (normativas) relacionadas con el uso del Agregado Liviano Venezolano

(ALIVEN) en la elaboración del concreto; esto genera que los Ingenieros implicados tanto en proyectos (Ingenieros Consultores) como en la construcción (Ingenieros Residentes e Inspectores) estén inseguros frente a la utilización de éste tipo de agregado como material en el diseño de la mezcla para la elaboración del concreto a emplear en sus obras y proyectos de construcción.

Una dificultad asociada, es la escasa investigación que se ha hecho para establecer fórmulas estándares para la obtención de las resistencias exigidas, diagramas de esfuerzos-deformaciones y módulo de elasticidad del concreto liviano en Venezuela.

En vista de lo anterior, en este trabajo especial de grado se tiene el propósito de analizar las propiedades mecánicas de este tipo de concreto que ayuden a determinar si el ALIVEN es aplicable para la elaboración del concreto liviano en estructuras de obras civiles.

## **I.2. Objetivos de la Investigación.**

### **I.2.1. Objetivo general:**

Evaluar las diferentes propiedades mecánicas del concreto liviano (resistencia a compresión, módulo de elasticidad y la adherencia con el acero de refuerzo) elaborado con arcillas expandidas (ALIVEN).

### **I.2.2. Objetivos específicos:**

1. Analizar la resistencia a los 28 días, mediante la realización de ensayos de compresión uniaxial, a los tres tipos de mezclas de cilindros de concreto liviano estándares de 30x15 cm.
2. Establecer una fórmula para el módulo de elasticidad del concreto liviano estructural estudiando las curvas esfuerzo-deformación en el ensayo de compresión uniaxial.
3. Caracterizar las técnicas de mediciones de la propiedad de adherencia, entre en el acero de refuerzo y el concreto liviano estructural, con las normas venezolanas e internacionales.
4. Comparar los resultados experimentales obtenidos con el concreto convencional.

### **I.3. Justificación de la investigación.**

El concreto liviano es un material muy complejo y poco estudiado, cuyas propiedades como material deberían ser estudiadas más a fondo, sobre bases teórico prácticas, para su empleo dentro del sector construcción.

La investigación a realizar nos permite analizar la factibilidad de masificar su uso en el país; ya que las construcciones de viviendas tendrían bajo peso por unidad de volumen y se obtendrían edificaciones menos pesadas, en la construcción de sub-estructuras se tendrían fundaciones directas de menor dimensión. Todo esto tanto para estructuras realizadas en sitio o bien sean prefabricadas el cual favorecería al transporte y maniobras de colocación en la ejecución en obra; esto se traduce en economía o disminución de costos, además de las magníficas cualidades que ofrece el uso de éste agregado (ALIVEN), en cuanto a su resistencia al fuego, aislante térmico y acústico. Por otra parte, las normativas elaboradas por la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) y FONDONORMA, no contemplan diferencias para el análisis y diseño estructural entre el concreto liviano con agregados de arcilla (ALIVEN) y el concreto convencional, lo que resalta otra razón más para realizar ésta investigación.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### II.1. Antecedentes de la investigación.

En la Universidad Central de Venezuela, Arellano y De Abreu (2012), realizaron un trabajo de investigación que estudiaba el comportamiento mecánico de adherencia como propiedad esencial de transmisión de los esfuerzos de tensión entre el acero de refuerzo y el concreto estructural convencional, al incorporar aceite residual del parque automotor una vez que éste haya cumplido su vida útil. Concluyendo que la adherencia entre el acero de refuerzo y el concreto estructural la muestra patrón resultó mayor con un valor de esfuerzo adherente  $65,2 \text{ Kg/cm}^2$  mientras que la muestra con porcentaje óptimo de aceite residual alcanzó un valor promedio  $58,9 \text{ Kg/cm}^2$  con una baja adherencia del 11%, pero cumple con los requisitos normativos.

Ruiz, Lorefice, Etse y Santillán (2012), realizaron un estudio sobre el fenómeno de adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo en la Universidad Nacional de Santiago del Estero, en Argentina en el Centro de Mecánica Aplicada y Estructuras (CMAE), y en la Universidad Nacional de Tucumán en este trabajo se plantea un enfoque del problema a nivel mesomecánico con el objeto de analizar explícitamente el mecanismo resistente que se desarrolla en la zona de transición interfacial entre el concreto y el acero. El criterio que se adoptó plantea el empleo de un modelo explícito que involucra tanto el acero de refuerzo como el concreto circundante y la interfase entre ambos materiales. Este modelo se evalúa mediante el análisis por elementos finitos del ensayo de arrancamiento (pull-out test) en términos de curvas esfuerzo-deformación comparándolos con los resultados numéricos con los datos generados experimentalmente.



Con el fin de estudiar el fenómeno “pull-out”, se plantearon diversas configuraciones de ensayos de extracción directa, con el objetivo de recrear una distribución uniforme de la tensión de adherencia a lo largo de una barra de acero embebida en el concreto. (Ver figura 2.1)

Rehm (1961), propuso una configuración de ensayo que consta de una probeta cúbica de concreto con una única barra de acero embebida y centrada. En este ensayo la zona adherida se encuentra en la zona central de la barra, pero presenta como inconvenientes la excesiva fricción entre la placa de apoyo y la probeta, y el desarrollo de un efecto arco que interfiere con la zona adherida de la barra.

El comité RILEM/CEB/FIP (1970) propone una modificación al ensayo propuesto por Rehm, modificando la ubicación de la zona adherida de modo de alejarla de la zona central colocando un elemento flexible para evitar la fricción entre la probeta y la placa.

Rehm y Eligehausen (1979), modifican el ensayo original de Rehm adoptando probetas cilíndricas en donde el efecto arco se reduce significativamente. Todos estos ensayos presentan en común una longitud de adherencia pequeña, y en la zona donde no se desea que se desarrollen tensiones adherentes, se aísla la barra mediante tubos plásticos o capas finas de parafina.

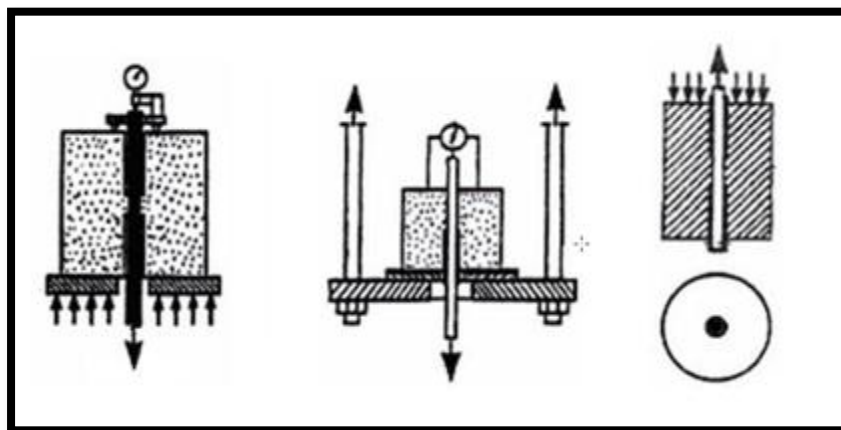


Figura 2. 1 Ensayos de extracción directa (pull-out).

a) Rehm, b) RILEM/CEB/FIP, c) Rehm y Eligehausen. Fuente: (Ruiz, 2006) Análisis mesomecánico del fenómeno de adherencia en estructuras de concreto armado

Marchan y Paredes (2009), realizaron una investigación donde compararon las propiedades físico - mecánicas del concreto liviano y concreto convencional para uso estructural. Realizaron la caracterización de los agregados con el fin de conocer las características requeridas, para seguir los procedimientos para el diseño mezclas de concreto convencional y concreto liviano, para resistencias de  $180 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $250 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $280 \text{ Kg/cm}^2$  por el método del manual del concreto estructural Joaquín Porrero. Se aplicaron ensayos de porosidad y absorción, según normas ASTM C632-88, porosidad efectiva y absorción capilar (DURAR-CYTED1998), resistencia a la compresión (COVENIN 341-79) y resistencia a la tracción por flexión. En la investigación, obtuvo que el diseño para el concreto convencional presenta mejor comportamiento físico y mecánico en comparación con el diseño para el concreto liviano, ya que en este último los resultados de porcentajes de porosidad y absorción son mayores y también presenta menores

resistencias, además de menores relaciones agua/cemento proporcionan concreto con mayor durabilidad y resistencia, de acuerdo a estos resultados.

Este trabajo brinda un aporte significativo a la presente investigación, por cuanto comprobó mediante la experimentación que el concreto convencional mantiene ventajas físico y mecánica ya que se obtiene mayores porcentajes de porosidad y absorción en comparación con el concreto liviano, por tanto se justifica esta investigación y obliga a efectuar nuevos ensayos para verificar posibles mejoras en el concreto liviano para alcanzar dichos porcentajes.

## **II.2. Concreto convencional.**

El Concreto es una mezcla de cemento, agua y áridos (piedra, grava, gravilla y arena), también se pueden agregar aditivos para mejorar algunas de las propiedades del concreto. El cemento mezclado con agua se convierte en una pasta moldeable con propiedades adherentes, que en pocas horas fragua y se endurece tornándose en un material de consistencia pétreo. Fuente: Porrero y otros (2012).

La principal característica estructural del concreto es que resiste muy bien los esfuerzos de compresión, pero no tiene buen comportamiento frente a los esfuerzos de tracción, por lo cual se colocan barras de acero dando origen al concreto armado, comportándose muy favorablemente ante las diversas sollicitaciones ya que poseen coeficientes de dilataciones térmicas similares.

### **II.2.1. Usos y ventajas del concreto convencional.**

El concreto convencional tiene una amplia utilización en las estructuras de concreto más comunes. Se emplea en cimentaciones y zapatas, losas, columnas, vigas, entrepisos, muros estructurales, entre otros. Fuente: McCormac (2012).

Las ventajas que puede proporcionar este tipo de concreto son:

- Posee una alta resistencia a la compresión.
- Requiere de poco mantenimiento.
- Se requiere mano de obra de baja calificación.
- Se puede colocar en variedades de formas, como losas, vigas y columnas.
- Para elaborar el concreto se utilizan materiales económicos (arena, grava y agua).

### **II.2.2. Propiedades del concreto fresco.**

#### ***1. Trabajabilidad.***

Según Porrero y otros (2012), es la propiedad del concreto mediante la cual se permite manejarlo sin que se produzca segregación y se determina su capacidad para ser colocado en los moldes y compactarlo adecuadamente.

El ensayo comúnmente utilizado para medir la trabajabilidad es el asentamiento, medido con el Cono de Abrams, según la Norma COVENIN 339, "Concreto. Método para la medición del asentamiento con el Cono de

Abrams”, el cual mide la consistencia o fluidez de una mezcla fresca de concreto. (Ver figura 2.2)

El Cono de Abrams presenta limitaciones, ya que es útil para concretos cuyo tamaño máximo de agregado grueso sean menores a 5 cm, y el asentamiento es medido entre un rango de 2 a 17 cm.

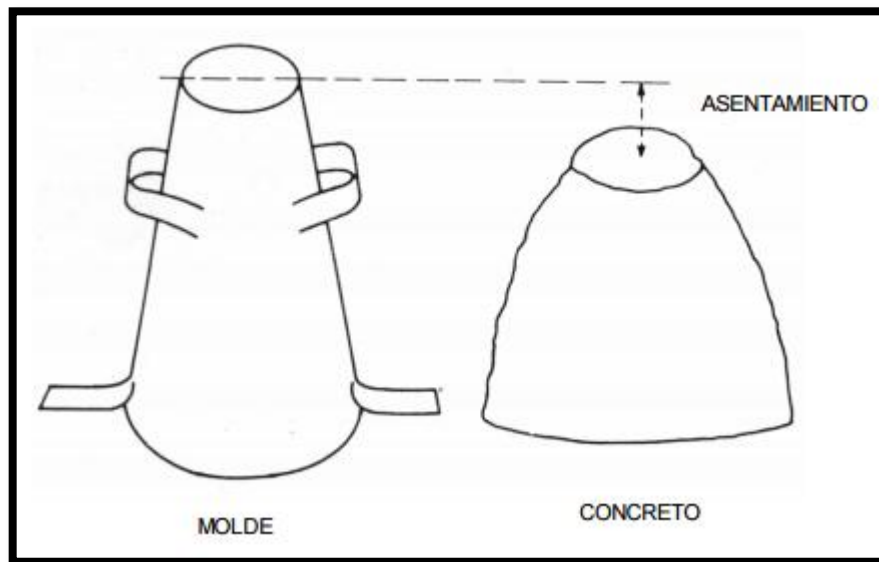


Figura 2. 2 Medición del asentamiento. Fuente: Norma COVENIN 339 (2003).

Según Sánchez (2001), los factores que influyen en la trabajabilidad son:

- Contenido de agua de mezcla.
- Fluidez de la pasta.
- Contenido de aire.
- Gradación de los agregados.
- Forma y textura superficial de los agregados.
- Condiciones de clima.

## **2. Segregación.**

Según Porrero y otros (2012), es la separación de los granos gruesos del mortero por desplazamiento o porque se asientan más que las partículas finas por acción de la gravedad, esto ocurre en mezclas secas y poco cohesivas, también puede ocurrir la separación de la pasta de la mezcla, lo cual ocurre en mezclas húmedas y muy diluidas.

Según Sánchez (2001), las causas de la segregación son:

- La diferencia en tamaño de las partículas y su distribución granulométrica.
- Densidad de los materiales y su proporción dentro de la mezcla.
- Mal mezclado.
- Transporte largo y sometido a vibración.
- Colocación inadecuada.

## **3. Exudación.**

Según Porrero y otros (2012), es la separación del agua de mezclado de los restantes componentes de la mezcla, y tiende a elevarse a la superficie del concreto recién colocado o durante el proceso de fraguado.

Según Sánchez (2001), La exudación puede ser controlada por medio del uso de aditivos inclusores de aire, cementos más finos y control del contenido de arena en su fracción más fina.

#### **4. Retracción.**

Según Porrero y otros (2012), Es la disminución del volumen que sufre el concreto con el tiempo, debido a la pérdida parcial del agua en las primeras horas y que puede llegar a producir grietas.

La retracción se hace mayor cuando aumenta la pasta, es decir, al aumentar la dosis de cemento y agua, y cuando aumenta la cantidad de ultrafino, ya que aumenta la cantidad de agua para mantener la fluidez.

### **II.2.3. Propiedades del concreto endurecido.**

#### **1. Peso Unitario.**

El peso unitario del concreto está definido como la cantidad de masa por unidad de volumen. Por lo general, el concreto convencional varía entre 2200 y 2350 kg/m<sup>3</sup>, lo cual depende del tipo y proporción de los agregados y de la cantidad de agua y cemento contenidos en la mezcla.

#### **2. Resistencia en compresión.**

Se determina por medio de pruebas a las fallas de cilindro de 15 x 30 cm de concreto a los 28 días, sin embargo se puede evaluar a diferentes edades, la etapa del endurecimiento comienza con el fraguado final del concreto y prosigue con el curado del material. Los valores obtenidos dependen de los tamaños y formas de los cilindros de prueba y la velocidad de carga. Los ensayos de compresión del concreto es la propiedad más estudiada para evaluar la calidad del concreto. Fuente: El Constructor Civil (2011).

La prueba de resistencia se realiza en una máquina de ensayo tal como se aprecia en la figura 2.3 que muestra un cilindro y las partes que hacen contacto con él en la máquina de ensayos.

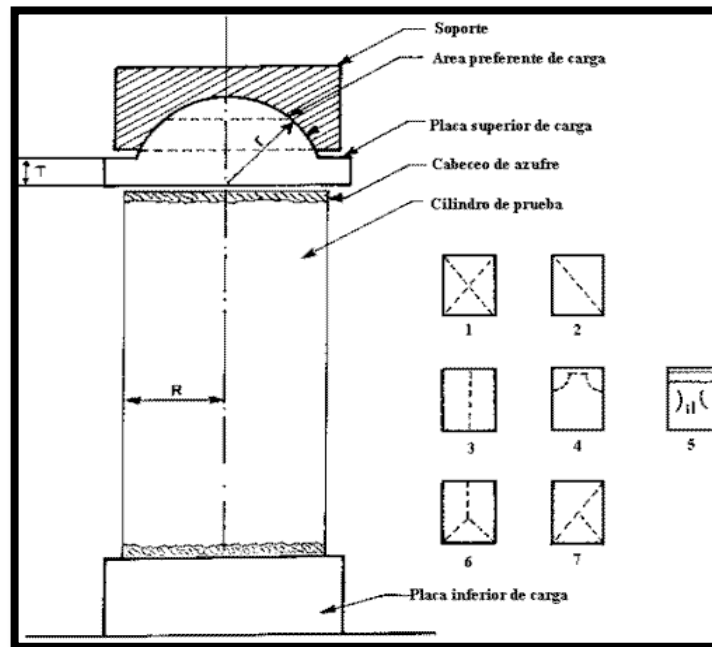


Figura 2. 3 Elementos de carga en una prueba de compresión. Fuente: El constructor civil (2011).

### 3. Deformación del Concreto Convencional.

La deformación se refiere a cualquier cambio en las dimensiones de un miembro estructural sometido a cargas por lo cual este se deforma progresivamente en función del tiempo. (Ver figura 2.4). Fuente: El Constructor Civil (2011).

La deformación que también se conoce como deformación unitaria, se obtiene dividiendo la deformación total entre la longitud original.



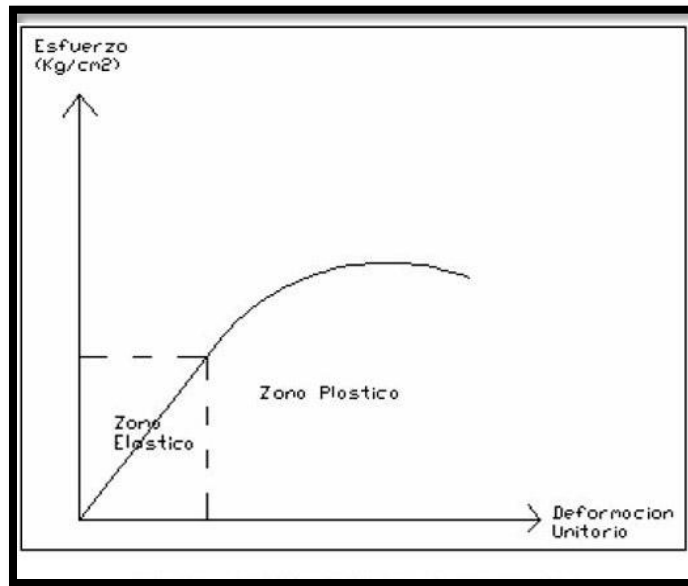


Figura 2. 4 Grafica Esfuerzo-Deformación. Fuente: Blog 360 grados en Concreto (2011).

- **Deformación elástica:** Es aquella deformación en la que el material recupera su estado original al retirar la fuerza que provoca la deformación. Esta deformación elástica puede ser de dos tipos: lineal y no lineal.
- **Deformación plástica:** Es aquella deformación que no se recupera una vez retirada la causa que la originó. La presencia de una deformación inelástica implica un cambio en la forma o dimensiones del cuerpo. Esto sucede porque, en la deformación plástica, el material experimenta cambios termodinámicos irreversibles al adquirir mayor energía potencial elástica.

#### 4. **Módulo de elasticidad.**

Según Porrero y otros (2012), el módulo de elasticidad del concreto es la relación entre la tensión aplicada y la deformación unitaria, y representa la rigidez de este material ante una carga impuesta sobre el mismo.

Según Porrero y otros (2012), los tipos de módulos de elasticidad son:

- **Módulo tangente en el origen (Eo):** Es la pendiente de la recta tangente a la curva esfuerzo-deformación en ese punto. Su expresión es:

$$E_c = \frac{2f_{max}}{\epsilon_{max}} \quad \text{Ecuación (2.1)}$$

Dónde:

$E_c$  = Módulo de elasticidad (kg/cm<sup>2</sup>).

$f_{max}$  = Esfuerzo máximo alcanzado en el diagrama (kg/cm<sup>2</sup>).

$\epsilon_{max}$  = Deformación unitaria correspondiente a  $f_{max}$ .

- **Módulo secante (Ec):** Es la pendiente de la recta y su valor es variable en cada punto y es medido por la inclinación de la recta que une el origen que pasa con dicho punto.

$$E_c = \frac{S_c - S_D}{\epsilon_c - 5 \cdot 10^{-5}} \quad \text{Ecuación (2.2)}$$

Dónde:

$S_c$  = Esfuerzo correspondiente a la carga C (kg/cm<sup>2</sup>).

$S_D$  = Esfuerzo correspondiente a una deformación unitaria longitudinal de  $5 \cdot 10^{-5}$  (kg/cm<sup>2</sup>).

$\epsilon_C$  = Deformación unitaria longitudinal por el esfuerzo  $S_C$ .

- **Módulo normativo:** Es la pendiente de la recta que une la deformación unitaria de  $5 \cdot 10^{-5}$ , con el punto sobre la curva esfuerzo-deformación correspondiente al 40% de la tensión máxima ( $f_{max}$ ). Para su determinación se emplea la Norma COVENIN 1468, "Método de ensayo para determinar el Modulo de la Elasticidad (secante) en probetas cilíndricas de concreto".

En la Norma FONDONORMA 1753-2006, "Proyecto y construcción de obras en concreto estructural", se determina el módulo de elasticidad con las siguientes expresiones:

$$E_c = 0,14 * W^{1,5} * \sqrt{f'c} \quad \text{Ecuación (2.3)}$$

Dónde:

$E_c$  = Módulo de elasticidad (kg/cm<sup>2</sup>).

$W$  = Peso Unitario.

$f'c$  = Resistencia máxima del concreto (kg/cm<sup>2</sup>).

La ecuación 2.3 es válida para valores de peso unitario entre 1440 y 2500 kg/m<sup>3</sup>.

$$E_c = 15100 * \sqrt{f'c} \quad \text{Ecuación (2.4)}$$

La ecuación 2.4 es válida para concretos con peso normal.

## **5. Velocidad de propagación de ondas en el concreto.**

La inspección por ultrasonido es un método no destructivo en el cual un conjunto de ondas de alta frecuencia son introducidas en los materiales para la detección de fallas en la superficie y sub-superficie. Las ondas de sonido viajan a través del material disminuyéndose paulatinamente y son reflejadas a la interface. Las ondas son mostradas y analizadas para definir la presencia y localización de fallas y discontinuidades. (Ver figura 2.5). Fuente: Atienza (2012).

Los materiales que se pueden ensayar son el concreto y la madera y se excluyen los metales ya que provocan irregularidades y afectan los resultados obtenidos.

Según su velocidad ultrasónica el concreto se clasifica como:

- $V > 4575$  Excelente.
- $4575 > V > 3660$  Bueno.
- $3660 > V > 3050$  Cuestionable.
- $3050 > V > 2135$  Pobre.
- $V < 2135$  Muy pobre.

Dónde:

$V =$  Velocidad (m/s).

Según Porrero y otros (2012), el ensayo consiste en medir el tiempo que tarda un pulso ultrasónico en atravesar la masa de concreto que se está evaluando, con el objetivo de determinar la condición relativa del concreto, basado en las mediciones de velocidad de pulso. La velocidad de propagación de las ondas de un pulso ultrasónico es una función de la

densidad y de las constantes elásticas del material. En elementos de concretos, las variaciones en densidad pueden ocurrir como consecuencia de una consolidación no uniforme debido a variaciones en la preparación de la mezcla o durante el curado.

La velocidad del pulso ultrasónico se calcula con la siguiente ecuación:

$$V = \frac{L}{T} \quad \text{Ecuación (2.5)}$$

Dónde:

V: Velocidad de propagación de la onda. (Km/s).

L: Base de medición (mm).

T: Tiempo ( $\mu$ s).

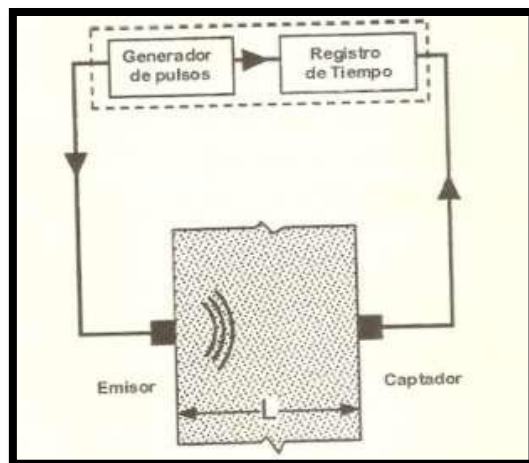


Figura 2.5 Esquema de disposición de emisor y receptor en el ensayo del pulso ultrasónico. Fuente: Porrero y otros (2012).

Manual del concreto estructural.

#### **II.2.4. Diseño de mezcla de concreto convencional.**

Según Porrero y otros (2012), el procedimiento mediante el cual se calculan las cantidades de cada uno de los componentes que intervienen en la mezcla de concreto, se conoce como diseño de mezcla, obteniendo de esta manera el comportamiento deseado, tanto en su estado plástico como posteriormente en su estado endurecido. Los principales requisitos que debe cumplir una dosificación apropiada son: economía y manejabilidad en estado fresco, así como también resistencias, aspecto y durabilidad en estado endurecido. Este método considera un grupo de variables que constituyen su esqueleto fundamental como lo son la dosis de cemento, trabajabilidad, relación agua/cemento y resistencia y estas se vinculan a través de dos leyes básicas: La Ley de Abrams y la Relación triangular.

##### **1. Resistencia promedio requerida ( $F_{cr}$ ).**

Según Porrero y otros (2012), es la resistencia media que se espera en el diseño de la mezcla, la cual depende del material utilizado. Para las especificaciones técnicas de una obra, se recomienda como medida de seguridad que esta resistencia siempre sea superior a la resistencia de cálculo del proyecto.

La diferencia entre la resistencia de cálculo y la resistencia requerida, está dada en función de la desviación estándar, si es conocida o no.

- **Desviación estándar conocida ( $\sigma$ ):** De acuerdo con la sección 5.4.2.1 de la Norma COVENIN 1753, la resistencia promedio requerida para la dosificación del concreto, será la mayor de las calculadas por las siguientes formulas:

$$F_{cr} = F'_c + 1,34\sigma \quad \text{Ecuación (2.6)}$$

$$F_{cr} = F'_c + 2,34\sigma - 35 \text{ Kg/cm}^2 \quad \text{Ecuación (2.7)}$$

$$F_{cr} = 0,9 F'_c + 2,34\sigma \quad \text{Ecuación (2.8)}$$

- **Desviación estándar no conocida ( $\sigma$ ):** Si no se dispone de un registro de ensayos, el cual permita determinar la desviación estándar se podrá realizar una estimación en función del grado de control que se requiera y del nivel de resistencia. En la tabla 2.1 se presenta tal estimación:

Tabla 2.1 Resistencia promedio a la compresión requerida. (Porrero, 2012)  
Manual del concreto estructural.

| RESISTENCIA<br>ESPECIFICADA A LA<br>COMPRESIÓN $F_c$<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | RESISTENCIA REQUERIDA A LA COMPRESIÓN<br>$F_{cr}$ (kgf/cm <sup>2</sup> ) |                                  |                           |
|--|--|----------------------------------|---------------------------|
|  | CONTROL DE CALIDAD<br>EXCELENTE  | CONTROL DE CALIDAD<br>INTERMEDIO | SIN CONTROL DE<br>CALIDAD |
|  | Menor de 210 <sup>(2)</sup>  | $F_c + 45$                       | $F_c + 80$                |
| De 210 a 350   | $F_c + 60$   | $F_c + 95$                       | $F_c + 170$               |
| Más de 350   | $F_c + 75$   | $F_c + 110$                      | $F_c + 210$               |

## 2. Ley de Abrams.

- **Relación Agua Cemento:** Según Porrero y otros (2012), esta ley establece la correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia del concreto en peso, que se conoce con el símbolo de “ $\alpha$ ” y se representa con la ecuación 2.9.

$$\alpha = a/C \quad \text{Ecuación (2.9)}$$

Dónde:

a = La cantidad de agua en litros o kilogramos fuerza.

C = La dosis de cemento en kilogramos fuerza.

Para determinar la resistencia se realiza mediante la ecuación 2.10.

$$R = M/N^{\alpha} \quad \text{Ecuación (2.10)}$$

Dónde:

R: es la resistencia media esperada (kg/cm<sup>2</sup>).

“M y N”: son constantes que dependen de las características de los componentes de la mezcla y la edad de ensayo.

Tomando logaritmos en la ecuación 2.10 queda de la siguiente manera:

$$\text{Log} R = \text{Log} M - \alpha * \text{Log} N \quad \text{Ecuación (2.11)}$$

Según Porrero y otros (2012), de un amplio conjunto de ensayos sobre mezclas elaboradas con cemento portland tipo I, agregados grueso triturado de 25,4 mm de tamaño máximo y arena natural, se obtienen buenos ajustes con las siguientes fórmulas para las edades de ensayo de 7, 28 y 90 días.

$$R_7 = 861,3/13,1^{\alpha} \quad \text{Ecuación (2.12)}$$

$$R_{28} = 902,5/8,69^{\alpha} \quad \text{Ecuación (2.13)}$$

$$R_{90} = 973,1/7,71^{\alpha} \quad \text{Ecuación (2.14)}$$



Para el diseño de la mezcla que se requiere se despeja  $\alpha$ , y se elige una de estas fórmulas dependiendo de la edad a ensayar.

- **Correcciones de la relación agua/cemento:** Se realizan correcciones debido a la variabilidad de los agregados en su tamaño máximo y por su tipo, para ello se utilizan tablas que nos permiten minimizar estas variaciones. Fuente Porrero y otros (2012).

Tabla 2.2 Factores para corregir  $\alpha$  por Tamaño Máximo, mm (pulgada).  
Porrero y otros (2012). Manual del concreto estructural.

|              |       |       |       |       |      |         |      |         |      |
|--------------|-------|-------|-------|-------|------|---------|------|---------|------|
| TAMAÑO       | 6,35  | 9,53  | 12,7  | 19,1  | 25,4 | 38,1    | 50,8 | 63,5    | 76,2 |
| MÁXIMO       | (1/4) | (3/8) | (1/2) | (3/4) | (1)  | (1 1/2) | (2)  | (2 1/2) | (3)  |
| FACTOR $K_R$ | 1,60  | 1,30  | 1,10  | 1,05  | 1,00 | 0,91    | 0,82 | 0,78    | 0,74 |

Tabla 2.3 Factores para corregir  $\alpha$  por tipo de agregado. Porrero y otros (2012). Manual del concreto estructural.

|                 | GRUESOS |            |                |                              |
|-----------------|---------|------------|----------------|------------------------------|
| FINOS           |         | TRITURADOS | SEMITRITURADOS | CANTO RODADO (GRAVA NATURAL) |
| Arena natural   |         | 1,00       | 0,97           | 0,91                         |
| Arena triturada |         | 1,14       | 1,10           | 0,93                         |

### 3. Relación Triangular.

Según Porrero y otros (2012), es una expresión que relaciona la manejabilidad o trabajabilidad, medida como el asentamiento mediante el cono de Abrams, esta puede considerarse como una de las propiedades más representativas del concreto en estado fresco, con dos parámetros claves

dentro del diseño de mezclas que son: la relación agua/ cemento y la dosis de cemento.

La relación triangular se expresa de la siguiente manera:

$$C = K * T^n / \alpha^m \quad \text{Ecuación (2.15)}$$

Donde

C = Dosis de Cemento (Kgf/m<sup>3</sup>).

T = Asentamiento en el cono de Abrams (cm).

$\alpha$  = es la relación agua/cemento en peso.

“k, m y n”: Son constantes que dependen de las características y condiciones de los materiales utilizados en la mezcla.

Para los agregados gruesos triturado de 25,4 mm de tamaño máximo y arena natural (ambos en condición de saturado con superficie seca) y cemento Portland Tipo I se obtienen buenos ajustes con:

$$C = 117,2 * T^{0,16} / \alpha^{1,3} \quad \text{Ecuación (2.16)}$$

Tomando logaritmos en la ecuación 2.16 queda de la siguiente manera:

$$\text{Log } C = 2,069 * 0,16 \text{ Log } T - 1,3 \text{ Log } \alpha \quad \text{Ecuación (2.17)}$$

Donde T esta expresada en (cm), esta fórmula se representa en la figura 2.6, el cual puede usarse para el diseño, a fin de obtener la dosis de cemento requerida.

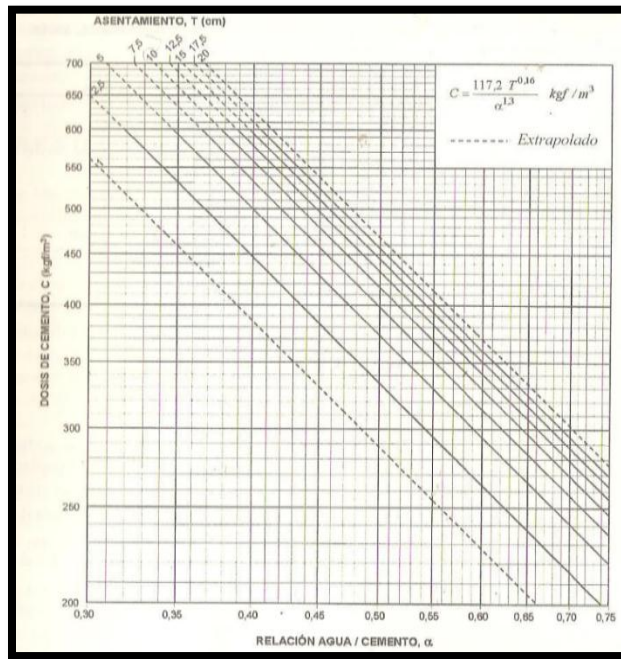


Figura 2.6 Relación entre la trabajabilidad (T), el contenido de cemento (C) y la relación agua/cemento ( $\alpha$ ). (Porrero, 2012) Manual del concreto estructural.

Para entrar al gráfico se utiliza el valor de  $\alpha$  ya calculado con la ecuación 2.9 y el valor de asentamiento T que se selecciona por experiencia o tomando valores guía como lo expresa la tabla siguiente:

Tabla 2.4 Valores usuales de Asentamiento con el Cono de Abrams. (Porrero, 2012) Manual del concreto estructural.

| ELEMENTO                               | RANGOS DE ASENTAMIENTO (cm) |
|--|-----------------------------|
| Prefabricados                          | Nulo-6                      |
| Fundaciones ciclópeas                  | 3-8                         |
| Pedestales, muros de fundación armados | 4-8                         |
| Pavimentos                             | 5-8                         |
| Losas, vigas, columnas, muros de corte | 6-11                        |
| Paredes estructurales delgadas         | 10-18                       |
| Transportado por bombeo                | 6-18                        |
| Autonivelante                          | Mayor de 18                 |

- **Correcciones del cemento:** Para corregir la dosis de cemento a utilizar, se puede hacer por medio de factores C1 y C2, siendo C1 el factor de corrección del tamaño máximo y C2 es el factor de corrección dependiendo del tipo de agregado. Fuente Porrero y otros (2012).

Tabla 2.5 Factores para corregir C por Tamaño Máximo, mm (Pulgadas).  
Porrero y otros (2012). Manual del concreto estructural.

|                       |       |       |       |       |      |         |      |         |      |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|------|---------|------|---------|------|
| TAMAÑO                | 6,35  | 9,53  | 12,7  | 19,1  | 25,4 | 38,1    | 50,8 | 63,5    | 76,2 |
| MÁXIMO                | (1/4) | (3/8) | (1/2) | (3/4) | (1)  | (1 1/2) | (2)  | (2 1/2) | (3)  |
| FACTOR C <sub>1</sub> | 1,33  | 1,20  | 1,14  | 1,05  | 1,00 | 0,93    | 0,88 | 0,85    | 0,82 |

Tabla 2.6 Factor para corregir C por tipo de agregado. Porrero y otros (2012).  
Manual del concreto estructural.

| FINOS \ GRUESOS | GRUESOS    |                |                                 |
|-----------------|------------|----------------|---------------------------------|
|                 | TRITURADOS | SEMITRITURADOS | CANTO RODADO<br>(GRAVA NATURAL) |
| Arena natural   | 1,00       | 0,93           | 0,90                            |
| Arena triturada | 1,28       | 1,23           | 0,96                            |

### II.3. Concreto liviano.

Se designa convencionalmente como Concretos livianos a aquellos que tienen un peso unitario entre 1500 y 1900 Kg/m<sup>3</sup>, su mezcla se prepara con agregados livianos. Fuente: Valdez (2010).

El concreto liviano posee una baja conductividad térmica que permite reducir su densidad, y posee una mayor resistencia al fuego que el concreto convencional.

Según Molina (2002), Concretos livianos son:

“Aquellos que poseen características propias, que mediante métodos en el proceso de su elaboración se ha hecho más ligero que el hormigón convencional de cemento, grava y arena, el cual durante muchos años ha sido empleado como el material principal en el área de la construcción. El Concreto liviano fue clasificado e identificado durante mucho tiempo por la densidad que este presenta, debido a que esta es inferior a  $2400 \text{ kg/m}^3$  que es la densidad con la que fluctúa el hormigón normal. La característica más evidente del Concreto Liviano es, por supuesto su densidad, la cual es considerablemente menor que la del Concreto normal o convencional y con frecuencia es una fracción de la misma”. (pág. 19).

### **II.3.1. Clasificación del concreto liviano.**

El concreto liviano es muy ventajoso para reducir la carga muerta y así se tiene mayor rapidez en la construcción y menores costos de transporte cuando se trata de concreto prefabricado, además, es muy ahorrativo en el tiempo de ejecución en la obra. Fuente: Valdez (2010).

Las mezclas del concreto de peso liviano se pueden diseñar para lograr resistencias similares a las que ofrece el concreto de peso convencional y proporcionan un factor de resistencia-peso muy aceptable.

Según Valdez (2010) el Concreto liviano se clasifica en:

- Concreto liviano aislante.  
Peso volumétrico seco: 300 a 800 kg/m<sup>3</sup>.  
Resistencia a compresión: menor de 70kg/cm<sup>2</sup>.
- Concreto liviano de resistencia moderada.  
Peso volumétrico seco: 800 a 1400 kg/m<sup>3</sup>.  
Resistencia a compresión: 70kg/cm<sup>2</sup> a 175 kg/cm<sup>2</sup>.
- Concreto liviano estructural:  
Peso volumétrico seco: 1400 a 1900 kg/m<sup>3</sup>.  
Resistencia a compresión: mayor o igual a 175kg/cm<sup>2</sup>.

### **II.3.2. Ventajas y desventajas del concreto liviano.**

Según Valdez (2010), las ventajas de este tipo de concreto son:

- Posee una baja densidad y bajo módulo de elasticidad.
- Buena aislación térmica y acústica.
- Fraguado uniforme y controlado.
- La colocación y acabado son más económicas.
- Tienen una gran resistencia al fuego.
- Regularn la humedad del ambiente.

Según Valdez (2010), las desventajas de este tipo de concreto son:

- Se pueden producir mayores deformaciones.

- Debido a su gran absorción, no se puede determinar el grado de incidencia en la relación de agua-cemento y presentan problemas de corrosión del hierro.
- Los agregados livianos suelen ser más caros.

### **II.3.3. Diseño de mezcla del concreto liviano estructural.**

Según Porrero y otros (2012), para el diseño no se suelen emplear fórmulas de carácter general, sino “recetas” que proporcionan los productores o distribuidores de agregados livianos. La razón se debe, en gran parte a la variabilidad dentro de los agregados.

El ensayo de asentamiento que se realiza con el Cono de Abrams resulta poco sensible debido al peso del material.

Según Porrero y otros (2012), los agregados se deben usar en condición saturada para que no absorban parte del agua de la mezcla, y tienden a flotar en la pasta de cemento por su bajo peso unitario.

### **II.4. Arcillas expandidas (ALIVEN).**

El ALIVEN es un material de construcción elaborado con arcillas expandidas que tiene su origen en la roca sedimentaria impermeable cuyas propiedades físico-químicas depende de su estructura y de su tamaño, son producida en grandes hornos rotatorios en un proceso de secado a una temperatura de 1150°C y que se transforma en pequeñas esferas resistentes de diferente tamaño y de color pardo que encierra una estructura alveolar porosa de color gris. (Ver figura 2.7) Fuente: Agregados Livianos C.A. (2012).

Por estas características el ALIVEN, para algunos profesionales, es un componente ideal para la industria de la construcción, que reemplaza con ventajas a los agregados convencionales usados para fabricar concreto.



Figura 2.7 Arcilla natural al inicio del proceso. Fuente: Folleto Agregados Livianos C.A (2012).

#### **II.4.1. Proceso de producción del ALIVEN. Fuente: Agregados Livianos C.A. (2012).**

- Hornos rotatorios de agregados livianos, C.A.

A finales del siglo XIX apareció en Gran Bretaña el horno rotatorio, principalmente para la producción del cemento. Las arcillas expandidas se hacen en este tipo de horno con una longitud de 59 m y unos 3.9 m de diámetro.

El proceso de fabricación de agregados livianos en horno rotatorio consiste primero en pasar la arcilla cruda por un proceso de trituración y laminación que homogeniza el tamaño de las partículas, para ser mezclado con aditivos, de ahí pasa a un silo horizontal de maduración donde permanece durante 5 días cuando entra en los grandes hornos rotatorios, la



muestra se pasa a la zona de temperatura, se quema y después es removida rápidamente del horno y con el movimiento helicoidal se forman las esferas del ALIVEN que una vez enfriado, pasa a un proceso de selección y clasificación. (Ver figura 2.8)



Figura 2. 8 Hornos rotatorios de agregado liviano. Fuente: Folleto Agregados Livianos C.A (2012).

#### II.4.2. Características y ventajas del ALIVEN.

- **Es liviano:**

La propiedad fundamental del ALIVEN es la liviandad, la cual llega a una densidad de  $300 \text{ Kg/m}^3$  en la arcilla expandida en comparación a la densidad de  $1500 \text{ Kg/m}^3$  de la arcilla natural. (Ver figura 2.9) Fuente: Agregados Livianos C.A. (2012).



Figura 2. 9 Pellas de ALIVEN. Fuente: Folleto Agregados Livianos C.A (2012).

- **Es aislante térmico:**

Esta importante propiedad del ALIVEN proviene del aire que tiene una baja conductividad térmica y un bajo coeficiente de absorción a la radiación, el aire está contenido en la constitución porosa del ALIVEN. Conductividad térmica promedio =  $0.099 \text{ W/m}^2\text{ok} / \text{o}=\text{grado}$ . Fuente: Agregados Livianos C.A. (2012).

- **Es aislante acústico:**

La estructura porosa del ALIVEN disminuye las vibraciones de los ruidos de impacto que se propagan a bajas frecuencias ya que dicho ALIVEN tiene un gran comportamiento como aislante acústico. Fuente: Agregados Livianos C.A. (2012).

- **Posee una gran resistencia mecánica:**

El ALIVEN posee un excelente comportamiento a la compresión y a la tracción, debido a su estructura esférica y alcanza una resistencia de hasta  $300 \text{ Kg/cm}^2$  en concretos estructurales livianos. Fuente: Agregados Livianos C.A. (2012).

- **Tiene una gran durabilidad:**

El ALIVEN es altamente resistente a los cambios de temperatura, es un material que físicamente no se degrada, es neutro, no desprende gases ni malos olores y no es atacable por parásitos, hongos o roedores. Fuente: Agregados Livianos C.A. (2012).

- **Tamaño máximo:**

El tamaño máximo de la fracción gruesa de los agregados livianos suele variar entre 19,05 mm y 12,7mm. El tamaño máximo influye, entre otros aspectos, en el peso total del concreto, y en la trabajabilidad de la mezcla. No es usual la producción de agregado con tamaño máximo superior a 1" (25,4 mm) por dificultades técnicas en la expansión y por la baja resistencia del agregado. Fuente: Agregados Livianos C.A. (2012).

En los concretos estructurales livianos a medida que aumenta el tamaño de la partícula, el módulo de elasticidad, la resistencia y la densidad de esa partícula disminuyen para los agregados livianos y por eso que se limita el tamaño de la partícula a unos 25mm aproximadamente.

Sin embargo, para obtener concretos de resistencia relativamente alta es conveniente disminuir el tamaño máximo de la partícula y aumentar la proporción del agregado fino (arena) aun cuando aumente la densidad del concreto, y si la sustitución de parte de los agregados finos livianos es por arena natural, mejora considerablemente las propiedades del concreto.

- **Forma:**

La forma de la arcilla expandida del agregado liviano para el concreto estructural, depende fundamentalmente del proceso de obtención por procedimiento de horno rotatorio y la materia suele tener forma redondeada y no presenta estructuras porosa tan externa. Fuente: Agregados Livianos C.A. (2012).

- **Peso unitario:**

El peso unitario de los agregados livianos para uso estructural es de 1800kg/m<sup>2</sup>, lo cual es un 35% menor que el peso de un concreto elaborado con agregado convencional. Fuente: Agregados Livianos C.A. (2012).

- **Peso específico:**

Una de las características del Concreto Liviano es que tiene menor peso específico que el concreto convencional, pero se entiende por peso específico del Concreto Liviano estructural aquel cuyas proporciones han establecido para una resistencia a compresión igual a mayor a 200 Kg/cm<sup>2</sup>. Fuente: Agregados Livianos C.A. (2012).

#### **II.4.3. Aplicaciones del agregado liviano de arcilla expandida ALIVEN utilizado en Venezuela.**

EL ALIVEN es un material muy utilizado para la fabricación de productos, tales como: bloques, paneles, losas, concreto estructurales y no estructurales, pavimento asfáltico, entre otros. Fuente: Agregados Livianos C.A. (2012).

Los bloques son elementos prefabricados que poseen bajo peso, gran resistencia y es aislante del ruido, del calor y de temperaturas extremas. (Ver figura 2.10).

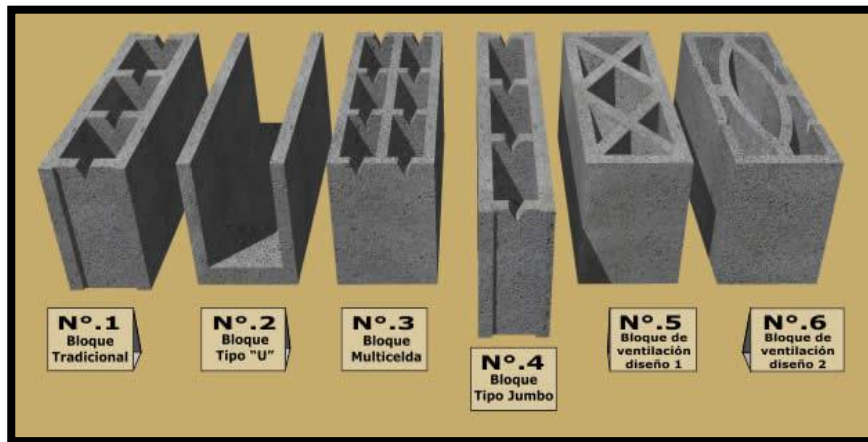


Figura 2.10 Bloques de concreto ALIVEN. Fuente: Folleto Agregados Livianos C.A (2012).

Los paneles son elementos prefabricados de bajo peso, con mayor rendimiento de transporte, es resistente al fuego, tiene una fácil y rápida colocación y son buenos aislantes térmicos y acústicos. (Ver figura 2.11).



Figura 2.11 Paneles livianos aislante. Fuente: Folleto Agregados Livianos C.A (2012).

Otro de los productos importantes elaborado por ALIVEN es la losa, un sistema muy ventajoso, fabricado con concreto de 5cm de espesor, consiste en un sistema de placa para entresijos y techos de edificaciones unifamiliares y multifamiliares.

La losa es elaborada mediante nervios prefabricados de manera longitudinal, dejando vacíos en forma paralela e intermedia para ser ocupados por bloques llamados piñata elaborados con el mismo material. (Ver figura 2.12).



Figura 2.12 Vaciado de una losa nervada con bloques ALIVEN. Fuente: Folleto Agregados Livianos C.A (2012).

Los pavimentos asfáltico mezclado con ALIVEN es un pavimento más flexible, de gran durabilidad y resistencias, debido a esto, dichos pavimentos poseen mayor seguridad, economía y rendimiento. (Ver figura 2.13)



Figura 2.13 Pavimento Asfáltico ALIVEN. Fuente: Folleto Agregados Livianos C.A (2012).

## **II.5. Esfuerzo de adherencia en barras de refuerzo.**

La capacidad de agarre entre materiales distintos, considerando la fricción entre los mismos, es considerada como adherencia, entre los ejemplos de adherencia podemos encontrar la que ocurre entre el cemento y los agregados, entre el mortero y el concreto, entre el concreto y las armaduras u otras superficies contra las cuales se coloca.

La adherencia permite que dos materiales trabajen juntos y los esfuerzos se transmitan del uno al otro. El esfuerzo de adherencia entre el acero y el concreto, varía a lo largo de la longitud de la barra, ya que esto depende del tipo de cabilla a usar (lisa o estriada). Fuente: Vera (2002), asimismo se ha observado que la falla final, se puede producir por:

- Rotura de la barra.
- Agrietamiento longitudinal del concreto.
- Corte a lo largo del concreto.

El agrietamiento longitudinal, así como el corte en el concreto conducen a una eventual pérdida de adherencia entre el concreto y la barra de acero con el consecuente deslizamiento de la misma, lo que origina la falla por deslizamiento en miembros de concreto armado.

La adherencia permite que el acero tome los esfuerzos de tracción, manteniendo la unión entre los dos materiales en las zonas entre fisuras, para asegurar el anclaje de las barras y transmitir las tensiones tangenciales periféricas que se producen en la armadura principal.

Dado que una de las principales hipótesis de cálculo de las estructuras de concreto armado se basa en la perfecta adherencia entre el concreto y

acero, es claro que el estudio del problema de adherencia es de fundamental importancia en el ámbito de la Ingeniería Civil, sobre todo considerando los factores que afectan el mecanismo de transferencia de carga entre ambos materiales, ocasionando pérdida de capacidad portante, reducción del grado de seguridad y durabilidad de las estructuras de concreto armado.

## **II.6. Caracterización de la adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo.**

Se incluye a continuación una revisión de los principales tipos de ensayos para caracterizar y cuantificar el fenómeno de adherencia, entre los cuales están el método de ensayo de arrancamiento (*pull-out test*), el ensayo de adherencia en vigas (*beam test*), las normas brasileñas NBR y el “Método de ensayo para la determinación de valores comparativos de la adherencia desarrollada entre el concreto y el acero usado como refuerzo (método de extracción)”.

### **II.6.1 Ensayo de arrancamiento “pull-out”**

Método normalizado del ensayo *pull-out* y *beam test* en Europa fue propuesto por la RILEM/CEB/FIP (1970), consta de una probeta cubica o cilíndrica de concreto con una única barra de acero embebida y centrada. En los ensayos *pull-out* generalmente la longitud adherente se sitúa en el centro de la probeta, algunas veces relacionadas con el diámetro de la barra o simplemente un valor constante.

El ensayo presenta una longitud de adherencia pequeña, y en la zona donde no se desea que se desarrollen tensiones adherentes, se aísla la barra mediante tubos plásticos o capas finas de parafina.



Como resultado de este ensayo se obtiene la fuerza necesaria que se aplica para romper la adherencia de una barra en una probeta de concreto, así como también los diagramas que relacionan la tensión de adherencia local y el desplazamiento de la barra en el extremo opuesto al que se aplica la carga. Fuente: Vera (2002).

### **II.6.2 Ensayo de adherencia en vigas, (*beam test*). Fuente: UNE 36748:98**

Este ensayo es utilizado por la Instrucción Española EHE (1998) norma UNE 36748:98, para determinar las características de adherencia de barras corrugadas empleadas como armadura pasiva en estructuras del concreto.

Formado por una viga de dos bloques paralelepípedos unidos mediante una rótula metálica en la parte superior y mediante la barra a ensayar en su parte inferior. La rótula garantiza que la resultante de la tensión del concreto pase por ese punto, de esta forma es posible calcular las tensiones en el acero.

El ensayo consiste en aplicar dos cargas puntuales simétricas sobre una viga biapoyada hasta la rotura total de la adherencia midiendo el deslizamiento en ambos extremos de la barra respecto a la superficie de concreto. La zona no adherente se obtiene mediante la colocación de manguitos de plástico alrededor de la barra. La zona adherida, de dimensiones igual a diez veces el diámetro de la barra, se sitúa en el centro de cada bloque. Tanto las dimensiones de la viga como de la rótula superior dependen del diámetro de la barra a ensayar.

La barra objeto de ensayo tiene un confinamiento elevado debido a la armadura transversal, este ensayo nos da como resultado diagramas tensión de adherencia – deslizamiento. (Ver figura 2.14).

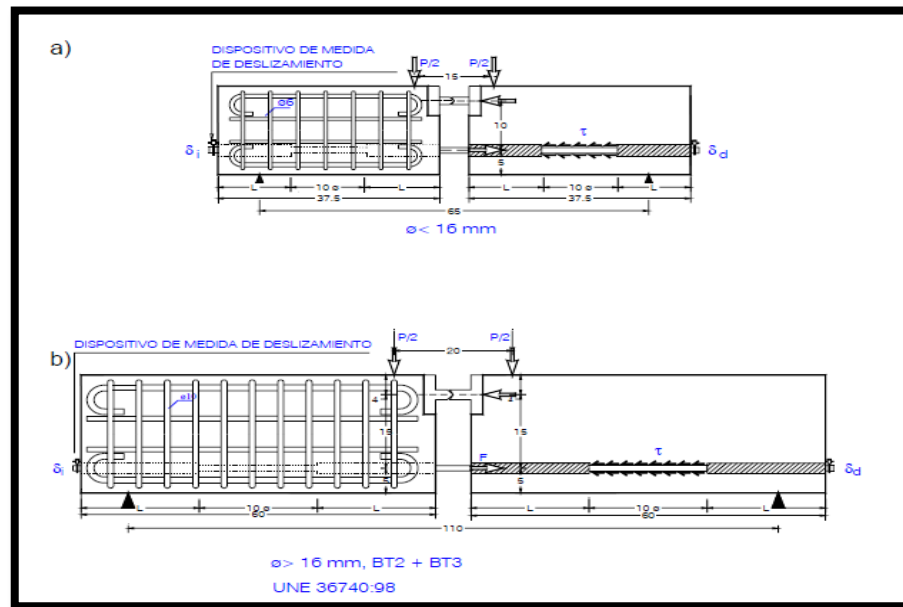


Figura 2. 14 Ensayo tipo beam test para la homologación de la adherencia en barras corrugadas. Fuente: Norma Española UNE 7436 (1982).

### II.6.3. Ensayo de arrancamiento (pull-out test) (NBR: 7211-1983 “Determinación de las propiedades mecánicas a tracción – Método de ensayo”). Fuente: NBR 7211:1983

Cabe destacar que las normas brasileñas no tienen una normativa establecida para el ensayo de adherencia; sin embargo se basan en el ensayo NBR 7211:1983. Para la disposición del ensayo se utilizan barras de acero envueltas en cuerpos de prueba de concreto con determinada longitud de adherencia siendo medido el desplazamiento de la barra de acero en relación al cuerpo de prueba de concreto.

El tamaño y la forma del cuerpo de prueba son proporcionales al diámetro de la barra de acero y al trecho de longitud de adherencia (ld) de la barra. Para obtener simetría en los ensayos cíclicos alternados, la longitud de adherencia (ld) se sitúa en el tercio medio de la longitud total del cuerpo de prueba de concreto. (Ver Anexo 8).

Se presenta el montaje de la máquina universal de ensayos mecánicos, servo-hidráulica, controlada por computador y la instrumentación para los ensayos de arrancamiento y ensayos cíclicos alternados.

El cuerpo de prueba está confinado entre dos placas de acero garantizando el desplazamiento de la barra en las dos direcciones. La carga aplicada a los modelos de arrancamiento monotónico y cíclico alternado fue calculada de acuerdo con el diámetro de las barras de acero

Para los ensayos cíclicos se realizaron varios ciclos alternados con carga constante, seguidos por otro número de ciclos constantes pero de mayor intensidad. A partir de ese momento, se aumentan los ciclos de carga paulatinamente hasta alcanzar la falla del cuerpo de prueba. (Ver anexo 9).

#### **II.6.4 Ensayo para la determinación de la adherencia desarrollada entre el concreto y el acero usado como refuerzo. Fuente: Norma COVENIN (1668-80).**

En Venezuela, el ensayo para determinar la adherencia entre el acero y el concreto se rige según la norma Venezolana COVENIN 1667-80, “Método de ensayo para la determinación de valores comparativos de la adherencia desarrollada entre el concreto y el acero usado como refuerzo (método de extracción)”

Esta Norma establece el método de ensayo para determinar los efectos que producen las variaciones en las propiedades del concreto, producen sobre la adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo. (Ver figura 2.15)

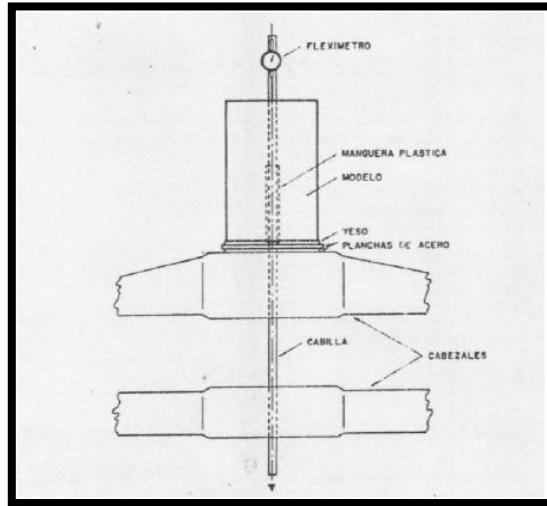


Figura 2. 15 Máquina universal de ensayos. Fuente: Norma COVENIN 1667 (1980).

La probeta para el ensayo es de compleja elaboración, ya que se debe fijar la longitud de desarrollo de adherencia entre el acero y el concreto que siempre es menor a 30 cm (ver figura 2.16) (el alto de la probeta cilíndrica de concreto), además se debe evitar el contacto entre la cabilla de acero y en concreto utilizando mangueras plásticas colocadas entre los dos materiales, para luego colocar acero de refuerzo transversal que genere el confinamiento de la mezcla con la colocación de un zuncho que envuelva la probeta.

| DIAMETRO DE LA BARRA |         | LONGITUD DE ADHERENCIA (L <sub>a</sub> ) | ALTURA DE LA PROBETA (h) | DIAMETRO DE LA PROBETA (D) | DIAMETRO DE LA HELICE (d) |
|----------------------|---------|--|--------------------------|----------------------------|---------------------------|
| mm                   | Pulg    | Cm                                       | Cm                       | Cm                         | Cm                        |
| 9,52                 | (3/8)   | 14,3                                     | 30                       | 15                         | 12                        |
| 12,70                | (1/2)   | 19,0                                     | 30                       | 15                         | 12                        |
| 15,87                | (5/8)   | 23,8                                     | 30                       | 15                         | 12                        |
| 19,05                | (3/4)   | 28,6                                     | 40                       | 20                         | 17                        |
| 22,22                | (7/8)   | 33,3                                     | 40                       | 20                         | 17                        |
| 25,40                | (1)     | 38,1                                     | 50                       | 25                         | 22                        |
| 28,65                | (1.1/8) | 43,0                                     | 50                       | 25                         | 22                        |
| 32,25                | (1.1/4) | 48,4                                     | 60                       | 30                         | 27                        |
| 35,81                | (1.3/8) | 53,7                                     | 60                       | 30                         | 27                        |

Figura 2. 16 Longitud de Adherencia y Refuerzo Transversal. Fuente: Norma COVENIN 1667 (1980).

Con la correcta elaboración de la probeta y la debida colocación del extensómetro sobre la probeta cilíndrica. Ver figura 2.17, Los resultados arrojados por la máquina de ensayo universal, serán los esperados y se disminuirá el porcentaje de error que se puede producir en el manejo de los equipos.

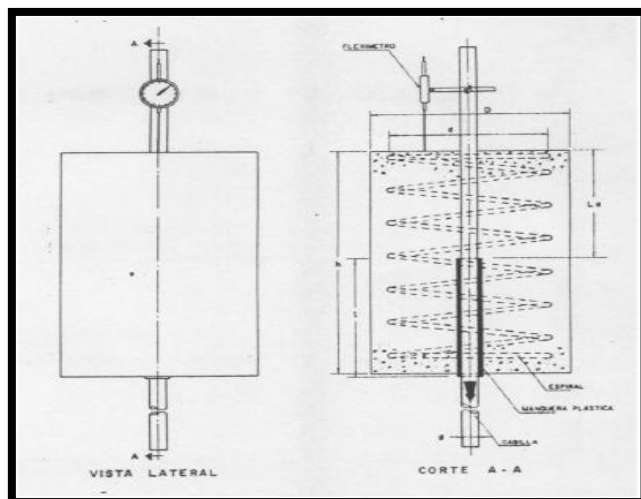


Figura 2.17 Colocación del extensómetro usado en los ensayos de adherencia. Fuente: Norma COVENIN 1667 (1980).

## II.7. Mecanismo de pérdida de adherencia.

Según Bresler y Bertero (1976), el mecanismo de pérdida de adherencia bajo cargas repetidas, es una falla en las capas de concreto adyacente al acero de refuerzo. Esta falla ocurre cuando el esfuerzo alcanza un valor crítico generando la fractura local y la deformación inelástica en el concreto. El daño en las capas de concreto que rodean la barra de refuerzo causado por las cargas anteriores tiende a acumularse y son irreversibles. Una vez que la barra de refuerzo experimenta esfuerzos reversibles, se generan nuevos daños, resultando una nueva pérdida de adherencia. (Ver figura 2.18)

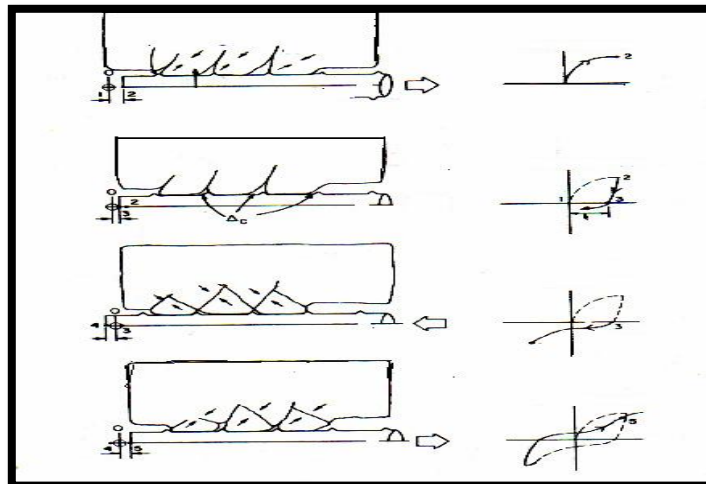


Figura 2.18 Mecanismo de resistencia de adherencia. Fuente: Bertero, Popov y Shao, (1976) Experimental and Analytical Studies on the Hysteretic Behavior of Reinforced Concrete Rectangular and T-Beams.

Cuando la barra de refuerzo es sometida a una fuerza, las grietas se inician en el concreto alrededor de la punta de las corrugaciones de la barra debido a una concentración de esfuerzos. La fuerza transferida de la barra de refuerzo al concreto adyacente es provista principalmente por la acción de

cuña en los nervios de la barra, causando compresión en el concreto, formando grietas en forma de “dientes” y en menor grado, por la fricción entre el concreto y el acero. Fuente: Vera (2002).

Debido a la aplicación de cargas reversibles se desarrollan grietas internas en el concreto. Cuando los nervios de las barras de refuerzo hacen contacto con el concreto adyacente, las grietas desarrolladas previamente se cierran, sin embargo, debido al incremento de la carga, se desarrolla un nuevo conjunto de grietas transversales en dirección del esfuerzo principal de tracción, normal al conjunto de grietas previas. Si la carga aplicada o la deformación durante la reversión de las cargas son suficientemente grande, algunas grietas transversales podrían unirse con las grietas formadas previamente. Esto se ve reflejado en la figura 2.19.

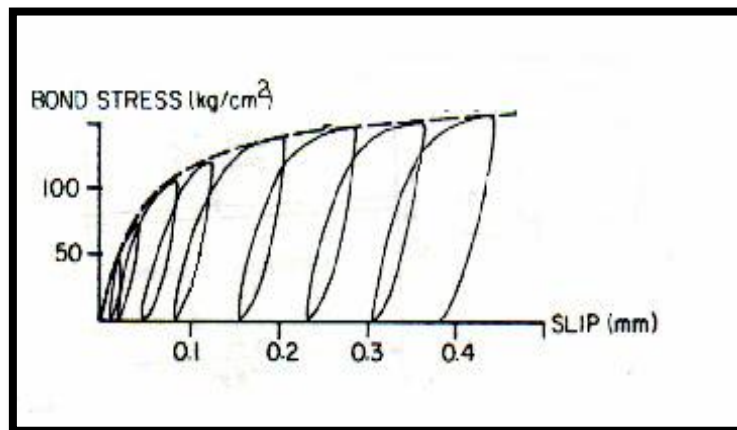


Figura 2.19 Relación esfuerzo adherencia–deslizamiento. Fuente: Bertero, Popov y Shao (1976) Experimental and Analytical Studies on the Hysteretic Behavior of Reinforced Concrete Rectangular and T-Beams.

## II.8. Mecanismo de falla por deslizamiento. Fuente: Vera (2002).

La falla por deslizamiento es un mecanismo de falla local geoméricamente posible en una barra de refuerzo con estrías (corrugaciones); se asume que la barra se mueve a una distancia ( $U_s$ ) en la dirección del eje de la barra, así mismo el concreto que la rodea se desplaza simétricamente axial a una distancia ( $U_c$ ) en la dirección perpendicular a la barra, estableciendo entonces una superficie de falla que tiene como forma un cono truncado. La superficie de falla forma el ángulo  $\gamma$  con el eje de la barra. Suponiendo una fuerza  $P$  en la dirección de la barra, se tiene que el desplazamiento relativo ( $U_{cs}$ ), el cual se asume que vale uno, a lo largo de la superficie de falla, puede ser determinado asumiendo que no hay adhesión entre el concreto y el acero, lo cual ocurriría si se asume una barra lisa, como se puede observar en la figura 2.20.

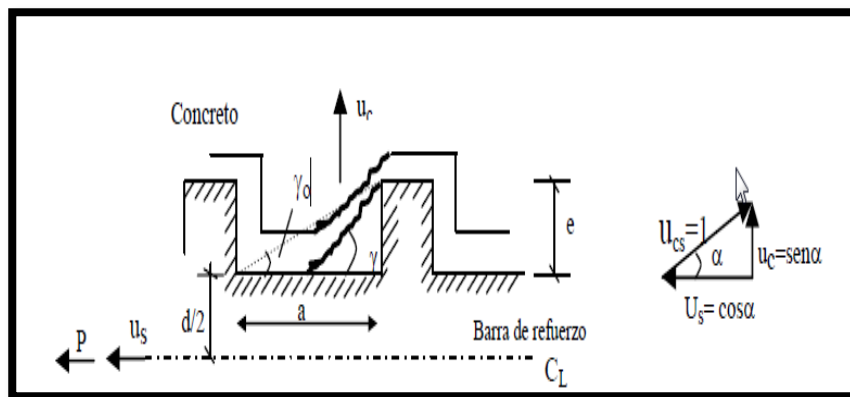


Figura 2.20 Mecanismo de falla local de una barra con estrías.  
Fuente: Nielsen (1999) Limit Analysis and Concrete Plasticity.



## CAPITULO III

### MARCO METODOLÓGICO

Para este proyecto de investigación se adoptó el diseño de tipo experimental y documental, ya que se basó en resultados obtenidos mediante ensayos de laboratorio, así como también el uso de métodos investigativos.

A continuación, se presenta de forma explícita los procedimientos necesarios para la elaboración de este trabajo especial de grado, con la misma secuencia en la que fueron realizadas las actividades, ensayos y tareas que complementan dicha investigación, que tiene por objetivo general evaluar las diferentes propiedades mecánicas del concreto liviano (resistencia a compresión, módulo de elasticidad y la adherencia con el acero de refuerzo) elaborado con arcillas expandidas (ALIVEN).

Cumpliendo con los objetivos planteados, se organizó el desarrollo de esta investigación en las siguientes fases:

**Fase 1:** Se realizó una investigación bibliográfica que permitió recolectar todo el material para la realización de esta investigación, se revisaron Normas venezolanas e internacionales, libros, trabajos especiales de grado que sirvieron como antecedentes y toda la información que pudo ser obtenida de internet.

**Fase 2:** En esta fase, los agregados fueron sometidos a ensayos de granulometría, peso específico, absorción, peso unitario suelto y compacto y contenido de humedad, según las Nomas COVENIN de cada uno de estos ensayos.

**Fase 3:** Como tercera etapa, se realizó el diseño de mezclas para determinar las cantidades de cada componente que nos proporcionó las resistencias deseadas.

**Fase 4:** Se realizó la preparación de la mezcla de concreto, se pesaron todos los componentes de la mezcla (cemento, agua, arena y Aliven) para iniciar el mezclado; y cuando se obtuvo la trabajabilidad necesaria, se procedió a vaciar la mezcla en los moldes cilíndricos y luego de cumplir las 24 horas de fraguado se colocaron en la piscina de curado.

**Fase 5:** En la fase 5, se caracterizó el concreto endurecido, determinando el peso unitario a los 7, 14 y 28 días.

**Fase 6:** En esta fase se realizó el ensayo de ultrasonido para calcular la rapidez de propagación de onda del concreto y el ensayo a compresión de las probetas cilíndricas de 15x30 cm, para el cálculo de resistencia y su respectivo análisis.

**Fase 7:** Simultáneamente con la fase 6 se determinó el módulo de elasticidad de las tres resistencias (210, 250 y 300 kg/cm<sup>2</sup>) por el módulo de la secante y tangente para establecer una nueva fórmula estudiando las curvas esfuerzo-deformación, que proporcione el módulo de elasticidad más próximo a la realidad para concretos livianos.

**Fase 8:** En ésta fase se caracterizaron las técnicas del ensayo de adherencia con normas internacionales y se realizaron los ensayos de extracción de la barra de acero, según la norma COVENIN 1667, con la cual se obtuvo los esfuerzos de adherencia.

**Fase 9:** Se realizaron los análisis y comparaciones de los resultados obtenidos de cada ensayo, y por último se desarrollaron las conclusiones y recomendaciones que finiquitaron con el trabajo especial de grado.

Estos ensayos se realizaron en las instalaciones del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME), de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela (UCV).

### **III.1 Búsqueda y recopilación de información.**

Se recopiló información de las Normas COVENIN, ASTM y ACI relacionadas con la investigación, así como diversas publicaciones y trabajos especiales de grado que se encuentran en la biblioteca del IMME, los cuales aportan antecedentes a este trabajo, así mismo se realizaron búsquedas a través de internet, como herramienta para obtener información variada acerca de las características del ALIVEN y del Concreto Liviano.

### **III. 2 Caracterización de los agregados.**

#### **III.2.1 Granulometría del agregado fino (arena lavada).**

Para el ensayo de granulometría se siguió el procedimiento según la Norma COVENIN 255-1998 “Agregados. Determinación de la composición granulométrica”. Se seleccionó una muestra de 500 gr en condición húmeda de arena lavada y se llevó al horno durante 24 horas, luego se realizó el tamizado de los agregados finos por los cedazos 3/8”, 1/4”, #4, #8, #16, #30, #50, #100 y se pesó la masa de cada tamiz para obtener el porcentaje retenido. (Ver figura 3.1, 3.2)



Figura 3.1 Horno



Figura 3.2 Tamices para la realización de la granulometría.

$$\%Pasante = \frac{W_0 - W_1}{W_0} * 100 \quad \text{Ecuación (3.1)}$$

Dónde:

$W_0$  = Peso total de la muestra (kg).

$W_1$  = Peso retenido en el tamiz (kg).

### III.2.2. Determinación del peso específico y absorción.

Para la determinación de la densidad y el porcentaje de absorción se realizó según la Norma COVENIN 268-1998, "Agregado fino. Determinación de la densidad y la absorción". Se tomó una muestra de 1kg la cual se sumergió en agua por 24 horas, luego se secó la muestra con una estufa y se removió con una espátula para tener un secado uniforme y homogéneo, como se observa en la figura 3.3. Se colocó dentro de un cono una porción del agregado parcialmente seco llenándolo hasta que se reboso y se enraso con una barra compactadora, este procedimiento se realizó para verificar si la muestra se encontraba saturada con superficie seca, ver figura 3.4.



Figura 3.3 Secado de la muestra con una estufa.



Figura 3.4 Colocación y compactación de una porción de arena dentro del cono.

A continuación se llenó el picnómetro con la mitad del agua y se introdujo 500 gr del agregado fino saturado con superficie seca, y gradualmente se fue llenando el picnómetro con el agua restante para eliminar las burbujas de aire, luego se determinó la masa total del picnómetro con la muestra y el agua, ver figura 3.5.



Figura 3.5 Picnómetro con la muestra y agua.

Se retiró el agregado fino del picnómetro y se colocó en una tara y se llevó al horno durante 24 horas, y se puso a enfriar aproximadamente una hora, así se determinó la masa en el aire de la muestra seca.

Por último se determinó el peso específico saturado con superficie seca como se muestra en la ecuación 3.2 y porcentaje de absorción como se muestra en la ecuación 3.3.

$$\gamma_s = \frac{W_1}{W_a + W - W_p} \quad \text{Ecuación (3.2)}$$

$$A = \frac{W - W_1}{W_1} * 100 \quad \text{Ecuación (3.3)}$$

Dónde:

$W_1$  = Peso en el aire de la muestra seca (kg).

$W$  = Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca (kg).

$W_a$  = Peso del picnómetro con agua (kg).

$W_p$  = Peso del picnómetro con la muestra y el agua (kg).

$\gamma_s$  = Peso específico saturado con superficie seca.

$A$  = Porcentaje de Absorción.

### III.2.3. Determinación del peso unitario suelto y compacto.

Para la determinación del peso unitario suelto, se procedió a llenar una cubeta de volumen 2.8098l con arena lavada hasta que se rebosó y luego se enrasó y se pesó en una balanza con apreciación de 10gr, como se observa en la figura 3.6. Se obtuvo el peso de la muestra suelta, con la cual se calculó el peso unitario suelto.



Figura 3.6 Colocación de la arena en la cubeta.

$$PUS = \frac{P}{V} \quad \text{Ecuación (3.4)}$$

Dónde:

PUS = Peso unitario suelto ( $\text{Kg}/\text{dm}^3$ ).

V = Volumen del recipiente ( $\text{dm}^3$ ).

P = Peso de la muestra suelta (Kg).

Para la determinación del peso unitario compacto, se volvió a llenar la cubeta de volumen con arena lavada, se compacto la muestra en tres capas con 25 golpes cada una, se llenó el recipiente hasta que se reboso y luego se enraso y se pesó en la balanza con apreciación de 10gr, se obtuvo el peso de la muestra compacta, con la cual se calculó el peso unitario compacto, Ver figura 3.7.



Figura 3.7 Compactación de la muestra.

$$PUC = \frac{P_c}{V} \quad \text{Ecuación (3.5)}$$



Dónde:

PUC = Peso unitario compacto (Kg/dm<sup>3</sup>).

V = Volumen del recipiente (dm<sup>3</sup>).

P<sub>C</sub> = Peso de la muestra compacta (Kg).

### III.2.4. Determinación del contenido de humedad.

Se realizó según la Norma COVENIN 1375-1979. “Método de ensayo para determinar por secado, el contenido de humedad total y superficial del agregado”. Para determinar la humedad se pesó 500g de arena y se llevó al horno por 24 horas y se determinó el peso seco de cada uno. El cálculo se realizó aplicando la fórmula:

$$\omega = \frac{(W - W_s) * 100}{W_s} \quad \text{Ecuación (3.6)}$$

Dónde:

$\omega$  = Porcentaje de humedad (%)

W = Peso húmedo de la muestra (g)

W<sub>s</sub> = Peso de la muestra secada al horno (g)

### III.3 Diseño de mezcla.

Para la elaboración del diseño de mezcla, primeramente se tomó la receta que proporcionó la empresa de Aliven, ya que para concreto livianos no existen fórmulas que calculen las cantidades de cada componente. Este diseño no cumplió con la resistencia esperada, por lo cual se plantearon varios diseños de mezcla hasta que se obtuvo la resistencia deseada. El diseño de mezcla se calculó según el “Manual del concreto estructural”. Porrero y otros (2012).

Para la resistencia promedio requerida se consideró una desviación estándar no conocida, ya que no se dispuso de ensayos para determinar dicha desviación, y se asumió sin control de calidad, la resistencia se calculó con la siguiente ecuación:

$$F_{cr} = f'c + 170 \quad \text{Ecuación (3.7)}$$

Dónde:

$F_{cr}$  = Resistencia promedio requerida (kg/cm<sup>2</sup>).

$f'c$  = Resistencia máxima del concreto (kg/cm<sup>2</sup>).

Luego se procedió a calcular la relación agua/cemento ( $\alpha$ ), como se observa en la ecuación 3.8 y la relación agua/cemento corregido ( $\alpha_c$ ) con factores de corrección por tamaño máximo y tipo de agregado. Ver tabla 2.2 y 2.3.

$$\alpha = 3,147 - 1,065 * \text{Log } R_{28} \quad \text{Ecuación (3.8)}$$

Después se procedió a calcular la dosis de cemento ( $C$ ), como se observa en la ecuación 2.16, suponiendo un valor de asentamiento de 10cm (4"), y la dosis de cemento corregido ( $C_c$ ) con factores de corrección por tamaño máximo y tipo de agregado. Ver tabla 2.5 y 2.6.

$$C = 117,2 * T^{0,16} / \alpha^{1,3} \quad \text{Ecuación (2.16)}$$

Por último se calculó el volumen absoluto de agua ( $a$ ), con la siguiente ecuación:

$$a = C * \alpha \quad \text{Ecuación (2.9)}$$

El agregado fino (arena) y el agregado liviano (ALIVEN) no se variaron para el diseño de cada una de las resistencias.

### **III.4 Elaboración de la mezcla de concreto liviano.**

Los materiales a utilizar para la realización de la mezcla de concreto fueron cemento portland cpa tipo I, arena lavada, agregado liviano estructural Aliven y agua.

Para la elaboración de cada mezcla de concreto, se colocó el Aliven en agua por aproximadamente 15 minutos para que no absorbiera el agua de la mezcla y se pudo observar al pasar dicho tiempo que la forma del agregado se empezó a desmoronar debido a que el agua entra en los poros y se hace más débil su textura, luego se colocó en la mezcladora las cantidades previamente pesadas de arena y Aliven, se puso en movimiento la mezcladora, seguidamente se agregó una porción del agua total y luego se incorporó el cemento y el agua restante de diseño. Se dejó mezclando aproximadamente por cinco minutos.

Se tomó una muestra para verificar el asentamiento, según la Norma COVENIN 339-1994; “Concreto. Método para la medición del asentamiento con el cono de Abrams”; el procedimiento consistió en humedecer el interior del molde, el cual se colocó sobre una superficie horizontal rígida y plana y se sujetó por las aletas con los pies, como se indica en la figura 3.8. Se vació el concreto en tres capas, cada una a un tercio del volumen del molde, ver figura 3.9.



Figura 3.8 Colocación del cono de Abrams.



Figura 3.9 Vaciado del concreto.

Se compactó cada capa con 25 golpes de la barra compactadora, distribuidos uniformemente, en toda la sección transversal, el molde se llenó por exceso antes de compactar y luego se enrasó con la barra compactadora, tal como se observa en la figura 3.10.



Figura 3.10 Compactación en el cono de Abrams.

Seguidamente se retiró el molde alzándolo en dirección vertical y se midió el asentamiento inmediatamente después de retirar el molde y se determinó por la diferencia entre la altura del molde y la altura promedio de la base superior del cono deformado, tal como se indica en la figura 3.11.



Figura 3.11 Medición del asentamiento.

Luego se procedió a vaciar la mezcla en las conchas metálicas, las cuales ya estaban previamente aceitadas y limpias, según la Norma COVENIN 338:2002; “Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto”, en el proceso de endurecimiento de la mezcla se presentó un tiempo de fraguado inicial acelerado, por lo cual la mezcla se vaciaba de manera rápida, el vaciado se realizó en tres capas ya que se compacto con el método de la barra y se enrasaron para tener una superficie lisa. Pasada las 24 horas, se desencofraron los cilindros y se identificaron para colocarlas en agua; para evitar la pérdida de agua por evaporación.

### **III.5 Caracterización del concreto liviano en estado endurecido.**

#### **III.5.1 Peso unitario.**

Para obtener el peso unitario del concreto, se extrajeron las probetas a ensayar de la cámara húmeda con edades de 7, 14 y 28 días, luego se dejaron secar superficialmente colocándolas al sol durante 2 horas. Posterior al secado de las mismas, se verificaron las dimensiones de las probetas en cuanto al diámetro y la altura utilizando un Vernier en su zona central. Para el diámetro se promediaron dos medidas, las cuales se tomaron perpendiculares al centro del cilindro y para la altura se midió una sola vez y se aproximó su valor al milímetro superior. Figura 3.12.



Figura 3.12 Medición del diámetro y altura de la probeta.

Para finalizar se determinó el peso de los cilindros, para ello se dispuso de una balanza cuya apreciación es de 1 gramo. Figura 3.13.



Figura 3.13 Balanza de apreciación 1gr.

El peso unitario de cada cilindro se obtuvo por medio de la siguiente ecuación:

$$p = \frac{Pe}{V} \quad \text{Ecuación (3.9)}$$

Dónde:

$\rho$ : Densidad del concreto en estado endurecido ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ).

$P_e$ : Peso de la probeta en estado endurecido (Kg).

$V$ : Volumen de la probeta en ( $\text{m}^3$ ).

### III.6 Ensayo a compresión de probetas de concreto de 15 x 30 cm.

Realizado según la Norma COVENIN 338:2002; “Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto”, este ensayo consistió en colocar el cilindro verticalmente en la prensa hidráulica, con la cara más plana hacia la parte de arriba, ubicando entre el cilindro y la prensa discos confinados con almohadillas de neopreno, tantos como sea necesario para que garantizara la distribución uniforme de la carga aplicada. Figura 3.14.



Figura 3.14 Colocación de la probeta en la prensa.



Se verificó la velocidad a la que estaba graduada la prensa y se ajustó a 2,5 Kg/cm<sup>2</sup>/seg, el cual es un valor intermedio en el rango que especifica la norma para las maquinas que aplican presión y se operan hidráulicamente.

Por último se procedió a encender la prensa y comenzó a comprimirse el cilindro hasta que se obtuvo la máxima carga ocasionando la falla o rotura del cilindro. Figura 3.15.



Figura 3.15 Falla del cilindro.

La resistencia a la compresión de cada cilindro se obtuvo por medio de la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{P}{At} \quad \text{Ecuación (3.10)}$$

Dónde:

$\sigma$  : Resistencia a la compresión (Kgf/cm<sup>2</sup>)

P: Carga máxima aplicada (Kgf)

At: Área de la sección transversal de la probeta (cm<sup>2</sup>).

### III.7 Determinación del módulo de elasticidad.

Luego del proceso de curado de las probetas cilíndricas de 15 x 30 cm colocadas en la piscina durante 28 días, se procedió a determinar el módulo de elasticidad, para ello se sacaron las probetas de la cámara húmeda y se determinó la sección de las probetas en su zona central utilizando el vernier, se les tomaron dos medidas al diámetro perpendicularmente al centro del cilindro y se promediaron, quedando el promedio de los dos valores como el diámetro de cálculo, además se tomó una sola medida de altura aproximando su valor al milímetro superior.

Se colocaron los cilindros en la prensa universal donde se colocaron los discos confinados con almohadillas de neopreno y luego se verificó con un nivel de burbuja que la superficie estuviera totalmente horizontal. Tal y como se observa en la figura 3.16.



Figura 3.16 Colocación y nivelación de la probeta.

Con la ayuda de los técnicos se colocó y calibro el transformador diferencial de variable lineal (LVDT) para obtener los valores de carga-deformación en la prensa universal. Figura 3.17.

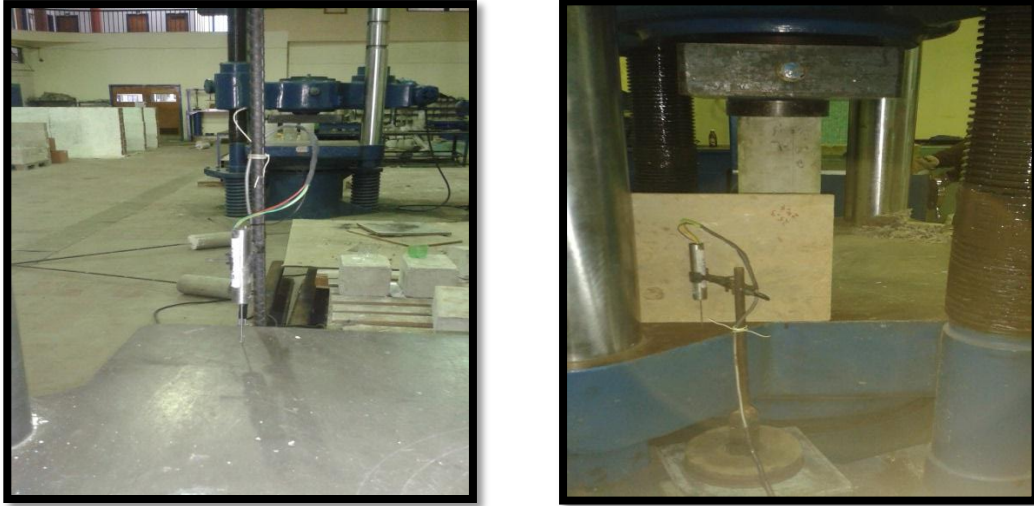


Figura 3.17 Colocación del instrumento de medición (LVDT).

Se le hizo una precarga de 200 Kg, y con una velocidad de 12000 Kg por minuto se mantuvo la carga hasta que los cilindros fallaron como se aprecia en la figura 3.18 y se tomaron las lecturas arrojadas por el LVDT, para luego realizar las curvas de esfuerzo-deformación unitaria.



Figura 3.18 Falla de los cilindros.

Seguidamente se calculó el módulo de elasticidad secante y tangente para cada una de las curvas con las siguientes ecuaciones:

$$E_c = \frac{S_c - S_D}{\epsilon_c - 5 * 10^{-5}} \quad \text{Ecuación (2.2)}$$

$$E_c = \frac{2f_{max}}{\epsilon_{max}} \quad \text{Ecuación (2.1)}$$

Para plantear una fórmula de módulo de elasticidad que estableciera el mejor comportamiento del elemento se utilizó la fórmula de cálculo que depende del peso unitario y la resistencia de diseño, con los resultados arrojados por el módulo de la secante y tomando el parámetro “k” como incógnita. (Ver ecuación 3.11).

$$k = \frac{E_c(\text{secante})}{w^{1,5} * \sqrt{f^c}} \quad \text{Ecuación (3.11)}$$

Se obtuvieron valores de “k” para cada cilindro en las edades ensayadas. Seguidamente se promediaron los valores por cilindros y de la misma manera por resistencia para definir con ese nuevo valor de “k” la fórmula para módulo de elasticidad empleada en el concreto liviano.

### **III.8 Velocidad de pulso ultrasónico de probetas de concreto de 15 x 30 cm.**

El ensayo de pulso ultrasónico, se realizó luego de que las probetas estuvieran 28 días en la piscina de curado, siguiendo las especificaciones de la Norma COVENIN 1681:1980 “Método de ensayo para determinar la velocidad de propagación de ondas en el concreto”.

Los materiales utilizados en este ensayo fueron: equipo formado por un generador de pulsos eléctricos de alta frecuencia, un transductor (el cual transformó los impulsos eléctricos en impulsos mecánicos), un circuito receptor, un dispositivo de calibración y una unidad de lectura (que permitió registrar tiempos comprendidos en un rango de 20 a 1000 microsegundos con una aproximación del 1%).

Se limpiaron y secaron las zonas donde se colocaron los transductores, garantizando que la superficie de contacto estuviera lisa y libre de todo revestimiento. Figura 3.19.



Figura 3.19 Limpieza y secado de la superficie lisa de las probetas.

Se calibraron los transductores, tal como se muestra en la figura 3.20, para ello se utilizó un dispositivo de calibración el cual nos arrojó que la máquina tenía un porcentaje de error de  $\pm 1,5 \%$ .



Figura 3.20 Calibración de los transductores.

Seguidamente se le colocó vaselina y se procedió a colocar los transductores firmemente sobre la masa de concreto, garantizando acoplamiento entre el transductor y el concreto. (Ver figura 3.21).



Figura 3.21 Colocación de vaselina y acoplamiento entre el transductor y el concreto.

Se tomó el tiempo de propagación de la onda a lo largo de la probeta con aproximación del 1% y se midió la distancia entre los dos puntos de aplicación de los transductores. (Ver figura 3.22).



Figura 3. 22 Tiempo de propagación de la onda.

Finalmente se determinó la velocidad de propagación de la onda, destacando que las lecturas del generador vienen dadas en microsegundos

( $\mu$ s); por lo tanto, se realizaron las transformaciones pertinentes para la obtención de las velocidades en (km/s) utilizando la ecuación:

$$V = \frac{L}{T} \quad \text{Ecuación (2.5)}$$

### **III.9 Ensayo para la determinación de la adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo.**

Es más apropiado desarrollar un sistema de ensayos de adherencia que se completen entre sí, en vez de establecer un único tipo de ensayos para determinar los esfuerzos de adherencia entre el acero y el concreto; sin embargo en Venezuela el ensayo se realiza según el procedimiento especificado en la Norma COVENIN 1667-1980 “Método de ensayo para la determinación de valores comparativos de la adherencia desarrollada entre el concreto y el acero usado como refuerzo (método de extracción)”, por lo cual es el ensayo que se adoptó para este trabajo especial de grado siguiendo el procedimiento siguiente:

Se ensayaron probetas cilíndricas de concreto de dimensiones 15 x 30 cm, con barras de refuerzo de 1/2”, 5/8” de pulgadas y probetas cilíndricas de 20 x 40 cm, con barras de refuerzo de 3/4”. Estas barras son producidas en Venezuela con un grado de N-40 para barras de 1/2” y con grado de N-60 para las barras de 5/8” y 3/4”.

Las barras fueron colocadas verticalmente a lo largo del eje central de la probeta, sobresaliendo 11 cm hacia la parte de abajo desde la cara inferior del cilindro, cumpliendo con el mínimo de 5 cm requeridos por la norma. En la parte superior de las probetas las barras sobresalen 50 cm aproximadamente, lo cual fue suficiente para permitir el agarre de las mordazas de la máquina de ensayo. Para colocarlas se elaboró una base de



madera de 95 x 95 cm, con las medidas del diámetro del cilindro y agujeros en el centro que permitieran el paso de las barras. Figura 3.23.



Figura 3. 23 Base de madera.

Se colocaron mangueras plásticas en las barras de refuerzo, esto debido a que la relación entre la longitud de adherencia de la barra y su diámetro, debe ser igual a 15, por lo tanto las mangueras se ubicaron de manera que impidieron la adherencia con el concreto en el resto de la barra.

Adicionalmente, se colocó un refuerzo transversal helicoidal a modo de zuncho a lo largo de toda la probeta, que permitió darle mayor confinamiento a las mismas. Este refuerzo tiene forma de hélice con un paso de aproximadamente 6 cm, formado por barras de 1/4" y cuyo diámetro fue de 12 cm para las probetas de 15 x 30 cm y de 17 cm para las de 20 x 40 cm. Figura 3.24.



Figura 3.24 Colocación de las mangueras y zunchos.

Se realizó el moldeo de las probetas, donde se calentaron velas derretidas para obtener parafina líquida y cubrir la base de madera, con la finalidad de que no absorbiera el agua de la mezcla y se limpiaron y aceitaron las probetas para mejorar el desencofrado posterior de las mismas.

Figura 3.25.



Figura 3.25 Colocación de parafina.

Se limpiaron las barras de refuerzo y de forma helicoidal con un cepillo de alambre para quitar el óxido suelto, Figura 3.26.



Figura 3.26 Limpieza de las barras.

Se colocaron los moldes junto con las barras en la base de madera, en el caso de las probetas de 20 x 40 cm se utilizó como moldes tuberías de pvc y conchas metálicas. Figura 3.27.



Figura 3.27 Colocación de los moldes en la base de madera.

Ya con el diseño de mezcla establecido, se prepararon las mezclas con los mismos procedimientos ya especificados, para cada una de las

resistencias (210, 250 y 300) Kg/cm<sup>2</sup>, se verificó el asentamiento y se procedió a llenar los moldes. Figura 3.28.



Figura 3.28 Elaboración de mezcla y vaciado.

Se compactó la mezcla en tres capas, para asegurar la correcta colocación del concreto y posteriormente se enrazó la superficie superior. Figura 3.29.



Figura 3. 29 Compactación del concreto.

Se desencofraron las probetas a las 24 horas, quitando los moldes metálicos y en el caso de los moldes de pvc se utilizó un esmeril. Figura 3.30.

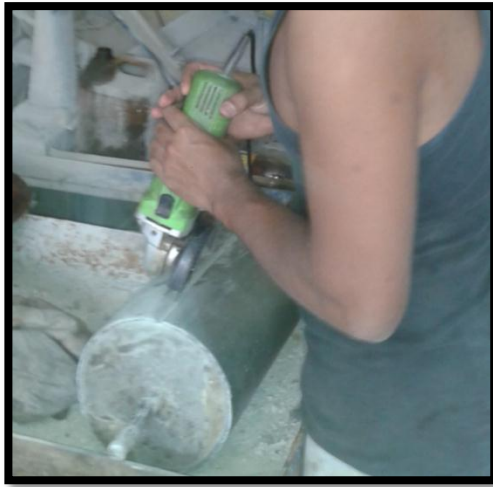


Figura 3.30 Desencofrado de las probetas.

Luego de desencofrar todas las probetas se llevaron a la piscina de curado por 28 días, se colocaron las bases de madera, para que le sirviera de apoyo a las probetas y luego se le agrego el agua a las piscinas. Figura 3.31.



Figura 3. 31 Colocación de las probetas en la piscina de curado.

Se llevaron las probetas a la máquina de ensayo, tomando en cuenta que la superficie del cilindro de la cual sobresale el extremo largo de la barra, este en contacto con la plataforma de apoyo del cabezal superior de la máquina.

Se colocaron gomas de neoprene entre la plataforma y la superficie de contacto del cilindro, que permitieran mejor alineamiento en la cara donde estaba apoyada la probeta. Figura 3.32.



Figura 3. 32 Cilindro en contacto con la plataforma.

Para el registro de datos del ensayo, se utilizó un transformador diferencial de variable lineal “LVDT” (siglas en ingles) y para aplicar la carga se llevaron las probetas a la prensa universal donde se colocaron los aparatos de medición, cuidando que en la superficie donde apoye el (LVDT), este totalmente lisa y horizontal y se calibraron los instrumentos con la ayuda de una computadora y el LVDT. Tal como se observa en la figura 3.33.



Figura 3. 33 Colocación y calibración de los instrumentos.

Seguidamente se aplicó la carga a la barra de refuerzo a una velocidad no mayor de 2.250 kg/minuto y se tomaron las lecturas del deslizamiento entre las barras de refuerzo y el concreto en el indicador del LVDT, a intervalos de tiempo suficientes para proporcionar por lo menos 10 lecturas antes de alcanzar el deslizamiento de 0,10 mm en el extremo libre de la barra. Figura 3.34.



Figura 3. 34 Aplicación de carga a una velocidad de 2.250 kg/minuto.

Se hicieron ciclos de aplicación de cargas, tomando lecturas con intervalos apropiados hasta que se alcanzara el límite elástico de las barras de refuerzo observándose en algunos casos el comienzo de la deformación del concreto. Figura 3.35.



Figura 3. 35 Deslizamiento de las barras en el concreto.

Los esfuerzos en el acero se calcularon con la siguiente fórmula:

$$\sigma_{0,1} = \frac{\emptyset}{4} \times \frac{\sigma_{0,1}}{La} \quad \text{Ecuación (3.12)}$$

Dónde:

$\emptyset$  = diámetro de la barra a usar.

$\sigma_{0,1}$  = esfuerzo en el acero capaz de producir un deslizamiento de 0,1 mm en el extremo libre de la barra.

**La** = longitud de adherencia.



### **III.10 Análisis y comparación de resultados**

Se realizaron gráficos, análisis y tablas de los resultados obtenidos a través cada ensayo de agregados, para realizar sus respectivos análisis.

Se compararon los resultados del módulo de elasticidad y adherencia con una mezcla patrón elaborado con ensayos experimentales, de la misma manera se comparó la resistencia y el peso unitario de las mezclas elaboradas con graficas de concreto liviano de trabajos experimentales.

La adherencia se estudió para cada una de las barras utilizadas, así mismo se hizo comparaciones con una para cada resistencia de diseño.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### IV.1 Caracterización de los agregados.

##### IV.1.1 Granulometría del agregado fino (arena lavada).

Tabla 4.1 Granulometría de la arena.

| Cedazo (mm)      | Peso Retenido (g) | % Retenido | % Retenido acumulado | % Pasante |
|------------------|-------------------|------------|----------------------|-----------|
| 9.51 (3/8")      | 12                | 2.4        | 2.4                  | 97.6      |
| 6.35 (1/4")      | 34                | 6.8        | 9.2                  | 90.8      |
| 4.76 (#4)        | 23                | 4.6        | 13.8                 | 86.2      |
| 2.38 (#8)        | 56                | 11.2       | 25                   | 75        |
| 1.19 (#16)       | 220               | 44         | 69                   | 31        |
| 595 $\mu$ (#30)  | 74                | 14.8       | 83.8                 | 16.2      |
| 297 $\mu$ (#50)  | 55                | 11         | 94.8                 | 5.2       |
| 149 $\mu$ (#100) | 21                | 4.2        | 99                   | 1         |
| Fondo            | 5                 | 1          | 100                  | 0         |
| Suma             | 500               |            |                      |           |

La granulometría del Aliven es de aproximadamente 9.51mm y 16mm.

Fuente: Agregados Liviano C.A (2012).

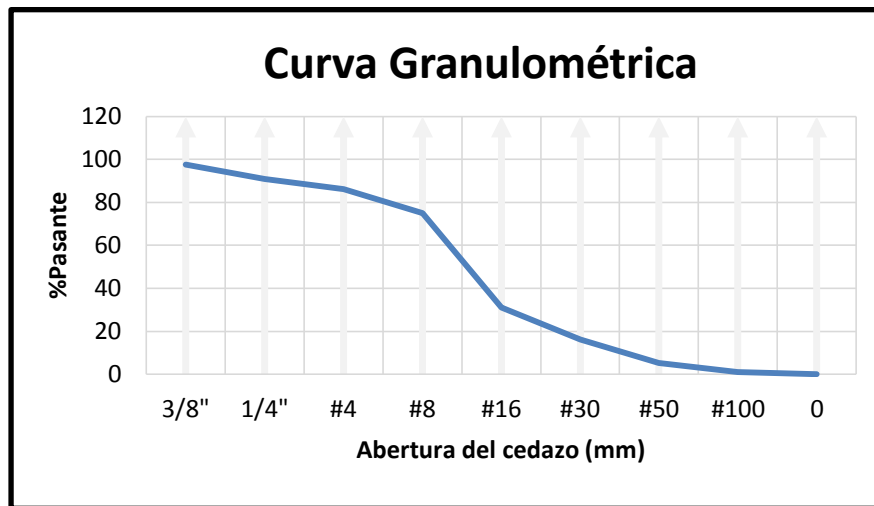


Gráfico 4. 1 Curva granulométrica de la arena.

#### IV.1.2. Determinación del peso específico y absorción.

Tabla 4.2 Peso específico y porcentaje de absorción de la arena lavada.

| Peso en el aire de la muestra seca (g) | Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca (g) | Peso del Picnómetro con agua (g) | Peso del Picnómetro con la muestra y el agua (g) | Peso específico saturado con superficie seca | Porcentaje de absorción (%) |
|--|--|----------------------------------|--|--|-----------------------------|
| 468                                    | 500  | 1272                             | 1577   | 2.40   | 6.84                        |

La absorción del ALIVEN es aproximadamente 17%, por lo cual posee una gran capacidad de absorción de agua, la cual se incrementa a medida que el tamaño del agregado es mayor. Fuente: Agregados Liviano C.A (2012).

La arena presenta un valor de absorción muy inferior a la de ALIVEN, localizándose un valor aproximado de 6.84%.

#### IV.1.3. Determinación del peso unitario suelto y compacto.

Tabla 4.3 Peso unitario suelto y compacto.

| Peso de la muestra suelta (kg) | Peso de la muestra compacta (kg) | Volumen del recipiente (l) | Peso unitario suelto (kg/m <sup>3</sup> ) | Peso unitario compacto (kg/m <sup>3</sup> ) |
|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------|---|---|
| 4,032                          | 4,557                            | 2,8098                     | 1435                                      | 1622  |

El peso unitario suelto del ALIVEN es de aproximadamente 350 kg/m<sup>3</sup>, lo cual es menor a la del agua, por lo que estos agregados flotan. Fuente: Agregados Liviano C.A (2012). La arena tiene un valor de peso unitario suelto de 1435 kg/m<sup>3</sup> y de peso unitario compacto de 1622 kg/m<sup>3</sup>.

#### IV.1.4. Determinación del contenido de humedad de la arena.

Tabla 4.4 Contenido de humedad de la arena.

| Peso húmedo de la muestra (g) | Peso de la muestra secada al horno (g) | Porcentaje de humedad (%) |
|-------------------------------|--|---------------------------|
| 500                           | 468                                    | 6.84                      |

#### IV.2. Diseño de mezcla.

##### IV.2.1. Componentes del diseño de mezcla.

Tabla 4.5 Componentes del diseño de mezcla.

| f'c (kg/cm <sup>2</sup> ) | fcr (kg/cm <sup>2</sup> ) | A    | Acorr | α <sub>diseño</sub> | C (kg/m <sup>3</sup> ) | C <sub>corr</sub> (kg/m <sup>3</sup> ) | C <sub>diseño</sub> (kg/m <sup>3</sup> ) | Agua (kg/m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------|---------------------------|------|-------|---------------------|------------------------|--|--|---------------------------|
| 210                       | 380                       | 0.45 | 0.50  | 0.50                | 423                    | 482                                    | 482                                      | 238                       |
| 250                       | 420                       | 0.38 | 0.42  | 0.42                | 527                    | 600                                    | 600                                      | 251                       |
| 300                       | 470                       | 0.33 | 0.36  | 0.36                | 645                    | 735                                    | 735                                      | 263                       |

#### IV.2.2. Dosificación de los materiales para la mezcla patrón.

Tabla 4.6 Dosificación de los materiales para la mezcla patrón con resistencia 210 kg/cm<sup>2</sup>.

| <b>DOSIFICACIÓN f'c = 210 kg/cm<sup>2</sup> MEZCLA PATRÓN</b> |                   |
|---|-------------------|
| Volumen de cilindro (m <sup>3</sup> )                         | 0.0053            |
| Nº De Cilindros   | 10                |
| (%) Desperdicios  | 12%               |
| Volumen necesario de concreto (m <sup>3</sup> )               | 0.0059            |
| <b>COMPONENTE</b>   | <b>PESO (Kgf)</b> |
| Cemento   | 22.95             |
| Arena   | 38.18             |
| Aliven  | 15                |
| Agua  | 12                |

Tabla 4.7 Dosificación de los materiales para la mezcla patrón con resistencia 250 kg/cm<sup>2</sup>.

| <b>DOSIFICACIÓN f'c = 250 kg/cm<sup>2</sup> MEZCLA PATRÓN</b> |                   |
|---|-------------------|
| Volumen de cilindros (m <sup>3</sup> )                        | 0.0053            |
| Nº De Cilindros   | 10                |
| (%) Desperdicios  | 12%               |
| Volumen necesario de concreto (m <sup>3</sup> )               | 0.0059            |
| <b>COMPONENTE</b>   | <b>PESO (Kgf)</b> |
| Cemento   | 25.5              |
| Arena   | 42                |
| Aliven  | 15                |
| Agua  | 12                |

Tabla 4.8 Dosificación de los materiales para la mezcla de patrón con resistencia 300 kg/cm<sup>2</sup>.

| <b>DOSIFICACIÓN f'c = 300 kg/cm<sup>2</sup> MEZCLA PATRÓN</b> |                   |
|---|-------------------|
| Volumen de cilindros (m <sup>3</sup> )                        | 0.0053            |
| Nº De Cilindros   | 10                |
| (%) Desperdicios  | 12%               |
| Volumen necesario de concreto (m <sup>3</sup> )               | 0.0059            |
| <b>COMPONENTE</b>   | <b>PESO (Kgf)</b> |
| Cemento   | 30.6              |
| Arena   | 42                |
| Aliven  | 15                |
| Agua  | 12                |

#### IV.2.3 Dosificación de los materiales para las mezclas elaboradas.

##### 1. *Dosificación mezcla 1.*

Tabla 4.9 Dosificación de los materiales para la mezcla 1 con resistencia 210 kg/cm<sup>2</sup>.

| <b>DOSIFICACIÓN f'c = 210 kg/cm<sup>2</sup> MEZCLA 1</b> |                   |
|--|-------------------|
| Volumen de cilindro (m <sup>3</sup> )                    | 0.0053            |
| Nº De Cilindros  | 10                |
| (%) Desperdicios   | 12%               |
| Volumen necesario de concreto (m <sup>3</sup> )          | 0.0059            |
| <b>COMPONENTE</b>  | <b>PESO (Kgf)</b> |
| Cemento  | 33                |
| Arena  | 50                |
| Aliven   | 8                 |
| Agua   | 14,7              |

Tabla 4.10 Dosificación de los materiales para la mezcla 1 con resistencia 250 kg/cm<sup>2</sup>.

| <b>DOSIFICACIÓN f'c = 250 kg/cm<sup>2</sup> MEZCLA 1</b> |                   |
|--|-------------------|
| Volumen de cilindro (m <sup>3</sup> )                    | 0.0053            |
| Nº De Cilindros  | 10                |
| (%) Desperdicios   | 12%               |
| Volumen necesario de concreto (m <sup>3</sup> )          | 0.0059            |
| <b>COMPONENTE</b>  | <b>PESO (Kgf)</b> |
| Cemento  | 43                |
| Arena  | 50                |
| Aliven   | 8                 |
| Agua   | 15,7              |

Tabla 4.11 Dosificación de los materiales para la mezcla 1 con resistencia 300 kg/cm<sup>2</sup>.

| <b>DOSIFICACIÓN f'c = 300 kg/cm<sup>2</sup> MEZCLA 1</b> |                   |
|--|-------------------|
| Volumen de cilindro (m <sup>3</sup> )                    | 0.0053            |
| Nº De Cilindros  | 10                |
| (%) Desperdicios   | 12%               |
| Volumen necesario de concreto (m <sup>3</sup> )          | 0.0059            |
| <b>COMPONENTE</b>  | <b>PESO (Kgf)</b> |
| Cemento  | 48                |
| Arena  | 50                |
| Aliven   | 8                 |
| Agua   | 16,1              |

## 2. Dosificación mezcla 2.

Tabla 4.12 Dosificación de los materiales para la mezcla 2 con resistencia  
210 kg/cm<sup>2</sup>.

| <b>DOSIFICACIÓN f'c = 210 kg/cm<sup>2</sup> MEZCLA 2</b> |                   |
|--|-------------------|
| Volumen de cilindro (m <sup>3</sup> )                    | 0.0053            |
| Nº De Cilindros  | 10                |
| (%) Desperdicios   | 12%               |
| Volumen necesario de concreto (m <sup>3</sup> )          | 0.0059            |
| <b>COMPONENTE</b>  | <b>PESO (Kgf)</b> |
| Cemento  | 29                |
| Arena  | 45                |
| Aliven   | 12                |
| Agua   | 14.3              |

Tabla 4.13 Dosificación de los materiales para la mezcla 2 con resistencia  
250 kg/cm<sup>2</sup>.

| <b>DOSIFICACIÓN f'c = 250 kg/cm<sup>2</sup> MEZCLA 2</b> |                   |
|--|-------------------|
| Volumen de cilindro (m <sup>3</sup> )                    | 0.0053            |
| Nº De Cilindros  | 10                |
| (%) Desperdicios   | 12%               |
| Volumen necesario de concreto (m <sup>3</sup> )          | 0.0059            |
| <b>COMPONENTE</b>  | <b>PESO (Kgf)</b> |
| Cemento  | 34                |
| Arena  | 45                |
| Aliven   | 12                |
| Agua   | 14.8              |



Tabla 4.14 Dosificación de los materiales para la mezcla 2 con resistencia  
300 kg/cm<sup>2</sup>.

| <b>DOSIFICACIÓN f'c = 300 kg/cm<sup>2</sup> MEZCLA 2</b> |                   |
|--|-------------------|
| Volumen de cilindro (m <sup>3</sup> )                    | 0.0053            |
| Nº De Cilindros  | 10                |
| (%) Desperdicios   | 12%               |
| Volumen necesario de concreto (m <sup>3</sup> )          | 0.0059            |
| <b>COMPONENTE</b>  | <b>PESO (Kgf)</b> |
| Cemento  | 42                |
| Arena  | 45                |
| Aliven   | 8                 |
| Agua   | 15.6              |

### 3. Dosificación mezcla 3

Tabla 4.15 Dosificación de los materiales para la mezcla 3 con resistencia  
210 kg/cm<sup>2</sup>.

| <b>DOSIFICACIÓN f'c = 210 kg/cm<sup>2</sup> MEZCLA 3</b> |                   |
|--|-------------------|
| Volumen de cilindro (m <sup>3</sup> )                    | 0.0053            |
| Nº De Cilindros  | 10                |
| (%) Desperdicios   | 12%               |
| Volumen necesario de concreto (m <sup>3</sup> )          | 0.0059            |
| <b>COMPONENTE</b>  | <b>PESO (Kgf)</b> |
| Cemento  | 29                |
| Arena  | 42                |
| Aliven   | 12                |
| Agua   | 14.3              |

Tabla 4.16 Dosificación de los materiales para la mezcla 3 con resistencia  
250 kg/cm<sup>2</sup>.

| <b>DOSIFICACIÓN f'c = 250 kg/cm<sup>2</sup> MEZCLA 3</b> |                   |
|--|-------------------|
| Volumen de cilindro (m <sup>3</sup> )                    | 0.0053            |
| Nº De Cilindros  | 10                |
| (%) Desperdicios   | 12%               |
| Volumen necesario de concreto (m <sup>3</sup> )          | 0.0059            |
| <b>COMPONENTE</b>  | <b>PESO (Kgf)</b> |
| Cemento  | 36                |
| Arena  | 42                |
| Aliven   | 12                |
| Agua   | 15.1              |

Tabla 4.17 Dosificación de los materiales para la mezcla 3 con resistencia  
300 kg/cm<sup>2</sup>.

| <b>DOSIFICACIÓN f'c = 300 kg/cm<sup>2</sup> MEZCLA 3</b> |                   |
|--|-------------------|
| Volumen de cilindro (m <sup>3</sup> )                    | 0.0053            |
| Nº De Cilindros  | 10                |
| (%) Desperdicios   | 12%               |
| Volumen necesario de concreto (m <sup>3</sup> )          | 0.0059            |
| <b>COMPONENTE</b>  | <b>PESO (Kgf)</b> |
| Cemento  | 44                |
| Arena  | 42                |
| Aliven   | 8                 |
| Agua   | 15.8              |

Mediante los diseños de mezclas realizados, se calcularon las distintas dosificaciones para cada una de las mezclas hasta obtener la resistencia requerida y peso unitario que alcanzara los 1900kg/m<sup>3</sup>. La mezcla de Aliven tiene una alta relación de agua/cemento, por lo cual no proporcionó la resistencia deseada. Debido a esto se fue variando dicha relación hasta obtener el diseño de mezcla óptimo (mezcla 3), ya que las mezclas 1 y 2 no cumplieron con el rango de peso unitario establecido entre 1500 y 1900 kg/m<sup>3</sup>.

La mezcla 1 en comparación con la mezcla patrón se disminuyó en la relación agua/cemento en 27% aproximadamente. En cuanto a la mezcla 2 se disminuyó la relación agua/cemento en comparación con la mezcla patrón en un 18% y se aumentó 9% en comparación con la mezcla 1. Por último la mezcla 3 también se disminuyó la relación agua/cemento con respecto a la mezcla patrón en 23% dando resultados satisfactorios. (Ver anexos 1,2 y 3)

### IV.3 Elaboración de la mezcla de concreto liviano.

#### IV.3.1 Medición del asentamiento.

Tabla 4.18 Medición del asentamiento (cm).

| Diseño de mezcla | 210 Kg/cm <sup>2</sup> . | 250 Kg/cm <sup>2</sup> . | 300 Kg/cm <sup>2</sup> . |
|------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Patrón           | 8,5 cm                   | 9 cm                     | 10 cm                    |
| Mezcla 1         | 9 cm                     | 9 cm                     | 8 cm                     |
| Mezcla 2         | 12 cm                    | 10 cm                    | 8 cm                     |
| Mezcla 3         | 12 cm                    | 10,5 cm                  | 9 cm                     |

Para la mezcla de diseño definitiva (mezcla 3) se fijó un valor de asentamiento de 10cm, el cual se comparó con los resultados arrojados para cada una de las resistencias establecidas. Los asentamientos de cada mezcla se tomaron 5 minutos luego de la elaboración de las mismas. (Ver gráfico 4.2)

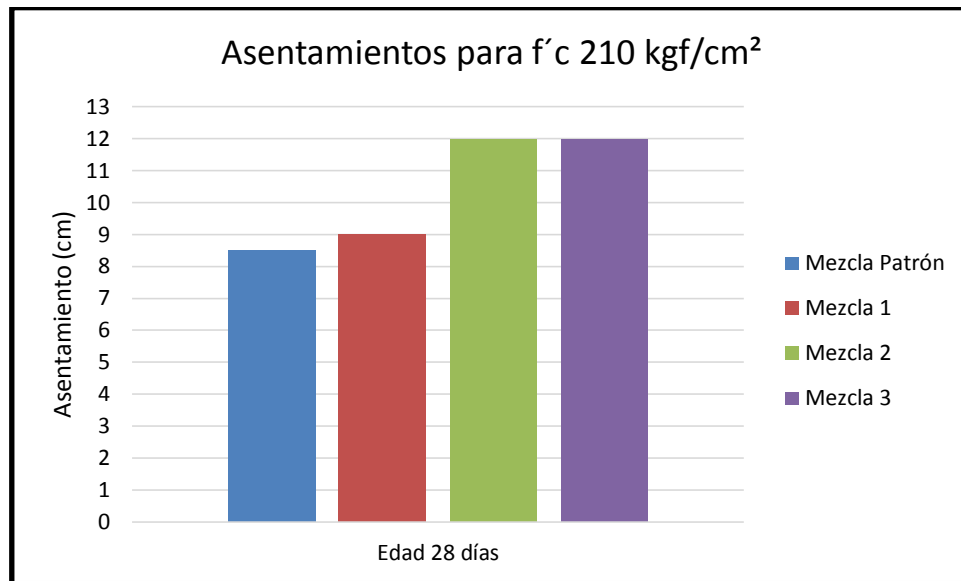


Gráfico 4. 2 Comparación de asentamiento para un  $f'c$  210 Kg/cm<sup>2</sup>.

En el grafico 4.2 se observa que todas las mezclas están cercanas al valor de diseño (10cm), destacando que las mezclas 2 y 3 superaron dicho valor, debido a que la relación agua/cemento para estas muestras es mayor.

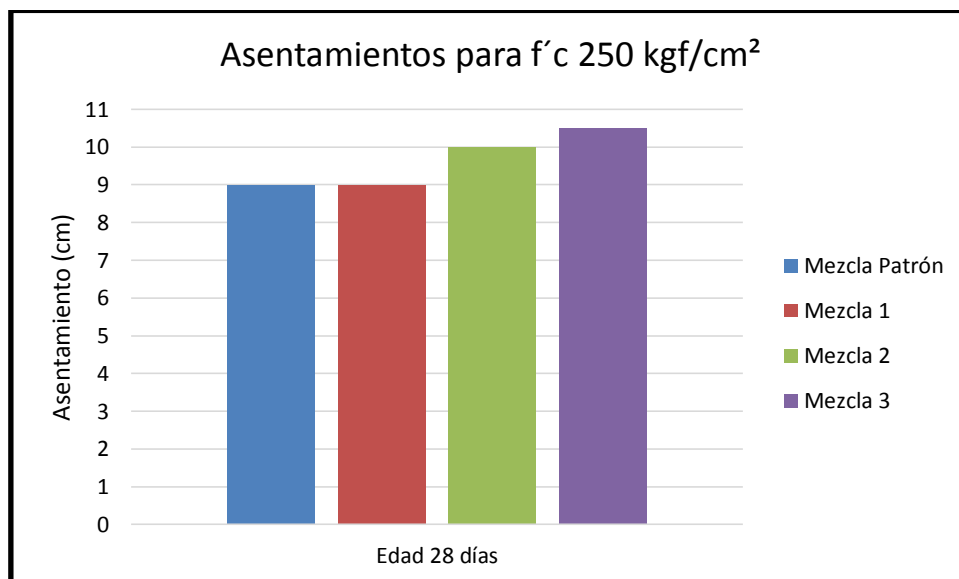


Gráfico 4. 3 Comparación de asentamiento para un  $f'c$  250 Kg/cm<sup>2</sup>.

Mediante el gráfico 4.3 se puede observar que para la resistencia de 250 Kg/cm<sup>2</sup> todas las mezclas dieron muy cercanas al valor de diseño, siendo la mezcla 2 el valor exacto requerido.

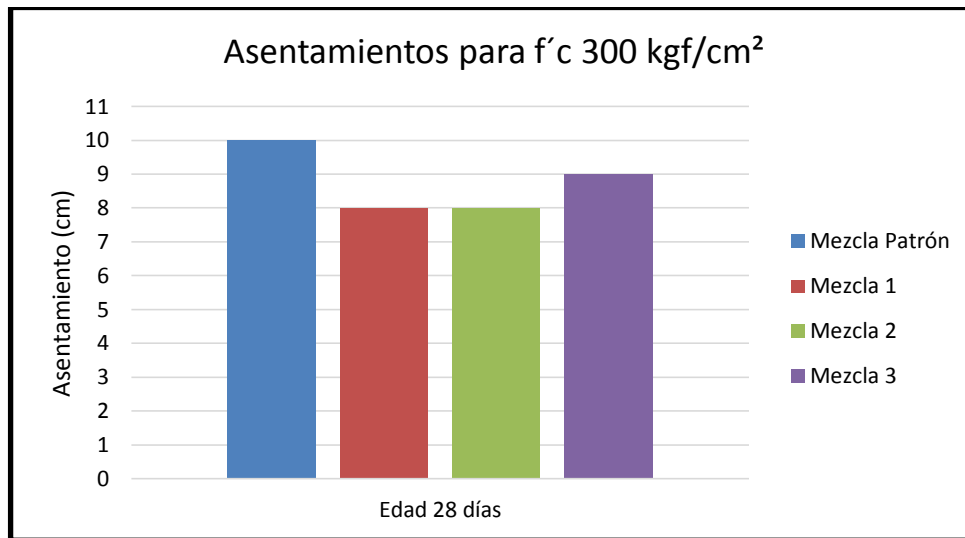


Gráfico 4. 4 Comparación de asentamiento para un f`c 300 Kg/cm<sup>2</sup>.

Para la resistencia de 300 Kg/cm<sup>2</sup> el asentamiento disminuyó debido a que este diseño posee la mayor de cantidad de cemento, lo cual permitió una mezcla más compacta, manteniéndose dentro del rango inferior permitido para el valor de diseño del asentamiento.

#### IV.4 Caracterización del concreto liviano en estado endurecido.

##### IV.4.1 Peso unitario

A continuación se presentan los resultados obtenidos del cálculo del peso unitario de los 108 cilindros de concreto de 15 x 30 cm en su estado endurecido, dichos cálculos se realizaron para cada uno de los diseños de mezcla con f`c 210, 250 y 300 Kg/cm<sup>2</sup>, tomando 3 cilindros para cada

resistencia a las edades de 7, 14 y 28 días; así como también para la mezcla patrón (recomendada por ALIVEN C.A.). (Ver tabla 4.19)

Tabla 4. 19 Numero de cilindros ensayados para obtener su peso unitario.

| F'c | Peso Unitario |          |          |          |
|-----|---------------|----------|----------|----------|
|     | Mezcla Patrón | Mezcla 1 | Mezcla 2 | Mezcla 3 |
| 210 | 9             | 9        | 9        | 9        |
| 250 | 9             | 9        | 9        | 9        |
| 300 | 9             | 9        | 9        | 9        |

Debido a que el concreto liviano, es aquel que tiene un peso unitario entre 1500 y 1900 Kg/m<sup>3</sup>, se consideró este rango, como medida para la cual se evaluó la condición de las probetas.

**1. Peso unitario para f'c 210 kg/cm<sup>2</sup>.**

Tabla 4. 20 Pesos unitarios promedios a los 7 días para un f'c de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

|               | Cilindro N° | Peso (Kgf) | Ø 1 (cm) | Ø 2 (cm) | Ø Promedio (cm) | h (cm) | Volumen (m <sup>3</sup> ) | Peso Unitario (Kgf/m <sup>3</sup> ) | Peso Unitario Promedio (Kgf/m <sup>3</sup> ) |
|---------------|-------------|------------|----------|----------|-----------------|--------|---------------------------|-------------------------------------|--|
| MEZCLA PATRÓN | 1           | 9,911      | 15,14    | 15,18    | 15,16           | 30,16  | 0,0054                    | 1821                                | 1854   |
|               | 2           | 10,152     | 15,18    | 15,22    | 15,20           | 30,10  | 0,0055                    | 1859                                |  |
|               | 3           | 10,173     | 15,10    | 15,14    | 15,12           | 30,08  | 0,0054                    | 1884                                |  |
| MEZCLA 1      | 1           | 10,827     | 15,07    | 15,13    | 15,10           | 30,18  | 0,0054                    | 2003                                | 2023   |
|               | 2           | 11,056     | 14,98    | 15,02    | 15,00           | 30,16  | 0,0053                    | 2074                                |  |
|               | 3           | 10,817     | 15,13    | 15,19    | 15,16           | 30,10  | 0,0054                    | 1991                                |  |
| MEZCLA 2      | 1           | 10,052     | 15,28    | 15,32    | 15,30           | 30,12  | 0,0055                    | 1815                                | 1910   |
|               | 2           | 10,889     | 15,10    | 15,14    | 15,12           | 30,15  | 0,0054                    | 2011                                |  |
|               | 3           | 10,471     | 15,23    | 15,27    | 15,25           | 30,10  | 0,0055                    | 1904                                |  |
| MEZCLA 3      | 1           | 9,852      | 15,05    | 15,11    | 15,08           | 30,14  | 0,0054                    | 1830                                | 1846   |
|               | 2           | 10,089     | 15,12    | 15,18    | 15,15           | 30,10  | 0,0054                    | 1859                                |  |
|               | 3           | 9,971      | 15,07    | 15,13    | 15,10           | 30,13  | 0,0054                    | 1848                                |  |

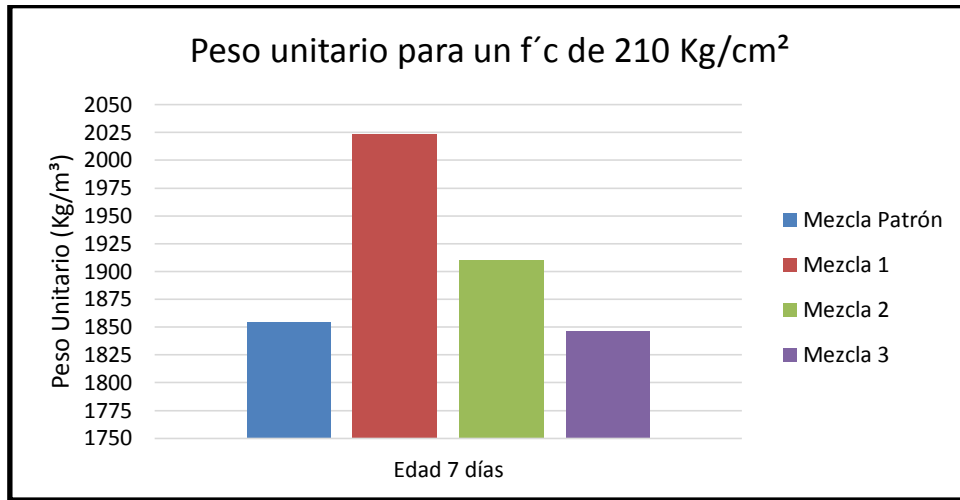


Gráfico 4. 5 Pesos unitarios promedios a los 7 días para un f'c de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

En el gráfico 4.5 con un peso unitario de 2023 Kgf/m<sup>3</sup> la mezcla número 1 quedo fuera del rango de lo que se considera concreto liviano estructural, la mezcla número 2 supera por muy poco el límite de los 1900 Kgf/m<sup>3</sup> por lo cual no se descarta su posible utilización. La mezcla patrón y la número 3 están dentro de los valores esperados para la edad de 7 días, ya que son las mezclas con condiciones más favorables.

Tabla 4. 21 Pesos unitarios promedios a los 14 días para un f'c de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

|                      | Cilindro N° | Peso (Kgf) | Ø 1 (cm) | Ø 2 (cm) | Ø Promedio (cm) | h (cm) | Volumen (m <sup>3</sup> ) | Peso Unitario (Kgf/m <sup>3</sup> ) | Peso Unitario Promedio (Kgf/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------|-------------|------------|----------|----------|-----------------|--------|---------------------------|-------------------------------------|--|
| <b>MEZCLA PATRÓN</b> | 1           | 10,152     | 15,16    | 15,20    | 15,18           | 30,10  | 0,0054                    | 1864                                | <b>1869</b>                                  |
|                      | 2           | 10,140     | 15,14    | 15,18    | 15,16           | 30,14  | 0,0054                    | 1864                                |  |
|                      | 3           | 10,190     | 15,13    | 15,17    | 15,15           | 30,08  | 0,0054                    | 1879                                |  |
| <b>MEZCLA 1</b>      | 1           | 10,865     | 15,07    | 15,13    | 15,10           | 30,15  | 0,0054                    | 2012                                | <b>1992</b>                                  |
|                      | 2           | 10,767     | 15,17    | 15,23    | 15,20           | 30,15  | 0,0055                    | 1968                                |  |
|                      | 3           | 10,839     | 15,13    | 15,19    | 15,16           | 30,10  | 0,0054                    | 1995                                |  |
| <b>MEZCLA 2</b>      | 1           | 10,592     | 15,16    | 15,20    | 15,18           | 30,14  | 0,0055                    | 1942                                | <b>1931</b>                                  |
|                      | 2           | 10,376     | 15,10    | 15,14    | 15,12           | 30,17  | 0,0054                    | 1915                                |  |
|                      | 3           | 10,484     | 15,11    | 15,15    | 15,13           | 30,12  | 0,0054                    | 1936                                |  |
| <b>MEZCLA 3</b>      | 1           | 10,092     | 15,05    | 15,11    | 15,08           | 30,12  | 0,0054                    | 1876                                | <b>1850</b>                                  |
|                      | 2           | 9,876      | 15,07    | 15,13    | 15,10           | 30,09  | 0,0054                    | 1833                                |  |
|                      | 3           | 9,984      | 15,11    | 15,17    | 15,14           | 30,14  | 0,0054                    | 1840                                |  |

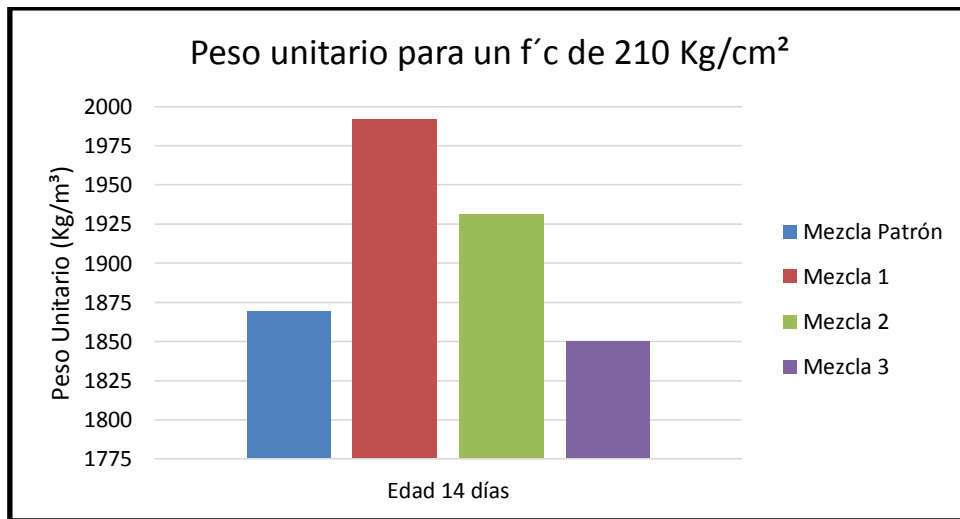


Gráfico 4. 6 Pesos unitarios promedios a los 14 días para un f'c de 210 kg/cm<sup>2</sup>.



A los 14 días la mezcla 1 mantuvo el mismo comportamiento mostrado a los 7 días en cuanto al exceso de peso con un valor  $1992 \text{ Kg/m}^3$  lo que evidencia una excesiva cantidad en el agregado fino de dicha mezcla. En cuanto a la mezcla número 2, comienza a superar los valores permisibles de un concreto liviano con  $1931 \text{ Kg/m}^3$ .

Las mezcla patrón y la mezcla número 3 siguen estando dentro del rango del concreto liviano.

Tabla 4. 22 Pesos unitarios promedios a los 28 días para un  $f'c$  de 210  $\text{kg/cm}^2$ .

|                      | Cilindro N° | Peso (Kgf) | Ø 1 (cm) | Ø 2 (cm) | Ø Promedio (cm) | h (cm) | Volumen ( $\text{m}^3$ ) | Peso Unitario ( $\text{Kgf/m}^3$ ) | Peso Unitario Promedio ( $\text{Kgf/m}^3$ ) |
|----------------------|-------------|------------|----------|----------|-----------------|--------|--------------------------|------------------------------------|---|
| <b>MEZCLA PATRÓN</b> | 1           | 10,173     | 15,18    | 15,22    | 15,20           | 30,13  | 0,0055                   | 1861                               | <b>1862</b>                                 |
|                      | 2           | 10,085     | 15,11    | 15,15    | 15,13           | 30,15  | 0,0054                   | 1860                               |   |
|                      | 3           | 10,150     | 15,15    | 15,19    | 15,17           | 30,10  | 0,0054                   | 1866                               |   |
| <b>MEZCLA 1</b>      | 1           | 10,826     | 15,10    | 15,16    | 15,13           | 30,09  | 0,0054                   | 2001                               | <b>2003</b>                                 |
|                      | 2           | 10,854     | 15,15    | 15,21    | 15,18           | 30,07  | 0,0054                   | 1994                               |   |
|                      | 3           | 10,904     | 15,13    | 15,19    | 15,16           | 30,00  | 0,0054                   | 2014                               |   |
| <b>MEZCLA 2</b>      | 1           | 10,600     | 15,06    | 15,10    | 15,08           | 30,10  | 0,0054                   | 1972                               | <b>1979</b>                                 |
|                      | 2           | 11,327     | 15,11    | 15,15    | 15,13           | 30,12  | 0,0054                   | 2092                               |   |
|                      | 3           | 10,107     | 15,09    | 15,13    | 15,11           | 30,06  | 0,0054                   | 1875                               |   |
| <b>MEZCLA 3</b>      | 1           | 9,200      | 15,07    | 15,13    | 15,10           | 30,08  | 0,0054                   | 1708                               | <b>1800</b>                                 |
|                      | 2           | 9,827      | 15,07    | 15,13    | 15,10           | 30,09  | 0,0054                   | 1824                               |   |
|                      | 3           | 10,097     | 15,10    | 15,16    | 15,13           | 30,05  | 0,0054                   | 1869                               |   |

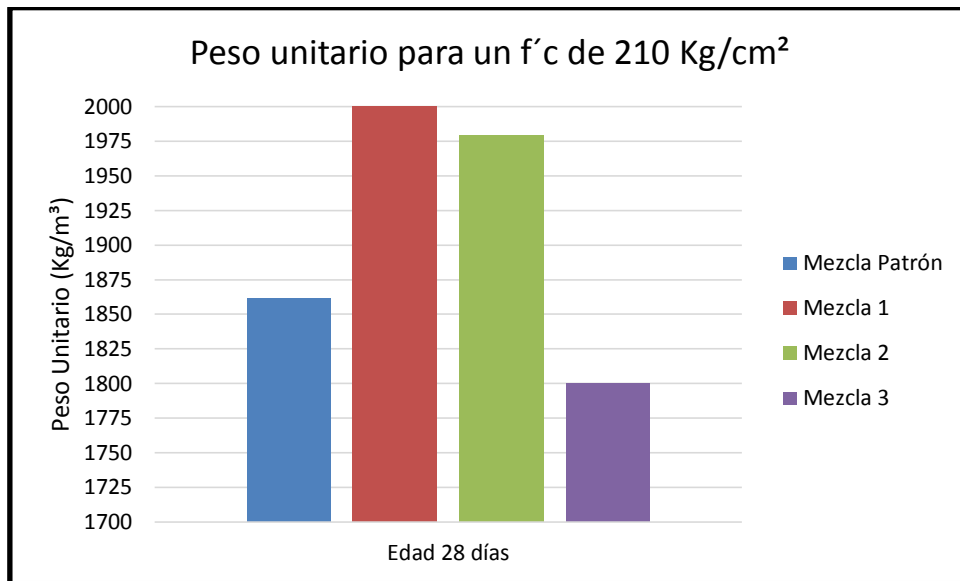


Gráfico 4. 7 Pesos unitarios promedios a los 28 días para un f'c de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

A los 28 días se tomaron los resultados como referencia para la mezcla de 210 kg/cm<sup>2</sup>, lo cual mediante el gráfico 4.7 se puede observar que las mezclas 1 y 2 con un peso unitario de 2003 y 1979 kg/m<sup>3</sup> están muy por encima del límite máximo para un concreto liviano.

La mezcla patrón y la mezcla 3 con un peso unitario 1862 y 1800 kg/m<sup>3</sup>, se mantuvieron dentro del rango del concreto liviano por lo que para la edad del diseño las mezclas son aceptables

## 2. Peso unitario para $f'c$ 250 kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 4. 23 Pesos unitarios promedios a los 7 días para un  $f'c$  de 250 kg/cm<sup>2</sup>.

|                      | Cilindro N° | Peso (Kgf) | Ø 1 (cm) | Ø 2 (cm) | Ø Promedio (cm) | h (cm) | Volumen (m <sup>3</sup> ) | Peso Unitario (Kgf/m <sup>3</sup> ) | Peso Unitario Promedio (Kgf/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------|-------------|------------|----------|----------|-----------------|--------|---------------------------|-------------------------------------|--|
| <b>MEZCLA PATRÓN</b> | 1           | 10,392     | 15,07    | 15,13    | 15,10           | 30,17  | 0,0054                    | 1923                                | <b>1914</b>                                  |
|                      | 2           | 10,331     | 15,12    | 15,18    | 15,15           | 30,12  | 0,0054                    | 1903                                |  |
|                      | 3           | 10,360     | 15,10    | 15,16    | 15,13           | 30,10  | 0,0054                    | 1915                                |  |
| <b>MEZCLA 1</b>      | 1           | 11,031     | 15,08    | 15,06    | 15,07           | 30,20  | 0,0054                    | 2048                                | <b>2046</b>                                  |
|                      | 2           | 11,120     | 15,10    | 15,08    | 15,09           | 30,22  | 0,0054                    | 2058                                |  |
|                      | 3           | 10,876     | 15,04    | 15,02    | 15,03           | 30,16  | 0,0054                    | 2032                                |  |
| <b>MEZCLA 2</b>      | 1           | 10,681     | 15,07    | 15,13    | 15,10           | 30,15  | 0,0054                    | 1978                                | <b>1955</b>                                  |
|                      | 2           | 10,532     | 15,10    | 15,16    | 15,13           | 30,17  | 0,0054                    | 1942                                |  |
|                      | 3           | 10,399     | 15,01    | 15,07    | 15,04           | 30,11  | 0,0053                    | 1944                                |  |
| <b>MEZCLA 3</b>      | 1           | 10,009     | 15,13    | 15,11    | 15,12           | 30,20  | 0,0054                    | 1846                                | <b>1847</b>                                  |
|                      | 2           | 10,022     | 15,16    | 15,14    | 15,15           | 30,22  | 0,0054                    | 1840                                |  |
|                      | 3           | 9,971      | 15,07    | 15,05    | 15,06           | 30,16  | 0,0054                    | 1856                                |  |

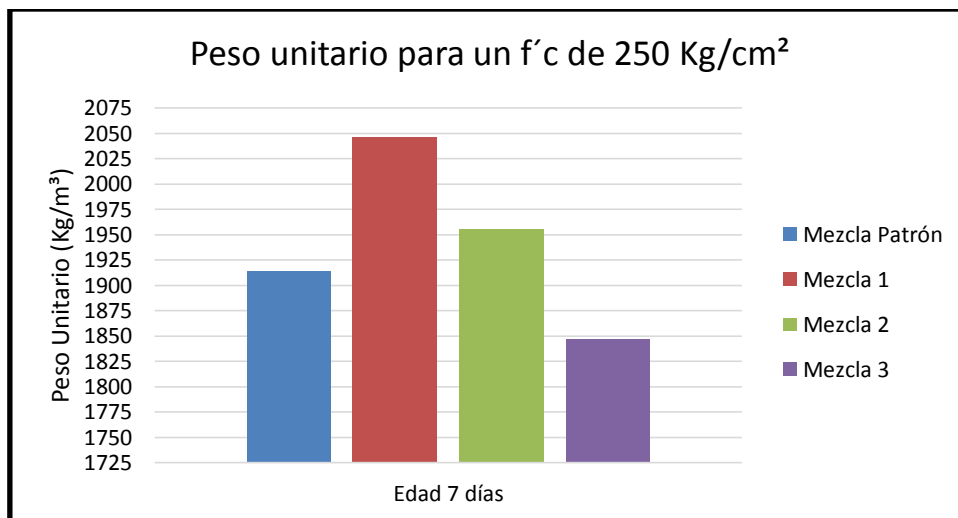


Gráfico 4. 8 Pesos unitarios promedios a los 7 días para un  $f'c$  de 250 kg/cm<sup>2</sup>.

En el diseño de 250 Kg/cm<sup>2</sup>, la mezcla patrón está superando el límite máximo del concreto liviano por muy poco, con 1914 Kg/m<sup>3</sup>, las mezclas número 1 y 2 reflejan un peso unitario por encima de lo esperado, lo cual se descarta para la edad de ensayo, quedando la mezcla 3 con un peso unitario 1847 Kg/m<sup>3</sup> la cual cumple con el rango establecido.

Tabla 4. 24 Pesos unitarios promedios a los 14 días para un f'c de 250 kg/cm<sup>2</sup>.

|                      | Cilindro N° | Peso (Kgf) | Ø 1 (cm) | Ø 2 (cm) | Ø Promedio (cm) | h (cm) | Volumen (m³) | Peso Unitario (Kgf/m³) | Peso Unitario Promedio (Kgf/m³) |
|----------------------|-------------|------------|----------|----------|-----------------|--------|--------------|------------------------|---------------------------------|
| <b>MEZCLA PATRÓN</b> | 1           | 10,211     | 15,19    | 15,17    | 15,18           | 30,15  | 0,0055       | 1871                   | <b>1872</b>                     |
|                      | 2           | 10,152     | 15,18    | 15,16    | 15,17           | 30,10  | 0,0054       | 1866                   |                                 |
|                      | 3           | 10,180     | 15,14    | 15,12    | 15,13           | 30,13  | 0,0054       | 1880                   |                                 |
| <b>MEZCLA 1</b>      | 1           | 11,018     | 15,17    | 15,23    | 15,20           | 30,17  | 0,0055       | 2013                   | <b>2030</b>                     |
|                      | 2           | 10,942     | 15,04    | 15,10    | 15,07           | 30,00  | 0,0054       | 2045                   |                                 |
|                      | 3           | 10,876     | 15,03    | 15,09    | 15,06           | 30,06  | 0,0054       | 2031                   |                                 |
| <b>MEZCLA 2</b>      | 1           | 10,561     | 15,23    | 15,21    | 15,22           | 30,19  | 0,0055       | 1923                   | <b>1938</b>                     |
|                      | 2           | 10,326     | 15,00    | 15,00    | 15,00           | 30,12  | 0,0053       | 1940                   |                                 |
|                      | 3           | 10,456     | 15,07    | 15,05    | 15,06           | 30,08  | 0,0054       | 1951                   |                                 |
| <b>MEZCLA 3</b>      | 1           | 9,870      | 15,21    | 15,27    | 15,24           | 30,19  | 0,0055       | 1792                   | <b>1857</b>                     |
|                      | 2           | 9,691      | 15,05    | 15,11    | 15,08           | 30,06  | 0,0054       | 1805                   |                                 |
|                      | 3           | 10,643     | 15,07    | 15,13    | 15,10           | 30,12  | 0,0054       | 1973                   |                                 |

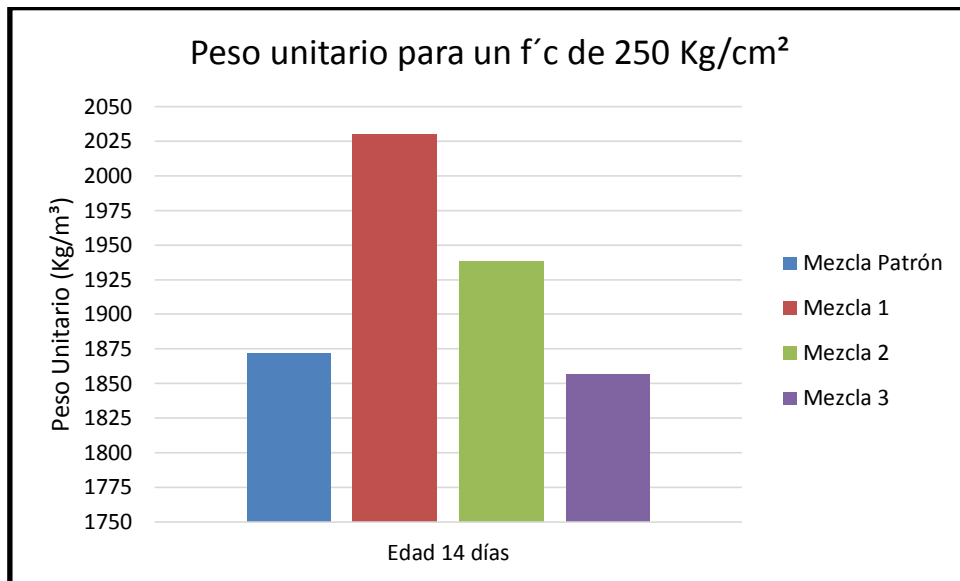


Gráfico 4. 9 Pesos unitarios promedios a los 14 días para un f'c de 250 kg/cm<sup>2</sup>.

Para la edad de 14 días de ensayo, el peso unitario de las mezclas 1 y 2 continuaron quedando fuera del rango del concreto liviano, con 2030 y 1938 Kg/m<sup>3</sup>. A diferencia de los 7 días, la mezcla patrón con 1872 Kg/m<sup>3</sup> está en el rango y es aceptable, así como también la mezcla 3 continuo con la misma tendencia y cumplió con lo esperado al tener u peso unitario de 1857 Kg/m<sup>3</sup>

Tabla 4. 25 Pesos unitarios promedios a los 28 días para un f'c de 250 kg/cm<sup>2</sup>.

|                      | Cilindro N° | Peso (Kgf) | Ø 1 (cm) | Ø 2 (cm) | Ø Promedio (cm) | h (cm) | Volumen (m <sup>3</sup> ) | Peso Unitario (Kgf/m <sup>3</sup> ) | Peso Unitario Promedio (Kgf/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------|-------------|------------|----------|----------|-----------------|--------|---------------------------|-------------------------------------|--|
| <b>MEZCLA PATRÓN</b> | 1           | 10,323     | 15,06    | 15,04    | 15,05           | 30,08  | 0,0054                    | 1929                                | <b>1945</b>                                  |
|                      | 2           | 10,418     | 15,11    | 15,09    | 15,10           | 30,05  | 0,0054                    | 1936                                |  |
|                      | 3           | 10,559     | 15,09    | 15,07    | 15,08           | 30,00  | 0,0054                    | 1971                                |  |
| <b>MEZCLA 1</b>      | 1           | 10,964     | 15,04    | 15,10    | 15,07           | 30,10  | 0,0054                    | 2042                                | <b>2027</b>                                  |
|                      | 2           | 10,915     | 15,09    | 15,15    | 15,12           | 30,00  | 0,0054                    | 2026                                |  |
|                      | 3           | 10,834     | 15,07    | 15,13    | 15,10           | 30,06  | 0,0054                    | 2013                                |  |
| <b>MEZCLA 2</b>      | 1           | 11,027     | 15,01    | 14,99    | 15,00           | 30,12  | 0,0053                    | 2072                                | <b>2035</b>                                  |
|                      | 2           | 11,110     | 15,06    | 15,04    | 15,05           | 30,12  | 0,0054                    | 2073                                |  |
|                      | 3           | 10,589     | 15,13    | 15,11    | 15,12           | 30,08  | 0,0054                    | 1961                                |  |
| <b>MEZCLA 3</b>      | 1           | 10,020     | 15,10    | 15,16    | 15,13           | 30,12  | 0,0054                    | 1850                                | <b>1873</b>                                  |
|                      | 2           | 10,127     | 15,06    | 15,12    | 15,09           | 30,06  | 0,0054                    | 1884                                |  |
|                      | 3           | 10,165     | 15,07    | 15,13    | 15,10           | 30,12  | 0,0054                    | 1885                                |  |

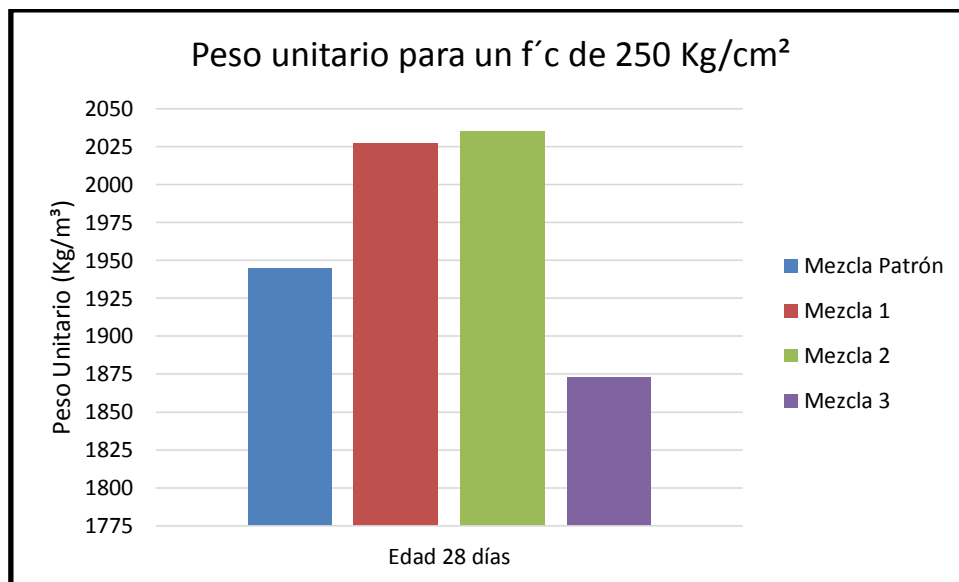


Gráfico 4. 10 Pesos unitarios promedios a los 28 días para un f'c de 250kg/cm<sup>2</sup>.

A los 28 días de la elaboración de los ensayos la mezcla patrón tiene un peso unitario de 1945 Kg/m<sup>3</sup> lo que la lleva a estar por encima del límite máximo del concreto liviano, así como también las mezclas 1 y 2 superan los valores esperados quedando únicamente la mezcla 3 en el rango de los valores esperados con 1873 Kg/m<sup>3</sup>. Por lo tanto estudiando las tres edades de ensayo, la mezcla más satisfactoria en el contenido de peso unitario para un concreto liviano es la mezcla 3.

### 3. *Peso unitario para f'c 300 kg/cm<sup>2</sup>.*

Tabla 4. 26 Pesos unitarios promedios a los 7 días para un f'c de 300 kg/cm<sup>2</sup>.

|                      | Cilindro N° | Peso (Kgf) | Ø 1 (cm) | Ø 2 (cm) | Ø Promedio (cm) | h (cm) | Volumen (m <sup>3</sup> ) | Peso Unitario (Kgf/m <sup>3</sup> ) | Peso Unitario Promedio (Kgf/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------|-------------|------------|----------|----------|-----------------|--------|---------------------------|-------------------------------------|--|
| <b>MEZCLA PATRÓN</b> | 1           | 10,310     | 15,02    | 15,04    | 15,03           | 30,22  | 0,0054                    | 1923                                | <b>1911</b>                                  |
|                      | 2           | 10,173     | 14,99    | 15,01    | 15,00           | 30,16  | 0,0053                    | 1909                                |  |
|                      | 3           | 10,240     | 15,09    | 15,11    | 15,10           | 30,10  | 0,0054                    | 1900                                |  |
| <b>MEZCLA 1</b>      | 1           | 11,187     | 15,07    | 15,03    | 15,05           | 30,20  | 0,0054                    | 2082                                | <b>2078</b>                                  |
|                      | 2           | 11,235     | 15,04    | 15,00    | 15,02           | 30,14  | 0,0053                    | 2104                                |  |
|                      | 3           | 11,065     | 15,15    | 15,11    | 15,13           | 30,07  | 0,0054                    | 2047                                |  |
| <b>MEZCLA 2</b>      | 1           | 10,984     | 15,06    | 15,08    | 15,07           | 30,18  | 0,0054                    | 2040                                | <b>2048</b>                                  |
|                      | 2           | 10,977     | 15,03    | 15,05    | 15,04           | 30,12  | 0,0054                    | 2051                                |  |
|                      | 3           | 11,110     | 15,14    | 15,16    | 15,15           | 30,05  | 0,0054                    | 2051                                |  |
| <b>MEZCLA 3</b>      | 1           | 10,327     | 15,11    | 15,07    | 15,09           | 30,16  | 0,0054                    | 1915                                | <b>1914</b>                                  |
|                      | 2           | 10,230     | 15,08    | 15,04    | 15,06           | 30,10  | 0,0054                    | 1908                                |  |
|                      | 3           | 10,416     | 15,19    | 15,15    | 15,17           | 30,03  | 0,0054                    | 1919                                |  |

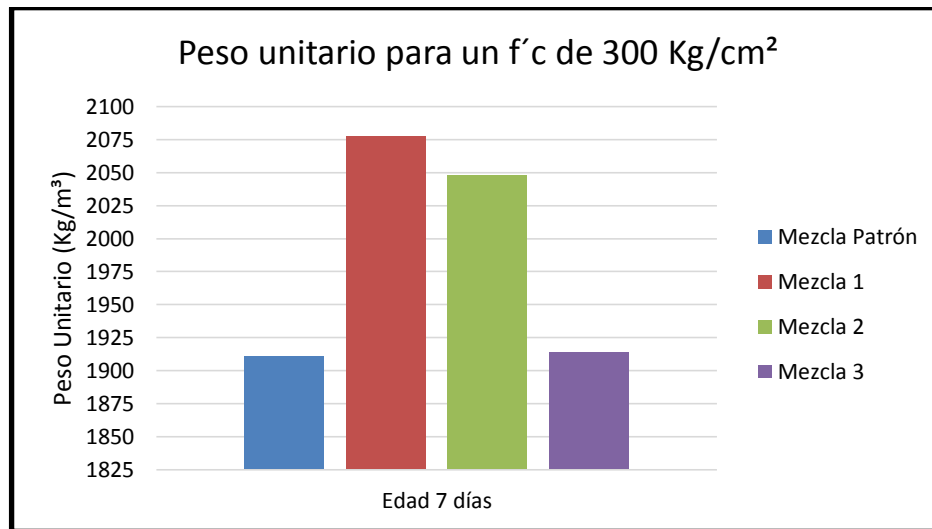


Gráfico 4. 11 Pesos unitarios promedios a los 7 días para un f'c de 300 kg/cm<sup>2</sup>.

Para el diseño de 300 Kg/cm<sup>2</sup> las mezclas 1 y 2 están por encima de lo que se considera concreto liviano. Esto se debe a una alta cantidad de agregado fino (arena) entre 45 y 50 kilos respectivamente. La mezcla 3 y la patrón tampoco se desenvuelven dentro del rango del concreto liviano. Con otras consideraciones de resistencia y dependiendo del uso se podrían aceptar las mezcla 1 y la patrón.



Tabla 4. 27 Pesos unitarios promedios a los 14 días para un f'c de 300 kg/cm<sup>2</sup>.

|                      | Cilindro N° | Peso (Kgf) | Ø 1 (cm) | Ø 2 (cm) | Ø Promedio (cm) | h (cm) | Volumen (m <sup>3</sup> ) | Peso Unitario (Kgf/m <sup>3</sup> ) | Peso Unitario Promedio (Kgf/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------|-------------|------------|----------|----------|-----------------|--------|---------------------------|-------------------------------------|--|
| <b>MEZCLA PATRÓN</b> | 1           | 9,911      | 15,12    | 15,14    | 15,13           | 30,12  | 0,0054                    | 1830                                | <b>1854</b>                                  |
|                      | 2           | 10,101     | 15,07    | 15,09    | 15,08           | 30,14  | 0,0054                    | 1876                                |  |
|                      | 3           | 10,010     | 15,09    | 15,11    | 15,10           | 30,11  | 0,0054                    | 1856                                |  |
| <b>MEZCLA 1</b>      | 1           | 11,009     | 15,17    | 15,13    | 15,15           | 30,10  | 0,0054                    | 2029                                | <b>2040</b>                                  |
|                      | 2           | 11,029     | 15,12    | 15,08    | 15,10           | 30,12  | 0,0054                    | 2045                                |  |
|                      | 3           | 11,067     | 15,15    | 15,11    | 15,13           | 30,08  | 0,0054                    | 2046                                |  |
| <b>MEZCLA 2</b>      | 1           | 11,036     | 15,16    | 15,18    | 15,17           | 30,08  | 0,0054                    | 2030                                | <b>2003</b>                                  |
|                      | 2           | 10,700     | 15,11    | 15,13    | 15,12           | 30,10  | 0,0054                    | 1980                                |  |
|                      | 3           | 10,836     | 15,14    | 15,16    | 15,15           | 30,06  | 0,0054                    | 2000                                |  |
| <b>MEZCLA 3</b>      | 1           | 10,312     | 15,21    | 15,17    | 15,19           | 30,06  | 0,0054                    | 1893                                | <b>1888</b>                                  |
|                      | 2           | 10,198     | 15,16    | 15,12    | 15,14           | 30,08  | 0,0054                    | 1883                                |  |
|                      | 3           | 10,247     | 15,19    | 15,15    | 15,17           | 30,04  | 0,0054                    | 1887                                |  |

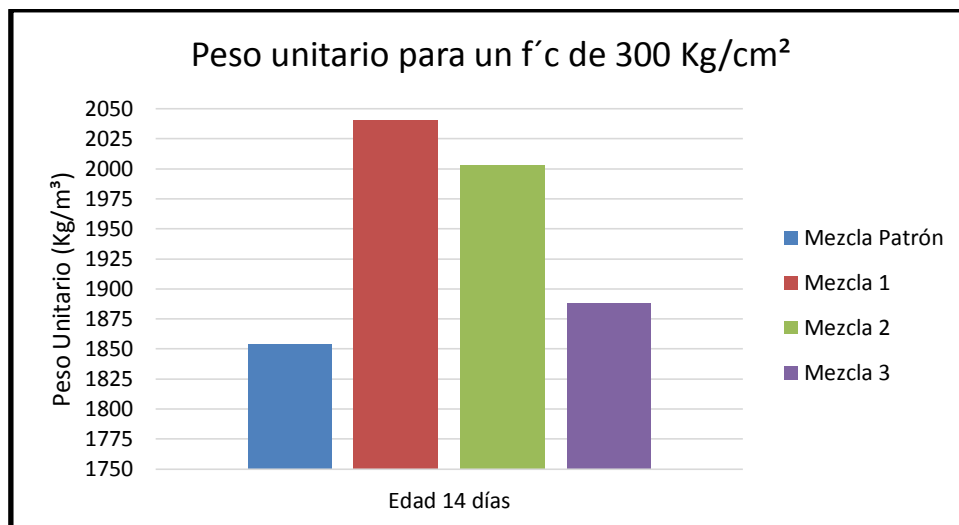


Gráfico 4. 12 Pesos unitarios promedios a los 14 días para un f'c de 300 kg/cm<sup>2</sup>.

A diferencia de los 7 días, las mezclas patrón y la mezcla 3 estuvieron dentro del rango del concreto liviano y las mezclas 1 y 2 continuaron con el comportamiento esperado debido a su alta cantidad de arena.

Tabla 4. 28 Pesos unitarios promedios a los 28 días para un  $f'c$  de 300  $kg/cm^2$ .

|                      | Cilindro N° | Peso (Kgf) | Ø 1 (cm) | Ø 2 (cm) | Ø Promedio (cm) | h (cm) | Volumen (m³) | Peso Unitario (Kgf/m³) | Peso Unitario Promedio (Kgf/m³) |
|----------------------|-------------|------------|----------|----------|-----------------|--------|--------------|------------------------|---------------------------------|
| <b>MEZCLA PATRÓN</b> | 1           | 10,109     | 15,09    | 15,11    | 15,10           | 30,08  | 0,0054       | 1877                   | <b>1891</b>                     |
|                      | 2           | 10,262     | 15,17    | 15,19    | 15,18           | 30,06  | 0,0054       | 1886                   |                                 |
|                      | 3           | 10,320     | 15,11    | 15,13    | 15,12           | 30,11  | 0,0054       | 1909                   |                                 |
| <b>MEZCLA 1</b>      | 1           | 11,040     | 15,10    | 15,06    | 15,08           | 30,10  | 0,0054       | 2054                   | <b>2052</b>                     |
|                      | 2           | 11,066     | 15,18    | 15,14    | 15,16           | 30,08  | 0,0054       | 2038                   |                                 |
|                      | 3           | 11,133     | 15,11    | 15,07    | 15,09           | 30,14  | 0,0054       | 2065                   |                                 |
| <b>MEZCLA 2</b>      | 1           | 10,512     | 15,05    | 15,07    | 15,06           | 30,12  | 0,0054       | 1959                   | <b>1952</b>                     |
|                      | 2           | 10,467     | 15,13    | 15,15    | 15,14           | 30,10  | 0,0054       | 1932                   |                                 |
|                      | 3           | 10,559     | 15,05    | 15,07    | 15,06           | 30,17  | 0,0054       | 1965                   |                                 |
| <b>MEZCLA 3</b>      | 1           | 10,312     | 15,06    | 15,02    | 15,04           | 30,14  | 0,0054       | 1926                   | <b>1920</b>                     |
|                      | 2           | 10,267     | 15,14    | 15,10    | 15,12           | 30,12  | 0,0054       | 1898                   |                                 |
|                      | 3           | 10,359     | 15,05    | 15,01    | 15,03           | 30,18  | 0,0054       | 1935                   |                                 |

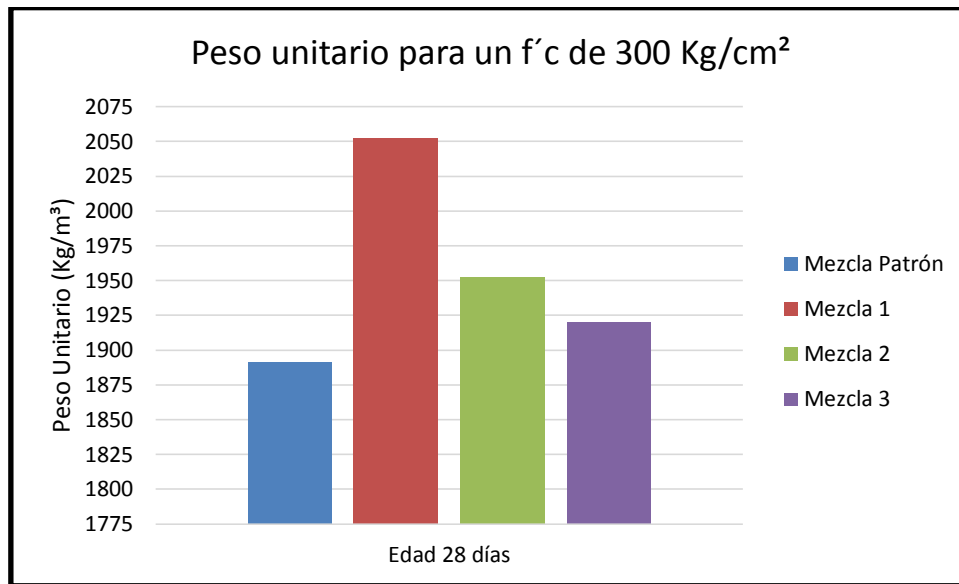


Gráfico 4. 13 Pesos Unitarios promedios a los 28 días para un  $f'c$  de 300  $kg/cm^2$ .

Debido a la variación en cuanto a la edad de 7 y 14 días de la mezcla patrón y la mezcla 3, se tomaron los resultados del gráfico 4.13 como definitivos para el diseño de 300  $Kg/cm^2$ , lo que arroja que la mezcla patrón está dentro del rango del concreto liviano y es la mezcla más aceptable en cuanto al contenido de su peso unitario. Sin embargo la mezcla 3 no está alejada del valor máximo permisible con un peso unitario de 1920  $Kg/m^3$ . Las mezclas 1 y 2 quedan totalmente descartadas por su alto peso unitario de 2052 y 1952  $Kg/m^3$  respectivamente.

#### IV.5 Ensayo de Compresión de probetas de concreto de 15 x 30cm.

A continuación se presentan un conjunto de tablas, donde se resumen los resultados obtenidos en los 108 ensayos de compresión de las probetas cilíndricas de 15 x 30 cm, tomando en cuenta el diseño recomendado por la empresa ALIVEN C.A como “mezcla patrón”, y los ajustes que se hicieron en el diseño de los tres tipos de mezcla de concreto.

Para ello se organizaron las tablas basadas en las resistencias definidas para los diseños propuestos, como lo son: 210, 250 y 300 Kg/cm<sup>2</sup> y a su vez para cada una de las edades establecidas 7, 14 y 28 días.

Tabla 4. 29 Numero de cilindros ensayados para obtener su resistencia.

| F'c | Resistencia   |          |          |          |
|-----|---------------|----------|----------|----------|
|     | Mezcla Patrón | Mezcla 1 | Mezcla 2 | Mezcla 3 |
| 210 | 9             | 9        | 9        | 9        |
| 250 | 9             | 9        | 9        | 9        |
| 300 | 9             | 9        | 9        | 9        |

Tabla 4. 30 Resistencia a compresión promedios a los 7 días para un f'c de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

|                      | Cilindro N° | Peso (Kgf) | Ø Promedio (cm) | h (cm) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Carga Máxima (Kgf) | Esfuerzo (Kgf/cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo Promedio (Kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|----------------------|-------------|------------|-----------------|--------|-------------------------|--------------------|---------------------------------|--|
| <b>MEZCLA PATRÓN</b> | 1           | 9,911      | 15,16           | 30,16  | 180,50                  | 19685,33           | 109,06                          | <b>107,55</b>                            |
|                      | 2           | 10,152     | 15,20           | 30,10  | 181,46                  | 19301,90           | 106,37                          |  |
|                      | 3           | 10,173     | 15,12           | 30,08  | 179,55                  | 19251,35           | 107,22                          |  |
| <b>MEZCLA 1</b>      | 1           | 10,827     | 15,10           | 30,18  | 179,08                  | 25024,45           | 139,74                          | <b>140,09</b>                            |
|                      | 2           | 11,056     | 15,00           | 30,16  | 176,71                  | 26001,79           | 147,14                          |  |
|                      | 3           | 10,817     | 15,16           | 30,10  | 180,50                  | 24077,51           | 133,39                          |  |
| <b>MEZCLA 2</b>      | 1           | 10,052     | 15,30           | 30,12  | 183,85                  | 35866,21           | 195,08                          | <b>197,78</b>                            |
|                      | 2           | 10,889     | 15,12           | 30,15  | 179,55                  | 35511,16           | 197,78                          |  |
|                      | 3           | 10,471     | 15,25           | 30,10  | 182,65                  | 36616,68           | 200,47                          |  |
| <b>MEZCLA 3</b>      | 1           | 9,852      | 15,08           | 30,14  | 178,60                  | 33056,13           | 185,08                          | <b>182,78</b>                            |
|                      | 2           | 10,089     | 15,15           | 30,10  | 180,27                  | 32532,70           | 180,47                          |  |
|                      | 3           | 9,971      | 15,10           | 30,13  | 179,08                  | 32731,10           | 182,78                          |  |

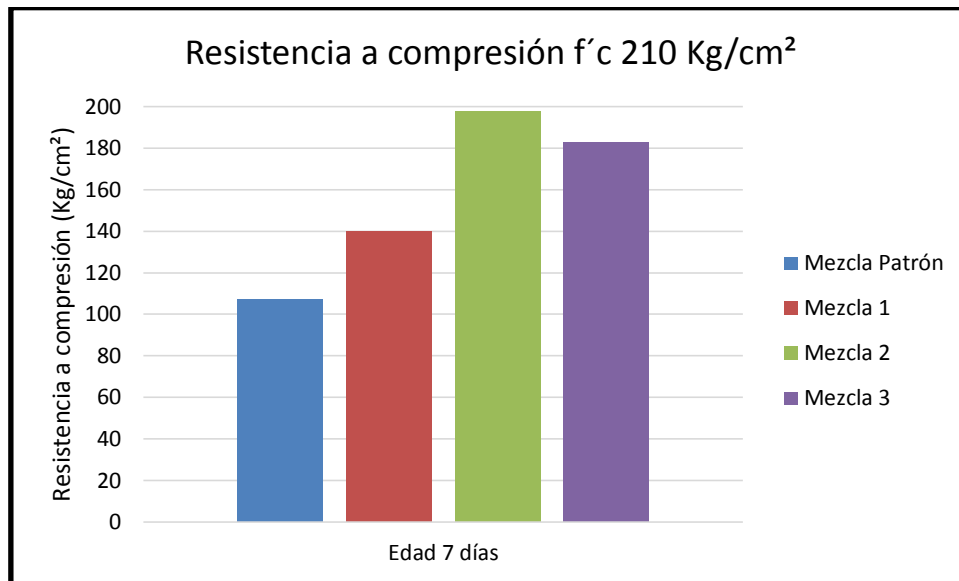


Gráfico 4. 14 Resistencia a compresión promedios a los 7 días para un f'c de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

Tal y como específica Porrero y otros (2012), desde que los granos del cemento inician su proceso de hidratación, comienza una evidente ganancia de resistencia en los primeros días de forma muy rápida, todas las mezclas superaron a los 7 días los 100 Kg/cm<sup>2</sup>; sin embargo, para este diseño de resistencia de 210 Kg/cm<sup>2</sup>, la mezcla patrón (Aliven C.A.) con 107,55 Kg/cm<sup>2</sup>, está muy por debajo de lo requerido en comparación con las otras 3 mezclas, ya que las mezclas 1 y 3 están en un rango, que se podría considerar aceptable y la mezcla 2 con una resistencia de 197,78 Kg/cm<sup>2</sup>, está dando muy por encima de lo esperado, debido a que casi alcanza la resistencia diseño en pocos días.

Tabla 4. 31 Resistencia a compresión promedios a los 14 días para un  $f'c$  de  $210 \text{ kg/cm}^2$ .

|                      | Cilindro N° | Peso (Kgf) | $\varnothing$ Promedio (cm) | h (cm) | Área ( $\text{cm}^2$ ) | Carga Máxima (Kgf) | Esfuerzo ( $\text{Kgf/cm}^2$ ) | Esfuerzo Promedio ( $\text{Kgf/cm}^2$ ) |
|----------------------|-------------|------------|-----------------------------|--------|------------------------|--------------------|--------------------------------|---|
| <b>MEZCLA PATRÓN</b> | 1           | 10,152     | 15,18                       | 30,10  | 180,50                 | 21078,79           | 116,78                         | <b>124,95</b>                           |
|                      | 2           | 10,140     | 15,16                       | 30,14  | 181,46                 | 24154,14           | 133,11                         |   |
|                      | 3           | 10,190     | 15,15                       | 30,08  | 179,55                 | 22433,88           | 124,95                         |   |
| <b>MEZCLA 1</b>      | 1           | 10,865     | 15,10                       | 30,15  | 179,08                 | 52201,42           | 291,50                         | <b>238,01</b>                           |
|                      | 2           | 10,767     | 15,20                       | 30,15  | 181,46                 | 49752,26           | 274,18                         |   |
|                      | 3           | 10,839     | 15,16                       | 30,10  | 180,50                 | 26777,86           | 148,35                         |   |
| <b>MEZCLA 2</b>      | 1           | 10,592     | 15,18                       | 30,14  | 180,98                 | 36194,43           | 199,99                         | <b>195,66</b>                           |
|                      | 2           | 10,376     | 15,12                       | 30,17  | 179,55                 | 34235,43           | 190,67                         |   |
|                      | 3           | 10,484     | 15,13                       | 30,12  | 179,79                 | 35296,55           | 196,32                         |   |
| <b>MEZCLA 3</b>      | 1           | 10,092     | 15,08                       | 30,12  | 178,60                 | 35719,13           | 199,99                         | <b>199,46</b>                           |
|                      | 2           | 9,876      | 15,10                       | 30,09  | 179,08                 | 35935,71           | 200,67                         |   |
|                      | 3           | 9,984      | 15,14                       | 30,14  | 180,03                 | 35595,27           | 197,72                         |   |

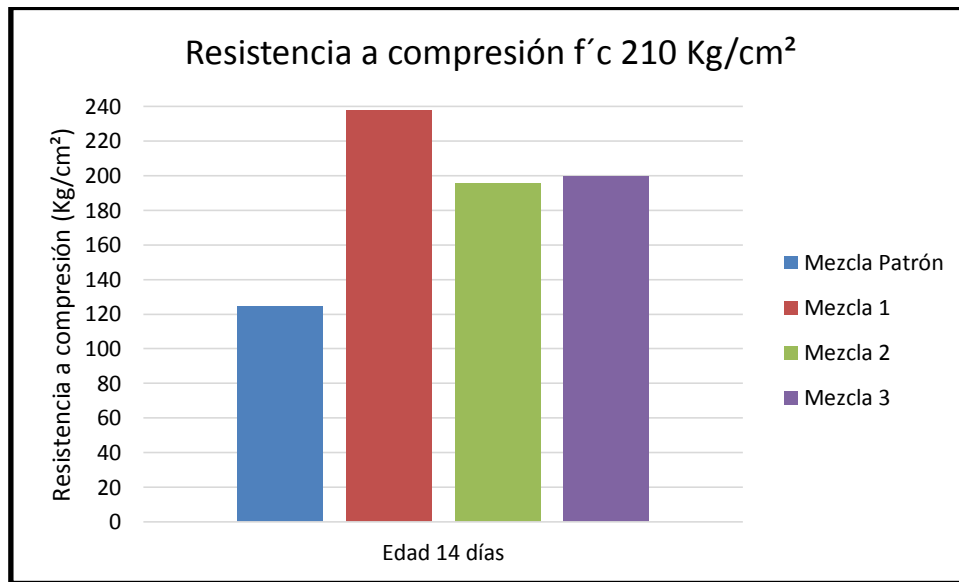


Gráfico 4. 15 Resistencia a compresión promedios a los 14 días para un  $f'c$  de  $210 \text{ kg/cm}^2$ .

A los 14 días de ensayo, la resistencia a compresión de la mezcla patrón, tiene un comportamiento similar a lo que generó a los 7 días, quedando muy por debajo de la resistencia esperada, la mezcla 1 se incrementó considerablemente llegando hasta 238 Kg/cm<sup>2</sup>, lo cual puede ser perjudicial si continua en ascenso y la mezclas 2 y 3 reflejaron valores esperados para la edad de ensayo.

Tabla 4. 32 Resistencia a compresión promedios a los 28 días para un f'c de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

|                      | Cilindro N° | Peso (Kgf) | Ø Promedio (cm) | h (cm) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Carga Máxima (Kgf) | Esfuerzo (Kgf/cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo Promedio (Kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|----------------------|-------------|------------|-----------------|--------|-------------------------|--------------------|---------------------------------|--|
| <b>MEZCLA PATRÓN</b> | 1           | 10,173     | 15,20           | 30,13  | 180,50                  | 27746,46           | 153,72                          | <b>154,63</b>                            |
|                      | 2           | 10,085     | 15,13           | 30,15  | 181,46                  | 27211,74           | 149,96                          |  |
|                      | 3           | 10,150     | 15,17           | 30,10  | 179,55                  | 28765,71           | 160,21                          |  |
| <b>MEZCLA 1</b>      | 1           | 10,826     | 15,13           | 30,09  | 179,79                  | 53863,56           | 299,59                          | <b>297,16</b>                            |
|                      | 2           | 10,854     | 15,18           | 30,07  | 180,98                  | 51641,17           | 285,34                          |  |
|                      | 3           | 10,904     | 15,16           | 30,00  | 180,50                  | 55333,69           | 306,55                          |  |
| <b>MEZCLA 2</b>      | 1           | 10,600     | 15,08           | 30,10  | 178,60                  | 41121,92           | 230,24                          | <b>237,87</b>                            |
|                      | 2           | 11,327     | 15,13           | 30,12  | 179,79                  | 43451,87           | 241,68                          |  |
|                      | 3           | 10,107     | 15,11           | 30,06  | 179,32                  | 43340,66           | 241,70                          |  |
| <b>MEZCLA 3</b>      | 1           | 9,200      | 15,10           | 30,08  | 179,08                  | 40632,94           | 226,90                          | <b>239,91</b>                            |
|                      | 2           | 9,827      | 15,10           | 30,09  | 179,08                  | 44857,41           | 250,49                          |  |
|                      | 3           | 10,097     | 15,13           | 30,05  | 179,79                  | 43570,53           | 242,34                          |  |

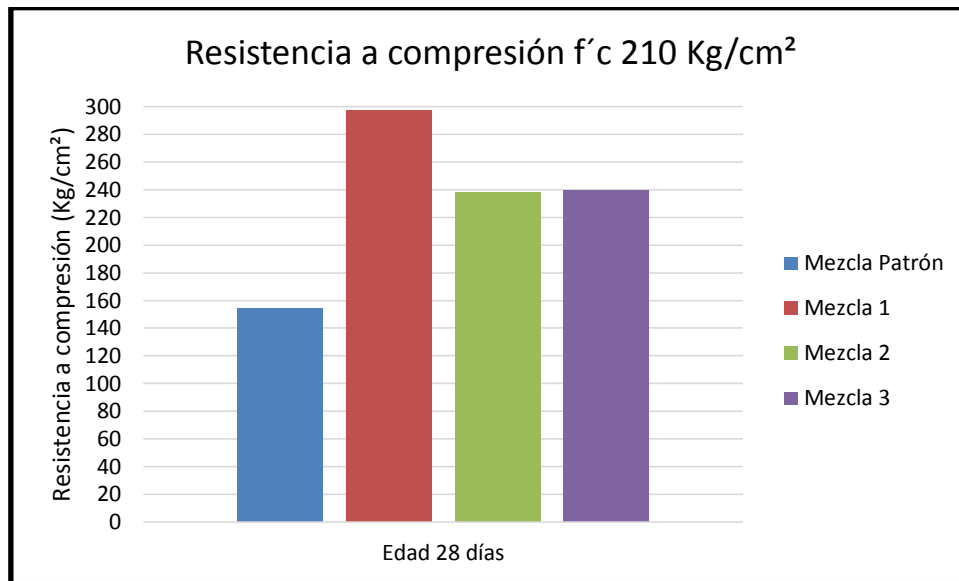


Gráfico 4. 16 Resistencia a compresión promedios a los 28 días para un f'c de 210 kg/cm<sup>2</sup>

Para un f'c de 210 Kg/cm<sup>2</sup> se adoptara la resistencia de 175 Kg/cm<sup>2</sup> como mínimo valor esperado, siguiendo las recomendaciones de la norma COVENIN 1753 "Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural" en su capítulo 5, ya que en ella especifica que ningún valor de un cilindro o el promedio de por lo menos dos cilindros, dará menor que la resistencia requerida menos 35 Kg/cm<sup>2</sup>. Debido a esta normativa, la mezcla patrón se desprecia porque arrojó un valor promedio de 154,63 Kg/cm<sup>2</sup>, quedando muy por debajo del mínimo adoptado para el ensayo a los 28 días.

La mezcla 1 dio como resultado una resistencia elevada de 297,16 Kg/cm<sup>2</sup>, la cual no es recomendable, porque su valor está muy por encima de la resistencia diseño lo que podría ocasionar una falla frágil en el concreto. Las mezclas 2 y 3 con resistencias de 237,87 y 239,91 Kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, cumplen con la resistencia requerida, lo que nos indica que la dosificación más cercana en cuanto al contenido de cemento utilizado para



un  $f'c$  de 210  $\text{kg}/\text{cm}^2$  es de 29 Kg debido a que fue la dosificación empleada para cada una de ellas.

Tabla 4. 33 Resistencia a compresión promedios a los 7 días para un  $f'c$  de 250  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

|                      | Cilindro N° | Peso (Kgf) | $\emptyset$ Promedio (cm) | h (cm) | Área ( $\text{cm}^2$ ) | Carga Máxima (Kgf) | Esfuerzo ( $\text{Kgf}/\text{cm}^2$ ) | Esfuerzo Promedio ( $\text{Kgf}/\text{cm}^2$ ) |
|----------------------|-------------|------------|---------------------------|--------|------------------------|--------------------|---------------------------------------|--|
| <b>MEZCLA PATRÓN</b> | 1           | 10,392     | 15,10                     | 30,17  | 179,08                 | 21340,80           | 119,17                                | <b>119,13</b>                                  |
|                      | 2           | 10,331     | 15,15                     | 30,12  | 180,27                 | 21466,14           | 119,08                                |  |
|                      | 3           | 10,360     | 15,13                     | 30,10  | 179,79                 | 21417,59           | 119,13                                |  |
| <b>MEZCLA 1</b>      | 1           | 11,031     | 15,07                     | 30,20  | 178,37                 | 43336,23           | 242,96                                | <b>246,64</b>                                  |
|                      | 2           | 11,120     | 15,09                     | 30,22  | 178,84                 | 42673,38           | 238,61                                |  |
|                      | 3           | 10,876     | 15,03                     | 30,16  | 177,42                 | 45838,79           | 258,36                                |  |
| <b>MEZCLA 2</b>      | 1           | 10,681     | 15,10                     | 30,15  | 179,08                 | 33661,41           | 187,97                                | <b>171,29</b>                                  |
|                      | 2           | 10,532     | 15,13                     | 30,17  | 179,79                 | 27795,68           | 154,60                                |  |
|                      | 3           | 10,399     | 15,04                     | 30,11  | 177,66                 | 30430,21           | 171,29                                |  |
| <b>MEZCLA 3</b>      | 1           | 10,009     | 15,12                     | 30,20  | 179,55                 | 39428,12           | 219,59                                | <b>209,78</b>                                  |
|                      | 2           | 10,022     | 15,15                     | 30,22  | 180,27                 | 36089,36           | 200,20                                |  |
|                      | 3           | 9,971      | 15,06                     | 30,16  | 178,13                 | 37329,16           | 209,56                                |  |

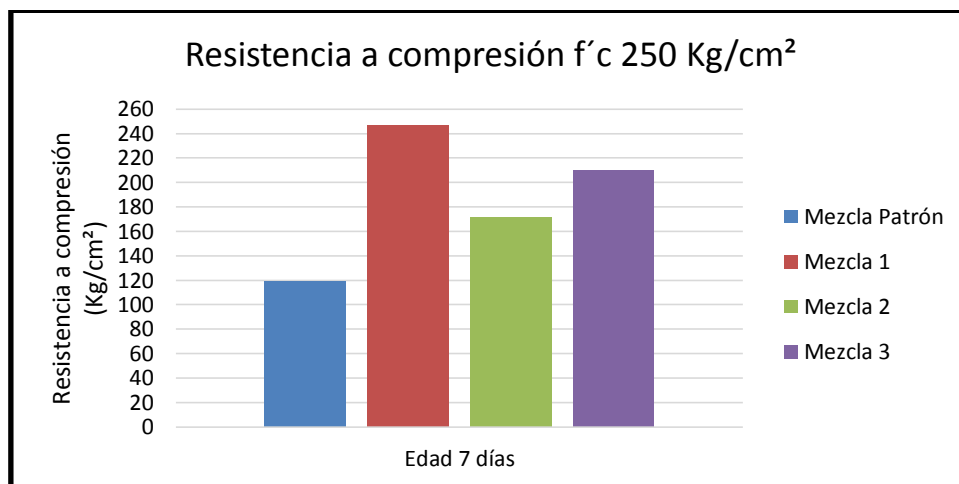


Gráfico 4. 17 Resistencia a compresión promedios a los 7 días para un  $f'c$  de 250  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

El gráfico 4.17 muestra las resistencias a los 7 días para un  $f'c$  de 250 Kg/cm<sup>2</sup>, en las que la mezcla patrón sigue siendo la menor de las 4 mezclas con un 119,13 Kg/cm<sup>2</sup>, siendo muy baja para la resistencia esperada, por el contrario la mezcla 1 alcanza el rango de la resistencia máxima lo cual para la edad de 7 días de ensayo puede ser desfavorable, las mezclas 2 y 3 son los valores más cercanos a la resistencia de diseño.

Tabla 4. 34 Resistencia a compresión promedios a los 14 días para un  $f'c$  de 250 kg/cm<sup>2</sup>.

|                      | Cilindro N° | Peso (Kgf) | Ø Promedio (cm) | h (cm) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Carga Máxima (Kgf) | Esfuerzo (Kgf/cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo Promedio (Kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|----------------------|-------------|------------|-----------------|--------|-------------------------|--------------------|---------------------------------|--|
| <b>MEZCLA PATRÓN</b> | 1           | 10,211     | 15,18           | 30,15  | 180,98                  | 23619,85           | 130,51                          | <b>130,55</b>                            |
|                      | 2           | 10,152     | 15,17           | 30,10  | 180,74                  | 23603,20           | 130,59                          |  |
|                      | 3           | 10,180     | 15,13           | 30,13  | 179,79                  | 23471,70           | 130,55                          |  |
| <b>MEZCLA 1</b>      | 1           | 11,018     | 15,20           | 30,17  | 181,46                  | 55428,28           | 305,46                          | <b>315,94</b>                            |
|                      | 2           | 10,942     | 15,07           | 30,00  | 178,37                  | 54484,22           | 305,46                          |  |
|                      | 3           | 10,876     | 15,06           | 30,06  | 178,13                  | 60010,60           | 336,89                          |  |
| <b>MEZCLA 2</b>      | 1           | 10,561     | 15,22           | 30,19  | 181,94                  | 36034,29           | 198,06                          | <b>190,32</b>                            |
|                      | 2           | 10,326     | 15,00           | 30,12  | 176,71                  | 32264,55           | 182,58                          |  |
|                      | 3           | 10,456     | 15,06           | 30,08  | 178,13                  | 33901,92           | 190,32                          |  |
| <b>MEZCLA 3</b>      | 1           | 9,870      | 15,24           | 30,19  | 182,41                  | 43516,85           | 238,56                          | <b>225,67</b>                            |
|                      | 2           | 9,691      | 15,08           | 30,06  | 178,60                  | 42366,79           | 237,21                          |  |
|                      | 3           | 10,643     | 15,10           | 30,12  | 179,08                  | 36035,99           | 201,23                          |  |

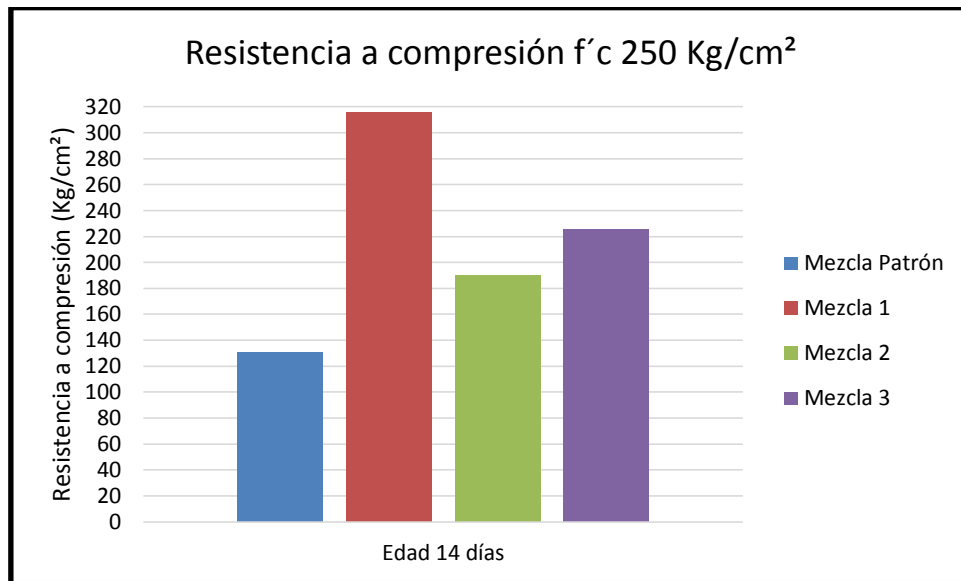


Gráfico 4. 18 Resistencia a compresión promedios a los 14 días para un f'c de 250 kg/cm<sup>2</sup>.

En las resistencias a los 14 días para un f'c de 250 kg/cm<sup>2</sup>, se comienza a ver un comportamiento en el cual se pueden descartar unas mezclas y tener en consideración otras. Ya que la mezcla patrón con 130,55 Kg/cm<sup>2</sup>, está muy por debajo de 250 Kg/cm<sup>2</sup> y la mezcla 1 con 315,94 Kg/cm<sup>2</sup>, se descarta por exceso en el contenido de cemento.

La mezcla 2 está en el límite de lo que se podía esperar para la edad de 14 días y la mezcla número 3 está en el rango de los valores aceptables con 225,67 Kg/cm<sup>2</sup> lo cual hace a dicha mezcla como posible resultado más favorable.

Tabla 4. 35 Resistencia a compresión promedios a los 28 días para un  $f'c$  de  $250 \text{ kg/cm}^2$ .

|                      | Cilindro N° | Peso (Kgf) | $\emptyset$ Promedio (cm) | h (cm) | Área ( $\text{cm}^2$ ) | Carga Máxima (Kgf) | Esfuerzo ( $\text{Kgf/cm}^2$ ) | Esfuerzo Promedio ( $\text{Kgf/cm}^2$ ) |
|----------------------|-------------|------------|---------------------------|--------|------------------------|--------------------|--------------------------------|---|
| <b>MEZCLA PATRÓN</b> | 1           | 10,323     | 15,05                     | 30,08  | 177,89                 | 27635,93           | 155,35                         | <b>155,99</b>                           |
|                      | 2           | 10,418     | 15,10                     | 30,05  | 179,08                 | 27302,33           | 152,46                         |   |
|                      | 3           | 10,559     | 15,08                     | 30,00  | 178,60                 | 28608,88           | 160,18                         |   |
| <b>MEZCLA 1</b>      | 1           | 10,964     | 15,07                     | 30,10  | 178,37                 | 59496,35           | 333,56                         | <b>343,29</b>                           |
|                      | 2           | 10,915     | 15,12                     | 30,00  | 179,55                 | 63604,97           | 354,24                         |   |
|                      | 3           | 10,834     | 15,10                     | 30,06  | 179,08                 | 61255,64           | 342,06                         |   |
| <b>MEZCLA 2</b>      | 1           | 11,027     | 15,00                     | 30,12  | 176,71                 | 42473,35           | 240,35                         | <b>248,15</b>                           |
|                      | 2           | 11,110     | 15,05                     | 30,12  | 177,89                 | 45934,18           | 258,21                         |   |
|                      | 3           | 10,589     | 15,12                     | 30,08  | 179,55                 | 44150,37           | 245,89                         |   |
| <b>MEZCLA 3</b>      | 1           | 10,020     | 15,13                     | 30,12  | 179,79                 | 50014,78           | 278,18                         | <b>275,56</b>                           |
|                      | 2           | 10,127     | 15,09                     | 30,06  | 178,84                 | 46525,62           | 260,15                         |   |
|                      | 3           | 10,165     | 15,10                     | 30,12  | 179,08                 | 51639,12           | 288,36                         |   |

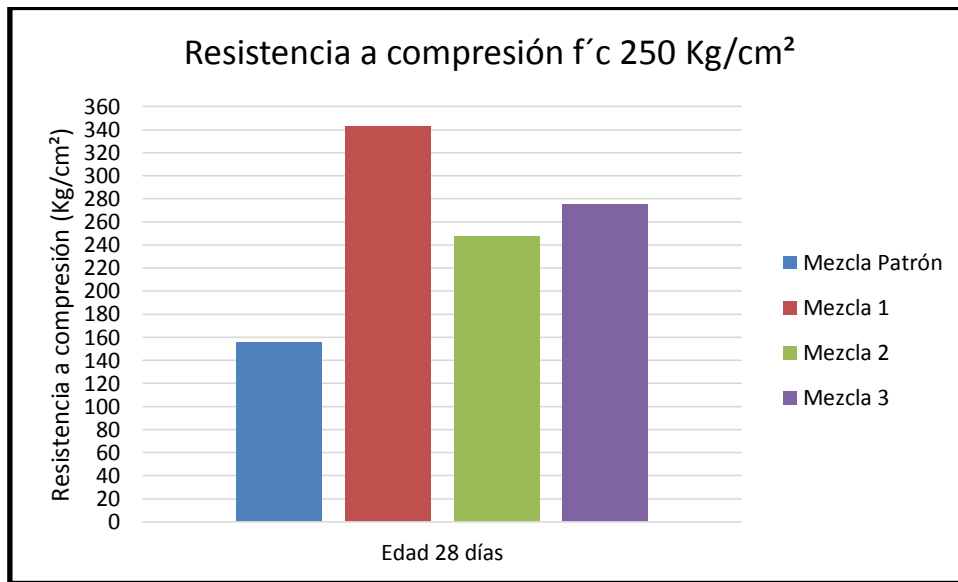


Gráfico 4. 19 Resistencia a compresión promedios a los 28 días para un  $f'c$  de  $250 \text{ kg/cm}^2$ .

Continuando con el mismo comportamiento reflejado a los 14 días para un  $f'c$  de 250 kg/cm<sup>2</sup>, la mezcla patrón queda totalmente descartada debido a una pobre resistencia de 155,99 Kg/cm<sup>2</sup>, esto debido a que para un  $f'c$  de 250 Kg/cm<sup>2</sup> la resistencia mínima esperada es de 215 Kg/cm<sup>2</sup>, del mismo modo se descarta la mezcla 1 por exceso de resistencia de 343,29 Kg/cm<sup>2</sup>, lo cual muy probablemente impediría el desarrollo del acero en concreto armado.

La mezcla 2 no llegó a los 250 Kg/cm<sup>2</sup> del diseño; sin embargo con 248,15 Kg/cm<sup>2</sup> queda dentro del rango aceptable y cumple con las normas de diseño. La mezcla 3 con 275,56 Kg/cm<sup>2</sup>, representa la mezcla ideal para un  $f'c$  de 250 Kg/cm<sup>2</sup>, en este diseño se utilizó la cantidad de 36 Kg de cemento.

Tabla 4. 36 Resistencia a compresión promedios a los 7 días para un  $f'c$  de 300 kg/cm<sup>2</sup>.

|                      | Cilindro N° | Peso (Kgf) | Ø Promedio (cm) | h (cm) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Carga Máxima (Kgf) | Esfuerzo (Kgf/cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo Promedio (Kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|----------------------|-------------|------------|-----------------|--------|-------------------------|--------------------|---------------------------------|--|
| <b>MEZCLA PATRÓN</b> | 1           | 10,310     | 15,03           | 30,22  | 177,42                  | 24498,45           | 138,08                          | <b>141,59</b>                            |
|                      | 2           | 10,173     | 15,00           | 30,16  | 176,71                  | 25641,29           | 145,10                          |  |
|                      | 3           | 10,240     | 15,10           | 30,10  | 179,08                  | 25355,74           | 141,59                          |  |
| <b>MEZCLA 1</b>      | 1           | 11,187     | 15,05           | 30,20  | 177,89                  | 46610,18           | 262,01                          | <b>260,31</b>                            |
|                      | 2           | 11,235     | 15,02           | 30,14  | 177,19                  | 47967,83           | 270,72                          |  |
|                      | 3           | 11,065     | 15,13           | 30,07  | 179,79                  | 44622,31           | 248,19                          |  |
| <b>MEZCLA 2</b>      | 1           | 10,984     | 15,07           | 30,18  | 178,37                  | 41286,79           | 231,47                          | <b>232,81</b>                            |
|                      | 2           | 10,977     | 15,04           | 30,12  | 177,66                  | 42677,08           | 240,22                          |  |
|                      | 3           | 11,110     | 15,15           | 30,05  | 180,27                  | 40875,44           | 226,75                          |  |
| <b>MEZCLA 3</b>      | 1           | 10,327     | 15,09           | 30,16  | 178,84                  | 47291,06           | 264,43                          | <b>244,12</b>                            |
|                      | 2           | 10,230     | 15,06           | 30,10  | 178,13                  | 40651,31           | 228,21                          |  |
|                      | 3           | 10,416     | 15,17           | 30,03  | 180,74                  | 43327,67           | 239,72                          |  |

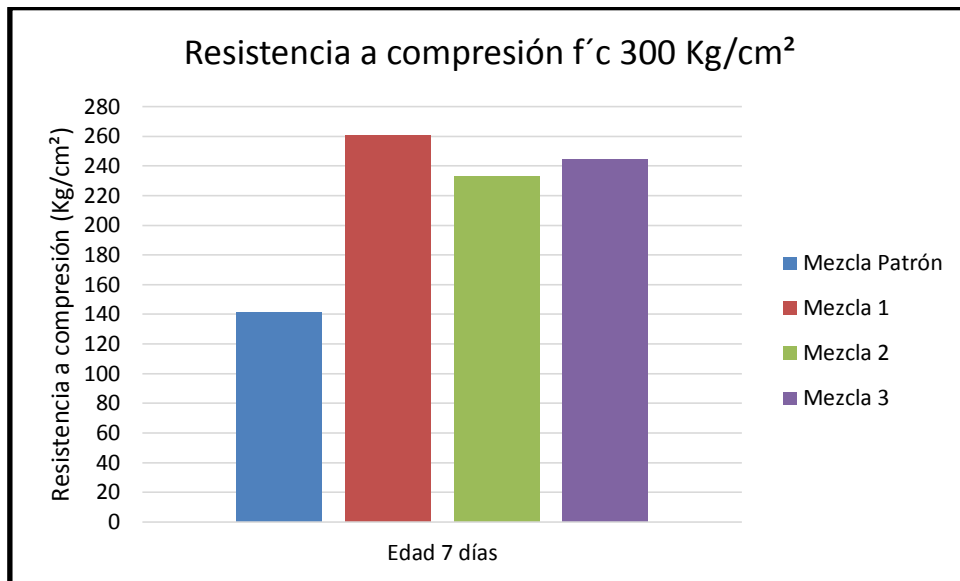


Gráfico 4. 20 Resistencia a compresión promedios a los 7 días para un  $f'c$  de 300 kg/cm<sup>2</sup>.

Para la mezcla de 300 Kgf/cm<sup>2</sup> se pudo evidenciar que la mezcla patrón, está muy por debajo de lo requerido con apenas 141,59 Kgf/cm<sup>2</sup>, sin embargo las mezclas 1, 2 y 3, arrojaron resultados satisfactorios a los 7 días tal y como se aprecia en el gráfico 4.20, con resistencias de 260,31, 232,81, y 244,12 Kgf/cm<sup>2</sup> respectivamente

Tabla 4. 37 Resistencia a compresión promedios a los 14 días para un f'c de 300 kg/cm<sup>2</sup>.

|                      | Cilindro N° | Peso (Kgf) | Ø Promedio (cm) | h (cm) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Carga Máxima (Kgf) | Esfuerzo (Kgf/cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo Promedio (Kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|----------------------|-------------|------------|-----------------|--------|-------------------------|--------------------|---------------------------------|--|
| <b>MEZCLA PATRÓN</b> | 1           | 9,911      | 15,13           | 30,12  | 179,79                  | 29066,80           | 161,67                          | <b>161,21</b>                            |
|                      | 2           | 10,101     | 15,08           | 30,14  | 178,60                  | 28708,90           | 160,74                          |  |
|                      | 3           | 10,010     | 15,10           | 30,11  | 179,08                  | 28868,37           | 161,21                          |  |
| <b>MEZCLA 1</b>      | 1           | 11,009     | 15,15           | 30,10  | 180,27                  | 60046,79           | 333,10                          | <b>336,85</b>                            |
|                      | 2           | 11,029     | 15,10           | 30,12  | 179,08                  | 63662,46           | 355,50                          |  |
|                      | 3           | 11,067     | 15,13           | 30,08  | 179,79                  | 57885,48           | 321,96                          |  |
| <b>MEZCLA 2</b>      | 1           | 11,036     | 15,17           | 30,08  | 180,74                  | 48210,07           | 266,73                          | <b>281,94</b>                            |
|                      | 2           | 10,700     | 15,12           | 30,10  | 179,55                  | 52131,51           | 290,34                          |  |
|                      | 3           | 10,836     | 15,15           | 30,06  | 180,27                  | 52051,97           | 288,75                          |  |
| <b>MEZCLA 3</b>      | 1           | 10,312     | 15,19           | 30,06  | 181,22                  | 52734,94           | 291,00                          | <b>296,09</b>                            |
|                      | 2           | 10,198     | 15,14           | 30,08  | 180,03                  | 54102,21           | 300,52                          |  |
|                      | 3           | 10,247     | 15,17           | 30,04  | 180,74                  | 53635,43           | 296,75                          |  |

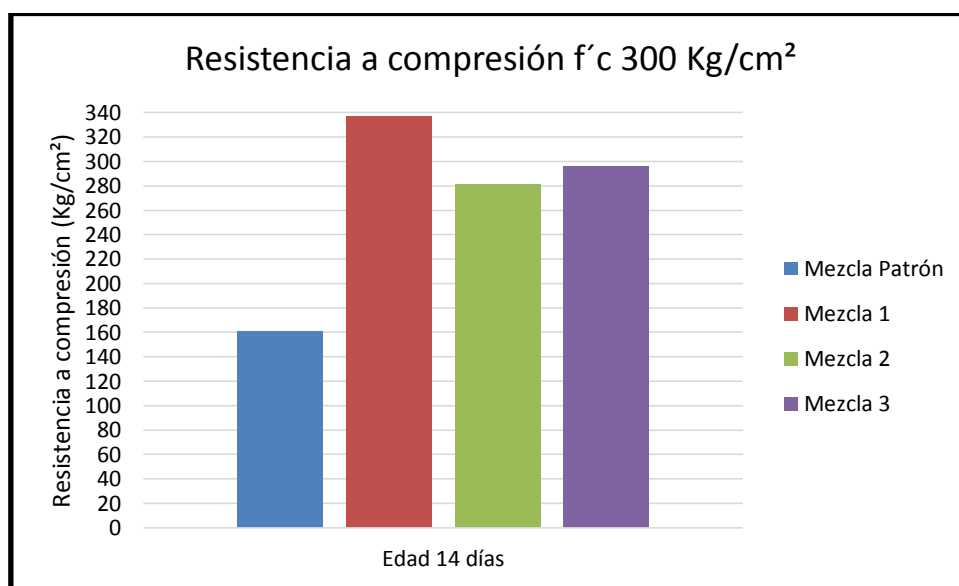


Gráfico 4. 21 Resistencia a compresión promedios a los 14 días para un f'c de 300 kg/cm<sup>2</sup>.

Como se aprecia en el gráfico 4.21 la mezcla patrón, continúa con la misma tendencia de estar muy por debajo de lo requerido, con apenas 161,21Kgf/cm<sup>2</sup>, la mezcla 1 aumentó su resistencia hasta 336,85Kgf/cm<sup>2</sup>, lo cual para la edad de 14 días es un valor muy alto. Las mezclas 2 y 3 siguen teniendo un comportamiento acorde a la edad de ensayo.

Tabla 4. 38 Resistencia a compresión promedios a los 28 días para un f'c de 300 kg/cm<sup>2</sup>.

|                      | Cilindro N° | Peso (Kgf) | Ø Promedio (cm) | h (cm) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Carga Máxima (Kgf) | Esfuerzo (Kgf/cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo Promedio (Kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|----------------------|-------------|------------|-----------------|--------|-------------------------|--------------------|---------------------------------|--|
| <b>MEZCLA PATRÓN</b> | 1           | 10,109     | 15,10           | 30,08  | 179,08                  | 31618,12           | 176,56                          | <b>180,18</b>                            |
|                      | 2           | 10,262     | 15,18           | 30,06  | 180,98                  | 33045,35           | 182,59                          |  |
|                      | 3           | 10,320     | 15,12           | 30,11  | 179,55                  | 32569,18           | 181,39                          |  |
| <b>MEZCLA 1</b>      | 1           | 11,040     | 15,08           | 30,10  | 178,60                  | 55638,90           | 311,52                          | <b>340,15</b>                            |
|                      | 2           | 11,066     | 15,16           | 30,08  | 180,50                  | 66932,91           | 370,81                          |  |
|                      | 3           | 11,133     | 15,09           | 30,14  | 178,84                  | 60469,90           | 338,12                          |  |
| <b>MEZCLA 2</b>      | 1           | 10,512     | 15,06           | 30,12  | 178,13                  | 52842,60           | 296,65                          | <b>294,38</b>                            |
|                      | 2           | 10,467     | 15,14           | 30,10  | 180,03                  | 53864,57           | 299,20                          |  |
|                      | 3           | 10,559     | 15,06           | 30,17  | 178,13                  | 51173,51           | 287,28                          |  |
| <b>MEZCLA 3</b>      | 1           | 10,312     | 15,04           | 30,14  | 177,66                  | 58728,16           | 330,57                          | <b>319,96</b>                            |
|                      | 2           | 10,267     | 15,12           | 30,12  | 179,55                  | 57234,42           | 318,76                          |  |
|                      | 3           | 10,359     | 15,03           | 30,18  | 177,42                  | 55098,45           | 310,55                          |  |



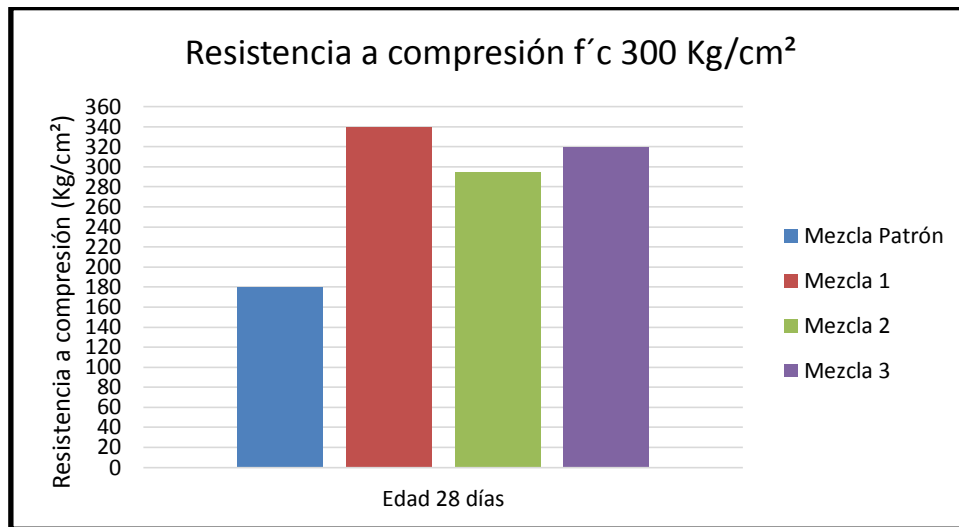


Gráfico 4. 22 Resistencia a compresión promedios a los 28 días para un  $f'c$  de 300 kg/cm<sup>2</sup>.

Finalmente el gráfico 4.22 del ensayo a los 28 días, para una resistencia de diseño de  $f'c$  de 300 kg/cm<sup>2</sup>, nos da como resultado definitivo que la mezcla patrón no es recomendable ya que el valor máximo alcanzado fue de 180,18 Kg/cm<sup>2</sup> lo cual está muy lejos de los valores permisibles (265 Kg/cm<sup>2</sup>) para una resistencia diseño de 300 Kg/cm<sup>2</sup>.

La mezcla 1 con una resistencia de 340,15 Kg/cm<sup>2</sup> está en el límite de un valor máximo permitido, para un concreto con estas características de diseño, el contenido de cemento utilizado para esta mezcla fue de 48 Kg lo que se debe tener en cuenta debido a una posible falla frágil en el comportamiento del concreto.

La mezcla 2 y 3 con resistencias de 294,38 y 319,96 Kg/cm<sup>2</sup>, están dentro del rango permitido, por lo que las dos son recomendables si el elemento único de estudio es la resistencia a compresión. Para este diseño son las dos mezclas que mejor se ajustan y ellas utilizan un contenido de cemento de 42 y 44 Kg respectivamente.

#### IV.6 Determinación del módulo de elasticidad.

Para el cálculo del módulo de elasticidad se realizaron 9 cilindros, evaluados para la edad de 28 días, 3 cilindros por cada una de las resistencias de diseño (210, 250 y 300 Kg/cm<sup>2</sup>), utilizando la mezcla número 3. (Ver tabla 4.39)

Tabla 4. 39 Numero de cilindros ensayados para obtener su modulo de elasticidad

| Módulo de elasticidad |           |
|-----------------------|-----------|
| Mezcla 3              | Cilindros |
| 210                   | 3         |
| 250                   | 3         |
| 300                   | 3         |

Las tablas y gráficos que se presentan a continuación, corresponden a los valores arrojados por el (LVDT), de los cuales se realizaron curvas esfuerzo-deformación, utilizando el valor del 40% de la carga máxima para el cálculo del módulo de elasticidad por el método de la secante.

Debido a que solo se tomó el 40 % del comportamiento de la curva, las gráficas se desenvuelven en el rango elástico, de tal manera se pudo observar (líneas rectas) como comportamiento esperado para cada una de las resistencias esperadas.

Tabla 4. 40 Carga máxima aplicada a los cilindros a los 28 días (f'c 210kg/cm<sup>2</sup>).

| Diseño de mezcla 3      | Resistencia a los 28 días (Kgf/cm <sup>2</sup> ) | Carga Máxima (Kgf) | 40 % Carga Máxima (Kgf) |
|-------------------------|--|--------------------|-------------------------|
| 210 Kgf/cm <sup>2</sup> | 1  | 44857,230          | 18091,187               |
|                         | 2  | 40595,72557        | 16246,252               |
|                         | 3  | 43570,5            | 17346,066               |

Tabla 4. 41 Resultados de módulo de elasticidad a los 28 días (mezcla 3)  
cilindro 1

| Cilindro 1 f'c 210 Kg/cm <sup>2</sup> |                         |                  |                  |                                |                      |
|---------------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|----------------------|
| Carga (Kg)                            | Área (cm <sup>2</sup> ) | Deformación (mm) | Deformación (cm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deformación unitaria |
| 99,513                                | 179,079                 | 0,010            | 0,001            | 0,556                          | 0,00003              |
| 981,481                               | 179,079                 | 0,014            | 0,001            | 5,481                          | 0,00005              |
| 2335,128                              | 179,079                 | 0,107            | 0,011            | 11,040                         | 0,00036              |
| 3704,972                              | 179,079                 | 0,147            | 0,015            | 19,689                         | 0,00049              |
| 4538,392                              | 179,079                 | 0,165            | 0,017            | 25,343                         | 0,00055              |
| 5059,626                              | 179,079                 | 0,169            | 0,017            | 28,254                         | 0,00056              |
| 5852,033                              | 179,079                 | 0,174            | 0,017            | 32,679                         | 0,00058              |
| 6530,710                              | 179,079                 | 0,178            | 0,018            | 36,468                         | 0,00059              |
| 7249,264                              | 179,079                 | 0,183            | 0,018            | 40,481                         | 0,00061              |
| 8106,993                              | 179,079                 | 0,188            | 0,019            | 45,271                         | 0,00062              |
| 9068,714                              | 179,079                 | 0,192            | 0,019            | 50,641                         | 0,00064              |
| 9887,136                              | 179,079                 | 0,196            | 0,020            | 55,211                         | 0,00065              |
| 10590,265                             | 179,079                 | 0,199            | 0,020            | 60,138                         | 0,00066              |
| 11315,714                             | 179,079                 | 0,202            | 0,020            | 65,189                         | 0,00067              |
| 12103,855                             | 179,079                 | 0,205            | 0,021            | 70,590                         | 0,00068              |
| 13545,156                             | 179,079                 | 0,211            | 0,021            | 75,638                         | 0,00070              |
| 14440,488                             | 179,079                 | 0,214            | 0,021            | 80,638                         | 0,00071              |
| 15268,861                             | 179,079                 | 0,217            | 0,022            | 85,263                         | 0,00072              |
| 16140,380                             | 179,079                 | 0,221            | 0,022            | 90,130                         | 0,00073              |
| 17246,607                             | 179,079                 | 0,225            | 0,022            | 96,307                         | 0,00075              |
| 17519,557                             | 179,079                 | 0,226            | 0,023            | 97,832                         | 0,00075              |
| 17812,267                             | 179,079                 | 0,227            | 0,023            | 99,466                         | 0,00075              |
| 18091,187                             | 179,079                 | 0,228            | 0,023            | 100,196                        | 0,00076              |

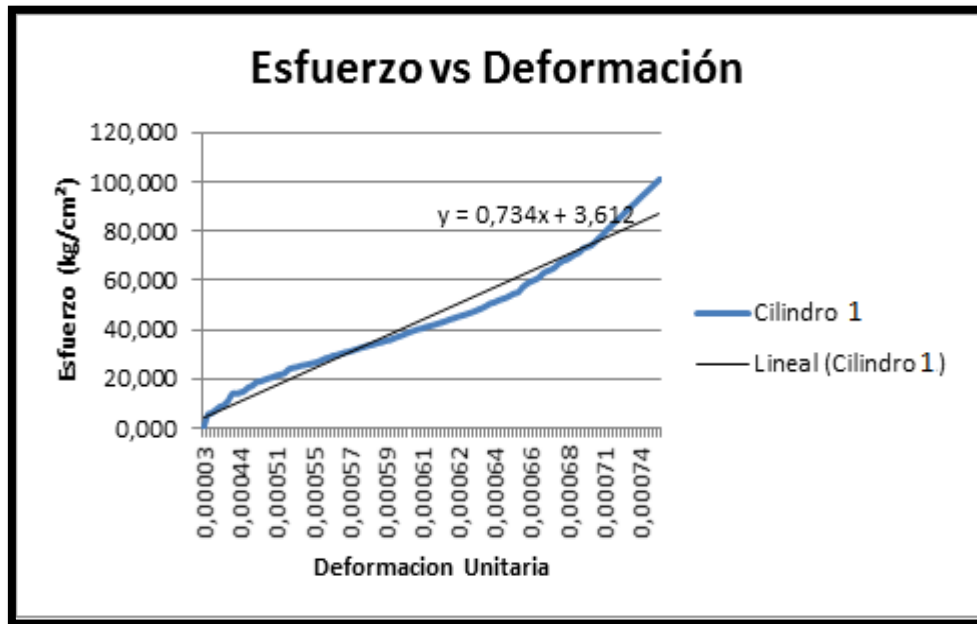


Gráfico 4. 23 Esfuerzo-deformación unitaria cilindro 1 (mezcla 3)

Tabla 4. 42 Resultados de módulo de elasticidad a los 28 días (mezcla 3)  
cilindro 2

| Cilindro 2 f'c 210 Kgf/cm <sup>2</sup> |                         |                  |                  |                                |                      |
|--|-------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|----------------------|
| Carga (Kg)                             | Área (cm <sup>2</sup> ) | Deformación (mm) | Deformación (cm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deformación unitaria |
| 78,260                                 | 179,079                 | 0,002            | 0,000            | 1,437                          | 0,00001              |
| 721,823                                | 179,079                 | 0,005            | 0,000            | 8,031                          | 0,00002              |
| 2064,820                               | 179,079                 | 0,016            | 0,002            | 11,530                         | 0,00005              |
| 3362,610                               | 179,079                 | 0,024            | 0,002            | 15,777                         | 0,00008              |
| 4195,816                               | 179,079                 | 0,043            | 0,004            | 20,430                         | 0,00014              |
| 5022,128                               | 179,079                 | 0,063            | 0,006            | 26,044                         | 0,00021              |
| 5628,801                               | 179,079                 | 0,075            | 0,008            | 30,432                         | 0,00025              |
| 6564,506                               | 179,079                 | 0,094            | 0,009            | 36,657                         | 0,00031              |
| 7214,467                               | 179,079                 | 0,106            | 0,011            | 40,287                         | 0,00035              |
| 8225,446                               | 179,079                 | 0,124            | 0,012            | 45,932                         | 0,00041              |
| 9122,128                               | 179,079                 | 0,138            | 0,014            | 50,939                         | 0,00046              |
| 9888,590                               | 179,079                 | 0,149            | 0,015            | 55,219                         | 0,00050              |
| 10875,686                              | 179,079                 | 0,163            | 0,016            | 60,731                         | 0,00054              |
| 11650,252                              | 179,079                 | 0,173            | 0,017            | 65,057                         | 0,00058              |
| 12627,326                              | 179,079                 | 0,186            | 0,019            | 70,513                         | 0,00062              |
| 13558,126                              | 179,079                 | 0,197            | 0,020            | 75,710                         | 0,00065              |
| 14372,141                              | 179,079                 | 0,206            | 0,021            | 80,256                         | 0,00069              |
| 15308,201                              | 179,079                 | 0,216            | 0,022            | 85,483                         | 0,00072              |
| 16246,252                              | 179,079                 | 0,225            | 0,023            | 90,761                         | 0,00075              |

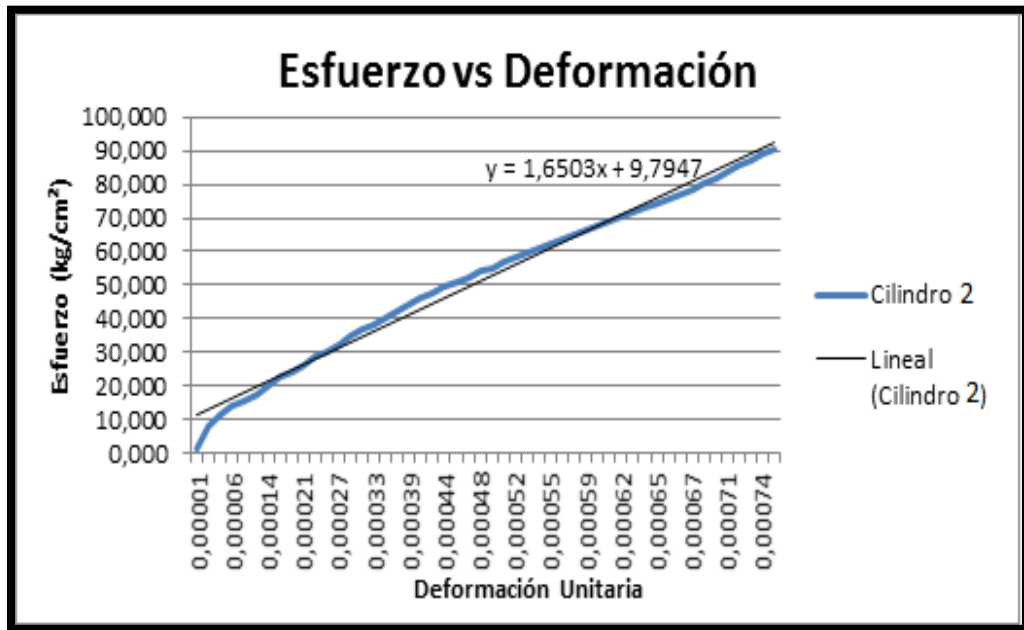


Gráfico 4. 24 Esfuerzo-deformación unitaria cilindro 2 (mezcla 3)

Tabla 4. 43 Resultados de módulo de elasticidad a los 28 días (mezcla 3)  
cilindro 3

| Cilindro 3 f'c 210 Kgf/cm <sup>2</sup> |                         |                  |                  |                                |                      |
|--|-------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|----------------------|
| Carga (Kg)                             | Área (cm <sup>2</sup> ) | Deformación (mm) | Deformación (cm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deformación unitaria |
| 88,886                                 | 179,791                 | 0,002            | 0,000            | 0,494                          | 0,00001              |
| 851,652                                | 179,791                 | 0,016            | 0,002            | 4,737                          | 0,00005              |
| 1677,172                               | 179,791                 | 0,073            | 0,007            | 9,328                          | 0,00024              |
| 3265,472                               | 179,791                 | 0,086            | 0,009            | 16,163                         | 0,00029              |
| 3807,487                               | 179,791                 | 0,090            | 0,009            | 20,177                         | 0,00030              |
| 4696,883                               | 179,791                 | 0,097            | 0,010            | 26,124                         | 0,00032              |
| 5511,466                               | 179,791                 | 0,105            | 0,010            | 30,655                         | 0,00035              |
| 6559,656                               | 179,791                 | 0,114            | 0,011            | 35,485                         | 0,00038              |
| 7243,238                               | 179,791                 | 0,121            | 0,012            | 40,287                         | 0,00040              |
| 8111,772                               | 179,791                 | 0,131            | 0,013            | 45,118                         | 0,00044              |
| 8950,061                               | 179,791                 | 0,140            | 0,014            | 50,780                         | 0,00047              |
| 9748,296                               | 179,791                 | 0,149            | 0,015            | 55,220                         | 0,00050              |
| 10670,531                              | 179,791                 | 0,159            | 0,016            | 60,350                         | 0,00053              |
| 11707,988                              | 179,791                 | 0,168            | 0,017            | 66,120                         | 0,00056              |
| 12650,908                              | 179,791                 | 0,176            | 0,018            | 70,365                         | 0,00058              |
| 13552,459                              | 179,791                 | 0,183            | 0,018            | 75,379                         | 0,00061              |
| 14541,616                              | 179,791                 | 0,191            | 0,019            | 80,881                         | 0,00063              |
| 15500,778                              | 179,791                 | 0,198            | 0,020            | 86,216                         | 0,00066              |
| 16221,997                              | 179,791                 | 0,204            | 0,020            | 90,227                         | 0,00068              |
| 17124,614                              | 179,791                 | 0,211            | 0,021            | 95,247                         | 0,00070              |
| 17346,066                              | 179,791                 | 0,213            | 0,021            | 96,936                         | 0,00071              |

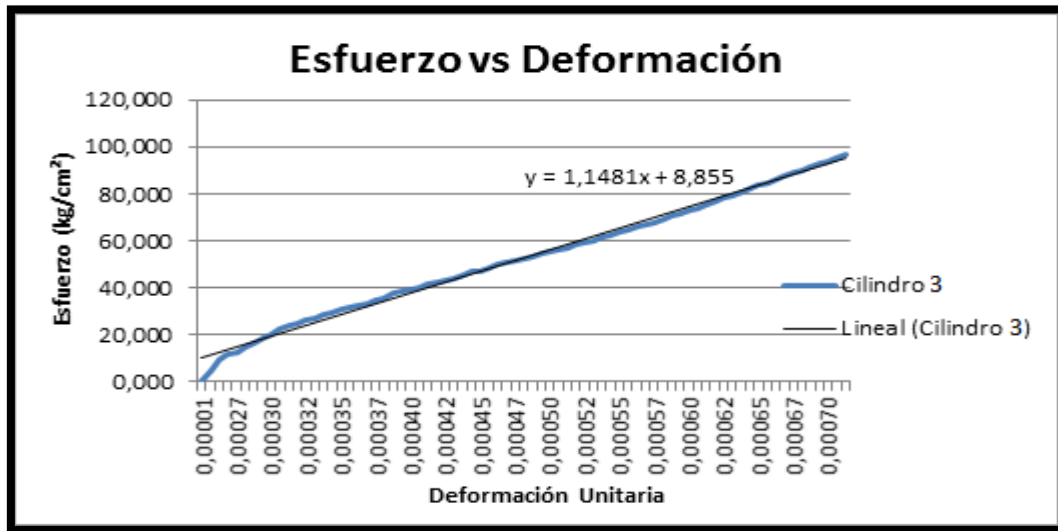


Gráfico 4. 25 Esfuerzo-deformación unitaria cilindro 3 (mezcla 3)

Tabla 4. 44 Carga máxima aplicada a los cilindros a los 28 días (f'c 250kg/cm<sup>2</sup>).

| Diseño de mezcla 3     | Resistencia a los 28 días (Kgf/cm <sup>2</sup> ) | Carga Máxima (Kgf) | 40 % Carga Máxima (Kgf) |
|------------------------|--|--------------------|-------------------------|
| 250 Kg/cm <sup>2</sup> | 1  | 50014,05582        | 20183,548               |
|                        | 2  | 46525,30825        | 19080,501               |
|                        | 3  | 51639,25954        | 20612,667               |



Tabla 4. 45 Resultados de módulo de elasticidad a los 28 días (mezcla 3) cilindro 1

| Cilindro 1 f'c 250 Kgf/cm <sup>2</sup> |                         |                  |                  |                                |                      |
|--|-------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|----------------------|
| Carga (Kg)                             | Área (cm <sup>2</sup> ) | Deformación (mm) | Deformación (cm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deformación unitaria |
| 899,312                                | 179,791                 | 0,004            | 0,000            | 2,002                          | 0,00001              |
| 2775,982                               | 179,791                 | 0,016            | 0,002            | 15,440                         | 0,00005              |
| 3389,903                               | 179,791                 | 0,024            | 0,002            | 20,855                         | 0,00008              |
| 3831,048                               | 179,791                 | 0,024            | 0,002            | 24,308                         | 0,00008              |
| 5553,347                               | 179,791                 | 0,026            | 0,003            | 31,888                         | 0,00009              |
| 5989,516                               | 179,791                 | 0,026            | 0,003            | 35,314                         | 0,00009              |
| 7489,730                               | 179,791                 | 0,027            | 0,003            | 41,658                         | 0,00009              |
| 7940,055                               | 179,791                 | 0,026            | 0,003            | 44,163                         | 0,00009              |
| 9391,824                               | 179,791                 | 0,026            | 0,003            | 52,237                         | 0,00009              |
| 9815,587                               | 179,791                 | 0,044            | 0,004            | 54,594                         | 0,00015              |
| 10953,511                              | 179,791                 | 0,107            | 0,011            | 62,924                         | 0,00036              |
| 11768,218                              | 179,791                 | 0,128            | 0,013            | 66,455                         | 0,00043              |
| 13168,388                              | 179,791                 | 0,167            | 0,017            | 72,243                         | 0,00055              |
| 13331,379                              | 179,791                 | 0,184            | 0,018            | 74,149                         | 0,00061              |
| 15165,756                              | 179,791                 | 0,208            | 0,021            | 81,352                         | 0,00069              |
| 15917,007                              | 179,791                 | 0,214            | 0,021            | 85,531                         | 0,00071              |
| 16530,290                              | 179,791                 | 0,219            | 0,022            | 90,942                         | 0,00073              |
| 17191,979                              | 179,791                 | 0,226            | 0,023            | 95,622                         | 0,00075              |
| 18305,741                              | 179,791                 | 0,236            | 0,024            | 101,817                        | 0,00078              |
| 19024,082                              | 179,791                 | 0,242            | 0,024            | 105,812                        | 0,00080              |
| 19811,512                              | 179,791                 | 0,249            | 0,025            | 110,192                        | 0,00083              |
| 20183,548                              | 179,791                 | 0,252            | 0,025            | 111,272                        | 0,00084              |



Gráfico 4. 26 Esfuerzo-deformación unitaria cilindro 1 (mezcla 3)

Tabla 4. 46 Resultados de módulo de elasticidad a los 28 días (mezcla 3)  
cilindro 2

| Cilindro 2 f'c 250 Kg/cm <sup>2</sup> |                         |                  |                  |                                |                      |
|---------------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|----------------------|
| Carga (Kg)                            | Área (cm <sup>2</sup> ) | Deformación (mm) | Deformación (cm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deformación unitaria |
| 1039,777                              | 178,842                 | 0,004            | 0,000            | 1,373                          | 0,00001              |
| 1075,805                              | 178,842                 | 0,004            | 0,000            | 5,015                          | 0,00001              |
| 1670,892                              | 178,842                 | 0,047            | 0,005            | 10,343                         | 0,00005              |
| 2207,621                              | 178,842                 | 0,076            | 0,008            | 14,344                         | 0,00022              |
| 3750,568                              | 178,842                 | 0,096            | 0,010            | 21,971                         | 0,00030              |
| 4788,852                              | 178,842                 | 0,106            | 0,011            | 26,777                         | 0,00034              |
| 5372,353                              | 178,842                 | 0,112            | 0,011            | 30,040                         | 0,00035              |
| 6381,078                              | 178,842                 | 0,122            | 0,012            | 35,680                         | 0,00039              |
| 7448,516                              | 178,842                 | 0,132            | 0,013            | 40,649                         | 0,00042              |
| 8334,170                              | 178,842                 | 0,140            | 0,014            | 44,601                         | 0,00045              |
| 9386,487                              | 178,842                 | 0,153            | 0,015            | 51,485                         | 0,00049              |
| 9708,980                              | 178,842                 | 0,157            | 0,016            | 54,288                         | 0,00051              |
| 10752,504                             | 178,842                 | 0,170            | 0,017            | 60,123                         | 0,00055              |
| 11473,830                             | 178,842                 | 0,178            | 0,018            | 64,156                         | 0,00058              |
| 12593,207                             | 178,842                 | 0,191            | 0,019            | 70,415                         | 0,00062              |
| 13388,954                             | 178,842                 | 0,197            | 0,020            | 74,865                         | 0,00065              |
| 14665,562                             | 178,842                 | 0,207            | 0,021            | 82,003                         | 0,00068              |
| 15276,642                             | 178,842                 | 0,210            | 0,021            | 85,420                         | 0,00069              |
| 16509,677                             | 178,842                 | 0,220            | 0,022            | 92,315                         | 0,00072              |
| 16991,674                             | 178,842                 | 0,223            | 0,022            | 95,010                         | 0,00073              |
| 18135,047                             | 178,842                 | 0,233            | 0,023            | 101,403                        | 0,00076              |
| 18546,898                             | 178,842                 | 0,236            | 0,024            | 103,706                        | 0,00077              |
| 19080,501                             | 178,842                 | 0,240            | 0,024            | 104,064                        | 0,00078              |

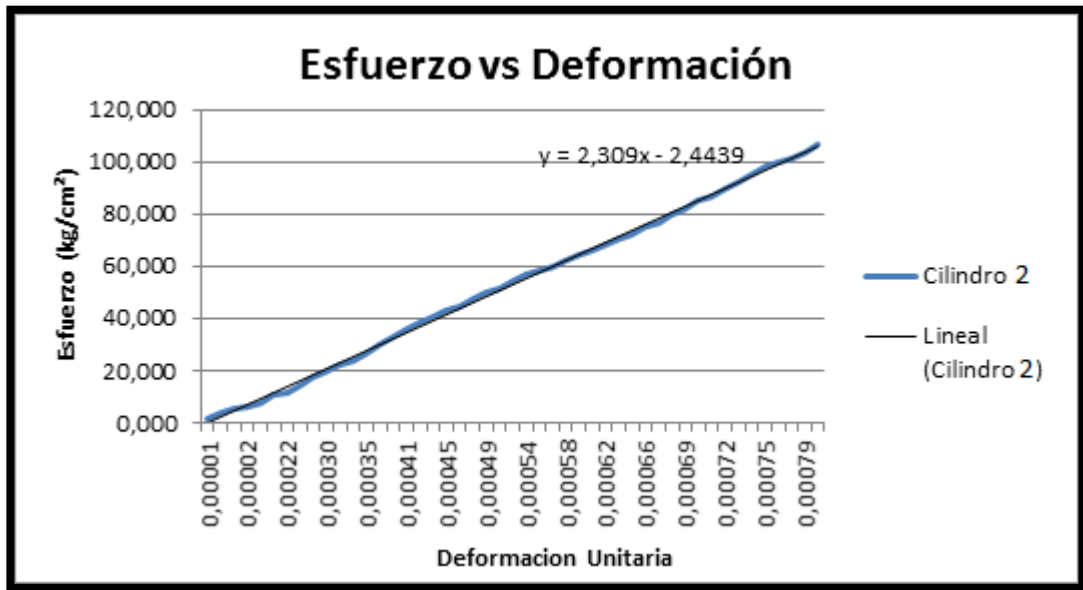


Gráfico 4. 27 Esfuerzo-deformación unitaria cilindro 2 (mezcla 3)

Tabla 4. 47 Resultados de módulo de elasticidad a los 28 días (mezcla 3) cilindro 3

| Cilindro 3 f'c 250 Kg/cm <sup>2</sup> |                         |                  |                  |                                |                      |
|---------------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|----------------------|
| Carga (Kg)                            | Área (cm <sup>2</sup> ) | Deformación (mm) | Deformación (cm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deformación unitaria |
| 80,534                                | 179,079                 | 0,000            | 0,000            | 0,450                          | 0,00000              |
| 427,052                               | 179,079                 | 0,002            | 0,000            | 1,385                          | 0,00001              |
| 1138,854                              | 179,079                 | 0,013            | 0,001            | 5,360                          | 0,00004              |
| 1545,932                              | 179,079                 | 0,014            | 0,001            | 8,633                          | 0,00005              |
| 1896,075                              | 179,079                 | 0,020            | 0,002            | 10,588                         | 0,00007              |
| 2719,331                              | 179,079                 | 0,027            | 0,003            | 15,185                         | 0,00009              |
| 3694,415                              | 179,079                 | 0,035            | 0,003            | 20,630                         | 0,00012              |
| 4591,736                              | 179,079                 | 0,041            | 0,004            | 25,641                         | 0,00014              |
| 5462,971                              | 179,079                 | 0,047            | 0,005            | 30,506                         | 0,00016              |
| 6407,277                              | 179,079                 | 0,052            | 0,005            | 35,779                         | 0,00017              |
| 7426,218                              | 179,079                 | 0,058            | 0,006            | 40,469                         | 0,00019              |
| 8352,896                              | 179,079                 | 0,062            | 0,006            | 45,644                         | 0,00021              |
| 9315,185                              | 179,079                 | 0,067            | 0,007            | 50,017                         | 0,00022              |
| 10053,926                             | 179,079                 | 0,072            | 0,007            | 55,143                         | 0,00024              |
| 10748,241                             | 179,079                 | 0,078            | 0,008            | 60,020                         | 0,00026              |
| 11479,661                             | 179,079                 | 0,087            | 0,009            | 65,104                         | 0,00029              |
| 12546,652                             | 179,079                 | 0,112            | 0,011            | 70,062                         | 0,00037              |
| 13397,487                             | 179,079                 | 0,132            | 0,013            | 75,813                         | 0,00044              |
| 14124,784                             | 179,079                 | 0,150            | 0,015            | 80,875                         | 0,00050              |
| 14976,614                             | 179,079                 | 0,167            | 0,017            | 85,631                         | 0,00055              |
| 15849,626                             | 179,079                 | 0,184            | 0,018            | 90,507                         | 0,00061              |
| 16832,600                             | 179,079                 | 0,201            | 0,020            | 95,996                         | 0,00067              |
| 18062,294                             | 179,079                 | 0,221            | 0,022            | 100,862                        | 0,00074              |
| 18893,298                             | 179,079                 | 0,235            | 0,024            | 105,503                        | 0,00078              |
| 19879,754                             | 179,079                 | 0,252            | 0,025            | 111,011                        | 0,00084              |
| 20612,667                             | 179,079                 | 0,266            | 0,027            | 115,344                        | 0,00088              |

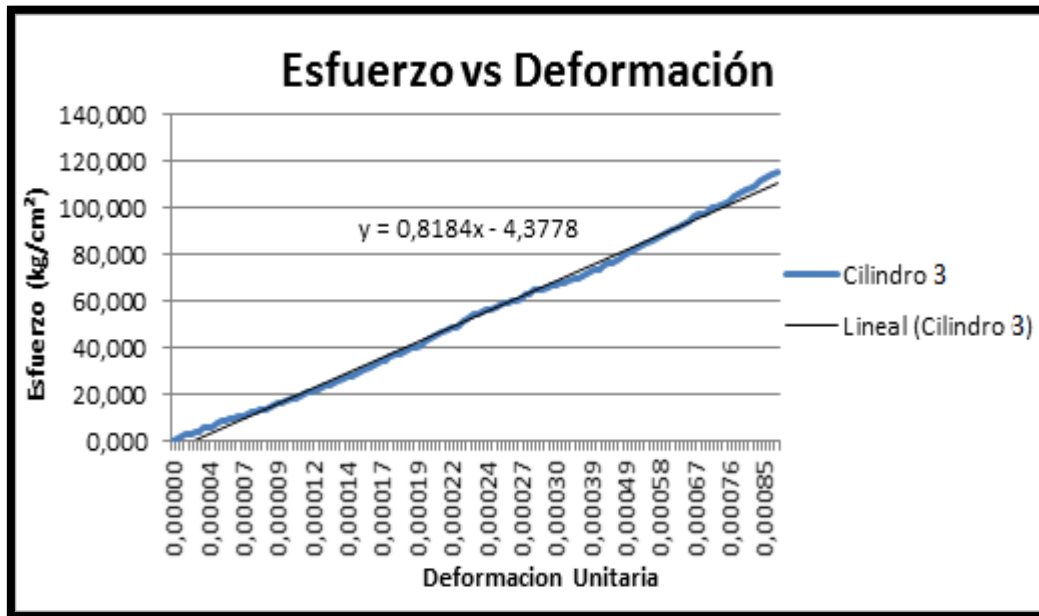


Gráfico 4. 28 Esfuerzo-deformación unitaria cilindro 3 (mezcla 3)

Tabla 4. 48 Carga máxima aplicada a los cilindros a los 28 días ( $f'c$  300kg/cm<sup>2</sup>).

| Diseño de mezcla 3      | Resistencia a los 28 días (Kgf/cm <sup>2</sup> ) | Carga Máxima (Kgf) | 40 % Carga Máxima (Kgf) |
|-------------------------|--|--------------------|-------------------------|
| 300 Kgf/cm <sup>2</sup> | 1  | 58728,17986        | 23492,142               |
|                         | 2  | 57234,30122        | 22819,791               |
|                         | 3  | 55099,22763        | 22303,959               |

Tabla 4. 49 Resultados de módulo de elasticidad a los 28 días (mezcla 3)  
cilindro 1

| Cilindro 1 f'c 300 Kgf/cm <sup>2</sup> |                         |                  |                  |                                |                      |
|--|-------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|----------------------|
| Carga (Kg)                             | Área (cm <sup>2</sup> ) | Deformación (mm) | Deformación (cm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deformación unitaria |
| 124,746                                | 177,658                 | 0,015            | 0,001            | 0,702                          | 0,00005              |
| 846,073                                | 177,658                 | 0,025            | 0,002            | 5,762                          | 0,00008              |
| 1362,544                               | 177,658                 | 0,056            | 0,006            | 10,669                         | 0,00019              |
| 2378,926                               | 177,658                 | 0,071            | 0,007            | 15,290                         | 0,00024              |
| 3651,269                               | 177,658                 | 0,088            | 0,009            | 20,552                         | 0,00029              |
| 4540,701                               | 177,658                 | 0,106            | 0,011            | 25,559                         | 0,00035              |
| 5412,362                               | 177,658                 | 0,120            | 0,012            | 30,465                         | 0,00040              |
| 6226,591                               | 177,658                 | 0,133            | 0,013            | 35,048                         | 0,00044              |
| 7201,888                               | 177,658                 | 0,148            | 0,015            | 40,538                         | 0,00049              |
| 8051,017                               | 177,658                 | 0,160            | 0,016            | 45,317                         | 0,00053              |
| 9068,464                               | 177,658                 | 0,172            | 0,017            | 51,044                         | 0,00057              |
| 9796,614                               | 177,658                 | 0,182            | 0,018            | 55,143                         | 0,00060              |
| 10775,750                              | 177,658                 | 0,192            | 0,019            | 60,654                         | 0,00064              |
| 11644,426                              | 177,658                 | 0,198            | 0,020            | 65,544                         | 0,00066              |
| 12544,093                              | 177,658                 | 0,204            | 0,020            | 70,608                         | 0,00068              |
| 13375,950                              | 177,658                 | 0,210            | 0,021            | 75,290                         | 0,00070              |
| 14215,483                              | 177,658                 | 0,216            | 0,022            | 80,016                         | 0,00072              |
| 15304,367                              | 177,658                 | 0,221            | 0,022            | 86,145                         | 0,00073              |
| 16139,990                              | 177,658                 | 0,225            | 0,023            | 90,848                         | 0,00075              |
| 16893,729                              | 177,658                 | 0,229            | 0,023            | 95,091                         | 0,00076              |
| 17780,957                              | 177,658                 | 0,234            | 0,023            | 100,085                        | 0,00078              |
| 18679,985                              | 177,658                 | 0,238            | 0,024            | 105,146                        | 0,00079              |
| 19586,191                              | 177,658                 | 0,243            | 0,024            | 110,246                        | 0,00081              |
| 20510,097                              | 177,658                 | 0,247            | 0,025            | 115,447                        | 0,00082              |
| 21473,240                              | 177,658                 | 0,250            | 0,025            | 120,868                        | 0,00083              |
| 22289,529                              | 177,658                 | 0,253            | 0,025            | 125,463                        | 0,00084              |
| 23132,048                              | 177,658                 | 0,255            | 0,026            | 130,205                        | 0,00085              |
| 23492,142                              | 177,658                 | 0,256            | 0,026            | 132,228                        | 0,00085              |

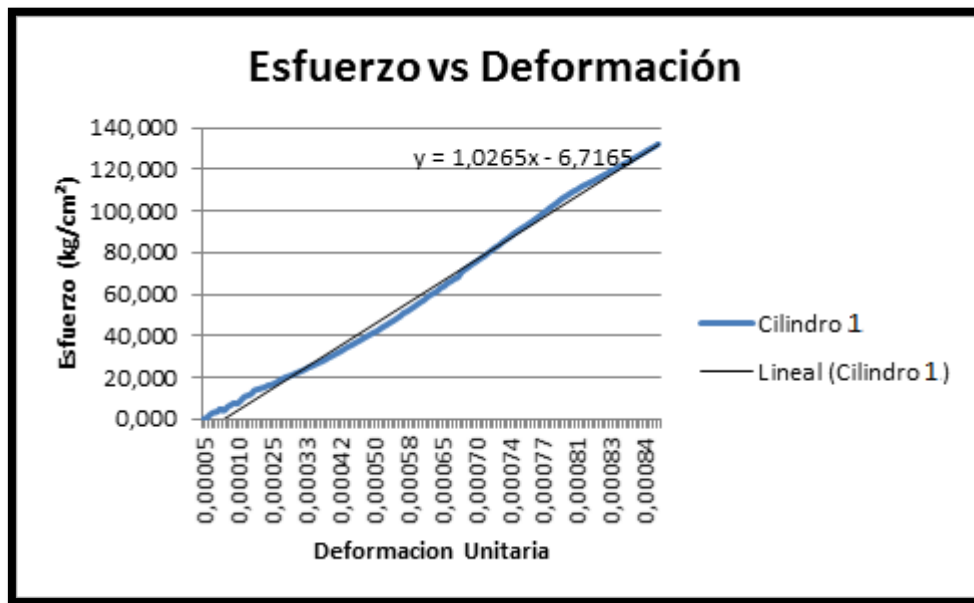


Gráfico 4. 29 Esfuerzo-deformación unitaria cilindro 1 (mezcla 3)



Tabla 4. 50 Resultados de módulo de elasticidad a los 28 días (mezcla 3)  
cilindro 2

| Cilindro 2 f'c 300 Kg/cm <sup>2</sup> |                         |                  |                  |                                |                      |
|---------------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|----------------------|
| Carga (Kg)                            | Área (cm <sup>2</sup> ) | Deformación (mm) | Deformación (cm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deformación unitaria |
| 93,400                                | 179,553                 | 0,001            | 0,000            | 0,520                          | 0,00000              |
| 923,906                               | 179,553                 | 0,004            | 0,000            | 5,146                          | 0,00001              |
| 1581,878                              | 179,553                 | 0,016            | 0,002            | 8,810                          | 0,00005              |
| 1980,053                              | 179,553                 | 0,026            | 0,003            | 10,028                         | 0,00009              |
| 3424,177                              | 179,553                 | 0,042            | 0,004            | 15,071                         | 0,00014              |
| 4676,251                              | 179,553                 | 0,065            | 0,007            | 20,044                         | 0,00022              |
| 5325,857                              | 179,553                 | 0,082            | 0,008            | 25,662                         | 0,00027              |
| 5720,802                              | 179,553                 | 0,095            | 0,010            | 30,861                         | 0,00032              |
| 6549,723                              | 179,553                 | 0,104            | 0,010            | 35,478                         | 0,00035              |
| 7536,891                              | 179,553                 | 0,111            | 0,011            | 40,976                         | 0,00037              |
| 8191,614                              | 179,553                 | 0,115            | 0,012            | 45,622                         | 0,00038              |
| 9141,322                              | 179,553                 | 0,121            | 0,012            | 50,911                         | 0,00040              |
| 9927,758                              | 179,553                 | 0,126            | 0,013            | 55,291                         | 0,00042              |
| 10870,856                             | 179,553                 | 0,131            | 0,013            | 60,544                         | 0,00044              |
| 11821,274                             | 179,553                 | 0,137            | 0,014            | 65,837                         | 0,00045              |
| 12676,516                             | 179,553                 | 0,142            | 0,014            | 70,600                         | 0,00047              |
| 13570,142                             | 179,553                 | 0,149            | 0,015            | 75,577                         | 0,00049              |
| 14525,181                             | 179,553                 | 0,155            | 0,016            | 80,896                         | 0,00052              |
| 15283,398                             | 179,553                 | 0,160            | 0,016            | 85,119                         | 0,00053              |
| 16262,249                             | 179,553                 | 0,167            | 0,017            | 90,571                         | 0,00055              |
| 17319,928                             | 179,553                 | 0,174            | 0,017            | 96,461                         | 0,00058              |
| 18120,083                             | 179,553                 | 0,180            | 0,018            | 100,918                        | 0,00060              |
| 18905,452                             | 179,553                 | 0,186            | 0,019            | 105,292                        | 0,00062              |
| 19799,575                             | 179,553                 | 0,192            | 0,019            | 110,271                        | 0,00064              |
| 20689,434                             | 179,553                 | 0,198            | 0,020            | 115,227                        | 0,00066              |
| 21635,161                             | 179,553                 | 0,203            | 0,020            | 120,494                        | 0,00068              |
| 22522,958                             | 179,553                 | 0,209            | 0,021            | 125,439                        | 0,00069              |
| 22819,791                             | 179,553                 | 0,211            | 0,021            | 127,504                        | 0,00070              |

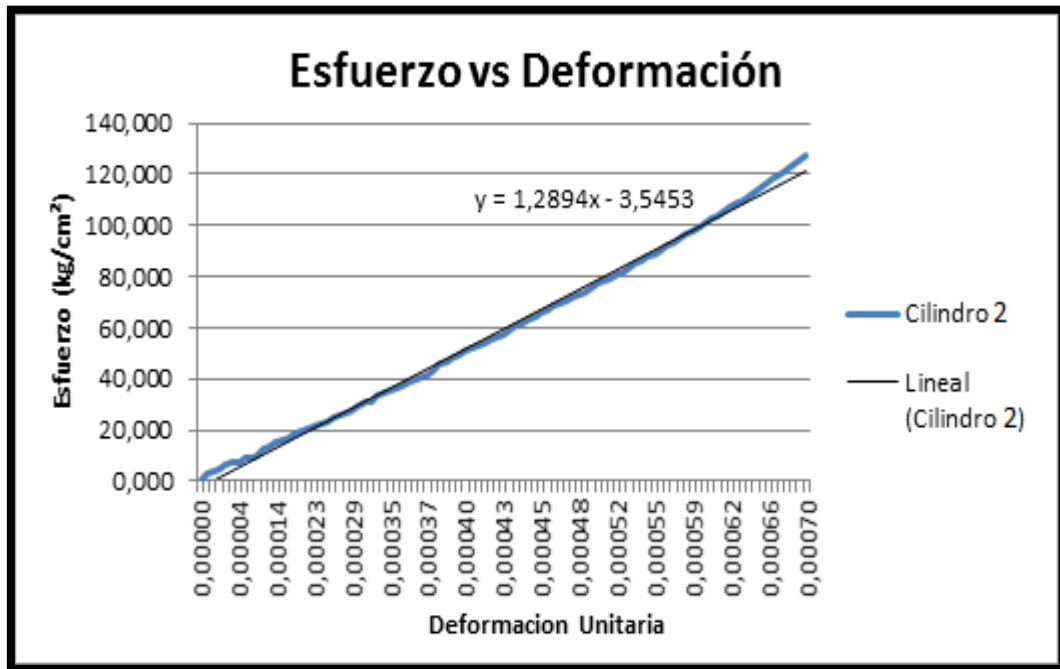


Gráfico 4. 30 Esfuerzo-deformación unitaria cilindro 2 (mezcla 3)

Tabla 4. 51 Resultados de módulo de elasticidad a los 28 días (mezcla 3)  
cilindro 3

| Cilindro 3 f'c 300 Kg/cm <sup>2</sup> |                         |                  |                  |                                |                      |
|---------------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|----------------------|
| Carga (Kg)                            | Área (cm <sup>2</sup> ) | Deformación (mm) | Deformación (cm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deformación unitaria |
| 234,282                               | 177,422                 | 0,000            | 0,000            | 0,320                          | 0,00000              |
| 1036,213                              | 177,422                 | 0,011            | 0,001            | 5,840                          | 0,00004              |
| 1131,746                              | 177,422                 | 0,015            | 0,002            | 6,379                          | 0,00005              |
| 1848,096                              | 177,422                 | 0,058            | 0,006            | 10,416                         | 0,00019              |
| 2750,820                              | 177,422                 | 0,099            | 0,010            | 15,504                         | 0,00033              |
| 3622,837                              | 177,422                 | 0,122            | 0,012            | 20,419                         | 0,00041              |
| 4575,814                              | 177,422                 | 0,147            | 0,015            | 25,791                         | 0,00049              |
| 5483,087                              | 177,422                 | 0,161            | 0,016            | 30,904                         | 0,00053              |
| 6419,077                              | 177,422                 | 0,174            | 0,017            | 36,180                         | 0,00058              |
| 7160,377                              | 177,422                 | 0,182            | 0,018            | 40,358                         | 0,00060              |
| 8255,942                              | 177,422                 | 0,191            | 0,019            | 46,533                         | 0,00063              |
| 9172,526                              | 177,422                 | 0,196            | 0,020            | 51,699                         | 0,00065              |
| 9787,942                              | 177,422                 | 0,199            | 0,020            | 55,168                         | 0,00066              |
| 10808,091                             | 177,422                 | 0,204            | 0,020            | 60,917                         | 0,00068              |
| 11884,892                             | 177,422                 | 0,209            | 0,021            | 66,987                         | 0,00069              |
| 12673,815                             | 177,422                 | 0,211            | 0,021            | 71,433                         | 0,00070              |
| 13374,315                             | 177,422                 | 0,214            | 0,021            | 75,381                         | 0,00071              |
| 14219,108                             | 177,422                 | 0,216            | 0,022            | 80,143                         | 0,00072              |
| 15146,710                             | 177,422                 | 0,218            | 0,022            | 85,371                         | 0,00072              |
| 15987,878                             | 177,422                 | 0,220            | 0,022            | 90,112                         | 0,00073              |
| 16910,362                             | 177,422                 | 0,224            | 0,022            | 95,311                         | 0,00074              |
| 17942,950                             | 177,422                 | 0,227            | 0,023            | 101,131                        | 0,00075              |
| 18929,904                             | 177,422                 | 0,228            | 0,023            | 106,694                        | 0,00076              |
| 19999,881                             | 177,422                 | 0,230            | 0,023            | 112,725                        | 0,00076              |
| 20541,941                             | 177,422                 | 0,230            | 0,023            | 115,780                        | 0,00076              |
| 21138,947                             | 177,422                 | 0,231            | 0,023            | 119,145                        | 0,00077              |
| 22303,959                             | 177,422                 | 0,232            | 0,023            | 124,221                        | 0,00077              |

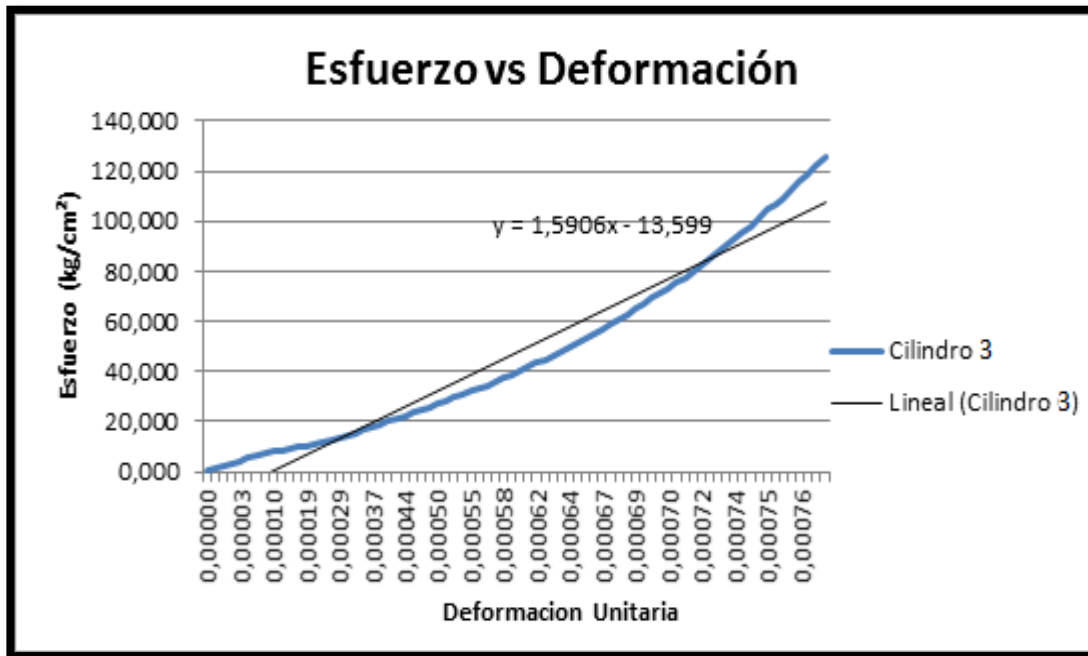


Gráfico 4. 31 Esfuerzo-deformación unitaria cilindro 3 (mezcla 3)

A continuación se presentan las tablas con los valores del módulo de elasticidad, calculados por el método de la secante, tangente y la fórmula de cálculo utilizando las ecuaciones (2.1, 2.2 y 2.3).

Tabla 4. 52 Valores del módulo de elasticidad por el método de la secante y tangente  $f^c$  210kg/cm<sup>2</sup>.

| Módulos de elasticidad 210 |              |               |
|----------------------------|--------------|---------------|
| Diseño de Mezcla 3         | Ec (Secante) | Ec (Tangente) |
| 1                          | 133688,4325  | 168383,6208   |
| 2                          | 113400,938   | 200307,2142   |
| 3                          | 139996,091   | 192929,5008   |

Tabla 4. 53 Valores del módulo de elasticidad por la fórmula de cálculo  $f^c$  210kg/cm<sup>2</sup>.

| Fórmula de Cálculo aplicada a concreto liviano |              |                |
|--|--------------|----------------|
| Diseño de Mezcla 3                             | Ec (cálculo) | Rango Inferior |
| 1  | 140139,968   | 115336,5889    |
| 2  | 154656,2464  | Rango Superior |
| 3  | 160414,7012  | 164422,261     |

Tabla 4. 54 Valores del módulo de elasticidad por el método de la secante y tangente  $f^c$  250kg/cm<sup>2</sup>.

| Módulos de Elasticidad 250 |              |               |
|----------------------------|--------------|---------------|
| Diseño de Mezcla 3         | Ec (Secante) | Ec (Tangente) |
| 1                          | 121604,972   | 162573,7829   |
| 2                          | 130498,962   | 164860,583    |
| 3                          | 128123,951   | 159262,1231   |

Tabla 4. 55 Valores del módulo de elasticidad por la fórmula de cálculo  $f^c$  250 kg/cm<sup>2</sup>.

| Formula de Calculo aplicada a concreto liviano |              |                |
|--|--------------|----------------|
| Diseño de Mezcla 3                             | Ec (calculo) | Rango Inferior |
| 1  | 172364,635   | 158910,6471    |
| 2  | 177138,0743  | Rango Superior |
| 3  | 177279,1266  | 226540,8412    |

Tabla 4. 56 Valores del módulo de elasticidad por el método de la secante y tangente  $f'c$  300kg/cm<sup>2</sup>.

| Módulos de Elasticidad 300 |              |               |
|----------------------------|--------------|---------------|
| Diseño de Mezcla 3         | Ec (Secante) | Ec (Tangente) |
| 1                          | 164547,048   | 166954,5455   |
| 2                          | 182251,832   | 270135,5932   |
| 3                          | 163598,689   | 209831,0811   |

Tabla 4. 57 Valores del módulo de elasticidad por la fórmula de cálculo  $f'c$  300 kg/cm<sup>2</sup>.

| Formula de Calculo aplicada a concreto liviano |              |                |
|--|--------------|----------------|
| Diseño de Mezcla 3                             | Ec (calculo) | Rango Inferior |
| 1  | 200569,8357  | 174077,892     |
| 2  | 196211,9738  | Rango Superior |
| 3  | 201977,3401  | 248163,0579    |

Para las resistencia de diseño 210, 250 y 300 Kg/cm<sup>2</sup> los valores del módulo de elasticidad calculados por el método de la secante, tangente y la fórmula de cálculo estuvieron dentro del rango de valores para un concreto liviano, siendo el valor arrojado por el método de la secante el menor de las tres consideraciones, lo cual evidencia que hay más rigidez en el elemento que lo que expresan los valores de cálculo y método de tangente.

Valores de la variable K calculados mediante la ecuación 3.11

Tabla 4. 58 Valores de la variable “k” para la fórmula establecida para cada una de las resistencias de diseño.

| Valores de k       |             |             |            |
|--------------------|-------------|-------------|------------|
| Diseño de Mezcla 3 | K 210       | K 250       | K 300      |
| 1                  | 0,130693017 | 0,096654869 | 0,1123945  |
| 2                  | 0,100454581 | 0,100928938 | 0,12725269 |
| 3                  | 0,119561763 | 0,099013243 | 0,11096799 |

Tabla 4. 59 Valor de la variable “k” promedio definitivo para la fórmula establecida para cada una de las resistencias de diseño.

| K 210 promedio | K 250 promedio | K 300 promedio | K Promedio Definitivo |
|----------------|----------------|----------------|-----------------------|
| 0,1169         | 0,0989         | 0,1169         | 0,1109                |

Con el valor de k promedio definitivo se tomó la ecuación 3.11 y se dejó en función del módulo de elasticidad quedando de la siguiente manera:

$$E_c = 0,1109 * w^{1,5} * \sqrt{f^c}$$

Esta ecuación para el concreto liviano es válida para valores de peso unitario entre 1500 a 1900kgf/m<sup>3</sup>. La desviación estándar es 0,008849, este valor es la desviación entre el valor normativo (0,14) y el valor calculado (0,1109).

#### IV.7 Velocidad de pulso ultrasónico.

Para el cálculo de la velocidad de pulso ultrasónico se realizaron 9 cilindros, evaluados para la edad de 28 días, 3 cilindros por cada una de las resistencias de diseño (210, 250 y 300 Kg/cm<sup>2</sup>), utilizando la mezcla número 3. (Ver tabla 4.60)

Tabla 4. 60 Numero de cilindros ensayados para obtener su velocidad de pulso ultrasonico.

| Velocidad de Pulso Ultrasónico |         |
|--------------------------------|---------|
| Mezcla 3                       | 28 días |
| 210                            | 3       |
| 250                            | 3       |
| 300                            | 3       |

Tabla 4. 61 Velocidad de pulso ultrasónico para el diseño mezcla 3.

| Diseño de Mezcla 3     | Cilindr o N° | t Ultrasonid o (µs) | t Ultrasonid o (s) | h (cm) | h (m) | V (m/s) | V Promedi o (m/s) |
|------------------------|--------------|---------------------|--------------------|--------|-------|---------|-------------------|
| 210 Kg/cm <sup>2</sup> | 1            | 70,7                | 0,0000707          | 30,16  | 0,302 | 4266    | <b>4170</b>       |
|                        | 2            | 73,8                | 0,0000738          | 30,16  | 0,302 | 4086    |                   |
|                        | 3            | 72,5                | 0,0000725          | 30,15  | 0,302 | 4159    |                   |
| 250 Kg/cm <sup>2</sup> | 1            | 77,7                | 0,0000777          | 30,20  | 0,302 | 3887    | <b>4126</b>       |
|                        | 2            | 70,6                | 0,0000706          | 30,10  | 0,301 | 4263    |                   |
|                        | 3            | 71,2                | 0,0000712          | 30,10  | 0,301 | 4228    |                   |
| 300 Kg/cm <sup>2</sup> | 1            | 75,4                | 0,0000754          | 30,20  | 0,302 | 4005    | <b>3930</b>       |
|                        | 2            | 78,6                | 0,0000786          | 30,18  | 0,302 | 3840    |                   |
|                        | 3            | 76,4                | 0,0000764          | 30,14  | 0,301 | 3945    |                   |



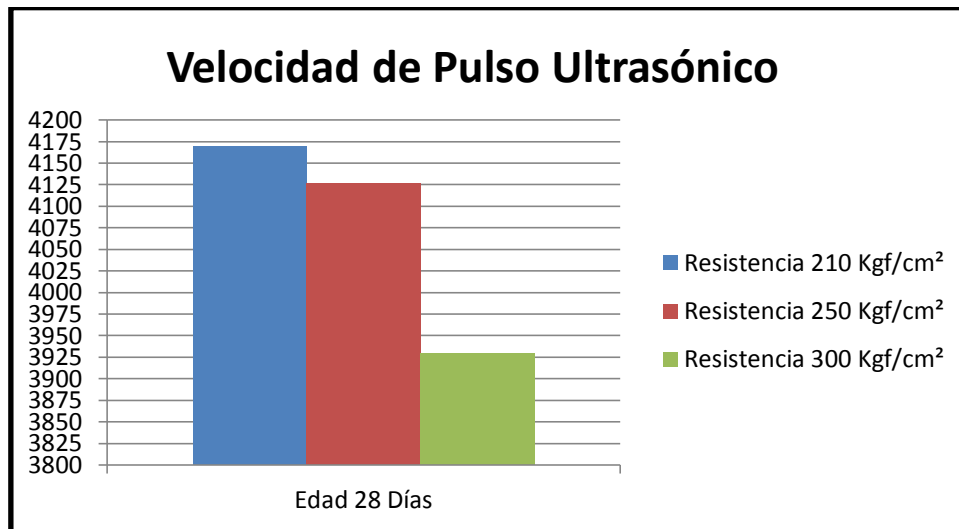


Gráfico 4. 32 Velocidad de pulso ultrasónico para el diseño mezcla 3.

Se observó que la mezcla con un  $f'c$  210kg/cm<sup>2</sup>, presentó mayor velocidad de pulso ultrasónico, lo cual significa que fue más uniforme y homogénea con respecto a las demás mezclas. Sin embargo, en acuerdo con Porrero y otros (2012). Las tres mezclas se consideran como un concreto bueno en cuanto a uniformidad y homogeneidad, debido a que la velocidad de pulso ultrasónico estuvo en el rango de 3660 a 4575m/s.

#### IV.8 Ensayo para la determinación de la adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo.

A continuación se presentan los siguientes gráficos y tablas correspondientes a los ensayos de adherencia para 18 cilindros de 15 x 30 cm y de 9 cilindros de 20 x 40 cm, con las tres resistencias establecidas en la mezcla número 3 a la edad de 28 días y las tres barras de acero (1/2", 5/8" y 3/4"). Estos resultados muestran los deslizamientos entre el acero y el concreto para cada uno de las resistencias de diseño establecidas (210, 250 y 300 kg/cm<sup>2</sup>) al aplicarle una carga a la barra de acero empotrada a la

probeta de concreto. Cabe destacar que debido a que la mezcla patrón estuvo muy por debajo de los niveles de resistencia requerido para esta investigación, no se le realizó el ensayo de adherencia a dichos cilindros.

Tabla 4. 62 Número de cilindros ensayados para obtener los esfuerzos de adherencia.

| F'c | Adherencia |      |                |
|-----|------------|------|----------------|
|     | 1/2"       | 5/8" | 3/4"           |
| 210 | 3          | 3    | 3 (20 x 40 cm) |
| 250 | 3          | 3    | 3 (20 x 40 cm) |
| 300 | 3          | 3    | 3 (20 x 40 cm) |

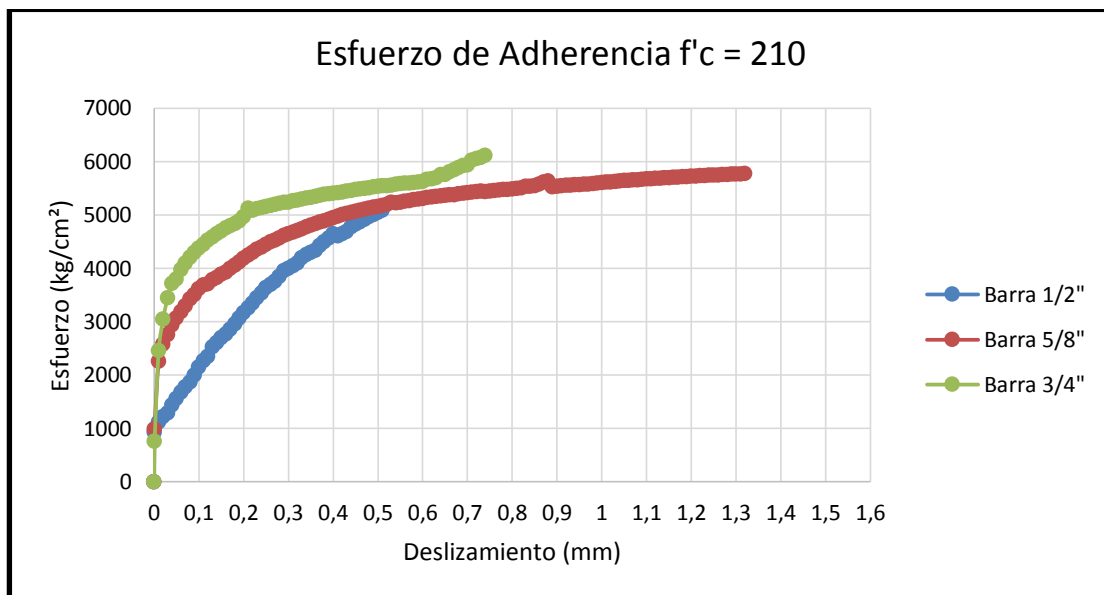


Gráfico 4. 33 Esfuerzo de Adherencia para  $f'c = 210$  Kg/cm<sup>2</sup>

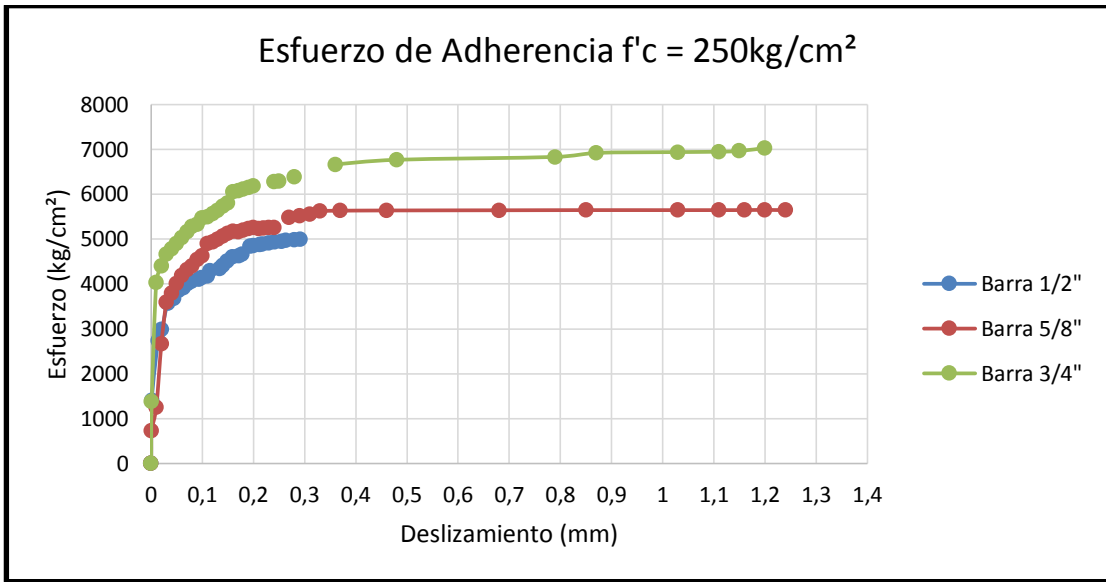


Gráfico 4. 34 Esfuerzo de Adherencia para  $f'_c$  250Kg/cm².

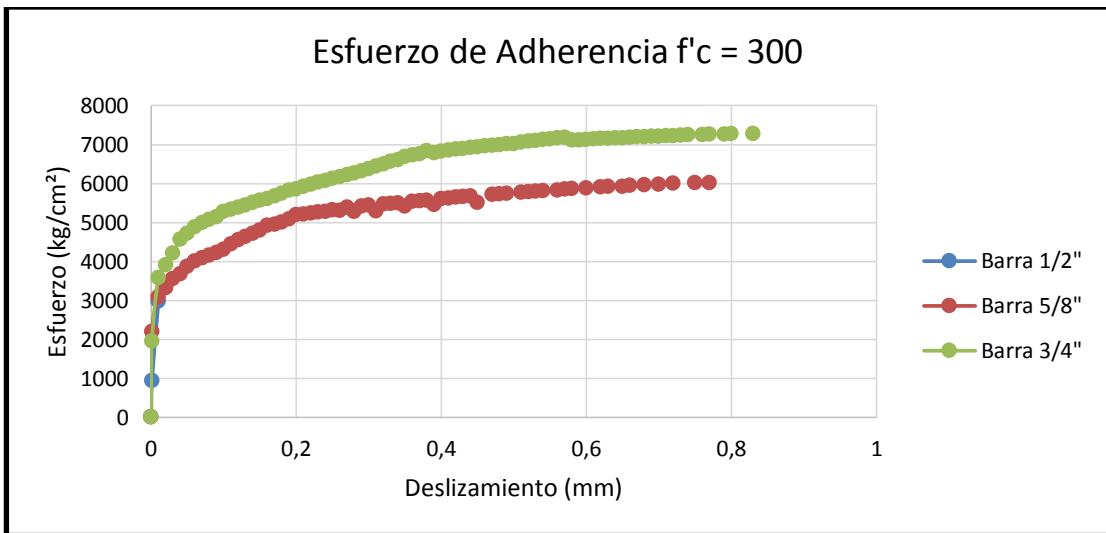


Gráfico 4. 35 Esfuerzo de Adherencia para  $f'_c$  300 Kg/cm².

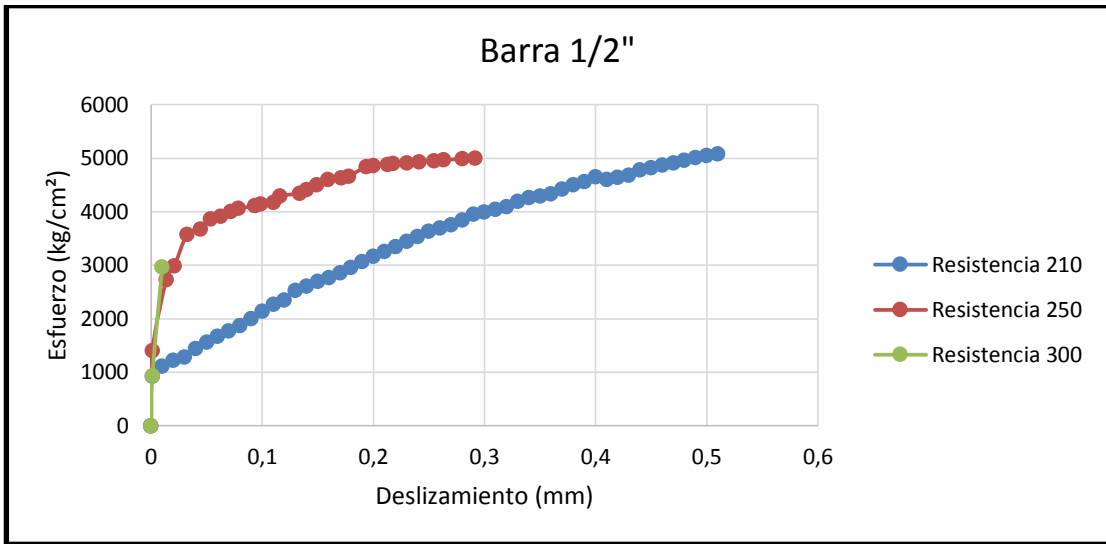


Gráfico 4. 36 Esfuerzo de Adherencia para barras de 1/2".

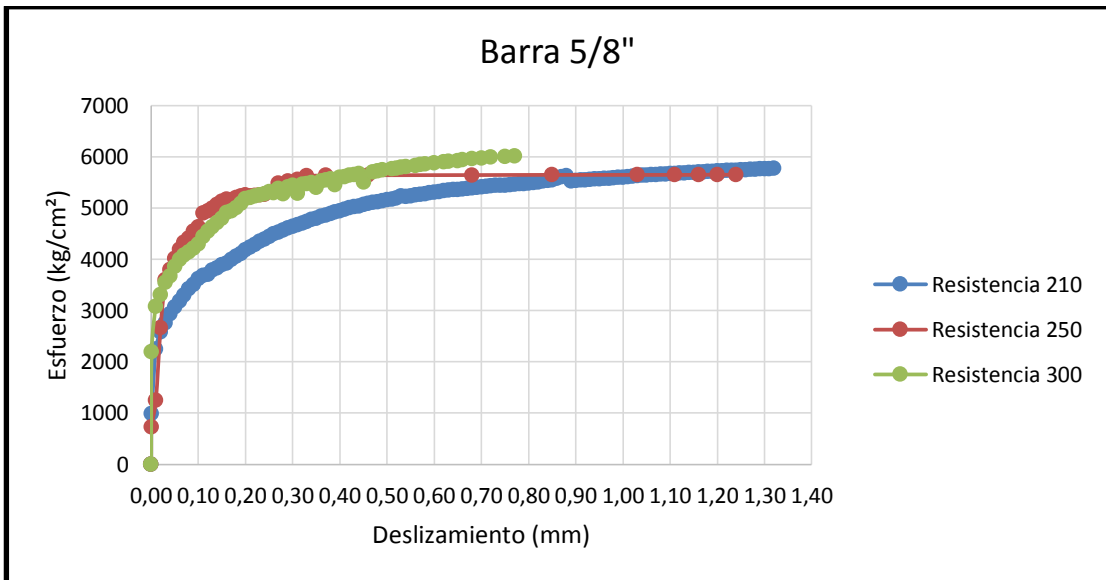


Gráfico 4. 37 Esfuerzo de Adherencia para barras de 5/8"

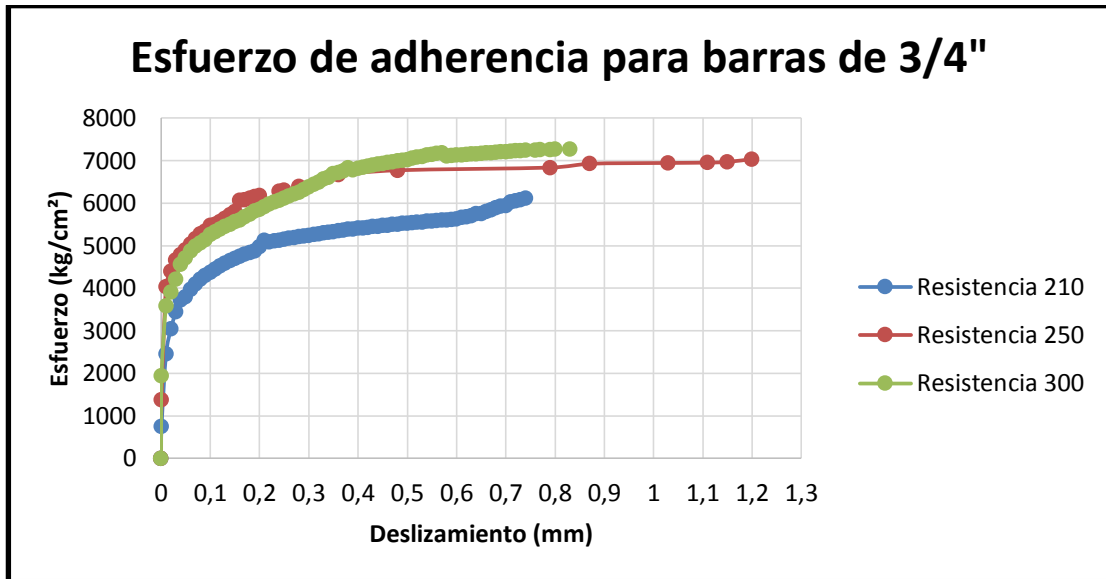


Gráfico 4. 38 Esfuerzo de Adherencia para barras de 3/4\".

Como se pudo observar en los gráficos 4.33, 4.34 y 4.35 las barras de 1/2\" presentan un menor esfuerzo adherente, seguido por las de 5/8\" y las de 3/4\", esto se debe a la carga aplicada a cada una de las muestras, ya que mientras mayor sea el área de la barra mayor es la carga aplicada, y también se debe a las longitudes de adherencia que presenta cada barra. Además los gráficos 4.36, 4.37 y 4.38, presentaron que a mayor resistencia de diseño mayor es el esfuerzo adherente. Por lo que se infiere que a una misma resistencia la adherencia aumenta en función del diámetro de la barra.

En las siguientes tablas se presentan los promedios de los valores obtenidos del cálculo de los esfuerzos de adherencia, para un deslizamiento de 0,10 mm con respecto al concreto.

Tabla 4. 63 Esfuerzos adherentes acero-concreto para  $f'c$  210 Kgf/cm<sup>2</sup>.  
(Mezcla 3)

| 210kg/cm <sup>2</sup> |           |   |                                    |   |
|-----------------------|-----------|---|------------------------------------|---|
|                       | Cilindros | $\sigma_{0,1}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $V_{0,1}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $V_{0,1}$ prom<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
| 1/2"                  | 1         | 2143,28                                 | 44,78                              | 44,78                                   |
|                       | 2         | 2505,25                                 | 52,35                              |   |
|                       | 3         | 1780,98                                 | 37,21                              |   |
| 5/8"                  | 1         | 3635,63                                 | 60,64                              | 60,36                                   |
|                       | 2         | 3666,16                                 | 61,15                              |   |
|                       | 3         | 3554,34                                 | 59,29                              |   |
| 3/4"                  | 1         | 4755,60                                 | 79,19                              | 66,28                                   |
|                       | 2         | 3197,20                                 | 53,24                              |   |
|                       | 3         | 3988,54                                 | 66,42                              |   |

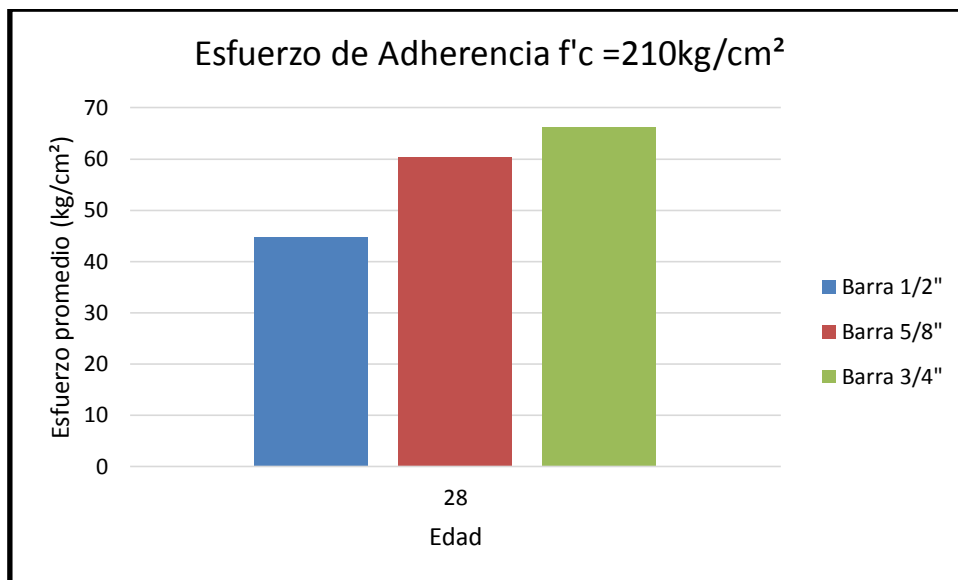


Gráfico 4. 39 Esfuerzos adherentes acero-concreto para  $f'c$  210 Kgf/cm<sup>2</sup>. (Mezcla 3)

Tabla 4. 64 Esfuerzos adherentes acero-concreto para  $f'c$  250 Kgf/cm<sup>2</sup>.  
(Mezcla 3)

| 250kg/cm <sup>2</sup> |           |   |                                    |                                      |
|-----------------------|-----------|---|------------------------------------|--------------------------------------|
|                       | Cilindros | $\sigma_{0,1}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $V_{0,1}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $V_{0,1}$ prom (kg/cm <sup>2</sup> ) |
| 1/2"                  | 1         | 4385,54                                 | 73,28                              | 69,23                                |
|                       | 2         | 3900,27                                 | 65,18                              |                                      |
|                       | 3         | Valores insuficientes                   |                                    |                                      |
| 5/8"                  | 1         | 4847,82                                 | 80,86                              | 77,23                                |
|                       | 2         | 4297,36                                 | 71,68                              |                                      |
|                       | 3         | 4744,94                                 | 79,15                              |                                      |
| 3/4"                  | 1         | 4501,71                                 | 74,96                              | 85,77                                |
|                       | 2         | 5452,20                                 | 90,79                              |                                      |
|                       | 3         | 5498,95                                 | 91,57                              |                                      |

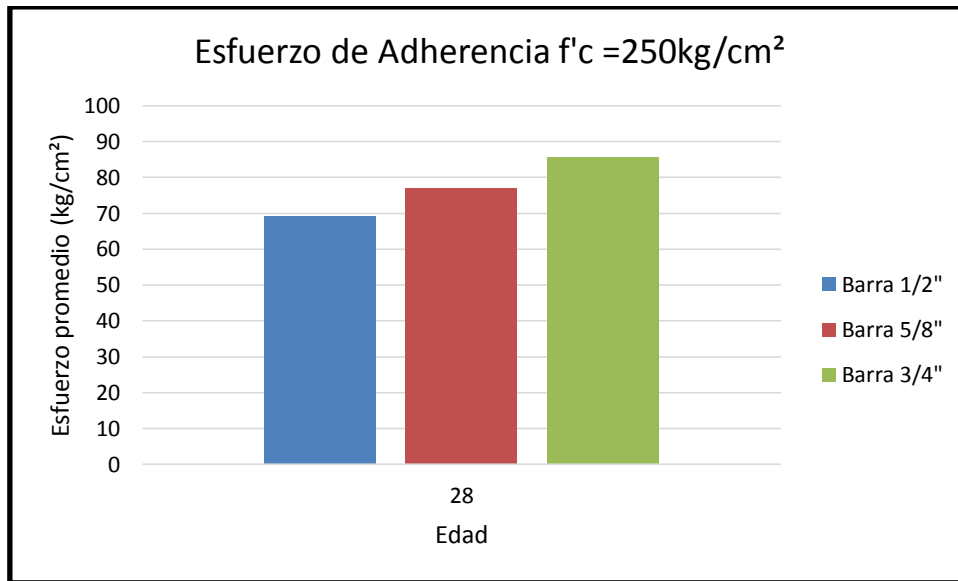


Gráfico 4. 40 Esfuerzos adherentes acero-concreto para  $f'c$  250 Kgf/cm<sup>2</sup>. (Mezcla 3)

Tabla 4. 65 Esfuerzos adherentes acero-concreto para  $f'c$  300 Kgf/cm<sup>2</sup>.  
(Mezcla 3)

|      |   | 300kg/cm <sup>2</sup> |   |   |   |
|------|---|-----------------------|---|---|---|
|      |   | Cilindros             | $\sigma_{0,1}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | V <sub>0,1</sub><br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | V <sub>0,1</sub> prom (kg/cm <sup>2</sup> ) |
| 1/2" | 1 | Valores insuficientes |   |   |   |
|      | 2 |                       |   |   |   |
|      | 3 |                       |   |   |   |
| 5/8" | 1 | 4327,73               | 86,60                                   | 85,71                                     |   |
|      | 2 | 4244,28               | 84,93                                   |   |   |
|      | 3 | 4277,82               | 85,60                                   |   |   |
| 3/4" | 1 | 4991,85               | 83,12                                   | 86,12                                     |   |
|      | 2 | 5544,42               | 92,33                                   |   |   |
|      | 3 | 4979,08               | 82,91                                   |   |   |

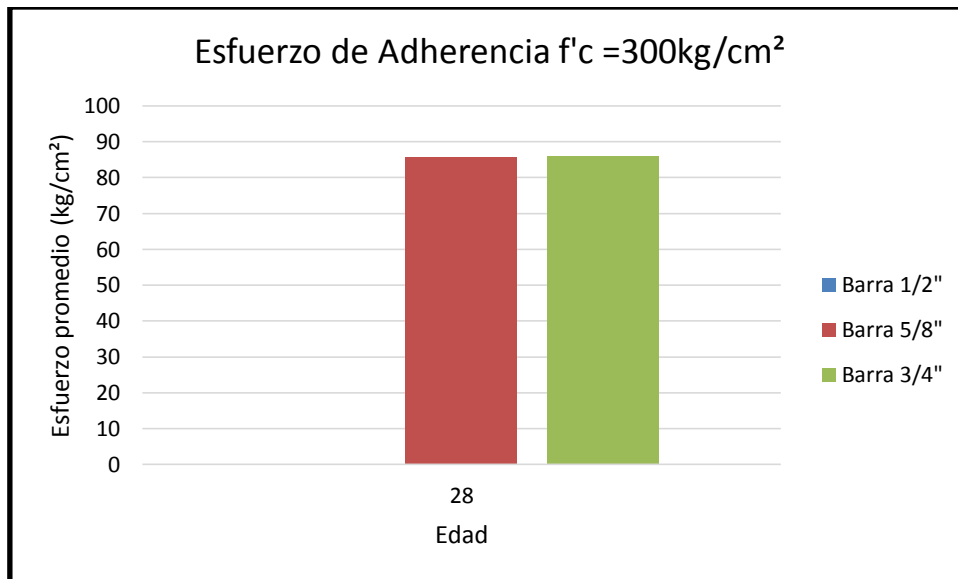


Gráfico 4. 41 Esfuerzos adherentes acero-concreto para  $f'c$  300 Kgf/cm<sup>2</sup>. (Mezcla 3)

Se observó en los gráficos que para una resistencia de 210kg/cm<sup>2</sup>, el esfuerzo adherente disminuye mientras menor sea el diámetro. La barra de 3/4" supera a la de 5/8" y 1/2" en un 8,9% y 32,4% respectivamente.



Para la resistencia de 250kg/cm<sup>2</sup>, los valores de esfuerzos de adherencia de la barra de 3/4" superan a los de 5/8" y 1/2" en un 9,96% y 19,3% respectivamente.

Para la resistencia de 300kg/cm<sup>2</sup>, la barra de 3/4" supera en el esfuerzo de adherencia a la de 5/8" en un 0,47% y la barra de 1/2" no tiene un deslizamiento notable, por lo cual presenta una buena adherencia con el concreto.

#### IV.9 Comparación con Concreto Convencional

El valor promedio del módulo de elasticidad del concreto liviano, esta aproximadamente un 50% por debajo del concreto convencional. Asimismo se evidenció que la curva esfuerzo deformación del concreto liviano, tiene un comportamiento más lineal, en comparación con las curvas que presentan los concretos convencionales. (Ver gráfico 4.42 y 4.43)

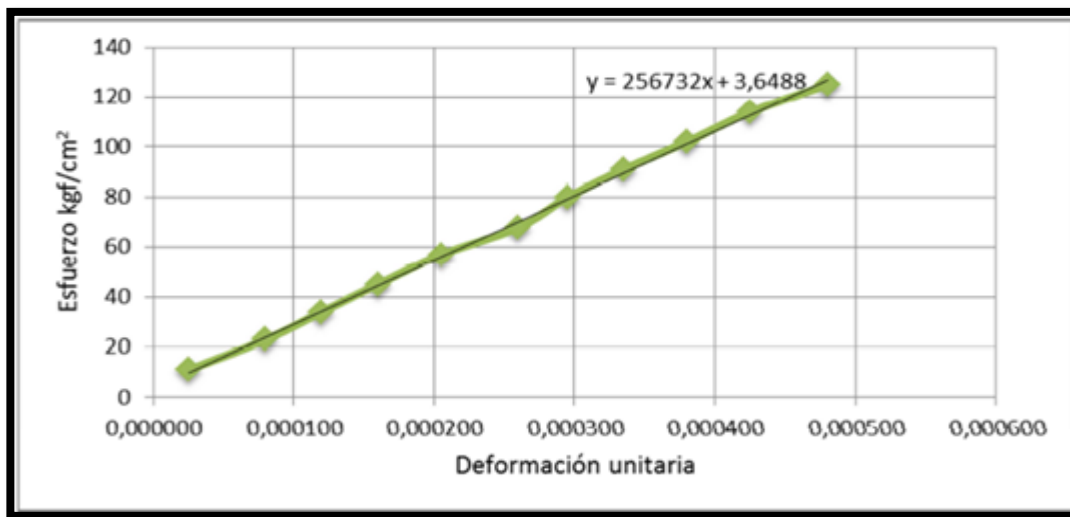


Gráfico 4. 42 Módulo de elasticidad de concreto convencional fuente: Meléndez y Pérez (2014).

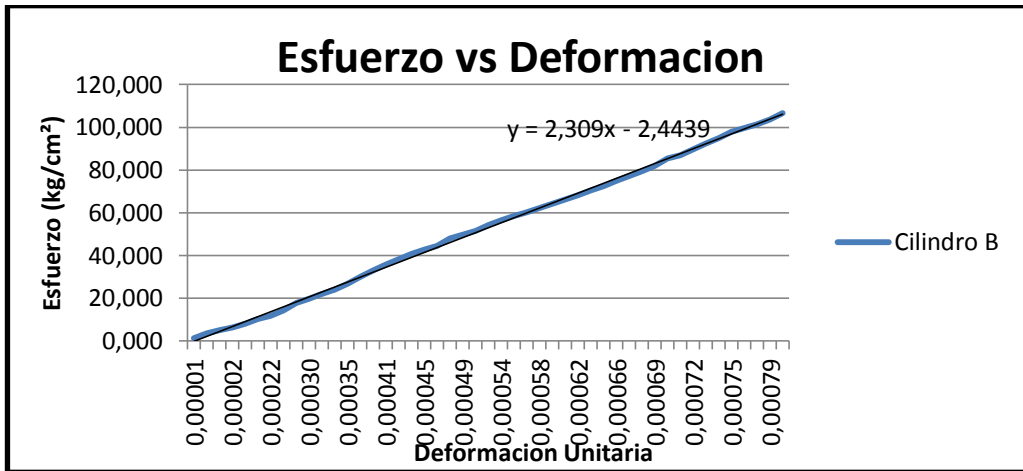


Gráfico 4. 43 Esfuerzo-deformación del concreto convencional. Fuente: Propia

La adherencia entre el acero y el concreto liviano posee mayor deslizamiento, ya que presenta un menor esfuerzo adherente que con el concreto convencional.

Comparando con ensayos experimentales ya realizados, se pudo observar que la variación de adherencia del concreto convencional está entre un 25% a un 40% por encima del concreto liviano. (Ver gráfico 4.44)

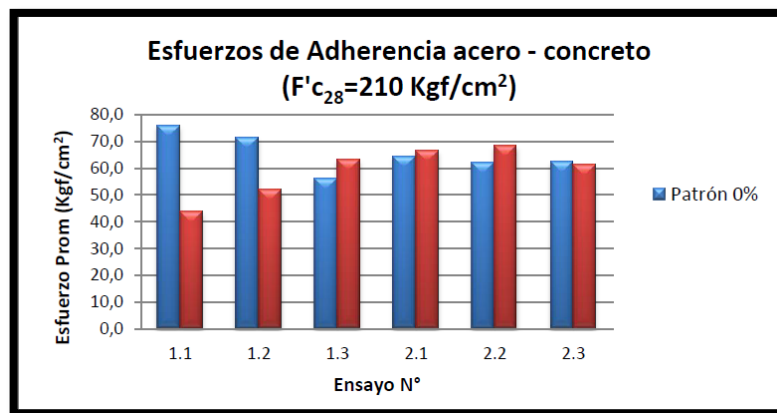


Gráfico 4. 44 Esfuerzos de Adherencia del concreto convencional. Fuente: Arellano y De Abreu (2012).

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### V.1 Conclusiones

- Las propiedades mecánicas del concreto liviano son aceptables en términos de resistencia; sin embargo dependiendo de su uso deben corroborarse otros parámetros como su peso unitario o el módulo de elasticidad. El comportamiento del Aliven como agregado liviano estructural fue satisfactorio lo que hace a estos tipos de agregados livianos aplicables a la construcción de obras civiles.
- El diseño de mezcla 3, posee entre 15 y 23 por ciento de la relación agua/cemento con respecto a la mezcla del Aliven, este diseño presento los mejores resultados para cada una de las solicitaciones requeridas para este trabajo.
- Para las probetas de resistencia esperadas a un  $f'c$  de 210 Kg/cm<sup>2</sup>, la mezcla óptima y la mezcla patrón (mezcla Aliven C.A.), dieron valores dentro del rango de peso unitario para calificarlo como concreto liviano estructural; sin embargo, al evaluar la resistencia de las mismas, la mezcla patrón arrojó valores muy por debajo de la resistencia mínima normada, en cuanto a la mezcla número 3 estuvo dentro del rango permisible, por lo que se toma como diseño de mezcla definitivo.
- Para la resistencia esperada de 250 Kg/cm<sup>2</sup>, la mezcla óptima propuesta, fue la única que se mantuvo dentro del rango de peso

unitario, asimismo cumplió con la resistencia promedio, lo que la ratifica como diseño de mezcla a emplear.

- En la resistencia de diseño  $300 \text{ Kg/cm}^2$ , la mezcla 2 y 3 cumplieron con el valor esperado de resistencia para la edad de ensayo, sin embargo al estudiar el peso unitario de las mismas probetas las mezcla sobrepasan el valor máximo ( $1900 \text{ Kg/m}^3$ ), lo cual no es aplicable para un concreto liviano de diseño, estos valores terminan siendo los esperados, debido a que el concreto liviano se recomienda para resistencias menores a los  $300 \text{ Kg/cm}^2$ .
- El tercer diseño de mezcla para un  $f'c 300 \text{ kg/cm}^2$ , se puede utilizar como concreto ligero debido a que su valor de peso unitario sobrepaso los  $1900 \text{ Kg/m}^3$ , lo cual no se recomienda su uso como concreto estructural; sin embargo, se puede utilizar en aplicaciones de tabiquería y cerramiento.
- Las probetas cilíndricas para este agregado liviano fallaron de diversas maneras, siendo los casos más recurrentes la falla por fractura del agregado y por falta de adherencia en la pasta. En algunos casos las fallas ocurrieron de forma vertical lo que se debe a concavidades en la superficie producidas por errores de enrasado.
- El módulo de elasticidad del concreto liviano obtenido para el diseño de mezcla óptimo es menor que el calculado teóricamente, lo cual es un resultado satisfactorio, debido a que se aproxima al valor real. Este valor experimental debe utilizarse en el diseño de estructuras de concreto armado para el cálculo de las deflexiones, derivas y rigidez, obteniendo un diseño más adecuado. De esta

manera la ecuación planteada proporciona un rango de seguridad más real que el de la fórmula de cálculo.

- El ensayo del pulso ultrasónico no se relacionó con la resistencia promedio del concreto, sino con la homogeneidad y uniformidad de la mezcla. A medida que se incrementó la cantidad de cemento, disminuyó la velocidad de la onda quedando evidenciado en las probetas de 250 y 300 kg/cm<sup>2</sup>, esto se debe a la presencia de poros y vacíos en el concreto, ya que al aumentar el cemento para ganar resistencia, también aumentó el asentamiento de la misma, la cual hizo complicada su compactación. Cabe destacar que los valores de velocidad de pulso ultrasónico estuvieron muy por encima de los valores esperados para un concreto liviano, esto debido a que las probetas se ensayaron apenas a 2 horas de haberlas retirado de la cámara húmeda.
- En la caracterización del ensayo de arrancamiento (pull-out test) de nuestras norma COVENIN, respecto a las normas brasileras NBR, fundamentalmente se distinguen; primero a su geometría, la cual la venezolana se elabora con ensayo de probetas cilíndricas y la brasileña con paralelepípedos de sección cuadrada, adicionalmente la longitud de desarrollo se realiza a un tercio de la zona central de dicha probeta porque le suministran dos manguitos en sus extremos, mientras la norma venezolana desarrolla la adherencia a un extremo y se le suministra un solo manguito. Por último cabe destacar la ausencia de acero de confinamiento en los ensayos brasileños, la cual hace que la longitud adherente de la barra disminuya.

- En cuanto a la adherencia entre el acero de refuerzo y el concreto liviano estructural, resultó mayor el esfuerzo adherente para la resistencia de 300 kg/cm<sup>2</sup> en comparación con las resistencias de 210 y 250 kg/cm<sup>2</sup> y en cuanto a las barras, la que obtuvo mayor adherencia fue la de 3/4" logrando valores de hasta 86,12 kg/cm<sup>2</sup>. Sin embargo el valor de adherencia estuvo a un 60% del valor esperado para esta barra, lo que ocurrió debido a la procedencia y la calidad de la barra de refuerzo.
- El concreto liviano es capaz de generar resistencias iguales a las del concreto convencional, en cuanto al módulo de elasticidad está por debajo, aproximadamente a la mitad de dicho concreto y la adherencia posee menor esfuerzo adherente por lo cual tiene mayor deslizamiento.

## V.2 Recomendaciones

- Realizar estudios a concretos livianos, para proponer procedimientos y obtener diseños de mezclas, y así poder calcular la cantidad de cada uno de sus componentes.
- Evaluar a compresión los cilindros a los noventa (90) días.
- Realizar estudios con los valores reales del módulo de elasticidad incrementando la inercia de la sección para aumentar el control de las flechas.
- Evaluar la adherencia entre el acero de refuerzo y el concreto liviano estructural usando diámetros de cabilla de 7/8" y 1".
- Realizar el ensayo brasilero de adherencia como tesis comparativa del ensayo venezolano (método de extracción).

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ACI, (1998). Standard Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete. American Concrete Institute. USA.
- Agregados Livianos C.A (2012). Recuperado por:  
<http://www.aliven.com.ve/>
- Arellano y De Abreu (2012). Evaluación de la adherencia entre el acero de refuerzo y el concreto estructural, al incorporar aceite residual proveniente de la industria automotriz a la mezcla de concreto. Trabajo especial de grado no publicado. Universidad central de Venezuela. Caracas.
- ASTM, (1999). Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete. American Society Of Testing Materials. USA.
- Atienza, L. Diagnósis de estructuras atacadas por insectos xilófagos mediante ultrasonidos usando la técnica de impulso eco. Trabajo especial de grado no publicado. Barcelona.
- Bertero, V. Popov E y Shao M (1976). Experimental and Analytical Studies on the Hysteretic Behavior of Reinforced Concrete Rectangular and T-Beams. California.
- Blog 360 grados en concreto (2011). ¿Qué es el módulo de elasticidad en el concreto? Recuperado de:  
<http://blog.360gradosenconcreto.com/que-es-el-modulo-de-elasticidad-en-el-concreto/>
- Concretopreforzado (2011). Concreto ligero. Recuperado de:  
<https://concretopreforzado.wordpress.com/category/concreto/>
- COVENIN 255-1998. Agregados. Determinación de la composición granulométrica. (1era Revisión). Caracas: FONDONORMA.
- COVENIN 263-1978. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado. Caracas: FONDONORMA.



- COVENIN 268-1998. Agregado Fino. Determinación de la Densidad y Absorción. (1era Revisión). Caracas: FONDONORMA.
- COVENIN 277-2000. Concreto. Agregado. Requisitos. (3era Revisión). Caracas: FONDONORMA.
- COVENIN 338-2002. Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto. (2ª. Revisión). Caracas: FONDONORMA.
- COVENIN 339-1994. Concreto. Método para la medición del asentamiento con el cono de Abrams. (2ª. Revisión). Caracas: FONDONORMA.
- COVENIN 354-2001. Método para mezclado en el laboratorio. (2ª. Revisión). Caracas: FONDONORMA.
- COVENIN 1375-1979. Método de ensayo para determinar por secado, el contenido de humedad total y superficial del agregado. Caracas: FONDONORMA.
- COVENIN 1468-1979. Método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad (secante) en probetas cilíndricas de concreto. Caracas: FONDONORMA.
- COVENIN 1667-1980. Método de ensayo para la determinación de valores comparativos de la adherencia desarrollada entre el concreto y el acero usado como refuerzo (método de extracción). Caracas: FONDONORMA.
- COVENIN 1681-1980. Método de ensayo para determinar la velocidad de propagación de ondas en el concreto. Caracas: FONDONORMA.
- COVENIN 1753-2006. Proyecto y construcción de obras en concreto estructural. (1era Revisión). Caracas: FONDONORMA.
- El constructor civil. Adherencia entre el hormigón y el acero (2012). Recuperado de:

<http://www.elconstructorcivil.com/2012/02/adherencia-entre-el-hormigon-y-el-acero.html>

- El constructor civil. Deformación progresiva (creep del concreto) (2011). Recuperado de:  
<http://www.elconstructorcivil.com/2011/01/deformacion-progresiva-creep-del.html>
- El constructor civil. Concreto: Modulo de elasticidad (2011). Recuperado de:  
<http://www.elconstructorcivil.com/2011/01/concreto-modulo-de-elasticidad.html>
- El constructor civil. Resistencia del concreto (2011). Recuperado de:  
<http://www.elconstructorcivil.com/2011/01/resistencia-del-concreto.html>
- Etse, G y Santillan, C (2006). Análisis mesomecánico del fenómeno de adherencia en estructuras de hormigón armado. Trabajo especial de grado no publicado. Universidad Nacional de Tucumán. Argentina. Recuperado por:  
<http://www.cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/viewFile/4156/4082>
- Fondonorma, (2006). Proyecto y Construcción de obras en concreto estructural. (1ra revisión). Caracas.
- Hernández, R y Cerón, A (2006). Estudio de un mortero preparado con cemento, arcilla (ALIVEN), polietileno, resina y aditivos. Trabajo especial de grado no publicado. Universidad Santa María. Caracas.
- Luna, Y y Pinedo, R (2011). Estudio de la factibilidad técnica del diseño de bloques de concreto sustituyendo el agregado fino por ALIVEN. Trabajo especial de grado no publicado. Universidad de Nueva Esparta. Caracas. Recuperado de:  
<http://miunespace.une.edu.ve/jspui/bitstream/123456789/362/3/TG4529%20tesis%20cc.pdf>
- Marchan, M y Paredes, A (2009). Comparación de las propiedades físico-mecánicas del concreto liviano y concreto convencional para uso

estructural. Trabajo especial de grado no publicado. Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado. Barquisimeto. Recuperado de: [http://bibciv.ucla.edu.ve/cgi-](http://bibciv.ucla.edu.ve/cgi-win/be_alex.exe?Acceso=T070400008315/0&Nombrebd=bicvucla)

[win/be\\_alex.exe?Acceso=T070400008315/0&Nombrebd=bicvucla](http://bibciv.ucla.edu.ve/cgi-win/be_alex.exe?Acceso=T070400008315/0&Nombrebd=bicvucla)

- Molina, M (2005). Comportamiento de estructuras de hormigón armado. Tesis doctoral no publicada. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- McCormac, J (2012). Diseño de Concreto reforzado. (4ta Ed). Ciudad de México: Editorial Alfaomega grupo editor S.A. de C.V.
- Meléndez y Pérez (2014). Estudio de los residuos de concreto estructural triturado con granulometría controlada y dosificación parcial baja como alternativa para el diseño de mezclas. Trabajo especial de grado no publicado. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- Molina, J (2002). Adición de Cenizas de Cascarilla de arroz en Hormigón Compactado con Rodillo. Trabajo especial de grado no publicado. Escuela superior politécnica del litoral. Guayaquil. Recuperado de: <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/3305/1/5827.pdf>
- Norma Española UNE 7436-1982. Método de ensayo para la determinación de las características de adherencia de las armaduras de pretensado. España: AENOR.
- Nielsen, M (1999). Limit Analysis and Concrete Plasticity. (2da Ed). Florida: Editorial CRC press.
- Porrero, J. Ramos, C. Grases, J y Velazco, G (2012). Manual del concreto estructural. (4ta Ed). Caracas: Editorial Sidetur.
- Roque, G (2012). Tecnología del concreto. Puno. monografía. Recuperado de: <http://es.scribd.com/doc/219291936/TECNOLOGIA-DEL-CONCRETO-MONOGRAFIA#scribd>

- Ruiz, R y Lorefice, H (2006). Análisis mesomecánico del fenómeno de adherencia en estructuras de hormigón armado. Trabajo especial de grado no publicado. Universidad de Santiago del Estero. Argentina. Recuperado por:  
<http://www.cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/viewFile/4156/4082>
- Sánchez, D (2001). Tecnología del concreto y del mortero. (5ta Ed). Bogotá: Editorial Bhandar.
- Valdez, L (2010). Hormigones livianos. Trabajo especial de grado no publicado. Quito. Recuperado de:  
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10056/1/Hormigones%20Livianos.pdf>
- Vera, B (2002). Determinación de parámetros para un modelo de estrangulamiento por deslizamiento de refuerzo. Trabajo especial de grado no publicado. Mérida. Recuperado de:  
<http://www.portaldeporticos.ula.ve/PDFs/TMDetPar.pdf>

## ANEXOS

### Anexos 1 Cálculo del diseño de mezcla para resistencia 210kg/cm<sup>2</sup>

| Resistencia a compresión especificada           |                           |                    |
|---|---------------------------|--------------------|
| f'c 28 días                                     | 210                       | kg/cm <sup>2</sup> |
| Calidad de los materiales                       |                           |                    |
| Sin Control de Calidad                          |                           |                    |
| Resistencia promedio a la compresión requerida  |                           |                    |
| f'cr  | 380                       | kg/cm <sup>2</sup> |
| Relación agua/cement                            |                           |                    |
| A   | 0,45                      |                    |
| Corrección de la relación agua/cemento          |                           |                    |
| Factor para corregir por tamaño máximo (Kr)     |                           |                    |
| Tamaño máximo                                   | 1/2"                      |                    |
| Kr  | 1,1                       |                    |
| Factor para corregir por tipo de agregado (Ka)  |                           |                    |
| Ka  | 1                         |                    |
| Relación agua/cemento corregida                 |                           |                    |
| A corregido                                     | 0,5                       |                    |
| Asentamiento (cm)                               |                           |                    |
| Asentamiento de diseño                          | 10                        |                    |
| Dosis de cemento (kg/m <sup>3</sup> )           |                           |                    |
| C   | 423                       |                    |
| Corrección de la dosis de cemento               |                           |                    |
| Factor para corregir por tamaño máximo (Kr)     |                           |                    |
| Tamaño máximo                                   | 1/2"                      |                    |
| C1  | 1,14                      |                    |
| Factor para corregir por tipo de agregado (Ka)  |                           |                    |
| C2  | 1                         |                    |
| Dosis de cemento corregida (kg/m <sup>3</sup> ) |                           |                    |
| C corregido                                     | 482                       |                    |
| Volumen absoluto de agua (kg/m <sup>3</sup> )   |                           |                    |
| Ad  | 238                       |                    |
| Dosificación para 1m <sup>3</sup>               |                           |                    |
| Componente                                      | Peso (kg/m <sup>3</sup> ) |                    |
| Cemento   | 482                       |                    |
| Agua  | 238                       |                    |
| Arena   | 750                       |                    |
| Aliven  | 200                       |                    |

Anexos 2 Cálculo del diseño de mezcla para resistencia 250kg/cm<sup>2</sup>

| Resistencia a compresión especificada           |                           |                    |
|---|---------------------------|--------------------|
| f'c 28 días                                     | 250                       | kg/cm <sup>2</sup> |
| Calidad de los materiales                       |                           |                    |
| Sin Control de Calidad                          |                           |                    |
| Resistencia promedio a la compresión requerida  |                           |                    |
| f'cr  | 420                       | kg/cm <sup>2</sup> |
| Relación agua/cemento                           |                           |                    |
| $\alpha$  | 0,38                      |                    |
| Corrección de la relación agua/cemento          |                           |                    |
| Factor para corregir por tamaño máximo (Kr)     |                           |                    |
| Tamaño máximo                                   | 1/2"                      |                    |
| Kr  | 1,1                       |                    |
| Factor para corregir por tipo de agregado (Ka)  |                           |                    |
| Ka  | 1                         |                    |
| Relación agua/cemento corregida                 |                           |                    |
| $\alpha$ corregido                              | 0,42                      |                    |
| Asentamiento (cm)                               |                           |                    |
| Asentamiento de diseño                          | 10                        |                    |
| Dosis de cemento (kg/m <sup>3</sup> )           |                           |                    |
| C   | 527                       |                    |
| Corrección de la dosis de cemento               |                           |                    |
| Factor para corregir por tamaño máximo (Kr)     |                           |                    |
| Tamaño máximo                                   | 1/2"                      |                    |
| C1  | 1,14                      |                    |
| Factor para corregir por tipo de agregado (Ka)  |                           |                    |
| C2  | 1                         |                    |
| Dosis de cemento corregida (kg/m <sup>3</sup> ) |                           |                    |
| C corregido                                     | 600                       |                    |
| Volumen absoluto de agua (kg/m <sup>3</sup> )   |                           |                    |
| ad  | 251                       |                    |
| Dosificación para 1m <sup>3</sup>               |                           |                    |
| Componente                                      | Peso (kg/m <sup>3</sup> ) |                    |
| Cemento   | 600                       |                    |
| Agua  | 251                       |                    |
| Arena   | 750                       |                    |
| Aliven  | 200                       |                    |

### Anexos 3 Cálculo del diseño de mezcla para resistencia 300kg/cm<sup>2</sup>

|   |                           |                    |
|---|---------------------------|--------------------|
| <b>Resistencia a compresión especificada</b>          |                           |                    |
| f'c 28 días   | 300                       | kg/cm <sup>2</sup> |
| <b>Calidad de los materiales</b>                      |                           |                    |
| Sin Control de Calidad                                |                           |                    |
| <b>Resistencia promedio a la compresión requerida</b> |                           |                    |
| f'cr  | 470                       | kg/cm <sup>2</sup> |
| <b>Relación agua/cemento</b>                          |                           |                    |
| $\alpha$  | 0,33                      |                    |
| <b>Corrección de la relación agua/cemento</b>         |                           |                    |
| <b>Factor para corregir por tamaño máximo (Kr)</b>    |                           |                    |
| Tamaño máximo   | 1/2"                      |                    |
| Kr  | 1,1                       |                    |
| <b>Factor para corregir por tipo de agregado (Ka)</b> |                           |                    |
| Ka  | 1                         |                    |
| <b>Relación agua/cemento corregida</b>                |                           |                    |
| $\alpha$ corregido                                    | 0,36                      |                    |
| <b>Asentamiento (cm)</b>                              |                           |                    |
| Asentamiento de diseño                                | 10                        |                    |
| <b>Dosis de cemento (kg/m<sup>3</sup>)</b>            |                           |                    |
| C   | 645                       |                    |
| <b>Corrección de la dosis de cemento</b>              |                           |                    |
| <b>Factor para corregir por tamaño máximo (Kr)</b>    |                           |                    |
| Tamaño máximo   | 1/2"                      |                    |
| C1  | 1,14                      |                    |
| <b>Factor para corregir por tipo de agregado (Ka)</b> |                           |                    |
| C2  | 1                         |                    |
| <b>Dosis de cemento corregida (kg/m<sup>3</sup>)</b>  |                           |                    |
| C corregido   | 735                       |                    |
| <b>Volumen absoluto de agua (kg/m<sup>3</sup>)</b>    |                           |                    |
| Ad  | 263                       |                    |
| <b>Dosificación para 1m<sup>3</sup></b>               |                           |                    |
| Componente  | Peso (kg/m <sup>3</sup> ) |                    |
| Cemento   | 735                       |                    |
| Agua  | 263                       |                    |
| Arena   | 750                       |                    |
| Aliven  | 200                       |                    |

Anexos 4 Fallas presentadas en los cilindros ensayados para  $f'c$  210 Kg/cm<sup>2</sup>



Falla de Tipo N°: 2 (Anexo 7)

Edad de Ensayo: 7 días

Mezcla: Numero 1



Falla de Tipo N°: 6 (Anexo 7)

Edad de Ensayo: 7 días

Mezcla: Numero 1



Falla de Tipo N°: 5 (Anexo 7)

Edad de Ensayo: 14 días

Mezcla: Numero 3



Falla de Tipo N°: 4 (Anexo 7)

Edad de Ensayo: 14 días

Mezcla: Numero 2





Falla de Tipo N°: 5 (Anexo 7)

Edad de Ensayo: 28 días

Mezcla: Numero 3

Anexos 5 Fallas presentadas en los cilindros ensayados para  $f'c$  250 Kg/cm<sup>2</sup>



Falla de Tipo N°: 5 (Anexo 7)

Edad de Ensayo: 14 días

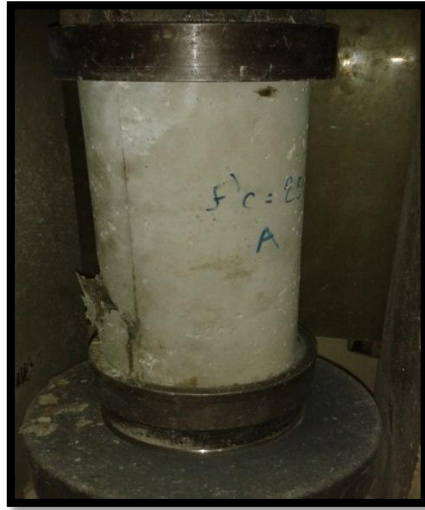
Mezcla: Numero 2



Falla de Tipo N°: 4 (Anexo 7)

Edad de Ensayo: 28 días

Mezcla: Numero 3



Falla de Tipo N°: 5 (Anexo 7)  
Edad de Ensayo: 14 días  
Mezcla: Patrón



Falla de Tipo N°: 2 (Anexo 7)  
Edad de Ensayo: 28 días  
Mezcla: Numero 2



Falla de Tipo N°: 2 (Anexo 7)  
Edad de Ensayo: 7 días  
Mezcla: Numero 1

Anexos 6 Fallas presentadas en los cilindros ensayados para  $f'c$  300 Kg/cm<sup>2</sup>



Falla de Tipo N°: 4 (Anexo 7)  
Edad de Ensayo: 14 días  
Mezcla: Numero 3



Falla de Tipo N°: 5 (Anexo 7)  
Edad de Ensayo: 14 días  
Mezcla: Numero 2



Falla de Tipo N°: 3 (Anexo 7)  
Edad de Ensayo: 28 días  
Mezcla: Numero 2



Falla de Tipo N°: 2 (Anexo 7)  
Edad de Ensayo: 28 días  
Mezcla: Numero 3

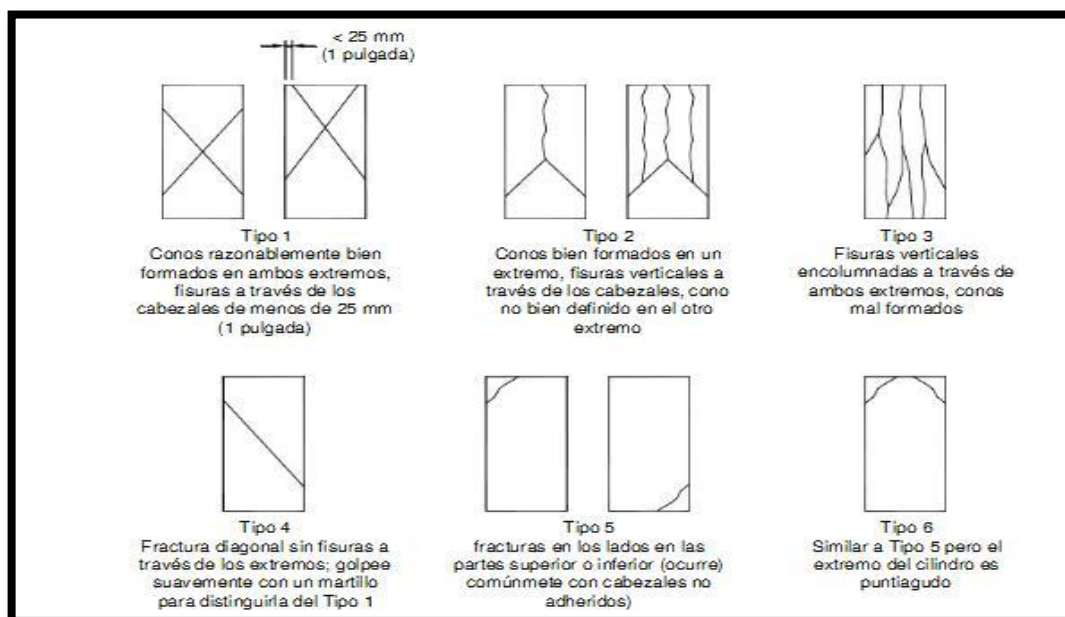


Falla de Tipo N°: 3 (Anexo 7)

Edad de Ensayo: 14 días

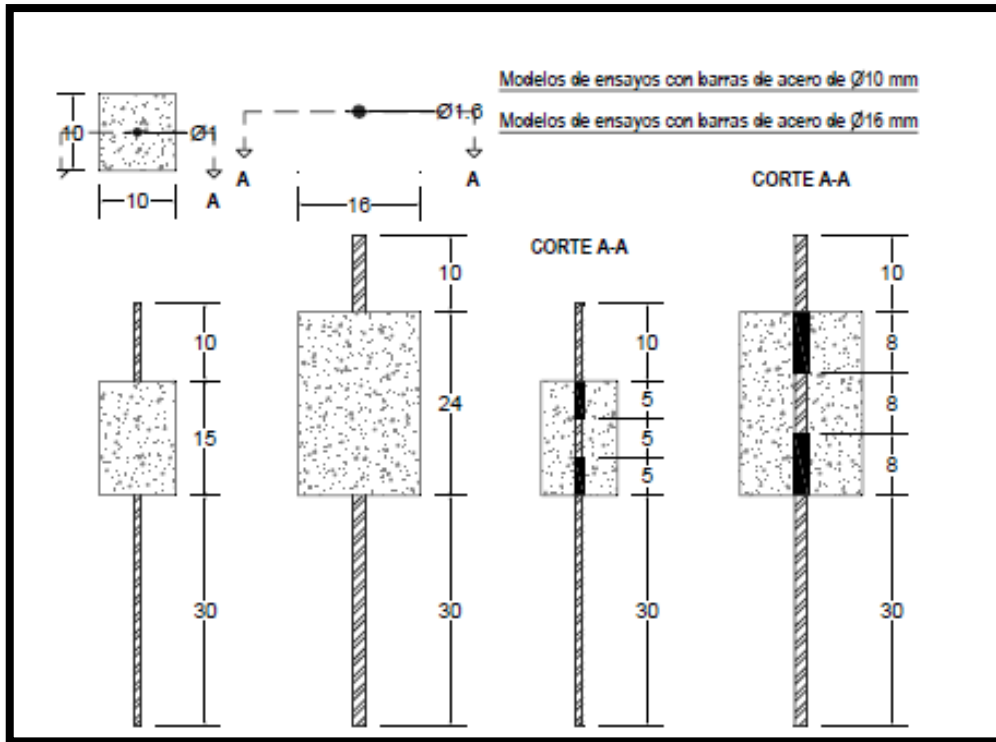
Mezcla: Numero Patrón

Anexos 7 Diagrama de fallas de cilindros sometidos a compresión. Fuente: El constructor civil (2011)



## Anexos de Técnicas de Medición del ensayo de Adherencia

### Anexos 8 Modelo de Ensayo Brasileiro Normas NBR

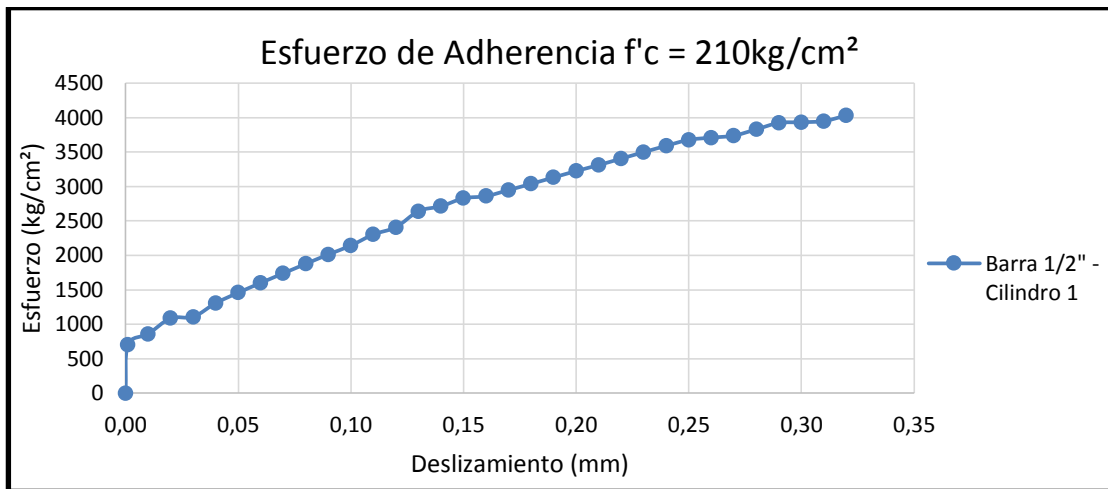


### Anexos 9 Modelo de Ensayo Brasileiro Norma NBR

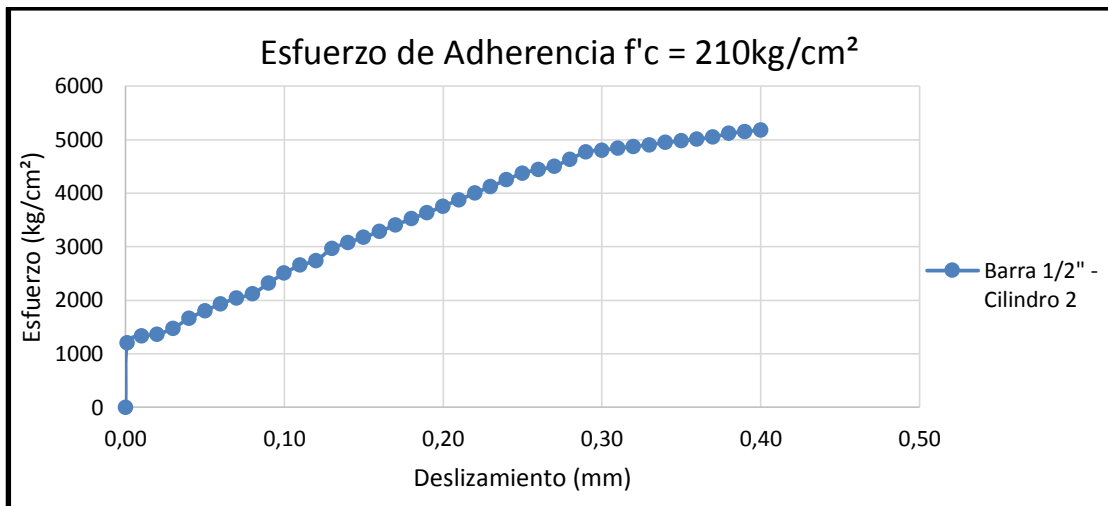


Anexos 10 Esfuerzos vs deslizamientos para un f'c 210 Kg/cm<sup>2</sup> y barras de 1/2"

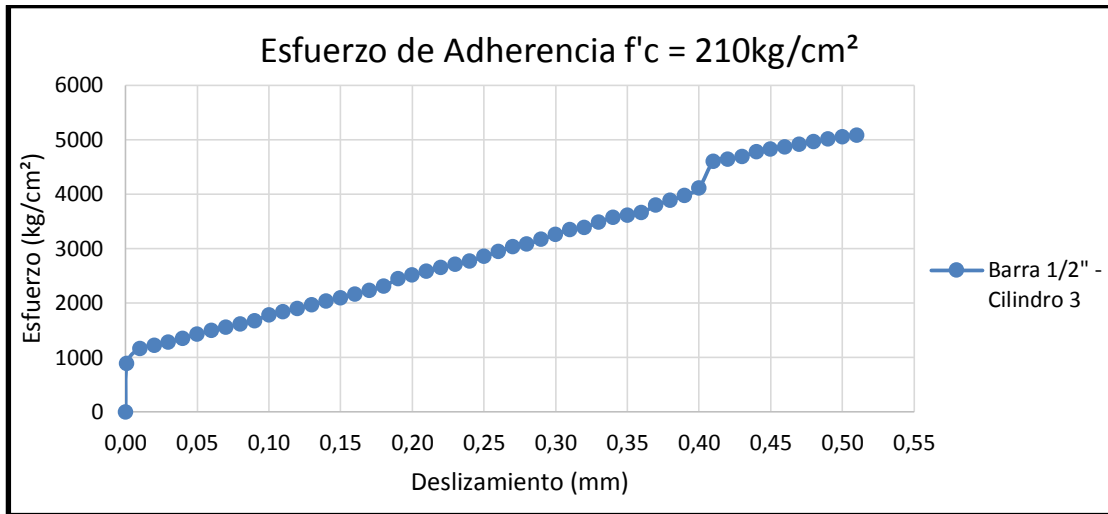
| RESISTENCIA 210kg/cm <sup>2</sup> barras de 1/2" |                    |                                |                    |                                |                    |
|--|--------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------|
| Cilindro 1                                       |                    | Cilindro 2                     |                    | Cilindro 3                     |                    |
| Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )                   | Deslizamiento (mm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deslizamiento (mm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deslizamiento (mm) |
| 0,00   | 0,00               | 0,00                           | 0,00               | 0,00                           | 0,00               |
| 700,04   | 0,001              | 1203,52                        | 0,001              | 888,61                         | 0,001              |
| 860,60   | 0,01               | 1329,22                        | 0,01               | 1164,82                        | 0,01               |
| 1087,12  | 0,02               | 1363,35                        | 0,02               | 1217,87                        | 0,02               |
| 1108,55  | 0,03               | 1476,52                        | 0,03               | 1279,66                        | 0,03               |
| 1307,35  | 0,04               | 1664,10                        | 0,04               | 1351,12                        | 0,04               |
| 1458,78  | 0,05               | 1800,43                        | 0,05               | 1428,71                        | 0,05               |
| 1600,90  | 0,06               | 1934,73                        | 0,06               | 1491,49                        | 0,06               |
| 1739,76  | 0,07               | 2036,29                        | 0,07               | 1555,97                        | 0,07               |
| 1877,72  | 0,08               | 2119,80                        | 0,08               | 1615,20                        | 0,08               |
| 2013,88  | 0,09               | 2317,52                        | 0,09               | 1671,92                        | 0,09               |
| 2143,28  | 0,10               | 2505,25                        | 0,10               | 1780,98                        | 0,10               |
| 2304,40  | 0,11               | 2656,18                        | 0,11               | 1840,16                        | 0,11               |
| 2409,80  | 0,12               | 2742,27                        | 0,12               | 1902,20                        | 0,12               |
| 2641,58  | 0,13               | 2967,11                        | 0,13               | 1968,84                        | 0,13               |
| 2713,35  | 0,14               | 3075,57                        | 0,14               | 2034,03                        | 0,14               |
| 2828,72  | 0,15               | 3175,28                        | 0,15               | 2094,23                        | 0,15               |
| 2859,55  | 0,16               | 3286,30                        | 0,16               | 2161,71                        | 0,16               |
| 2948,25  | 0,17               | 3403,68                        | 0,17               | 2232,37                        | 0,17               |
| 3038,07  | 0,18               | 3520,61                        | 0,18               | 2306,04                        | 0,18               |
| 3131,21  | 0,19               | 3633,74                        | 0,19               | 2443,23                        | 0,19               |
| 3224,21  | 0,20               | 3756,21                        | 0,20               | 2513,45                        | 0,20               |
| 3311,07  | 0,21               | 3877,87                        | 0,21               | 2582,25                        | 0,21               |
| 3404,86  | 0,22               | 4000,70                        | 0,22               | 2648,09                        | 0,22               |
| 3498,74  | 0,23               | 4126,50                        | 0,23               | 2705,65                        | 0,23               |
| 3591,05  | 0,24               | 4248,68                        | 0,24               | 2765,24                        | 0,24               |
| 3677,55  | 0,25               | 4376,24                        | 0,25               | 2854,05                        | 0,25               |
| 3709,28  | 0,26               | 4438,96                        | 0,26               | 2945,06                        | 0,26               |
| 3738,24  | 0,27               | 4504,07                        | 0,27               | 3032,07                        | 0,27               |
| 3829,75  | 0,28               | 4634,34                        | 0,28               | 3078,39                        | 0,28               |
| 3922,68  | 0,29               | 4772,78                        | 0,29               | 3166,75                        | 0,29               |
| 3932,55  | 0,30               | 4804,78                        | 0,30               | 3256,32                        | 0,30               |
| 3949,45  | 0,31               | 4838,62                        | 0,31               | 3349,48                        | 0,31               |
| 4032,17  | 0,32               | 4873,77                        | 0,32               | 3387,59                        | 0,32               |
|  |                    | 4905,22                        | 0,33               | 3481,29                        | 0,33               |
|  |                    | 4947,81                        | 0,34               | 3571,69                        | 0,34               |
|  |                    | 4978,20                        | 0,35               | 3615,27                        | 0,35               |
|  |                    | 5013,58                        | 0,36               | 3658,70                        | 0,36               |
|  |                    | 5047,27                        | 0,37               | 3794,34                        | 0,37               |
|  |                    | 5115,07                        | 0,38               | 3885,27                        | 0,38               |
|  |                    | 5149,35                        | 0,39               | 3976,53                        | 0,39               |
|  |                    | 5184,34                        | 0,40               | 4113,71                        | 0,40               |
|  |                    |                                |                    | 4601,49                        | 0,41               |
|  |                    |                                |                    | 4641,43                        | 0,42               |
|  |                    |                                |                    | 4686,95                        | 0,43               |
|  |                    |                                |                    | 4778,80                        | 0,44               |
|  |                    |                                |                    | 4824,98                        | 0,45               |
|  |                    |                                |                    | 4869,01                        | 0,46               |
|  |                    |                                |                    | 4914,60                        | 0,47               |
|  |                    |                                |                    | 4961,31                        | 0,48               |
|  |                    |                                |                    | 5008,40                        | 0,49               |
|  |                    |                                |                    | 5048,22                        | 0,50               |
|  |                    |                                |                    | 5080,50                        | 0,51               |



ANEXOS 11 Gráfico esfuerzos vs deslizamientos para un  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup> y barras de 1/2" cilindro 1



ANEXOS 12 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un  $f'c$  210 Kg/cm<sup>2</sup> y barras de 1/2" Cilindro 2

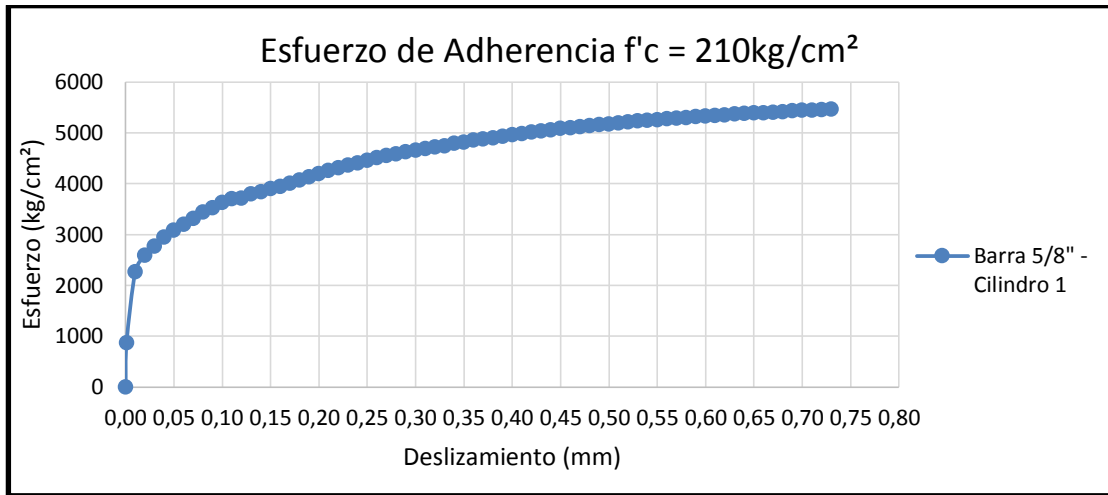


Anexos 13 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un  $f'_c = 210\text{ Kg/cm}^2$  y barras de 1/2" Cilindro 3

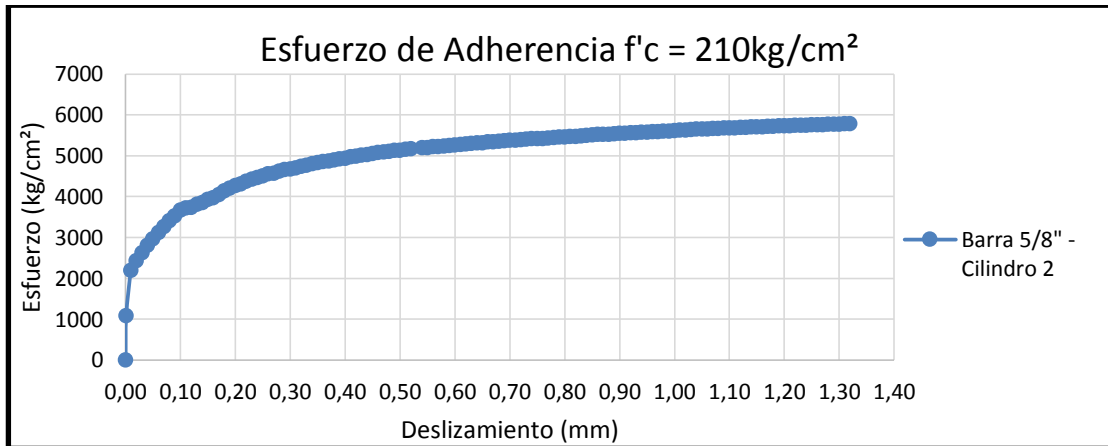


Anexos 14 Esfuerzos vs deslizamientos para un f'c 210 Kg/cm<sup>2</sup> y barras de 5/8"

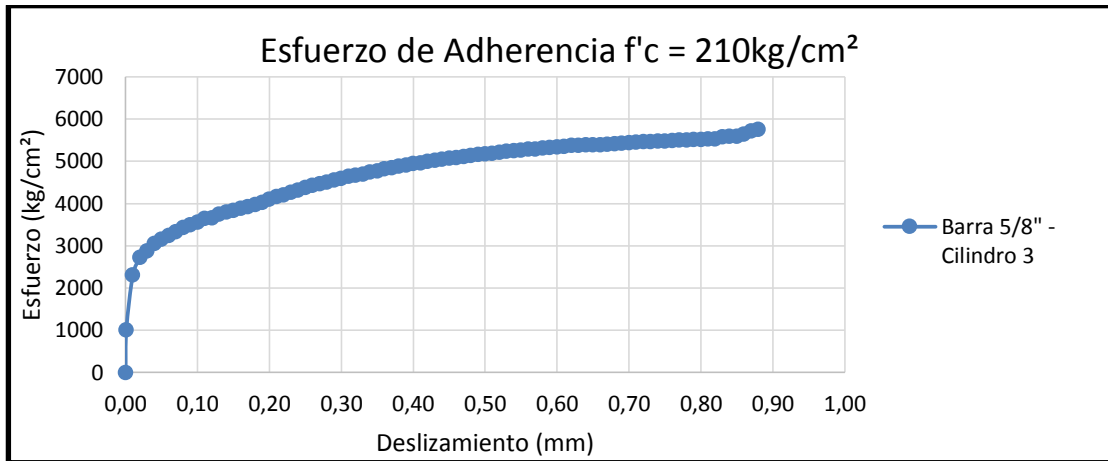
| RESISTENCIA 210kg/cm <sup>2</sup> barras de 5/8" |                    |                                |                    |                                |                    |
|--|--------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------|
| Cilindro 1                                       |                    | Cilindro 2                     |                    | Cilindro 3                     |                    |
| Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )                   | Deslizamiento (mm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deslizamiento (mm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deslizamiento (mm) |
| 0,00   | 0                  | 0,00                           | 0                  | 0                              | 0                  |
| 875,65   | 0,001              | 1074,65                        | 0,001              | 1010,54                        | 0,001              |
| 2269,50  | 0,01               | 2186,19                        | 0,01               | 2302,05                        | 0,01               |
| 2596,11  | 0,02               | 2422,24                        | 0,02               | 2719,21                        | 0,02               |
| 2775,11  | 0,03               | 2618,19                        | 0,03               | 2881,27                        | 0,03               |
| 2952,25  | 0,04               | 2798,92                        | 0,04               | 3054,82                        | 0,04               |
| 3084,10  | 0,05               | 2957,85                        | 0,05               | 3159,59                        | 0,05               |
| 3203,68  | 0,06               | 3115,85                        | 0,06               | 3240,75                        | 0,06               |
| 3318,13  | 0,07               | 3253,12                        | 0,07               | 3332,37                        | 0,07               |
| 3444,59  | 0,08               | 3403,24                        | 0,08               | 3435,17                        | 0,08               |
| 3526,49  | 0,09               | 3512,12                        | 0,09               | 3490,09                        | 0,09               |
| 3635,63  | 0,10               | 3666,16                        | 0,10               | 3554,34                        | 0,10               |
| 3703,70  | 0,11               | 3711,49                        | 0,11               | 3645,14                        | 0,11               |
| 3718,30  | 0,12               | 3728,96                        | 0,12               | 3656,88                        | 0,12               |
| 3800,99  | 0,13               | 3803,99                        | 0,13               | 3747,24                        | 0,13               |
| 3846,25  | 0,14               | 3842,84                        | 0,14               | 3798,90                        | 0,14               |
| 3904,78  | 0,15               | 3919,43                        | 0,15               | 3839,36                        | 0,15               |
| 3944,97  | 0,16               | 3957,58                        | 0,16               | 3881,59                        | 0,16               |
| 4008,64  | 0,17               | 4039,76                        | 0,17               | 3926,77                        | 0,17               |
| 4074,86  | 0,18               | 4125,43                        | 0,18               | 3973,53                        | 0,18               |
| 4131,33  | 0,19               | 4191,04                        | 0,19               | 4020,86                        | 0,19               |
| 4202,04  | 0,20               | 4257,28                        | 0,20               | 4096,03                        | 0,20               |
| 4258,12  | 0,21               | 4303,50                        | 0,21               | 4161,98                        | 0,21               |
| 4310,34  | 0,22               | 4365,13                        | 0,22               | 4204,80                        | 0,22               |
| 4370,43  | 0,23               | 4422,98                        | 0,23               | 4267,11                        | 0,23               |
| 4411,27  | 0,24               | 4451,81                        | 0,24               | 4319,97                        | 0,24               |
| 4459,57  | 0,25               | 4492,27                        | 0,25               | 4376,10                        | 0,25               |
| 4513,70  | 0,26               | 4544,44                        | 0,26               | 4432,19                        | 0,26               |
| 4552,37  | 0,27               | 4566,60                        | 0,27               | 4472,14                        | 0,27               |
| 4585,73  | 0,28               | 4608,91                        | 0,28               | 4511,78                        | 0,28               |
| 4628,12  | 0,29               | 4645,47                        | 0,29               | 4560,02                        | 0,29               |
| 4659,54  | 0,30               | 4669,88                        | 0,30               | 4598,44                        | 0,30               |
| 4694,08  | 0,31               | 4695,31                        | 0,31               | 4642,09                        | 0,31               |
| 4724,60  | 0,32               | 4729,31                        | 0,32               | 4669,12                        | 0,32               |
| 4749,25  | 0,33               | 4752,90                        | 0,33               | 4694,84                        | 0,33               |
| 4794,75  | 0,34               | 4797,63                        | 0,34               | 4741,12                        | 0,34               |
| 4818,21  | 0,35               | 4819,81                        | 0,35               | 4765,85                        | 0,35               |
| 4855,90  | 0,36               | 4841,29                        | 0,36               | 4819,76                        | 0,36               |
| 4879,15  | 0,37               | 4860,16                        | 0,37               | 4847,39                        | 0,37               |
| 4905,84  | 0,38               | 4880,91                        | 0,38               | 4880,01                        | 0,38               |
| 4936,06  | 0,39               | 4910,24                        | 0,39               | 4911,12                        | 0,39               |
| 4962,52  | 0,40               | 4931,27                        | 0,40               | 4943,01                        | 0,40               |
| 4989,25  | 0,41               | 4960,08                        | 0,41               | 4967,66                        | 0,41               |
| 5018,30  | 0,42               | 4981,40                        | 0,42               | 5004,44                        | 0,42               |
| 5042,04  | 0,43               | 5009,19                        | 0,43               | 5024,14                        | 0,43               |
| 5058,68  | 0,44               | 5017,38                        | 0,44               | 5049,22                        | 0,44               |
| 5085,70  | 0,45               | 5046,59                        | 0,45               | 5074,05                        | 0,45               |
| 5103,30  | 0,46               | 5064,54                        | 0,46               | 5091,29                        | 0,46               |
| 5125,11  | 0,47               | 5082,35                        | 0,47               | 5117,10                        | 0,47               |
| 5142,19  | 0,48               | 5098,80                        | 0,48               | 5134,83                        | 0,48               |
| 5163,37  | 0,49               | 5116,54                        | 0,49               | 5159,44                        | 0,49               |
| 5176,27  | 0,50               | 5123,89                        | 0,50               | 5177,90                        | 0,50               |



Anexos 15 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un  $f'c = 210\text{ Kg/cm}^2$  y barras de 5/8" Cilindro 1



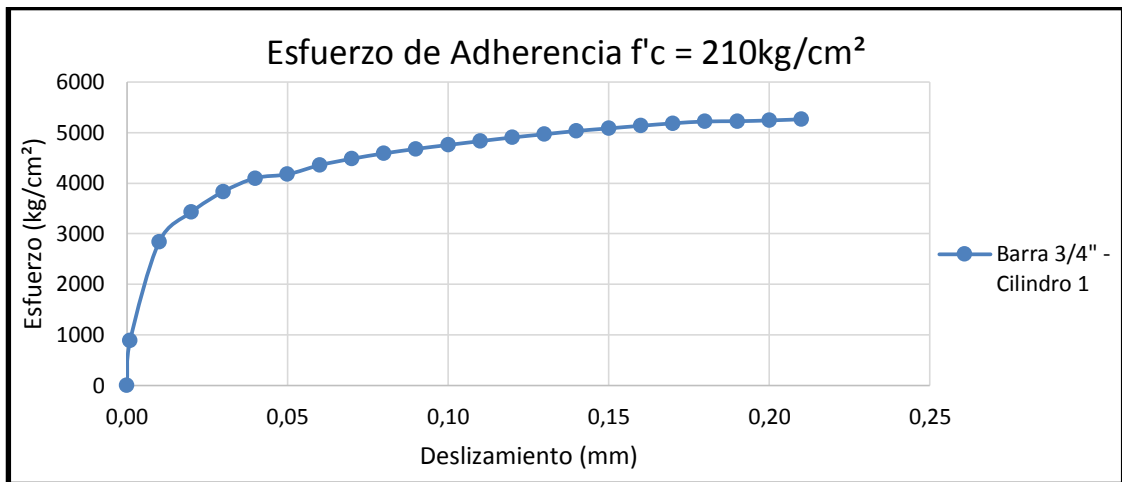
Anexos 16 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un  $f'c = 210\text{ Kg/cm}^2$  y barras de 5/8" Cilindro 2



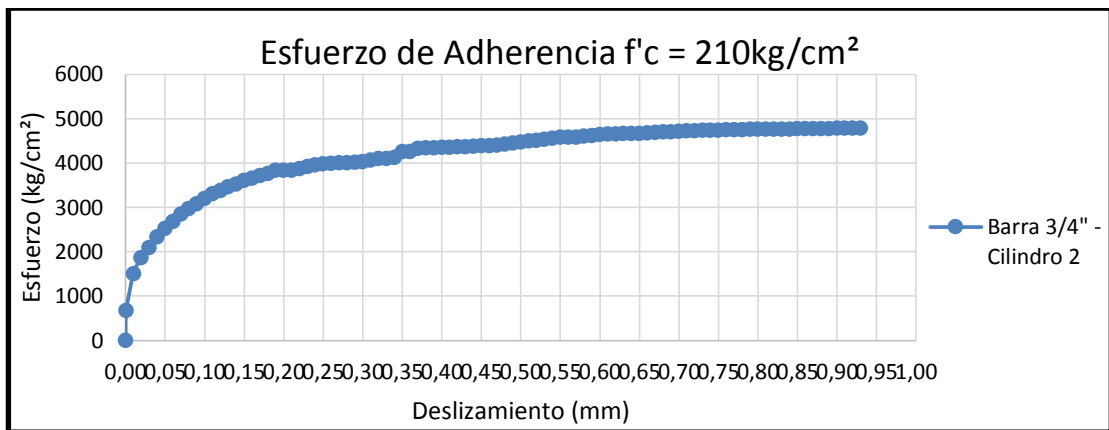
Anexos 17 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un  $f'_c$  210 Kgf/cm<sup>2</sup> y barras de 5/8" Cilindro 3

Anexos 18 Esfuerzos vs deslizamientos para un f'c 210 Kgf/cm<sup>2</sup> y barras de 3/4"

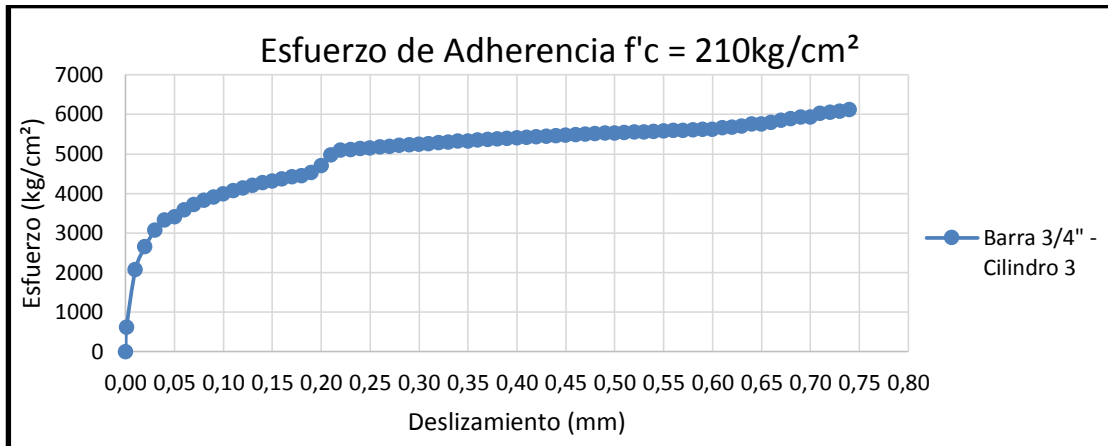
| RESISTENCIA 210kg/cm <sup>2</sup> barras de 3/4" |                    |                                |                    |                                |                    |
|--|--------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------|
| Cilindro 1                                       |                    | Cilindro 2                     |                    | Cilindro 3                     |                    |
| Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )                   | Deslizamiento (mm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deslizamiento (mm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deslizamiento (mm) |
| 0  | 0                  | 0                              | 0                  | 0                              | 0                  |
| 888,35   | 0,001              | 674,09                         | 0,001              | 622,03                         | 0,001              |
| 2836,60  | 0,01               | 1507,01                        | 0,01               | 2069,54                        | 0,01               |
| 3426,94  | 0,02               | 1861,55                        | 0,02               | 2659,88                        | 0,02               |
| 3832,57  | 0,03               | 2097,50                        | 0,03               | 3065,50                        | 0,03               |
| 4101,45  | 0,04               | 2336,48                        | 0,04               | 3334,38                        | 0,04               |
| 4175,51  | 0,05               | 2523,33                        | 0,05               | 3408,44                        | 0,05               |
| 4356,23  | 0,06               | 2686,90                        | 0,06               | 3589,16                        | 0,06               |
| 4483,23  | 0,07               | 2850,59                        | 0,07               | 3716,17                        | 0,07               |
| 4588,50  | 0,08               | 2968,05                        | 0,08               | 3821,43                        | 0,08               |
| 4677,92  | 0,09               | 3082,57                        | 0,09               | 3910,86                        | 0,09               |
| 4755,60  | 0,10               | 3197,20                        | 0,10               | 3988,54                        | 0,10               |
| 4831,63  | 0,11               | 3309,18                        | 0,11               | 4064,56                        | 0,11               |
| 4904,63  | 0,12               | 3373,86                        | 0,12               | 4137,56                        | 0,12               |
| 4967,98  | 0,13               | 3460,04                        | 0,13               | 4200,92                        | 0,13               |
| 5032,93  | 0,14               | 3522,21                        | 0,14               | 4265,86                        | 0,14               |
| 5083,89  | 0,15               | 3601,55                        | 0,15               | 4316,83                        | 0,15               |
| 5135,16  | 0,16               | 3653,63                        | 0,16               | 4368,09                        | 0,16               |
| 5183,91  | 0,17               | 3720,72                        | 0,17               | 4416,85                        | 0,17               |
| 5220,02  | 0,18               | 3769,01                        | 0,18               | 4452,95                        | 0,18               |
| 5225,84  | 0,19               | 3832,31                        | 0,19               | 4535,27                        | 0,19               |
| 5241,00  | 0,20               | 3836,88                        | 0,20               | 4698,15                        | 0,20               |
| 5263,39  | 0,21               | 3841,44                        | 0,21               | 4978,43                        | 0,21               |
|  |                    | 3876,49                        | 0,22               | 5089,87                        | 0,22               |
|  |                    | 3918,90                        | 0,23               | 5110,45                        | 0,23               |
|  |                    | 3953,40                        | 0,24               | 5131,17                        | 0,24               |
|  |                    | 3982,82                        | 0,25               | 5151,14                        | 0,25               |
|  |                    | 3991,36                        | 0,26               | 5172,21                        | 0,26               |
|  |                    | 3999,90                        | 0,27               | 5191,34                        | 0,27               |
|  |                    | 4008,44                        | 0,28               | 5210,32                        | 0,28               |
|  |                    | 4016,98                        | 0,29               | 5230,70                        | 0,29               |
|  |                    | 4025,26                        | 0,30               | 5239,90                        | 0,30               |
|  |                    | 4070,18                        | 0,31               | 5260,84                        | 0,31               |
|  |                    | 4104,99                        | 0,32               | 5278,82                        | 0,32               |
|  |                    | 4104,72                        | 0,33               | 5298,22                        | 0,33               |
|  |                    | 4123,54                        | 0,34               | 5317,67                        | 0,34               |
|  |                    | 4261,37                        | 0,35               | 5327,15                        | 0,35               |
|  |                    | 4261,77                        | 0,36               | 5345,17                        | 0,36               |
|  |                    | 4329,80                        | 0,37               | 5365,06                        | 0,37               |
|  |                    | 4336,63                        | 0,38               | 5383,15                        | 0,38               |
|  |                    | 4343,45                        | 0,39               | 5391,01                        | 0,39               |
|  |                    | 4350,28                        | 0,40               | 5408,30                        | 0,40               |
|  |                    | 4357,11                        | 0,41               | 5419,71                        | 0,41               |
|  |                    | 4363,93                        | 0,42               | 5427,25                        | 0,42               |
|  |                    | 4370,76                        | 0,43               | 5446,53                        | 0,43               |
|  |                    | 4377,59                        | 0,44               | 5455,39                        | 0,44               |
|  |                    | 4384,41                        | 0,45               | 5472,01                        | 0,45               |
|  |                    | 4388,87                        | 0,46               | 5480,91                        | 0,46               |
|  |                    | 4398,44                        | 0,47               | 5497,78                        | 0,47               |
|  |                    | 4425,38                        | 0,48               | 5507,04                        | 0,48               |
|  |                    | 4448,04                        | 0,49               | 5524,85                        | 0,49               |
|  |                    | 4471,09                        | 0,50               | 5532,42                        | 0,50               |



Anexos 19 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un  $f'c$  210 Kg/cm<sup>2</sup> y barras de 3/4" Cilindro 1



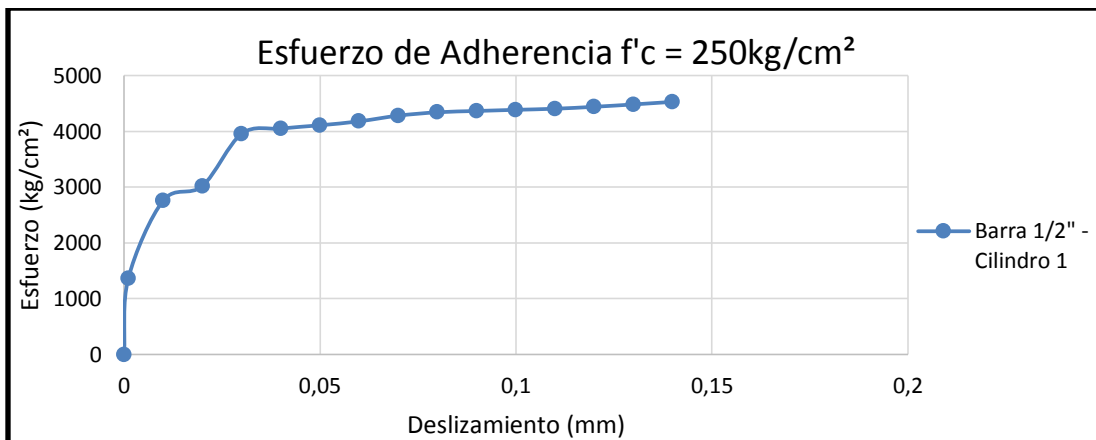
Anexos 20 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un  $f'c$  210 Kg/cm<sup>2</sup> y barras de 3/4" Cilindro 2



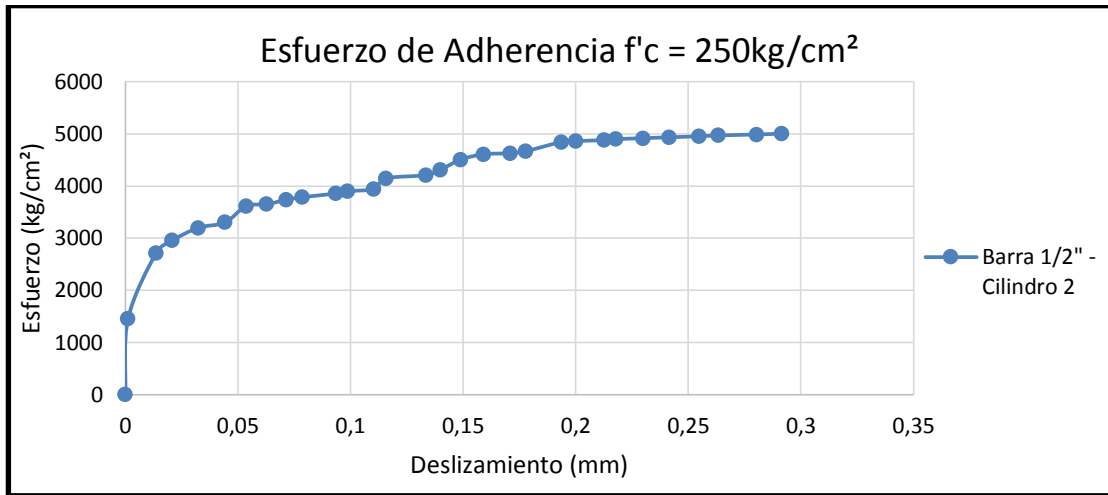
Anexos 21 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  y barras de  $3/4''$  Cilindro 3

Anexos 22 Esfuerzos vs deslizamientos para un  $f'c$  250 Kg/cm<sup>2</sup> y barras de 1/2"

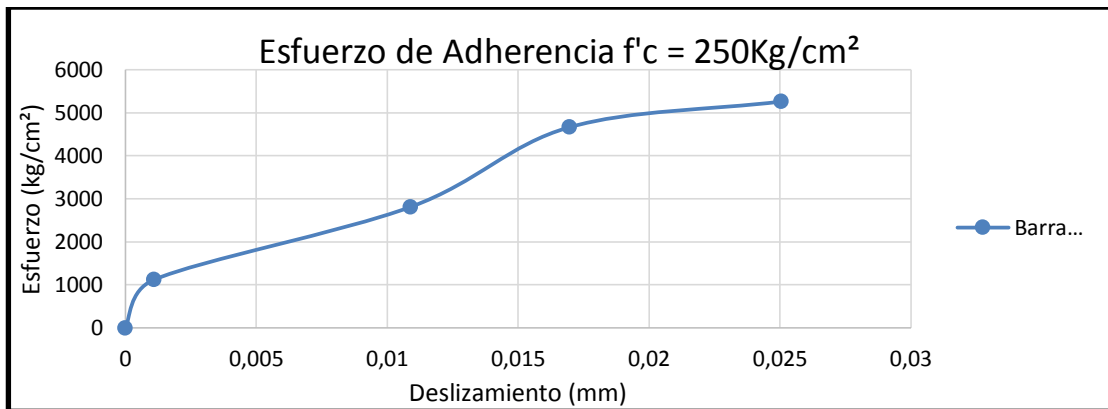
| RESISTENCIA 250kg/cm <sup>2</sup> barras de 1/2" |                    |                                |                    |                                |                    |
|--|--------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------|
| Cilindro 1                                       |                    | Cilindro 2                     |                    | Cilindro 3                     |                    |
| Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )                   | Deslizamiento (mm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deslizamiento (mm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deslizamiento (mm) |
| 0  | 0                  | 0                              | 0                  | 0                              | 0                  |
| 1363,20  | 0,001              | 1451,41                        | 0,001              | 1117,52                        | 0,001              |
| 2758,43  | 0,01               | 2709,53                        | 0,01               | 2807,33                        | 0,01               |
| 3020,73  | 0,02               | 2954,29                        | 0,02               | 4661,97                        | 0,02               |
| 3955,56  | 0,03               | 3197,73                        | 0,03               | 5258,21                        | 0,03               |
| 4049,92  | 0,04               | 3300,55                        | 0,04               |                                |                    |
| 4108,12  | 0,05               | 3613,20                        | 0,05               |                                |                    |
| 4179,09  | 0,06               | 3648,59                        | 0,06               |                                |                    |
| 4281,09  | 0,07               | 3737,49                        | 0,07               |                                |                    |
| 4341,34  | 0,08               | 3785,06                        | 0,08               |                                |                    |
| 4364,62  | 0,09               | 3854,37                        | 0,09               |                                |                    |
| 4385,54  | 0,10               | 3900,27                        | 0,10               |                                |                    |
| 4405,11  | 0,11               | 3943,70                        | 0,11               |                                |                    |
| 4439,85  | 0,12               | 4145,71                        | 0,12               |                                |                    |
| 4482,03  | 0,13               | 4206,74                        | 0,13               |                                |                    |
| 4528,09  | 0,14               | 4307,71                        | 0,14               |                                |                    |
|  |                    | 4506,48                        | 0,15               |                                |                    |
|  |                    | 4607,27                        | 0,16               |                                |                    |
|  |                    | 4628,01                        | 0,17               |                                |                    |
|  |                    | 4666,55                        | 0,18               |                                |                    |
|  |                    | 4842,54                        | 0,19               |                                |                    |
|  |                    | 4860,33                        | 0,20               |                                |                    |
|  |                    | 4878,91                        | 0,21               |                                |                    |
|  |                    | 4897,13                        | 0,22               |                                |                    |
|  |                    | 4915,52                        | 0,23               |                                |                    |
|  |                    | 4933,65                        | 0,24               |                                |                    |
|  |                    | 4952,10                        | 0,25               |                                |                    |
|  |                    | 4969,40                        | 0,26               |                                |                    |
|  |                    | 4986,42                        | 0,28               |                                |                    |
|  |                    | 5003,23                        | 0,29               |                                |                    |



Anexos 23 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un  $f'c$  250 Kg/cm<sup>2</sup> y barras de 1/2" Cilindro 1.



Anexos 24 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un  $f'c$  250  $\text{Kg/cm}^2$  y barras de  $1/2''$  Cilindro 2

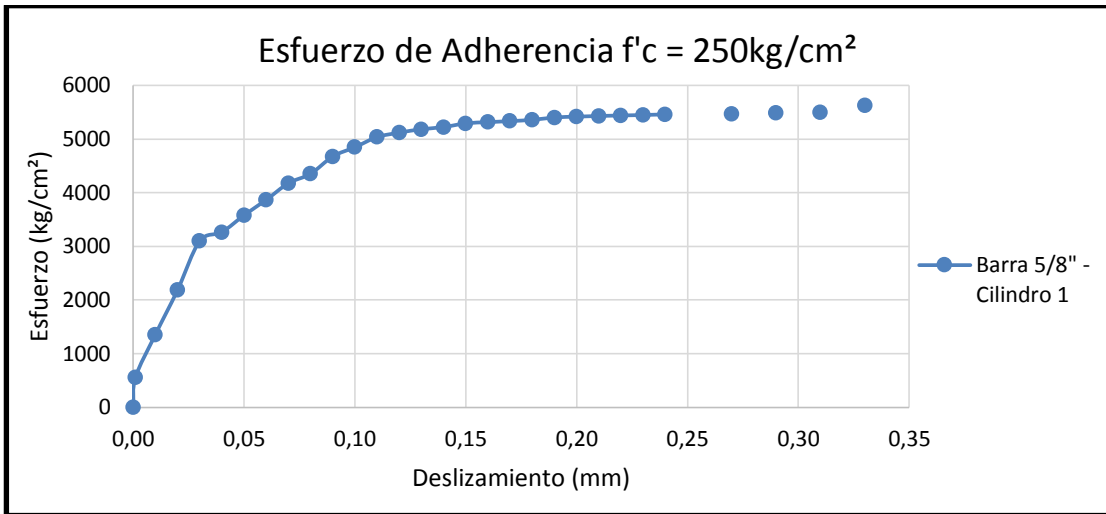


Anexos 25 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un  $f'c$  250  $\text{Kg/cm}^2$  y barras de  $1/2''$  Cilindro 3

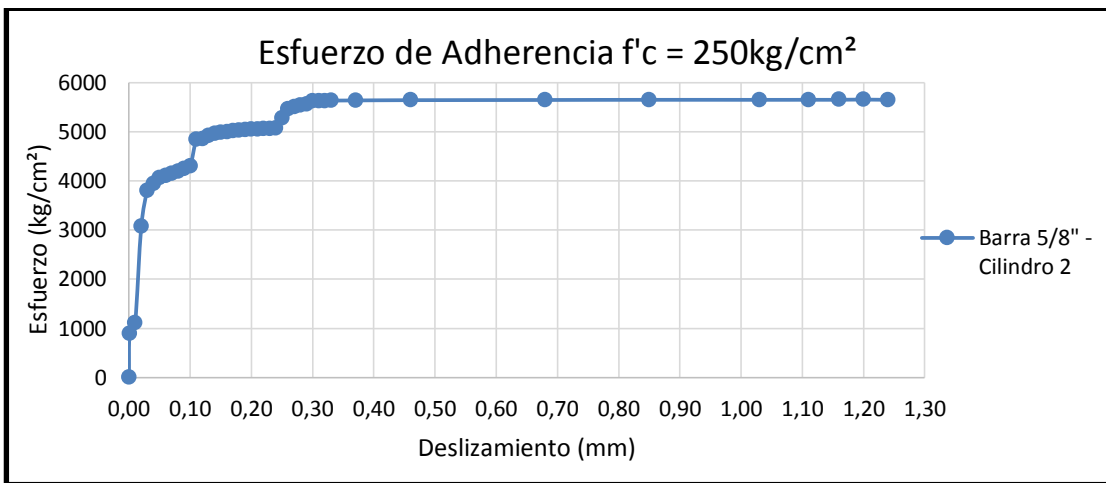


Anexos 26 Esfuerzos vs deslizamientos para un f' c 250 Kgf/cm<sup>2</sup> y barras de 5/8"

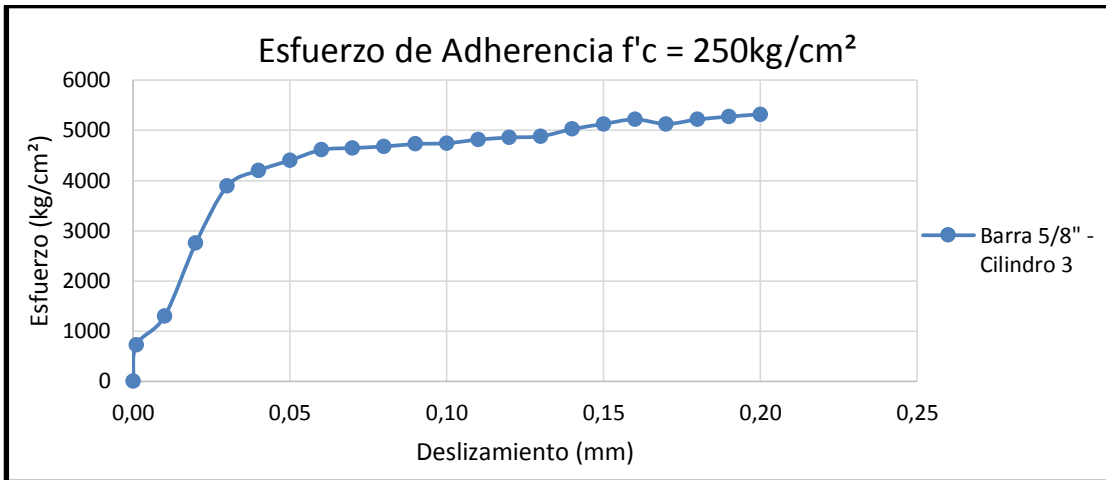
| RESISTENCIA 250kg/cm <sup>2</sup> barras de 5/8" |                    |                                |                    |                                |                    |
|--|--------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------|
| Cilindro 1                                       |                    | Cilindro 2                     |                    | Cilindro 3                     |                    |
| Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )                   | Deslizamiento (mm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deslizamiento (mm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deslizamiento (mm) |
| 0  | 0                  | 0                              | 0                  | 0                              | 0                  |
| 556,05   | 0,001              | 893,90                         | 0,001              | 726,35                         | 0,001              |
| 1354,92  | 0,01               | 1106,89                        | 0,01               | 1294,38                        | 0,01               |
| 2184,24  | 0,02               | 3068,83                        | 0,02               | 2753,93                        | 0,02               |
| 3098,28  | 0,03               | 3802,91                        | 0,03               | 3888,63                        | 0,03               |
| 3265,91  | 0,04               | 3936,70                        | 0,04               | 4200,66                        | 0,04               |
| 3580,06  | 0,05               | 4056,58                        | 0,05               | 4404,01                        | 0,05               |
| 3867,23  | 0,06               | 4105,80                        | 0,06               | 4613,12                        | 0,06               |
| 4176,81  | 0,07               | 4149,47                        | 0,07               | 4649,51                        | 0,07               |
| 4352,83  | 0,08               | 4191,96                        | 0,08               | 4679,53                        | 0,08               |
| 4675,59  | 0,09               | 4246,20                        | 0,09               | 4729,76                        | 0,09               |
| 4847,82  | 0,10               | 4297,36                        | 0,10               | 4744,94                        | 0,10               |
| 5037,04  | 0,11               | 4841,05                        | 0,11               | 4816,89                        | 0,11               |
| 5119,47  | 0,12               | 4852,95                        | 0,12               | 4858,54                        | 0,12               |
| 5183,83  | 0,13               | 4919,23                        | 0,13               | 4883,38                        | 0,13               |
| 5223,71  | 0,14               | 4960,56                        | 0,14               | 5026,31                        | 0,14               |
| 5292,92  | 0,15               | 4980,11                        | 0,15               | 5129,07                        | 0,15               |
| 5315,41  | 0,16               | 4997,68                        | 0,16               | 5220,03                        | 0,16               |
| 5335,38  | 0,17               | 5016,88                        | 0,17               | 5129,07                        | 0,17               |
| 5358,35  | 0,18               | 5025,46                        | 0,18               | 5220,03                        | 0,18               |
| 5402,82  | 0,19               | 5033,73                        | 0,19               | 5274,68                        | 0,19               |
| 5418,27  | 0,20               | 5041,71                        | 0,20               | 5323,73                        | 0,20               |
| 5430,49  | 0,21               | 5048,62                        | 0,21               |                                |                    |
| 5440,19  | 0,22               | 5057,58                        | 0,22               |                                |                    |
| 5449,07  | 0,23               | 5060,82                        | 0,23               |                                |                    |
| 5460,66  | 0,24               | 5064,63                        | 0,24               |                                |                    |
|  | 0,25               | 5279,05                        | 0,25               |                                |                    |
|  | 0,26               | 5458,31                        | 0,26               |                                |                    |
| 5473,33  | 0,27               | 5501,59                        | 0,27               |                                |                    |
|  | 0,28               | 5536,06                        | 0,28               |                                |                    |
| 5487,31  | 0,29               | 5556,58                        | 0,29               |                                |                    |
|  | 0,30               | 5617,49                        | 0,30               |                                |                    |
| 5499,48  | 0,31               | 5622,50                        | 0,31               |                                |                    |
|  | 0,32               | 5626,04                        | 0,32               |                                |                    |
| 5631,25  | 0,33               | 5631,84                        | 0,33               |                                |                    |
|  |                    | 5636,35                        | 0,37               |                                |                    |
|  |                    | 5641,43                        | 0,46               |                                |                    |
|  |                    | 5645,24                        | 0,68               |                                |                    |
|  |                    | 5648,83                        | 0,85               |                                |                    |
|  |                    | 5648,12                        | 1,03               |                                |                    |
|  |                    | 5648,98                        | 1,11               |                                |                    |
|  |                    | 5649,27                        | 1,16               |                                |                    |
|  |                    | 5653,61                        | 1,20               |                                |                    |
|  |                    | 5647,24                        | 1,24               |                                |                    |



Anexos 27 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un  $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$  y barras de 5/8" Cilindro 1



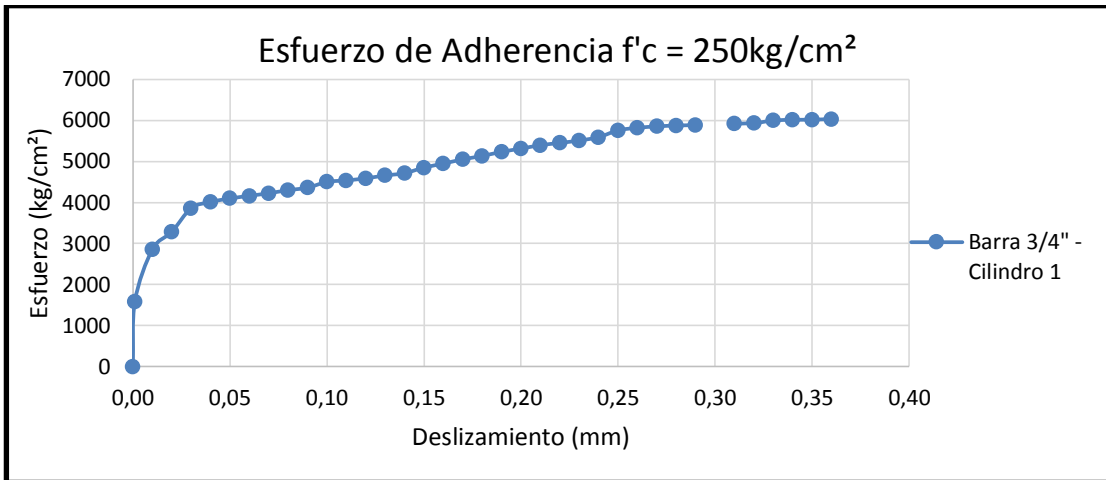
Anexos 28 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un  $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$  y barras de 5/8" Cilindro 2



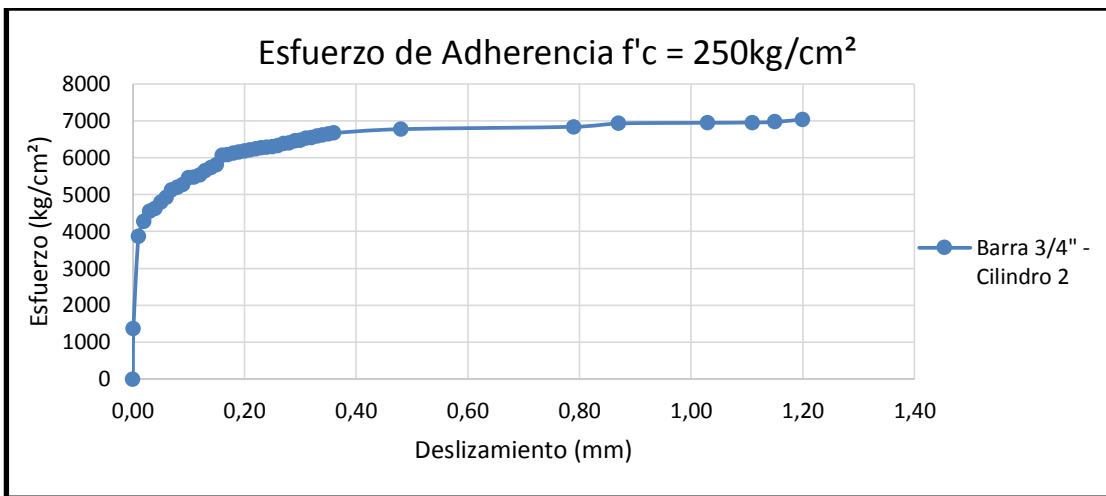
Anexos 29 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un  $f'_c$  250 Kgf/cm<sup>2</sup> y barras de 5/8" Cilindro 3

Anexos 30 Esfuerzos vs deslizamientos para un f'c 250 Kg/cm<sup>2</sup> y barras de 3/4"

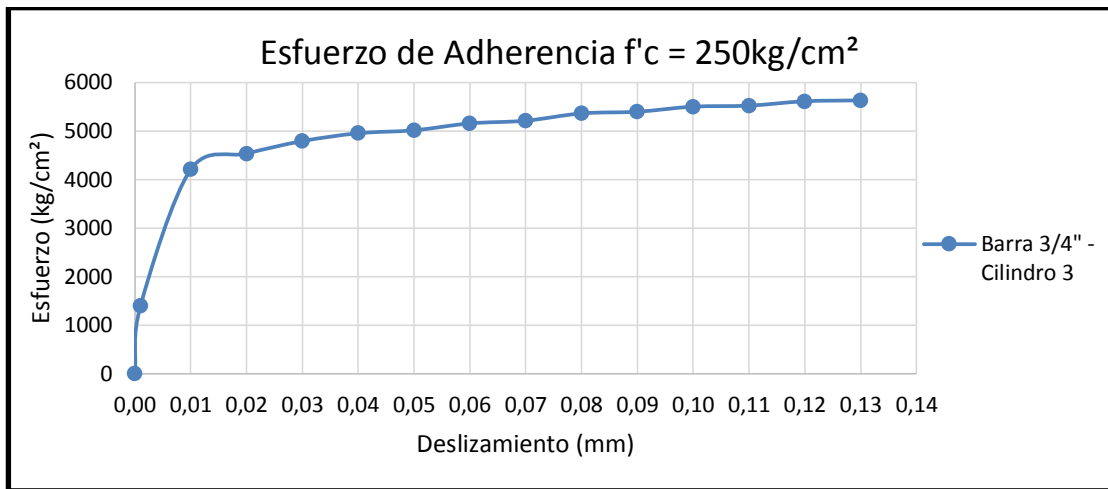
| RESISTENCIA 250kg/cm <sup>2</sup> barras de 3/4" |                    |                                |                    |                                |                    |
|--|--------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------|
| Cilindro 1                                       |                    | Cilindro 2                     |                    | Cilindro 3                     |                    |
| Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )                   | Deslizamiento (mm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deslizamiento (mm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deslizamiento (mm) |
| 0  | 0                  | 0                              | 0                  | 0                              | 0                  |
| 1585,48  | 0,001              | 1360,96                        | 0,001              | 1394,14                        | 0,001              |
| 2854,15  | 0,01               | 3869,25                        | 0,01               | 4205,24                        | 0,01               |
| 3281,58  | 0,02               | 4274,87                        | 0,02               | 4532,44                        | 0,02               |
| 3860,15  | 0,03               | 4543,75                        | 0,03               | 4789,52                        | 0,03               |
| 4012,94  | 0,04               | 4617,81                        | 0,04               | 4951,33                        | 0,04               |
| 4097,83  | 0,05               | 4798,53                        | 0,05               | 5013,00                        | 0,05               |
| 4161,81  | 0,06               | 4925,54                        | 0,06               | 5154,52                        | 0,06               |
| 4224,58  | 0,07               | 5120,23                        | 0,07               | 5209,84                        | 0,07               |
| 4300,29  | 0,08               | 5197,91                        | 0,08               | 5360,35                        | 0,08               |
| 4360,27  | 0,09               | 5273,93                        | 0,09               | 5395,80                        | 0,09               |
| 4501,71  | 0,10               | 5452,20                        | 0,10               | 5498,95                        | 0,10               |
| 4537,89  | 0,11               | 5475,23                        | 0,11               | 5520,78                        | 0,11               |
| 4588,10  | 0,12               | 5526,20                        | 0,12               | 5609,93                        | 0,12               |
| 4658,68  | 0,13               | 5647,64                        | 0,13               | 5629,07                        | 0,13               |
| 4713,36  | 0,14               | 5731,48                        | 0,14               |                                |                    |
| 4850,50  | 0,15               | 5802,68                        | 0,15               |                                |                    |
| 4946,79  | 0,16               | 6060,43                        | 0,16               |                                |                    |
| 5051,76  | 0,17               | 6082,96                        | 0,17               |                                |                    |
| 5133,04  | 0,18               | 6117,62                        | 0,18               |                                |                    |
| 5234,34  | 0,19               | 6151,07                        | 0,19               |                                |                    |
| 5312,70  | 0,20               | 6183,77                        | 0,20               |                                |                    |
| 5395,68  | 0,21               | 6205,28                        | 0,21               |                                |                    |
| 5451,20  | 0,22               | 6237,36                        | 0,22               |                                |                    |
| 5509,72  | 0,23               | 6259,28                        | 0,23               |                                |                    |
| 5591,00  | 0,24               | 6278,18                        | 0,24               |                                |                    |
| 5757,68  | 0,25               | 6299,24                        | 0,25               |                                |                    |
| 5819,21  | 0,26               | 6319,82                        | 0,26               |                                |                    |
| 5853,57  | 0,27               | 6375,63                        | 0,27               |                                |                    |
| 5874,78  | 0,28               | 6395,60                        | 0,28               |                                |                    |
| 5884,27  | 0,29               | 6451,76                        | 0,29               |                                |                    |
|  | 0,30               | 6470,89                        | 0,30               |                                |                    |
| 5925,08  | 0,31               | 6524,96                        | 0,31               |                                |                    |
| 5932,55  | 0,32               | 6545,33                        | 0,32               |                                |                    |
| 5997,15  | 0,33               | 6589,62                        | 0,33               |                                |                    |
| 6013,54  | 0,34               | 6610,56                        | 0,34               |                                |                    |
| 6017,59  | 0,35               | 6647,94                        | 0,35               |                                |                    |
| 6032,21  | 0,36               | 6667,39                        | 0,36               |                                |                    |
|  |                    | 6771,61                        | 0,48               |                                |                    |
|  |                    | 6835,24                        | 0,79               |                                |                    |
|  |                    | 6925,30                        | 0,87               |                                |                    |
|  |                    | 6943,40                        | 1,03               |                                |                    |
|  |                    | 6951,26                        | 1,11               |                                |                    |
|  |                    | 6968,22                        | 1,15               |                                |                    |
|  |                    | 7034,03                        | 1,20               |                                |                    |



Anexos 31 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un  $f'c$  250 Kgf/cm<sup>2</sup> y barras de 3/4" Cilindro 1



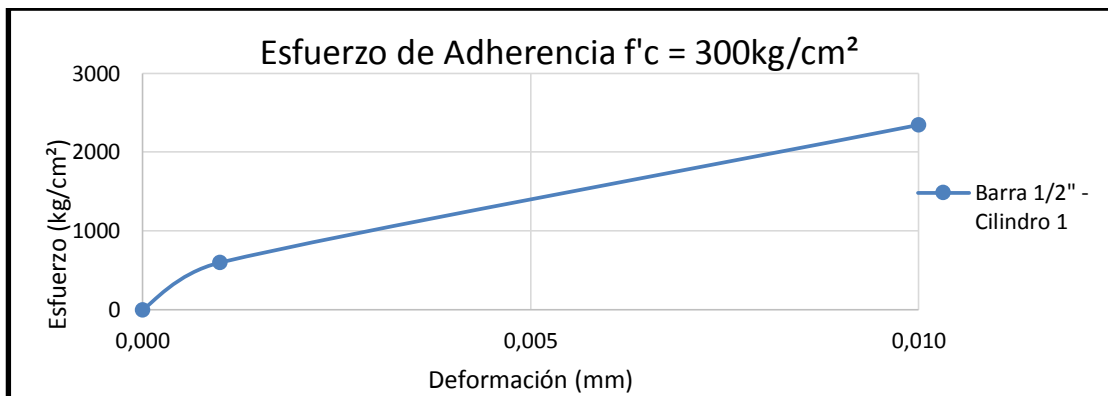
Anexos 32 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un  $f'c$  250 Kgf/cm<sup>2</sup> y barras de 3/4" Cilindro 2



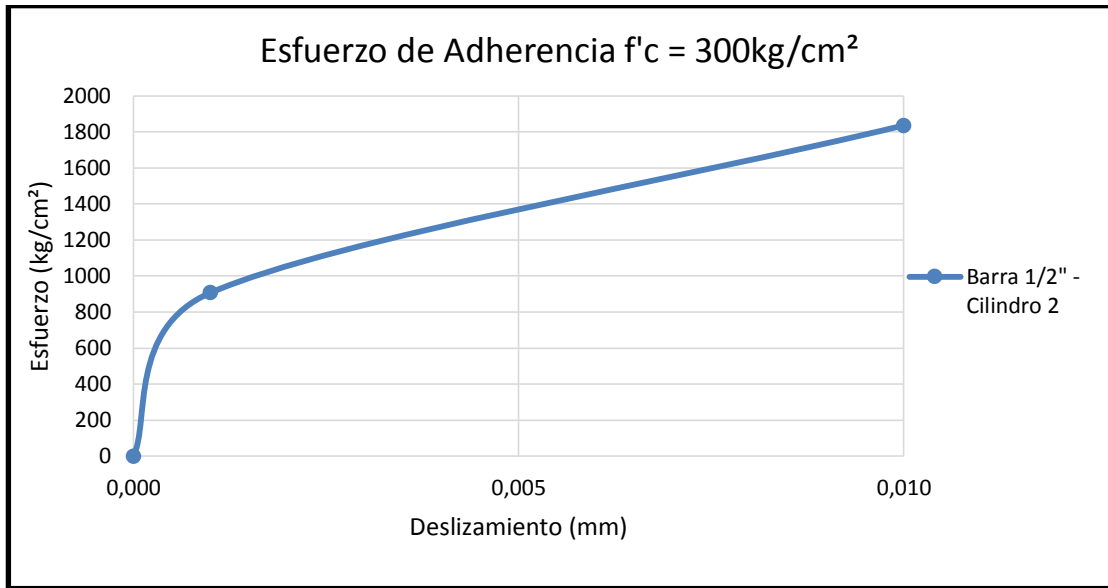
Anexos 33 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un  $f'c$  250 Kgf/cm<sup>2</sup> y barras de 3/4" Cilindro 3

Anexos 34 Esfuerzos vs deslizamientos para un  $f'c$  300 Kgf/cm<sup>2</sup> y barras de 1/2"

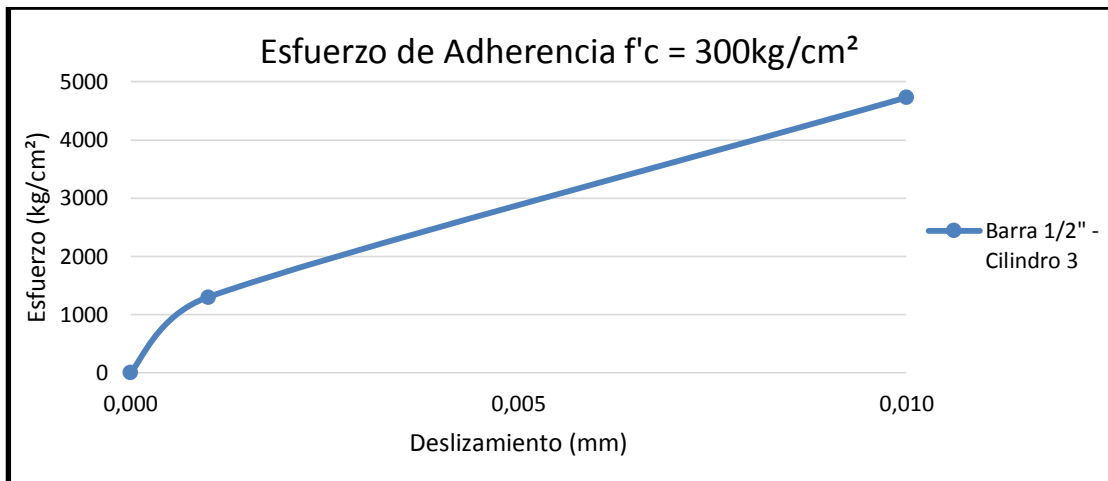
| RESISTENCIA 300kg/cm <sup>2</sup> barras de 1/2" |                    |                                |                    |                                |                    |
|--|--------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------|
| Cilindro 1                                       |                    | Cilindro 2                     |                    | Cilindro 3                     |                    |
| Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )                   | Deslizamiento (mm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deslizamiento (mm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deslizamiento (mm) |
| 0  | 0                  | 0                              | 0                  | 0                              | 0                  |
| 599,26   | 0,001              | 907,65                         | 0,001              | 1300,16                        | 0,001              |
| 2345,41  | 0,01               | 1835,80                        | 0,01               | 4730,570                       | 0,01               |



Anexos 35 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un  $f'c$  300 Kgf/cm<sup>2</sup> y barras de 1/2" Cilindro 1



Anexos 36 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un  $f'c$  300 Kgf/cm<sup>2</sup> y barras de  $1/2''$  Cilindro 2

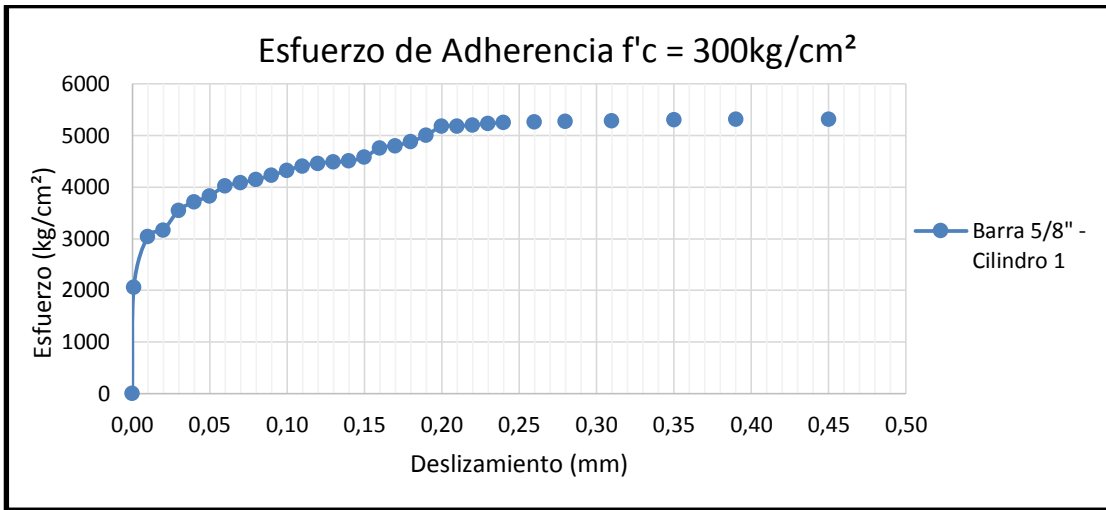


Anexos 37 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un  $f'c$  300 Kgf/cm<sup>2</sup> y barras de  $1/2''$  Cilindro 3

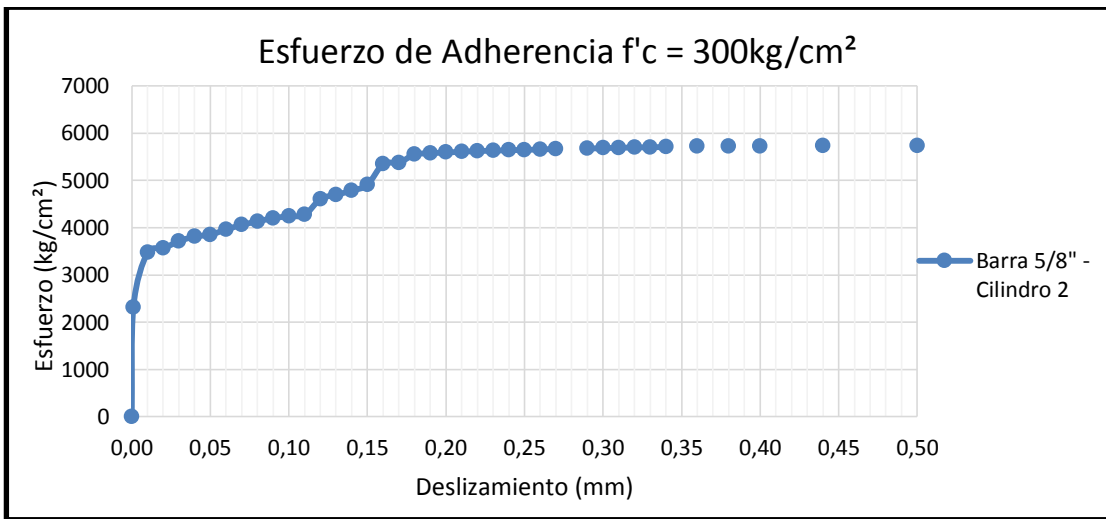
Anexos 38 Esfuerzos vs deslizamientos para un f'c 300 Kg/cm<sup>2</sup> y barras de 5/8"

| RESISTENCIA 300kg/cm <sup>2</sup> barras de 5/8" |                    |                                |                    |                                |                    |
|--|--------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------|
| Cilindro 1                                       |                    | Cilindro 2                     |                    | Cilindro 3                     |                    |
| Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )                   | Deslizamiento (mm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deslizamiento (mm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deslizamiento (mm) |
| 0  | 0                  | 0                              | 0                  | 0                              | 0                  |
| 2061,24  | 0,001              | 2309,43                        | 0,001              | 2335,47                        | 0,001              |
| 3044,25  | 0,01               | 3477,41                        | 0,01               | 3119,64                        | 0,01               |
| 3168,31  | 0,02               | 3565,19                        | 0,02               | 3456,80                        | 0,02               |
| 3552,87  | 0,03               | 3712,88                        | 0,03               | 3541,25                        | 0,03               |
| 3714,94  | 0,04               | 3815,14                        | 0,04               | 3632,86                        | 0,04               |
| 3832,10  | 0,05               | 3850,86                        | 0,05               | 3887,68                        | 0,05               |
| 4024,23  | 0,06               | 3963,02                        | 0,06               | 3975,36                        | 0,06               |
| 4081,80  | 0,07               | 4056,95                        | 0,07               | 4079,12                        | 0,07               |
| 4152,00  | 0,08               | 4134,70                        | 0,08               | 4141,16                        | 0,08               |
| 4227,11  | 0,09               | 4199,24                        | 0,09               | 4213,47                        | 0,09               |
| 4327,73  | 0,10               | 4244,28                        | 0,10               | 4277,82                        | 0,10               |
| 4411,25  | 0,11               | 4271,86                        | 0,11               | 4473,43                        | 0,11               |
| 4463,02  | 0,12               | 4603,34                        | 0,12               | 4636,28                        | 0,12               |
| 4486,56  | 0,13               | 4699,22                        | 0,13               | 4781,06                        | 0,13               |
| 4508,25  | 0,14               | 4782,59                        | 0,14               | 4929,59                        | 0,14               |
| 4578,69  | 0,15               | 4908,88                        | 0,15               | 5021,95                        | 0,15               |
| 4763,12  | 0,16               | 5347,76                        | 0,16               | 5063,02                        | 0,16               |
| 4804,15  | 0,17               | 5375,58                        | 0,17               | 5082,70                        | 0,17               |
| 4882,72  | 0,18               | 5548,76                        | 0,18               | 5126,19                        | 0,18               |
| 5005,95  | 0,19               | 5574,79                        | 0,19               | 5172,04                        | 0,19               |
| 5179,49  | 0,20               | 5592,94                        | 0,20               | 5195,33                        | 0,20               |
| 5186,98  | 0,21               | 5605,80                        | 0,21               | 5214,80                        | 0,21               |
| 5204,93  | 0,22               | 5623,70                        | 0,22               | 5258,75                        | 0,22               |
| 5231,35  | 0,23               | 5629,09                        | 0,23               | 5277,87                        | 0,23               |
| 5249,73  | 0,24               | 5640,20                        | 0,24               | 5300,56                        | 0,24               |
|  | 0,25               | 5646,88                        | 0,25               | 5314,76                        | 0,25               |
| 5263,49  | 0,26               | 5656,15                        | 0,26               | 5339,43                        | 0,26               |
|  | 0,27               | 5665,37                        | 0,27               | 5377,78                        | 0,27               |
| 5275,99  | 0,28               |                                | 0,28               |                                | 0,28               |
|  | 0,29               | 5674,32                        | 0,29               | 5413,57                        | 0,29               |
|  | 0,30               | 5683,63                        | 0,30               | 5440,75                        | 0,30               |
| 5290,57  | 0,31               | 5691,81                        | 0,31               |                                | 0,31               |
|  | 0,32               | 5697,19                        | 0,32               | 5460,53                        | 0,32               |
|  | 0,33               | 5702,32                        | 0,33               | 5478,72                        | 0,33               |
|  | 0,34               | 5707,95                        | 0,34               | 5499,02                        | 0,34               |
| 5301,86  | 0,35               |                                | 0,35               | 5508,20                        | 0,35               |
|  | 0,36               | 5716,57                        | 0,36               | 5530,72                        | 0,36               |
|  | 0,37               |                                | 0,37               | 5551,67                        | 0,37               |
|  | 0,38               | 5720,95                        | 0,38               | 5567,71                        | 0,38               |
| 5313,35  | 0,39               |                                | 0,39               | 5587,26                        | 0,39               |
|  | 0,40               | 5725,59                        | 0,40               | 5603,13                        | 0,40               |
|  | 0,41               |                                | 0,41               | 5614,65                        | 0,41               |
|  | 0,42               |                                | 0,42               | 5640,40                        | 0,42               |
|  | 0,43               |                                | 0,43               | 5656,91                        | 0,43               |
|  | 0,44               | 5727,84                        | 0,44               | 5670,98                        | 0,44               |
| 5320,11  | 0,45               |                                | 0,45               | 5690,99                        | 0,45               |
|  |                    |                                | 0,46               |                                | 0,46               |
|  |                    |                                | 0,47               | 5706,97                        | 0,47               |
|  |                    |                                | 0,48               | 5722,87                        | 0,48               |
|  |                    |                                | 0,49               | 5746,33                        | 0,49               |
|  |                    | 5728,24                        | 0,50               |                                | 0,50               |

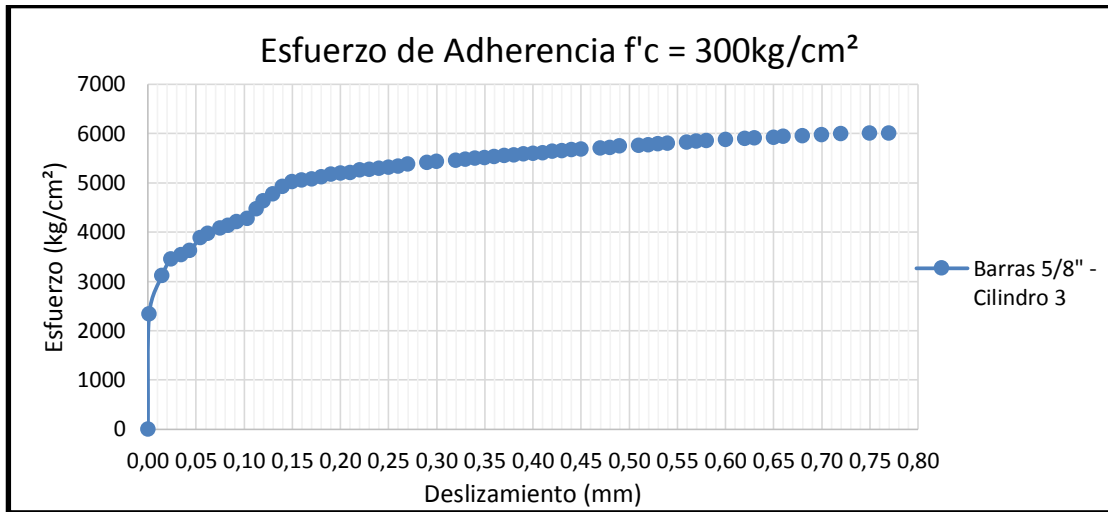




Anexos 39 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un  $f'c = 300\text{ Kg/cm}^2$  y barras de 5/8" Cilindro 1



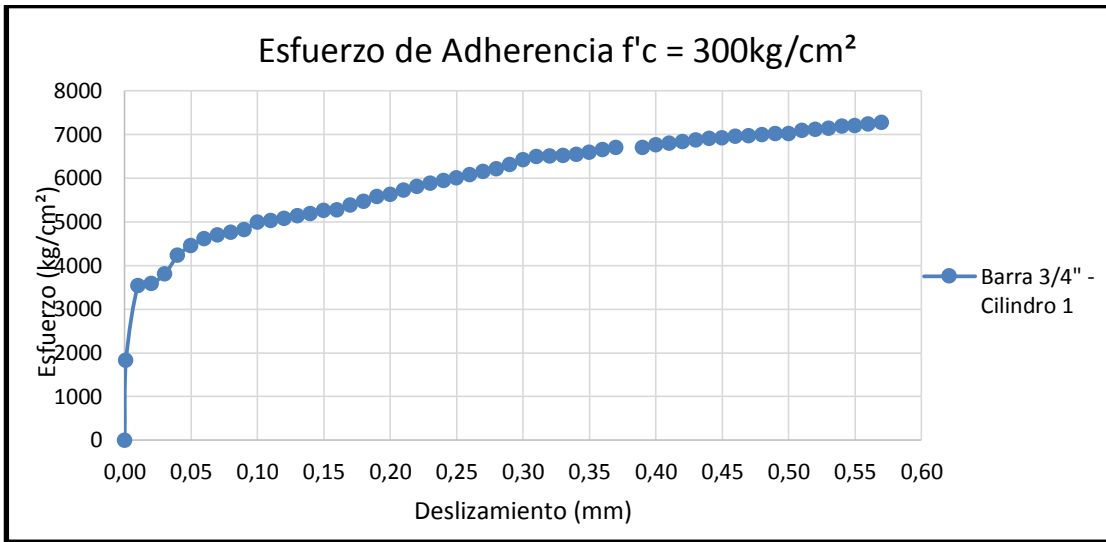
Anexos 40 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un  $f'c = 300\text{ Kg/cm}^2$  y barras de 5/8" Cilindro 2



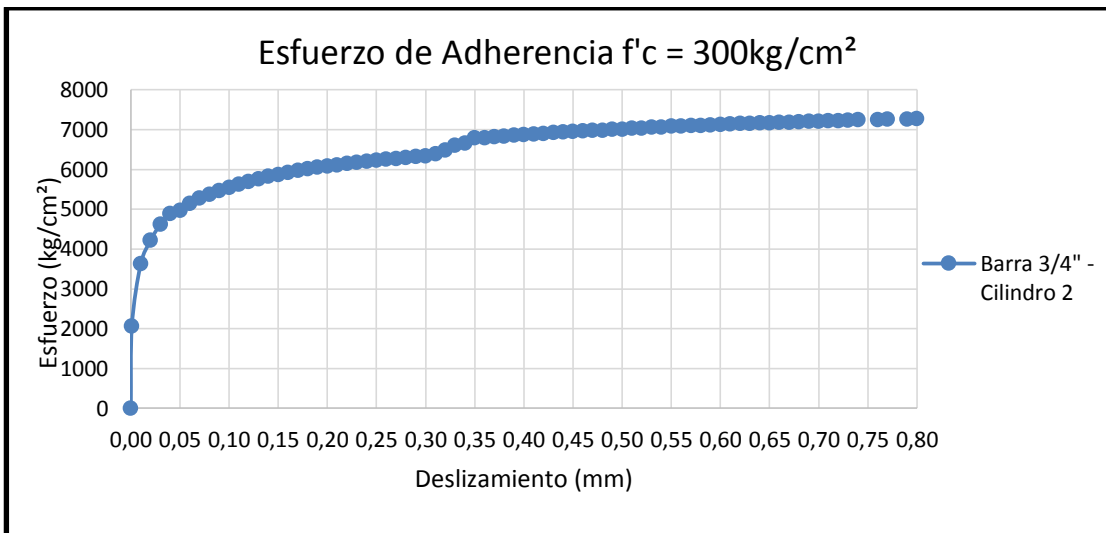
Anexos 41 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un  $f'_c 300\text{ Kg/cm}^2$  y barras de 5/8" Cilindro 3

Anexos 42 Esfuerzos vs deslizamientos para un f' c 300 Kg/cm<sup>2</sup> y barras de 3/4"

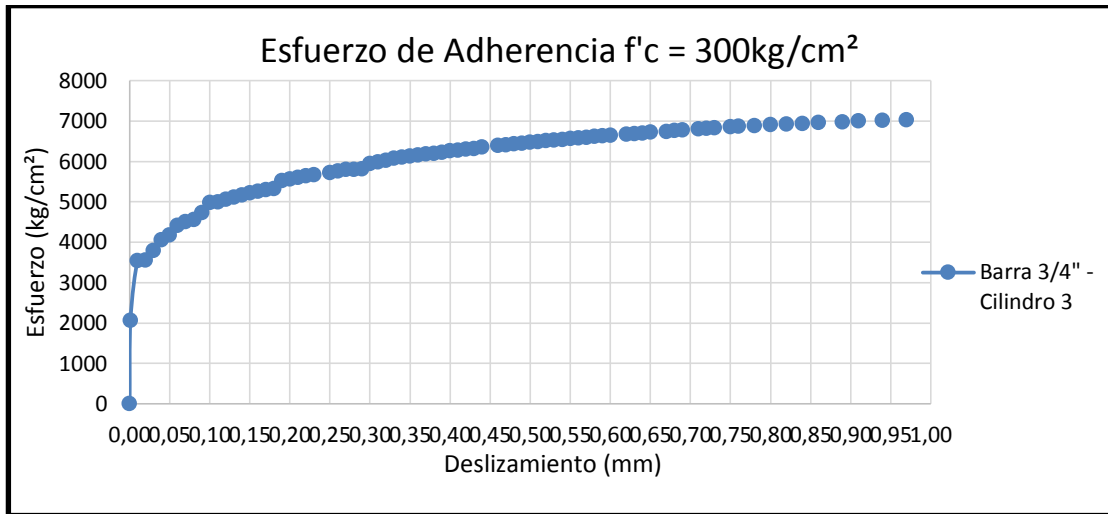
| RESISTENCIA 300kg/cm <sup>2</sup> barras de 3/4" |                    |                                |                    |                                |                    |
|--|--------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------|
| Cilindro 1                                       |                    | Cilindro 2                     |                    | Cilindro 3                     |                    |
| Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )                   | Deslizamiento (mm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deslizamiento (mm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deslizamiento (mm) |
| 0  | 0                  | 0                              | 0                  | 0                              | 0                  |
| 1831,09  | 0,001              | 2062,72                        | 0,001              | 2060,81                        | 0,001              |
| 3538,84  | 0,01               | 3625,42                        | 0,01               | 3551,21                        | 0,01               |
| 3592,23  | 0,02               | 4215,76                        | 0,02               | 3554,87                        | 0,02               |
| 3801,52  | 0,03               | 4621,38                        | 0,03               | 3790,82                        | 0,03               |
| 4228,95  | 0,04               | 4890,27                        | 0,04               | 4064,89                        | 0,04               |
| 4456,65  | 0,05               | 4964,32                        | 0,05               | 4181,56                        | 0,05               |
| 4609,43  | 0,06               | 5145,04                        | 0,06               | 4415,31                        | 0,06               |
| 4694,32  | 0,07               | 5272,05                        | 0,07               | 4508,82                        | 0,07               |
| 4758,30  | 0,08               | 5377,31                        | 0,08               | 4556,11                        | 0,08               |
| 4821,07  | 0,09               | 5466,74                        | 0,09               | 4740,80                        | 0,09               |
| 4991,85  | 0,10               | 5544,42                        | 0,10               | 4979,08                        | 0,10               |
| 5028,03  | 0,11               | 5620,45                        | 0,11               | 4996,08                        | 0,11               |
| 5078,78  | 0,12               | 5693,45                        | 0,12               | 5063,16                        | 0,12               |
| 5134,38  | 0,13               | 5756,80                        | 0,13               | 5111,46                        | 0,13               |
| 5184,59  | 0,14               | 5821,74                        | 0,14               | 5174,76                        | 0,14               |
| 5255,18  | 0,15               | 5872,71                        | 0,15               | 5218,94                        | 0,15               |
| 5274,76  | 0,16               | 5923,98                        | 0,16               | 5261,34                        | 0,16               |
| 5376,82  | 0,17               | 5972,73                        | 0,17               | 5295,84                        | 0,17               |
| 5473,10  | 0,18               | 6008,84                        | 0,18               | 5325,26                        | 0,18               |
| 5578,07  | 0,19               | 6056,06                        | 0,19               | 5525,63                        | 0,19               |
| 5624,27  | 0,20               | 6078,59                        | 0,20               | 5569,81                        | 0,20               |
| 5725,57  | 0,21               | 6113,26                        | 0,21               | 5612,22                        | 0,21               |
| 5803,93  | 0,22               | 6146,70                        | 0,22               | 5646,72                        | 0,22               |
| 5886,91  | 0,23               | 6179,40                        | 0,23               | 5676,14                        | 0,23               |
| 5942,42  | 0,24               | 6200,92                        | 0,24               |                                | 0,24               |
| 6000,94  | 0,25               | 6233,00                        | 0,25               | 5718,58                        | 0,25               |
| 6078,37  | 0,26               | 6254,91                        | 0,26               | 5763,50                        | 0,26               |
| 6152,40  | 0,27               | 6273,82                        | 0,27               | 5798,30                        | 0,27               |
| 6213,82  | 0,28               | 6294,88                        | 0,28               | 5798,03                        | 0,28               |
| 6310,44  | 0,29               | 6315,45                        | 0,29               | 5816,85                        | 0,29               |
| 6414,98  | 0,30               | 6336,17                        | 0,30               | 5954,69                        | 0,30               |
| 6487,97  | 0,31               | 6391,23                        | 0,31               | 5990,18                        | 0,31               |
| 6506,36  | 0,32               | 6482,48                        | 0,32               | 6023,12                        | 0,32               |
| 6520,87  | 0,33               | 6606,87                        | 0,33               | 6082,18                        | 0,33               |
| 6541,66  | 0,34               | 6660,94                        | 0,34               | 6109,30                        | 0,34               |
| 6586,02  | 0,35               | 6786,58                        | 0,35               | 6136,25                        | 0,35               |
| 6647,97  | 0,36               | 6795,78                        | 0,36               | 6158,90                        | 0,36               |
| 6697,01  | 0,37               | 6816,72                        | 0,37               | 6181,96                        | 0,37               |
|  | 0,38               | 6834,70                        | 0,38               | 6204,42                        | 0,38               |
| 6704,48  | 0,39               | 6854,10                        | 0,39               | 6224,78                        | 0,39               |
| 6760,78  | 0,40               | 6873,56                        | 0,40               | 6262,54                        | 0,40               |
| 6803,28  | 0,41               | 6883,04                        | 0,41               | 6282,86                        | 0,41               |
| 6840,79  | 0,42               | 6901,05                        | 0,42               | 6303,56                        | 0,42               |
| 6867,96  | 0,43               | 6920,94                        | 0,43               | 6322,45                        | 0,43               |
| 6907,79  | 0,44               | 6939,03                        | 0,44               | 6361,03                        | 0,44               |
| 6920,58  | 0,45               | 6946,89                        | 0,45               |                                | 0,45               |
| 6956,70  | 0,46               | 6964,19                        | 0,46               | 6400,47                        | 0,46               |
| 6970,22  | 0,47               | 6975,59                        | 0,47               | 6417,31                        | 0,47               |
| 6993,96  | 0,48               | 6983,14                        | 0,48               | 6436,63                        | 0,48               |
| 7013,96  | 0,49               | 7002,42                        | 0,49               | 6455,19                        | 0,49               |
| 7020,27  | 0,50               | 7011,28                        | 0,50               | 6474,45                        | 0,50               |



Anexos 43 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un  $f'c = 300 \text{ Kg/cm}^2$  y barras de  $3/4''$  Cilindro 1



Anexos 44 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un  $f'c = 300 \text{ Kg/cm}^2$  y barras de  $3/4''$  Cilindro 2



Anexos 45 Gráfico Esfuerzos vs deslizamientos para un  $f'_c = 300\text{ Kg/cm}^2$  y barras de 3/4" Cilindro 3