

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

**“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MIEMBROS
CORTOS EN CONCRETO FLUIDO ENDURECIDO, AL ESTAR SOMETIDO A
CARGAS AXIALES”**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO CIVIL

REALIZADO POR: Eudis Liliana Carreño Lancheros

Irving Jesús Silva Chacón

PROFESOR GUÍA: Ing. Yelitza Sirit

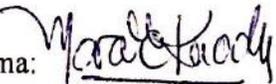
Caracas, Junio de 2019

**“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MIEMBROS CORTOS
EN CONCRETO FLUIDO ENDURECIDO, AL ESTAR SOMETIDO A CARGAS
AXIALES”**

**Este jurado; una vez realizado el examen del presente
trabajo ha evaluado su contenido con el resultado:**

Distintivo (19)

JURADO EXAMINADOR

Firma:  Firma:  Firma: 
Nombre: *Yelitza Sirit* Nombre: *MARÍA E. KORADY* Nombre: *José Chitty*

REALIZADO POR Eudis Liliana Carreño Lancheros
Irving Jesús Silva Chacón

PROFESOR GUÍA ING. Yelitza Sirit

FECHA Caracas, Junio 2019



DEDICATORIA

Primeramente a Dios por la fuerza, fortaleza y sabiduría, pues aun en los momentos más difícil se que fue Él quien me motivo para culminar esta meta.

A mis padres; Víctor y Zandra por creer siempre en mí, motivarme y apoyarme incondicionalmente.

A mi hermana; Jeisy por ser ejemplo para mi vida y apoyarme sin dudar.

A mis abuelos Gilberto y Eudoxia por su amor y palabras de aliento.

A la familia García Lancheros y Lancheros Carreño, por cada gesto de amor, cariño y palabras de ánimo en el transcurrir de este camino.

Eudis Liliana Carreño Lancheros

A Dios por la fuerza, fortaleza y sabiduría para culminar esta meta.

A mis padres; Rene y Deisy por motivarme y apoyarme incondicionalmente.

Y a toda mi familia y amigos por su apoyo.

Irving Jesús Silva Chacón.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Católica Andrés Bello, por el conocimiento y educación que se nos ha impartido a lo largo de la carrera.

A cada uno de los docentes por apostar al futuro y brindaron una excelente educación, aun en medio de la crisis que atraviesa nuestra nación.

A Tecnoconcret, Asfalklin y canteras O´rey por la donación del aditivo y materiales indispensables en el desarrollo de esta investigación.

Al personal que hace vida en el Laboratorio de tecnología del concreto de la UCAB, en especial al Ingeniero Guillermo Bonilla e Ingeniero Yelitza Sirit, pues son pieza fundamental en el desarrollo de este trabajo de investigación.

A nuestros compañeros con los cuales aprendimos, nos reímos y también lloramos, pero que juntos nos hicimos fuertes para culminar nuestro ciclo profesional.

SINOPSIS

El siguiente trabajo, es la continuación de una línea de investigación del concreto fluido endurecido que se desarrolla en el Laboratorio de Materiales de Construcción y Tecnología del Concreto UCAB, como aporte al desarrollo de normas COVENIN. En esta ocasión, el estudio se concentrará en el comportamiento mecánico que ofrece este tipo de concreto en miembros cortos, una vez que es sometido a cargas axiales. Dichos miembros tendrán como agregado grueso, piedra picada y canto rodado.

Para el estudio fueron desarrolladas treinta (30) probetas normalizadas de concreto con las siguientes dimensiones: 15 cm de diámetro y 30 cm de altura. Los miembros se distribuyeron en dos grupos de la siguiente manera: quince (15) probetas de canto rodado y quince (15) probetas de piedra picada, de los cuales se subdividieron en familias de cinco (5) grupos con tres (3) miembros cada uno. Para cada familia se establecieron diferentes porcentajes en peso de agregado fino y grueso.

A través de este estudio se pudo conocer como se ven influenciadas las propiedades mecánicas de los miembros cortos, cuando se trabaja con concreto fluido a diferentes proporciones en peso de agregado grueso, al usar piedra picada y canto rodado.

Se observaron variaciones no solo en la resistencia de los diferentes grupos de cilindros, sino también en las deformaciones axiales y módulo de elasticidad. Y en los anexos, se puede apreciar para un mismo gráfico el comportamiento de las resistencias, tanto del canto rodado y piedra picada al cambiar los porcentajes de agregado fino.

Por medio de los análisis se logró determinar el porcentaje de agregado más aceptable con respecto a las especificaciones de un concreto fluido.

ÍNDICE

CAPITULO I.....	1
EL PROBLEMA	1
I.1 Planteamiento del problema.....	1
I.2 Objetivo general	2
I.3 Objetivos Específicos.....	2
I.4 Antecedentes	2
I.5 Alcances y Limitaciones	4
CAPITULO II.....	5
BASES TEORICAS	5
II.1 Fundamentos teóricos.....	5
II.1.1 Concreto autocompactable.....	5
II.1. 2 Características fundamentales para definir un concreto autocompactable	5
II.1.3 Comportamiento del concreto a Tensión- Deformación axial.....	6
CAPITULO III	9
MARCO METODOLOGICO	9
III.1 Naturaleza y tipo de investigación	9
III.2 Población	9
III.3 Muestra.....	9
III.4 Recolección de datos	10
III.5 Equipos de aplicación de carga	10
III.6 Accesorios empleados	10
III.7 Variables estudiadas y unidades de trabajo	10
III.7.1 Variables dependientes.....	10
III.7.2 Variables independientes.....	10
III.7.3 Factores constantes.....	11

III.7.4 Parámetros constantes	11
III.8 Materiales utilizados. Propiedades y características	11
Dosificaciones	11
III.8. 1 Cemento.....	11
III.8.2 Características del agregado grueso	11
III.8.3 Características del agregado fino.....	12
III.8.4 Aditivo.....	13
III.9 Diseño experimental.....	13
III.10 Fase de ejecución.....	13
III.10.1 Documentación.....	14
III.10.2 Pruebas reológicas y elaboración de probetas	14
III.10.2.1 Ensayo Extensión del flujo.....	15
III.10.2.2 Ensayo Anillo japonés	15
III.10.2.3 Ensayo Caja en L.....	16
III.10.2.4 Vaciado de probetas cilíndricas.....	17
III.10.5 Ejecución de ensayos (Propiedades mecánicas).....	18
CAPITULO IV	19
RESULTADOS Y ANÁLISIS	19
IV. 1 Comportamiento Tensión – Deformación Axial.....	19
IV. 1.1 Canto rodado	19
IV. 1.2 Piedra picada	20
VI. 2 Límites óptimos de porcentaje de arena con base en las pruebas reológicas.....	23
VI.2.1 Extensión de flujo.....	23
VI.2.2 Anillo japonés	24
VI.2.3 Caja en L	25

CAPITULO V	26
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	26
V.1 Conclusiones.....	26
V.2 Recomendaciones	27
BIBLIOGRAFÍA	29
ANEXOS	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Curva esfuerzo- deformación para cilindros de concreto cargados a compresión uniaxial.....	7
Figura 2.2 Curva esfuerzo- deformación en compresión axial de un espécimen sujeto a carga de corta duración.....	8
Figura 3.1 Ensayo extensión de flujo.....	15
Figura 3.2 Ensayo anillo japonés.....	16
Figura 3.3 Ensayo caja en L.....	17
Figura 3.4 Dispositivos de medición para ensayos a compresión.....	18
Figura 4.1 Grafico Tensión- Deformación Axial (Canto Rodado).....	19
Figura 4.2 Grafico Modulo de elasticidad - % Arena (Canto Rodado).....	20
Figura 4.3 Grafico Tensión- Deformación Axial (Piedra Picada).....	21
Figura 4.4 Modulo de elasticidad - % Arena (Piedra Picada).....	22
Figura 4.5 Probeta ensayada.....	23
Figura 4.6 Criterio de aceptación: % Arena- tiempo (s).....	24
Figura 4.6.1 Canto rodado.....	24
Figura 4.6.2 Piedra picada.....	24
Figura 4.7 Criterio de aceptación: % Arena- diámetro (mm).....	24
Figura 4.7.1 Canto rodado.....	24
Figura 4.7.2 Piedra picada.....	24
Figura 4.8 Criterio de aceptación: % Arena- diferencial he-hi (mm).....	25
Figura 4.8.1 Canto rodado	25
Figura 4.8.2 Piedra picada	25

Figura 4.9 Criterio de aceptación: % Arena- Relación bloqueo.....	26
Figura 4.9.1 Canto rodado	26
Figura 4.9.2 Piedra picada	26
Figura 5.1 Canto rodado (CR) y Piedra picada (PP): Resistencia-Módulo de elasticidad- % Arena.....	27
Figura A.1 Tensión- Deformación axial (60% Arena).....	31
Figura A.2 Tensión- Deformación axial (65% Arena).....	32
Figura A.3 Tensión- Deformación axial (70% Arena).....	32
Figura A.4 Tensión- Deformación axial (75% Arena).....	33
Figura A.5 Tensión- Deformación axial (80% Arena).....	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Propiedades canto rodado.....	11
Tabla 3.2 Propiedades piedra picada.....	12
Tabla 3.3 Propiedades agregado fino.....	12
Tabla 3.4 Dosificación utilizada.....	13
Tabla 3.5 Criterios de aceptación.....	14
Tabla 4.1 Resumen variación en propiedades con respecto al porcentaje de arena.....	20
Tabla 4.2 Resumen variación en propiedades con respecto al porcentaje de arena.....	22

CAPITULO I

EL PROBLEMA

I.1 Planteamiento del problema

La exigencia en las estructuras de concreto reforzado complejas siempre han sido uno de los problemas fundamentales en el área de la construcción, debido a que la colocación y la compactación de la mezcla se dificultan, ocasionando problemas en la disminución de la resistencia y durabilidad de la estructura.

Como solución surgió el concreto fluido o concreto autocompactable, que tiene la capacidad para llenar completamente y sin segregación la forma del encofrado para alcanzar una plena compactación sin aplicar energía de vibración, es decir, únicamente por medio de su propio peso, reduciendo significativamente la actividad de vibrado que tanto afecta la calidad del concreto cuando no se realiza de manera correcta.

En este sentido, el concreto fluido endurecido mejora el rendimiento y la efectividad en la fase de producción, facilitando el transporte y la trabajabilidad de la mezcla, ahora bien; para obtener estas características pareciera necesario incrementar la cantidad de agua, pero al afectar las resistencias deben combinarse agregados y aditivos que puedan ayudar a alcanzar los beneficios que ofrece el concreto fluido, sin perjudicar la relación agua/cemento de la mezcla.

I.2 Objetivo general

Analizar el comportamiento mecánico de miembros cortos en concreto fluido endurecido, al estar sometido a cargas axiales.

I.3 Objetivos Específicos

- Establecer la incidencia en la deformación axial de miembros cortos en concreto fluido endurecido con piedra picada como agregado grueso, al estar sometido a tensiones axiales.
- Establecer la incidencia en la deformación axial de miembros cortos en concreto fluido endurecido con canto rodado como agregado grueso, al estar sometido a tensiones axiales.
- Determinar los límites óptimos de dosificación agregados con base en desempeño reológico definido con ensayo de fluidez diametral
- Definir los límites óptimos de dosificación agregados con base en desempeño reológico definido con anillo japonés.
- Establecer los límites óptimos de dosificación agregados con base en desempeño reológico definido con caja en L.

I.4 Antecedentes

El estudio de este Trabajo de Grado, es una continuación de trabajos de investigación que han tenido lugar en la Universidad Católica Andrés Bello, que cuentan con el asesoramiento de un equipo de profesores y personal calificado en el Laboratorio de Tecnología del Concreto de la Escuela de Ingeniería Civil. Se tomaron como antecedentes algunos de esos estudios, ya que tienen relación con el desarrollo de este trabajo, y servirán de apoyo, pues los resultados que han sido obtenidos son de gran beneficio para el éxito de este tema:

ISABEL SABALA, GENESIS VALLES. (2017). *Influencia de la adición de arena sílice (0.07-0.30) mm en el comportamiento reológico de mezclas de concreto*. T.E.G Universidad Católica Andrés Bello

EL trabajo tuvo como objetivo evaluar la influencia de las adiciones de área sílice (0.07-0.30) mm en la reología del concreto autocompactable, medidos con base al diámetro de torta, al Anillo Japonés, la caja en L y registros del equipo S-LUMP. También se evaluó dicha influencia en el comportamiento mecánico del concreto fluido.

ANTHONY CÁRDENAS. (2016). *Caracterizar las propiedades reológicas del concreto fluido desarrollado con piedra picada y arena natural lavada*. T.E.G Universidad Católica Andrés Bello.

Este estudio tuvo como finalidad encontrar el diseño de mezcla ideal para un concreto autocompactable usando piedra picada y arena natural lavada. Donde se desarrollo en dos fases, la primera fue evaluar el comportamiento del concreto fluido en estado fresco para lo cual se hicieron uso de dos ensayos, el método de cono invertido que mide la fluidez del concreto y el ensayo del anillo japonés que además de medir la fluidez, también permite obtener la capacidad de paso del concreto. Y en la segunda fase del concreto, es decir, en estado endurecido se realizaron ensayos de compresión a distintas edades.

GUILARTE PEDRO, BRAYHANN REQUENA. (2017). *Caracterizar las propiedades reológicas del concreto fluido de resistencia controlada desarrollado con piedra picada y fino de origen silíceo*. T.E.G. Universidad Católica Andrés Bello.

Se logró evaluar y medir en estado fresco la capacidad de paso del concreto autocompactable, una vez que se fabrico la Caja en L y el anillo japonés; equipos que permiten simular el bloqueo que se puede presentar en una armadura. Los resultados se

compararon con las mediciones realizadas con el K-slump. Estos ensayos se realizaron al aumentar la cantidad de arena sílice en cada prueba.

En este estudio se realizaron ensayos de compresión a probetas cilíndricas a los 28 días de curado, para conocer la resistencia que presentaban las diferentes variaciones de arena sílice.

CARLOS SANABRIA, JOHN WRIGHT (2006). *Diseño y evaluación de mezclas de concreto autocompactante con agregados de la zona capital y aditivos físico-químicos.*

T.E.G Universidad Central de Venezuela

En este trabajo la mezcla se diseño mediante sus características reológicas, al ser estudiadas con los métodos existentes como: Caja en L, Caja en V, extensibilidad y utilización de aditivos físico-químicos, donde los resultados de dicho diseño se encontraron dentro de los parámetros establecidos .

I.5 Alcances y Limitaciones

Este estudio, es una investigación preliminar con objeto de definir tendencias para establecer lineamientos de próximos trabajo de grado, y está centrado en conocer el comportamiento mecánico del concreto fluido endurecido, al estar sometido a cargas axiales. Y se verá limitado por lo siguiente:

- Concreto fluido de resistencia 350 kgf/cm^2 ; usando canto rodado y piedra picada como agregado grueso

CAPITULO II

BASES TEORICAS

II.1 Fundamentos teóricos

II.1.1 Concreto autocompactable

Concreto que puede fluir por su propio peso y llenar completamente el encofrado, incluso en presencia de un armado denso, sin necesidad de ninguna vibración, al tiempo que mantiene la homogeneidad. (EFNARC, “Directrices Europeas para el Hormigón Autocompactante”, 2002)

Una mezcla de concreto se clasifica como autocompactable cuando cumple las siguientes propiedades: Capacidad de relleno, capacidad de paso y resistencia a la segregación entre el agregado grueso y mortero cuando fluye a través de la zona de confinamiento de las barras de refuerzo.

II.1. 2 Características fundamentales para definir un concreto autocompactable

- Elevada fluidez: el concreto autocompactable se caracteriza por una elevada fluidez hasta el punto que los métodos tradicionales de ensayo, como por ejemplo el Cono de Abrams, resulta obsoleto. Para obtener una alta fluidez se hace uso de aditivos reductores de agua de alto rango y no con la adición de agua extra de mezclado.
- Elevada resistencia a la segregación: la elevada fluidez no debe implicar segregación o sangrado. La mezcla debe mantener homogeneidad tanto de forma intrínseca como al someterse a la colocación en obra. La estabilidad o resistencia a la segregación de la mezcla de concreto en estado fresco se obtiene mediante el incremento de la cantidad total de finos en el concreto y/o mediante la utilización de aditivos que modifican la viscosidad de la mezcla.

➤ Adecuada viscosidad plástica: el concreto autocompactable debe fluir por la acción de su propio peso. Esto requiere ciertas características de formulación para que el concreto no se bloquee en su paso a través del acero de refuerzo, con un perfecto relleno y que fluya a través del armado.

Cada una de las características antes mencionadas, son posible determinar al realizar una serie de ensayos estandarizados, y de esta manera garantizar un concreto autocompactable.

➤ Flujo de asentamiento T50, cm: Este método de ensayo se basa en determinar el asentamiento; y consiste en llenar el Cono de Abrams con la mezcla de concreto, sin ningún tipo de compactación, sobre una placa de superficie lisa y perfectamente plana. Una vez que se levanta el cono, se deja fluir el concreto, se mide el tiempo que tarda la masa en alcanzar su diámetro final; el diámetro del círculo de concreto es una medida de la capacidad de relleno del concreto.

➤ Anillo japonés: El ensayo evalúa la capacidad de fluir del concreto y también la medida en la que está sujeto a bloqueos por parte del armado, en este ensayo se usa un anillo de 300 mm de diámetro, en el cual se disponen barras verticales de armadura de 100 o 120 mm de altura, con una apropiada separación entre ellas. Normalmente, se considera adecuado el uso de un espacio entre las barras igual o superior a tres veces el tamaño máximo del árido (EFNARC, “Directrices Europeas para el Hormigón Autocompactante”, 2002).

➤ Caja en L: El ensayo se emplea para determinar la capacidad de paso del concreto, este consiste en llenar el depósito y dejar fluir el concreto hacia el canal a través de las armaduras. Se determinan el tiempo que este tarda en llegar a una distancia de 200 mm (T20) y de 400 mm (T40), y las alturas H1 y H2 que se alcanzan en ambos extremos de la parte horizontal, con la mezcla ya en reposo. La razón H2/H1 se define como el coeficiente de bloqueo (CB). (EFNARC, “Directrices Europeas para el Hormigón Autocompactante”, 2002).

II.1.3 Comportamiento del concreto a Tensión- Deformación axial

Los valores de resistencia a compresión del concreto se obtiene al ensayar cilindros con una relación de altura a diámetro igual a dos (2). Estos cilindros se deben cargar

longitudinalmente a una tasa lenta de deformación para que puedan alcanzar su deformación máxima en 2 o 3 minutos.

Las curvas típicas tensión-deformación, se obtienen de ensayar los cilindros cargados a compresión uniaxial, donde dicha carga se reparte de manera uniforme en la sección transversal.

Estas curvas son casi lineales aproximadamente hasta la mitad de la resistencia de compresión. Los picos que se presentan suelen ser bastante pronunciados si el concreto es de alta resistencia, y casi planos si son concretos de baja resistencia. Las pruebas de Rusch han indicado que el perfil de la curva tensión-Deformación antes de la tensión máxima depende de la resistencia del concreto.

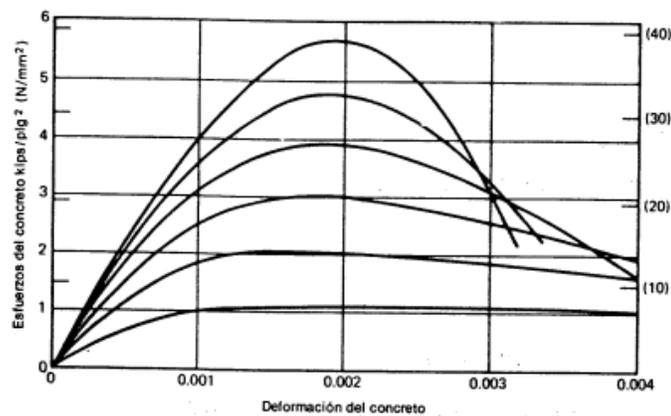


Figura 2.1 Curva esfuerzo- deformación para cilindros de concreto cargados a compresión uniaxial

Fuente: Park&Paulay, Estructuras de concreto reforzado, 1983

Las tensiones se obtienen de dividir la carga aplicada (P) entre el área respectiva de la sección transversal del prisma (A); estos son valores promedios que surgen bajo la hipótesis de que las deformaciones son uniformes y que las características de tensión-Deformación del concreto se mantienen constantes en toda la masa del cilindro.

La deformación en la tensión máxima que se presenta es cercana a 0.002, y si se supera este valor se presentarán grietas que son paralelas a la dirección de la carga, pero aun así el concreto se encuentra en la capacidad de transmitir tensiones.

El valor de la deformación unitaria, es la relación entre el acortamiento total (a) y la longitud de medición (l). (Óscar M. González Cuevas Francisco Robles Fernández-Villegas, “Aspectos fundamentales del concreto reforzado”, 2005)

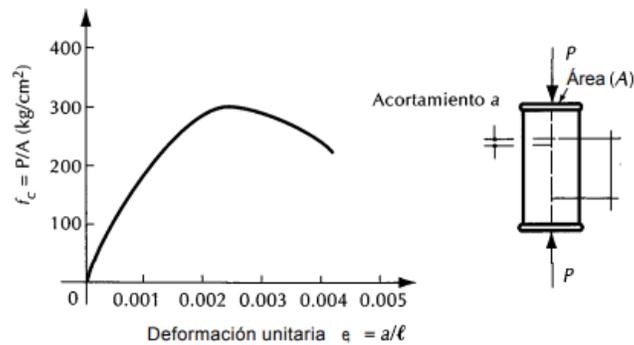


Figura 2.2 Curva esfuerzo- deformación en compresión axial de un espécimen sujeto a carga de corta duración

Fuente: Park&Paulay, Estructuras de concreto reforzado, 1983

CAPITULO III

MARCO METODOLOGICO

III.1 Naturaleza y tipo de investigación

La investigación que se desarrollo fue de tipo experimental, exploratoria y descriptiva, en la cual fueron ensayados miembros cortos de concreto sometidos a fuerzas de compresión, con el fin de evaluar las propiedades mecánicas que se presentaron en función de las variaciones en porcentaje del peso del agregado fino y grueso.

III.2 Población

La población estuvo conformada por un total de treinta (30) cilindros normalizados de dimensiones constantes, 15 cm de diámetro por 30 cm de altura.

III.3 Muestra

La muestra estuvo conformada por los treinta (30) cilindros, de los cuales quince (15) fueron realizados con piedra picada, mientras que los quince (15) restantes con canto rodado como agregado grueso. La dosis de aditivo, peso en cemento y volumen de agua se mantuvieron constantes; mientras que en ambos grupos se vario el porcentaje en peso de los agregados finos y gruesos, de la siguiente manera:

- 60% de agregado fino y 40% de agregado grueso.
- 65% de agregado fino y 35% de agregado grueso.
- 70% de agregado fino y 30% de agregado grueso.
- 75% de agregado fino y 25% de agregado grueso.
- 80% de agregado fino y 20% de agregado grueso.

Absorción %	2,73
Humedad %	0

Tabla 3.2 Propiedades piedra picada

Piedra picada	
Tamaño máximo	½"
Densidad específica	2,60
Densidad específica saturada con superficie seca (kgf/cm ³)	2,64
Absorción %	2,69
Humedad %	0

III.8.3 Características del agregado fino

Tabla 3.3 Propiedades agregado fino

Agregado fino	
Pasante tamiz Arena natural de Río	#4
Densidad específica	2,60
Densidad específica saturada con superficie seca (kgf/cm ³)	2,80
Absorción %	1,75
Humedad %	0

III.8.4 Aditivo

Aditivo super plastificante policarboxilado de alto desempeño, distribuido por TECNOCONCRET, que cumple las especificaciones de COVENIN 356. Tipos: A y F AASHTO M 194 ASTM C 494-91. Tipos: A y F

Tabla 3.4 Dosificación utilizada

Cemento (kg)	Agregado fino (kg)	Agregado grueso (kg)	Agua (ml)	Aditivo (ml)
565,90	1188,35	678,50	375	80

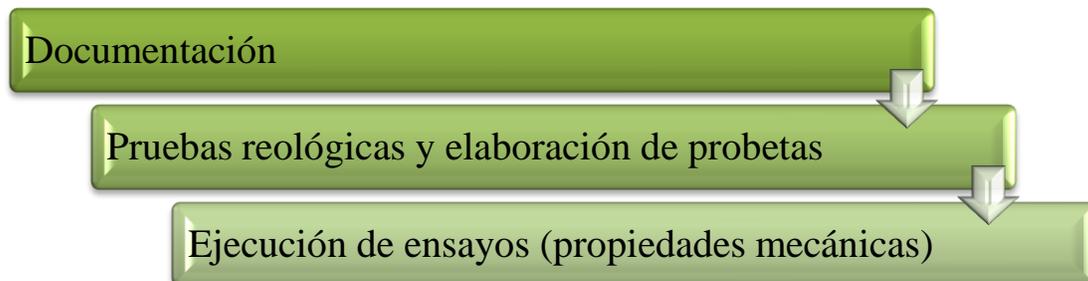
Las cantidades se encuentran expresadas por m³ de concreto

III.9 Diseño experimental

Para analizar los aportes, en términos de propiedades mecánicas del concreto autocompactable en miembros cortos, fue establecido un diseño experimental donde se pudo evaluar el comportamiento mecánico mediante gráficos Tensión – Deformación obtenidos luego de aplicar una carga monotónica creciente.

Para la fase inicial se recolectó la data de resistencias teóricas de los miembros cortos, mediante el ensayo a compresión de probetas cilíndricas normalizadas.

III.10 Fase de ejecución



III.10.1 Documentación

En esta fase se investigaron los estudios realizados con concreto fluido endurecido, con el propósito de poseer un conocimiento de las experiencias realizadas al usar este tipo de concreto en estado fresco.

De igual manera se profundizaron conocimientos referentes a las variables en estudio, así como fundamentos teóricos necesarios para usar este tipo de concreto.

Cada imagen, figura o tabla que ha sido desarrollada por los autores no se le colocará “Fuente propia”

III.10.2 Pruebas reológicas y elaboración de probetas

En primer lugar se hizo uso de la tolva y equipos como plancha, anillo japonés, caja en L y cono de Abrams pertenecientes al Laboratorio de Tecnología del Concreto de la Universidad Católica Andrés Bello, donde se realizaron mezclas de concreto fluido con diferentes proporciones de aditivo súper plastificante, usando piedra picada como agregado grueso para conocer la dosis óptima del mismo, y cumplir los parámetros de aceptación de un concreto autocompactable.

Los criterios de aceptación al desarrollar los ensayos para las pruebas reológicas son:

Tabla 3.5 Criterios de aceptación

Método	Unidad	Margen habitual de valores	
		Mínimo	Máximo
Flujo de asentamiento	s	2	5
	mm	650	800
Anillo japonés	mm	0	10
Caja en L	(h2/h1)	0,8	1

Conocida la dosis óptima de aditivo, se procedieron a realizar los ensayos de propiedades reológicas.

III.10.2.1 Ensayo Extensión del flujo

- Se verificó que la superficie de la base estuviera firme y perfectamente horizontal.
- Se humedeció con un paño, teniendo especial cuidado de no dejar un charco de agua en la base.
- El interior del cono se humedeció y colocó centrado sobre el círculo del diámetro de 200 mm.
- Se sujetó firmemente el cono (mediante los soportes de las base) y se vertió dentro de este la mezcla de concreto en forma continua y sin ningún tipo de compactación.
- Transcurrido un minuto se levantó verticalmente el cono, de forma cuidadosa y continua, permitiendo que la mezcla de concreto se extendiera sobre la base.
- Se midió el diámetro de extensión de la mezcla en dos sentidos y se registraron los datos.



Figura 3.1 Ensayo extensión de flujo

III.10.2.2 Ensayo Anillo japonés

- Se aseguró previamente que la superficie de la base estuviera horizontal
- Se debió humedecer con un paño la base cuidando de no dejar agua libre.

- Humedecido el interior del cono; se colocó sobre la plancha de manera que quedó concéntrico con el anillo.
- Se vertió la mezcla de concreto llenando el cono de forma continua y sin compactación alguna.
- Pasado 1 minuto, se levantó el cono en dirección de vertical y de forma continua (2 a 3 segundos), dejando que el concreto fluyera extendiéndose sobre la base y atravesando el anillo.
- Se procedió a medir las alturas h_1/h_2 interna y externa del anillo en cuatro puntos diferentes.
- Finalmente se midió el diámetro del concreto en dos sentidos



Figura 3.2 Ensayo anillo japonés

III.10.2.3 Ensayo Caja en L

- Se usaron 14 litros de concreto tomados de la mezcla para realizar el ensayo.
- Previamente se aseguró que la superficie plana de la caja estuviera dispuesta horizontalmente y que la compuerta deslizante de la misma pudiera moverse con libertad.
- Se aseguró que estuviera húmeda toda la caja y la compuerta deslizante.
- Se llenó la sección vertical de la caja con la mezcla de concreto hasta el tope.
- Se dejó reposar durante 1 minuto la mezcla en la pared horizontal.

- Se elevó la compuerta deslizante y se dejó que el concreto fluyera hacia la sección horizontal.
- Se registraron mediante videos los tiempos que requiere el concreto para alcanzar las marcas de 200 mm y de 400 mm.
- Una vez que la mezcla se estabilizó y dejó de fluir, se midieron las alturas al final e inicio de la pared horizontal.



Figura 3.3 Ensayo caja en L

III.10.2.4 Vaciado de probetas cilíndricas

Una vez finalizados los ensayos de pruebas reológicas se procedieron a usar los moldes de probetas cilíndricas pertenecientes al Laboratorio, los cuales requirieron una limpieza y recubrimiento interno con aceite para asegurar un desencofrado limpio.

Fueron vaciadas dos familias de miembros por día; previamente a dicha actividad se pesaban los materiales necesarios para asegurar un procedimiento sistemático y organizado.

Las probetas fueron sumergidas en cámaras de curado durante 21 días para asegurar condiciones de humedad y temperaturas óptimas.

III.10.5 Ejecución de ensayos (Propiedades mecánicas)

En esta etapa se verificó la verticalidad de los miembros y el paralelismo de las caras transversales para asegurar compresión axial pura, por lo que se refrendaron las caras de todos los cilindros.

Durante el ensayo a compresión axial se mantuvo la misma velocidad de aplicación de carga a lo largo de la ejecución de los ensayos, esto con el fin de no afectar el comportamiento de la gráfica Tensión – Deformación.

Adicionalmente se garantizó la verticalidad de los dispositivos de medición de axial, para asegurar un movimiento idéntico al acortamiento de los miembros.



Figura 3.4 Dispositivos de medición para ensayos a compresión

CAPITULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados presentados están referidos al promedio de los datos obtenidos de las tres (3) probetas cilíndricas ensayadas, para cada porcentaje de variación en peso de agregado grueso y agregado fino.

IV. 1 Comportamiento Tensión – Deformación Axial

IV. 1.1 Canto rodado

La figura 4.1 muestra las probetas con los diferentes porcentajes en peso de agregado fino y grueso de canto rodado, en ella se aprecia un comportamiento típico de probetas cilíndricas sometidas a tensiones de compresión, con un incremento en la deformación axial a medida que aumenta la carga aplicada, donde las curvas se comportan de forma casi lineal, debido a las grietas internas que se producen en el espécimen.

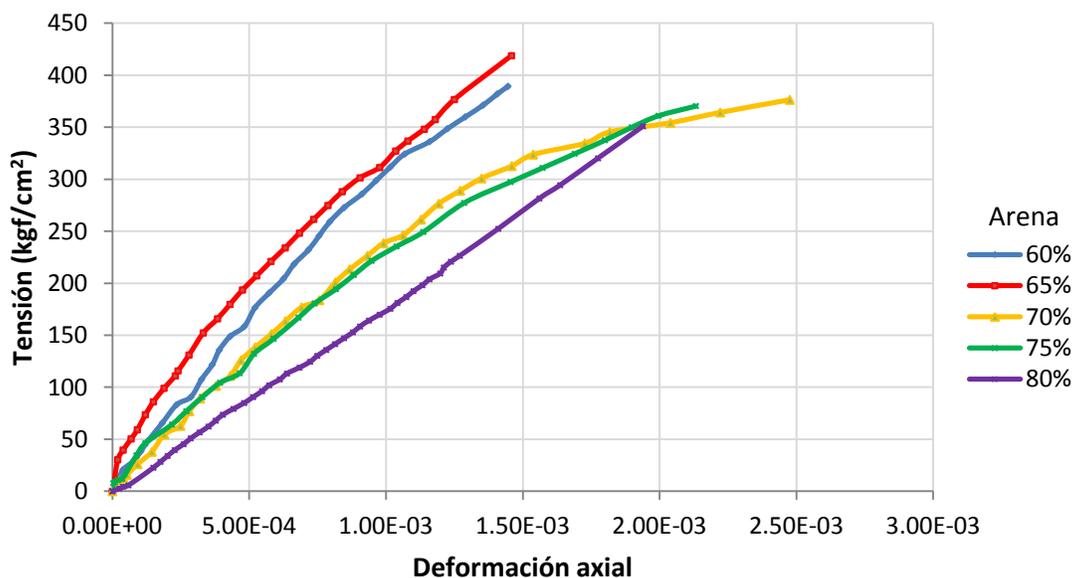


Figura 4.1 Gráfico Tensión- Deformación Axial (Canto Rodado)

La resistencia máxima en canto rodado, se determinó para una relación de arena del sesenta y cinco por ciento (65%), con un valor de 419 kgf/cm²

La pendiente de la recta tangente a estas curvas, representan el módulo de elasticidad del concreto; en la siguiente figura se observa el comportamiento de dicho módulo al cambiar los porcentajes de arena.

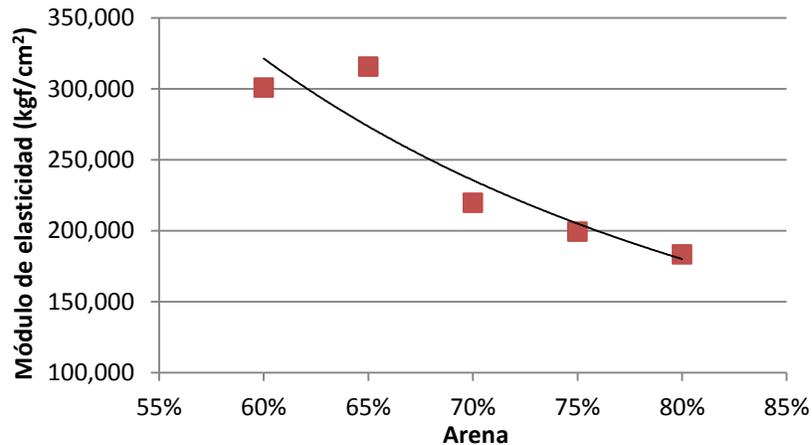


Figura 4.2 Gráfico Módulo de elasticidad - % Arena (Canto Rodado)

Se aprecia que a medida que aumenta el porcentaje de arena en la mezcla, disminuye el módulo de elasticidad, por lo que los miembros se hacen menos rígidos y poseen mayores deformaciones en el sentido de aplicación de la carga.

Tabla 4.1 Resumen variación en propiedades con respecto al porcentaje de arena

Arena	Tensión Máxima (kgf/cm ²)	Def. Máxima	Ec (kgf/cm ²)
60%	389	1,45E-03	301.100
65%	419	1,46E-03	315.860
70%	376	2,48E-03	219.840
75%	370	2,13E-03	199.490
80%	351	1,94E-03	183.440

IV. 1.2 Piedra picada

Al observar la figura 4.3 se puede conocer el comportamiento de la deformación axial en las probetas cilíndricas a medida que aumenta la carga aplicada para diferentes porcentajes

en peso de arena, al usar piedra picada como agregado grueso; se aprecia un comportamiento típico de probetas cilíndricas sometidas a tensiones de compresión. Donde la resistencia a compresión máxima se alcanza para una relación de arena del sesenta por ciento (60%), la cual se determinó en 430 kgf/cm^2

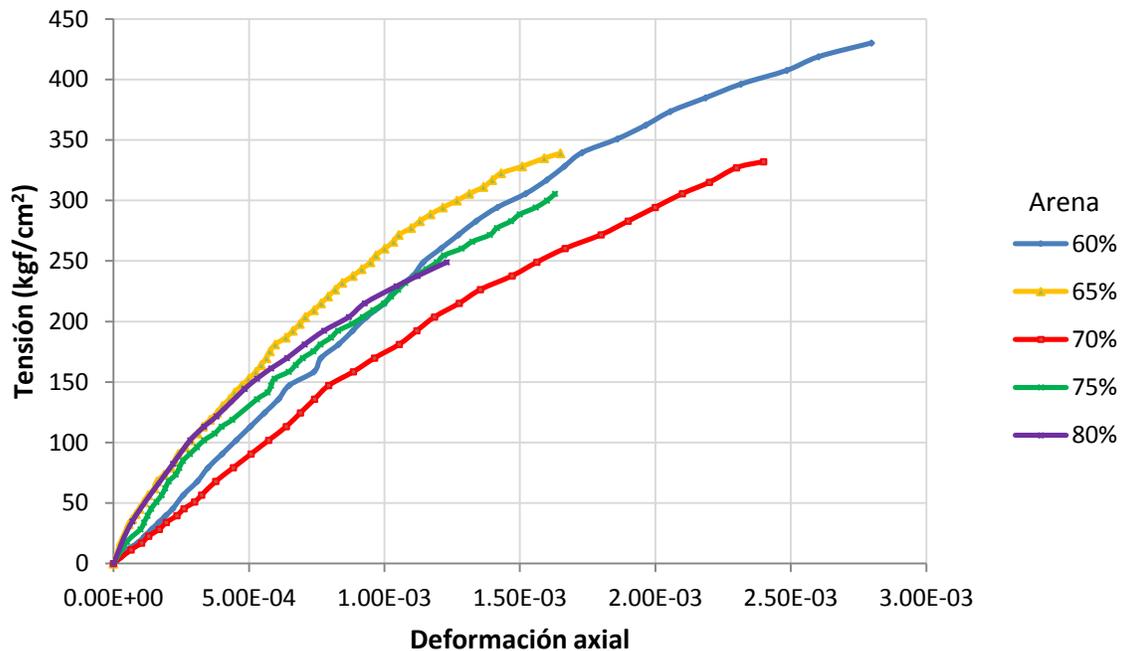


Figura 4.3 Gráfico Tensión- Deformación Axial (Piedra picada)

La figura 4.4 no refleja ningún aumento o disminución en el comportamiento del módulo de elasticidad, como en el canto rodado, cuando se varía el porcentaje de arena en la mezcla.

Se ha obtenido como máximo valor de módulo elasticidad 247.190 kgf/cm^2 , para un porcentaje de arena del sesenta y cinco por ciento (65%), lo que indica una mayor resistencia y menor capacidad de deformación axial con respecto a las demás variaciones en los porcentajes de arena.

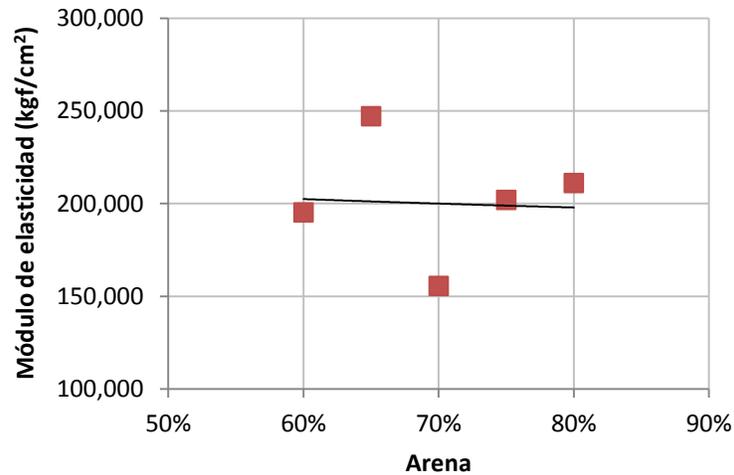


Figura 4.4 Gráfico Módulo de elasticidad - % Arena (Piedra picada)

La siguiente tabla permite apreciar los valores del módulo de elasticidad, para las diferentes proporciones de arena, así como la tensión y deformación máxima.

Tabla 4.2 Resumen variación en propiedades con respecto al porcentaje de arena

Arena	Tensión Máxima (kgf/cm ²)	Def. Máxima	Ec (kgf/cm ²)
60%	430	2,80E-03	195.330
65%	339	1,65E-03	247.190
70%	332	2,40E-03	155.680
75%	316	1,69E-03	202.070
80%	249	1,23E-03	211.180

En ambos casos, al hacer uso de piedra picada y canto rodado como agregado grueso se pudo observar en la ejecución de los ensayos a compresión y también a través de las graficas obtenidas, que al alcanzar la capacidad máxima de las probetas se produjo la falla, lo que indica un comportamiento típico de materiales frágiles. Mientras que las deformaciones axiales estuvieron en el orden del 2‰, valor asociado a la aparición de grietas paralelas a la dirección en que se realiza la aplicación de la carga.



Figura 4.5 Probeta ensayada

VI. 2 Límites óptimos de porcentaje de arena con base en las pruebas reológicas

VI.2.1 Extensión de flujo

Al observar la figura 4.6, se pueden conocer los porcentajes de arena que cumplen con los parámetros de aceptación del tiempo. Los valores que cumplen con este ensayo para ambos agregados gruesos (Canto rodado y piedra picada) se encuentran comprendidos entre sesenta (60%) y setenta (70%) por ciento de arena, mientras que para valores mayores a estos porcentajes la mezcla no cumplió los rangos establecidos para ser caracterizado como concreto autocompactable.

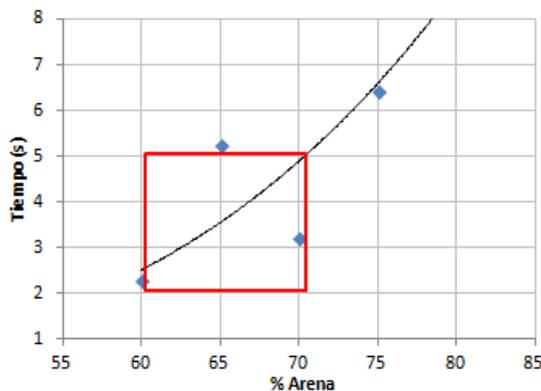


Figura 4.6.1 Canto rodado

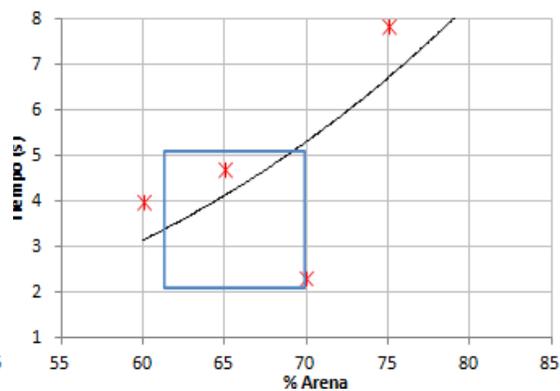


Figura 4.6.2 Piedra picada

Figura 4.6 Criterio de aceptación: % Arena- tiempo (s)

Las siguientes figuras nos permiten determinar los porcentajes de arena que cumplen con el diámetro establecido al realizar el ensayo de extensión de flujo; en ambos casos solo el ochenta por ciento (80%) de arena en la mezcla no cumplió con los criterios de aceptación para este ensayo; pues no posee la suficiente fluidez para alcanzar el diámetro mínimo requerido.

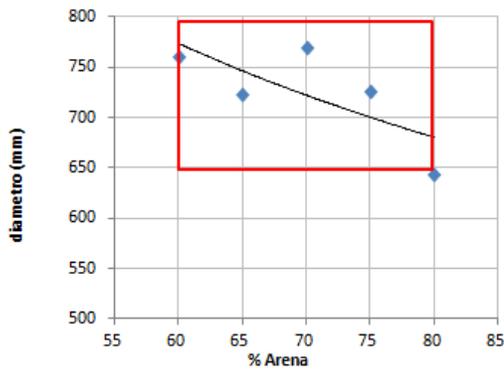


Figura 4.7.1 Canto rodado

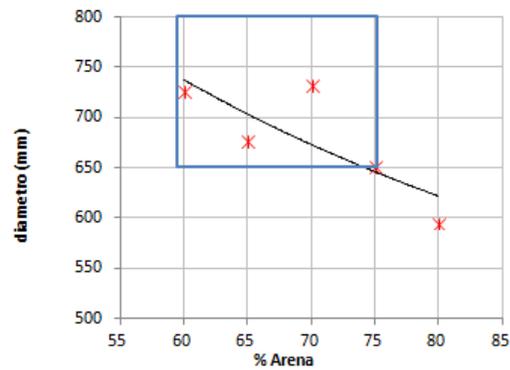


Figura 4.7.2 Piedra picada

Figura 4.7 Criterio de aceptación: % Arena- diámetro (mm)

VI.2.2 Anillo japonés

Al observar la figura 4.8.1 referida a la mezcla con canto rodado, solo la que posee un porcentaje de arena del ochenta por ciento (80%) no cumplió con el diferencial de altura requerido para este ensayo. Para ambas mezclas de agregado grueso (canto rodado y piedra picada), el rango del porcentaje de arena que cumplió los criterios de aceptación, estuvo comprendido entre sesenta (60%) y setenta y cinco por ciento (75%), lo cual se puede observar en las figuras.

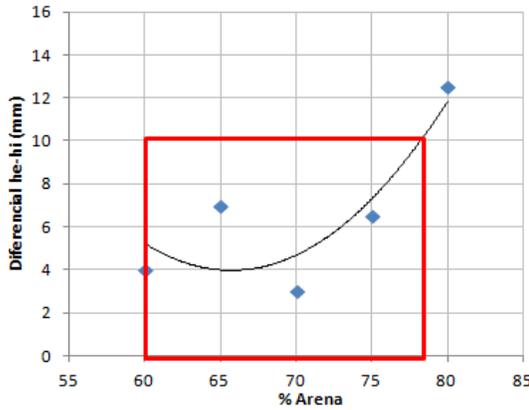


Figura 4.8.1 Canto rodado

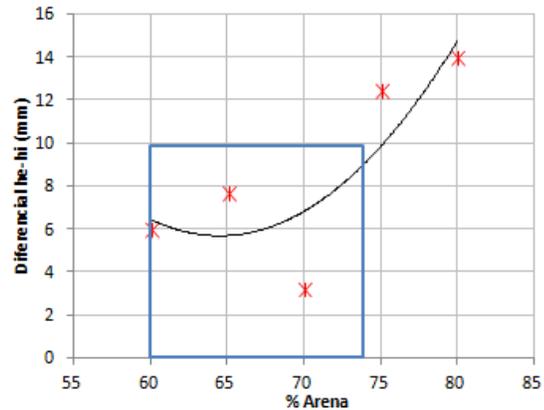


Figura 4.8.2 Piedra picada

Figura 4.8 Criterio de aceptación: % Arena- diferencial he-hi (mm)

VI.2.3 Caja en L

En la figura 4.9.1 se puede apreciar, que en la mezcla con canto rodado los miembros con un ochenta por ciento (80%) de arena no cumplen con la relación de bloqueo. De igual forma sucede con la piedra picada, por lo que para ambos tipos de agregado grueso, el rango en porcentaje de arena que estuvo dentro de los valores límites para garantizar que la mezcla de concreto tenga buena fluidez, fue del sesenta (60%) al setenta y cinco por ciento (75%).

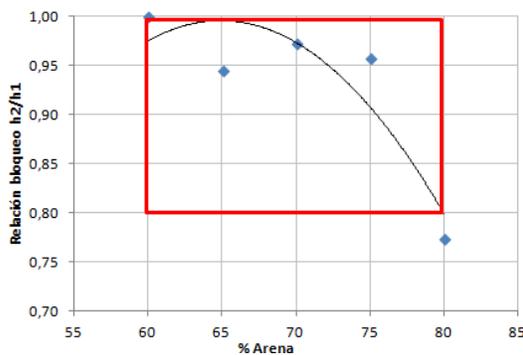


Figura 4.9.1 Canto rodado

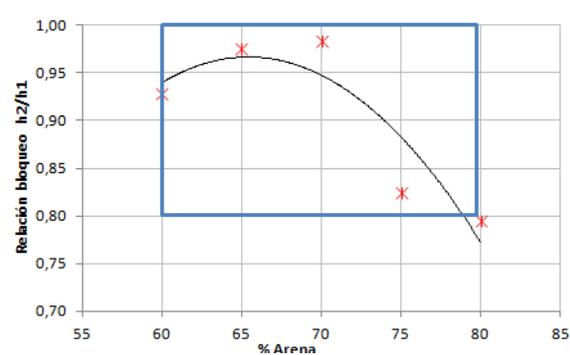


Figura 4.9.2 Piedra picada

Figura 4.9 Criterio de aceptación: % Arena- Relación bloqueo

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

V.1 Conclusiones

Los estudios realizados permitieron definir la incidencia en el comportamiento mecánico de los miembros cortos de concreto fluido al estar sujetos a tensiones de compresión axial, cuando se hace uso de piedra picada y canto rodado para diferentes proporciones de agregado fino.

A medida que aumenta el porcentaje de arena en la mezcla, las resistencias a compresión disminuyen, tendencia que se evidencia en la siguiente figura, al hacer uso tanto de canto rodado y piedra picada como agregado grueso. Las probetas cilíndricas con un porcentaje en arena del sesenta por ciento (60%) con piedra picada, alcanzaron el mayor valor de resistencia a compresión, siendo igual a 430 kgf/cm².

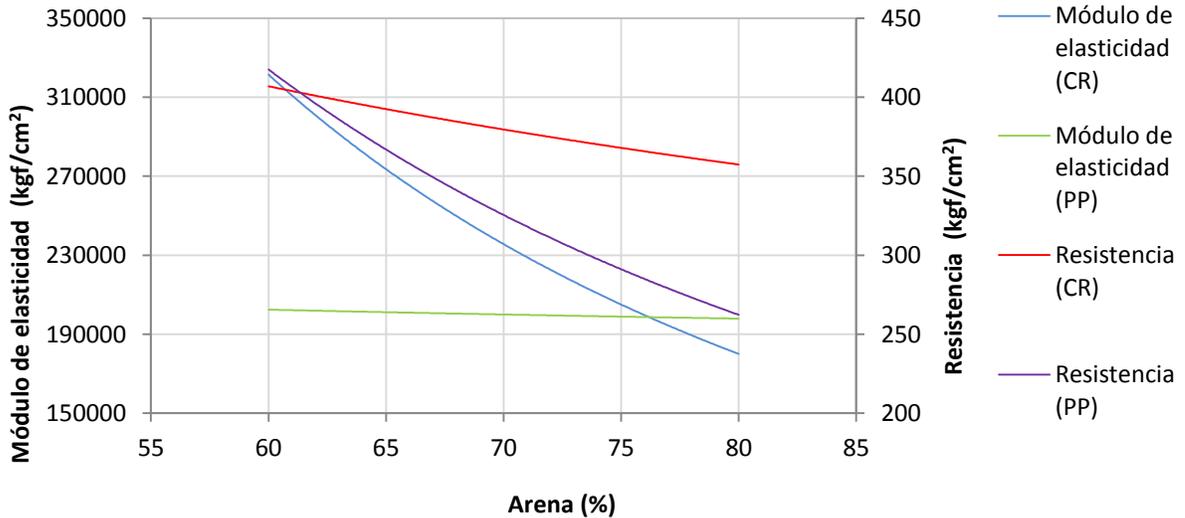


Figura 5.1 Canto rodado (CR) y Piedra picada (PP):

Resistencia-Módulo de elasticidad-%Arena

En la figura también se observa, que el módulo de elasticidad disminuye a medida que el porcentaje de arena aumenta, siendo evidente este comportamiento al usar canto rodado, mientras que para las probetas ensayadas con piedra picada no se logró observar este mismo comportamiento.

Con los criterios mínimos y máximos de aceptación establecidos para las pruebas de ensayos reológicos realizados, fue posible definir los límites en porcentaje de arena que son aceptables para caracterizar un concreto como fluido. Por lo cual, la mezcla de concreto autocompactable con un porcentaje de arena óptimo, esta comprendió entre el setenta (60) y setenta (70) por ciento, ya que cumplen con el tiempo y diámetro de torta requerido para los parámetros de extensión de flujo.

En el anillo japonés los límites de agregado fino para lograr obtener una capacidad de paso aceptable, se definió entre el sesenta (60%) y setenta y cinco por ciento (75%).

Al realizar la prueba en base a la caja en L, se establecieron como límites óptimos, el sesenta (60%) y setenta y cinco por ciento (75%) de agregado fino.

Las pruebas reológicas realizadas indican que en promedio hacer uso de un porcentaje de arena mayor al setenta por ciento (70%), cuando se realizar una mezcla de concreto fluido con piedra picada o canto rodado, no garantiza que la misma sea fluida.

V.2 Recomendaciones

Si se desean alcanzar mayores resistencias es recomendable realizar mezcla de concreto fluido con bajos porcentajes de arena.

Al usar este tipo de concreto en obra se debe evaluar que la mezcla no presente segregación o sangrado, siendo posible observar esta característica con solo realizar la prueba de extensión de flujo.

Para obtener un concreto fluido trabajar entre un porcentaje del sesenta (60%) y setenta por ciento (70%) de agregado fino, cuando se usa canto rodado y piedra picada en la mezcla, por lo que se recomiendan realizar pruebas mezclando ambos agregados.

Se recomienda realizar estos estudios variando la dosis de aditivo, manteniendo constante el porcentaje de agregados finos y gruesos antes mencionados.

Desarrollar nuevas investigaciones entre los límites de agregado finos y gruesos recomendados, variando la dosis de cemento.

Con los límites óptimos de arena obtenidos, realizar estudios donde se haga uso de ensayos reológicos que evalúen la resistencia a la segregación.

Estudios con miembros de mayores dimensiones, donde sea considerado el efecto de esbeltez.

Según las experiencias, para estudios futuros, debe tenerse máximo cuidado y precisión al momento de realizar ensayos reológicos, pues estos son determinantes para garantizar que las probetas cilíndricas aporten una data de información confiable en el comportamiento mecánico.

BIBLIOGRAFÍA

Park, R. & Paulay, T. *Estructuras de Concreto Reforzado*. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Canterbury. Editorial Limusa. México, 1983.

Adam M. Neville. *Tecnología del concreto*. Instituto Mexicano del cemento y del concreto, A.C. México, 2013.

González, O; Cuevas, F; Robles Fernández-Villegas, *Aspectos fundamentales del concreto reforzado*, 2005

EFNARC, *Directrices Europeas para el Hormigón Autocompactante*, 2006

Porrero, J.; Ramos, C.; Grases, J. & Velazco, G. *Manual del Concreto Estructural*. 2da Edición. Caracas, 2008

National Ready Mixed Concrete Association. *Información técnica: CIP-37 concreto autocompactante (CAC)*, 2006

ANEXOS

En las siguientes figuras, se puede apreciar cómo es el comportamiento Tensión-Deformación axial, de los cilindros que se han realizado con el mismo porcentaje en peso de arena, para un concreto con canto rodado y otro con piedra picada.

Cuando una curva de tensión- Deformación presenta mayor inclinación hacia la parte izquierda de un grafico, su módulo de elasticidad es mayor y sus deformaciones más pequeñas; características que nos permiten definir un concreto más resistente, es decir, que a medida que la carga aplicada aumenta, las deformaciones crecen en menor proporción; siendo visible este comportamiento en las siguientes figuras.

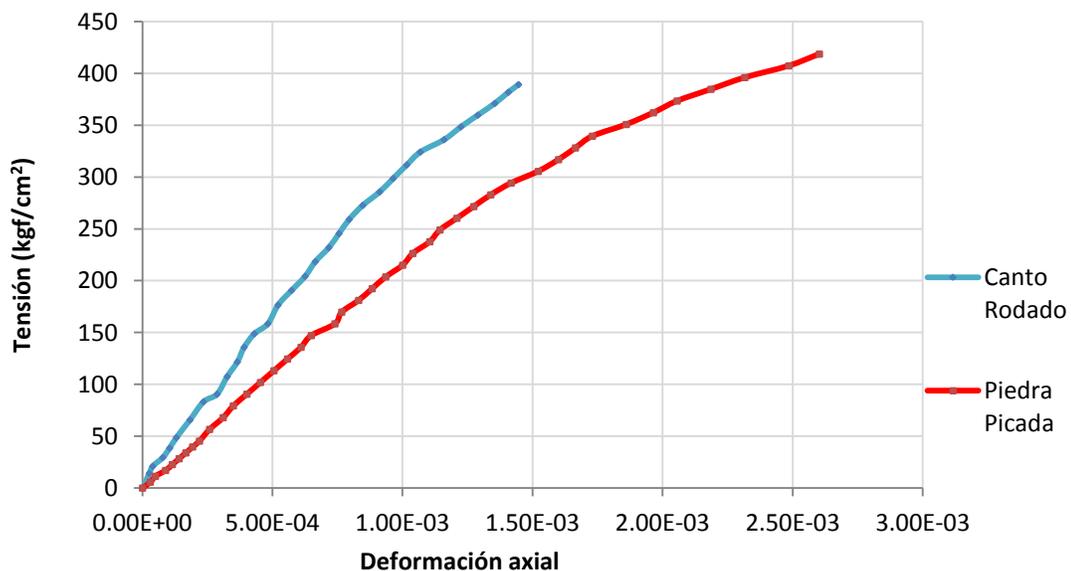


Figura A.1 Tensión- Deformación axial (60% Arena)

Al analizar la figura A.1, se puede apreciar que la curva perteneciente al canto rodado para un mismo porcentaje de arena con respecto a la piedra picada, poseen un mayor módulo de elasticidad y menores deformaciones axiales; por lo que los cilindros realizados

con piedra picada presentan menos rigidez, ya que su capacidad de deformación es mayor a medida que se incrementa la carga.

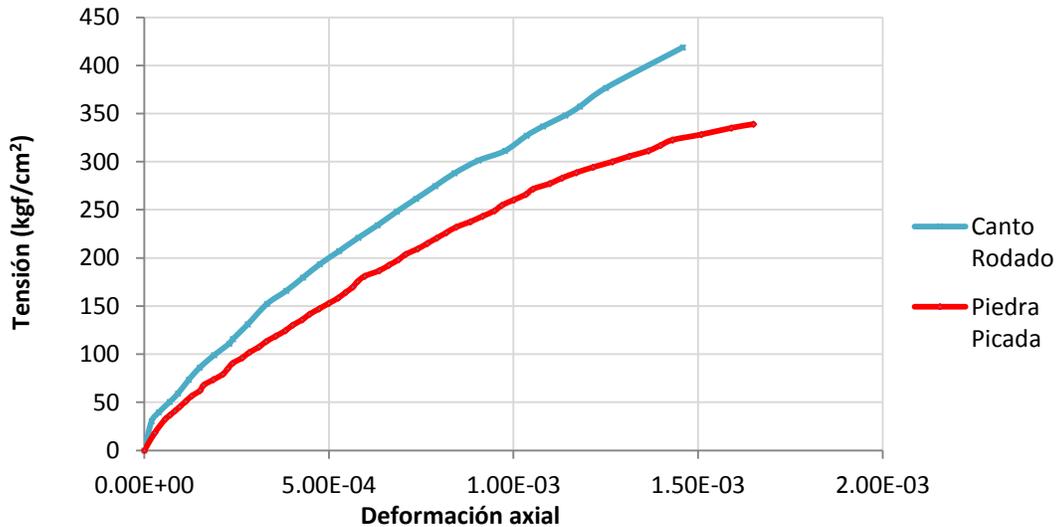


Figura A.2 Tensión- Deformación axial (65% Arena)

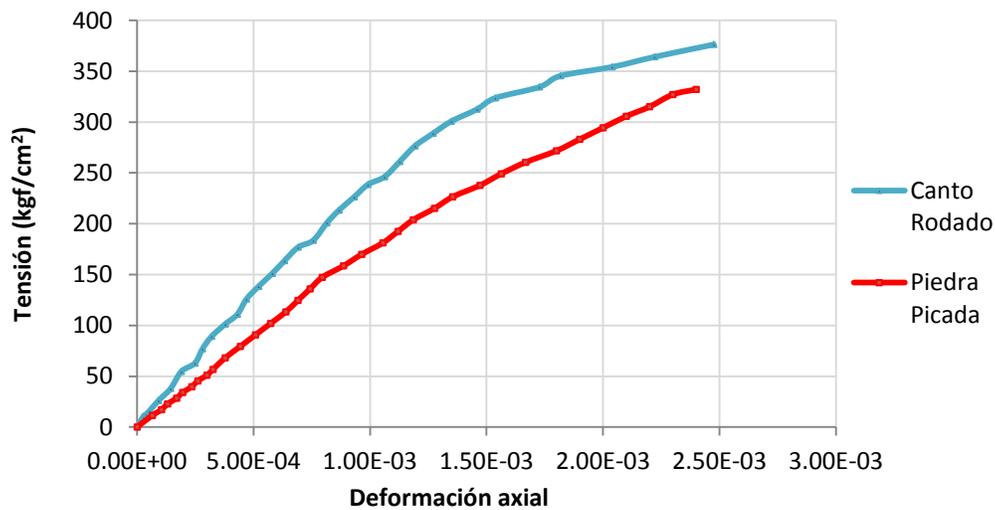


Figura A.3 Tensión- Deformación axial (70% Arena)

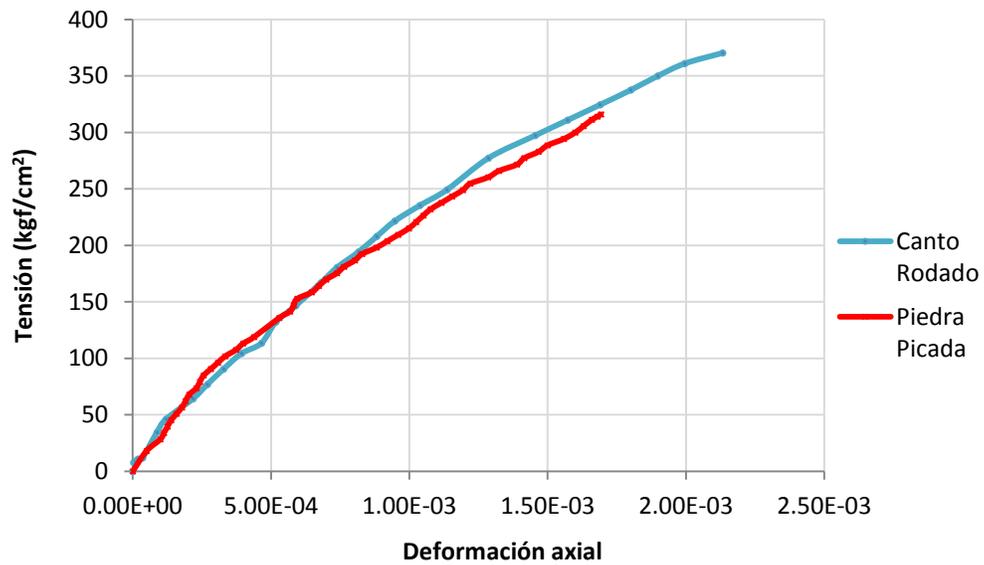


Figura A.4 Tensión- Deformación axial (75% Arena)

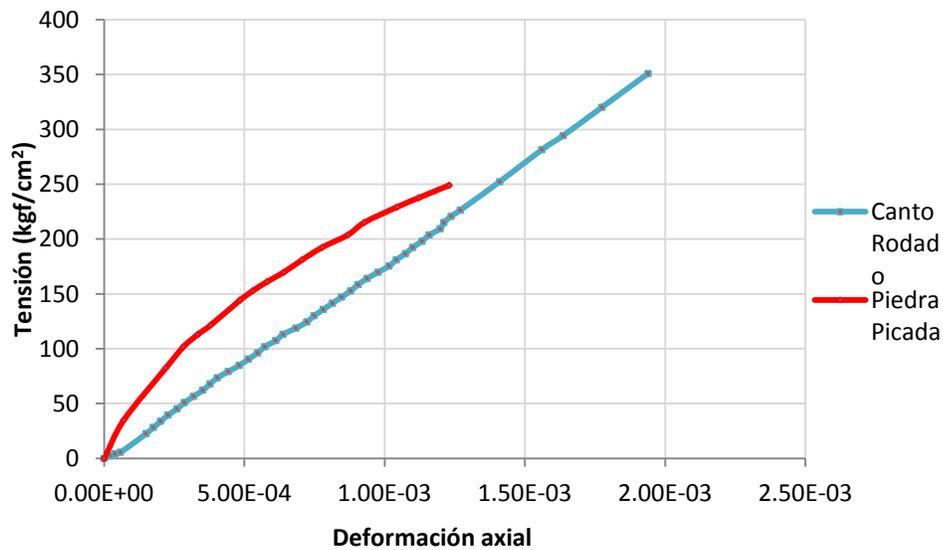


Figura A.5 Tensión- Deformación axial (80% Arena)