



**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DEL CONCRETO
FLUIDO CON CANTO RODADO**

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

GUSTAVO RAMOS

YMAR YANCEL

PROFESOR GUÍA

MSc. Ing. GUILLERMO BONILLA

FECHA

Caracas, Septiembre de 2019



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DEL
CONCRETO FLUIDO CON CANTO RODADO**

Este jurado, una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su
contenido con el resultado: veinte (20) Puntos

JURADO EXAMINADOR

Nombre:

Nombre:

Nombre:

Firma:

Firma:

Firma:

REALIZADO POR

Br. Gustavo Ramos

Br. Ymar Yancel

PROFESOR GUIA

MSc. Ing. Guillermo Bonilla



FECHA

Caracas, Septiembre de 2019

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Católica Andrés Bello, por el conocimiento impartido en todos estos años.

A nuestros familiares que son los pilares fundamentales en nuestras vidas, por apoyarnos en cada una de nuestras decisiones.

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

A nuestros amigos y a todos aquellos que fueron un apoyo en cada momento de nuestra carrera universitaria.

SINOPSIS

Este Trabajo de Grado es parte de una línea de investigación desarrollada por el Laboratorio de Tecnología del Concreto de la Universidad Católica Andrés Bello relativa a concretos fluidos o autocompactantes, en este caso, enfocada en la caracterización de las propiedades reológicas de este tipo de concreto al usar como agregado grueso canto rodado.

El estudio del concreto autocompactante comienza su desarrollo por el profesor Hajime Okamura en la universidad de Tokio en la década de los años 80, este da pie de inicio a la introducción al mercado de este material. Según Master Builders, Cleveland, U.S.A. 2006, hoy en día el 40 % de la industria del concreto prefabricado lo utiliza a diario.

Las ventajas del concreto autocompactante son variadas al ser ideal cuando se tienen armaduras congestionadas de acero, ya que el colado del material se simplifica garantizando una excelente adherencia al refuerzo, disminuyendo los tiempos de ejecución y la cantidad de personal. También es usado cuando se tienen encofrados complejos, espesores muy pequeños, alturas de vaciado grandes y las especificaciones indican acabados lisos y libres de agujeros, por su capacidad de fluir y rellenar rápidamente cada espacio libre sin tener una segregación significativa.

La caracterización de las propiedades reológicas del concreto autocompactable en estado fresco fue desarrollado con base a la variación de la relación de gruesos (Canto Rodado) con agregados finos (arena lavada) y se hizo uso de tres (3) equipos contemplados en normas internacionales (Anillo Japonés, Extensión de Flujo y Caja en L). Posteriormente con el concreto en estado endurecido se procedió ensayar las muestras para conocer sus resistencias al someterlas a compresión axial.

Finalmente fueron obtenidas curvas y parámetros que permitieron determinar la dosificación óptima de agregados grueso y fino para una mezcla de concreto autocompactante de alto desempeño y resistencia.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	i
SINOPSIS.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
I.1 Planteamiento del problema.....	1
I.2 Antecedentes.....	2
I.3 Objetivos de la investigación.....	3
I.4.1 Objetivo general.....	3
I.4.2 Objetivos Específicos.....	3
I.3 Alcance y limitaciones.....	4

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO.....	5
II.1 Concreto Autocompactante.....	5
II.2 Reología del Concreto.....	5
II.3 Concreto en estado fresco.....	6

II.3.1 Características del concreto en estado fresco	6
II.3.1.1 Fluidéz del concreto.....	6
II.3.1.2 Trabajabilidad.....	7
II.3.1.3 Consistencia.....	7
II.3.1.4 Compactibilidad.....	7
II.3.1.5 Segregación.....	8
II.4 Requisitos que debe mantener el concreto autocompactante según la EFNARC 2002.....	8
II.4.1 Capacidad de paso (fluidéz limitada).....	8
II.4.2 Capacidad de relleno (fluidéz no limitada).....	8
II.4.3 Estabilidad a la segregación.....	8
II.4.4 Tiempo abierto.....	9
II.5 Ensayos para el estudio del comportamiento reológico del concreto autocompactante.....	9
II.5.1 Ensayo de extensión de flujo.....	9
II.5.2 Ensayo de anillo Japonés.....	10
II.5.3 Ensayo de Caja en L.....	11
 CAPÍTULO III	
MARCO METODOLÓGICO.....	13
III.1 Naturaleza de la investigación.....	13
III.2 Población y muestra.....	13

III.3 Recolección de datos.....	14
III.4 Equipos de aplicación de carga.....	14
III.5 Accesorios empleados.....	14
III.6 Variables estudiadas.....	14
III.6.1 Variables independientes.....	14
III.6.2 Variables dependientes.....	15
III.6.3 Constantes.....	15
III.7 Propiedades y características de agregados.....	16
III.7.1 Propiedades y características del agregado grueso (Grupo N°1).....	16
III.7.2 1 Propiedades y características del agregado grueso (Grupo N°2).....	16
III.7.3 1 Propiedades y características del agregado fino.....	16
III.7.4 Cemento.....	17
III.7.5 Aditivo.....	17
III.8 Dosificaciones aplicadas.....	17
III.9 Fases de Ejecución.....	18
III.9.1 Elaboración de equipos.....	19
III. 9.1.1 Elaboración de caja QA.....	19
III. 9.2 Características de los equipos.....	20
III. 9.3 Preparación de mezclas y realización de ensayos en estado fresco.....	21
III. 9.4 Realización de ensayos.....	22

III. 9.4.1 Ensayo de extensión de flujo.....	22
III. 9.4.2 Ensayo de anillo J.....	23
III. 9.4.3 Ensayo de Caja en L.....	24
III. 9.4.4 Caja QA.....	25
III. 9.5 Vaciado de probetas cilíndricas.....	26
III.9.6 Ensayo de compresión axial de las probetas cilíndricas en estado endurecido.....	26
 CAPÍTULO IV	
RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	28
IV.1 Comportamiento reológico del concreto fluido.....	28
IV.1.1 Extensión de flujo.....	28
IV.1.2 Anillo japonés.....	30
IV.1.3 Caja en L.....	31
IV.1.4 Relación entre Extensión de flujo y Anillo Japonés.....	33
IV.1.5 Relación entre Extensión de flujo y Caja QA.....	34
IV.1.6 Influencia de la relación β en la tensión máxima del concreto en estado endurecido y la relación agua/cemento (α).....	34
IV.1.7 Observaciones de las mezclas.....	36
 CAPÍTULO V	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	38
.V.1 Conclusiones.....	38
V.2 Recomendaciones.....	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura II-1: Clasificación reológica de los fluidos.....	6
Figura III-1: Fases de ejecución.....	18
Figura III-2: Equipo de ensayo Caja QA	19
Figura III-3: Equipo de ensayo de Extensión de Flujo.	20
Figura III-4: Equipo de ensayo anillo japonés.....	20
Figura III-5: Equipo de ensayo Caja en L.....	21
Figura III-6: Ensayo extensión de flujo.....	23
Figura III-7: Ensayo Anillo Japonés.....	24
Figura III-8: Ensayo Caja en L	25
Figura III-9: Ensayo de prototipo de Caja QA.....	26
Figura III-10: Ensayo de compresión axial.....	27
Figura IV-1: Tiempo T50 vs Relación β	28
Figura IV-2: Diámetro vs Relación β	29
Figura IV-3: Diferencia h_E-h_I vs Relación β	30
Figura IV-4: H_2/H_1 vs Relación β	31
Figura IV-5: Tiempo vs Relación β	32
Figura IV-6: Anillo J y Extensión de Flujo, Diámetro vs Relación β	33
Figura IV-7: Anillo J y Extensión de Flujo, Diámetro vs Relación β	33
Figura IV-8: Relación entre extensión de flujo y Caja QA.....	34

Figura IV-9: Resistencia vs Relación β vs Relación α , (CR).....	35
Figura IV-10: Resistencia vs Relación β vs Relación α , (PP).....	36
Figura V-1: Resistencia vs Relación β	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla III-1: Identificación de las muestras estudiadas.....	11
Tabla III-2: Características del Canto Rodado.....	13
Tabla III-3: Características de la Piedra Picada.....	14
Tabla III-4: Características de la Arena.....	14
Tabla III-5: Diseño de mezcla.....	16
Tabla III-6: Dosificación utilizada	16
Tabla III-7: Criterios de aceptación.....	21
Tabla III-8: Observaciones de la mezcla.....	37

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

II.1 Planteamiento del problema

El concreto autocompactante es un material que puede ser colocado sin la aplicación de métodos de compactación, lo cual permite no depender de equipos de vibrado, disminuyendo la incertidumbre provocada por esta actividad. En Venezuela esta práctica no es muy común, por lo que constantemente se alteran las propiedades para la cual fue diseñada la mezcla de concreto.

La obtención de un concreto autocompactante requiere de un estudio detallado de cada caso en particular, para ello se necesita analizar los miembros a diseñar y los materiales disponible. Actualmente en el país no existe formulación que defina el comportamiento de las propiedades reológicas del concreto autocompactante, es por esto que se estudiarán las propiedades reológicas de este tipo de concreto donde el agregado grueso sea el canto rodado.

I.2 Antecedentes

La Universidad Católica Andrés Bello ha venido desarrollando trabajos de grado relacionados con concreto autocompactante, variando en la estructura de mezcla los agregados utilizados, por tal motivo se tomaron como antecedentes dichos trabajos que servirán de apoyo, ya que los resultados obtenidos en esos estudios tienen relación con el desarrollo del siguiente proyecto investigación.

- 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 trabajo tuvo como finalidad caracterizar las propiedades reológicas del concreto fluido desarrollado con piedra picada y arena natural lavada. El desarrollo consistió en la realización de ensayos en dos etapas, la primera evaluando el concreto autocompactante en estado fresco mediante el ensayo de cono invertido y el ensayo del anillo Japonés. Y en la segunda etapa se evaluó la resistencia del concreto autocompactante en estado endurecido mediante ensayo de compresión axial.

- 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.

Tuvo como finalidad evaluar las propiedades reológicas del concreto autocompactante desarrollado con piedra picada y agregado fino de origen silíceo. El trabajo se llevó a cabo en dos etapas en la cual la primera corresponde a la evaluación del concreto en estado fresco, donde se tuvo que fabricar los equipos necesarios (Caja en L y Anillo Japonés). Luego en la segunda etapa se evaluó el concreto en estado endurecido por medio del ensayo de compresión axial en probetas cilíndricas de 30cm de altura y 15cm de diámetro a los 28 días de curado.

- ISABEL ZABALA, 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 este estudio está enfocado principalmente en cómo influye la adición de arena silícea en las propiedades reológicas y mecánicas del concreto autocompactante (CAC). Esto se puede conseguir haciendo ensayos de CAC en estado fresco (Anillo Japonés, Caja en L y Extensión de Flujo) y midiendo las resistencias de las mezclas al hacer ensayos en estado endurecidos (Ensayos de compresión axial).

-
- IRVING SILVA, LILIANA CARREÑO. (2019). *Evaluación del comportamiento mecánico de miembros cortos en concreto fluido endurecido, al estar sometido a cargas axiales*. T.E.G Universidad Católica Andrés Bello

Este estudio se concentró en el comportamiento mecánico del concreto autocompactante en miembros cortos una vez que es sometido a cargas axiales, donde dichos miembros tuvieron como agregado grueso piedra picada y canto rodado, siendo estas dos variables el distintivo entre dos familias. Finalmente se desarrolla este trabajo en el estudio de la influencia de la variación de la proporción en peso del agregado grueso.

I.3 Objetivos de la investigación

I.4.1 Objetivo general.

Caracterizar las propiedades reológicas del concreto autocompactante desarrollado con canto rodado.

I.4.2 Objetivos Específicos

- Analizar la incidencia del contenido de canto rodado en el lapso de fluidez de concreto autocompactante determinado mediante caja tipo L.
- Evaluar la incidencia del contenido de canto rodado en la fluidez del concreto autocompactante determinado mediante anillo Japonés.
- Analizar la incidencia del contenido de canto rodado en el comportamiento de la extensión del flujo radial en el concreto autocompactante, determinado mediante el cono invertido.
- Establecer los límites óptimos de dosificación de canto rodado con base al desempeño reológico de concreto autocompactante.

I.4 Alcances y Limitaciones

Referido a concreto autocompactante con agregado grueso de canto rodado. Su alcance está enmarcado en la influencia de la variación de canto rodado en las propiedades reológicas a través de ensayos de extensión de flujo, anillo Japonés y caja en L para resistencia característica promedio $F_{cr} = 350 \text{ kgf/cm}^2$.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

II.1 Concreto Autocompactante

“Es un 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, 2002).

Como consecuencia del párrafo anterior, “podemos definir la autocompactabilidad como la propiedad que presentan algunos concretos de consistencia fluida y viscosa de compactarse sin necesidad de aportación de energía (vibración), rellenando los encofrados y discurriendo entre las armaduras sin que se produzca sangrado de la lechada ni bloqueo del agregado grueso” (Burón M., Fernández J. y Garrido L., 2006).

“Los tres componentes principales del autocompactante incluyen una mezcla de concreto apropiadamente proporcionada diseñada para la aplicación, un reductor de agua sintético de alto rango o superfluidificador también llamado superplastificante, y a veces un aditivo modificador de la viscosidad. Las cantidades de cada componente pueden variar para el logro de un amplio rango de resultados” (Nasvik J., 2006).

II.2 Reología del concreto

En la práctica, se define la reología del concreto con base en tres características: Fluidéz, Compactibilidad y Estabilidad a la segregación. “Bajo el término reología del concreto se agrupa el conjunto de características de la mezcla fresca que posibilitan su manejo y posterior compactación. Desde el punto de vista físico, estas características dependen de las variaciones de la viscosidad y de la tixotropía de la mezcla a lo largo del tiempo.” (Porrero S., J., Ramos R., C., Grases G., J., & Velazco, G. J. 2003).

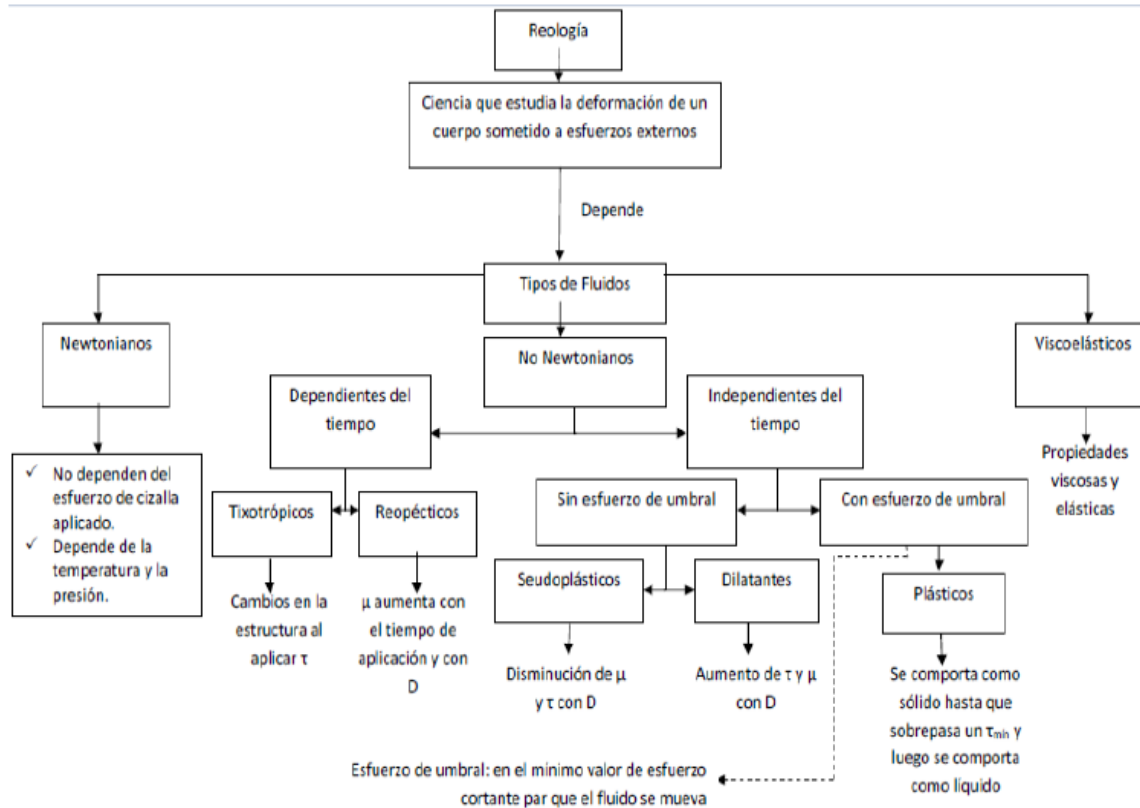


Figura II-1: Clasificación reológica de los fluidos
Fuente: (Moncayo R., 2009)

II.3 Concreto en estado fresco

Es el estado inicial que se forma al realizar una mezcla de arena, piedra, cemento y agua. Se encuentra en estado plástico por lo que facilita su trabajabilidad para su posterior colocación y compactación.

II.3.1 Características del concreto en estado fresco

II.3.1.1 Fluidéz del concreto

La fluidez describe la calidad del fluido o viscosidad que indica el grado de movilidad que puede tener la mezcla. “En un sentido general, la palabra "trabajabilidad" también se emplea con el significado de fluidez. Consistencia es la condición de "tieso" y se puede considerar

el antónimo de fluidez.” (Porrero S., J., Ramos R., C., Grases G., J., & Velazco, G. J. 2003).

II.3.1.2 Trabajabilidad

La trabajabilidad se emplea con dos acepciones distintas. Una, general, con la cual se designa el conjunto de propiedades del concreto que permiten manejarlo sin que se produzca segregación, colocarlo en los moldes y compactarlo adecuadamente. La otra aceptación es específica para designar la consistencia medida como el asentamiento medido por el procedimiento normalizado por el Cono Abrams. Esta segunda aceptación es discutible porque, en realidad, el ensayo es solo parcialmente representativo del conjunto de propiedades referidas. (Porrero S., J., Ramos R., C., Grases G., J., & Velazco, G. J. 2003).

II.3.1.3 Consistencia

En el uso común esta palabra se refiere a la firmeza de forma de una sustancia o la facilidad con la cual fluiría. En el caso del concreto, la consistencia se utiliza para significar el grado de humedad; dentro de ciertos límites, los concretos húmedos son más trabajables que los secos, pero los concretos de la misma consistencia pueden variar en trabajabilidad. (Nevill A., 1995).

II.3.1.4 Compactabilidad

En el concreto la compactabilidad está definida por capacidad que posee la mezcla de llenar todos los espacios y sinuosidades de un encofrado dependiendo de la tixotropía del mismo. Esta es una “propiedad física que permite fluir al aplicar esfuerzos cortantes y mantener estabilidad cuando se encuentre en reposo” (Porrero S., J., Ramos R., C., Grases G., J., & Velazco, G. J. 2003).

II.3.1.5 Segregación

Es la separación de los componentes de una mezcla heterogénea, por lo que la distribución de sus agregados deja de ser uniforme. “En el caso del concreto, las diferencias en el tamaño de las partículas y en el peso específico de los constituyentes de la mezcla son las causas primarias de la segregación, pero su efecto puede controlarse con la selección de una granulometría adecuada y con el cuidado en el manejo de la mezcla” (Nevill A., 1995)

II.4 Requisitos que debe mantener el concreto autocompactante según la EFNARC 2002.

El concreto autocompactante se diferencia del concreto convencional por sus propiedades en estado fresco, ya que estas definen si el mismo puede o no ser colocado de forma satisfactoria. La fluidez y la viscosidad se encuentran implícitas en la trabajabilidad donde a esta a su vez representa un aspecto fundamental en el control a la capacidad de paso, capacidad de relleno y resistencia a la segregación. Dichas propiedades solo se mantendrán vigentes en lo que se denomina tiempo abierto.

II.4.1 Capacidad de paso (fluidez limitada)

Es la capacidad del concreto autocompactante para fluir a través de las armaduras sin segregación ni bloqueos.

II.4.2 Capacidad de relleno (fluidez no limitada)

Es la capacidad del concreto autocompactante para fluir y rellenar completamente todos los espacios dentro del encofrado, por su propio peso.

II.4.3 Estabilidad a la segregación

Es la capacidad del concreto autocompactante para mantener homogénea su composición durante el transporte y la puesta en obra.

II.4.4 Tiempo abierto

El período durante el que el concreto autocompactante mantiene sus propiedades reológicas deseadas es muy importante para obtener buenos resultados en la colocación del hormigón. Este período puede ajustarse seleccionando el tipo correcto de superplastificante o mediante el uso combinado de aditivos retardadores. Los distintos tipos de aditivos presentan efectos diferentes en el tiempo abierto y pueden emplearse en función del tipo de cemento y el tiempo de transporte y colocación del concreto autocompactante.

II.5 Ensayos para el estudio del comportamiento reológico del concreto autocompactante.

II.5.1 Ensayo de extensión de flujo

El ensayo de extensión de flujo, o slumpflow como se le conoce en inglés, está basado en el aparato y procedimiento del ensayo del cono de Abrams, sin embargo, en ensayo de extinción de flujo difiere del convencional en que la muestra de concreto de coloca sin ningún tipo de compactación. Además, en este caso la altura del asentamiento no constituye una medida representativa, siendo el diámetro final de extensión (D_f) la medida fundamental que se obtiene como resultado. Adicionalmente, también suele medirse el tiempo que tarda la muestra desde el inicio del levantamiento del cono hasta alcanzar el diámetro de 500mm (T_{50}), y más ocasionalmente, el tiempo final de extensión de flujo (T_f), hasta que la muestra deja de moverse.

El objetivo de este ensayo es evaluar la habilidad o facilidad de fluir del concreto. Se puede también valorar cualitativamente, en términos visuales, la presencia de segregación, que se manifestaría por la presencia de una aureola de pasta o mortero alrededor del perímetro de la extensión flujo y/o la presencia de áridos gruesos acumulados irregularmente, sobretodo en el centro.



Figura II-2: *Equipo de extensión de flujo*
Fuente: elaboración propia

II.5.2 Ensayo de Anillo Japonés

El Anillo Japonés, o J-Ring en inglés, es un aparato que se utiliza para evaluar conjuntamente las habilidades de fluir y de pasar entre barras y armaduras (EFNARC, 2002). El diámetro del anillo es de 300 mm, donde a su vez, este dispone de unas barras verticales cuya separación generalmente es tres veces el tamaño máximo del agregado.

El ensayo “determina la capacidad de paso del hormigón autocompactante para fluir a través de aberturas estrechas, incluidos los espacios entre las armaduras y otras obstrucciones sin segregación ni bloqueo.” (Cremades E., 2011)



Figura II-3: Equipo anillo japonés
Fuente: elaboración propia

II.5.3 Ensayo de Caja en L

La Caja en L, denominada en inglés como L-Box, es un ensayo el cual consiste en llenar un depósito en forma y dejar fluir el concreto hacia el canal a través de las armaduras. Se determina el tiempo que tarda el concreto en llegar a una distancia de 200 mm (T_{20}) y 400 mm (T_{40}), y las alturas H_1 y H_2 que se alcanzan en ambos extremos de la parte horizontal, con la mezcla ya en reposo. La relación H_2/H_1 se define como coeficiente de bloqueo.

La prueba permite determinar valores que cuantifican el bloqueo y estimar la fluidez del concreto tras pasar por los obstáculos. También permite evaluar cualitativamente la resistencia a la segregación mediante la observación visual.



Figura II-4: Equipo caja en L
Fuente: elaboración propia

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

III.1 Naturaleza de la investigación

La investigación fue de tipo experimental de campo, descriptiva y exploratoria.

III.2 Población y muestra

La población estuvo conformada por 30 probetas estandarizadas de 30cm de altura y 15cm de diámetro.

A continuación se anexa una tabla donde se muestra con mayor detalle las características de cada grupo de la población de este trabajo:

	Tipo de Agregado Grueso	Variación	Ensayo	Agregado Fino (Kg)	Agregado Grueso (Kg)	Relación β (%)
Grupo N°1	Canto Rodado	Relación β	1.1	17,92	11,88	60
			1.2	19,31	10,40	65
			1.3	20,79	8,91	70
			1.4	22,28	7,43	75
			1.5	23,76	5,94	80
Grupo N°2	Piedra Picada		2.1	17,92	11,88	60
			2.2	19,31	10,40	65
			2.3	20,79	8,91	70
			2.4	22,28	7,43	75
			2.5	23,76	5,94	80

Tabla III-1: Identificación de las muestras estudiadas
Fuente: Elaboración Propia

III.3 Recolección de datos

La recolección de datos fue llevada a cabo en dos (2) etapas donde la primera fue en estado fresco, para esta fueron utilizados equipos de videograbación para documentar y posteriormente recolectar los datos emitidos por los ensayos de anillo Japonés, extensión de flujo y caja en L. En la segunda etapa el concreto se encontraba en estado endurecido, fue ensayado a compresión axial y los datos de las resistencias extraídos del equipo de medición digital, mientras que las deformaciones verticales fueron obtenidas haciendo uso comparadores.

III.4 Equipos de aplicación de carga.

- Presa universal Baldwin (capacidad 100 Ton) del Laboratorio de Tecnología Del Concreto UCAB.

III.5 Accesorios empleados.

- Reloj comparador.
- Cámaras digitales.

III.6 Variables estudiadas

III.6.1 Variables independientes

- Dosificación canto rodado (Kg)
- Relación β de agregados (adimensional).
- Tipo de agregado grueso.

III.6.2. Variables dependientes

- Resistencia a compresión axial (Kgf/cm^2).
- Diámetro de extensión de flujo (cm).
- Tiempos de extensión de flujo T_{50} y T_{65} (seg).
- Diámetro de extensión de anillo J (cm).
- Tiempo de extensión de anillo J (seg).
- Diferencia de altura en anillo J (mm).
- Tiempos T_{20} y T_{40} en caja en L (seg).
- Relación de alturas en caja en L (adimensional).
- Diferencia de alturas en caja QA (cm)

III.6.3 Constantes

- Dosis de cemento (Kg/m^3).
- Dosis de agua (ml/m^3).
- Dosis de aditivo (ml/m^3)
- Velocidad de aplicación de carga (Kgf/seg).
- Plazo de curado (21 días).

III.7 Propiedades y Características de agregados.

III.7.1 Propiedades y características del agregado grueso (Grupo N°1).

Tamaño máximo	½"
Gravedad específica	2.43
Gravedad específica Saturado con Superficie Seca	2.48
Gravedad específica Aparente	2.55
Porcentaje de Absorción (%)	2.01

Tabla III-2: Características del Canto Rodado
Fuente: Elaboración Propia

III.7.2 Características del agregado grueso (Grupo N°2).

Tamaño máximo	½"
Gravedad específica	2.68
Gravedad específica Saturado con Superficie Seca	2.73
Gravedad específica Aparente	2.81
Porcentaje de Absorción (%)	1.72

Tabla III-3: Características de la Piedra Picada
Fuente: Elaboración Propia

III.7.3 Características del agregado fino

Arena lavada pasante tamiz	#4
Gravedad específica	2.66
Gravedad específica Saturado con Superficie Seca	2.71
Gravedad específica Aparente	2.80
Porcentaje de Absorción (%)	1.95

Tabla III-4: Características de la Arena
Fuente: Elaboración Propia

III.7.4 Cemento.

Cemento Portland tipo CPCA2.

III.7.5 Aditivo.

Aditivo PSP HC Superplastificante policarboxilado, con propiedad dispersante, fluidificante y reductor de agua de alto rango, distribuido por TECNOCONCRET C.A., el cual excede todos los requerimientos de:

- COVENIN 356. Tipos: A y F. A
- AASHTO M 194
- ASTM C 494-91. Tipos: A y F
- CRD C-87

III.8 Dosificaciones aplicadas.

	Ensayo	Cemento (kg)	Agua (l)	Arena (kg)	Piedra (kg)	Aditivo (ml)
GRUPO N°1	CR 60	9.90	3.75	17.82	11.88	80
	CR 65			19.31	10.40	
	CR 70			20.79	8.91	
	CR 75			22.28	7.43	
	CR 80			23.76	5.94	
GRUPO N°2	PP 60	9.90	3.75	17.82	11.88	80
	PP 65			19.31	10.40	
	PP 70			20.79	8.91	
	PP 75			22.28	7.43	
	PP 80			23.76	5.94	

Tabla III-5: Dosificaciones de mezclas.

Fuente: Elaboración Propia

Dosificaciones aplicadas expresadas en m³ de concreto:

	Ensayo	Cemento (kg)	Agua (l)	Fino (kg)	Grueso (kg)	Aditivo (l)
GRUPO N°1	CR 60	560	212	1008	672	4.53
	CR 65			1093	588	
	CR 70			1176	504	
	CR 75			1261	420	
	CR 80			1345	336	
GRUPO N°2	PP 60	560	212	1008	672	4.53
	PP 65			1093	588	
	PP 70			1176	504	
	PP 75			1261	420	
	PP 80			1345	336	

Tabla III-6: Dosificación expresada en m³.

Fuente: Elaboración Propia

III. 9 Fases de ejecución.

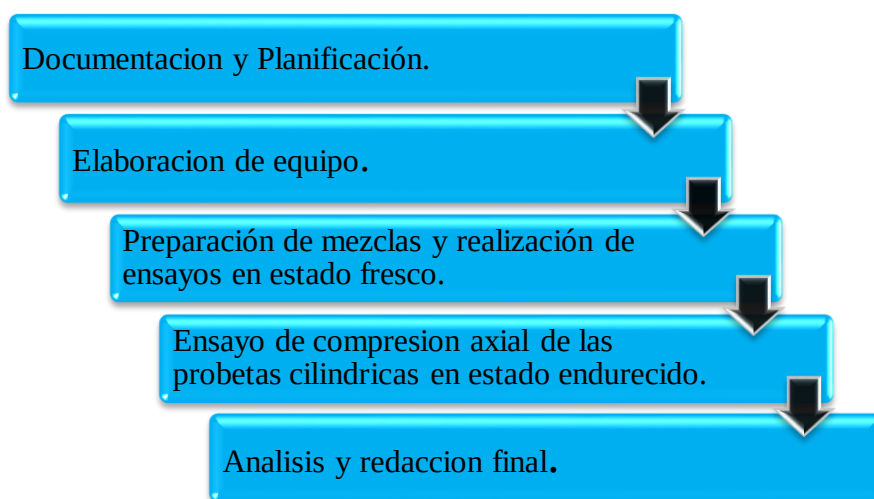


Figura III-1: Fases de ejecución

Fuente: Elaboración Propia

III. 9.1 Elaboración de equipo.

En este trabajo fue necesario el uso de la plancha de extensión de flujo, el anillo J y la caja en L, equipos que ya se encontraban a disposición en el Laboratorio de Tecnología del Concreto de la Universidad Católica Andrés Bello, también se diseñó y elaboró un equipo a manera de prototipo que permitió caracterizar las propiedades reológicas del concreto en estado fresco, al cual fue denominada “Caja QA”, debido a que fue elaborada en Cúa, Edo. Miranda.

III. 9.1.1 Elaboración de caja QA

Fue elaborado un molde con una plancha acrílica lisa de 10 mm espesor y dimensiones 30x40 cm de sección rectangular cuya función es ser la tapa frontal del equipo, madera de pino la cual sirve para dar forma a la sección de confinamiento del concreto y finalmente una plancha de MDF recubierta de material impermeable, la cual funciona como tapa posterior del equipo.

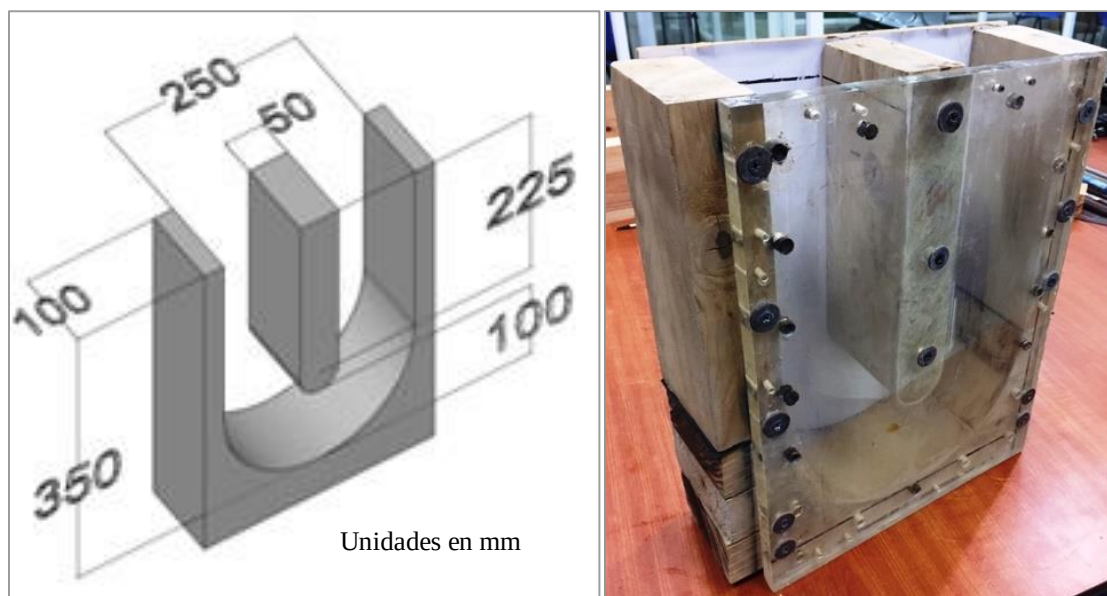


Figura III-2: Equipo de ensayo Caja QA

Fuente: Elaboración propia

III. 9.2 Características de los equipos

- Extensión de flujo

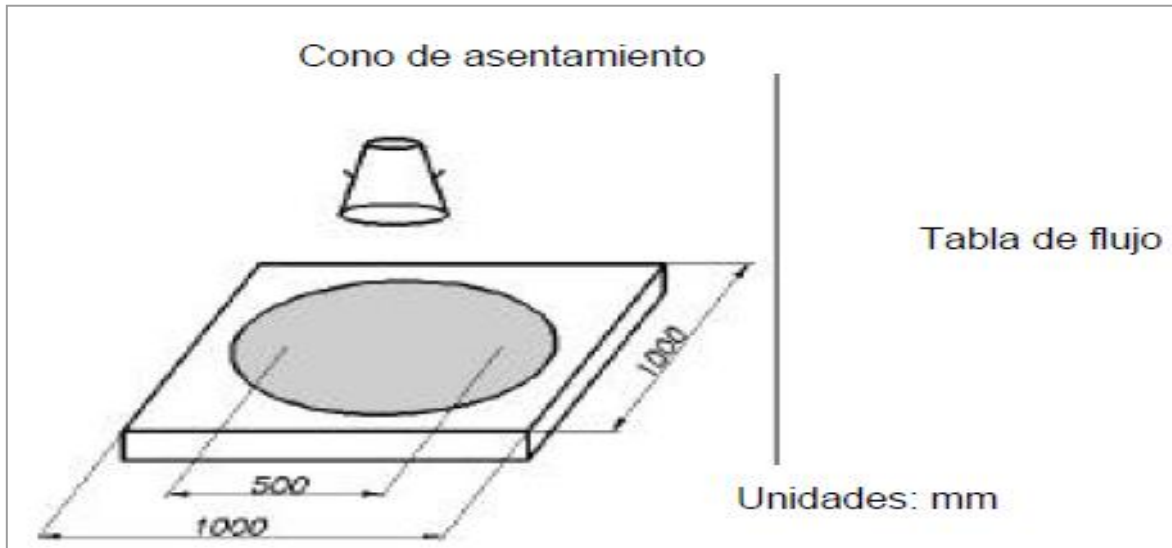


Figura III-2: Equipo de ensayo Extensión de Flujo

Fuente: (EFNAR 2002)

- Anillo J

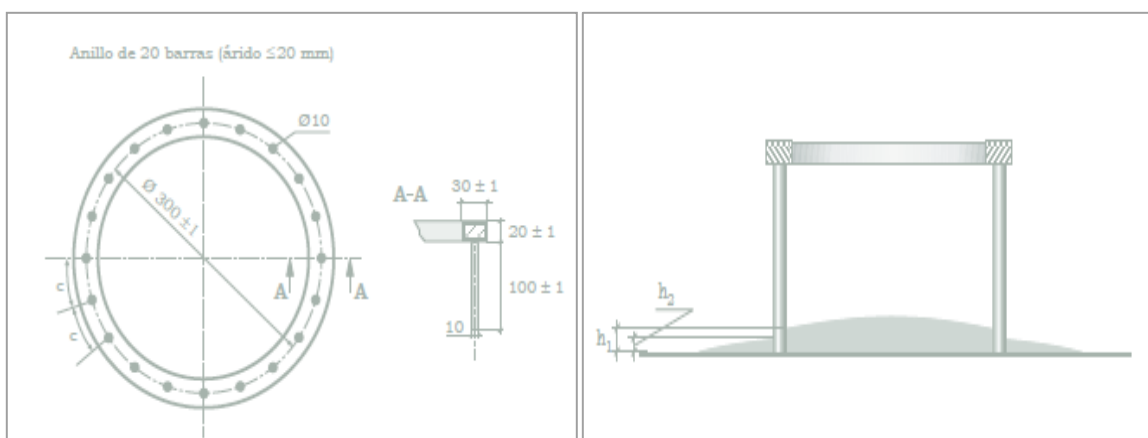


Figura II-3: Características de Anillo Japonés

Fuente: (Burón M., Fernández J. y Garrido L., 2006).

- Caja en L

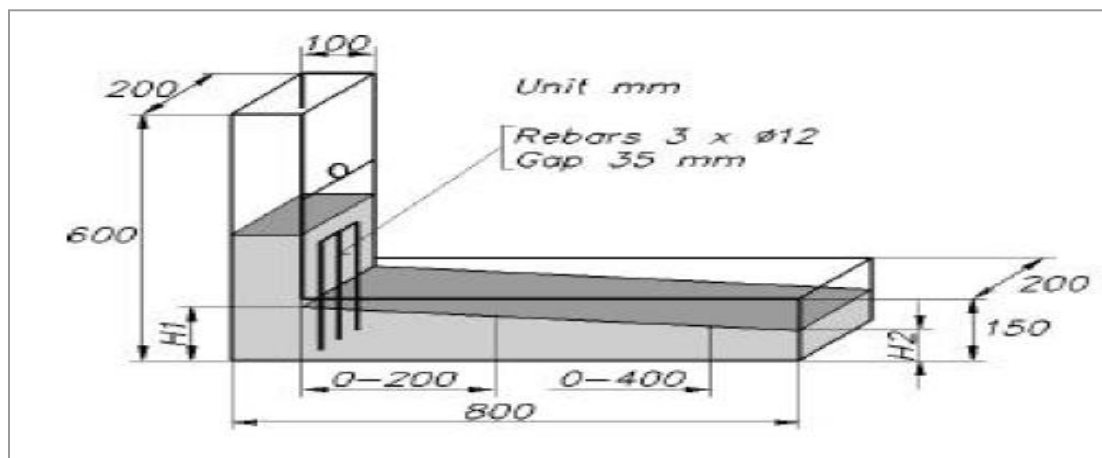


Figura III-4: Equipo de ensayo Caja en L
Fuente: (EFNAR 2002)

III. 9.3 Preparación de mezclas y realización de ensayos en estado fresco

Inicialmente se realizó una mezcla partiendo del diseño del TEG realizado por Cárdenas, A. (2016) “*Caracterizar las propiedades reológicas del concreto fluido de resistencia controlada con piedra picada y arena natural lavada*”, donde se hizo uso de los equipos anillo J, caja en L, plancha de extensión de flujo y cono de Abrams para poder caracterizar si dicha mezcla se encontraba dentro de los parámetros de aceptación de un concreto autocompactante. Dicho procedimiento se repitió variando la dosis de aditivo hasta que la mezcla cumpliera con los parámetros de aceptación.

Según la EFNARC (2002) los parámetros de aceptación para la caracterización de un concreto como autocompactable para los ensayos realizados son:

Ensayo	Unidad	Criterios de aceptación	
		Mínimo	Máximo
Extensión de flujo	mm	650	800
Flujo de asentamiento T50 mm	s	2	5
Anillo J	mm	0	10
Caja en L	(h2/h1)	0.8	1

Tabla III-7: Criterios de aceptación. Fuente: EFNARC 2002

III. 9.4 Realización de ensayos

Una vez definidas las dosificaciones de los diseños de mezcla se procedió en la ejecución de los ensayos de concreto en estado fresco para su caracterización del comportamiento reológico.

III. 9.4.1 Ensayo de extensión de flujo

- Se verificó que la superficie de apoyo de la plancha de extensión de flujo se encontrara firme y horizontal.
- Se humedeció con ayuda de un paño la superficie de la plancha, teniendo especial cuidado en no dejar exceso de agua.
- Se sujetó el cono presionándolo hacia la plancha y se vertió en el interior de este la mezcla de concreto y sin ningún tipo de compactación..
- Se elevó el cono manteniendo la verticalidad y la velocidad de ejecución. Paralelamente se cronometró el tiempo que tardó el material en extenderse hasta alcanzar el diámetro de 500 mm y luego el tiempo hasta alcanzar su estabilidad.
- Se midió el diámetro de extensión de la mezcla en dos sentidos perpendiculares entre ellos.



Figura III-6: Ensayo extensión de flujo
Fuente: Elaboración propia

III. 9.4.2 Ensayo de anillo J.

- Se verificó que la superficie de apoyo de la plancha de extensión de flujo se encontrara firme y horizontal.
- Se humedeció con ayuda de un paño la superficie de la plancha, teniendo especial cuidado en no dejar exceso de agua.
- Se sujetó el cono presionándolo hacia la plancha y se vertió en el interior de este la mezcla de concreto en forma continua y sin ningún tipo de compactación.
- Se elevó el cono manteniendo la verticalidad y la velocidad de ejecución. Paralelamente se cronometró el tiempo que tardó el material en extenderse hasta alcanzar su estabilidad.
- Se midió el diámetro de extensión de la mezcla en dos sentidos perpendiculares entre ellos.
- Se tomó cuatro (4) mediciones en lugares diferentes de la altura del concreto en lado exterior e interior del anillo.



Figura III-7: Ensayo anillo J
Fuente: Elaboración propia

III. 9.4.2 Ensayo caja en L.

- Se verificó que la superficie de apoyo de la plancha de extensión de flujo se encontrara firme y horizontal.
- Se humedeció con ayuda de un paño la superficie interna de la caja, teniendo especial cuidado en no dejar exceso de agua.
- Se vertió la mezcla de forma continua en la parte vertical de la caja hasta enraizar con el borde superior.
- Se abrió la compuerta de forma rápida y continua, paralelamente se inició el cronómetro.
- Se registró el tiempo en el que la mezcla alcanzo las marcas de 200 mm y 400 mm medidas desde la compuerta.
- Al estabilizarse la mezcla en la sección horizontal se tomó tres (3) medidas de la altura final del concreto en la parte final caja y en la abertura de la compuerta.



Figura III-8: Ensayo Caja en L
Fuente: Elaboración propia

III. 9.4.2 Caja QA.

- Se verificó que la superficie de la caja QA se encontrara firme y horizontal.
- Se humedeció con ayuda de un paño la superficie interna de la caja, teniendo especial cuidado en no dejar exceso de agua.
- Se vertió la mezcla por uno de los orificios de la caja.
- Se agregó material hasta faltar un centímetro para alcanzar el borde de la caja y se esperó que estabilizara la mezcla.
- Se procedió a medir la distancia entre la parte inferior y el material en ambas aberturas de la caja.
- Se tomó las medidas antes mencionadas y se procedió a calcular el diferencial de altura.



Figura III-9: Ensayo prototipo de Caja QA

Fuente: Elaboración propia

III. 9.5 Vaciado de probetas cilíndricas.

Una vez finalizados los ensayos para la caracterización de las propiedades reológicas de los distintos vaciados se hizo uso de los moldes de probetas cilíndricas pertenecientes al Laboratorio, a los cuales previamente se les realizó una limpieza y recubrimiento interno con aceite para asegurar un fácil desencofrado.

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

III. 9.6 Ensayo de compresión axial de las probetas cilíndricas en estado endurecido.

Para este ensayo se verificó la verticalidad de los miembros y el paralelismo de las cargas transversales para asegurar que estos estuvieran a compresión axial pura. Para garantizar dicho paralelismos entre caras se refrendaron las mismas en todos los cilindros.

Al momento de someter los miembros a compresión axial se mantuvo constante la velocidad de aplicación de carga y así no introducir una nueva variable que afecte el comportamiento de las curvas tensión-deformación.

En cuanto al montaje del equipo de medición axial se garantizó que el mismo mantuviera la verticalidad durante todo el proceso de aplicación de carga para que la deformación registrada fuera lo más próxima al acortamiento de los miembros.



Figura III-10: Ensayo de compresión axial
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados mostrados provienen de los ensayos descritos con anterioridad para el concreto en estado fresco y definir así su comportamiento reológico en función a la relación β de cada muestra.

Nota: Todas las figuras mostradas a continuación son de elaboración propia.

IV.1 Comportamiento reológico del concreto fluido

Las gráficas mostradas definen el comportamiento reológico del concreto fluido con Canto Rodado (CR) y Piedra Picada (PP), donde se indican los intervalos establecidos por la EFNARC 2002 para la caracterización del concreto como autocompactable en un recuadro segmentado color verde.

IV.1.1 Extensión de flujo

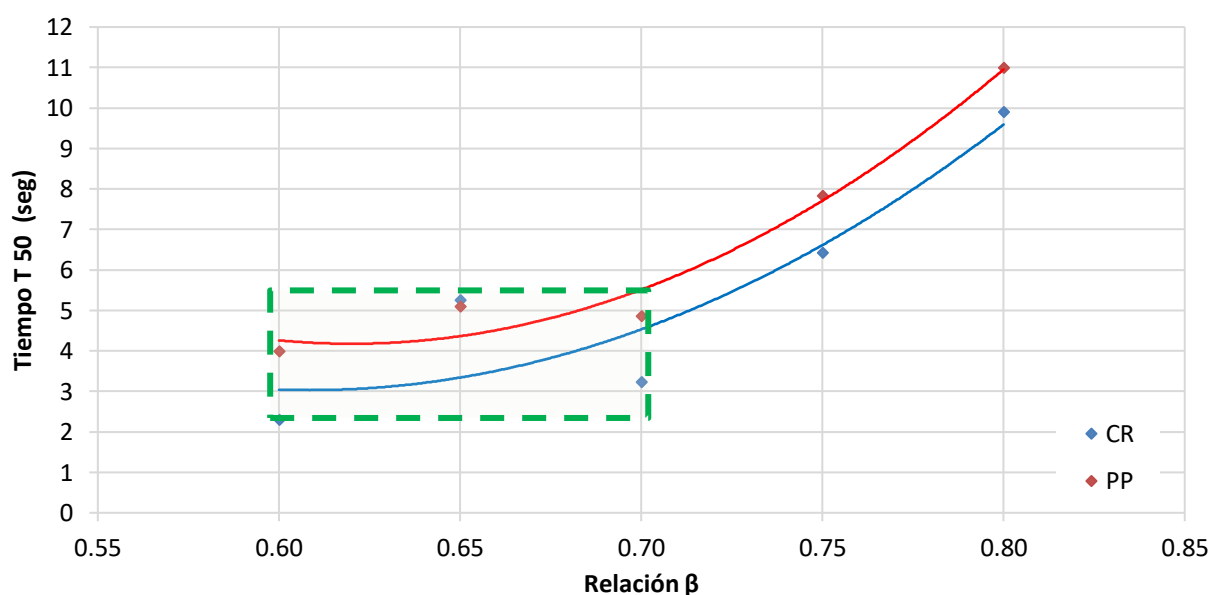


Figura IV-1: Tiempo T50 vs Relación β .

En la figura IV-1 se observa que ambas curvas presentan un comportamiento similar pero desfasados aproximadamente un segundo (1 seg), sin embargo se evidencia que las mezclas realizadas con agregado grueso de canto rodado alcanzan el diámetro de 500 mm en un tiempo menor que las mezclas cuyo agregado grueso es piedra picada, esto indica que la superficie pulimentada del canto rodado proporciona una mayor fluidez al material. También se muestra que solo las familias con relación β 0,60; 0,65 y 0,70 cumplen con el intervalo recomendado por la norma EFNARC 2002.

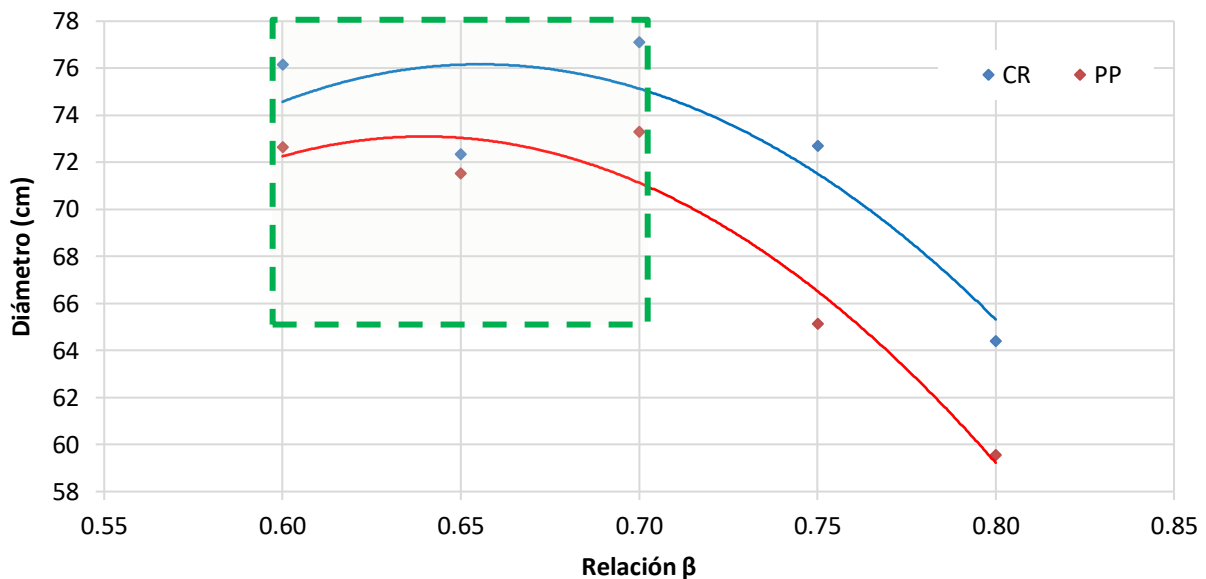


Figura IV-2: Diámetro vs Relación β

La figura IV-2 muestra un comportamiento parabólico manteniendo un paralelismo entre ambos materiales y generando un pico cercano a β 0,65. Después del punto máximo se muestra que al aumentar la relación β se obtienen menores diámetros de flujo radial, esto se asocia a un aumento en la viscosidad del material, lo que es igual a una disminución de la fluidez. Tomando en cuenta el comportamiento descrito se aprecia que las mezclas que contienen como agregado grueso canto rodado tuvieron mayores diámetros de extensión de flujo.

IV.1.2 Anillo Japonés

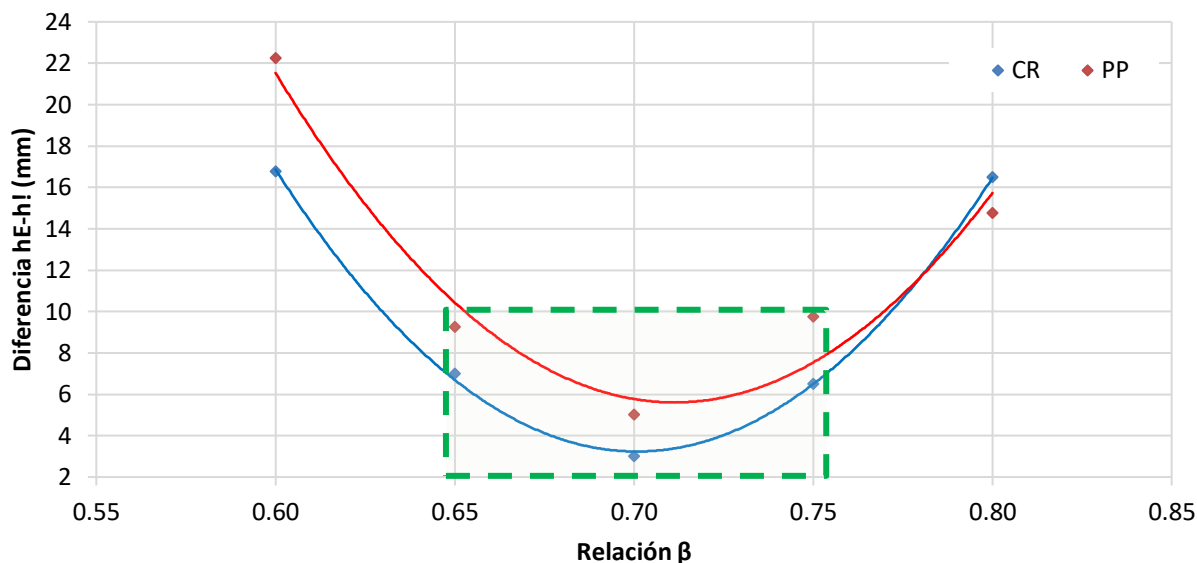


Figura IV-3: Diferencia $hE-hI$ vs Relación β

Se observa en la figura IV-3 que ambas curvas poseen un comportamiento parabólico con un mínimo en β 0,70. Al respecto, el canto rodado tuvo mayor capacidad de paso con diferencias (deltas) de altura menores, sin embargo esto solo fue hasta el punto β 0,75 ya que para este caso existe una tendencia a que ambos materiales tengan el mismo delta de altura. Las mezclas que cumplen con los parámetros establecidos por la norma se encontraron comprendidas entre el intervalo de β 0,65 a 0,75.

IV.1.3 Caja en L

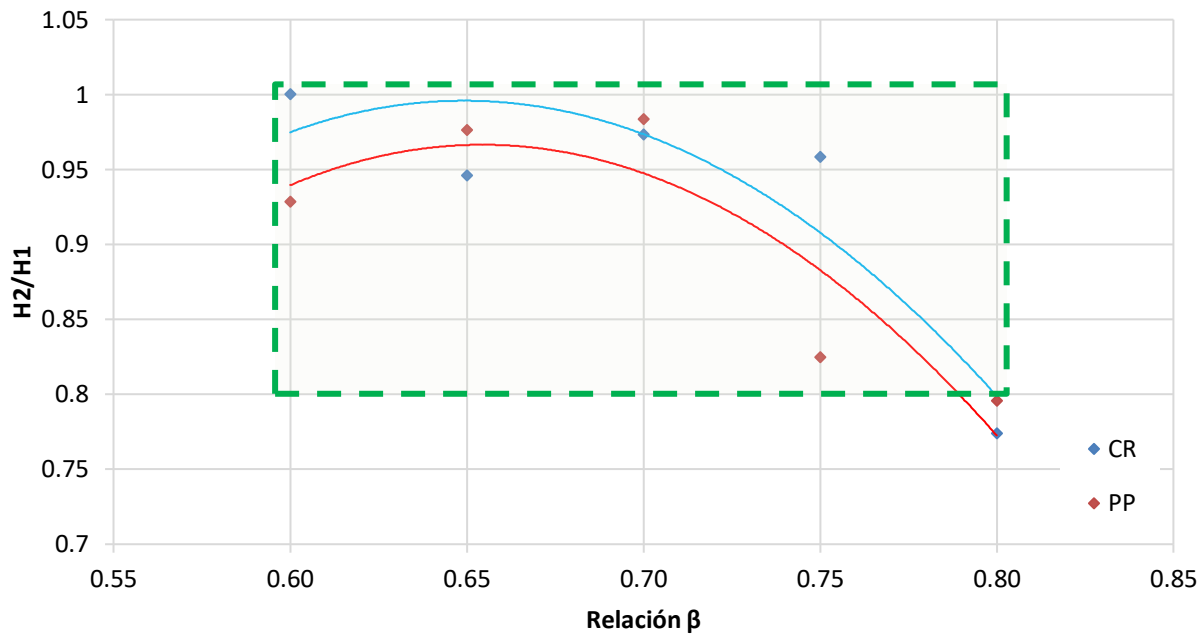


Figura IV-4: $H2/H1$ vs Relación β

Las gráficas mostradas en la figura IV-4 se puede observar que el intervalo de β 0,60 a 0,75 cumplen con los criterios de aceptación establecidos por la EFNARC 2002 para el ensayo de caja L, ya que la relación de altura ($H2/H1$) se encuentra comprendida entre 0,80 y 1, sin embargo la mezcla de canto rodado cuya relación β es 0,60 posee un valor de relación de altura igual a 1, lo cual es catalogado como un resultado falso ya que es indicativo de posibles errores en la mezcla o en la ejecución del ensayo.

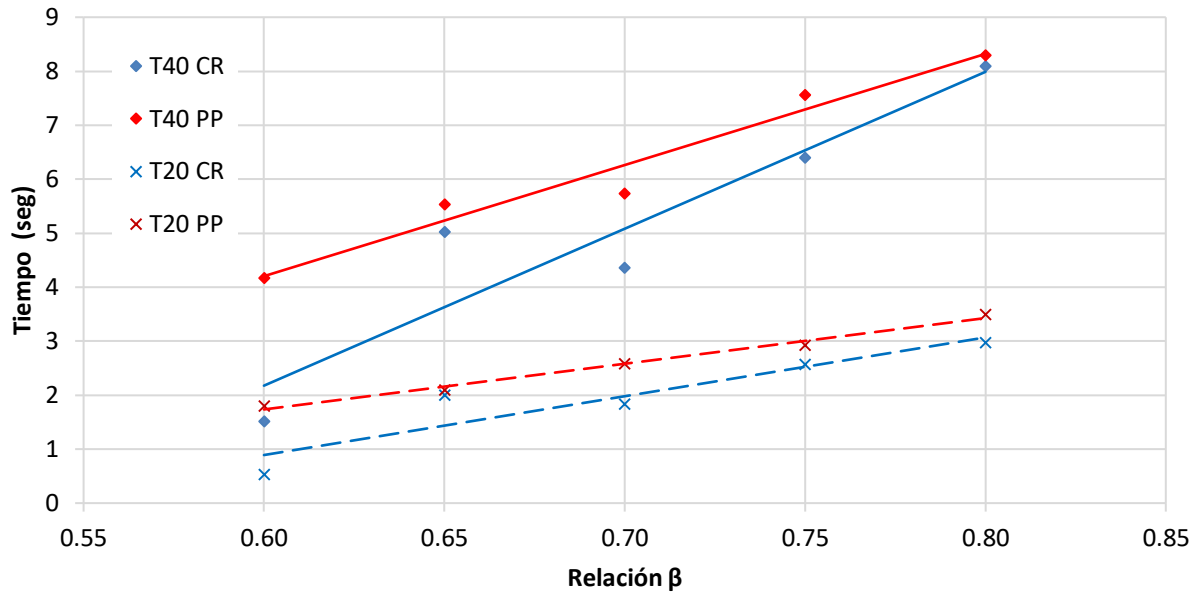


Figura IV-5: Tiempo vs Relación β

En la figura IV-5 se describe la relación inversamente proporcional que existe entre la cantidad agregado grueso y el tiempo que tarda la mezcla en alcanzar una distancia de 200 mm y 400 mm desde el momento en el que es abierta la compuerta de la caja en L. Se evaluó la capacidad de relleno del concreto en estado fresco, al analizar el comportamiento de las curvas señaladas donde se mostró que las mezclas cuyo agregado grueso es el canto rodado tienden a poseer mejor capacidad de relleno que las muestras con piedra picada, también que dicha característica disminuye en función aumente la relación β .

IV.1.4 Relación entre Extensión de flujo y Anillo Japonés

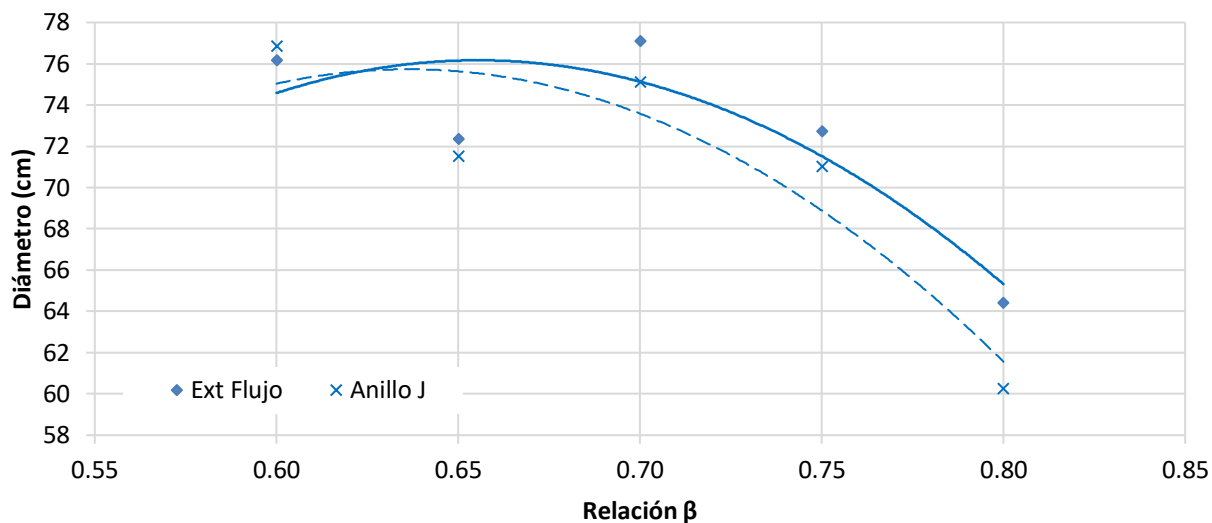


Figura IV-6: Anillo J y Extensión de Flujo, Diámetro vs Relación β . (CR)

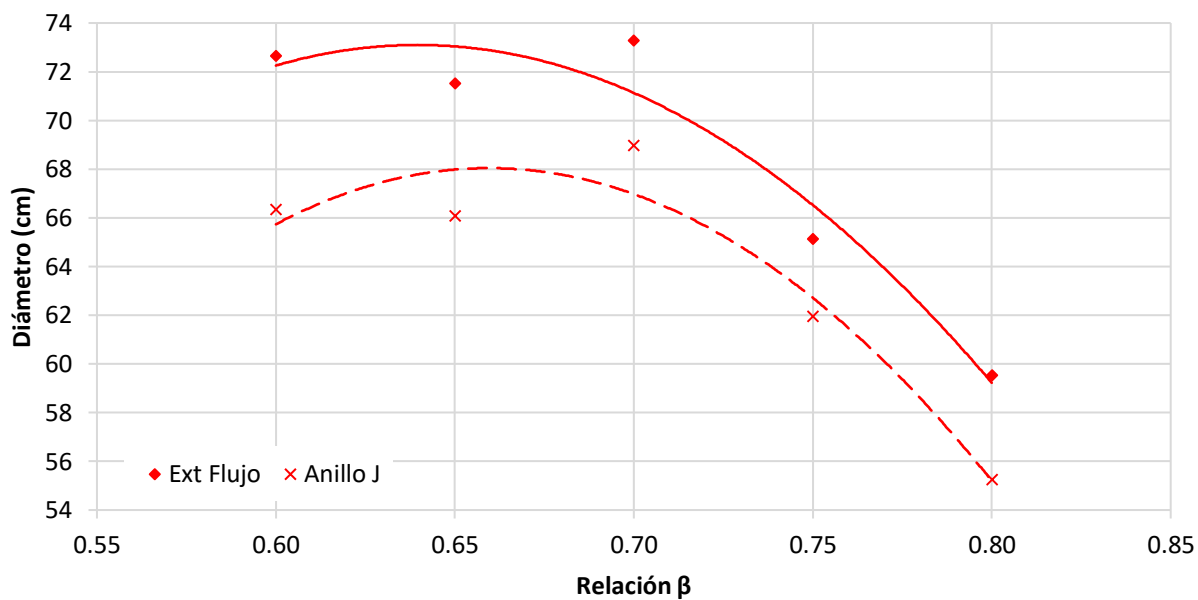


Figura IV-7: Anillo J y extensión de flujo, Diámetro vs Relación β . (PP)

En las figuras IV-6 y IV-7 se muestra el comportamiento descrito por las mezclas de canto rodado y piedra picada respectivamente, donde se comparó la incidencia de la

obstrucción generada por el anillo japonés en la extensión del flujo radial, evidenciando así que los diámetros de torta fueron mayores cuando no se contó con ningún obstáculo, no obstante la incidencia del anillo no fue significativa para las mezclas de canto rodado debido a que la fricción entre las partículas es menor permitiendo obtener mezclas más fluidas

IV.1.5 Relación entre extensión de flujo y Caja QA

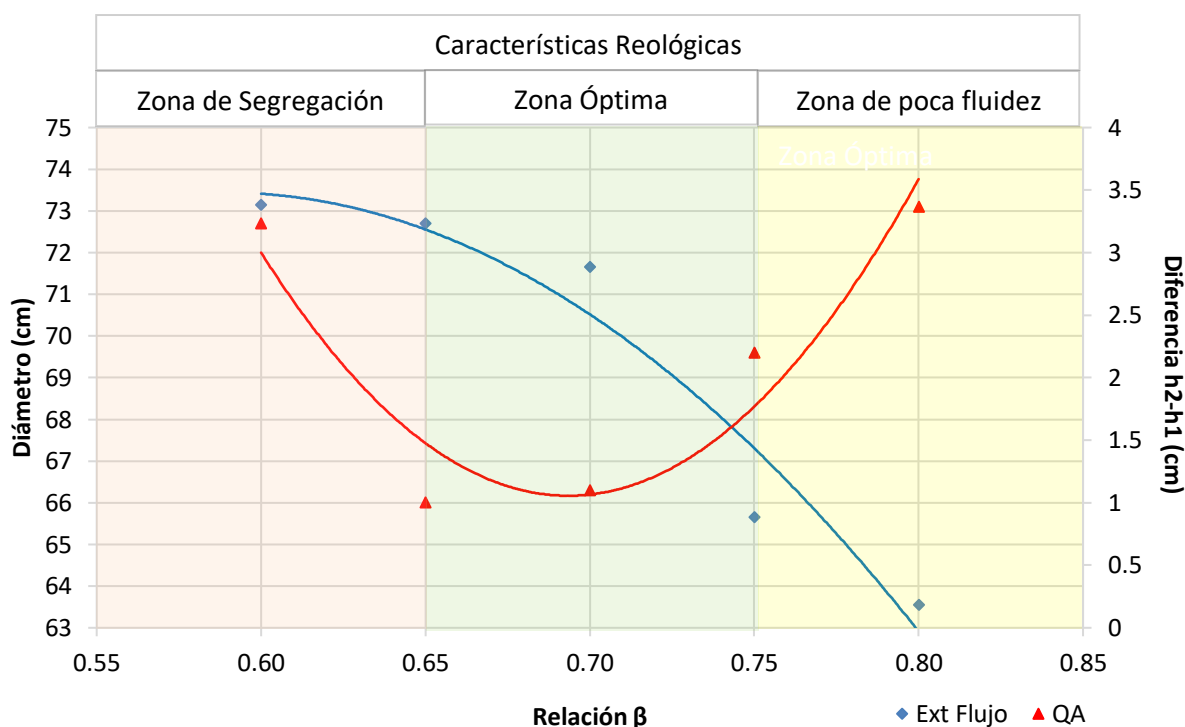


Figura IV-8: Ensayo extensión de flujo y Caja QA

En la figura IV-8 se muestra la gráfica correspondiente al ensayo de la caja QA, el cual se correlacionó con el ensayo de extensión flujo para poder establecer los valores arrojados por el prototipo y así caracterizar la mezcla como fluida o no. Al mismo tiempo el diseño de la caja permite visualizar y evaluar de manera cualitativa el comportamiento de la mezcla a lo largo de su recorrido. Las mezclas menores a β 0,65 presentaron una obstrucción por causa del agregado grueso en la parte inferior de la caja, lo cual es

indicativo de segregación, también se pudo apreciar que el material aumenta su viscosidad disminuyendo su fluidez a partir de β 0,75 saliéndose de los parámetros establecidos por la EFNARC 2002, es así como se define el intervalo óptimo que permite interpretar el comportamiento de las curvas anteriores.

IV.1.6 Influencia de la relación β en la tensión máxima del concreto en estado endurecido y la relación agua/cemento (α)

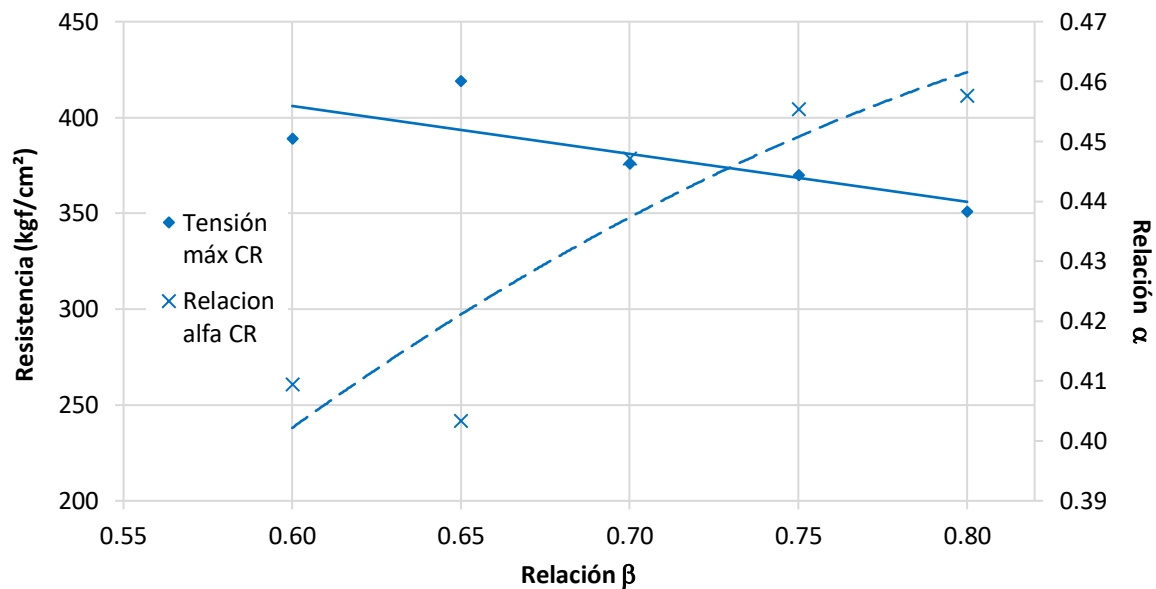


Figura IV-9: Resistencia vs Relación β vs Relación α . (CR)

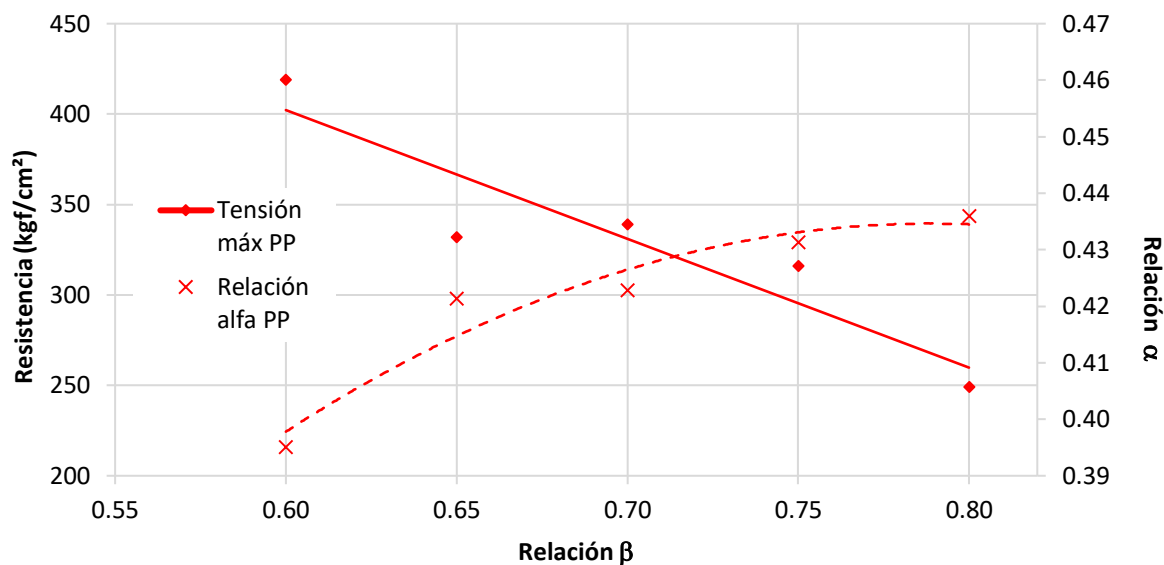
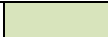


Figura IV-10: Resistencia vs Relación β vs Relación α , Grupo N°2

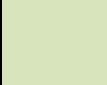
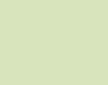
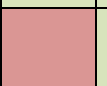
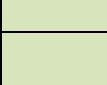
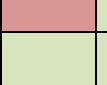
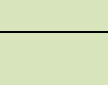
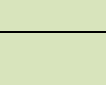
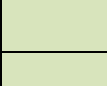
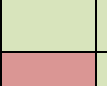
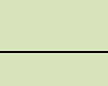
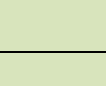
Las figuras IV-9 y IV-10 mostraron una similitud en cuanto al comportamiento de las curvas de α vs β , donde tienden a un comportamiento parabólico y se presencia que α y β son proporcionales y se interpreta como un aumento de humedad en las mezclas a medida que se aumenta el agregado fino, en cuanto a las curvas de Resistencia vs β revelaron que al aumentar la cantidad de agregado grueso las tensiones máximas soportadas por el concreto en estado endurecido eran mayores, mostrando una tendencia decreciente donde existe una mayor incidencia de la variación del agregado grueso en la tensión cuando el mismo es piedra picada.

IV.1.7 Observaciones de las mezclas

A continuación se presenta una tabla resumen donde se muestra los resultados y observaciones obtenidas para cada ensayo en función a los parámetros de aceptación por la EFNARC 2002:

Cumple 

No Cumple 

		Ensayo					
Tipo de agregado	Relación β (%)	Extensión de Flujo		Anillo Japonés	Caja en L	Resistencia máx (KgF/cm²)	Observación
		D final	T 50				
Canto rodado	60					389	Segregación muy visible
	65					419	Viscosidad media con segregación mínima
	70					376	Viscosidad baja, sin segregación
	75					370	Viscosidad media
	80					351	Viscosidad alta

		Ensayo					
Tipo de agregado	Relación β (%)	Extensión de Flujo		Anillo Japonés	Caja en L	Resistencia máx (KgF/cm²)	Observación
		D final	T 50				
Piedra Picada	60					422	Segregación muy visible
	65					332	Viscosidad media con segregación mínima
	70					339	Viscosidad baja, sin segregación
	75					316	Viscosidad media
	80					249	Viscosidad alta

Tabla III-8: Observaciones de la mezcla.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

V.1 Conclusiones

Fue realizado un estudio de las propiedades reológicas del concreto fluido con canto rodado, tomando como punto de comparación mezclas con piedra picada como agregado grueso manteniendo la misma dosificación. A continuación se exponen las conclusiones de los resultados obtenidos:

Para las condiciones y materiales estudiados en este caso, se demostró que las muestras comprendidas en el intervalo de β 0,60 a 0,75 cumplen con los parámetros de capacidad de paso y capacidad de relleno, sin embargo las mezclas de β 0,60 tendieron a segregar, produciendo un sangrado visible en los ensayos realizados. Cabe destacar que la segregación se evidenció mejor en el ensayo de anillo japonés debido a la obstrucción que generaban las barras de acero.

Al utilizar como agregado grueso canto rodado todos los ensayos mostraron una mejoría en sus propiedades reológicas al compararlas con el comportamiento descrito por las mezclas que contenían piedra picada, esto se debe gracias a la superficie del canto rodado la cual proporciona menor fricción entre las partículas, disipando así menos energía en el momento que la mezcla se encuentra en movimiento, permitiendo una mayor fluidez.

En las mezclas de CR se observó un comportamiento reológico óptimo para un β 0,70, mostrando un diámetro en extensión de flujo y en anillo japonés de 77,1 y 75,1 cm respectivamente, a su vez, también se tuvo la menor diferencia de altura en el anillo japonés siendo igual a 3 mm, así mismo la piedra picada también describió su dosis óptima de agregados con una relación β 0,70. En cuanto los resultados obtenidos en la caja en L se puede interpretar que los tiempos T20 y T40 dan indicativo de la fluidez del material, sin embargo no son suficientes para catalogar un concreto como fluido o no, ya que estos están en función de la viscosidad.

Por medio del prototipo caja QA se logró evidenciar de manera más eficiente el comportamiento del concreto en estado fresco al analizarlo como un fluido, pudiéndose observar gracias a la plancha frontal acrílica la capacidad de relleno y la incidencia que tiene la segregación en la misma. Al estudiar los distintos comportamientos del concreto en este ensayo, se manifestó que para la mezcla de relación β de 0,60 ocurrió una obstrucción en la curvatura de la caja generada por la segregación de las partículas de agregado grueso, teniendo una diferencia de altura igual a 3,23 cm. Al igual que en los ensayos anteriores el concreto en la caja QA mostró un aumento de su viscosidad conforme se disminuyó la cantidad de grueso en la mezcla, describiendo un comportamiento parabólico en la curva mostrada en la figura IV-8, donde el delta de altura mínimo se encuentra cercano al β 0,70.

La variación en las relaciones agua-cemento (α) obtenidas muestran el cambio en la humedad de los agregados que hubo a lo largo de la ejecución de los ensayos, ya que a pesar de mantener la dosis de cemento y agua constante, las características de absorción y humedad de los agregados generaban una variable que se toma en cuenta en la interpretación de los resultados, ya que esto afecta directamente la fluidez de la mezcla al alterar la viscosidad.

Alfa se encontró en el rango de 0,40 a 0,46, arrojando concretos de alta resistencia que se encuentran comprendidos entre 419 a 351 kg/cm² para el CR y 422 a 249 kg/cm² para la PP. También se halló que los miembros con agregado grueso de canto rodado en promedio soportaron mayores tensiones a compresión axial en comparación a los que tuvieron piedra picada.

El efecto dispersante de aditivo fue inversamente proporcional al aumento del agregado fino, sin embargo esto solo fue perjudicial a partir de una relación β 0,75, por lo tanto el intervalo óptimo de trabajabilidad del concreto fluido con canto rodado se encuentra comprendido en una relación β de 0,65 a 0,75. Para las mezclas se observó sinergia entre el aditivo y el cemento utilizado, evidenciándose en el comportamiento reológico de las mismas.

En la figura V-1 se muestra un sombreado el cual representa el intervalo óptimo de β correspondiente al mejor comportamiento reológico de las mezclas analizadas y mostrando las Resistencias esperadas al trabajar concretos con características similares.

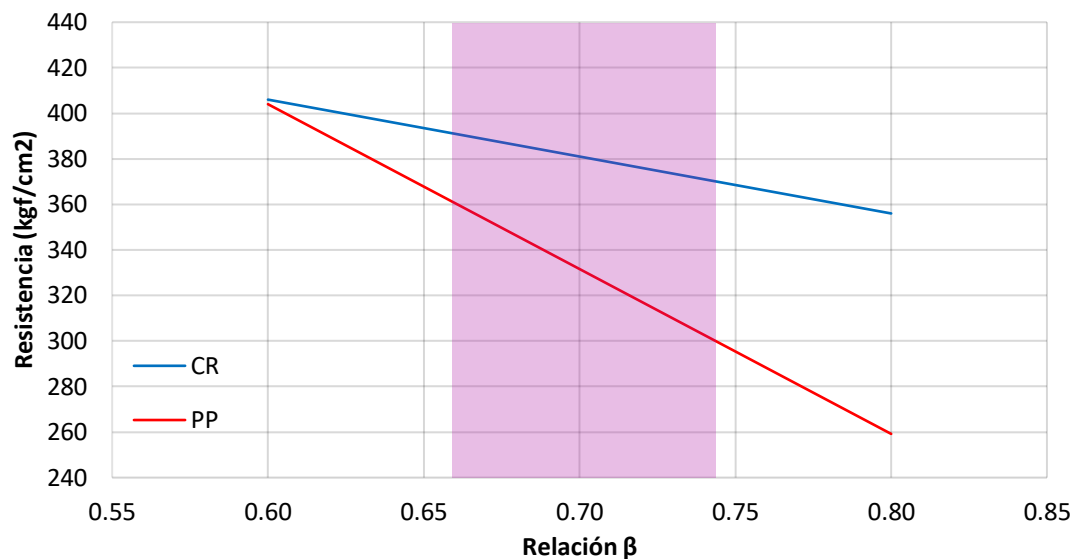


Figura V-1: Resistencia vs Relación β

V.2 Recomendaciones

En caso de continuar con este trabajo de grado se recomienda analizar la incidencia de la dosificación de aditivo en la resistencia del concreto autocompactable.

Hacer uso de viscosímetros para obtener valores cuantitativos que permitan correlacionar la relación β con la viscosidad de la mezcla.

Se recomienda seguir con los avances de la Caja QA en posteriores investigaciones, ya que la misma permite apreciar de manera eficiente las propiedades reológicas del concreto autocompactable.

En caso de continuar con esta línea de investigación (concreto fluido), se debe mantener un control de las características de los materiales y a su vez garantizar las condiciones de ambiente, ya que estas variables inciden directamente en la propiedades reológicas de las mezclas.

BIBLIOGRAFÍA

- Moncayo R., I. D. (2009). *Caracterización Reológica de una suspensión en un circuito de molienda cerrado para producción de cemento por vía húmeda*. Medellín, Colombia.
- EFNARC. (2002). Specification and guidelines for self-compacting concrete. Obtenido de www.efnarc.org.
- Burón M., Fernández J. & Garrido L. (2006). *Hormigón autocompactante. Criterios para su utilización*. España.
- Nasvik J., (2006). *El ABC del concreto autocompactable*. Ciudad de México, México.
- Porrero S., J., Ramos R., C., Grases G., J., & Velazco, G. J. (2003). *Manual de Concreto Estructural*. Caracas, Venezuela.
- Chután M., R. A. (Noviembre de 2004). *Concreto Autocompactado experimentación en Guatemala*. Guatemala.
- Nevill A., (1995). *Tecnología del Concreto*. México, D.F.
- Cremades E., S. (2011). *Estudio de la Robustez en el hormigón autocompactante con bajo contenido de finos*. Valencia, España.