



**INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE AGREGADOS FINOS SOBRE EL
ÍNDICE ESCLEROMÉTRICO Y LA VELOCIDAD DE ONDA DE
ULTRASONIDO EN EL CONCRETO ESTRUCTURAL**

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

Br. León, Jonathan.

PROFESOR GUÍA

Ing. Bonilla, Guillermo.

FECHA

Caracas, Noviembre de 2015

Sinopsis

El concreto objetado en las construcciones de edificaciones debe pasar por una serie de ensayos que permitan establecer su resistencia nominal y capacidad. La necesidad de contar con un concreto de calidad hace indispensable conocer detalladamente sus componentes, ya que tanto la resistencia como la durabilidad dependen de las propiedades físicas y químicas de ellos, especialmente de los agregados.

Es por eso que en la presente investigación se plantea aplicar métodos no destructivos para la evaluación del concreto, como el ensayo esclerométrico y de velocidad de pulso sónico, para determinar cómo influye el contenido de los finos (relación β) en las propiedades mecánicas del concreto.

Índice

I) CAPITULO: El problema.	1
I.1) Planteamiento del problema.	1
I.2) Antecedentes.	3
I.3) Alcance y limitaciones.	4
I.4) Objetivos.	5
I.4.1) Objetivo General	5
I.4.2) Objetivos específicos.	5
II CAPITULO: Marco Teórico	6
II.1) Agregados.	7
II.1.1) Granulometría.	7
II.1.2) Relación Beta (β).	8
II.2) Evaluación del concreto	8
II.3) Comportamiento del concreto sometido a cargas.	12

III CAPITULO: Marco Metodológico.	16
III.1) Naturaleza de la investigación.	16
III.2) Muestreo.	16
III.3) Recolección de datos.	16
III.4) Equipo de aplicación de carga.	17
III.5) Accesorios empleados en los ensayos.	17
III.6) Elementos a mantener constantes.	17
III.7) Variables en el ensayo.	17
III.8) Materiales Utilizados. Propiedades y características.	18
III.8.1 Concreto.	18
III.9) Diseño experimental.	19
III.10) Fases de la ejecución.	19
III.11.1) Fase de Documentación y Planificación.	20
III.11.2) Fase de elaboración de probetas.	21
III.11.3) Ejecución de ensayos.	22

III.11.4) Tratamiento de resultados, Análisis y Redacción del reporte final.	24
IV CAPITULO: Resultados y Análisis.	25
IV.1) Evaluación de la relación del contenido de finos (β) y la resistencia media a la compresión.	25
IV.2) Evaluación de la relación entre la variación de β y el comportamiento mecánico del concreto estructural medido con base a las tensiones de trabajo.	26
IV.2.1) Ensayos monotónicos.	27
IV.2.2) Ensayos con ciclaje pulsatorio constante.	28
IV.3) Evaluación del comportamiento a nivel de homogeneidad superficial del concreto estructural sometido a distintas tensiones de trabajo con base a la variación en proporción de finos (β).	30
IV.4) Evaluación del comportamiento a nivel de homogeneidad en masa del concreto estructural sometido a distintas tensiones de trabajo con base a la variación en la proporción de finos (β).	35
V CAPITULO: Conclusiones	40
VI CAPITULO: Recomendaciones.	43
BIBLIOGRAFIA.	44
ANEXOS	47

Índice de Figuras

Figura II-1. Representación esquemática de la granulometría de los agregados. (Céspedes, M., 2003).....	7
Figura II-2. Ensayo de Ultrasonido. (Larraín, K, 2010)	10
Figura II-3. Partes del Esclerómetro (Larrain, K., 2010)	12
Figura II-4. Curva esfuerzo deformación. (Granada, 2007).....	14
Figura II-5. Curva esfuerzo-deformación para cilindros de concreto con carga cíclica de compresión axial repetida de alta intensidad. (Park & Paulay, 1988).....	15
Figura III-1 Fases de la ejecución. (Elaboración Propia).....	19
Figura IV-1. Gráfica Proporción β vs. Resistencia media a la compresión. (Elaboración propia).....	25
Figura IV-2. Gráfica Típica Esfuerzo-Deformación en ensayo monotónico. Prisma 11.1 ($\beta=100\%$). (Elaboración propia).....	27
Figura IV-3. Esfuerzo-Deformación Prisma 11.1 ($\beta=100\%$). (Elaboración propia).....	28
Figura IV-4. Gráfica Típica Esfuerzo-Deformación en ensayo con ciclaje pulsatorio constante. Prisma 9.1 ($\beta=80\%$). (Elaboración propia).....	28

Figura IV-5. Gráfica Típica Esfuerzo-Deformación en ensayo con ciclaje pulsatorio constante. Prisma 5.1 ($\beta=40\%$) y Prisma 9.1 ($\beta=80\%$). (Elaboración propia).....	29
Figura IV-6. Gráfica Relación β vs. Media de Índices Esclerométricos (Ciclo 0). (Elaboración propia).....	30
Figura IV-7. Gráfica comparativa entre Índice Esclerométrico y Resistencia media a la compresión con respecto a la variación de β . (Elaboración propia).....	31
Figura IV-8. Gráfica Tensión vs. Índice Esclerométrico para cada variación de β (Ciclo 0). (Elaboración propia).....	32
Figura IV-9. Gráficas Tensión vs. Índices Esclerométricos con relación a cada ciclo de carga para sus respectivas proporciones de β . Fuente: Elaboración propia.....	33
Figura IV-10. Gráfica Contenido de finos vs. Índice Esclerométrico para tensiones constantes (Ciclo 0). Fuente: Elaboración propia.....	34
Figura IV-11. Gráfica Relación β vs. Media de Velocidades de Onda Sónica (Ciclo 0). (Elaboración propia).....	35
Figura IV-12. Gráfica comparativa entre Velocidad de pulso Sónico y Resistencia media a la compresión con respecto a la variación de β . (Elaboración propia).....	36
Figura IV-13. Gráfica de Resultados. Tensión vs. Velocidad de Pulso Sónico (Ciclo 0). (Elaboración propia).....	37
Figura IV-14. Gráfica Tensión vs. Velocidad de Pulso Ultrasónico con relación a cada ciclo de carga para sus respectivas proporciones de β . (Elaboración propia).....	38

I) CAPITULO: El problema.

I.1) Planteamiento del problema.

El concreto y sus materiales constituyentes para poder ser utilizados en la construcción de edificaciones deben pasar por una serie de ensayos que permitan determinar su resistencia, establecer una durabilidad deseable y evaluar su capacidad para comportarse satisfactoriamente frente a las acciones físicas agresivas a lo largo de la vida útil de la estructura.

Al respecto, Porrero, Ramos, Grases y Velasco (2012) expresan que existen dos fases para la evaluación del concreto colocado: primero durante su fase o etapa de construcción, que comprende la evaluación de la resistencia en compresión mediante el ensayo a los 28 días de edad de conformidad con la norma COVENIN 338; y segundo en estructuras ya existentes, en las cuales por diversas razones se hace necesario conocer su resistencia en sitio, sea mediante el análisis de fallas ocurridas en la fase de construcción, efectos derivados de sismos, incendios, evidencias de deterioro físico o químico, necesidad de cambiar el uso de la estructura originar y otros.

Para la evaluación de la calidad del concreto son aplicados comúnmente ensayos no destructivos por ser más económicos y no representar un daño para la estructura. Entre ellos se encuentran el de dureza esclerométrica, establecido con base al Índice Esclerométrico; y el de velocidad de pulso sónico definido según el lapso con que una onda atraviesa la masa de

concreto. Estos ensayos permiten determinar condiciones particulares del concreto sin afectarlo, con el fin de obtener un diagnóstico del mismo.

Ahora bien, dentro de los componentes del concreto, los agregados finos causan un efecto mayor en las proporciones de cemento en la mezcla, que el agregado grueso por contar con mayor superficie específica y de esta forma ejercen en el concreto una acción sobre su resistencia, porosidad, elasticidad, dureza, tamaño, textura, composición, constitución y las impurezas que pueda contener (Martínez y Torres, 2013).

Es por eso que en la presente serán aplicados los métodos no destructivos citados, con la finalidad de determinar cómo influye el contenido de los finos (relación β) en las propiedades de concreto evaluadas de forma indirecta, desde el punto de vista de homogeneidad superficial y homogeneidad de masa.

I.2) Antecedentes.

Dentro de las investigaciones realizadas previamente al Trabajo Especial de Grado aquí propuesto, se pueden citar:

- *“Conceptualización de patologías de sistemas estructurales de concreto armado y planteamiento de posibles soluciones: sistema de entrepiso de losa maciza”*. Larrain, K, 2010. Trabajo Especial de Grado para optar por el título de Ingeniero Civil. Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela.

Este trabajo tuvo como objetivo estudiar las fallas que puedan ocurrir en un sistema estructural de entrepiso de losa maciza de concreto armado, diseñando una metodología y un plan de ensayos para la evaluación de dichos daños.

- *“Resistencia a la compresión del concreto a partir de la velocidad de pulsos de ultrasonido”*. Céspedes, M. 2003. Tesis para optar por el título de Ingeniero Civil. Universidad de Piura, Perú. Obtenido el 4 de julio de 2015 en http://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1338/ICI_100.pdf?sequence=1.

El estudio tuvo como objetivo hallar correlaciones entre la resistencia a la compresión axial del concreto y la velocidad de pulsos ultrasónicos. Se concluye que existe una relación directa entre la compresión del concreto y la velocidad de pulsos ultrasónicos, obteniendo algunas correlaciones matemáticas las cuales dan valores próximos de resistencia a la compresión, más no valores exactos.

- *“Estudio del concreto sometido a fatiga de bajo ciclaje”*. Marañón I., Rodríguez L., 2015. Trabajo Especial de Grado para optar por el título de Ingeniero Civil. Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela.

Este trabajo tuvo como objetivo establecer condiciones de ensayos realizables en el laboratorio de Tecnología del Concreto de la Universidad Católica Andrés Bello, que permitan evaluar el comportamiento del concreto sometido a cargas axiales de bajo ciclaje.

I.3) Alcance y limitaciones.

Este Trabajo Especial de Grado se enfocará en determinar el nivel de influencia de la variación de la relación β (cociente entero entre el peso del fino y del agregado total, suma del grueso y el fino) en las propiedades mecánicas del concreto, determinadas de forma indirecta con base a la homogeneidad superficial establecida mediante el índice esclerométrico y la homogeneidad de masa según la velocidad de onda de ultrasonido.

Se trabajó con agregado proveniente de Premezclados Ávila, C.A. El agregado fino presentó un módulo de finura de 3,29. El agregado grueso contó con un tamaño máximo de 1” y módulo granulométrico 4,17. El cemento utilizado fue Cemento Portland tipo CPCA1, marca Corporación Socialista del Cemento.

Fueron realizadas probetas prismáticas, con secciones de 20cm x 20cm x 40cm; y probetas cilíndricas normalizadas, variando la dosificación de finos en cada probeta, específicamente con porcentajes de finos de 0%, 20%, 40%, 60%, 80% y 100% (2 muestras con cada dosificación, obteniendo un total de 12 muestras), con una carga máxima aplicada de 100 toneladas.

Luego fueron realizados ensayos de compresión axial a velocidad constante, y simultáneamente mediciones de dureza esclerométrica y de velocidad de onda sónica. Los resultados obtenidos están limitados a la calidad de los componentes a utilizar en la elaboración de las muestras así como también el proceso utilizado en dicha preparación.

I.4) Objetivos.

I.4.1) Objetivo General

Analizar el comportamiento de la homogeneidad del concreto estructural al ser sometido a tensiones de trabajo, con base a la variación del contenido de agregados finos.

I.4.2) Objetivos específicos

1. Establecer la relación entre la variación de proporción de finos (β) y el comportamiento mecánico del concreto estructural medido con base a las tensiones de trabajo.
 2. Determinar el comportamiento a nivel de homogeneidad superficial del concreto estructural sometido a distintas tensiones de trabajo con base a la variación en la proporción de finos (β).
 3. Determinar el comportamiento a nivel de homogeneidad en masa del concreto estructural sometido a distintas tensiones de trabajo con base a la variación en la proporción de finos (β).
-

II CAPITULO: Marco Teórico

El concreto en su creación se constituyó en una solución para la construcción económica y rápida de estructuras de envergadura y calidad, lo que sustituyó rápidamente a la piedra. El Concreto tuvo sus inicios en la segunda mitad del siglo XVIII, con las investigaciones de cales de John Smeaton y Joseph L. Vicat. A principios del siglo XIX se desarrolla el cemento portland y a comienzos del siglo XX se estudian y establecen la mayor parte de las relaciones que gobiernan el comportamiento del material. Su evolución y avance ha sido permanente, logrando importantes adelantos tecnológicos. (Porrero, Ramos, Grases, y Velazco, 2012).

Ahora bien, el concreto es un material que se puede considerar constituido en dos partes: una es un producto pastoso y moldeable, con la propiedad de endurecerse con el tiempo, y la otra son los trozos pétreos que quedan englobados en esa pasta. A su vez, la pasta está formada por agua y un producto aglomerante o conglomerante, llamado cemento. Además el concreto se puede reforzar a través de la colocación de barras de acero, dando origen al concreto armado o reforzado. (Porrero, 1987).

Por otra parte, el concreto también puede tener entre sus componentes aditivos o adiciones que en pequeñas cantidades son capaces de modificar de manera muy importante algunas propiedades del concreto.

Igualmente, el autor Alvarado (2001) plantea que el concreto es una mezcla de agregado y pasta. La pasta compuesta de cemento y portland, que une a los agregados (arena o piedra) para formar una masa semejante a una roca, pues la pasta se endurece debido a la reacción química entre el cemento y agua.

II.1) Agregados.

El concreto está constituido en un 80% de su peso por partículas de origen pétreo de diversos tamaños, denominados usualmente como agregados, áridos o inertes. Las características de estos materiales son decisivas para la calidad de la mezcla de concreto y suelen clasificarse según su tamaño, pueden ser agregado grueso o agregado fino.

II.1.1) Granulometría.

Se entiende por granulometría la composición del material en cuanto a la distribución del tamaño de los granos que lo integran, siendo la finalidad principal de una granulometría adecuada obtener mezclas trabajables y con pocos espacios entre los granos para que se requiera poca pasta (Porrero, Ramos, Grases, y Velazco, 2012). Al tener una granulometría adecuada, en la mezcla se logra obtener una matriz más compacta, con la menor cantidad de vacíos entre los agregados, teniendo como resultado una muestra más densa.

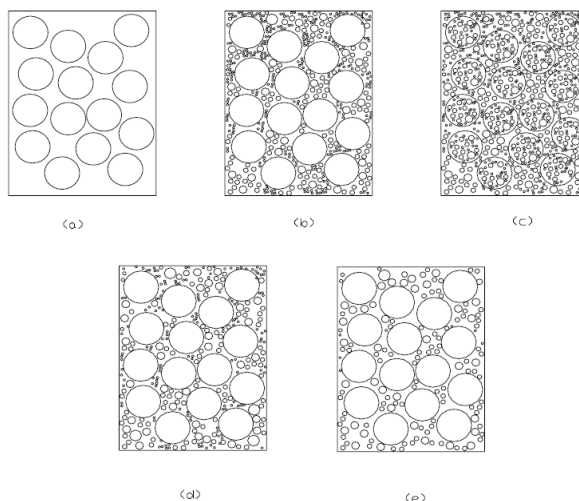


Figura II-1. Representación esquemática de la granulometría de los agregados: a) granulometría uniforme; b) granulometría continua; c) reemplazo de las partículas pequeñas por las más grandes; d) granulometría discontinua; e) granulometría sin finos. Fuente: Céspedes, M.. 2003.

II.1.2) Relación Beta (β).

Es la relación que existe entre el peso del agregado fino y el peso de agregado total:

$$\beta = 100 \times A / (A+G) (\%) \quad (1)$$

Donde:

- A: agregado fino.
- G: agregado grueso.

Según Porrero, Ramos, Grases, y Velazco (2012), una β hacia el lado de los finos, es decir una β con valor alto, produce concretos poco propensos a la segregación, apropiados para bombeo y colocación en sitios difíciles, pero de mayor costo por las mayores dosis de cemento que se requieren. Por el contrario, valores bajos de β dan concretos más económicos pero con posibilidad de segregarse.

La proporción de β óptimo es la que genera la menor cantidad de vacíos en la mezcla, es decir, la que garantice mayor densificación en la misma.

II.2) Evaluación del concreto

En algunos casos es necesario evaluar la calidad del concreto cuando ya está colocado y endurecido, la mayoría de estos casos suelen estar ligados a situaciones conflictivas, tal como vicios en la construcción, daños supuestos o por falta de información de sus características o condiciones.

Para estos casos, uno de los ensayos destructivos desde el punto de vista normativo es el de extracción de núcleos. Consiste en extraer probetas cilíndricas de la masa de concreto

endurecido mediante el uso de brocas tubulares de pared delgada, acopladas a un motor que las hace girar sobre su propio eje, siendo un procedimiento relativamente lento y costoso, por lo que en planificación de la investigación se debe procurar tomar el menor número posible de núcleos. (COVENIN 1976, 2003)

Dentro de este contexto, también han sido desarrollados otros ensayos que bien ejecutados e interpretados por especialistas permiten conocer la calidad del material con un alto grado de confianza. Así, los ensayos no destructivos surgen del interés de medir la calidad de los elementos de concreto, se fundamentan en la medición de propiedades específicas del concreto y su principal ventaja es que permiten estimar la calidad del concreto sin la necesidad de destruirlo, además de la facilidad de su aplicación y rápida obtención de información. Existen varios tipos, entre los más importantes se encuentran el ensayo de determinación de dureza esclerométrica y determinación de velocidad de propagación de onda sónica (COVENIN 1976, 2003).

El ensayo de determinación de velocidad de ondas ultrasónicas consiste en medir el tiempo que tarda un impulso ultrasónico en atravesar la masa de concreto, se mide el módulo de elasticidad dinámica del concreto el cual se relaciona con la resistencia mecánica del material (COVENIN 1976, 2003).

La técnica más común y confiable es la medición directa, la cual consiste en colocar el emisor y receptor enfrentados en dos caras opuestas del elemento a estudiar, ambos terminales deben establecer un buen contacto con la superficie de concreto, evitando vacíos intermedios en el cual la velocidad de propagación es muy baja. Ambos aparatos se encuentran conectados a un aparato que por interferencia electrónica, indica el tiempo de tránsito del pulso ultrasónico entre la salida y la llegada de la onda. Conocida la distancia entre ambos puntos de medición, se obtiene la velocidad característica del concreto en esa zona, a mayor velocidad, mayor módulo de elasticidad y mayor resistencia (COVENIN 1976, 2003).

Es importante destacar que para que los resultados del ensayo de la velocidad del pulso ultrasónico sean confiables el aparato de ensayo debe estar estrictamente calibrado y usarse en la correspondiente escala de apreciación. Además los terminales deben estar en perfecta oposición, para lograr eso es bueno mantener fijo un terminal y mover ligeramente el opuesto, hasta determinar la lectura mínima (COVENIN 1976, 2003).

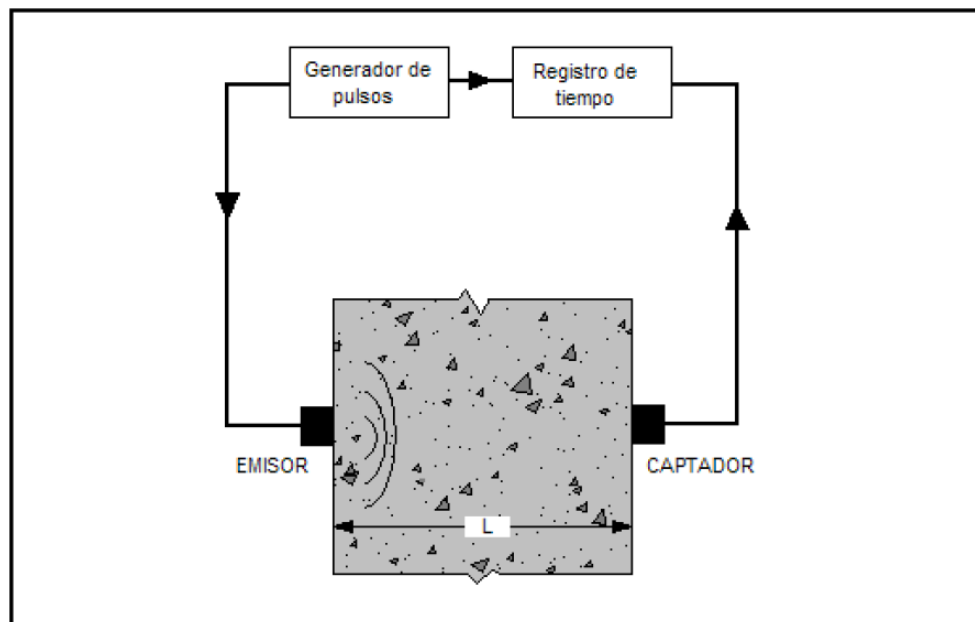


Figura II-2. Ensayo de Ultrasonido. Fuente: Larrain, K. (2010).

De la física de la propagación elástica de la onda, la velocidad del pulso es proporcional a la raíz cuadrada del módulo elástico e inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la densidad total del concreto. Si se asume que el módulo elástico del concreto es proporcional a la raíz cuadrada de la fuerza compresiva, según lo sugerido por ACI 138, después la velocidad del pulso es proporcional a la cuarta raíz de la fuerza compresiva. Esto significa que, para una mezcla de concreto dada, como los incrementos de la fuerza de compresión aumentan con la edad, hay un aumento proporcionalmente más pequeño en la velocidad del pulso. (Céspedes, M., 2003).

Generalmente la velocidad del pulso a través del agregado grueso es mayor que a través del mortero debido al grado de consolidación presente en los áridos, por tanto a mayor contenido de agregado grueso se obtienen mayores velocidades, sin que la resistencia varíe necesariamente.

Por otro lado, en el ensayo de determinación de dureza esclerométrica, el instrumento que se utiliza con mayor frecuencia es el esclerómetro o Martillo de Schmidt, el cual es un aparato que se encarga de medir la capacidad de rebote de cierta masa sobre la superficie del concreto, el golpe se produce al liberar la energía de un resorte que impulsa una masa metálica sobre el concreto, el rebote es medido en una escala graduada, lo que a mayor rebote mayor dureza superficial. El aparato debe colocarse siempre perpendicular a la superficie del concreto y presionarse firme y lentamente hasta lograr el disparo del resorte (COVENIN 1976, 2003).

El valor del rebote o rechazo, conocido como Índice Esclerométrico, está influido por varias circunstancias, entre ellas el ángulo que forma el aparato con la horizontal debido a la influencia de la aceleración de la gravedad; por ello el fabricante del equipo ha colocado en el aparato un gráfico con claras instrucciones para la corrección, incluyendo los casos de ejes inclinados.

Otras circunstancias que afectan la magnitud del rebote son de índole particular, como lo fortuito de aplicar el aparato sobre un punto donde se encuentra un poro importante de la masa, con lo cual el rebote dará un resultado poco representativo. O si el disparo es hecho en un punto inmediatamente encima de un grano grueso de piedra o de un refuerzo metálico con muy escaso recubrimiento; tampoco en esos casos el rebote será representativo.

Cuando el esclerómetro se usa sobre superficies de elementos de concreto que ya han cumplido una cierta edad expuestas al medio ambiente, se señala en los manuales de uso la

necesidad de raspar esa superficie con un esmeril, para eliminar en esa forma la “costra” que sobre el concreto se ha producido por el fenómeno de carbonatación.

El ensayo esclerométrico puede ser considerado como un valioso auxiliar dentro de un plan general de mediciones, pero en sí mismo no puede ser relacionado con la resistencia del concreto, por lo cual no se permitirá utilizar como único ensayo para evaluar cuantitativamente la calidad del concreto endurecido. Para ello se requeriría una minuciosa calibración por correlación contra el concreto que se desea evaluar, correlación no siempre fácil de lograr por las altas dispersiones que produce el esclerómetro.

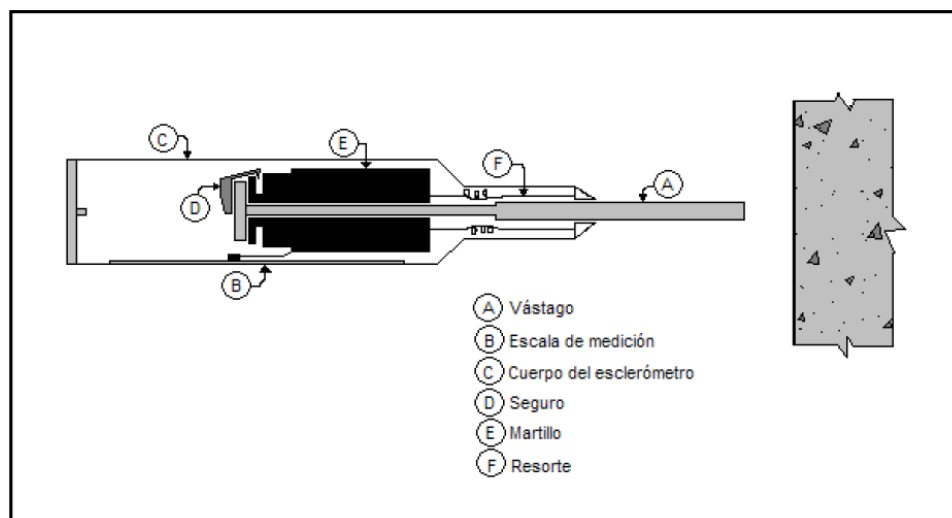


Figura II-3. Partes del Esclerómetro. Fuente: Larrain, K. (2010).

II.3) Comportamiento del concreto sometido a cargas.

El concreto para ser evaluado estructuralmente, es sometido a una serie de ensayos para determinar, entre otras cosas, su resistencia a la compresión. Es por esto que existen varios ensayos enfocados a caracterizar su comportamiento cuando el mismo es sometido a acciones de trabajo.

El estudio del comportamiento del concreto puede ser descrito mediante curvas esfuerzo – deformación de distintos especímenes ensayados bajo diferentes condiciones. El esfuerzo es la carga ejercida verticalmente sobre el espécimen dividido entre el área de contacto y la deformación es una medida que se obtiene por la acción de la carga sobre el elemento. (González Cuevas, Robles F.V., Casillas G. de L., & Diaz de Cossio, 1975).

Una de las propiedades más importantes del concreto, es su capacidad de deformación bajo tensiones de compresión (σ). Dicha capacidad se obtiene por medio de ensayos a la compresión, en los cuales se incrementa la tensión σ y se mide el cambio de longitud ΔL de una base de medición L_0 ; el cociente $\Delta L/L_0$ se designa como ε y se denomina deformación unitaria, en este caso por compresión. (Porrero, Ramos, Grases, y Velazco, 2012).

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

Como fue mencionada la grafica esfuerzo – deformación viene sujeta a la aplicación de una carga axial repartida uniformemente sobre dos caras del espécimen. Las distintas cargas ejercidas se dividen entre su área de contacto para determinar el esfuerzo ejercido. El valor de la deformación, viene dado por la relación entre el acortamiento que sufre la probeta, y la longitud de medición L . (Gonzalez Cuevas, Robles F.V., Casillas G. de L., & Diaz de Cossio, 1975).

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad (3)$$

En la curva esfuerzo-deformación, se puede apreciar que el concreto no es un material elástico y la parte inicial de su curva no es necesariamente recta. Sin embargo se puede considerar que su tramo inicial es recto hasta aproximadamente el 40% de la carga máxima, por lo cual se podría considerar que esta fracción de la curva es su recorrido elástico. (Gonzalez Cuevas, Robles F.V., Casillas G. de L., & Diaz de Cossio, 1975).

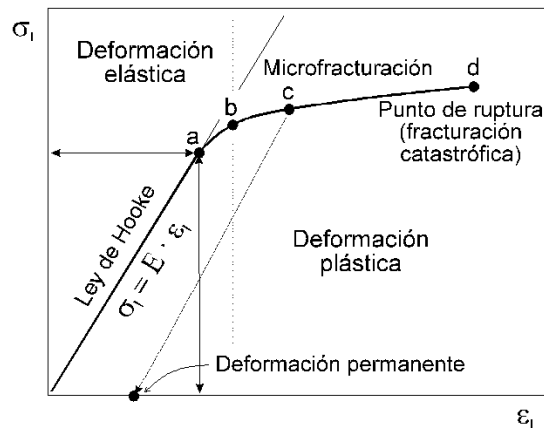


Figura II-4. Curva esfuerzo deformacion. Fuente: Granada, (2007)

Se han hecho diversos estudios sobre elementos de concreto sujeto a repeticiones de cargas. Cuando un espécimen pierde capacidad después de cierto número grande de repeticiones, se dice que presenta falla por fatiga. Este tipo de estudio puede simular vías de puentes, durmientes de ferrocarriles, cimentaciones de maquinaria, entre otros. (Gonzalez Cuevas, Robles F.V., Casillas G. de L., & Diaz de Cossio, 1975).

En estudios realizados por Park & Paulay (1988), muestran que las cargas repetidas a compresión de elevada intensidad producen un efecto pronunciado de histéresis en la curva esfuerzo-deformación. La siguiente figura de los datos de prueba obtenidos por Sinha, Gerstle y Tulin para tasas lentas de deformación. Estas pruebas, y las de Karsan y Jirsa indicaron que la curva envolvente era casi idéntica a la curva obtenida de una sola aplicación de carga:

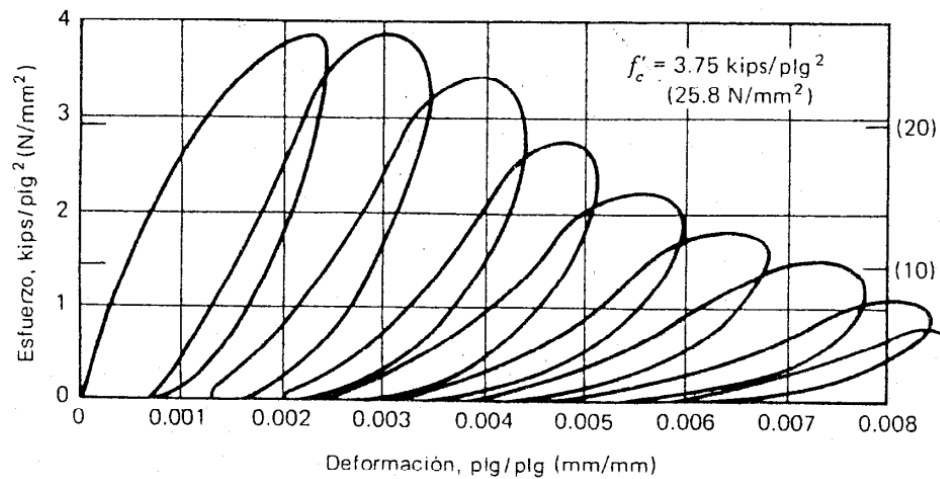


Figura II-5. Curva esfuerzo-deformación para cilindros de concreto con carga cíclica de compresión axial repetida de alta intensidad. Fuente: Park & Paulay,(1988).

En este tipo de estudios, las curvas características de fatiga del concreto se obtienen realizando una serie de ensayos, llevando los especímenes hasta su punto de falla, mediante la aplicación de distintos ciclos. Debido a esto, para obtener una curva adecuada esfuerzo contra número de ciclos, es necesario realizar una cantidad extensa de pruebas. (Marañón I., Rodríguez L., 2015).

III CAPITULO: Marco Metodológico.

III.1) Naturaleza de la investigación.

La metodología aplicada en el Trabajo Especial de Grado fue de tipo Experimental, ya que con el mismo se buscó relacionar una variable presente en la mezcla del concreto estructural (Homogeneidad) con base a la variación del contenido de finos, mediante una serie de ensayos controlados en laboratorio, y de esta manera determinar el nivel de influencia del contenido de finos en la homogeneidad superficial y de la masa del concreto.

III.2) Muestreo.

La población estuvo conformada por un total de 12 prismas de sección de 20cm x 20cm x 40cm de 0%, 20%, 40%, 60%, 80% y 100%, más 24 probetas cilíndricas de sección de 15 cm de diámetro x 30 cm de alto. Cada prisma presentó diferente resistencia a la ruptura, oscilando entre 146 Kg/cm² y 299 Kg/cm².

III.3) Recolección de datos.

Los datos fueron recolectados por medio de potenciómetros digitales a través del programa ANDISOFT. Los resultados obtenidos en los ensayos de determinación de dureza esclerométrica y velocidad de ondas sónica fueron registrados de forma manual.

III.4) Equipo de aplicación de carga.

Máquina de ensayo universal marca Baldwin (capacidad 100 toneladas) y el laboratorio de materiales UCAB.

III.5) Accesorios empleados en los ensayos.

- Potenciómetro Lineal marca REO Transducers.
- Accesorios de sujeción diseñados en previo Trabajo Especial de Grado.
- Equipo de medición de pulso ultrasónico marca PUNDIT.
- Esclerómetro o martillo de Schmidt.

III.6) Elementos a mantener constantes.

- Dosis de cemento.
- Asentamiento.
- Velocidad de aplicación de carga.

III.7) Variables en el ensayo.

Variables dependientes:

- Resistencias.
 - Índice Esclerométrico.
 - Velocidad de Pulso Sónico.
-

Variables independientes:

- Relación β .
- Tensión de trabajo.
- Resistencia media del Concreto.

III.8) Materiales Utilizados. Propiedades y características.

III.8.1 Concreto.

Proporción de materiales por m³:

- Cemento: 380 Kg.
- Arena: 990 kg.
- Humedad: 0% (muestra secada al horno).
- Densidad específica (condición saturada con superficie seca): 2,56 Kg/m³.
- Densidad específica: 2,52 Kg/m³.
- Absorción: 1.63%.
- Piedra: 773 kg.
- Humedad: 0% (muestra secada al horno).
- Densidad específica (condición saturada con superficie seca): 2,70
- Densidad específica: 2,68 Kg/m³.
- Absorción: 0,88%.
- Agua: 128 lts.

El cemento utilizado fue Cemento Portland tipo CPCA1. Marca Corporación Socialista del Cemento.

III.9) Diseño experimental.

Fue desarrollado un diseño experimental que permitiera evaluar y obtener correlaciones entre homogeneidad superficial y de masa, mediante ensayos de determinación de dureza esclerométrica y velocidad de propagación de ondas sónicas.

En principio, con el objetivo de determinar el rango de resistencia a las cuales estuvieron sometidas las muestras, fueron ensayados cilindros normalizados variando la proporción de finos (Relación β) específicamente con porcentajes de 0%, 20%, 40%, 60%, 80% y 100% (2 muestras con cada dosificación, obteniendo un total de 12 muestras).

Seguidamente fueron evaluados 8 prismas seleccionados como representativos, mediante un ensayo a compresión con velocidad de carga constante, a los cuales simultáneamente se les realizó ensayos para la determinación de dureza esclerométrica y velocidad de propagación de ondas sónicas. Previo a este procedimiento fue llevado a la rotura un cilindro normalizado por cada prisma, para estimar la carga teórica máxima que debería resistir el mismo.

III.10) Fases de la ejecución.



Figura III-1 FASES DE LA EJECUCIÓN. Fuente: *Elaboración Propia.*

III.11.1) Fase de Documentación y Planificación.

En esta fase se determinó el problema sobre el cual se basó la presente investigación, se establecieron los objetivos, alcances y limitaciones. A través de una documentación bibliográfica se realizó el marco teórico relacionado al tema del trabajo especial de grado.

En cuanto a la planificación de la investigación, se contemplaron varios puntos:

III.11.1.1) Ubicación del material para la mezcla.

Para la elaboración de las muestras fue necesario ubicar los componentes principales de la mezcla, los cuales son el cemento y los agregados. El cemento utilizado fue de tipo Portland CPCA1 proveniente de la “Corporación Socialista del Cemento”. En cuanto al agregado fue utilizado arena natural y piedra triturada proveniente de “Premezclado Ávila, C.A”

III.11.1.2) Verificación y adecuación del encofrado.

Para el vaciado de las muestras, fue utilizado un encofrado de madera cerrado en su parte inferior, previamente diseñado. El mismo presentaba ciertas irregularidades que debieron ser reparadas para así garantizar la verticalidad y perpendicularidad de los prismas.

Por último, para practicar el ensamblaje del encofrado, se colocó en el lugar destinado para vaciar, verificando los niveles y las medidas en cada sección de vaciado.

III.11.2) Fase de elaboración de probetas.

III.11.2.1) Mezcla y generación de probetas de concreto.

Para calcular la cantidad total de material y garantizar su correcta organización, fue necesario establecer las proporciones de cada uno de los componentes de la mezcla, mediante la dosificación antes expresada, tomando en cuenta la variación de la proporción de finos presente en cada uno de los prismas.

Para minimizar la cantidad de variables en la mezcla, se establecieron parámetros constantes para disminuir la dispersión en los resultados obtenidos, dichos parámetros son la dosis de cemento y el asentamiento.

Para garantizar que las variables en la mezcla no fueran alteradas, se adaptó un sistema mediante una lista de control asegurando así mantener condiciones similares entre un vaciado y otro.

III.11.2.2) Desencofrado y adecuación del mismo.

En el momento del desencofrado, se procedió de acuerdo al protocolo recomendado, se extrajeron las muestras y luego de su correcta identificación se colocaron en cámaras de curado con agua. Seguidamente se limpió y ensambló el encofrado, verificando parámetros de rigidez, verticalidad, perpendicularidad y tamaño de sección de prismas.

III.11.3) Ejecución de ensayos.

En esta fase fueron evaluadas las muestras prismáticas, objeto de la presente investigación.

En principio, con el objetivo de determinar el rango de resistencias a las cuales fueron sometidas las muestras, fueron evaluados en un ensayo de compresión axial cilindros normalizados con distinta relación β .

Como las muestras prismáticas iban a ser sometidas a un ensayo de compresión axial, fue necesario garantizar la perfecta verticalidad y perpendicularidad de las mismas. Es por esto que todos y cada uno de los elementos prismáticos a estudiar pasaron por un proceso de nivelación y pulido de las caras transversales, motivo por el cual se redujo la sección longitudinal de 40 cm a 39cm en todas las muestras.

Luego se procedió a ensayar las probetas prismáticas mediante un ensayo de compresión axial a velocidad constante. Antes de dicho ensayo fue necesario conocer la resistencia teórica de cada prisma, por lo que previamente fueron llevados a la rotura los cilindros testigos de cada prisma. Conociendo la resistencia teórica de falla de las muestras, se establecieron mediciones de Índice Esclerométrico y de Velocidad de Onda Sónica a distintos porcentajes de incremento de carga, para así evaluar el distinto comportamiento presentado en cada uno de los miembros en estudio.

Dado que el equipo de aplicación de carga cuenta con una capacidad máxima de 100 T, algunos prismas no pudieron ser llevados a la rotura, siendo el esfuerzo máximo que se pudo aplicar 216 Kg/cm². Por esta razón se tomó la decisión de someter a los prismas a procesos de cargas cíclicas, aplicando un total de 4 ciclos de carga por ensayo; para de esta manera determinar la evolución del comportamiento de las mediciones realizadas.

Se mantuvo la velocidad de carga constante a lo largo de todos los ensayos a manera de garantizar que este parámetro no afectara el comportamiento de la gráfica de Carga vs. Deformación, pudiendo perjudicar el proceso de captación y análisis de resultados. También antes de iniciar cada ensayo fue verificada la perpendicularidad y horizontalidad de los dispositivos de medición de deformaciones, garantizando a su vez que se mantuviera una distancia constante entre los apoyos del accesorio de sujeción y los sellos de anclajes que van adheridos a la muestra. Para lo último se empleó una barra calibrada con medida estándar.

En cuanto a las mediciones de Índice Esclerométrico, fue necesario garantizar el correcto seguimiento del procedimiento establecido en las normas: verificar la limpieza y uniformidad en la superficie, mantener la horizontalidad y perpendicularidad con respecto a la muestra, realizar mediciones en puntos alejados entre sí, entre otros; se siguió un patrón de aplicación de golpes a lo largo de toda la superficie del espécimen, con lo que se garantiza que los resultados arrojados sean representativos.

Para la realización de mediciones de Velocidad de Onda Sónica, también fue necesario hacer seguimiento del protocolo recomendado: limpiar las zonas por donde se transmitirá la onda sónica, untar los transductores con grasa o vaselina para garantizar un buen contacto con la superficie evitando vacíos intermedios, calibrar el aparato con un patrón de referencia, entre otros. Para tener una medición confiable, se realizó mediante el método de medición directa, el cual consiste en colocar el transmisor y el receptor enfrentados a dos caras opuestas; por lo que previamente se realizaron marcaciones de guía en las caras de la muestra.

III.11.4) Tratamiento de resultados, Análisis y Redacción del reporte final.

Para la interpretación y el análisis de resultados, fue necesario pasar por un proceso de filtrado, que consistió en establecer correlación entre las variables en estudio, para posteriormente con el apoyo de un experto, determinar los valores atípicos no necesarios para el estudio; de esta forma fueron establecidas tendencias suavizadas.

Finalmente se procedió a redactar el reporte escrito final, derivado de este trabajo de investigación, el cual resume todas las conclusiones alcanzadas en el desarrollo de este trabajo.

IV CAPITULO: Resultados y Análisis.

IV.1) Evaluación de la relación del contenido de finos (β) y la resistencia media a la compresión.

Inicialmente se llevaron a la rotura los cilindros testigos de cada una de las muestras con su respectiva relación β . Los resultados obtenidos son los siguientes:

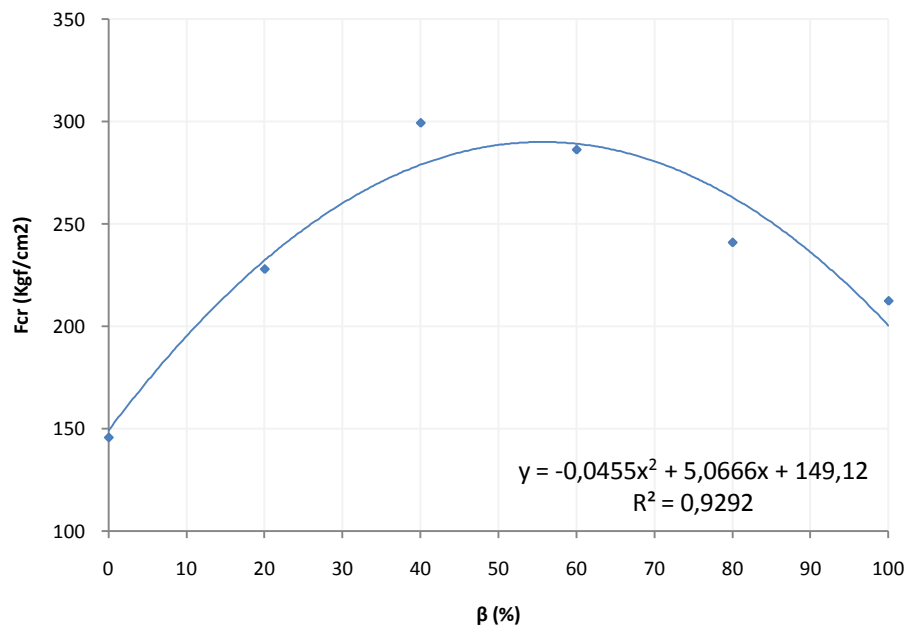


Figura IV-1. Gráfica Proporción β vs. Resistencia media a la compresión.

Fuente: Elaboración propia.

En esta gráfica se aprecia cómo varía la resistencia a compresión del concreto con base a la variación de contenido de finos. Inicialmente para $\beta = 0\%$ (solo agregado grueso), la resistencia a la compresión es baja. A medida que se incrementa el contenido de finos, la resistencia a la compresión también se incrementa, hasta llegar a un punto de resistencia máximo donde la relación β presenta su estado óptimo entre 40% y 60% (alrededor del 56%). Luego, a medida que se sigue incrementando la relación β , la resistencia comienza a disminuir gradualmente.

Este comportamiento se debe a que con una relación β óptima, los agregados presentan una granulometría más continua, ocupando mejor los espacios dentro de la mezcla y dando un mejor comportamiento mecánico al elemento. Al contrario, si se tiene una relación β de 0%, la mezcla presenta una cantidad considerable de vacíos internos haciendo menos eficiente la mezcla, y por consiguiente, obteniendo menor resistencia a la compresión. En el caso de $\beta = 100\%$, la capacidad disminuye debido a la ausencia del agregado grueso, el cual aporta una resistencia significativa al concreto.

IV.2) Evaluación de la relación entre la variación de β y el comportamiento mecánico del concreto estructural medido con base a las tensiones de trabajo.

Se realizó la evaluación del comportamiento de Esfuerzo-Deformación para ensayos monotónicos (la carga aumenta desde cero hasta la rotura a velocidad constante sin producirse descargas) y para ensayos con ciclaje pulsatorio constante (manteniendo el mismo recorrido de carga). En el primer caso (ensayos monotónicos) la carga aumentó en varios porcentajes de incrementos proporcionales a la carga de rotura del cilindro testigo (específicamente a 0%, 20%, 40%, 60%, 80% y 100% de la carga noval), puntos en los que la aplicación carga se hacía constante y se procedía a hacer las mediciones de Índice Esclerométrico y de Velocidad de Onda Sónica; luego de las mediciones se volvía a aplicar la carga de manera incremental hasta el próximo punto de medición o hasta la falla.

IV.2.1) Ensayos monotónicos.

Los prismas evaluados con base a ensayos monotónicos fueron los que correspondían a relaciones de β extremos: 0%, 20% y 100%. Estos prismas fueron los que arrojaron menor resistencia a la compresión (146 Kgf/cm², 124 Kgf/cm² y 212 Kgf/cm² respectivamente). En la siguiente figura se observa el comportamiento Esfuerzo – Deformación típico de una muestra de concreto sometido a un ensayo de compresión axial; en los anexos están incluidos todos los resultados.

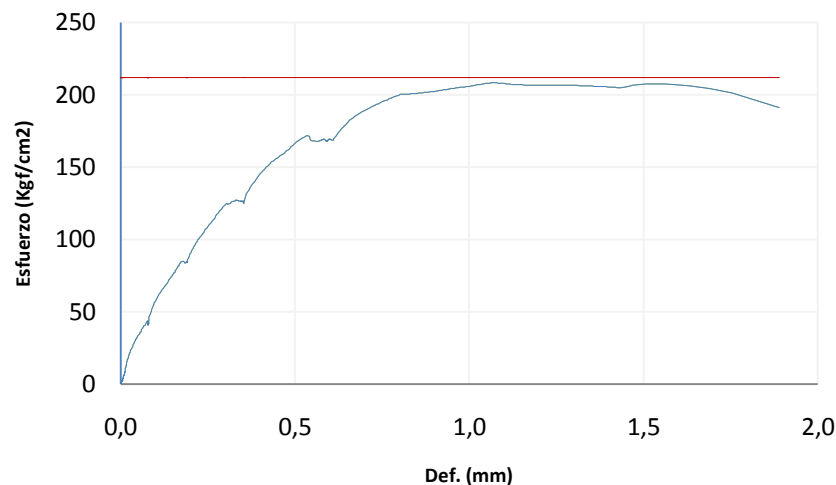


Figura IV-2. Gráfica Típica Esfuerzo-Deformación en ensayo monotónico. Prisma 11.1 ($\beta=100\%$).
Fuente: Elaboración propia.

A lo largo de la trayectoria de la curva se observan pequeñas discontinuidades, las cuales corresponden a puntos en los cuales se realizaron mediciones de índice esclerométrico y velocidad de onda sónica, puntos en los cuales la carga se hacía constante.

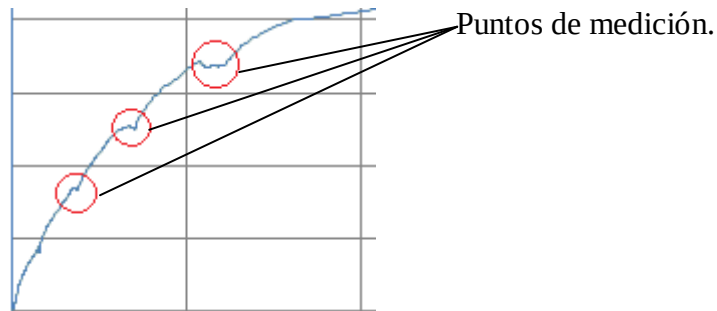


Figura IV-3. Esfuerzo-Deformación Prisma 11.1 ($\beta=100\%$).
Fuente: Elaboración propia.

IV.2.2) Ensayos con ciclaje pulsatorio constante.

Los ensayos con ciclaje pulsatorio constante fueron aplicados a los prismas que no llegaron a la rotura con la carga máxima de la máquina (relaciones β de 40%, 60% y 80%). En este caso se procedió igual que en el caso de ensayos monotónicos pero, al llegar a la máxima capacidad de carga de la máquina (86 T de carga tope), se descargaba hasta llegar a una carga base de un 20% de la carga de falla noval.

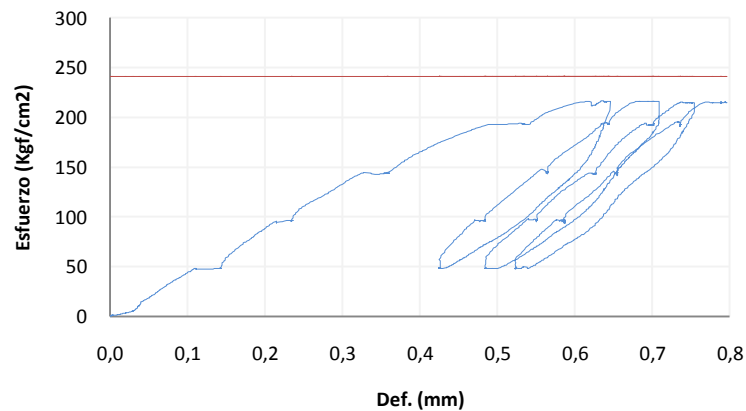


Figura IV-4. Gráfica Típica Esfuerzo-Deformación en ensayo con ciclaje pulsatorio constante. Prisma 9.1 ($\beta=80\%$). Fuente: Elaboración propia.

Al igual que el caso anterior, se observan discontinuidades a lo largo de la trayectoria de la curva por el mismo motivo expuesto. En el primer ciclo de carga y descarga se logra observar

una deformación plástica no recuperable de gran amplitud, debido a que se está cargando al elemento en casi un 90% de su carga máxima teórica. En los siguientes ciclos, los cuales se encuentran limitados por una carga base y una carga tope, las deformaciones van disminuyendo a medida que los ciclos de carga incrementan.

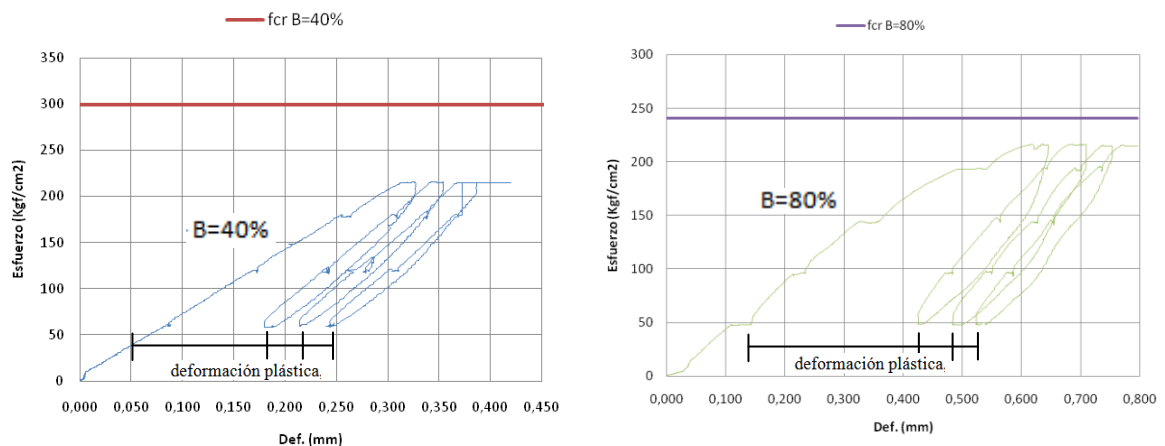


Figura IV-5. Gráfica Típica Esfuerzo-Deformación en ensayo con ciclaje pulsatorio constante. Prisma 5.1 ($\beta=40\%$) y Prisma 9.1 ($\beta=80\%$). Fuente: Elaboración propia.

A medida que se incrementa la relación β , se observa que las graficas Esfuerzo – Deformación presentan la misma tendencia en cuanto a la deformación plástica, por lo que se puede afirmar que a pesar de la variación del contenido de finos, esta tendencia se mantiene.

IV.3) Evaluación del comportamiento a nivel de homogeneidad superficial del concreto estructural sometido a distintas tensiones de trabajo con base a la variación en proporción de finos (β).

Como fue explicado, durante el ensayo de compresión axial al que fueron sometidos los prismas, fueron realizadas mediciones del índice de dureza esclerométrica. A continuación se presentan las gráficas producto de dichas mediciones:

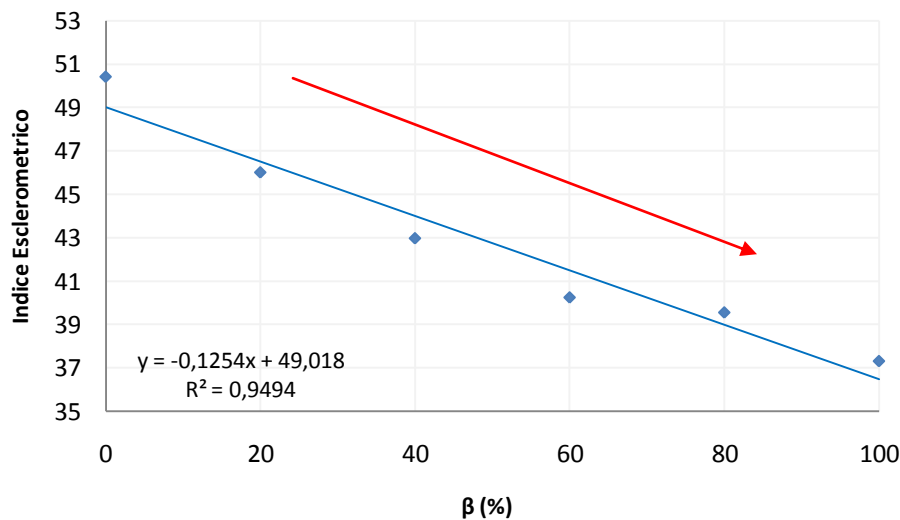


Figura IV-6. Gráfica Relación β vs. Media de Índices Esclerométricos (Ciclo 0). Fuente: Elaboración propia.

A medida que incrementa la relación β , el índice esclerométrico disminuye. Dicho comportamiento se debe a que con una relación β baja se tiene agregado más grueso en la mezcla, por lo que los resultados de índice esclerométrico se ven influenciados por la dureza de dichos agregados, que en su mayoría son trozos pétreos. Por el contrario, para $\beta=100\%$ la dureza esclerométrica es menor debido a que al tratarse de un mortero la arena funciona como un agente disipador de energía, absorbiendo el golpe generado por el esclerómetro.

En la siguiente gráfica se observa que a pesar que para un $\beta = 0\%$ se obtiene un índice esclerométrico elevado no significa que la muestra tenga mayor resistencia a la compresión, permitiendo observar que la dureza superficial se ve afectada por el agregado grueso.

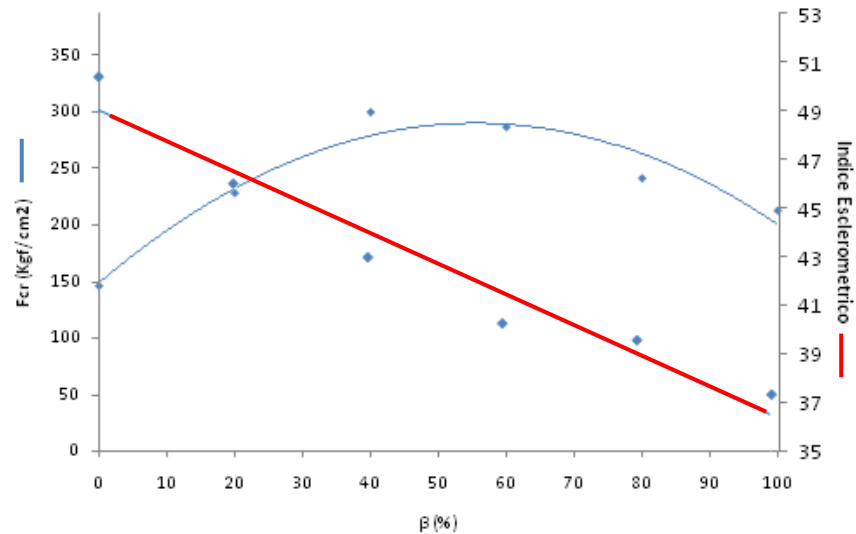


Figura IV-7. Gráfica comparativa entre Índice Esclerométrico y Resistencia media a la compresión con respecto a la variación de β . Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en la figura IV-8 se muestra como varía el índice esclerométrico en función a la tensión aplicada para cada proporción de β :

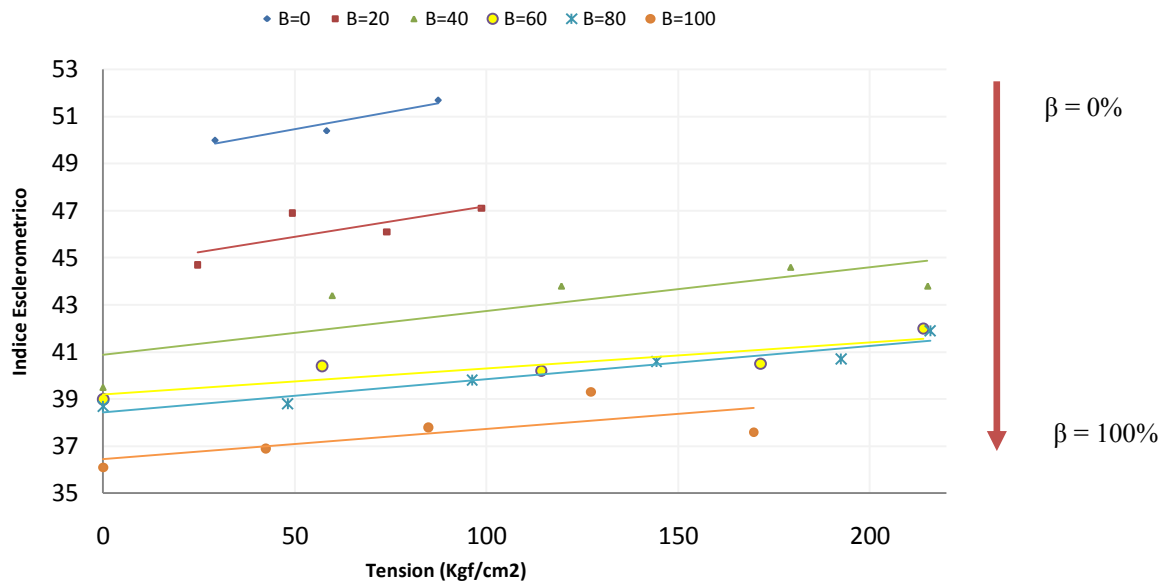


Figura IV-8. Gráfica Tensión vs. Índice Esclerométrico para cada variación de β (Ciclo 0). Fuente: Elaboración propia.

Se observa que para cada relación β , a medida que la tensión aplicada se incrementa, el índice esclerométrico aumenta. Este comportamiento corresponde a que al incrementar la tensión aplicada, las muestras presentan expansión transversal, lo que genera un incremento de tensión superficial por lo que la dureza superficial aumenta. Dicho comportamiento se repite a lo largo de la variación de la relación β con pendientes muy similares, por lo que se puede decir que el incremento del índice de rebote aumenta de forma proporcional a la tensión aplicada independientemente del incremento del contenido de finos.

Con relación a los prismas ensayados bajo ciclaje pulsatorio constante (prismas con relación $\beta = 40\%$, 60% y 80%), fueron obtenidas las siguientes gráficas:

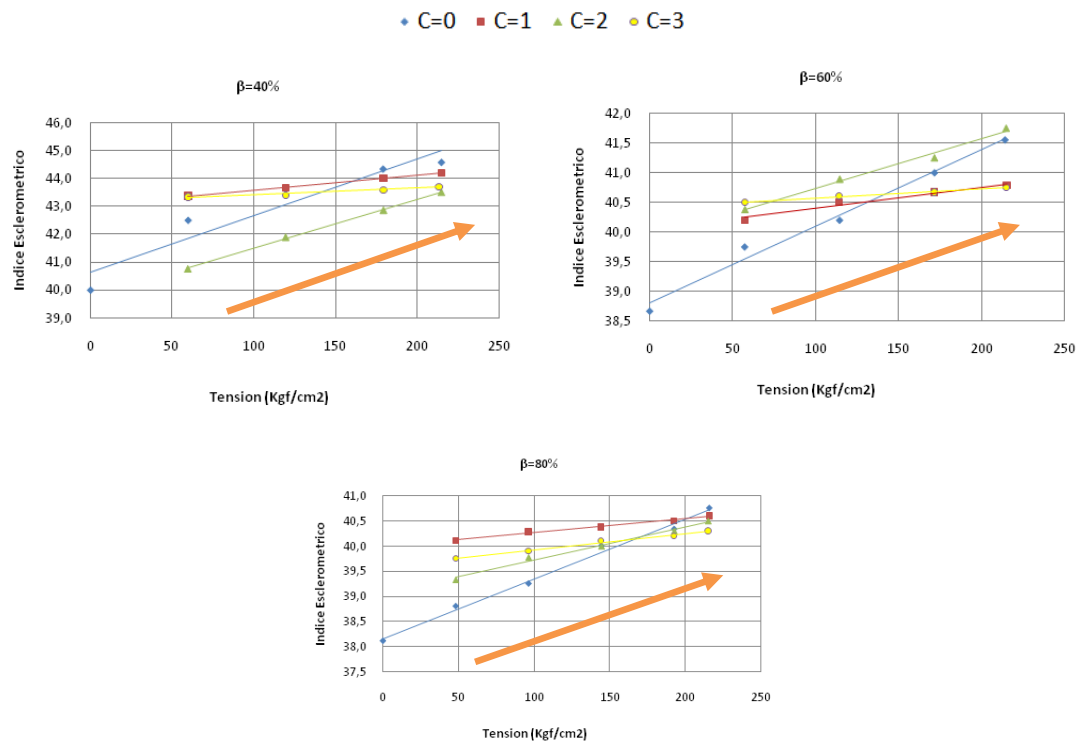


Figura IV-9. Gráficas Tensión vs. Índices Esclerométricos con relación a cada ciclo de carga para sus respectivas proporciones de β . Fuente: Elaboración propia.

Se observa que para todas las relaciones de β se presenta el mismo comportamiento (representado con la flecha) a lo largo de la aplicación de los ciclos de carga: a medida que se incrementa la tensión aplicada, el índice esclerométrico es mayor. Por otra parte se tiene que las pendientes según los ciclos de cargas se aprecia el siguiente comportamiento: en el primer y el tercer ciclo de carga las pendientes son muy similares, sin embargo en el segundo ciclo de carga se observa dispersión (en $\beta=40\%$ y $\beta=80\%$ disminuye; en $\beta=60\%$ aumenta). Esto se puede asociar con base a que las partículas presentan un reacomodo interno en función al ciclo de carga aplicado. Es posible asumir que para diferentes variaciones de β , la tendencia de incremento del índice esclerométrico con respecto al incremento de tensión aplicada se mantiene. (Las gráficas originales con la escala adecuada se muestran en los anexos).

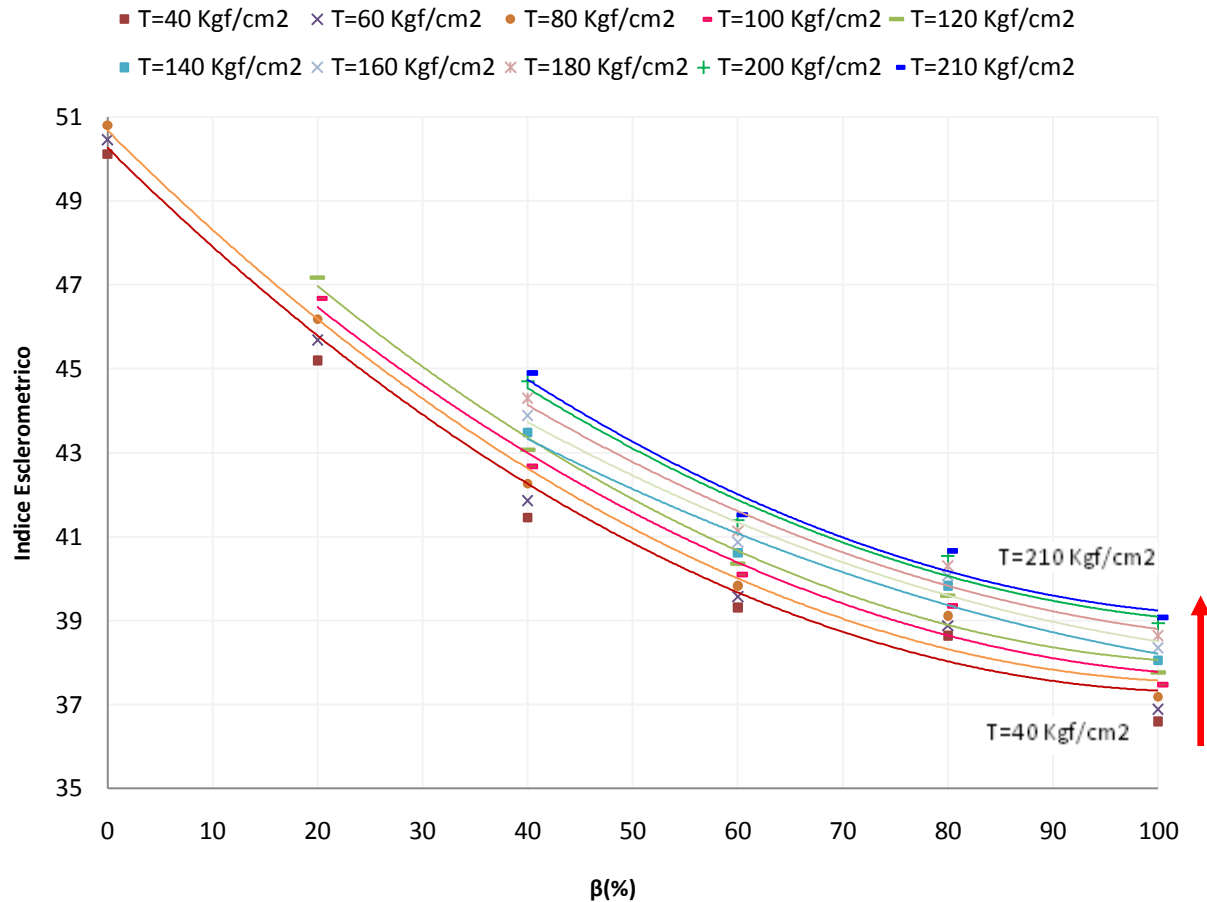


Figura IV-10. Gráfica Contenido de finos vs. Índice Esclerométrico para tensiones constantes (Ciclo 0). Fuente: Elaboración propia.

En la figura se aprecia el comportamiento del índice esclerométrico con base a la variación del contenido de finos para tensiones constantes, mostrando una vez más no sólo el incremento de dureza superficial proporcional al incremento de tensiones aplicadas, sino también la tendencia con la que varía dicho valor con respecto al contenido de finos en la mezcla. Se puede decir que para un mismo índice esclerométrico se pueden asociar distintas tensiones de trabajo relacionadas con la proporción de finos presentes en el concreto.

IV.4) Evaluación del comportamiento a nivel de homogeneidad en masa del concreto estructural sometido a distintas tensiones de trabajo con base a la variación en la proporción de finos (β).

Para el análisis de influencia de la variación de la relación β con base a la velocidad de pulso sónico, se decidió omitir los resultados para la relación $\beta=0\%$, ya que ésta, por la cantidad de vacíos internos presentes en la muestra, produce mucha dispersión en los resultados. En los anexos se muestran las gráficas con todos los valores obtenidos.

En cuanto a las mediciones de velocidad de pulso sónico, se obtuvo los siguientes resultados:

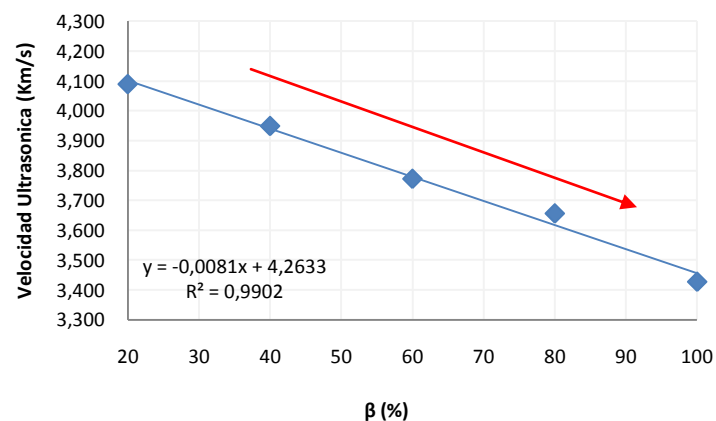


Figura IV-11. Gráfica Relación β vs. Media de Velocidades de Onda Sónica (Ciclo 0).
Fuente: Elaboración propia.

La gráfica mostrada permite apreciar como a medida que se incrementa la cantidad de finos en la muestra, la velocidad sónica tiende a disminuir. Este comportamiento se explica con base a que el tiempo de recorrido del pulso a través del mortero se hace más largo, por tanto a menor β mayor será la velocidad, tendencia que no se relaciona con cambios en resistencia: en el caso de $\beta = 0\%$, esta tendencia se ve afectada por la cantidad de vacíos internos en la matriz de concreto. En la siguiente figura se hace énfasis en dicho comportamiento:

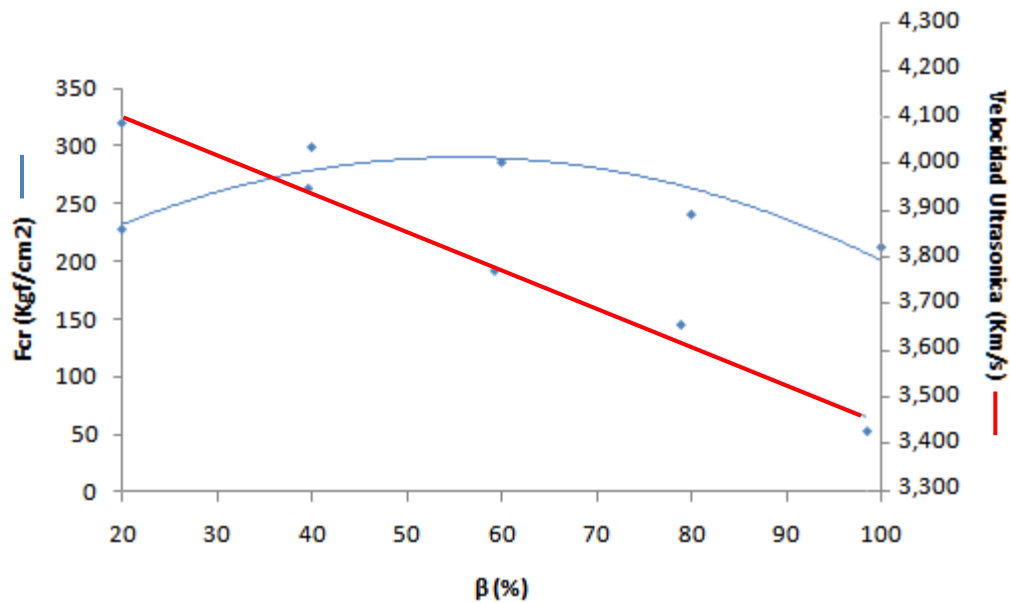


Figura IV-12. Gráfica comparativa entre Velocidad de pulso Sónico y Resistencia media a la compresión con respecto a la variación de β . Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia que para contenidos de finos menores a $\beta = 40\%$ la velocidad de pulso sónico es mayor que para la relación de β óptima (entre 40% y 60%) mostrando así que en este caso una mayor velocidad ultrasónica no necesariamente significa mayor resistencia a la compresión. Para este estudio, se puede decir que la velocidad de pulso sónico comienza a tener validez para mezclas con un β mayor al 40%.

A continuación, en la figura IV-13 se muestra como varía la velocidad de onda sónica en función a la tensión aplicada para cada proporción de β :

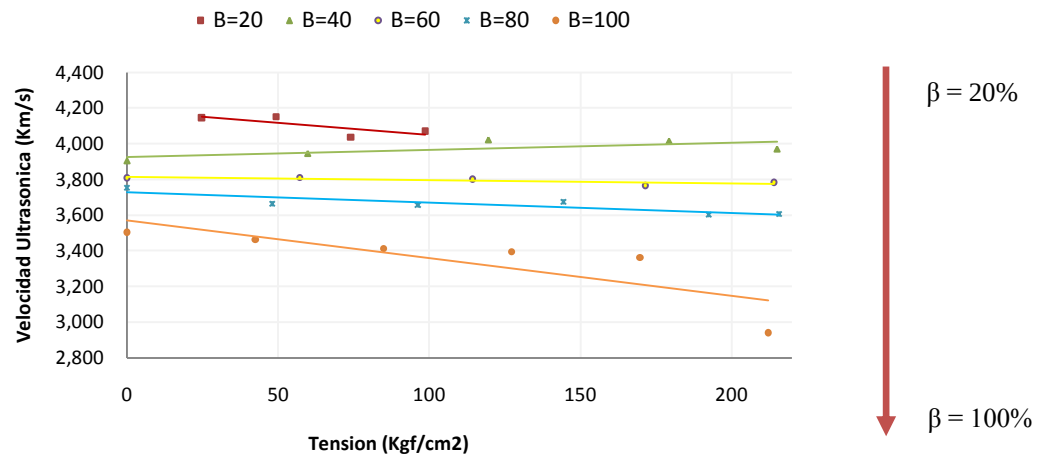


Figura IV-13. Gráfica de Resultados. Tensión vs. Velocidad de Pulso Sónico (Ciclo 0).
Fuente: Elaboración propia.

En esta gráfica se aprecia que para las proporciones de $\beta = 20\%$, 60% , 80% y 100% , a medida que la tensión aplicada sobre el prisma aumenta, la velocidad de onda sónica tiende disminuir. Esto se explica con base al criterio de que el prisma al recibir tensiones de compresión grandes (cercanas a la rotura) no sólo se expande transversalmente, sino que también se producen cambios en su estructura interna generando micro-vacios, fenómeno conocido como pseudo microfisuración del concreto.

No es el caso de la proporción $\beta = 40\%$, la cual a medida que la carga aplicada se incrementa, la velocidad de pulso ultrasónico presenta un leve incremento. Esto se puede explicar con base a que para $\beta = 40\%$ estamos alrededor de la proporción óptima de finos en la muestra, lo que significa que la muestra posee mayor capacidad de resistencia a la compresión. A diferencia de las otras proporciones, la tensión de compresión aplicada no es tan cercana a la carga de rotura; por lo que se puede asumir que al contrario de generarse microfisuración del concreto, se genera un reacomodo de partículas en su estructura interna, aumentando así la velocidad de pulso ultrasónico y por consiguiente aumentando un poco su resistencia.

Con relación a los prismas ensayados bajo ciclaje pulsatorio constante (prismas con relación $\beta = 40\%$, 60% y 80%), se obtuvo las siguientes gráficas:

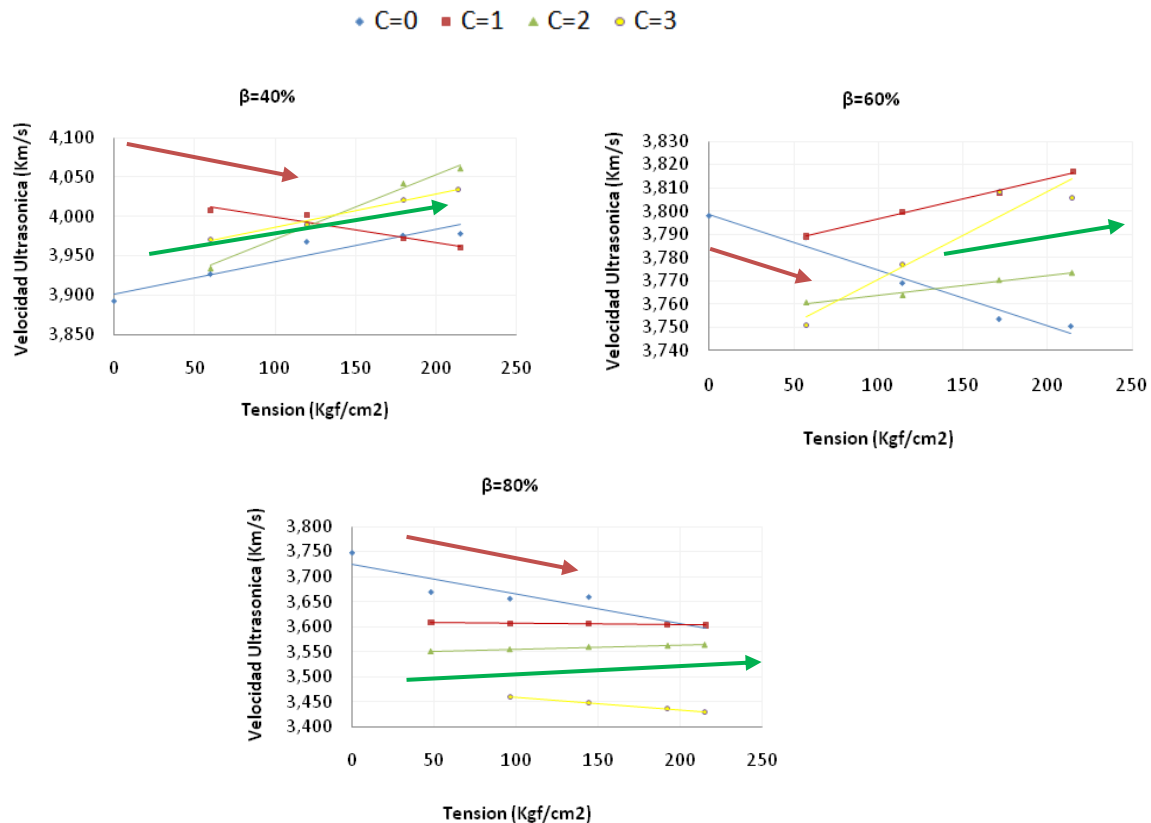


Figura IV-14. Gráfica Tensión vs. Velocidad de Pulso Ultrasonico con relación a cada ciclo de carga para sus respectivas proporciones de β . Fuente: Elaboración propia.

En los resultados presentados en las gráficas anteriores, se observa que entre el ciclo 0 y el ciclo 1 de aplicación de carga existe una tendencia de disminución de velocidad de pulso sónico proporcionalmente al incremento de carga (para $\beta = 40\%$ ocurre en el segundo ciclo; para $\beta = 60\%$ y $\beta = 80\%$ ocurre en el primer ciclo), la cual puede asociarse a la aparición de pseudo microfisuras en el concreto. Luego, para los siguientes ciclos de carga se aprecia un incremento de velocidad ultrasónica a medida que la tensión aplicada aumenta. Este

comportamiento coincide con lo establecido por Paparoni en su trabajo *"Funciones de daño para concreto sometido a fatiga de bajo ciclaje"* (1969), en el cual indica que dependiendo del número de aplicaciones de cargas, el concreto puede presentar un aumento de resistencia de hasta un 10%, esto debido a un efecto de "compactación" del concreto producto del cierre de microfisuras del concreto dañado (se produce un reacomodo en la masa del concreto). También establece que para cada nivel de carga existe un número de repeticiones límite hasta el cual crece la resistencia del concreto por efecto de las repeticiones de carga.

Aún cuando la tendencia parece repetirse a medida que se varía la proporción β , en el caso de $\beta = 80\%$ existe una leve disminución en la velocidad ultrasónica proporcional a la tensión aplicada. A excepción de este caso, puede decirse que para diferentes variaciones de β , la tendencia de incremento del índice esclerométrico con respecto al incremento de tensión aplicada se mantiene. Hacen falta mediciones destinadas a verificar dicha tendencia para tener resultados más representativos. (Las gráficas originales con la escala adecuada se muestran en los anexos).

V CAPITULO: Conclusiones

Fue realizado el análisis de la influencia del contenido de agregados finos (relación β) sobre la homogeneidad superficial y homogeneidad de masa del concreto, mediante ensayos de compresión axial a velocidad constante. Simultáneamente, fueron realizadas mediciones de índice esclerométrico y velocidad de pulso sónico. A continuación se exponen las conclusiones de los resultados obtenidos:

La evaluación de la proporción de contenido de finos con respecto a la resistencia media a la compresión, demostró que para la dosificación utilizada, se encontró una proporción de β óptima entre el 40% y el 60%, en la cual los agregados presentan una granulometría más continua, ocupando mejor los espacios dentro de la mezcla lo que proporciona un mejor comportamiento mecánico. Para los valores extremos las resistencias a la compresión son menores: en $\beta=0\%$ debido a la cantidad de vacíos presentes en la muestra, y en $\beta=100\%$ gracias a la falta de agregado grueso que aporte resistencia por la unión de éste con la pasta.

Por otra parte, en la evaluación de la relación entre el contenido de finos en la mezcla (β) y el comportamiento mecánico del concreto estructural medido con base a las tensiones de trabajo, se observó que en el primer recorrido de carga se obtiene una amplia deformación plástica debido a que se lleva la carga al 70 – 90% de su carga nominal. En los siguientes ciclos, los cuales se encuentran limitados por una carga base y una carga tope, las deformaciones plásticas van disminuyendo a medida que se incrementan las repeticiones de cargas, coincidiendo con lo presentado en el estudio de Rodríguez, L. y Marañón, I. (2015).

En cuanto a la relación entre la homogeneidad superficial del concreto estructural sometido a distintas tensiones de trabajo con base a la variación en proporción de β , se demostró que a

medida que aumentan los finos en la mezcla, el índice esclerométrico disminuye: con una relación β baja se tiene más agregado grueso en la mezcla, por lo que los resultados de índice esclerométrico se ven influenciados por dichos agregados, que en su mayoría son trozos pétreos. Por el contrario, para $\beta=100\%$ la dureza esclerométrica es menor debido a que al tratarse de un mortero la arena funciona como un agente disipador de energía, absorbiendo el golpe generado por el esclerómetro.

También se demostró que la dureza esclerométrica aumenta proporcionalmente al incremento de tensión de trabajo, tendencia que se mantiene al variar el contenido de finos en la mezcla. Dicho incremento responde a que el concreto al ser sometido a compresión, presenta expansión transversal produciendo un incremento en la tensión superficial generando mayor dureza superficial. Este comportamiento también fue observado en los ensayos de ciclaje pulsatorio constante, donde el índice esclerométrico mantuvo la tendencia a aumentar proporcional a la tensión aplicada a lo largo de las repeticiones de carga.

Para el caso de la evaluación del comportamiento a nivel de homogeneidad de masa del concreto estructural bajo distintas tensiones de trabajo con base a la variación en la proporción de finos (β), se demostró que a medida que aumentan los finos en la mezcla, la velocidad de pulso sónico disminuye. Este comportamiento corresponde a que el tiempo de recorrido de la onda sónica a través del mortero es mayor, por lo que a menor β mayor será la velocidad ultrasónica. También se observó que para proporciones de β menores al 40%, la velocidad del pulso sónico se incrementa, lo que no corresponde con un aumento de resistencia a la compresión, sino a mayor densidad aportada por el agregado grueso; determinando así que para esta dosificación la homogeneidad de masa medida con base a la velocidad de la onda sónica comienza a tener validez para mezclas con un β mayor al 40%.

Se determinó también que con el incremento de tensión de trabajo, la velocidad sónica tiende a disminuir. Esto se explica con base al criterio de que el concreto al recibir tensiones

de compresión significativas, no sólo se expande transversalmente, sino que también se producen cambios en su estructura interna generando micro-vacios, fenómeno conocido como pseudo microfisuración del concreto.

También se observó que en algunos casos ($\beta=40\%$ específicamente), la velocidad sónica se incrementó proporcionalmente al incremento de la tensión de trabajo, esto también se explica con base a la presencia de cambios en la estructura interna del concreto (reacomodo). Se puede decir que la variación de la homogeneidad de masa del concreto medida con base a la velocidad de pulso sónico va a depender de si la tensión de trabajo está muy cercana (caso de microfisuración) o lejana (caso de reacomodo y densificación) de la carga noval.

En el caso de la evaluación de la homogeneidad de masa con base a ensayos bajo ciclaje pulsatorio incremental, se determinó que en los primeros ciclos de carga la velocidad ultrasónica tiende a disminuir a medida que se incrementa la tensión de trabajo, debido a la aparición de microfisuras en el concreto. En los siguientes ciclos la velocidad del pulso sónico se incrementa proporcionalmente al incremento de tensiones de trabajo gracias a un efecto de “compactación” en la estructura interna del concreto por acción de la repetición de las cargas, con las cuales se aumenta la resistencia a la compresión; coincidiendo así con los estudios realizados por Paparoni (1969).

Cuando son realizadas evaluaciones patológicas con base a homogeneidad de masa y superficial, hay que tomar en cuenta la proporción de finos presentes en el concreto, ya que se demostró que este parámetro influye en la determinación de la resistencia del mismo.

VI CAPITULO: Recomendaciones.

Las tensiones máximas de trabajo a las cuales fueron ensayados los prismas fue de 216 Kgf/cm², motivo por el cual no se pudieron llevar a la falla las muestras. En tal sentido se recomienda realizar ensayos para tensiones de trabajo superiores a las requeridas para concreto estructural, para de esta manera evaluar su comportamiento.

Para futuras investigaciones, es necesario tomar en cuenta las deformación horizontal de las muestras para de esta manera relacionar el comportamiento mecánico del concreto con el variación volumétrica, ya que, según la literatura, con este parámetro se obtienen menores dispersiones que con el módulo de Poisson. (Paparoni, 1969).

Repetir el estudio considerando extracción de núcleos a los miembros, para de esta manera poder relacionar y comparar con los resultados obtenidos y así obtener correlaciones más precisas.

Realizar ensayos bajo ciclaje pulsatorio constante con un mayor número de ciclos, para poder verificar que las tendencias obtenidas se mantienen para concreto sometido a fatiga de bajo ciclaje.

Es necesario cambiar el enfoque en las evaluaciones patológicas, ya que los resultados de dureza esclerométrica y velocidad de onda sónica no son suficientes para determinar la resistencia del concreto in situ, sino que además se debe correlacionar estas variables con la proporción β y las tensiones de trabajo para tener más precisión.

BIBLIOGRAFIA

I. Normas.

- COVENIN 1753:2003. *"Proyecto y diseño de obras en concreto estructural."*
 - COVENIN 1976:2003. *"Concreto. Evaluación y métodos de ensayo. (3^{ra} Revisión).*
 - COVENIN 345:2005. *"Método para la extracción y ensayo de núcleos y viguetas". (1^{ra} Revisión).*
 - COVENIN 345:80. *"Método para la extracción de probetas cilíndricas y viguetas de concreto endurecido."*
 - COVENIN 338:2002. *"Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto." (2^{da} Revisión).*
 - COVENIN 1609-80. *"Método de ensayo para la determinación de la dureza esclerométrica en superficies de concreto endurecidas."*
 - COVENIN 1681-80. *"Método de ensayo para determinar la velocidad de propagación de ondas en el concreto."*
-

II. Libros Consultados.

- Porrero, J.; Ramos, C.; Grases, J.; Velazco, G. (Febrero 2012). *Manual del Concreto Estructural*. 4^{ta} Edición. Miguel Ángel Álvarez. Caracas, Venezuela.
- Gonzales Cuevas, O. M., Robles F. V., F., Casillas G. de L., J., & Diaz de Cossio, R. (1975). *Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado*. Editorial Limusa, S.A. México. (págs. 21-23; 32).
- Park, R., & Paulay, T. (1988). *Estructuras de Concreto Reforzado*. Editorial Limusa, S.A. México.

III. Publicaciones.

- IMME. (1969). *IMME Boletín Técnico*. Caracas, Venegrafica, C.A.
 - Marañón, I., Rodríguez, L., (2015). *Estudio del Concreto Sometido a Fatiga de Bajo Ciclaje*. Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela.
 - Larraín, K, (2010). *Conceptualización de patologías de sistemas estructurales de concreto armado y planteamiento de posibles soluciones: sistema de entrepiso de losa maciza*. Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela.
-

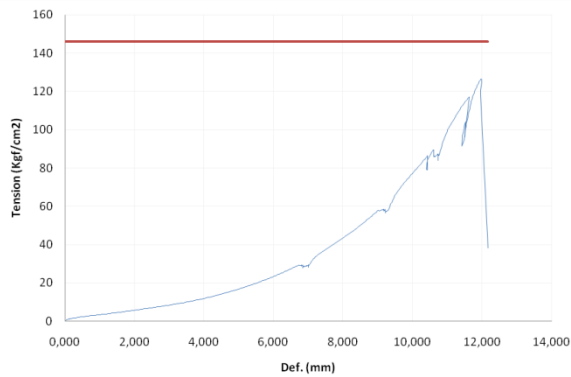
IV. Páginas de Internet.

- Granada. U. d. (16 de septiembre de 2007). www.ugr.es. Obtenido el 15 de agosto de 2015, de <http://www.ugr.es/~agcasco/personal/restauracion/teoria/TEMA05.htm>
 - IMME. (s.f.). *Biblioimme*. Obtenido el 03 de agosto de 2015 de <http://biblioimme.ing.ucv.ve/>
 - Céspedes, M., (2003). *Resistencia a la compresión del concreto a partir de la velocidad de pulsos de ultrasonido*. Universidad de Piura, Perú. Obtenido el 4 de julio de 2015 en http://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1338/ICI_100.pdf?sequence=1.
-

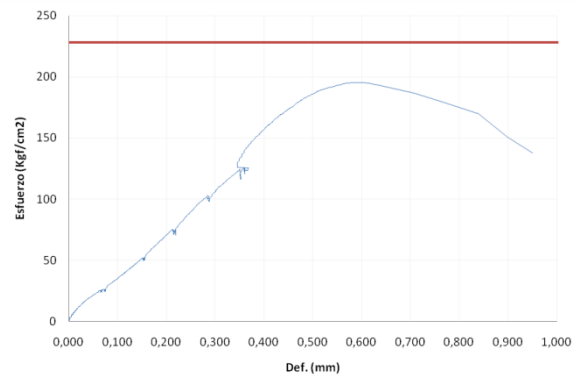
ANEXOS

En el trabajo realizado fueron obtenidos resultados que permitieron llegar a las conclusiones del mismo.

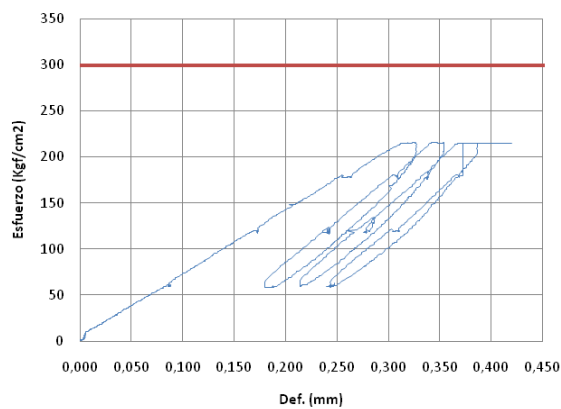
A continuación se muestran una serie de graficas que permiten visualizar el comportamiento Esfuerzo-Deformación obtenido para cada elemento:



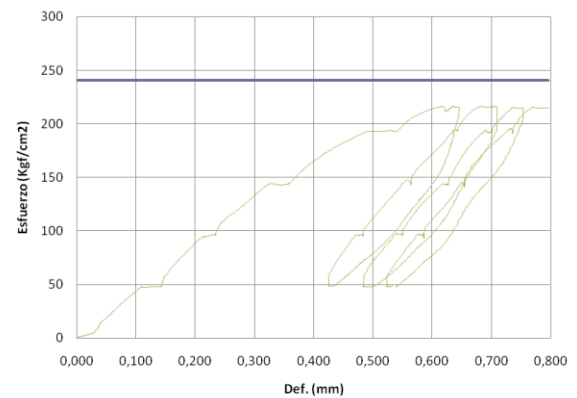
Prisma 1.1 $\beta=0\%$



Prisma 4.1 $\beta=20\%$

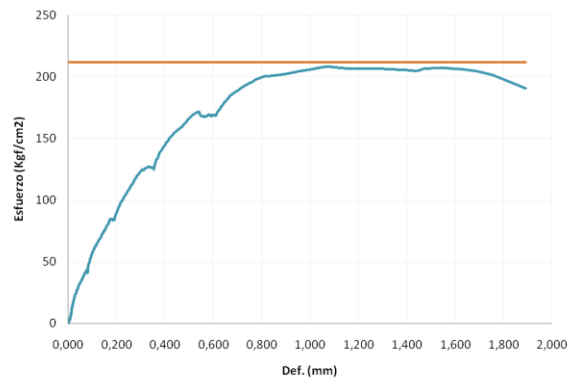


Prisma 5.1 $\beta=40\%$



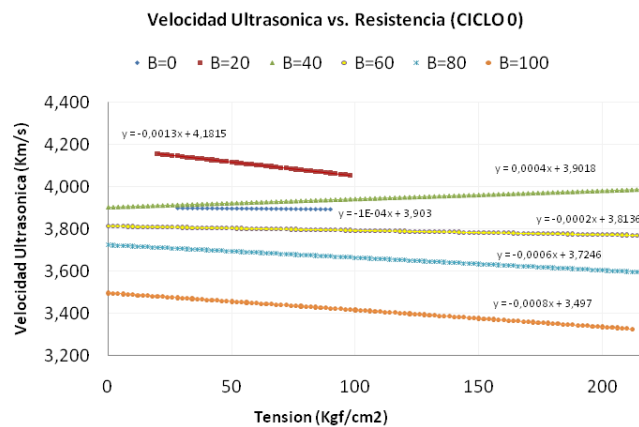
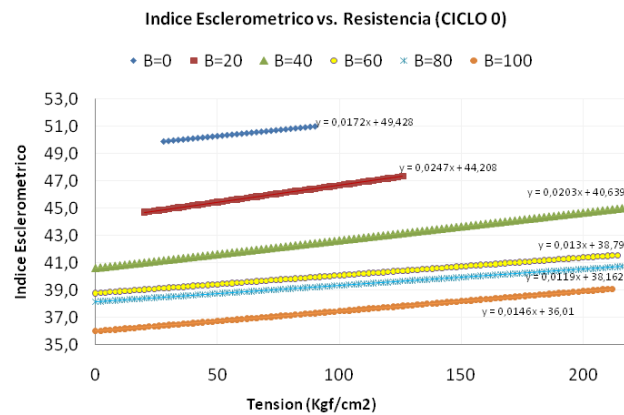
Prisma 9.1 $\beta=80\%$

"Influencia del contenido de agregados finos sobre el Índice Esclerométrico y la Velocidad de Onda de Ultrasonido en el Concreto Estructural"



Prisma 11.1 $\beta=100\%$

A continuación se presentan las gráficas con las correlaciones obtenidas para las evaluaciones de homogeneidad superficial y de masa con base al incremento de tensiones para cada β :



Registro fotográfico durante la elaboración del TEG:



Preparación de Muestras, Etapa de Vaciado.



Nivelación de caras transversales para el ensayo.



Equipo de medición de homogeneidad de masa y superficial.



Ensayos varios.