

**FABRICACION DE HORMIGON UTILIZANDO AGREGADOS RECICLADOS
COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO NATURAL.**

**JUAN CARLOS PLAZAS ROJAS
JHON ALEXANDER HERNÁNDEZ ROMERO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2015

**FABRICACION DE HORMIGON UTILIZANDO AGREGADOS RECICLADOS
COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO NATURAL.**

**JUAN CARLOS PLAZAS ROJAS
JHON ALEXANDER HERNÁNDEZ ROMERO**

**Trabajo de grado para obtener título de:
INGENIERO CIVIL**

**DIRECTOR
LUIS EDUARDO ZAPATA ORDUZ
Ingeniero civil, PhD.**

**CODIRECTOR
GERMAN GARCIA VERA
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2015

DEDICATORIA

A Dios todopoderoso por ser la energía que me empuja para mejorar cada día, por todo lo que he logrado y por cumplir uno de mis anhelados sueños.

A mis padres por su amor, esfuerzo, confianza y apoyo durante toda mi carrera.

A mis hermanos por su amistad y apoyo a lo largo de mi vida.

A mi familia por su buen ejemplo y compañía durante toda mi vida

Al Ingeniero Luis Eduardo Zapata, PhD director del proyecto Por su colaboración a lo largo del proyecto y su valiosa asesoría

Y a todas aquellas personas que de alguna manera me aportaron y ayudaron en algo para el logro de mis metas.

Jhon Alexander Hernández Romero

DEDICATORIA

Agradezco a mis padres. A mi papá quien con su ejemplo me ha enseñado que con esfuerzo y dedicación poco a poco se pueden lograr las metas. A mi mamá, quien fue siempre un pilar durante este tiempo con sus oraciones, valiosos consejos y confianza impulsándome siempre a seguir adelante en lo que me propongo.

A mis hermanas (Johana y Katherine), que nunca dudaron de mí, y me brindaron su apoyo incondicional y motivación.

A mis hermanos (David y Sebastián), porque la vida los puso en mi camino para que fueran ellos mi motor y motivación en todo este proceso.

A familiares, en especial a mi tía Leo, además de ser una persona que estimo y aprecio mucho, siempre estuvo pendiente de que no me faltara nada en mi proceso educativo, brindándome su apoyo incondicional.

A Viviana Castro, que me ha acompañado en gran parte de este proceso, brindándome cariño y confianza, estando conmigo en las buenas y en las malas.

Al Ingeniero Luis Eduardo Zapata, director del proyecto, que nos brindó su apoyo y valioso conocimiento, dejándonos infinitas enseñanzas, valiosas para nuestra profesión.

Juan Carlos Plazas Rojas

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo recibido por parte del director del proyecto Luis Eduardo Zapata, PhD y al codirector, el Ing. German García Vera. También agradecemos al Doctor Carlos Alberto Ríos por la colaboración en los ensayos SEM, realizados en el laboratorio de microscopia y al laboratorio de microscopía óptica de la Universidad Industrial de Santander. Al laboratorista Jairo (la mechuda), por su tiempo y conocimiento aportado, que ayudaron a sacar adelante el proyecto de investigación.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.2. OBJETIVOS	21
1.2.1. Objetivo general	21
1.2.2. Objetivos específicos	21
2. MARCO TEÓRICO	22
2.1. GENERALIDADES DEL CONCRETO	22
2.1.1. Propiedades del concreto	22
2.1.2. Concreto con agregados reciclados	23
2.2. TRITURADORAS DE MANDÍBULAS	23
3. PARTE EXPERIMENTAL	25
3.1. MATERIALES	25
3.1.1. Clasificación de los materiales	25
3.1.1.1. Granulometría	25
3.1.1.2. Contenido de materia orgánica	26
3.1.1.3. Densidad y absorción	26
3.1.1.4. Desgaste del agregado Grueso	26
3.1.1.5. Masa unitaria	26
3.2. PREPARACIÓN DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO	27
3.3. ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LOS CONCRETOS	28
3.3.1. Asentamiento del concreto	28
3.3.2. Peso unitario y contenido de aire del concreto en estado fresco	29

3.3.3. Ensayos a compresión.....	30
3.3.4. Ensayos a tensión indirecta del concreto.....	31
3.3.5. Ensayos a Flexión del concreto.	31
3.3.6. Módulo de elasticidad del concreto.....	33
3.3.7. Microscopia óptica.	33
3.3.8. Microscopia electrónica de barrido (SEM).	34
4. ANALISIS Y RESULTADOS	36
4.1. INFLUENCIA DEL TIEMPO EN EL ASENTAMIENTO DEL CONCRETO FRESCO.....	36
4.2. CLASIFICACION DEL CONCRETO SEGÚN EL PESO UNITARIO AL SUSTITUIR EL AGN POR AGR	37
4.3. COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO EN COMPRESIÓN.....	38
4.4. COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO A TENSIÓN INDIRECTA	40
4.5. ANÁLISIS A FLEXIÓN DEL CONCRETO.....	42
4.6. MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO	43
4.7. ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE CONCRETO POR MEDIO DE LA MICROSCOPIA ÓPTICA	45
4.8. ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE CONCRETO EN EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO (SEM).....	46
4.8.1. Imágenes Del Análisis Sem A Las Muestras De Concreto	47
4.8.1.1. Concreto convencional:.....	47
4.8.1.2. Concreto con 75% de AGN y 25% de AGR:	48
4.8.1.3. Concreto con 50% de AGN y 50% de AGR	48
4.8.1.4. Concreto con 25% de AGN y 75% de AGR.	50
5. CONCLUSIONES	52
BIBLIOGRAFICA	54
ANEXOS.....	59

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Diseño de mezclas para un metro cúbico. (a) Sin ajuste de humedad y absorción. (b) Con ajuste de humedad y absorción.....	29
Tabla 2. Peso unitario del concreto fresco como función del porcentaje de sustitución	38

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Trituradora de mandíbulas (empleada en el proyecto)	24
Figura 2. Agregado grueso reciclado (AGR)	24
Figura 3. Ensayo de asentamiento (Slump)	29
Figura 4. Máquina para ensayos multifuncional.....	30
Figura 5. Ensayo a tensión indirecta.....	31
Figura 6. Máquina de ensayos marca TREBEL.....	32
Figura 7. Equipo para el módulo de elasticidad (a) espécimen 150x300 mm en el cabeceador de plato fijo, (b) Indicador de cuadrante para medir la deformación.	33
Figura 8. Equipo OLYMPUS GX-AN360 (Microscopia óptica)	34
Figura 9. Equipos para el análisis SEM; a) Quanta 650 FEG ambiental, b) Quorum Q150R ES.....	35
Figura 10. Análisis de microscopia óptica en la interfaz matriz de cemento-agregado grueso (a) 25%AGN/75%AGR, (b) 50%AGN/50%AGR (c) 75%AGN/25%AGR	46
Figura 11. Muestras de concreto recubiertas con carbono para el análisis SEM ..	47
Figura 12. Micrografía realizada a los concretos con sustitución del AGN de 0% (muestra control).....	47
Figura 13. Micrografía realizada a los concretos con sustitución del AGN de 25%.....	48
Figura 14. Micrografía realizada a los concretos con sustitución del AGN de 50%.....	49
Figura 15. Micrografía realizada a los concretos con sustitución del AGN de 50%.....	50
Figura 16. Micrografía realizada a los concretos con sustitución del AGN de 75%.....	51

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Grafica 1. Grafica de asentamiento a través del tiempo	36
Grafica 2. Resistencia a compresión a edades de 7, 14 y 28 días.	39
Grafica 3. Regresión lineal para obtener el diseño de mezclas óptimo.	40
Grafica 4. Resistencia a tensión indirecta a diferentes edades.	41
Grafica 5. Resistencia a la flexión del concreto según el porcentaje de sustitución a 28 días	42
Grafica 6. Módulo de elasticidad del concreto convencional y modificado a distintas edades.....	43
Grafica 7. Graficas de esfuerzo – deformación; (a) 7 días, (b) 14 días, (c) 28 días	44

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXOS A. ENSAYO RESISTENCIA A COMPRESIÓN	59
ANEXOS B. ENSAYO RESISTENCIA A TENSIÓN INDIRECTA	62
ANEXOS C. RESISTENCIA A TENSIÓN POR FLEXIÓN	64
ANEXOS D ENSAYO MÓDULO DE ELASTICIDAD ENSAYO A COMPRESIÓN	65
ANEXOS E. IMÁGENES DE MICROSCOPIA ÓPTICA PARA LAS MUESTRAS DE CONCRETO	77
ANEXOS F. IMÁGENES DE MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO (SEM) PARA LAS MUESTRAS DE CONCRETO	80
ANEXOS G. ANÁLISIS ESPECTROSCOPIA DE DISPERSIÓN DE ENERGÍA DE RAYOS X (EDS) PARA LAS MUESTRAS DE CONCRETO.....	88

RESUMEN

TITULO: FABRICACION DE HORMIGON UTILIZANDO AGREGADOS RECICLADOS COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO NATURAL

AUTORES: PLAZAS ROJAS JUAN CARLOS**
HERNÁNDEZ ROMERO JHON ALEXANDE

PALABRAS CLAVE: Concreto reciclado, Agregado grueso reciclado, Compresión, Tracción, Flexión, Módulo de elasticidad.

DESCRIPCIÓN

El proyecto de investigación tiene como finalidad aplicar la tecnología de concreto reciclado por medio de la sustitución de agregado grueso natural (AGN) por agregados gruesos reciclados (AGR), obtenidos de la trituración de cilindros de falla. El objetivo es encontrar un diseño de mezcla óptimo para un concreto estructural con resistencia a la compresión de 21 MPa a 28 días, con relación agua-cemento (a/c) de 0.6. Los concretos se analizaron en estado fresco y estado endurecido, en proporciones de sustitución de 0, 25, 50 y 75% por masa, a edades de maduración de 7, 14 y 28 días; para el estado fresco, se realizaron análisis de asentamiento, densidad y contenido de aire. En estado endurecido, se realizaron ensayos de compresión, flexión, tracción y módulo de elasticidad. Se tomaron muestras de los concretos después de pasar por el proceso de falla a compresión y se analizó la zona de transición interfacial entre el agregado y la matriz de cemento del concreto convencional comparada con la del concreto reciclado, en el microscopio óptico y microscopio electrónico de barrido (SEM). Los resultados mostraron que al aumentar los porcentajes del AGR en la mezcla de diseño, la resistencia mecánica se ve claramente afectada por la sustitución de AGN por AGR. Por lo tanto se logró obtener la dosificación de la mezcla óptima para una resistencia a la compresión de 21 MPa (28 días), el cual comprendió el 36.76%AGN/63.24%AG.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingeniería Físico-Mecánica. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Luis Eduardo Zapata Orduz

ABSTRACT

TITLE: FABRICATION OF CONCRETE USING RECYCLED AGGREGATES AS A SUBSTITUTE FOR NATURAL AGGREGATE.*

AUTHOR: PLAZAS ROJAS JUAN CARLOS**
HERNÁNDEZ ROMERO JHON ALEXANDER

KEYWORDS: recycled concrete, recycled aggregate thickness, compression, tensile, bending, modulus of elasticity.

DESCRIPTION:

The research project aims to implement concrete recycling technology through the replacement of natural coarse aggregate (AGN) for recycled coarse aggregate (AGR) obtained from the crushing concrete. The purpose of the project is find design optimal structural concrete mixes with compressive strength of 21 MPa at 28 days, with water-cement ratio (a / c) of 0.6. The concrete were analyzed in fresh and hardened state, in proportions of substitution of 0, 25, 50 and 75% for mass, to maturation ages of 7, 14 and 28 days; for the fresh state, analysis of slump, air content and density were performed. In the hardened state, compression tests, bending strength and modulus of elasticity were performed. Concrete samples were taken after going through the compression process fails and interfacial transition zone was analyzed between the aggregate and the cement matrix of concrete compared to conventional concrete recycling, in the light microscope and electron microscope (SEM). The results showed that increasing the percentage of AGR in the mix design the mechanical strength is clearly affected by the substitution of AGN by AGR. Therefore it was possible to obtain the dosage of the optimum mixture for a compressive strength of 21 MPa (28 days), which comprised 36.76%AGN/63.24%.

* undergraduate thesis

** Faculty of physic-mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Eduardo Zapata Orduz

INTRODUCCIÓN

El proyecto de investigación tiene como finalidad aplicar la tecnología de concreto reciclado, por medio de la sustitución de agregado grueso natural (AGN) por agregados gruesos reciclados (AGR) obtenidos de la trituración de cilindros de falla. El objetivo principal es encontrar un diseño de mezcla óptimo para un concreto estructural con resistencia a la compresión de 21 MPa a 28 días, con relación agua-cemento (a/c) de 0.6.

Los materiales empleados en los diseños de mezclas se caracterizaron de acuerdo a la densidad, adsorción, contenido de materia orgánica, porcentaje de desgaste en la máquina de los ángeles y granulometría. Los concretos se analizaron en estado fresco y estado endurecido, en proporciones de sustitución de 25, 50 y 75% por masa, a edades de maduración de 7, 14 y 28 días; para el estado fresco, se realizaron análisis de asentamiento, densidad y contenido de aire. En estado endurecido, se realizaron ensayos de compresión, flexión, tracción y módulo de elasticidad. Adicionalmente se recolectaron muestras de los concretos después de pasar por un proceso de falla, para analizar su estructura y comportamientos de los dos tipos de agregados (AGN y AGR) con la pasta de cemento, por medio de análisis de micrografía óptica y por el microscopio electrónico de barrido (SEM).

Con los resultados de laboratorio obtenidos se pretende observar el comportamiento que tiene el concreto con sustitución de agregados gruesos reciclados, con respecto a un concreto con 100% de agregado grueso natural (concreto convencional), con el fin de obtener proporciones óptimas de los agregados en la creación de un concreto estructural con resistencia a la compresión de 21 MPa y a la misma vez contribuir con el medio ambiente al crear

un concreto más verde y poder subsanar el manejo no controlado de los desechos de construcción, además de la explotación indiscriminada a los recursos naturales no renovables.

1. DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La industria de la construcción es uno de los mayores generadores de desechos en el mundo, como motivo de la construcción de nuevas obras, remodelación y demolición de las mismas, generándose un ciclo de construcción-demolición en busca del bienestar social¹.

Según Estudios realizados por la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA)², en Bogotá se producen diariamente 20 mil toneladas de escombros, de los cuales solo llega el 10% a las escombreras legales. Estos materiales de desecho no tienen ninguna utilización o tratamiento adecuado, siendo transportados a vertederos que en la mayoría de los casos no cumplen con las condiciones adecuadas para su uso como terrenos baldíos o áreas ecológicas, generando impacto visual y deterioro al medio ambiente. A pesar que son materiales inertes, ocupan grandes dimensiones de terreno, donde se le podría dar un uso adecuado como relleno a canteras abandonadas, minas al aire libre y en el mejor de los casos en el reciclaje para la construcción³.

Por otro lado, hay que tener en cuenta el daño que se le está causando al medio ambiente con la explotación indiscriminada de materiales pétreos de canteras y lechos de ríos que son esenciales para la construcción. La demanda de estos recursos va aumentando debido al constante crecimiento poblacional que requiere

¹BEDOYA MONTOYA Carlos Mauricio "El concreto reciclado con escombros como generador de hábitats urbanos sostenibles" Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín Julio 2013.

² CONSTRUADATA El reciclaje de escombros ahora es una obligación [en línea] [citado 05 de junio de 2015] disponible en: http://www.construdata.com/Bc/Construccion/Noticias/en_que_consiste_la_norma.asp?Id_Tarea=_IDTAREA_&Email={{EMAIL}} (2012).

³ DOMÍNGUEZ José, Villanueva Víctor, MARTÍNEZ Emilio "Elementos constructivos aplicables a viviendas de interés social fabricados con áridos reciclados" Marzo 2004.

cada vez más de materia prima no renovable para satisfacer sus necesidades, siendo el reciclaje de concreto una práctica muy favorable desde el punto de vista ecológico y económico, al disminuir la explotación excesiva de los recursos naturales no renovables y aumentar la vida útil de rellenos sanitarios.

Como consecuencia de la escasez del material en lugares donde ya se ha explotado en su mayoría o en lugares donde por su geografía no cuentan con estos materiales, se tiene la necesidad de obtenerlos de otras regiones, atravesando largos trayectos y aumentando en si los costos en la manufactura del concreto. Por este motivo diversos países como Estados Unidos, Alemania, España y Brasil han avanzado en materia de investigación en el reciclaje de desechos de construcción para su aplicación como agregados gruesos y finos en un nuevo concreto⁴. Colombia actualmente cuenta con la ley escombros (resolución 2397) expedida por la SDA que entro en vigencia en Abril del 2012⁵, el cual tiene como objetivos controlar la ubicación de los escombros y promover su reutilización.

Con respecto a lo anterior, el principal objetivo del presente trabajo es darle un mejor uso a estos residuos de concreto, minimizando su cantidad al ser reciclados y reutilizados como agregado grueso en una nueva mezcla de concreto. De esta forma se pretende estudiar su funcionalidad con respecto al concreto tradicional, por medio de ensayos de laboratorio.

⁴ LIU. Tony C. Removal and Reuse of Hardened Concrete. ACI 555R-01(Marzo 30, 2001).

⁵ CONSTRUDATA. ¿Cómo manejar los escombros en su obra? Construdata [en línea] [citado 7 de junio de 2015] disponible en: http://www.construdata.com/BancoMedios/Archivos/construdata_news_agosto_2012.htm

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general. Analizar el desempeño del hormigón al variar su dosificación a partir de agregado grueso reciclado proveniente de la trituración de cilindros de prueba, con respecto a un hormigón de agregado grueso natural de equivalente proporción.

1.2.2. Objetivos específicos

- Comparar las propiedades mecánicas (compresión, tensión y flexión) del concreto fabricado con agregados reciclados con respecto a un concreto elaborado con agregado natural de características similares.
- Obtener proporciones óptimas entre agregados gruesos naturales y reciclados en mezclas de concreto para maximizar la resistencia a compresión en un rango establecido de relación agua-cemento de 0,4 a 0,6.
- Analizar los cambios en la microestructura de la interface agregado-matriz cementicias en concretos fabricados con agregados reciclados respecto a la interface del concreto natural.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. GENERALIDADES DEL CONCRETO

El concreto es una mezcla de cemento Portland, agua, arena, grava y aditivos como elementos principales, que se endurece o fragua espontáneamente en contacto con el aire y por reacción química entre el agua y el cemento hasta lograr consistencia pétreo.

El concreto convencional, tiene un peso específico que varía de 2200 hasta 2500 kg/m³ y es normalmente usado en todo tipo de estructuras de concreto y pavimentos. La densidad del concreto varía dependiendo de la cantidad y la densidad del agregado, la cantidad de aire ocluido o intencionalmente incluido y de la relación agua y cemento.

El concreto es un material con excelente resistencia a la compresión entre 210 y 350 kgf/cm², pero poca resistencia a la tracción, además de ser un material durable, resistente al fuego y puede tomar cualquier forma. Sus propiedades son muy variables, el cual dependen de la calidad de los agregados, dosificación de los materiales, transporte, colocación, temperatura y curado.

2.1.1. Propiedades del concreto. Las propiedades del concreto se analizan en dos estados, estado fresco y estado endurecido.

En estado fresco las propiedades más importantes son el peso unitario, trabajabilidad, consistencia, fluidez, asentamiento, contenido de aire, exudación, segregación y calor de hidratación.

En estado endurecido se analizan las propiedades mecánicas del concreto, como lo es la resistencia a la compresión, resistencia a tensión, resistencia a la tensión por flexión, módulo de elasticidad, entre otras.

2.1.2. Concreto con agregados reciclados. El uso de agregados reciclados en la elaboración de concreto permite solucionar problemas de contaminación ambiental causados por los materiales de demolición. Genera ahorros económicos, siempre y cuando sea empleado en el mismo sitio de la obra, ya sea por producto de la demolición o por material sobrante, pues se reducen los costos de transporte, el consumo de combustible y la producción de CO₂. También evita la explotación indiscriminada de canteras y lechos de río, convirtiéndose en un ahorro de energía. En la actualidad el concreto reciclado se viene empleando en elementos no estructurales ya que faltan estándares para la producción y uso de los agregados reciclados para ser empleados en elementos estructurales.

2.2. TRITURADORAS DE MANDÍBULAS

La trituradora de mandíbulas fue la empleada en el presente proyecto, para la trituración de las probetas de concreto. Este tipo de trituradoras generan una cantidad de finos inferior al 10% del material triturado con una buena distribución del tamaño del árido para fabricar hormigón. Es la más apropiada para la trituración primaria y la incorporan tanto plantas fijas como móviles por su alta capacidad y bajo costo.

Figura 1. Trituradora de mandíbulas (empleada en el proyecto)



Las principales características del agregado grueso obtenido del proceso de trituración, es su forma angulosa con textura porosa (ver Fig. 2), por lo tanto tienen mayor capacidad de absorción y mayor porcentaje de desgaste, debido al mortero añadido a las partículas y a las microfisuras generadas en el proceso de trituración.

Figura 2. Agregado grueso reciclado (AGR)



3. PARTE EXPERIMENTAL

3.1. MATERIALES

Cemento portland ordinario Tipo I (Holcim). Agregado grueso reciclado obtenido de probetas de ensayo desechadas por el laboratorio Álvaro Beltrán Pinzón de la UIS y llevados a un proceso de trituración por medio de una trituradora de mandíbulas, los resultados se demuestran más adelante. Agregado grueso natural y fino proveniente de la cuenca de Pescadero -Santander.

3.1.1. Clasificación de los materiales. Los materiales usados en los diseños de mezclas del concreto convencional y del concreto reciclado deben ser de iguales características, con el fin de poder realizar las respectivas comparaciones el cual será reemplazado el AGN por AGR en proporciones de 0%, 25%, 50% y 75% de la masa. La clasificación de los materiales se llevó a cabo por medio de ensayos de laboratorio conforme a la Norma técnica Colombiana (NTC) para concreto y agregados.

3.1.1.1. Granulometría: Para hacer el respectivo análisis granulométrico del agregado fino se tomó una muestra de 1 kg conforme a la NTC 77⁶ y la gradación se realizó con tamices de 4.75mm, 2.36mm, 1.18mm, 0.60 mm, 0.30mm y 0.15mm. Para el agregado grueso tanto para el natural como para el reciclado se tomó una muestra de 5 kg de cada uno y para la gradación se utilizaron tamices 19.00mm, 12.50 mm, 9.50 mm, 4.75 mm. La granulometría mixta entre AGN y AGR no se realizó en este trabajo.

⁶ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN NTC 77, "Ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos", Colombia, 2007

3.1.1.2. Contenido de materia orgánica: El contenido de materia orgánica en el agregado fino es muy importante debido a que el material debe estar libre de cantidades de impurezas orgánicas para evitar alteraciones en la resistencia del concreto, este análisis se determinó usando la NTC 127⁷.

3.1.1.3. Densidad y absorción: La densidad y la absorción del agregado grueso se determinaron siguiendo la normativa NTC 176⁸. Para el ensayo se tomaron 5 kg de material en condición superficie saturada seca (S.S.S) en el aire y a partir de esta muestra se obtuvo datos de gravedad específica, gravedad específica aparente y la gravedad específica aparente S.S.S. En el caso del agregado fino, el ensayo se realizó con una muestra de 0.5 kg, conforme a la NTC 237⁹.

3.1.1.4. Desgaste del agregado Grueso: El porcentaje de desgaste del agregado grueso natural y reciclado, se realizó en la máquina de los Ángeles, con número de esferas igual a 11 de acuerdo a la gradación usada y con una duración del ensayo de 15 minutos, siguiendo la norma NTC 98¹⁰.

3.1.1.5. Masa unitaria: La masa unitaria o densidad volumétrica necesaria para las proporciones de los agregados en las mezclas de concreto. Se calculó de acuerdo a la NTC 92¹¹.

Materiales utilizados en las mezclas y sus respectivos resultados de laboratorio:

- Cemento portland Tipo I (Holcim) con densidad promedio de 2734 kg/m³¹²

⁷INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN NTC 127, "Ensayo para determinar las impurezas orgánicas en agregado fino para concreto", Colombia, 2000..

⁸INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN NTC 176, "Ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso", Colombia, 1995.

⁹INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN NTC 237, "Ensayo para determinar la densidad y absorción del agregado fino", Colombia, 1995.

¹⁰INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN NTC 98, "Determinación de la resistencia al desgaste de los agregados gruesos hasta 37,5 mm utilizando la máquina de los ángeles", Colombia, 1995.

¹¹INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN NTC 92, "Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados" Colombia, 1995.

- Agregado Fino (Arena lavada de río) con densidad específica aparente de 2600 kg/m^3 , módulo de finura de 2.9 y porcentaje de absorción de 0.31% y contenido de materia orgánica de 0.0%.
- Agregado grueso natural con tamaño máximo nominal de 25.4 mm, Densidad: 2630 kg/m^3 , absorción del 0.44%, contenido de humedad de 0.23% y porcentaje de desgaste de 24.22%.
- Agregado grueso, con tamaño máximo nominal de 25.4 mm, Densidad: 2210 kg/m^3 , absorción de 6.31%, contenido de humedad de 2.14% y porcentaje de desgaste de 37.62%.
- Agua potable distribuida por el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga (AMB) con un pH promedio de 7.45¹³.

3.2. PREPARACIÓN DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO

Los diseños de mezclas se hicieron con el fin de obtener una resistencia en el concreto de 21 MPa a 28 días para una relación a/c igual a 0.6 siguiendo la norma ACI 211¹⁴. El AGN contenido en el diseño de mezclas de control, fue reemplazado por AGR en proporciones de 0, 25, 50 y 75% en masa, como lo muestra la Tabla 1a, con el fin de obtener cambios en el comportamiento del concreto al realizar esta sustitución. En la Tabla 1b cada diseño de mezclas fue ajustado por humedad y absorción teniendo en cuenta que el AGR tiene mayores capacidades de absorción según los datos obtenidos de los ensayos de laboratorio.

¹² CORTES Edwin Alberto, GÓMEZ Jorge Enrique, PERILLA Sastoque. Estudio comparativo de las características físico - mecánicas de cuatro cementos comerciales portland tipo I Universidad Militar Nueva Granada-2014

¹³ ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A.E.S.P. pH del agua [en línea] [citado 14 de junio de 2015] disponible en: <http://www.amb.com.co/documentoinfo/resumen-buc-2015.pdf>

¹⁴ ACI COMMITTEE 211. "Recommended Practice for Selecting Proportions for Normal Weight Concrete", Michigan, Farmington Hills, 1998.

Para realizar los ensayos de resistencia a compresión y tensión indirecta del concreto, se realizaron cilindros de falla con dimensiones de 100 mm de diámetro por 200 mm de altura para edades del concreto a 7, 14 y 28 días. Para obtener el módulo de elasticidad del concreto fue necesario fabricar probetas de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura ya que los anillos de deformación solo estaban disponibles en esta dimensión y para los ensayos a flexión se hicieron vigas de 150x150x920 mm, una por cada diseño de mezcla para ser ensayadas a 28 días. Cilindros y vigas estándar según la NTC 550¹⁵

Las probetas y las vigas, después del proceso de fraguado (presente durante las primeras 24 horas una vez el cemento y el agua entran en contacto en la mezcla), fueron sometidos a un proceso de curado por el método de inmersión (100% HR, $T \approx 23^{\circ}\text{C}$) con el fin de controlar la temperatura y la humedad del concreto siguiendo las recomendaciones de la NTC 1377¹⁶.

3.3. ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LOS CONCRETOS

3.3.1. Asentamiento del concreto. La prueba de asentamiento o slump se le realizó a cada diseño de mezcla, de manera inmediata y a través del tiempo (cada 10 min, durante media hora) como lo muestra la Figura. 3 siguiendo el procedimiento de la NTC 396¹⁷. Este procedimiento se hizo con el fin de determinar el grado de fluidez de la mezcla en el transcurso del tiempo.

¹⁵ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN NTC 550, “Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra”, Colombia, 2007

¹⁶ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN NTC 1377, “Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio”, Colombia, 1994.

¹⁷ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN NTC 396, “Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto”, Colombia, 1992.

Figura 3. Ensayo de asentamiento (Slump)



Tabla 1. Diseño de mezclas para un metro cúbico. (a) Sin ajuste de humedad y absorción. (b) Con ajuste de humedad y absorción

(a)

Proporción de Agregado	a/c	Cemento [kg/m ³]	Agua [kg/m ³]	Arena [kg/m ³]	AGN [kg/m ³]	AGR [kg/m ³]
100%AGN/0%AGR	0.6	325	195	747.3	1029.6	000.0
75%AGN/25%AGR	0.6	325	195	714.2	772.2	257.4
50%AGN/50%AGR	0.6	325	195	683.7	514.8	514.8
25%AGN/75%AGR	0.6	325	195	651.6	257.4	772.2

(b)

Proporción de Agregado	a/c	Cemento [kg/m ³]	Agua [kg/m ³]	Arena [kg/m ³]	AGN [kg/m ³]	AGR [kg/m ³]
100%AGN/0%AGR	0.6	325	195.7	751.0	1031.9	000.0
75%AGN/25%AGR	0.6	325	205.9	717.8	773.9	262.9
50%AGN/50%AGR	0.6	325	216.3	687.1	515.9	525.8
25%AGN/75%AGR	0.6	325	226.5	654.9	258.0	788.7

3.3.2. Peso unitario y contenido de aire del concreto en estado fresco. Se determinaron según la norma ASTM C138¹⁸. Para obtener el contenido de aire se utilizó el método volumétrico. El concreto se puede clasificar en tres grupos según

¹⁸ AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS ASTM C138 "Peso unitario, rendimiento, y contenido de aire del hormigón fresco. Método gravimétrico.

su peso unitario, de acuerdo a la NSR 10. C.2¹⁹: concreto de peso normal, su densidad oscila entre 2155-2555 kg/m³; concreto liviano entre 1440-1880 kg/m³ y el concreto pesado entre 3000-3500 kg/m³.

3.3.3. Ensayos a compresión. El método de ensayo está basado en la NTC 673²⁰. Se obtuvo la resistencia a la compresión del concreto fabricado con agregado grueso natural y del concreto fabricado con agregado grueso reciclado en proporciones del 25, 50 y 75% en masa, a edades de 7, 14 y 28 días. Se utilizaron 2 especímenes para los ensayos en cada edad del concreto, empleando la máquina ALFRED J.AMSLER Y CÍA, SCHAFFHAUSEN/SUIZA (79/191) – capacidad máxima de carga de 400 kN mostrada en la Figura. 4, el cual se les aplico carga de compresión axial hasta obtener el punto de falla. La resistencia a la compresión se calculó dividiendo la carga máxima por el área de la sección transversal del cilindro.

Figura 4. Máquina para ensayos multifuncional.



¹⁹ REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR 10). Titulo C, Concreto estructural, Colombia, 2010..

²⁰ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN NTC 673, "Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto", Colombia, 2010

3.3.4. Ensayos a tensión indirecta del concreto. Para los ensayos a tracción del concreto se realizó el mismo procedimiento anterior en la maquina AMSLER, con la probeta de ensayo en sentido horizontal, para que la carga de compresión sea aplicada de manera longitudinal en el espécimen de concreto hasta que ocurra la falla según la norma NTC 722²¹. En este ensayo se utilizaron listones de apoyo fabricados en madera (ver Figura. 5), haciendo que la distribución de tensiones no se altere significativamente. Para hallar la resistencia a la tensión indirecta se empleó la Ec. (1):

$$T = \frac{2P}{\pi L d} \quad (1)$$

Dónde: **T**= Esfuerzo de tracción indirecta, kPa; **P**= Carga máxima indicada por la máxima de ensayo, kN; **L**= Longitud del cilindro, m; **d**= Diámetro del cilindro, m.

Figura 5. Ensayo a tensión indirecta.



3.3.5. Ensayos a Flexión del concreto. El ensayo a flexión de las muestras de concreto se realizó sobre vigas de sección cuadrada con dimensiones 150x150x920 mm. El Procedimiento para la elaboración y curado de las muestras

²¹ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN NTC 722, "Método de ensayo para determinar la resistencia a la tensión indirecta de especímenes cilíndricos de concreto ", Colombia, 2000.

de concreto es el establecido por el Instituto nacional de vías (I.N.V.) E-402-07²². Los ensayos a flexión se realizaron por el método de viga simplemente cargada en un punto central empleando la máquina de ensayo TREBEL, con capacidad de 120 kN mostrada en la Figura. 6. Cumpliendo con los requerimientos estipulados por el I.N.V. E-415-07²³. La resistencia a la flexión se expresa como el módulo de rotura (MR) y se calculó por medio de la Ec. (2):

$$MR = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (2)$$

Dónde: **MR**= Modulo de rotura, MPa; **P**= Máxima carga aplicada indicada por la máquina de ensayo, N; **L**= Longitud de la luz, mm; **b**= Ancho promedio del espécimen en el punto de fractura, mm y **d**= Altura promedio del espécimen, en el punto de fractura, mm.

Figura 6. Máquina de ensayos marca TREBEL.

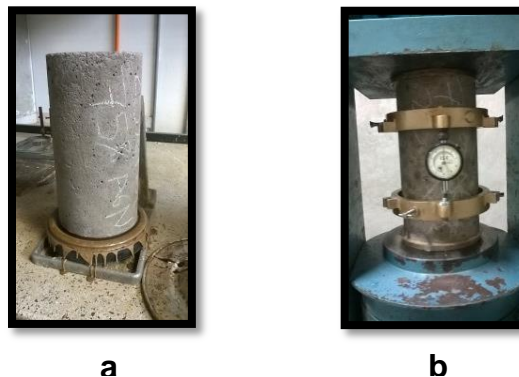


²² INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS I.N.V.E-402-07, "Elaboración y curado en el laboratorio de muestras de concreto para ensayos de compresión y flexión", Colombia.

²³ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS I.N.V.E-415-07, "Resistencia a la flexión del concreto método de la viga simplemente cargada en el punto central", Colombia.

3.3.6. Módulo de elasticidad del concreto. Para hallar el módulo de elasticidad (E_c), se empleó la maquina AMSLER mostrada en la Figura. 4, encargada de aplicar la carga a especímenes de dimensiones 150x300 mm. La deformación se obtuvo por medio de un indicador de cuadrante con resolución de 0.0001 pulg, como se muestra en la Figura. 7b. Para realizar el ensayo del E_c , fue necesario alinear las tapas de las probetas con un cabeceador de plato fijo y azufre fundido, con el fin de que la carga sea aplicada de manera uniforme (Figura. 7a). El ensayo para la determinación del E_c , estático se hizo por medio de la NTC 4025²⁴ [24].

Figura 7. Equipo para el módulo de elasticidad (a) espécimen 150x300 mm en el cabeceador de plato fijo, (b) Indicador de cuadrante para medir la deformación.



3.3.7. Microscopia óptica. Este ensayo se realizó con el equipo OLYMPUS GX-AN360 (ver Figura. 8) con magnificación de la imagen a 50x. Los cilindros después del proceso de falla, se cortaron longitudinalmente cada 3cm y pulieron. Esto se hizo con el fin de analizar su estructura interna y el comportamiento de la interface agregado-matriz cementicia en diferentes puntos de la muestra; además este ensayo permite identificar daños y fisuras por donde se presentó la falla. Cabe destacar que las fisuras de falla se generan principalmente en las uniones entre el

²⁴ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN NTC 4025, “método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad estático y la relación de poisson en concreto a compresión”, Colombia, 2006.

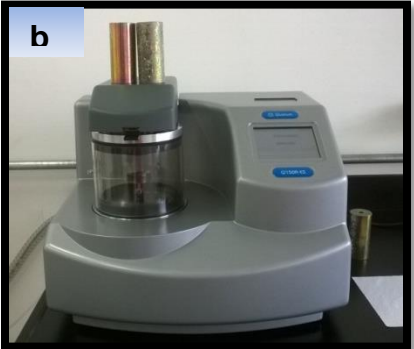
agregado y el mortero, por eso es importante ver la relación que existe entre estos.

Figura 8. Equipo OLYMPUS GX-AN360 (Microscopia óptica)



3.3.8. Microscopia electrónica de barrido (SEM). Los ensayos se realizaron en laboratorio de microscopia de la UIS, con el equipo Quanta 650 FEG ambiental (ver equipo Figura. 9a), y amplificación de la imagen hasta 600x y tamaño máximo de las muestras de concreto de 10 mm. Este ensayo proporciona imágenes de alta resolución para la caracterización de muestras conductoras y no conductoras. En el caso del concreto es una muestra no conductora, por lo tanto se empleó la técnica sputtering o pulverización catódica con el equipo Quorum Q150R ES (ver equipo Figura. 9b), en el que las muestras fueron recubiertas con una capa carbono, para conferir carácter conductor.

Figura 9. Equipos para el análisis SEM; a) Quanta 650 FEG ambiental, b) Quorum Q150R ES

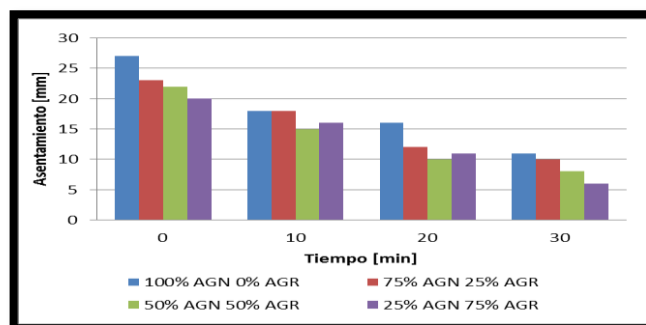


4. ANALISIS Y RESULTADOS

4.1. INFLUENCIA DEL TIEMPO EN EL ASENTAMIENTO DEL CONCRETO FRESCO

En la Gráfica. 1 se muestran los resultados de los análisis de asentamiento o slump del concreto fresco para cada diseño de mezclas. A pesar que los diseños de mezclas se corrigieron por humedad y adsorción de los agregados, se puede observar en la Gráfica. 1 que al aumentar el contenido de agregado reciclado, el asentamiento en el tiempo cero o asentamiento inmediato disminuye considerablemente un 26% en comparación con la mezcla de control. En los primeros 20 min las mezclas de concreto llegan a perder hasta el 60% del asentamiento inicial, pero al cabo de 30 min las mezclas tienden a disminuir el asentamiento hasta un 70% perdiendo notablemente la fluidez. Por lo tanto se cree que el material reciclado absorbe agua con mayor rapidez que el AGN y por ende afecta en la trabajabilidad del concreto, pero también puede deberse a que el agregado reciclado tiende a absorber mayor cantidad de agua principalmente por su textura porosa, al contener partículas de mortero adheridos a ellos y a las microfisuras generadas del proceso de trituración.

Gráfica 1. Gráfica de asentamiento a través del tiempo



4.2. CLASIFICACION DEL CONCRETO SEGÚN EL PESO UNITARIO AL SUSTITUIR EL AGN POR AGR

La Tabla 2 contiene el peso unitario del concreto fresco, desviación estándar (σ) y contenido de aire para cada porcentaje de sustitución, clasificados como concretos de peso normal según la NSR 10²⁵.

El peso unitario del concreto disminuye del 5 a 10% al sustituir gradualmente el AGN por AGR hasta un 75% en la mezcla de concreto y esto se debe a que el AGN tiene un peso específico mayor que el AGR. La diferencia en las densidades de los dos tipos de agregados (AGN y AGR), pueden llegar a presentar problemas de segregación en el concreto. Al observar la desviación estándar, la dispersión de los datos de la mezcla con 25%AGN/75%AGR es mayor y puede llegar a obtener valores del peso unitario similares a la muestra de 50%AGN/50%AGR. Estos resultados pueden deberse a la variabilidad en la compactación que recibe cada una de las muestras y a la cantidad de muestras analizadas, ya que solo se analizaron tres para cada porcentaje de sustitución.

Con respecto al porcentaje del contenido de aire, se aprecia en la Tabla 2 que al sustituir el AGN por AGR en un 25%, no se evidencia mayor diferencia al aumentar 0.1% con respecto al concreto convencional. Caso contrario ocurre al sustituir el 50% del material, ya que el porcentaje se duplica de 1.4 a 2.8 y no se evidencia mayor diferencia con sustitución del 75% al aumentar 0.1%. Este cambio de porcentaje en el contenido de aire después de la sustitución del 50%, se puede ver reflejado en la alta porosidad del AGR y a la pérdida de trabajabilidad de la mezcla.

²⁵ REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR 10). Título C, Concreto estructural, Colombia, 2010

Tabla 2. Peso unitario del concreto fresco como función del porcentaje de sustitución

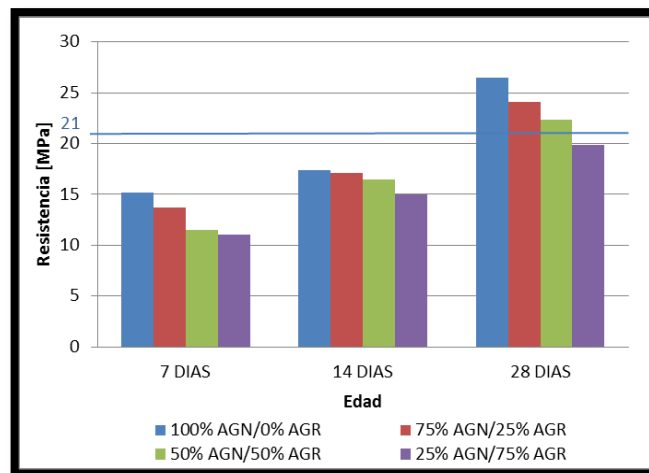
AGREGADO GRUESO	PESO UNITARIO PROMEDIO [kg/m³]	§ [kg/m³]	% CONT. DE AIRE
100%AGN/0%AGR	2616.5	22.3	1.3
75%AGN/25%AGR	2592.1	9.9	1.4
50%AGN/50%AGR	2537.8	23.2	2.8
25%AGN/75%AGR	2517.0	26.2	2.9

4.3. COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO EN COMPRESIÓN

Se puede apreciar en el diagrama de esfuerzos a compresión (Grafica. 2), que a medida que se va aumentando el porcentaje de material reciclado, el concreto empieza a disminuir su capacidad de resistencia a la compresión en las distintas edades. En la edad de 7 días por lo general un concreto convencional alcanza una resistencia a la compresión del 60 al 70% de la resistencia de diseño a 28 días, por lo tanto los concretos de 50%AGN/50%AGR y 25%AGN/75%AGR a esta edad no alcanzan a superar el 60% de la resistencia de diseño de 21 MPa/28 días. En la edad a 14 días no se presenta mayor diferencia en la resistencia de los concretos y siguen la tendencia de descenso a mayor porcentaje de sustitución. A los 28 días la resistencia a la compresión disminuye en un rango de 10 al 20%, para un límite de reemplazo en la proporción del agregado natural por agregado reciclado de 75% en masa. También se observa que el concreto con 25%AGN/75%AGR se encuentra por debajo de la resistencia de 21 MPa que es la resistencia de control, con un cumplimiento del 96% y el diseño con más contenido de material reciclado que supera esta resistencia es la de proporción de 50%AGN/50%AGR con un cumplimiento del 108%.

La disminución de resistencia a la compresión, de los concretos con sustitución de agregados reciclados, puede deberse a su textura porosa y a las microfisuras generadas en estos agregados por el proceso de trituración, el cual llegan a propagarse en las uniones o zona de transición interfacial (ZTI) entre el mortero y los agregados. También puede deberse a que la pasta de cemento nueva no tenga buena adherencia con la capa de cemento antigua debido a procesos químicos. El contenido de aire atrapado también puede influenciar en la resistencia del concreto ya que los diseños que presentaron menores esfuerzos a compresión, arrojaron mayor porcentaje de contenido de aire atrapado, y por medio de estos se generan microfisuras que inducen a la falla²⁶.

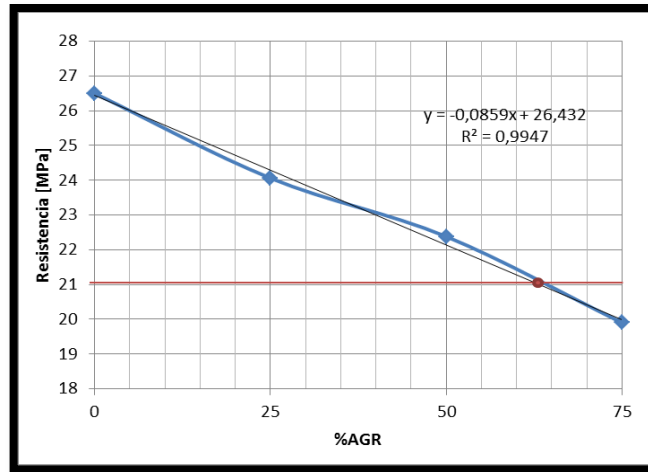
Grafica 2. Resistencia a compresión a edades de 7, 14 y 28 días.



4.3.1. Análisis estadístico para encontrar diseño de mezclas óptimo. El análisis estadístico se realizó al aplicar la regresión lineal, teniendo como variable dependiente Y la resistencia a la compresión y variable independiente X el porcentaje de sustitución de AGR como lo muestra la Grafica 3

²⁶ L.E. ZAPATA-ORDÚZ, G.PORTELA, O.M.SUÁREZ, Weibull statistical analysis of splitting tensile strength of concretes containing class F fly ash, micro/nano-SiO₂, Ceramics International 40 (2014) 7373–7388.

Grafica 3. Regresión lineal para obtener el diseño de mezclas óptimo.



Ecuación generada:

$$Y = -0.0859x + 26.432 \text{ (MPa)} \quad (3)$$
$$R^2 = 0.9947$$

Al reemplazar en la Ec. (3) con $y = 21$ que es la resistencia control (MPa), se obtuvo un valor de $x = 63.24$ que es el porcentaje de AGR óptimo de sustitución en la mezcla de concreto. Entonces, la proporción óptima de diseño para un concreto con resistencia a la compresión de 21 MPa:

Proporción óptima: 36.76% AGN / 63.24% AGR

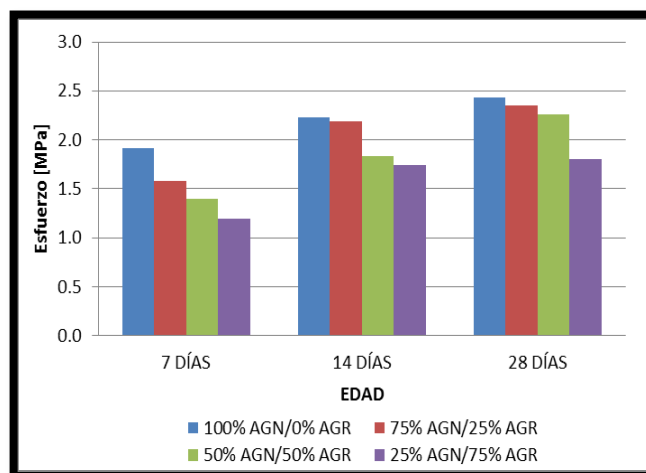
4.4. COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO A TENSIÓN INDIRECTA

La Grafica 4 muestra los resultados de esfuerzo obtenidos al someter los especímenes de concreto a tensión indirecta. En la edad de 7 días el concreto convencional obtuvo un desempeño a la tracción elevado a comparación de los demás concretos que contienen material reciclado, el cual el esfuerzo disminuye

en relacion al contenido de material reciclado, generandose una diferencia de esfuerzos del 38% entre el concreto convencional y el concreto con 75% de AGR. A los 14 días el concreto convencional y el concreto de 75%AGN/25%AGR obtuvieron resultados similares y superan en un 24% de la resistencia a los concretos con 50%AGN/50%AGR y 25%AGN/75%AGR. En la edad de 28 días se sigue manteniendo la tendencia de disminucion del esfuerzo a mayor porcentaje de sustitucion del AGN por AGR. El esfuerzo tuvo una disminución del esfuerzo para el mayor porcentaje de sustitución del 26% respecto a la muestra de control.

Generalmente el valor de la capacidad a la tension se encuentra alrededor del 10% de la capacidad a compresión a edad de 28 días en concretos de peso normal²⁷, por lo tanto se puede apreciar en la Grafica 4 que tanto el concreto convencional como los concretos con sustitucion de reciclado se encuentran cercanos al valor de 2.1 MPa (10% de 21 MPa), sin embargo el concreto con 25%AGN/75%AGR tiene una disminución de la resistencia a la tension en un 26% con respecto al concreto convencional. Los resultados indican que el esfuerzo a tension se ve influenciado por el contenido de material reciclado.

Grafica 4. Resistencia a tensión indirecta a diferentes edades.



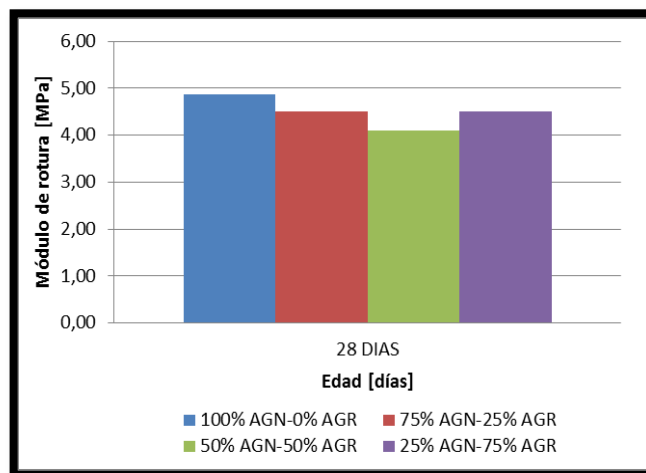
²⁷ CONSTRUCTOR CIVIL, Concreto: Resistencia a la tensión [en línea] [citado 11 de junio] disponible en: <http://www.elconstructorcivil.com/2011/01/concreto-resistencia-la-tension.html>

4.5. ANÁLISIS A FLEXIÓN DEL CONCRETO

Según la norma NSR 10, C.10.2.5²⁸ el módulo de rotura es aproximadamente de 10 a 20% la resistencia a la compresión, por lo tanto se puede comprobar esta afirmación con los resultados del MR mostrados en la Grafica 5, donde los valores del MR son cercanos al 20% de $f'c$ (21 MPa).

En la Grafica 5 se observa un descenso en el MR del 8%, igual para los concretos con sustitución del 25 y 75% comparado con el concreto convencional, y una reducción en el MR del 16% para el concreto con sustitución del 50%. Si bien este resultado del concreto con sustitución del 75% es atribuible a una posible disminución de la relación a/c debido a la alta absorción que tiene el AGR, al contener una textura porosa. Se puede observar que los resultados se obtuvieron en un rango de 4 a 5 MPa, donde este rango es aceptado para ser utilizado en concreto hidráulico para pavimentos²⁹

Grafica 5. Resistencia a la flexión del concreto según el porcentaje de sustitución a 28 días



²⁸ REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR 10). Titulo C, Concreto estructural, Colombia, 2010.

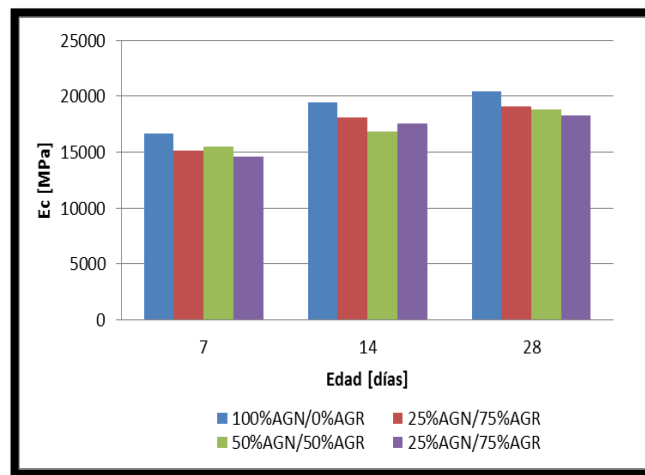
²⁹ ESPECIFICACIONES IDU-ET. Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción para proyectos de infraestructura vial y de espacio público. "2005" cap6, tabla 600.6.

4.6. MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO

De acuerdo con la NTC 4025³⁰, se empleo el método del módulo de elasticidad secante, para hallar el E_c a cada uno de los diseños de mezclas a diferentes edades, resultados mostrados en la Grafica 6

La Grafica 6 muestra la relación esfuerzo-deformación para edades del concreto a 7, 14 y 28 días. El cual se puede apreciar, que los concretos con mayor porcentaje de sustitución del agregado, tienden a deformarse más frente a un esfuerzo aplicado, comparados con el concreto de la muestra control.

Grafica 6. Módulo de elasticidad del concreto convencional y modificado a distintas edades.



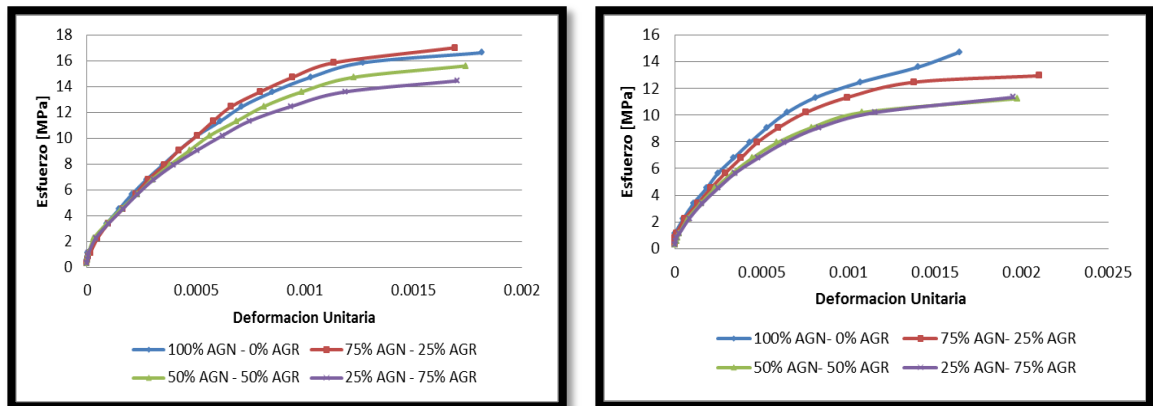
El módulo de elasticidad de referencia para un concreto de 21 MPa (3000 psi) es de 21538 MPa a edad de 28 días, valor obtenido de aplicar la fórmula $4700(f'c)^{1/2}$ contenida en la NSR 10³¹, por lo tanto se observa en la Grafica 7 a edad de 28

³⁰ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN NTC 4025, "método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad estático y la relación de poisson en concreto a compresión", Colombia, 2006.

³¹ REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR 10). Titulo C, Concreto estructural, Colombia, 2010.

días, solo el concreto convencional se encuentra cercano a este valor, y los concretos con contenido de material reciclado, demuestran una leve disminución en el E_c , al aumentar el porcentaje de sustitución, evidenciado en cada edad del concreto. La mayor reducción en el E_c , lo presento el concreto con el mayor porcentaje de sustitución (75% AGR), con un descenso del 10% respecto a la muestra de control. Esta disminución del módulo de elasticidad puede estar ocasionada por el mayor contenido de pasta de cemento endurecido adherido a los AGR, generando disminución en la calidad del material reciclado. La disminución de la calidad de los AGR se evidencian en los resultados de porcentaje de desgaste, siendo mayor el desgaste en el AGR que en el AGN. Según estudios realizados este porcentaje de cemento en los AGR puede estar entre el 30 y 50%³² y pueden variar dependiendo del tamaño del agregado y método de triturado. Resultados similares han sido encontrados por otros investigadores³³³⁴

Grafica 7. Graficas de esfuerzo – deformación; (a) 7 días, (b) 14 días, (c) 28 días



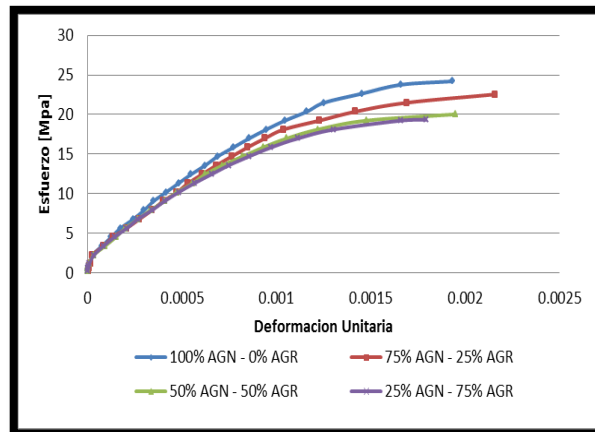
A

B

³² S R YADAV, S R PATHAK. "Use of recycled concrete aggregate in making concrete-an overview". 34th Conference on our world in concrete & structures: 16 - 18 August 2009, Singapore.

³³ F.LÓPEZ-GAYARRE, P.SERNA, A. DOMINGO-CABO. Influence of recycled aggregate quality concrete properties.(Diciembre 2009).

³⁴ SINGH, S.K. AND SHARMA, P.C. Use of Recycled Aggregates in Concrete - Journal of New Building Materials and Construction World. (2007).



c

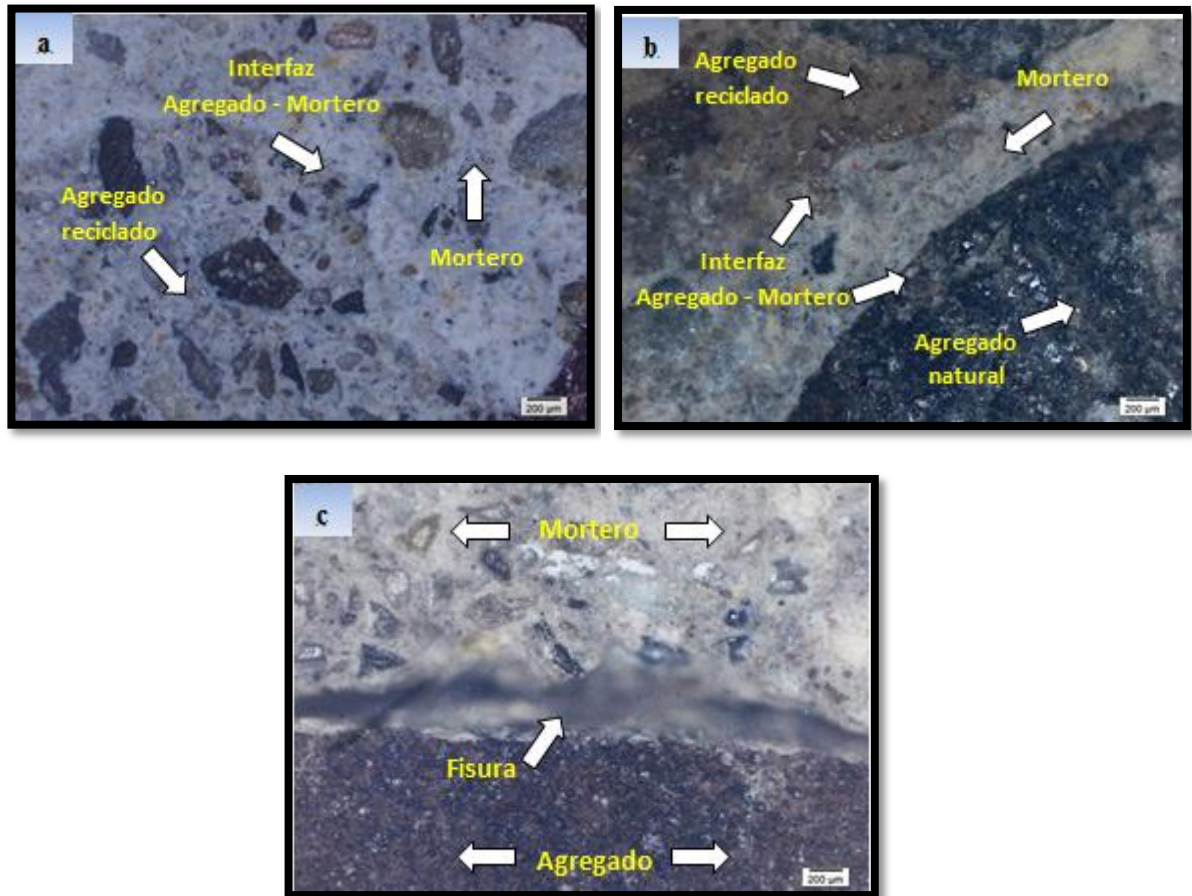
4.7. ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE CONCRETO POR MEDIO DE LA MICROSCOPIA ÓPTICA

En la imagen de la Figura 10 se observa la interface entre el agregado reciclado y la matriz de cemento, donde aparentemente se aprecia buena adherencia en la zona interfacial. En la Figura 10b se puede apreciar la buena distribución de los agregados naturales y reciclados unidos por la matriz de cemento. En la Figura 10c se puede apreciar la fisura que se presenta en las uniones de mortero con el agregado grueso reciclado, en esta interface es donde se producen las fisuras que conducen a la falla del concreto. En las imágenes también se puede observar que el mortero que conforma el AGR, tiene coloración más oscura respecto al nuevo mortero, además se visualiza buena distribución entre los agregados reciclados y naturales. Se ha demostrado que entre más fuerte sea la unión desarrollada en la zona interfacial entre el mortero y el agregado, mayor va a ser el desempeño mecánico del concreto ^{35 36}.

³⁵ L.E. ZAPATA-ORDÚZ, G.PORTELA, O.M.SUÁREZ, Weibull statistical analysis of splitting tensile strength of concretes containing class F fly ash, micro/nano-SiO₂, *Ceramics International* 40 (2014) 7373–7388.

³⁶ S R YADAV, S R PATHAK. "Use of recycled concrete aggregate in making concrete-an overview". 34th Conference on our world in concrete & structures: 16 - 18 August 2009, Singapore.

Figura 10. Análisis de microscopía óptica en la interfaz matriz de cemento-agregado grueso (a) 25%AGN/75%AGR, (b) 50%AGN/50%AGR (c) 75%AGN/25%AGR



4.8. ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE CONCRETO EN EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO (SEM)

El análisis SEM se realizó con el fin de identificar las fuentes de la disminución del rendimiento mecánico del concreto con la sustitución del AGN por AGR. En la Figura.11 se pueden apreciar las muestras de concreto después del proceso de recubrimiento con carbono para ser analizadas en el equipo Quanta 650 FEG ambiental. El carbono le da una coloración oscura a la superficie de las muestras.

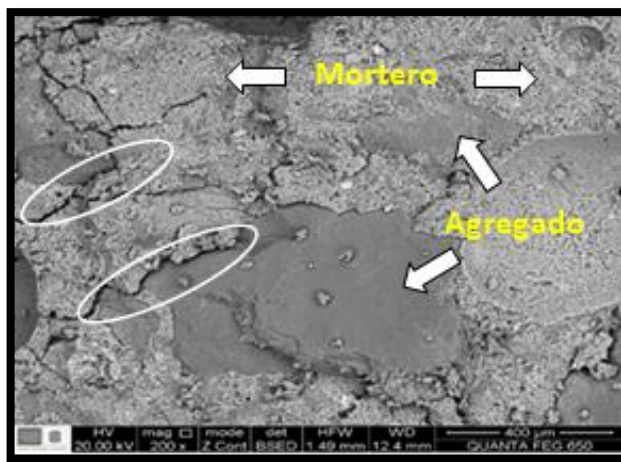
Figura 11. Muestras de concreto recubiertas con carbono para el análisis SEM



4.8.1. Imágenes Del Análisis Sem A Las Muestras De Concreto

4.8.1.1. Concreto convencional: En la Figura.12 se observa una partícula de agregado natural y su periferia (ZTI) presenta una falla típica por debilidad del ZTI (ver ovalo inferior). También se observa fisuración severa en la pasta de cemento (ovalo superior), iniciada en el ZTI de la particular superior izquierda de la micrografía.

Figura 12. Micrografía realizada a los concretos con sustitución del AGN de 0% (muestra control)



4.8.1.2. Concreto con 75% de AGN y 25% de AGR: En la Figura.13 se observa una partícula de agregado reciclado (R) y su periferia (ZTI) con respecto al concreto nuevo. En este caso, no es evidente la separación del agregado reciclado durante el proceso de falla por compresión. En contraste, en el centro de la micrografía se observa una partícula pequeña de agregado aparentemente natural la cual exhibe un ZTI más severo comparado con la particular de agregado reciclado. Notar que esta partícula fue fracturada durante el proceso de falla, esto hace difícil determinar si la partícula pequeña hace parte del nuevo agregado de mezcla o si hace parte de la partícula más grande de agregado reciclado. Se destaca la excelente ZTI entre la partícula grande reciclada y el entorno cementicio, de hecho se observa fisuración es netamente a través de la fase cementicia (señalado en la parte izquierda de la micrografía).

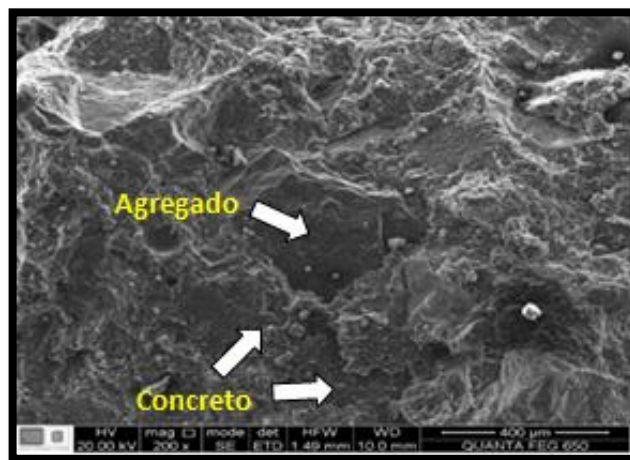
Figura 13. Micrografía realizada a los concretos con sustitución del AGN de 25%



4.8.1.3. Concreto con 50% de AGN y 50% de AGR: Es extremadamente difícil diferenciar entre ZTI de agregados reciclados y naturales empleando la técnica de microscopía electrónica. En la Figura. 14 se observa la zona de transición interfacial (ZTI) entre los agregados y la pasta de cemento. Se destaca una alta homogeneidad en la matriz cementicia sin presencia de fisuración. También se

destaca la excelente adherencia entre el concreto y el agregado característica típica en mezclas de buen comportamiento mecánico y de durabilidad. Cs Poons³⁷ realizo estudios con concretos hechos con AGR y con AGN y por medio de análisis SEM encontró diferencias en la ZTI que explican la disminución del comportamiento mecánico en los concretos reciclados

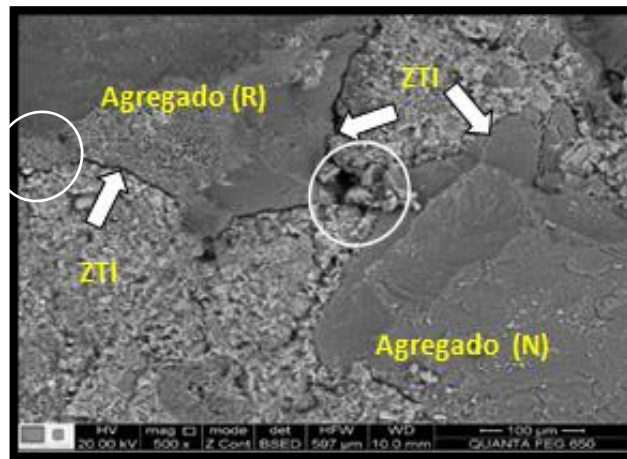
Figura 14. Micrografía realizada a los concretos con sustitución del AGN de 50%



En la Figura. 15b se observa una partícula de agregado reciclado (R) y su periferia (ZTI) con respecto al concreto nuevo. Es evidente la separación del agregado reciclado durante el proceso de falla por compresión. En contraste, al margen inferior derecho se observa una partícula de agregado natural la cual exhibe un ZTI menos severo comparado con el agregado reciclado. Se destaca la degradación de la matriz cementicia en la zona de acercamiento de los dos tipos de agregado (ver circulo en la micrografía, Fig. 15b).

³⁷ C.S. POON, Z.H. SHUI, L. LAM, Effect of microstructure of ITZ on compressive strength of concrete prepared with recycled aggregates, Construction and Building Materials 18 (2004) 461–468.

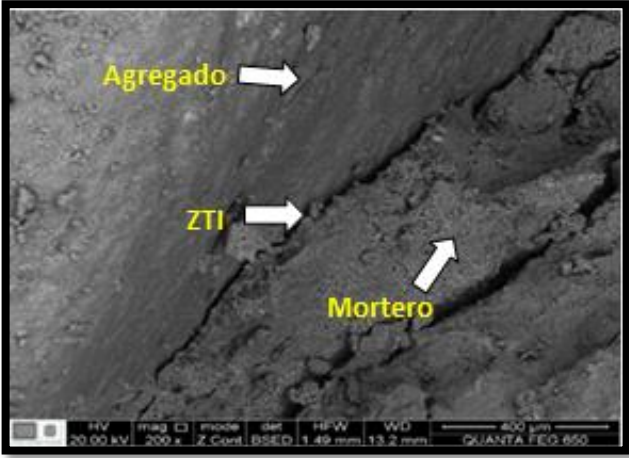
Figura 15. Micrografía realizada a los concretos con sustitución del AGN de 50%



4.8.1.4. Concreto con 25% de AGN y 75% de AGR. La Figura. 16 muestra la micrografía realizada a concretos con porcentaje de sustitución del 75%, siendo esta la que alcanzo menor resistencia a la compresión. Se observa la zona de transición interfacial (ZTI) entre el agregado y la pasta de cemento, el cual se destaca la presencia de alta heterogeneidad en la matriz cementicia con presencia de fisuración severa. También se destaca la poca adherencia entre el concreto y el agregado, característica típica para puntos de iniciación de fallas en los concretos. Esta aclaración se ve reflejada en los estudios realizados por Zapata et al.³⁸, donde la ZTI es más densa y homogénea, para concretos con mejor desempeño a la compresión.

³⁸ L.E. ZAPATA-ORDÚZ, G.PORTELA, O.M.SUÁREZ, Weibull statistical analysis of splitting tensile strength of concretes containing class F fly ash, micro/nano-SiO₂, *Ceramics International* 40 (2014) 7373–7388.

Figura 16. Micrografía realizada a los concretos con sustitución del AGN de 75%



5. CONCLUSIONES

- En este trabajo se implementó la técnica de concreto reciclado, al reemplazar el contenido de agregado grueso natural por agregado reciclado, partiendo de un diseño de mezclas convencional para un concreto con resistencia a la compresión de 21 MPa. Se analizaron las propiedades del concreto en estado fresco y en estado endurecido, evidenciando una disminución en el desempeño mecánico del concreto, de acuerdo al aumento de material reciclado presente en la mezcla.
- Se logró demostrar que el agregado grueso reciclado puede llegar a reemplazar al tradicional, al encontrar el diseño de mezcla óptimo en ciertas proporciones (36.76%AGN/63.24%AGR), para ser utilizado como concreto estructural con resistencia a la compresión de 21 MPa y con relación a/c igual a 0.6. Cabe destacar que los porcentajes de material reciclado presente en la mezcla pueden variar por diversos factores como: el origen del material, método de trituración, contenido de material contaminante, porosidad, desgaste, entre otras. Por lo tanto estos resultados son válidos solo para estos materiales.
- El porcentaje contenido de aire en las mezclas de concreto aumentó al sustituir el agregado grueso natural por agregado grueso reciclado, motivo de la porosidad y rugosidad del material reciclado, el cual disminuyen la trabajabilidad del concreto y dificultan la compactación del mismo, esto se evidenció en las pruebas de asentamiento.
- El peso unitario del concreto disminuye del 5 al 10%, al sustituir gradualmente el agregado grueso natural por agregado grueso reciclado hasta un 75% en

masa. Esto se atribuyó a que el agregado natural tiene un peso específico mayor que el agregado reciclado.

- La resistencia a la compresión obtuvo una disminución del 20%, para el mayor porcentaje de agregado reciclado presente en la mezcla (75%AGR), comparado con el concreto convencional. La disminución de la resistencia se va presentando a medida que se va aumentando el porcentaje de sustitución del agregado natural por el reciclado. Esta reducción en la resistencia se debe en parte a la porosidad del agregado reciclado, a las microfisuras generadas por el proceso de trituración y a la debilidad presente en la zona de transición interfacial entre la matriz de cemento y el agregado grueso, como lo demuestran las imágenes de los análisis de microscopía óptica y SEM.
- En los ensayos del concreto a tensión indirecta, se generó una disminución del 26%, para el concreto con 75% de material reciclado, respecto a la muestra control. Los resultados concuerdan con los resultados obtenidos de los ensayos a compresión y a su vez con la microscopía.
- Los resultados obtenidos de los ensayos de módulo de elasticidad y ensayos a flexión, no se vieron tan influenciados por la presencia del material reciclado, al presentar una disminución leve en su rendimiento.
- Se evidencio por medio de análisis micrográficos, la poca adherencia en la zona de transición interfacial (ZTI) entre el agregado grueso reciclado y la matriz de cemento, en concretos con sustitución del 50 y 75%. siendo esta una característica típica para puntos de iniciación de fallas en el concreto. Por tal motivo se presenta disminución en las propiedades mecánicas del concreto.

BIBLIOGRAFICA

ACI COMMITTEE 211. "Recommended Practice for Selecting Proportions for Normal Weight Concrete", Michigan, Farmington Hills, 1998.

ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A.E.S.P. pH del agua [en línea] [citado 14 de junio de 2015] disponible en: <http://www.amb.com.co/documentoinfo/resumen-buc-2015.pdf>

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS ASTM C138 "Peso unitario, rendimiento, y contenido de aire del hormigón fresco. Método gravimétrico.

BEDOYA MONTOYA Carlos Mauricio "El concreto reciclado con escombros como generador de hábitats urbanos sostenibles" Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín Julio 2013.

C.S. POON, Z.H. SHUI, L. LAM, Effect of microstructure of ITZ on compressive strength of concrete prepared with recycled aggregates, Construction and Building Materials 18 (2004) 461–468.

CONSTRUCTOR CIVIL, Concreto: Resistencia a la tensión [en línea] [citado 11 de junio] disponible en: <http://www.elconstructorcivil.com/2011/01/concreto-resistencia-la-tension.html>

CONSTRUDATA El reciclaje de escombros ahora es una obligación [en línea] [citado 05 de junio de 2015] disponible en:

http://www.construdata.com/Bc/Construccion/Noticias/en_que_consiste_la_norma.asp? Id_Tarea=_IDTAREA_&Email={{EMAIL}} (2012).

CONSTRUDATA. ¿Cómo manejar los escombros en su obra? Construdata [en línea] [citado 7 de junio de 2015] disponible en: http://www.construdata.com/BancoMedios/Archivos/construdata_news_agosto_2012.htm

CORTES Edwin Alberto, GÓMEZ Jorge Enrique, PERILLA Sastoque. Estudio comparativo de las características físico - mecánicas de cuatro cementos comerciales portland tipo I Universidad Militar Nueva Granada-2014

DOMÍNGUEZ José, Villanueva Víctor, MARTÍNEZ Emilio “Elementos constructivos aplicables a viviendas de interés social fabricados con áridos reciclados” Marzo 2004.

ESPECIFICACIONES IDU-ET. Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción para proyectos de infraestructura vial y de espacio público. “2005” cap6, tabla 600.6.

F.LÓPEZ-GAYARRE, P.SERNA, A. DOMINGO-CABO. Influence of recycled aggregate quality concrete properties.(Diciembre 2009).

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN NTC 127, “Ensayo para determinar las impurezas orgánicas en agregado fino para concreto”, Colombia, 2000..

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN NTC 1377, “Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio”, Colombia, 1994.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN NTC 176, “Ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso”, Colombia, 1995.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN NTC 237, “Ensayo para determinar la densidad y absorción del agregado fino”, Colombia, 1995.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN NTC 396, “Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto”, Colombia, 1992.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN NTC 4025, “método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad estático y la relación de poisson en concreto a compresión”, Colombia, 2006.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN NTC 550, “Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra”, Colombia, 2007

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN NTC 673, “Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto”, Colombia, 2010

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN NTC 722, “Método de ensayo para determinar la resistencia a la tensión indirecta de especímenes cilíndricos de concreto ”, Colombia, 2000.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN NTC 77, “Ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos”, Colombia, 2007

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN NTC 92, “Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados” Colombia, 1995.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN NTC 98, “Determinación de la resistencia al desgaste de los agregados gruesos hasta 37,5 mm utilizando la máquina de los ángeles”, Colombia, 1995.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS I.N.V.E-402-07, “Elaboración y curado en el laboratorio de muestras de concreto para ensayos de compresión y flexión”, Colombia.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS I.N.V.E-415-07, “Resistencia a la flexión del concreto método de la viga simplemente cargada en el punto central”, Colombia.

L.E. ZAPATA-ORDÚZ, G.PORTELA, O.M.SUÁREZ, Weibull statistical analysis of splitting tensile strength of concretes containing class F fly ash, micro/nano-SiO₂, Ceramics International 40 (2014) 7373–7388.

LIU. Tony C. Removal and Reuse of Hardened Concrete. ACI 555R-01(Marzo 30, 2001).

REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR 10). Titulo C, Concreto estructural, Colombia, 2010..

S R YADAV, S R PATHAK. “Use of recycled concrete aggregate in making concrete-an overview”. 34th Conference on our world in concrete & structures: 16 - 18 August 2009, Singapore.

SINGH, S.K. AND SHARMA, P.C. Use of Recycled Aggregates in Concrete -
Journal of New Building Materials and Construction World. (2007).

ANEXOS

ANEXOS A. ENSAYO RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Resultados ensayo de resistencia a compresión del concreto

Dimensión de la probeta:

- Altura: 100 mm
- Diámetro: 200 mm
- Área: 7854 mm²

TIEMPO 7 DIAS					
Proporciones de probetas	Fuerza (KN)	Resistencia (p.s.i)	Resistencia Promedio (p.s.i)	Resistencia (MPa)	Resistencia Promedio (MPa)
100% AGN	120.1	2214.70634	2199.95392	15.3	15.2
0% AGR	118.5	2185.20151		15.1	
75% AGN	106.7	1967.60338	1986.0439	13.6	13.7
25% AGR	108.7	2004.48442		13.8	
50% AGN	92.9	1713.12422	1661.49077	11.8	11.5
50% AGR	87.3	1609.85731		11.1	
25% AGN	89.0	1641.2062	1601.55908	11.3	11.1
75% AGR	84.7	1561.91196		10.8	

Dimensión de la probeta:

- Altura: 100 mm
- Diámetro: 200 mm
- Área: 7854 mm²

TIEMPO 14 DIAS					
Proporciones de probetas	Fuerza (KN)	Resistencia (p.s.i)	Resistencia Promedio (p.s.i)	Resistencia (MPa)	Resistencia Promedio (MPa)
100% AGN 0% AGR	135.8	2504.22249	2510.67667	17.3	17.4
	136.5	2517.13085		17.4	
75% AGN 25% AGR	133.4	2459.96524	2480.24981	17.0	17.2
	135.6	2500.53439		17.3	
50% AGN 50% AGR	128.6	2371.45075	2379.74899	16.4	16.5
	129.5	2388.04722		16.5	
25% AGN 75% AGR	119.5	2203.64203	2172.29315	15.2	15.00
	116.1	2140.94426		14.8	

Dimensión de la probeta:

- Altura: 100 mm
- Diámetro: 200 mm
- Área: 7854 mm²

TIEMPO 28 DIAS				
Proporciones de probetas	Fuerza (KN)	Resistencia Promedio (p.s.i)	Resistencia (MPa)	Resistencia Promedio (MPa)
100% AGN	202.1	3839.316069	25.7	26.5
0% AGR	214.3		27.3	
75% AGN	189.6	3485.258103	24.1	24.1
25% AGR	188.4		24.0	
50% AGN	177.7	3241.843252	22.6	22.4
50% AGR	173.9		22.1	
25% AGN	156.5	2882.25313	19.9	19.9
75% AGR	156.1		19.9	

ANEXOS B. ENSAYO RESISTENCIA A TENSIÓN INDIRECTA

Resultado ensayo de resistencia a tensión indirecta del concreto

Dimensión de la probeta:

- Altura: 100 mm
- Diámetro: 200 mm
- Área: 7854 mm²

TIEMPO 7 DIAS			
Proporciones de probetas	Fuerza (KN)	Resistencia (p.s.i)	Resistencia (MPa)
100% AGN 0% AGR	60.3	278.0	1.9
75% AGN 25% AGR	49.7	229.1	1.6
50% AGN 50% AGR	43.9	202.4	1.4
25% AGN 75% AGR	37.4	172.4	1.2

TIEMPO 14 DIAS			
Proporciones de probetas	Fuerza (KN)	Resistencia (p.s.i)	Resistencia (MPa)
100% AGN 0% AGR	70.2	323.6	2.2
75% AGN 25% AGR	68.8	317.2	2.2
50% AGN 50% AGR	57.6	265.5	1.8
25% AGN 75% AGR	54.6	251.7	1.7

TIEMPO 28 DIAS			
Proporciones de probetas	Fuerza (KN)	Resistencia (p.s.i)	Resistencia (MPa)
100% AGN 0% AGR	76.5	352.7	2.4
75% AGN 25% AGR	73.9	340.7	2.4
50% AGN 50% AGR	71.15	328.0	2.3
25% AGN 75% AGR	56.8	261.9	1.8

ANEXOS C. RESISTENCIA A TENSIÓN POR FLEXIÓN

Resultado ensayo de resistencia a tensión por flexión del concreto

Dimensión de la viga:

- Longitud efectiva: 860 mm
- Área: 22500 mm²

TIEMPO 28 DIAS			
Proporciones de probetas	Fuerza (KN)	Resistencia (p.s.i)	Resistencia (MPa)
100% AGN 0% AGR	1300	705.3	4.9
75% AGN 25% AGR	1200	651.0	4.5
50% AGN 50% AGR	1100	596.8	4.1
25% AGN 75% AGR	1200	651.0	4.5

ANEXOS D ENSAYO MÓDULO DE ELASTICIDAD ENSAYO A COMPRESIÓN

Resultado ensayo de módulo de elasticidad a compresión

MODULO DE ELASTICIDAD SECANTE 7 DIAS 100% AGN - 0% AGR

Área Cilindro	176.7	cm ²
Longitud Anillo	153	mm

Carga KN	Deformación 0.001 pulg	Deformación mm	Carga newton	Deformación Unitaria	Esfuerzo MPa
5	0	0	5000	0	0.28296548
10	0	0	10000	0	0.56593096
15	0	0	15000	0	0.84889643
20	0	0	20000	0	1.13186191
40	6	0.00762	40000	0.000049804	2.26372383
60	13	0.01651	60000	0.000107908	3.39558574
80	22	0.02794	80000	0.000182614	4.52744765
100	30	0.0381	100000	0.00024902	5.65930956
120	41	0.05207	120000	0.000340327	6.79117148
140	52	0.06604	140000	0.000431634	7.92303339
160	64	0.08128	160000	0.000531242	9.0548953
180	78	0.09906	180000	0.000647451	10.1867572
200	98	0.12446	200000	0.000813464	11.3186191
220	129	0.16383	220000	0.001070784	12.450481
240	169	0.21463	240000	0.00140281	13.582343
260	198	0.25146	260000	0.001643529	14.7142049

Módulo de elasticidad	16651.8899	MPa
Módulo de elasticidad	2411723.799	P.s.i

MODULO DE ELASTICIDAD SECANTE 7 DIAS 75% AGN-25% AGR

Área Cilindro	176.7	cm ²
Longitud Anillo	153	mm

Carga KN	Deformación 0.001 pulg	Deformación mm	Carga newton	Deformación Unitaria	Esfuerzo MPa
5	0	0	5000	0	0.28296548
10	0	0	10000	0	0.56593096
15	0	0	15000	0	0.84889643
20	1	0.00127	20000	0.000008301	1.13186191
40	7	0.00889	40000	0.000058105	2.26372383
60	16	0.02032	60000	0.00013281	3.39558574
80	25	0.03175	80000	0.000207516	4.52744765
100	35	0.04445	100000	0.000290523	5.65930956
120	46	0.05842	120000	0.00038183	6.79117148
140	57	0.07239	140000	0.000473137	7.92303339
160	72	0.09144	160000	0.000597647	9.0548953
180	91	0.11557	180000	0.000755359	10.1867572
200	120	0.1524	200000	0.000996078	11.3186191
220	166	0.21082	220000	0.001377908	12.450481
228.6	253	0.32131	228600	0.002100065	12.9371817

Módulo de elasticidad	15099.53619	MPa
Módulo de elasticidad	2186893.56	P.s.i

MODULO DE ELASTICIDAD SECANTE 7 DIAS 50% AGN-50% AGR

Área Cilindro	176.7	cm ²
Longitud Anillo	153	mm

Carga KN	Deformación 0.001 pulg	Deformación mm	Carga newton	Deformación Unitaria	Esfuerzo MPa
5	0	0	5000	0	0.28296548
10	1	0.00127	10000	0.000008301	0.56593096
15	2	0.00254	15000	0.000016601	0.84889643
20	3	0.00381	20000	0.000024902	1.13186191
40	9	0.01143	40000	0.000074706	2.26372383
60	18	0.02286	60000	0.000149412	3.39558574
80	28	0.03556	80000	0.000232418	4.52744765
100	40	0.0508	100000	0.000332026	5.65930956
120	54	0.06858	120000	0.000448235	6.79117148
140	71	0.09017	140000	0.000589346	7.92303339
160	95	0.12065	160000	0.000788562	9.0548953
180	130	0.1651	180000	0.001079085	10.1867572
198.5	238	0.30226	198500	0.001975556	11.2337295

Módulo de elasticidad	15513.11048	MPa
Módulo de elasticidad	2246792.284	P.s.i

MODULO DE ELASTICIDAD SECANTE 7 DIAS 25% AGN-75% AGR

Área Cilindro	176.7	cm ²
Longitud Anillo	153	Mm

Carga KN	Deformación 0.001 pulg	Deformación mm	Carga newton	Deformación Unitaria	Esfuerzo MPa
5	0	0	5000	0	0.28296548
10	0.5	0.000635	10000	0.000004150	0.56593096
15	1	0.00127	15000	0.000008301	0.84889643
20	3	0.00381	20000	0.000024902	1.13186191
40	10	0.0127	40000	0.000083007	2.26372383
60	19	0.02413	60000	0.000157712	3.39558574
80	30	0.0381	80000	0.00024902	4.52744765
100	42	0.05334	100000	0.000348627	5.65930956
120	58	0.07366	120000	0.000481438	6.79117148
140	76	0.09652	140000	0.00063085	7.92303339
160	100	0.127	160000	0.000830065	9.0548953
180	139	0.17653	180000	0.001153791	10.1867572
200.2	235	0.29845	200200	0.001950654	11.3299377

Módulo de elasticidad	14597.33516	MPa
Módulo de elasticidad	2114158.863	P.s.i

MODULO DE ELASTICIDAD SECANTE 14 DIAS 100% AGN - 0% AGR

Área Cilindro	176.7	cm ²
Longitud Anillo	153	Mm

Carga KN	Deformación 0.001 pulg	Deformación mm	Carga newton	Deformación Unitaria	Esfuerzo MPa
5	0	0	5000	0	0.282965478
10	0	0	10000	0	0.565930956
15	0.2	0.000254	15000	0.000001660	0.848896435
20	0.5	0.000635	20000	0.000004150	1.131861913
40	5	0.00635	40000	0.000041503	2.263723826
60	11	0.01397	60000	0.000091307	3.395585739
80	18	0.02286	80000	0.000149412	4.527447651
100	25	0.03175	100000	0.000207516	5.659309564
120	33	0.04191	120000	0.000273922	6.791171477
140	42	0.05334	140000	0.000348627	7.92303339
160	51	0.06477	160000	0.000423333	9.054895303
180	61	0.07747	180000	0.00050634	10.18675722
200	74	0.09398	200000	0.000614248	11.31861913
220	86	0.10922	220000	0.000713856	12.45048104
240	103	0.13081	240000	0.000854967	13.58234295
260	124	0.15748	260000	0.001029281	14.71420487
280	153	0.19431	280000	0.00127	15.84606678
293.7	219	0.27813	293700	0.001817843	16.62139219

Módulo de elasticidad	19447.75046	MPa
Módulo de elasticidad	2816653.419	P.s.i

MODULO DE ELASTICIDAD SECANTE 14 DIAS 75% AGN-25% AGR

Área Cilindro	176.7	cm ²
Longitud Anillo	153	Mm

Carga KN	Deformación 0.001 pulg	Deformación mm	Carga newton	Deformación Unitaria	Esfuerzo MPa
5	0.1	0.000127	5000	0.000000830	0.282965478
10	0.5	0.000635	10000	0.000004150	0.565930956
15	0.7	0.000889	15000	0.000005810	0.848896435
20	2	0.00254	20000	0.000016601	1.131861913
40	6	0.00762	40000	0.000049804	2.263723826
60	12	0.01524	60000	0.000099608	3.395585739
80	20	0.0254	80000	0.000166013	4.527447651
100	27	0.03429	100000	0.000224118	5.659309564
120	34	0.04318	120000	0.000282222	6.791171477
140	43	0.05461	140000	0.000356928	7.923033390
160	51	0.06477	160000	0.000423333	9.054895303
180	61	0.07747	180000	0.000506340	10.186757216
200	70	0.0889	200000	0.000581046	11.318619128
220	80	0.1016	220000	0.000664052	12.450481041
240	96	0.12192	240000	0.000796863	13.582342954
260	114	0.14478	260000	0.000946275	14.714204867
280	137	0.17399	280000	0.001137190	15.846066780
300.5	204	0.25908	300500	0.001693333	17.006225241

Módulo de elasticidad	18063.13218	MPa
Módulo de elasticidad	2580428.571	P.s.i

MODULO DE ELASTICIDAD SECANTE 14 DIAS 50% AGN-50% AGR

Área Cilindro	176.7	cm ²
Longitud Anillo	153	Mm

Carga KN	Deformación 0.001 pulg	Deformación mm	Carga newton	Deformación Unitaria	Esfuerzo MPa
5	0	0	5000	0	0.282965478
10	0.3	0.000381	10000	0.000002490	0.565930956
15	0.6	0.000762	15000	0.000004980	0.848896435
20	1	0.00127	20000	0.000008301	1.131861913
40	4	0.00508	40000	0.000033203	2.263723826
60	11	0.01397	60000	0.000091307	3.395585739
80	19	0.02413	80000	0.000157712	4.527447651
100	28	0.03556	100000	0.000232418	5.659309564
120	36	0.04572	120000	0.000298824	6.791171477
140	46	0.05842	140000	0.00038183	7.92303339
160	57	0.07239	160000	0.000473137	9.054895303
180	68	0.08636	180000	0.000564444	10.18675722
200	83	0.10541	200000	0.000688954	11.31861913
220	98	0.12446	220000	0.000813464	12.45048104
240	119	0.15113	240000	0.000987778	13.58234295
260	148	0.18796	260000	0.001228497	14.71420487
275.6	210	0.2667	275600	0.001743137	15.59705716

Módulo de elasticidad	16859.67922	MPa
Módulo de elasticidad	2441818.308	P.s.i

MODULO DE ELASTICIDAD SECANTE 14 DIAS 25% AGN-75% AGR

Área Cilindro	176.7	cm ²
Longitud Anillo	153	Mm

Carga KN	Deformación 0.001 pulg	Deformación mm	Carga newton	Deformación Unitaria	Esfuerzo MPa
5	0	0	5000	0	0.282965478
10	0.5	0.000635	10000	0.000004150	0.565930956
15	0.7	0.000889	15000	0.000005810	0.848896435
20	1	0.00127	20000	0.000008301	1.131861913
40	5	0.00635	40000	0.000041503	2.263723826
60	12	0.01524	60000	0.000099608	3.395585739
80	20	0.0254	80000	0.000166013	4.527447651
100	28	0.03556	100000	0.000232418	5.659309564
120	37	0.04699	120000	0.000307124	6.791171477
140	48	0.06096	140000	0.000398431	7.92303339
160	61	0.07747	160000	0.00050634	9.054895303
180	75	0.09525	180000	0.000622549	10.18675722
200	90	0.1143	200000	0.000747059	11.31861913
220	113	0.14351	220000	0.000937974	12.45048104
240	143	0.18161	240000	0.001186993	13.58234295
255.1	205	0.26035	255100	0.001701634	14.4368987

Módulo de elasticidad	17602.90048	MPa
Módulo de elasticidad	2549460.408	P.s.i

MODULO DE ELASTICIDAD SECANTE 28 DIAS 100% AGN - 0% AGR

Área Cilindro	176.7	cm ²
Longitud Anillo	153	Mm

Carga KN	Deformación 0.001 pulg	Deformación mm	Carga newton	Deformación Unitaria	Esfuerzo MPa
5	0	0	5000	0	0.28296548
10	0.5	0.000635	10000	0.000004150	0.56593096
15	0.7	0.000889	15000	0.000005810	0.84889643
20	1	0.00127	20000	0.000008301	1.13186191
40	3	0.00381	40000	0.000024902	2.26372383
60	9	0.01143	60000	0.000074706	3.39558574
80	15	0.01905	80000	0.00012451	4.52744765
100	21	0.02667	100000	0.000174314	5.65930956
120	29	0.03683	120000	0.000240719	6.79117148
140	36	0.04572	140000	0.000298824	7.92303339
160	42	0.05334	160000	0.000348627	9.0548953
180	50	0.0635	180000	0.000415033	10.1867572
200	58	0.07366	200000	0.000481438	11.3186191
220	66	0.08382	220000	0.000547843	12.450481
240	75	0.09525	240000	0.000622549	13.582343
260	83	0.10541	260000	0.000688954	14.7142049
280	93	0.11811	280000	0.000771961	15.8460668
300	103	0.13081	300000	0.000854967	16.9779287
320	114	0.14478	320000	0.000946275	18.1097906
340	126	0.16002	340000	0.001045882	19.2416525
360	140	0.1778	360000	0.001162092	20.3735144
380	151	0.19177	380000	0.001253399	21.5053763
400	175	0.22225	400000	0.001452614	22.6372383
420	200	0.254	420000	0.001660131	23.7691002
427.6	233	0.29591	427600	0.001934052	24.1992077

Módulo de elasticidad	20415.27106	MPa
Módulo de elasticidad	2956781.205	P.s.i

MODULO DE ELASTICIDAD SECANTE 28 DIAS 75% AGN-25% AGR

Área Cilindro	176.7	cm ²
Longitud Anillo	153	Mm

Carga KN	Deformación 0.001 pulg	Deformación mm	Carga newton	Deformación Unitaria	Esfuerzo MPa
5	0.5	0.000635	5000	0.000004150	0.28296548
10	0.7	0.000889	10000	0.000005810	0.56593096
15	1	0.00127	15000	0.000008301	0.84889643
20	2	0.00254	20000	0.000016601	1.13186191
40	3	0.00381	40000	0.000024902	2.26372383
60	10	0.0127	60000	0.000083007	3.39558574
80	16	0.02032	80000	0.00013281	4.52744765
100	25	0.03175	100000	0.000207516	5.65930956
120	33	0.04191	120000	0.000273922	6.79117148
140	41	0.05207	140000	0.000340327	7.92303339
160	48	0.06096	160000	0.000398431	9.0548953
180	57	0.07239	180000	0.000473137	10.1867572
200	64	0.08128	200000	0.000531242	11.3186191
220	73	0.09271	220000	0.000605948	12.450481
240	82	0.10414	240000	0.000680654	13.582343
260	92	0.11684	260000	0.00076366	14.7142049
280	102	0.12954	280000	0.000846667	15.8460668
300	113	0.14351	300000	0.000937974	16.9779287
320	125	0.15875	320000	0.001037582	18.1097906
340	148	0.18796	340000	0.001228497	19.2416525
360	171	0.21717	360000	0.001419412	20.3735144
380	204	0.25908	380000	0.001693333	21.5053763
398.4	260	0.3302	398400	0.00215817	22.5466893

Módulo de elasticidad	19078.35691	MPa
Módulo de elasticidad	2725428.571	P.s.i

MODULO DE ELASTICIDAD SECANTE 28 DIAS 50% AGN-50% AGR

Área Cilindro	176.7	cm ²
Longitud Anillo	153	Mm

Carga KN	Deformación 0.001 pulg	Deformación mm	Carga newton	Deformación Unitaria	Esfuerzo MPa
5	0	0	5000	0	0.28296548
10	0	0	10000	0	0.56593096
15	0.2	0.000254	15000	0.000001660	0.84889643
20	0.7	0.000889	20000	0.000005810	1.13186191
40	4	0.00508	40000	0.000033203	2.26372383
60	11	0.01397	60000	0.000091307	3.39558574
80	18	0.02286	80000	0.000149412	4.52744765
100	24	0.03048	100000	0.000199216	5.65930956
120	32	0.04064	120000	0.000265621	6.79117148
140	40	0.0508	140000	0.000332026	7.92303339
160	49	0.06223	160000	0.000406732	9.0548953
180	57	0.07239	180000	0.000473137	10.1867572
200	67	0.08509	200000	0.000556144	11.3186191
220	75	0.09525	220000	0.000622549	12.450481
240	86	0.10922	240000	0.000713856	13.582343
260	99	0.12573	260000	0.000821765	14.7142049
280	112	0.14224	280000	0.000929673	15.8460668
300	127	0.16129	300000	0.001054183	16.9779287
320	147	0.18669	320000	0.001220196	18.1097906
340	178	0.22606	340000	0.001477516	19.2416525
354.1	235	0.29845	354100	0.001950654	20.0396152

Módulo de elasticidad	18825.49782	MPa
Módulo de elasticidad	2726531.427	P.s.i

MODULO DE ELASTICIDAD SECANTE 28 DIAS 25% AGN-75% AGR

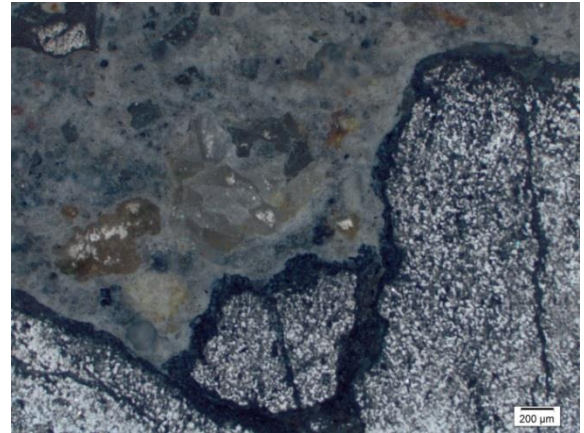
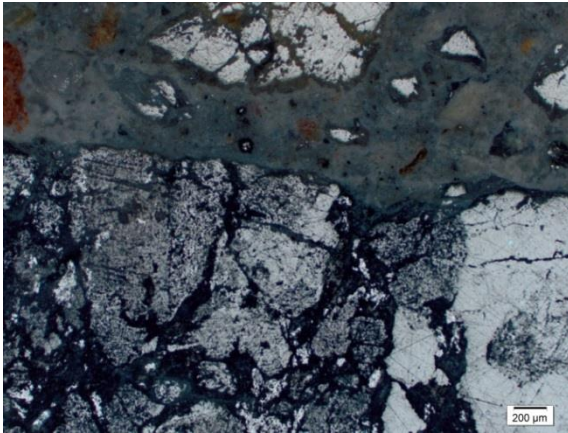
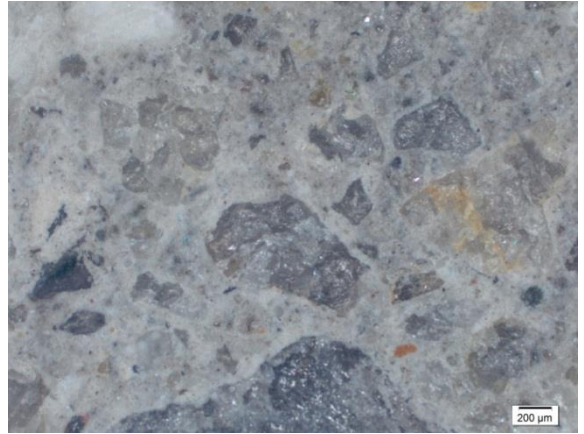
Área Cilindro	176.7	cm ²
Longitud Anillo	153	Mm

Carga KN	Deformación 0.001 pulg	Deformación mm	Carga newton	Deformación Unitaria	Esfuerzo MPa
5	0	0	5000	0	0.28296548
10	0.1	0.000127	10000	0.000000830	0.56593096
15	0.5	0.000635	15000	0.000004150	0.84889643
20	1	0.00127	20000	0.000008301	1.13186191
40	4	0.00508	40000	0.000033203	2.26372383
60	10	0.0127	60000	0.000083007	3.39558574
80	17	0.02159	80000	0.000141111	4.52744765
100	25	0.03175	100000	0.000207516	5.65930956
120	32	0.04064	120000	0.000265621	6.79117148
140	41	0.05207	140000	0.000340327	7.92303339
160	49	0.06223	160000	0.000406732	9.0548953
180	58	0.07366	180000	0.000481438	10.1867572
200	68	0.08636	200000	0.000564444	11.3186191
220	79	0.10033	220000	0.000655752	12.450481
240	90	0.1143	240000	0.000747059	13.582343
260	103	0.13081	260000	0.000854967	14.7142049
280	117	0.14859	280000	0.000971176	15.8460668
300	134	0.17018	300000	0.001112288	16.9779287
320	157	0.19939	320000	0.001303203	18.1097906
340	200	0.254	340000	0.001660131	19.2416525
341.6	216	0.27432	341600	0.001792941	19.3322015

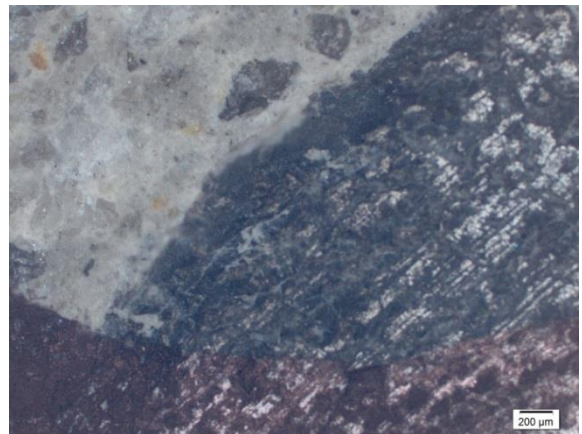
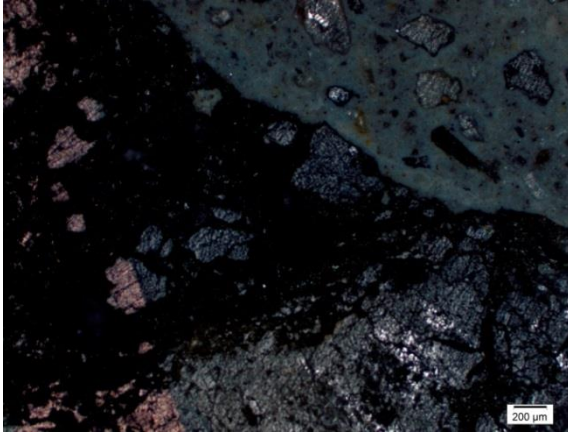
Módulo de elasticidad	18313.73064	MPa
Módulo de elasticidad	2652411.246	P.s.i

ANEXOS E. IMÁGENES DE MICROSCOPIA ÓPTICA PARA LAS MUESTRAS DE CONCRETO

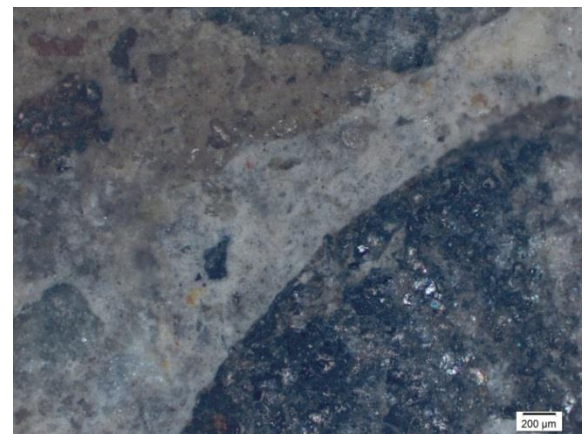
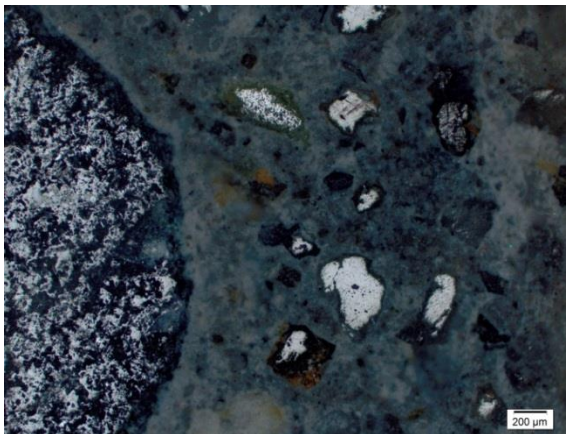
- PROPORCIONES DE AGREGADOS EN LA MEZCLA
 - AGREGADO NATURAL: 100%
 - AGREGADO RECICLADO: 0%



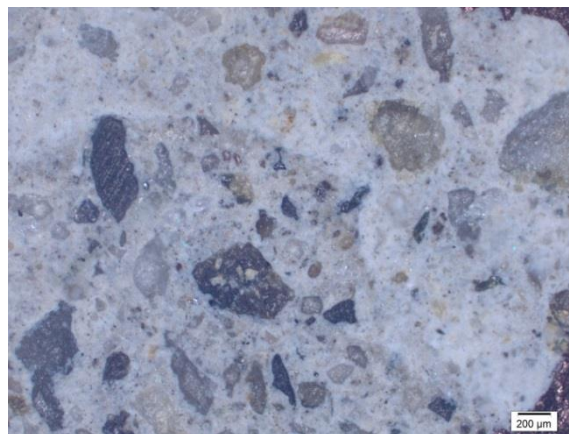
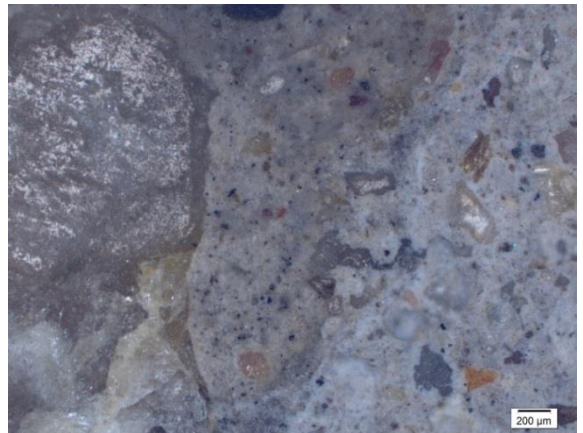
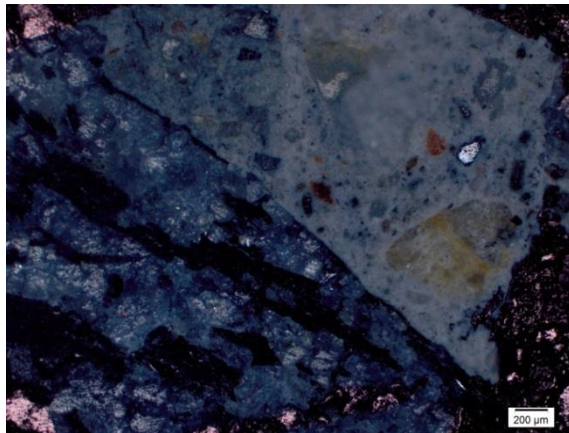
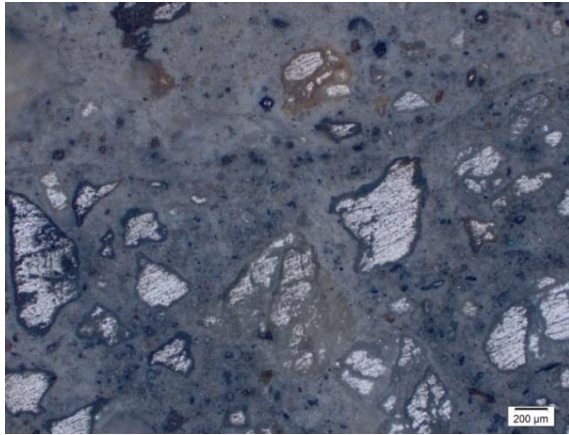
- PROPORCIONES DE AGREGADOS EN LA MEZCLA
- AGREGADO NATURAL: 75%
- AGREGADO RECICLADO: 25%



- PROPORCIONES DE AGREGADOS EN LA MEZCLA
- AGREGADO NATURAL: 50%
- AGREGADO RECICLADO: 50%

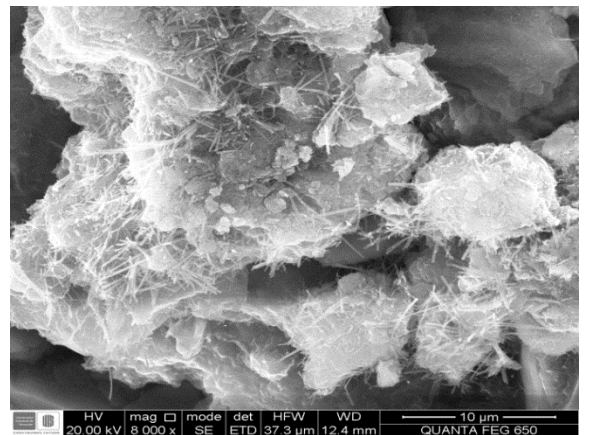
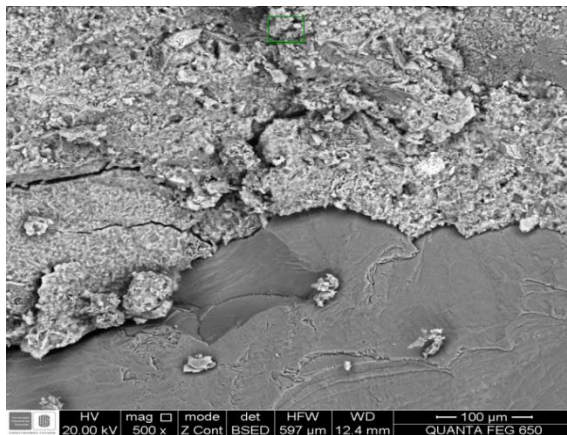
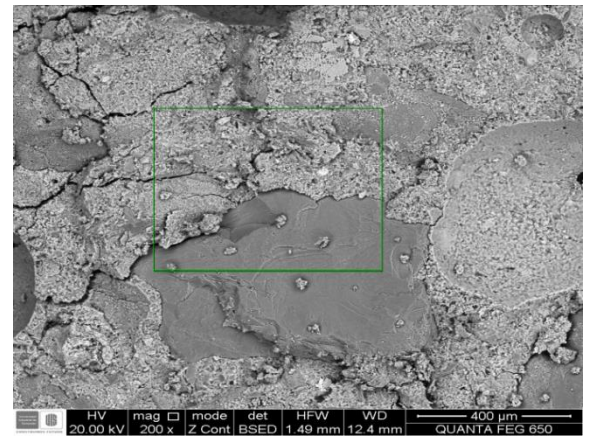
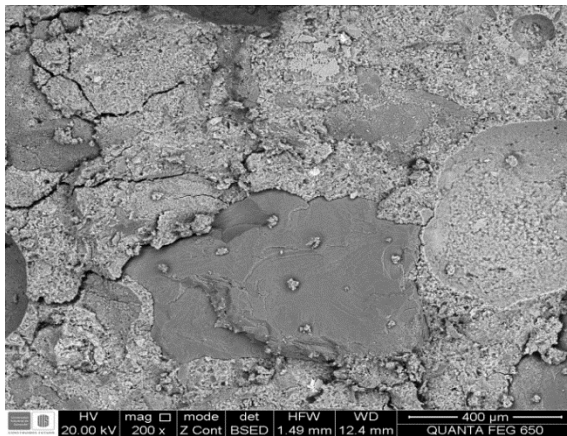


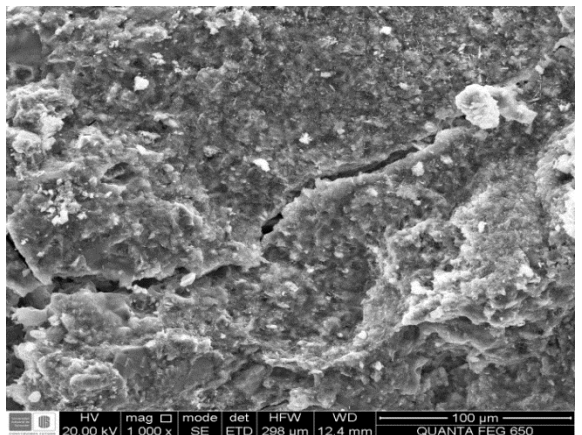
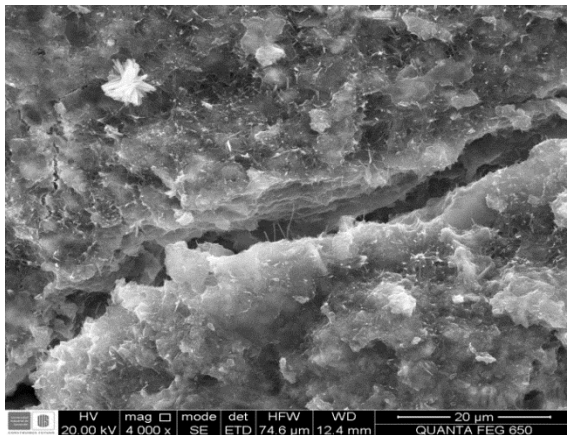
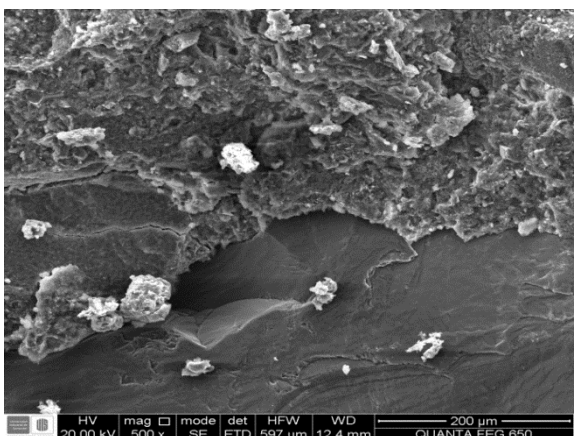
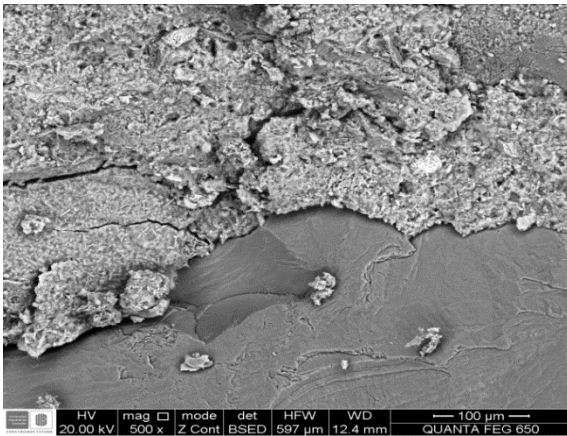
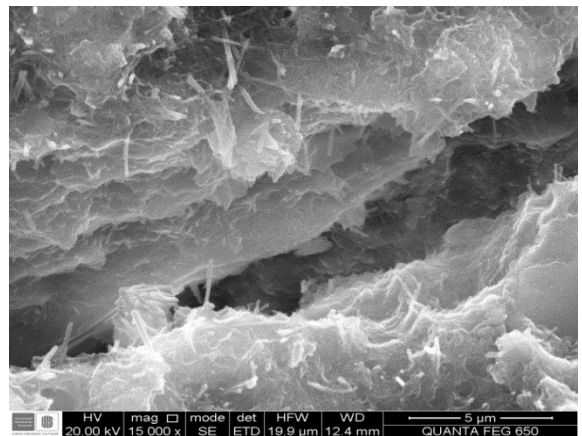
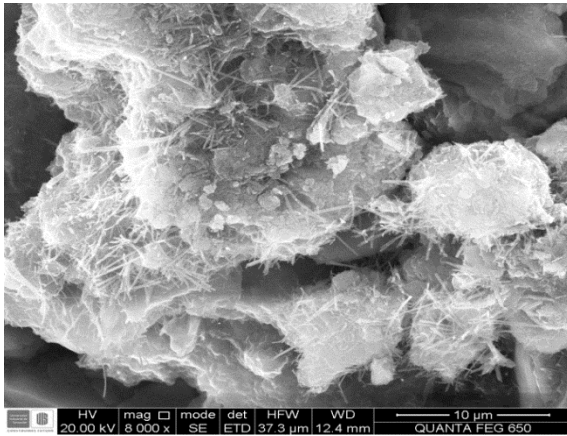
- PROPORCIONES DE AGREGADOS EN LA MEZCLA
 - AGREGADO NATURAL: 25%
 - AGREGADO RECICLADO: 75%



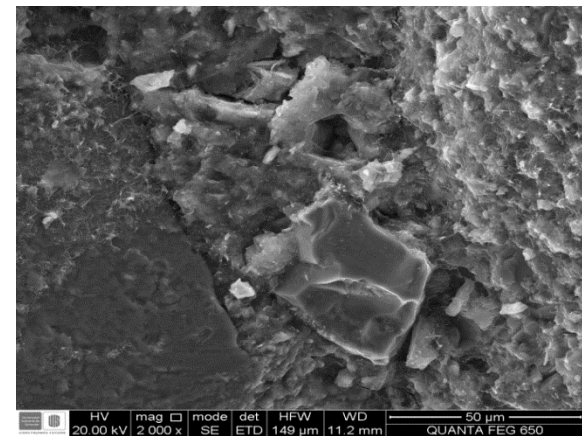
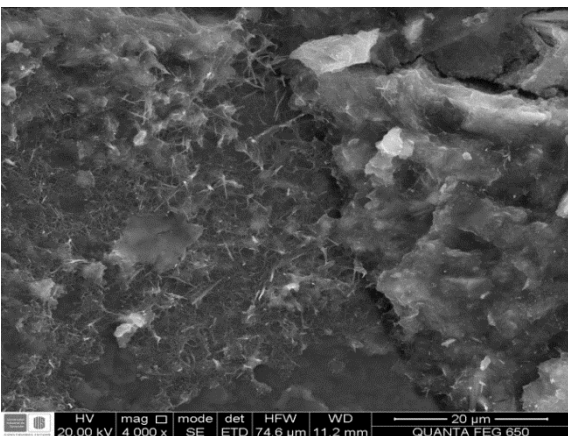
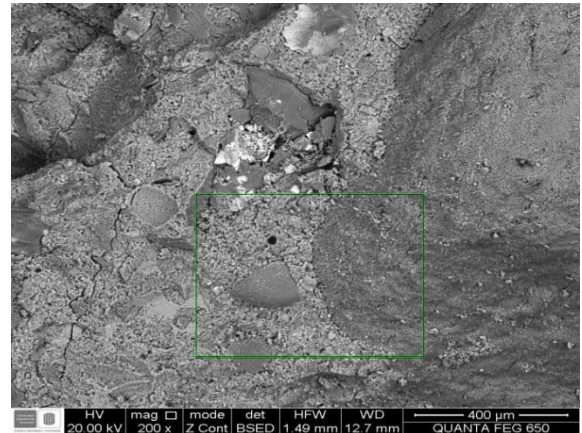
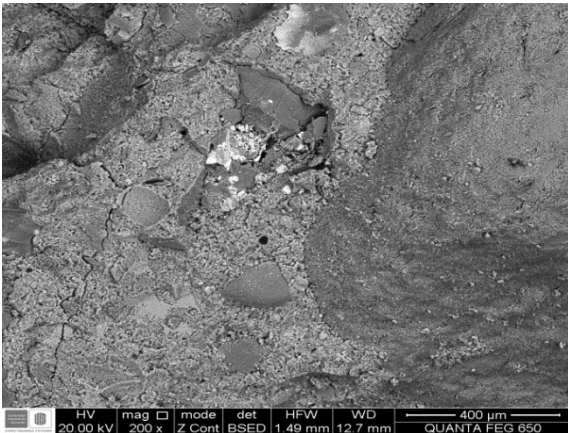
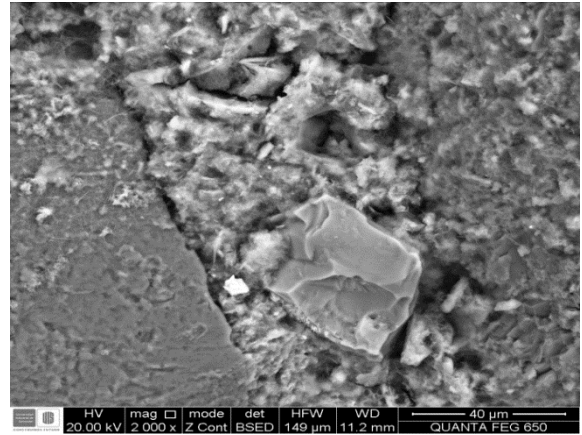
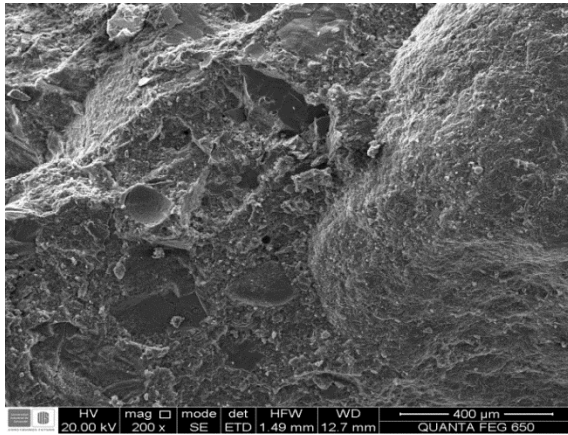
ANEXOS F. IMÁGENES DE MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO (SEM) PARA LAS MUESTRAS DE CONCRETO

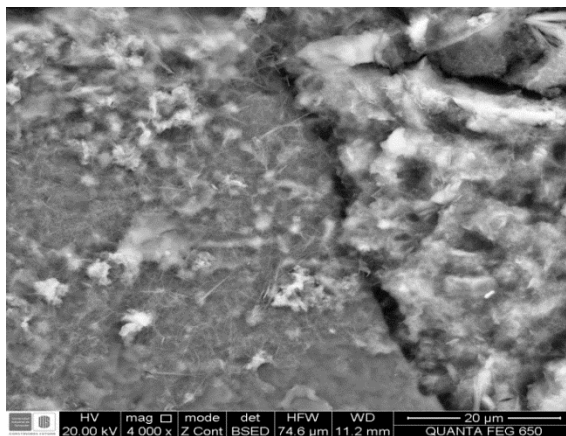
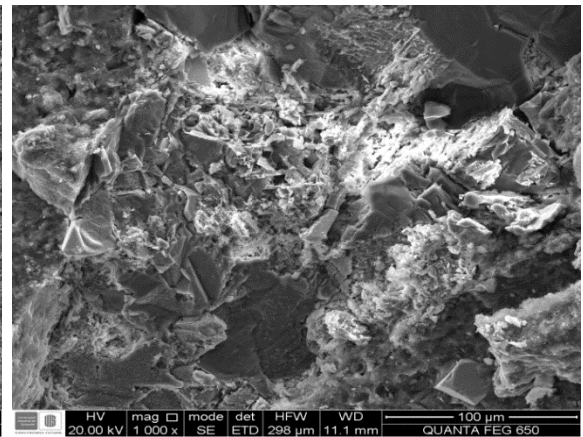
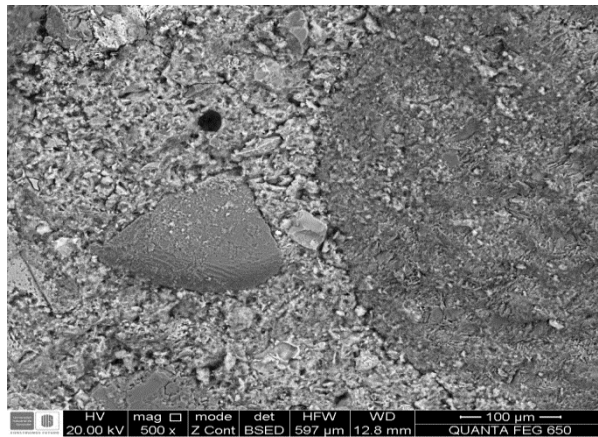
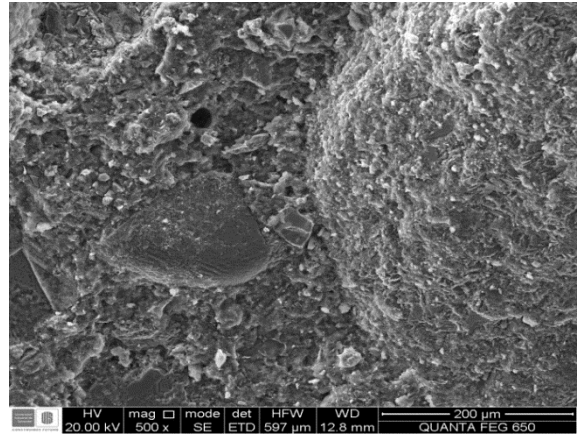
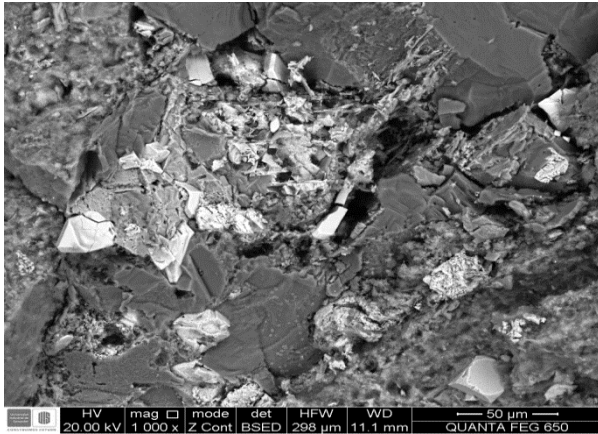
- PROPORCIONES DE AGREGADOS EN LA MEZCLA
 - AGREGADO NATURAL: 100%
 - AGRGEADO RECICLADO: 0%



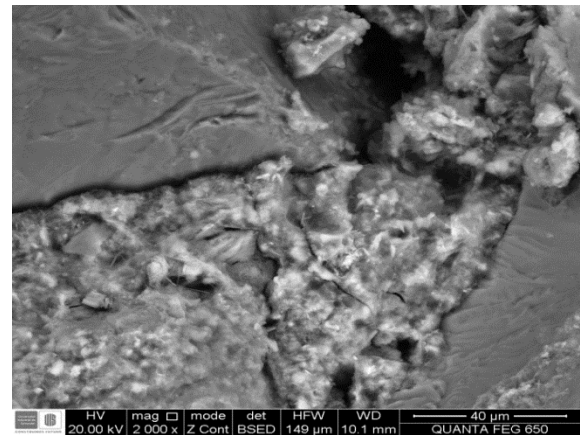
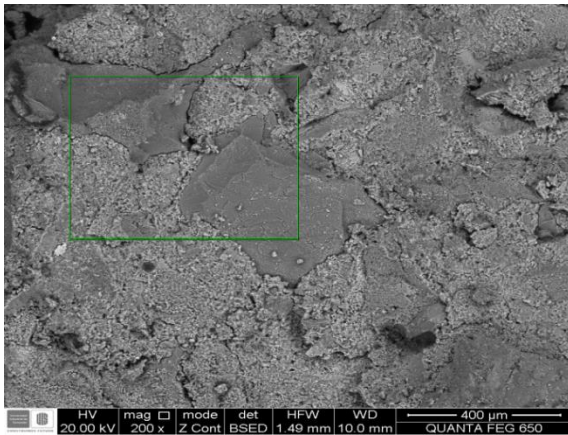
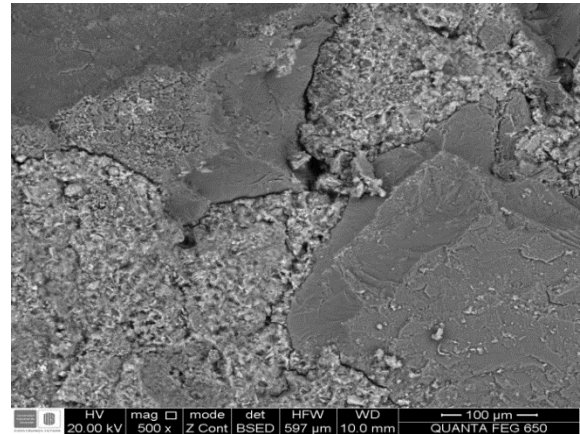
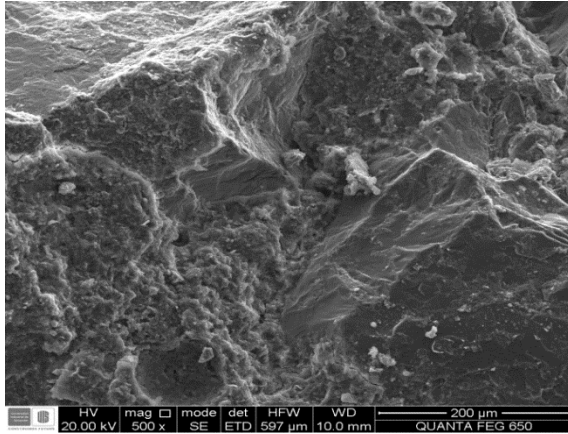


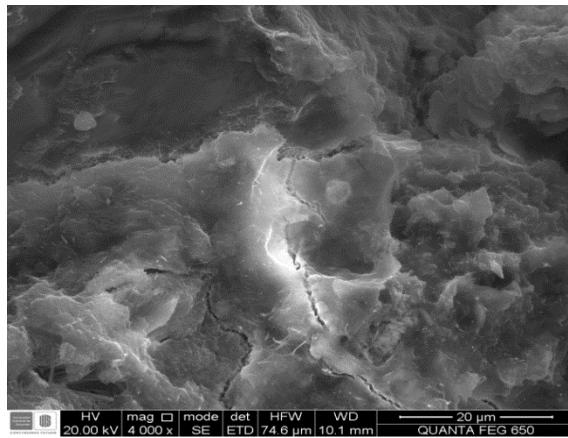
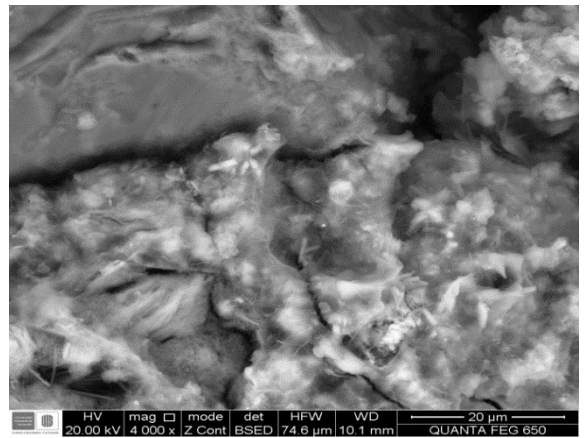
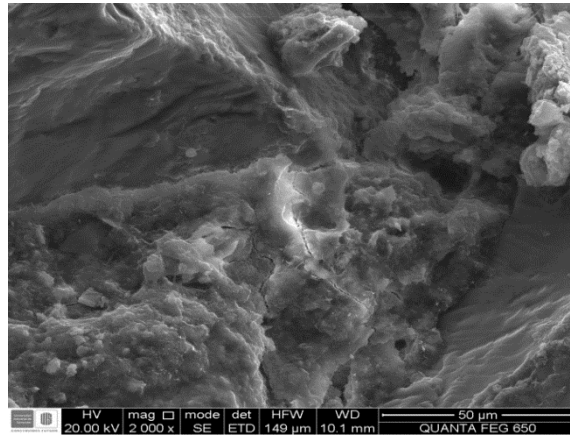
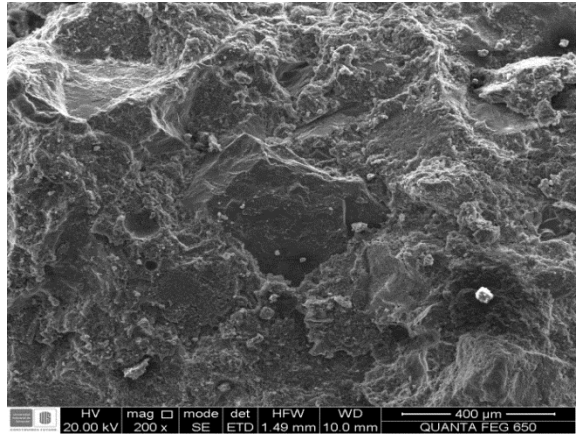
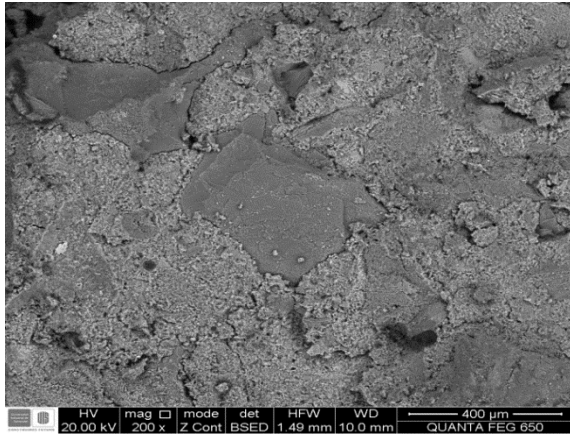
- PROPORCIONES DE AGREGADOS EN LA MEZCLA
- AGREGADO NATURAL: 75%
- AGRGEADO RECICLADO: 25%



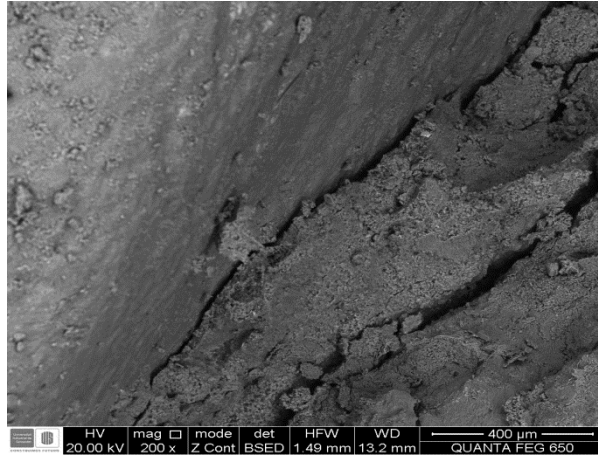


- PROPORCIONES DE AGREGADOS EN LA MEZCLA
 - AGREGADO NATURAL: 50%
 - GRGEADO RECICLADO: 50%



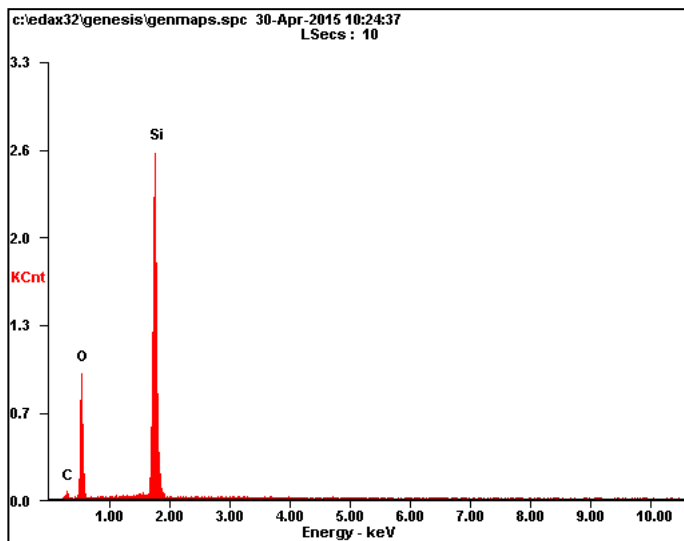


- PROPORCIONES DE AGREGADOS EN LA MEZCLA
 - AGREGADO NATURAL: 25%
 - GRGEADO RECICLADO: 75%

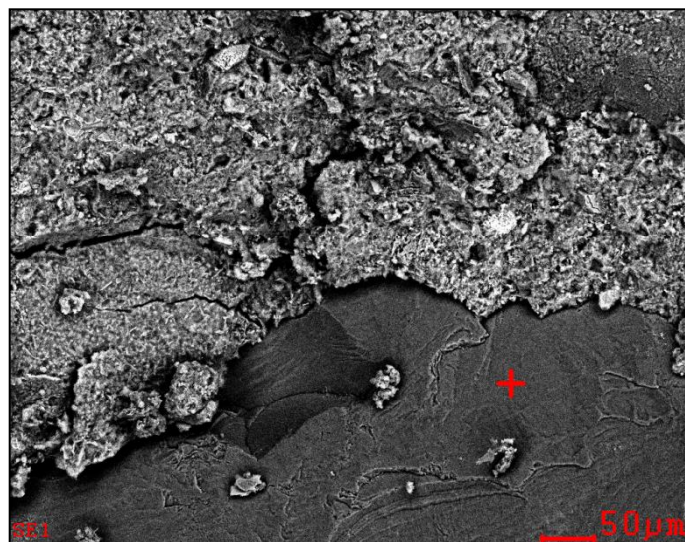


ANEXOS G. ANÁLISIS ESPECTROSCOPIA DE DISPERSIÓN DE ENERGÍA DE RAYOS X (EDS) PARA LAS MUESTRAS DE CONCRETO

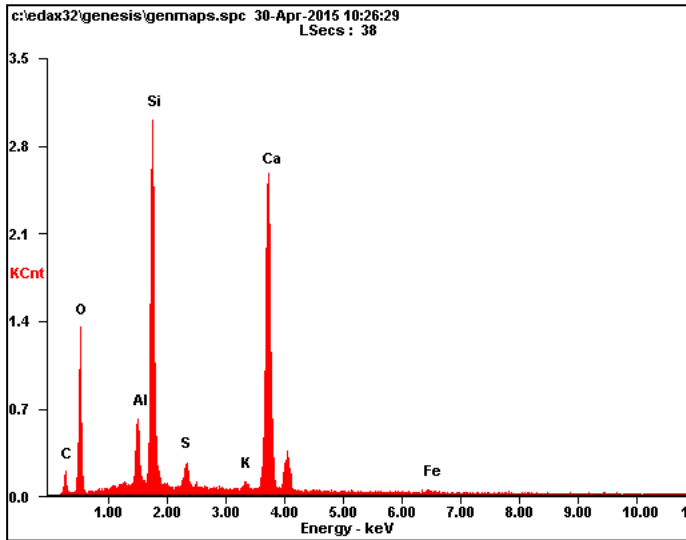
- PROPORCIONES DE AGREGADOS EN LA MEZCLA
 - AGREGADO NATURAL: 100%
 - AGRGEADO RECICLADO: 0%



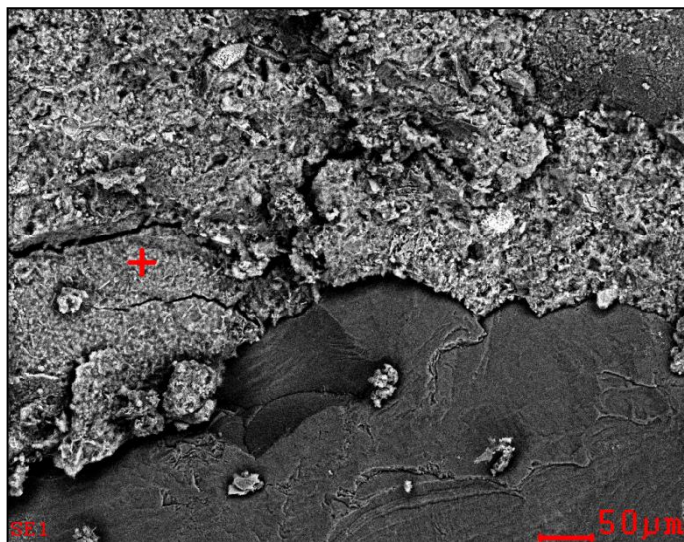
<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	07.50	12.41
<i>OK</i>	41.44	51.46
<i>SiK</i>	51.06	36.13
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF



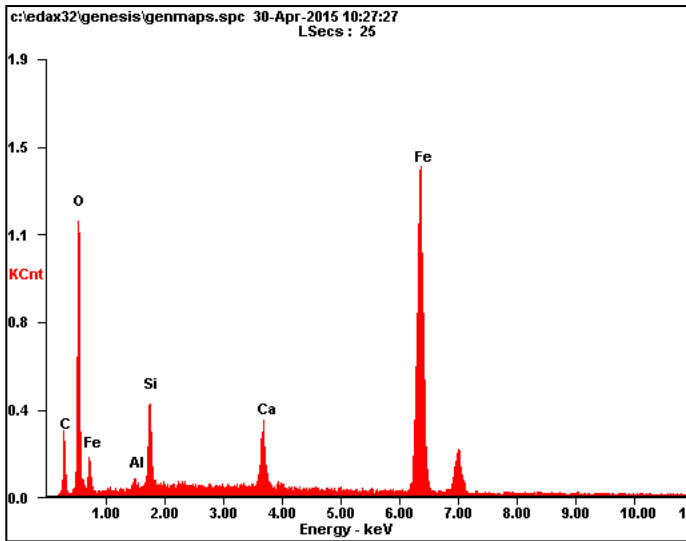
- PROPORCIONES DE AGREGADOS EN LA MEZCLA
- AGREGADO NATURAL: 100%
- AGRGEADO RECICLADO: 0%



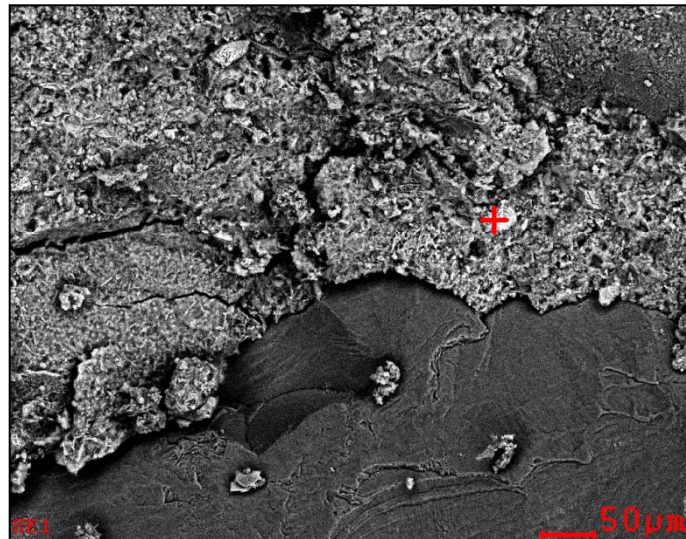
Element	Wt%	At%
CK	06.14	11.50
OK	34.96	49.19
AlK	03.90	03.25
SiK	21.00	16.83
SK	01.82	01.28
KK	00.72	00.41
CaK	30.62	17.20
FeK	00.84	00.34
Matrix	Correction	ZAF



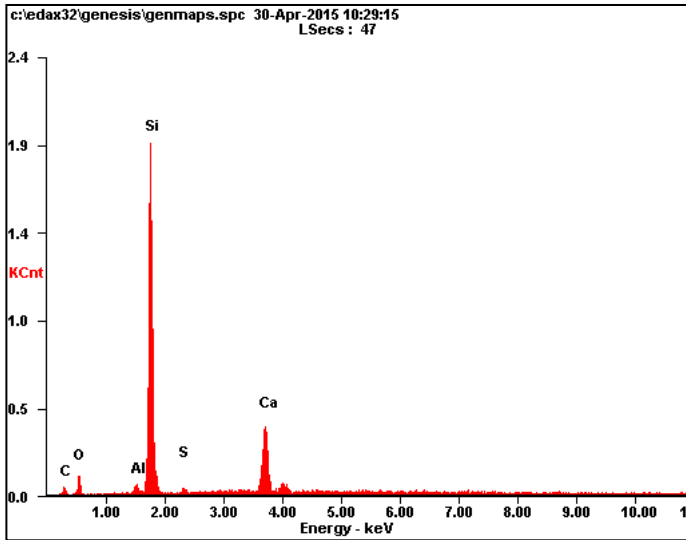
- PROPORCIONES DE AGREGADOS EN LA MEZCLA
- AGREGADO NATURAL: 100%
- AGRGEADO RECICLADO: 0%



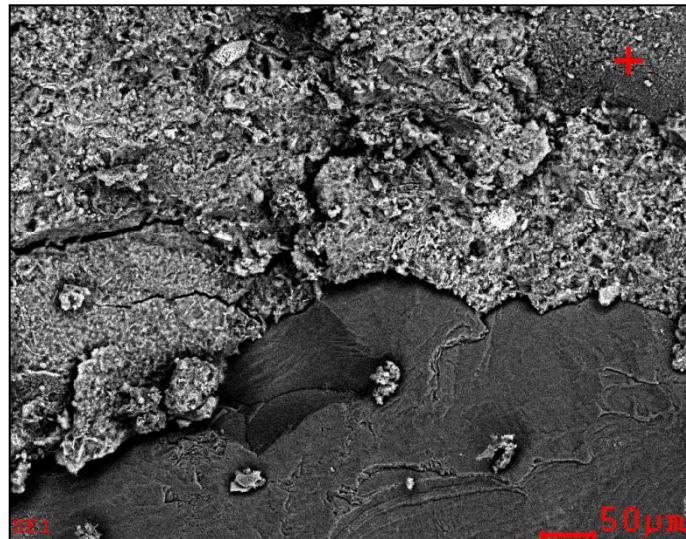
<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
CK	09.45	23.21
OK	19.25	35.51
AlK	00.70	00.77
SiK	04.58	04.81
CaK	03.89	02.87
FeK	62.13	32.83
Matrix	Correction	ZAF



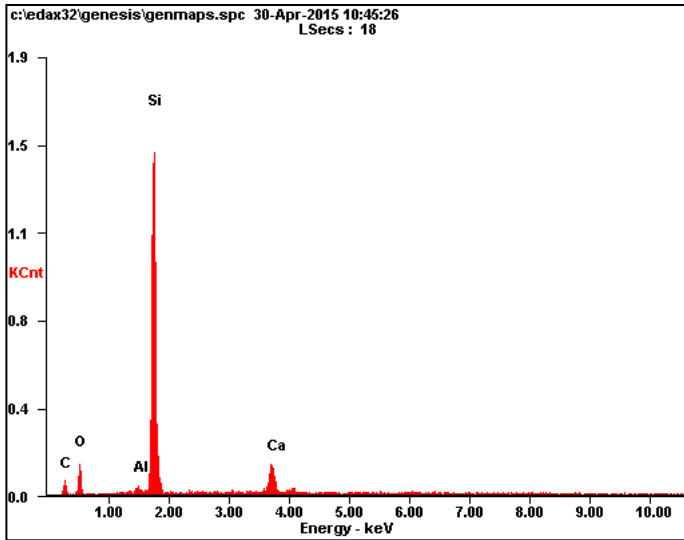
- PROPORCIONES DE AGREGADOS EN LA MEZCLA
- AGREGADO NATURAL: 100%
- AGRGEADO RECICLADO: 0%



<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
CK	09.72	19.59
OK	12.87	19.48
AlK	01.24	01.11
SiK	52.87	45.59
SK	00.93	00.70
CaK	22.36	13.51
Matrix	Correction	ZAF



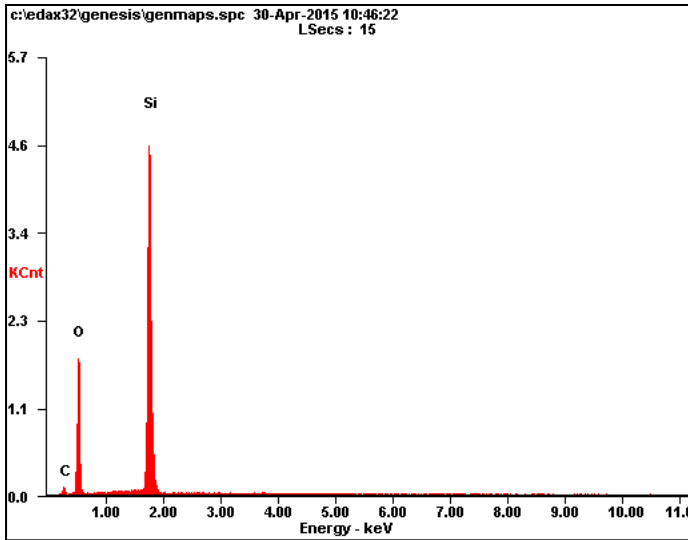
- PROPORCIONES DE AGREGADOS EN LA MEZCLA
 - AGREGADO NATURAL: 75%
 - AGRGEADO RECICLADO: 25%



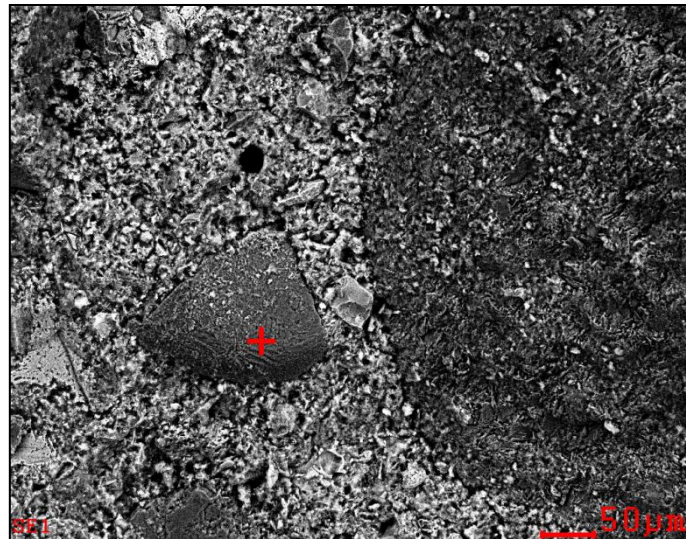
<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
CK	18.08	31.23
OK	18.28	23.71
AlK	00.98	00.76
SiK	53.67	39.65
CaK	08.98	04.65
Matrix	Correction	ZAF



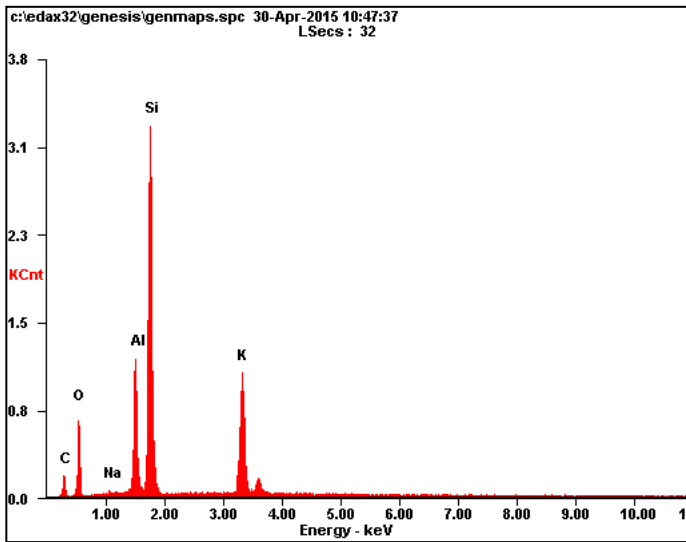
- PROPORCIONES DE AGREGADOS EN LA MEZCLA
 - AGREGADO NATURAL: 75%
 - AGRGEADO RECICLADO: 25%



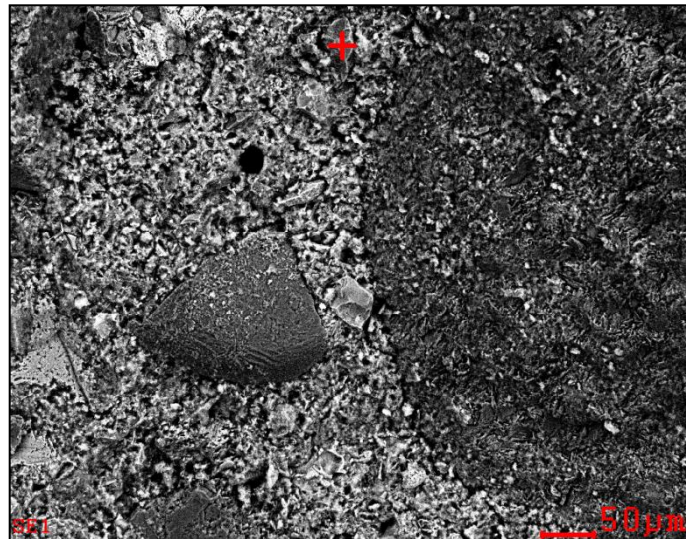
<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	07.53	12.32
<i>OK</i>	43.32	53.26
<i>SiK</i>	49.15	34.42
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF



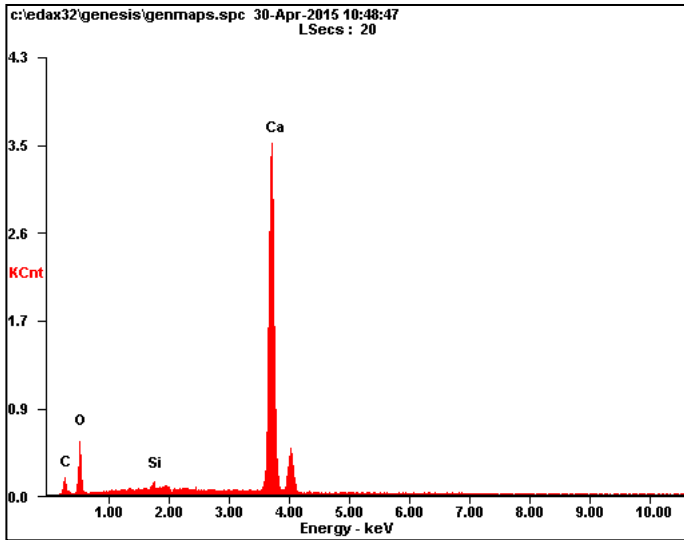
- PROPORCIONES DE AGREGADOS EN LA MEZCLA
- AGREGADO NATURAL: 75%
- AGRGEADO RECICLADO: 25%



Element	Wt%	At%
CK	13.42	23.94
OK	23.30	31.20
NaK	00.38	00.36
AlK	10.70	08.50
SiK	34.43	26.27
KK	17.76	09.73
Matrix	Correction	ZAF



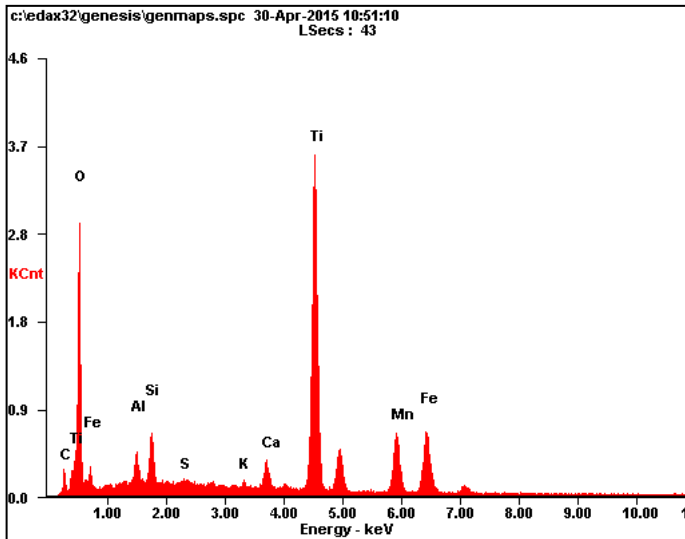
- PROPORCIONES DE AGREGADOS EN LA MEZCLA
- AGREGADO NATURAL: 75%
- AGRGEADO RECICLADO: 25%



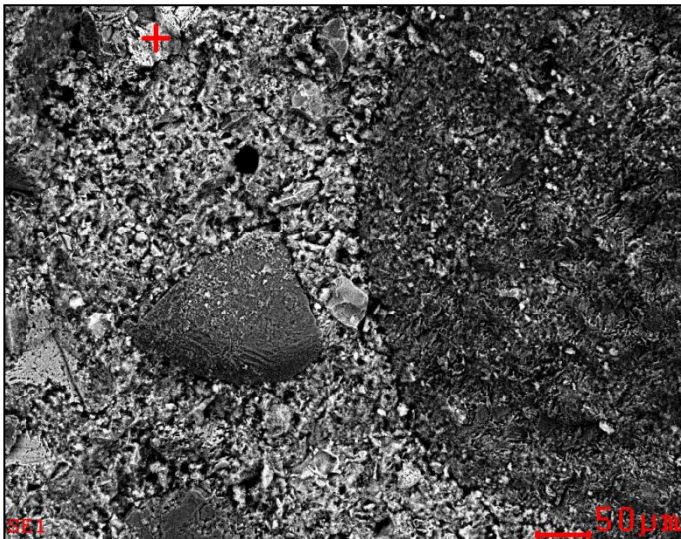
<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
CK	04.11	08.63
OK	32.33	51.04
SiK	00.98	00.88
CaK	62.59	39.45
Matrix	Correction	ZAF



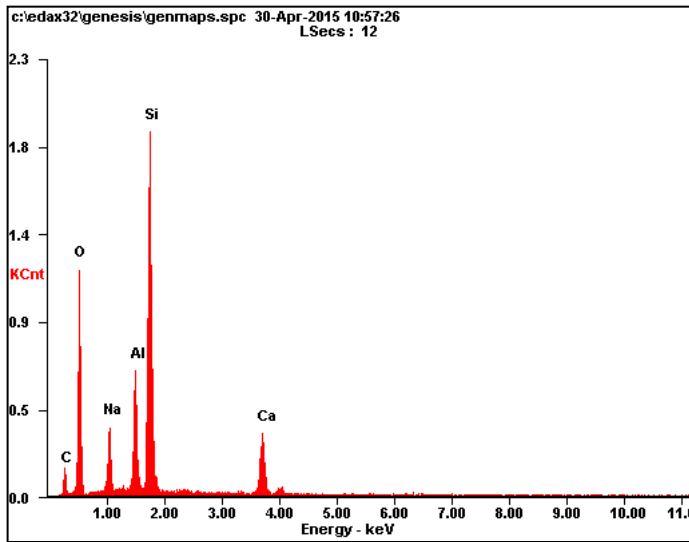
- PROPORCIONES DE AGREGADOS EN LA MEZCLA
- AGREGADO NATURAL: 75%
- AGRGEADO RECICLADO: 25%



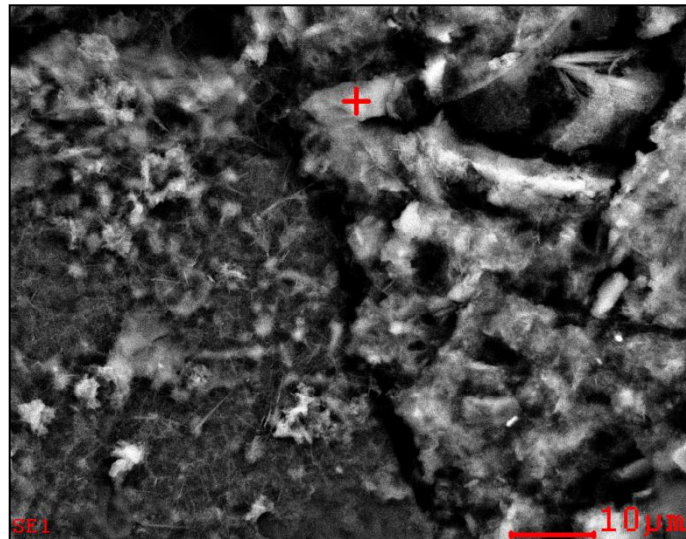
Element	Wt%	At%
CK	03.37	07.20
OK	38.03	61.06
AlK	01.66	01.58
SiK	02.43	02.22
SK	00.25	00.20
KK	00.35	00.23
CaK	01.66	01.06
TiK	30.53	16.37
MnK	10.43	04.88
FeK	11.29	05.19
Matrix	Correction	ZAF



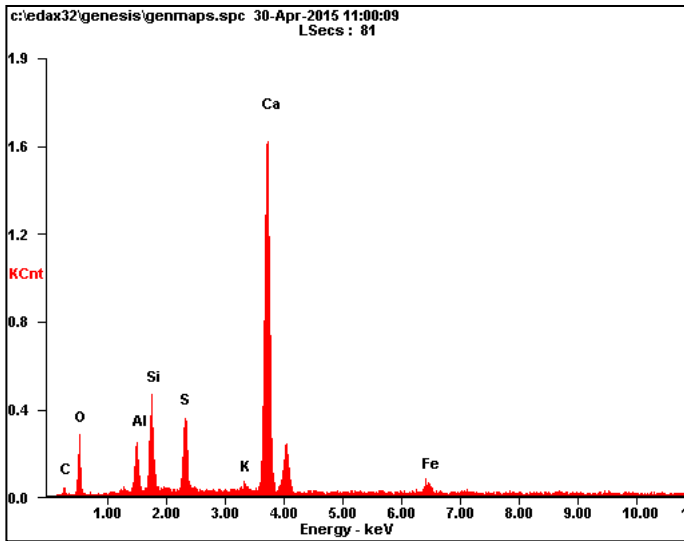
- PROPORCIONES DE AGREGADOS EN LA MEZCLA
- AGREGADO NATURAL: 75%
- AGRGEADO RECICLADO: 25%



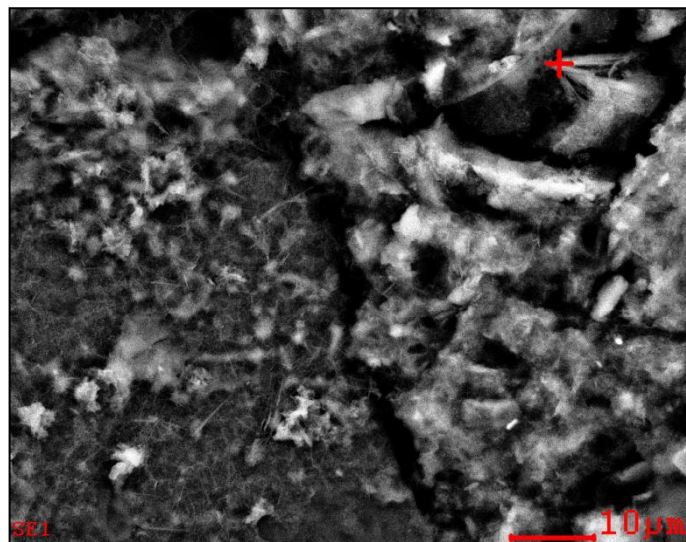
<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	10.20	16.65
<i>OK</i>	39.99	48.98
<i>NaK</i>	05.88	05.01
<i>AlK</i>	08.44	06.13
<i>SiK</i>	28.14	19.64
<i>CaK</i>	07.35	03.60
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF



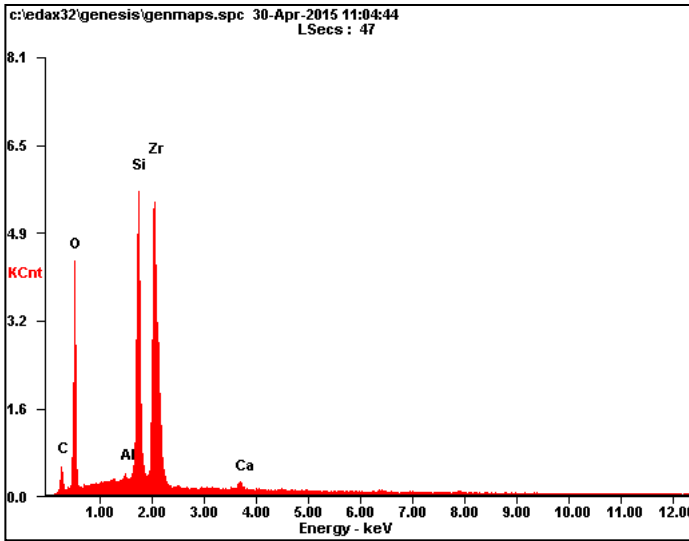
- PROPORCIONES DE AGREGADOS EN LA MEZCLA
- AGREGADO NATURAL: 75%
- AGRGEADO RECICLADO: 25%



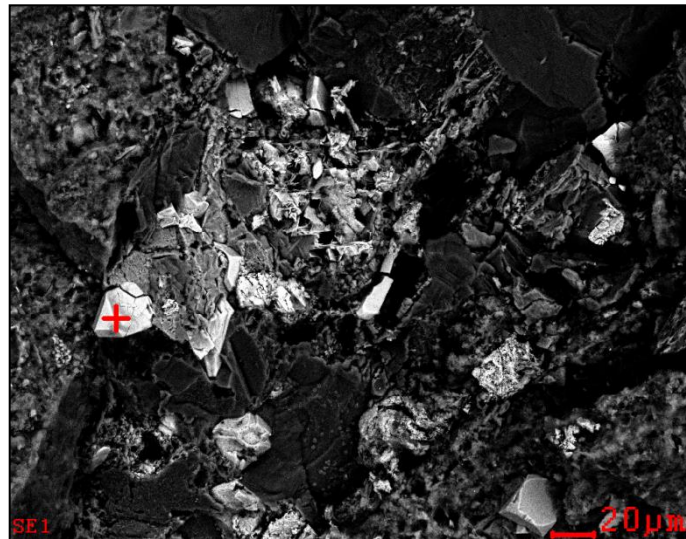
Element	Wt%	At%
CK	03.44	07.82
OK	21.73	37.06
AlK	04.61	04.67
SiK	08.43	08.19
SK	06.62	05.63
KK	01.11	00.77
CaK	49.16	33.47
FeK	04.89	02.39
Matrix	Correction	ZAF



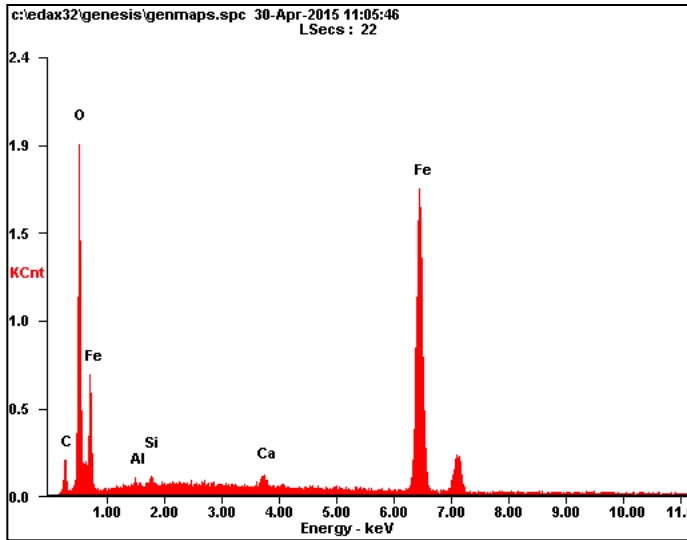
- PROPORCIONES DE AGREGADOS EN LA MEZCLA
- AGREGADO NATURAL: 75%
- AGRGEADO RECICLADO: 25%



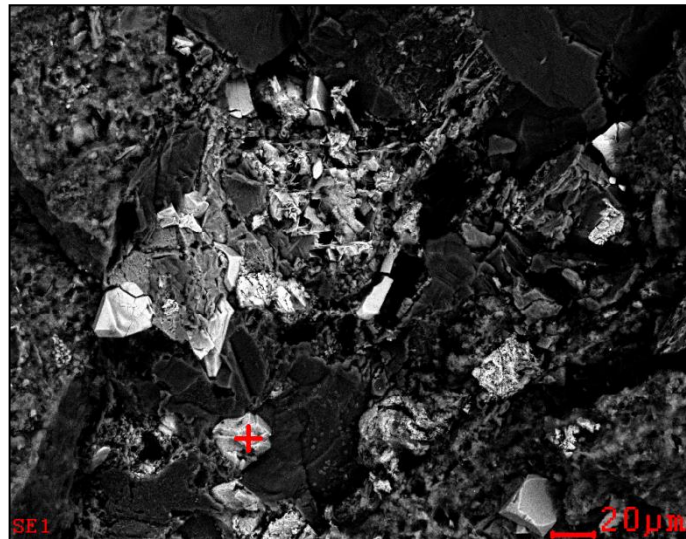
Element	Wt%	At%
CK	09.17	19.22
OK	35.73	56.25
AlK	00.24	00.22
SiK	14.36	12.87
ZrL	39.78	10.98
CaK	00.73	00.46
Matrix	Correction	ZAF



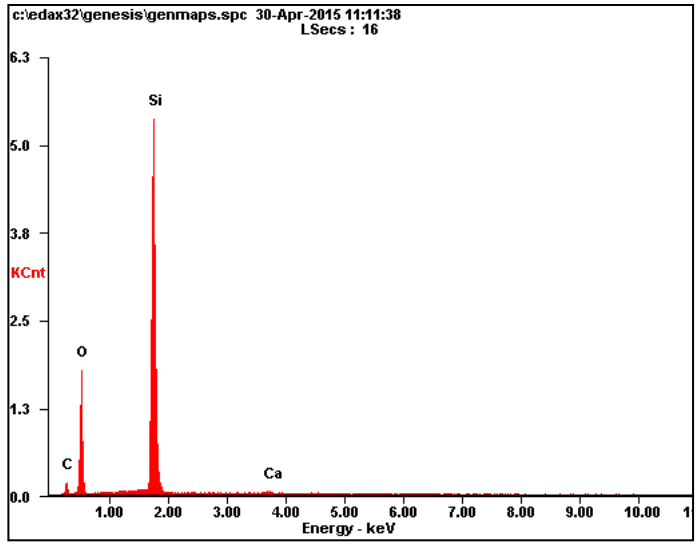
- PROPORCIONES DE AGREGADOS EN LA MEZCLA
 - AGREGADO NATURAL: 75%
 - AGRGEADO RECICLADO: 25%



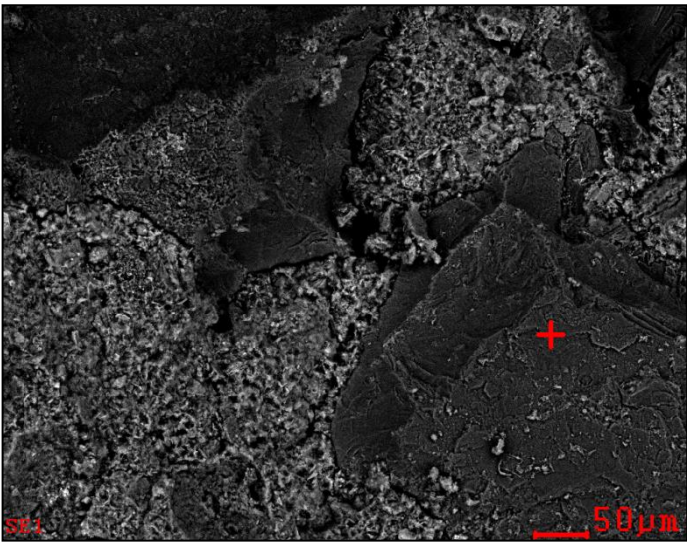
Element	Wt%	At%
CK	06.23	15.70
OK	24.13	45.63
AlK	00.64	00.72
SiK	00.65	00.70
CaK	01.04	00.79
FeK	67.31	36.47
Matrix	Correction	ZAF



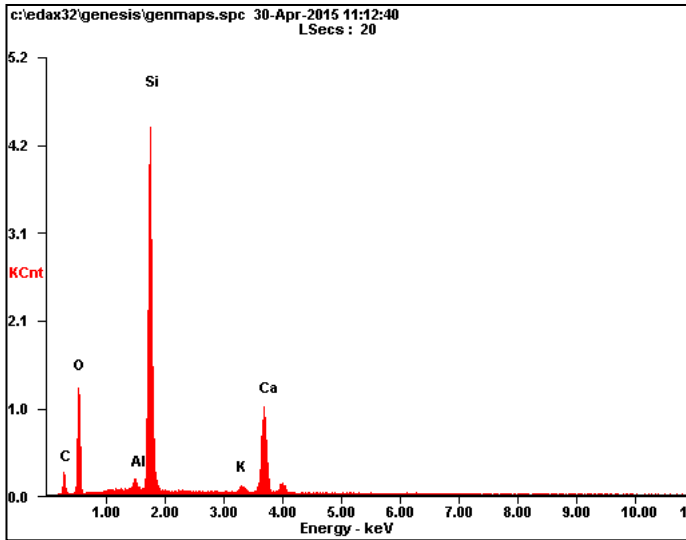
- PROPORCIONES DE AGREGADOS EN LA MEZCLA
- AGREGADO NATURAL: 50%
- AGRGEADO RECICLADO: 50%



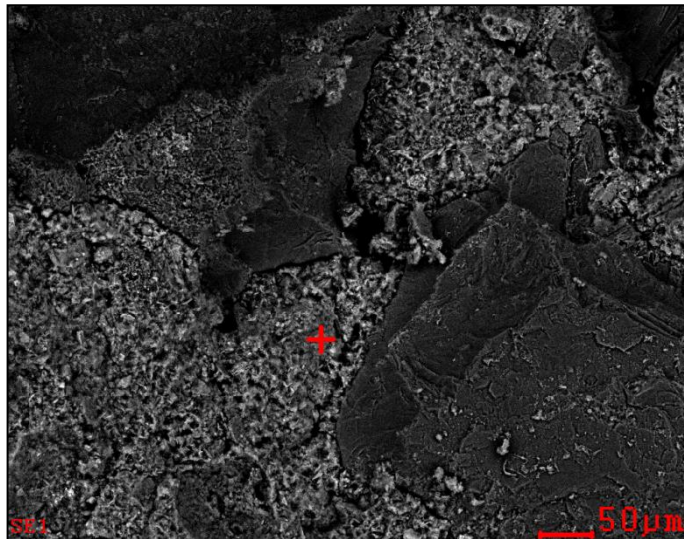
<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	13.99	22.09
<i>OK</i>	39.15	46.40
<i>SiK</i>	46.25	31.22
<i>CaK</i>	00.61	00.29
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF



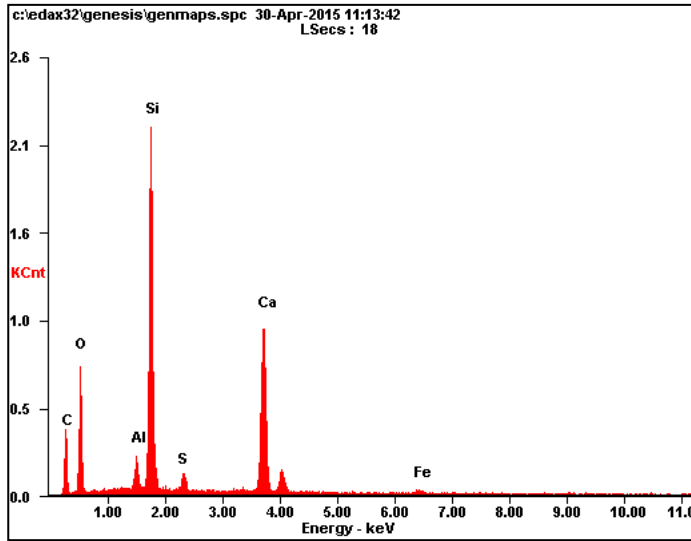
- PROPORCIONES DE AGREGADOS EN LA MEZCLA
- AGREGADO NATURAL: 50%
- AGRGEADO RECICLADO: 50%



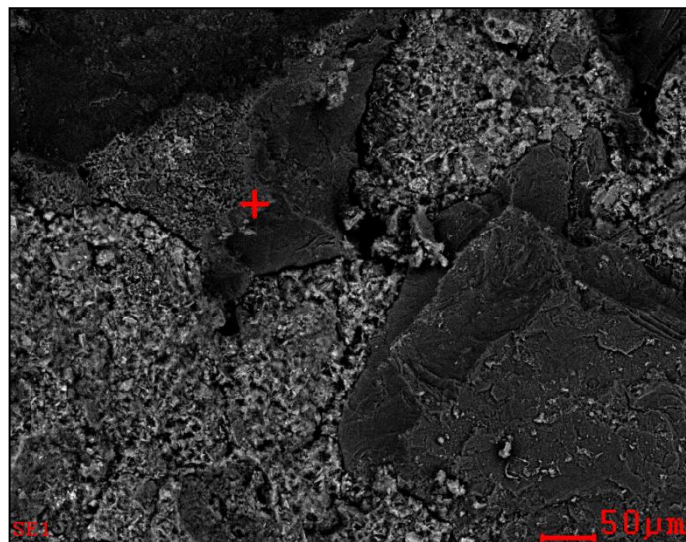
Element	Wt%	At%
CK	12.63	21.41
OK	34.42	43.78
AlK	01.13	00.85
SiK	35.21	25.51
KK	01.27	00.66
CaK	15.34	07.79
Matrix	Correction	ZAF



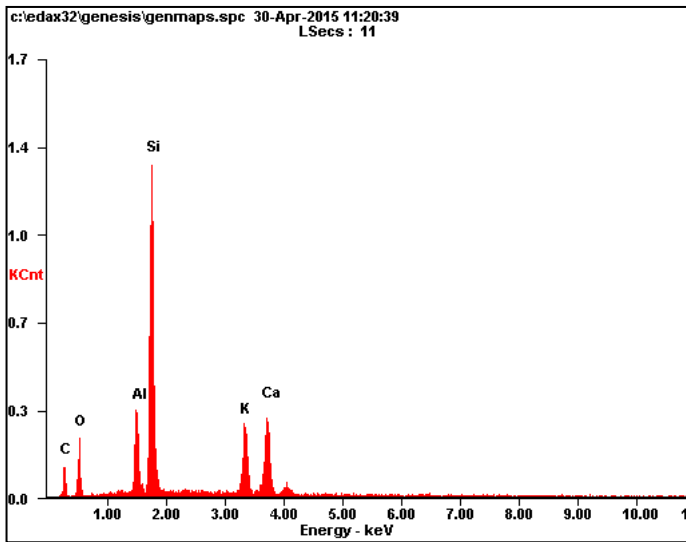
- PROPORCIONES DE AGREGADOS EN LA MEZCLA
- AGREGADO NATURAL: 50%
- AGRGEADO RECICLADO: 50%



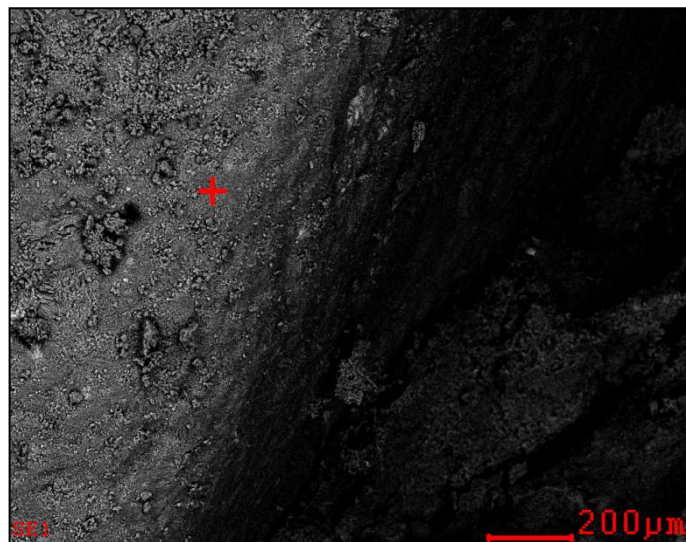
Element	Wt%	At%
CK	21.38	34.21
OK	31.74	38.13
AlK	02.01	01.43
SiK	22.98	15.73
SK	01.43	00.86
CaK	19.18	09.20
FeK	01.27	00.44
Matrix	Correction	ZAF



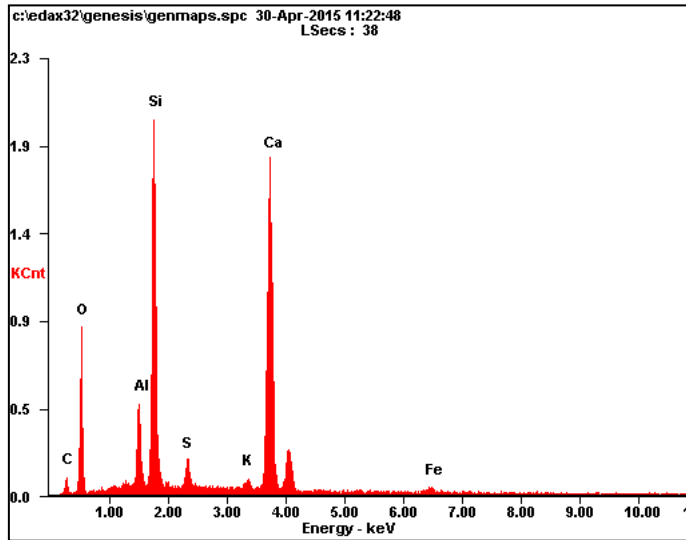
- PROPORCIONES DE AGREGADOS EN LA MEZCLA
- AGREGADO NATURAL: 25%
- AGRGEADO RECICLADO: 75%



Element	Wt%	At%
CK	18.56	32.42
OK	20.47	26.85
AlK	07.29	05.67
SiK	30.47	22.77
KK	10.25	05.50
CaK	12.97	06.79
Matrix	Correction	ZAF



- PROPORCIONES DE AGREGADOS EN LA MEZCLA
 - AGREGADO NATURAL: 25%
 - AGRGEADO RECICLADO: 75%



Element	Wt%	At%
CK	04.89	09.49
OK	32.61	47.55
AlK	04.66	04.03
SiK	21.18	17.59
SK	01.91	01.39
KK	00.92	00.55
CaK	32.08	18.67
FeK	01.76	00.74
Matrix	Correction	ZAF

