

EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA DE HORMIGÓN HIDRÁULICO CON
REEMPLAZO PARCIAL DE AGREGADO NATURAL POR RESIDUOS DE
CAUCHO DE LLANTAS EN DESUSO

UYLFREN CABALLERO ANAYA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA

2018

EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA DE HORMIGÓN HIDRÁULICO CON
REEMPLAZO PARCIAL DE AGREGADO NATURAL POR RESIDUOS DE
CAUCHO DE LLANTAS EN DESUSO

UYLFREN CABALLERO ANAYA

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico

Director

DIONISIO ANTONIO LAVERDE CATAÑO

Ph.D. INGENIERÍA INDUSTRIAL

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA

2018

DEDICATORIA

EN MEMORIA A MI NONA JOSEFINA ANAYA
ESE ÁNGEL QUE DESDE EL CIELO ME CUIDA,
A QUIEN TODA LA VIDA LLEVARÉ EN MI CORAZÓN.

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen de La Medalla Milagrosa, por ser mi guía en los momentos de
tristeza y alegría de mi existencia.

A mi madre Alix, por brindarme la vida, amor y cariño.

A mis tíos Marcolino, Mirian y Luis por su apoyo en todo momento.

A mi hija Valeria, por ser el amor de papá.

A mis sobrinos Valentina y Sebastián, por llenar de felices momentos.

A mi hermano gemelo Zeudiel.

A Tompi.

UYLFREN CABALLERO ANAYA

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece el apoyo recibido por parte del director del proyecto Ph.D. Dionisio Antonio Laverde Cataño, también agradece al M.sc. Jaime Villamizar, Ph.D. Ricardo Alfredo Cruz Hernández y Ing. William Gómez Suárez por su respaldo, propuesta y suministro de material. Al Dr. Carlos Alberto Ríos y al Ing. Carlos Chacón por su colaboración en los ensayos SEM, realizados en el laboratorio de microscopia del Parque Tecnológico Guatiguará.

Al técnico de laboratorio Jairo Hernández Salazar (la mechuda) por su tiempo y conocimiento aportados en la realización del proyecto en el laboratorio de caracterización de materiales de construcción de la Universidad Industrial de Santander.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
2. OBJETIVOS	19
2.1 OBJETIVO GENERAL	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3. MARCO TEÓRICO	20
3.1 GENERALIDADES DEL HORMIGÓN HIDRÁULICO	20
3.1.1 Propiedades del Hormigón Hidráulico	20
3.2 GENERALIDADES DE LAS LLANTAS	21
3.2.1 Aplicaciones del Caucho de Llantas Recicladas	21
3.3 TRITURACIÓN MECÁNICA DE LLANTAS	22
4. ESTADO DEL ARTE	24
5. METODOLOGÍA	26
6. PARTE EXPERIMENTAL	27
6.1 CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES	27
6.1.1 Chips de Caucho Reciclado	27
6.1.2 Cemento.	28
6.1.3 Agua de Amasado y Aditivo.	28
6.1.4 Agregado Grueso y Fino Natural.	28

6.2 DISEÑO DE MEZCLA.....	28
6.3 ENSAYOS EN ESTADO FRESCO DE HORMIGÓN HIDRÁULICO	29
6.3.1 Prueba de Asentamiento (SLUMP).....	29
6.3.2 Determinación del Peso Unitario y Contenido de Aire del Hormigón Convencional y Modificado.	30
6.4 ANÁLISIS MECÁNICO DEL HORMIGÓN HIDRÁULICO	30
6.4 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM).....	31
7. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	33
7.1 ENSAYOS EN ESTADO FRESCO DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS	33
7.2 COMPORTAMIENTO DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS EN COMPRESIÓN	34
7.3 COMPORTAMIENTO DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS EN TRACCIÓN INDIRECTA.....	35
7.4 COMPORTAMIENTO DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS EN FLEXIÓN	36
7.5 DISEÑO DE MEZCLA ÓPTIMO.....	37
7.6 CARACTERIZACIÓN DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS MEDIANTE (SEM- EDS)	38
8. CONCLUSIONES	41
9. RECOMENDACIONES.....	42
BIBLIOGRAFIA.....	43
ANEXOS	47

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Aplicaciones de caucho de llantas en desuso.....	22
Tabla 2. Propiedades de agregado grueso y fino natural y reciclado.	28
Tabla 3. Diseño de mezcla.	29
Tabla 4. Slump.....	34
Tabla 5. Peso unitario promedio y contenido de aire.	34
Tabla 6. Módulo de rotura promedio de diseños de mezclas a 28 días	37

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Caucho troceado, chips y granulado.....	22
Figura 2. Equipos de trituración y clasificación.	23
Figura 3. Diagrama de flujo de la metodología.	26
Figura 4. Equipo de mezcla en obra y asentamiento.	29
Figura 5. Máquinas de análisis mecánico y especímenes	31
Figura 6. Muestras acondicionadas para ensayo SEM.....	31
Figura 7. Equipo para análisis SEM.....	32
Figura 8. Especímenes fallados a tracción indirecta.....	36
Figura 9. Ensayos a flexión.....	37
Figura 10. Micrografía de muestra CZ1C.....	39
Figura 11. Micrografía de muestra CZ3C.....	39
Figura 12. Micrografía de muestra CZ4C.....	40
Figura 13. Gradación agregado grueso y fino natural.....	48
Figura 14. Metodología ACI 211.	49
Figura 15. Resultados especímenes Z1 y Z2.....	50
Figura 16. Resultado especímenes Z3 y Z4.	51
Figura 17. Resultados especímenes Z5.	52
Figura 18. Tipo de falla	53
Figura 19. Calibración prensa hidráulica.....	54
Figura 20. Resultados falla por tracción indirecta Z1 y Z2.	55
Figura 21. Resultados falla por tracción indirecta Z3 y Z4.	56
Figura 22. Resultados falla por tracción indirecta Z5.	57
Figura 23. Viga a flexión Z1.	58
Figura 24. Viga a flexión Z2.	58
Figura 25. Viga a flexión Z3.	59
Figura 26. Viga a flexión Z4.	59

Figura 27. Viga a flexión Z5.....	60
Figura 28. Análisis EDS en el mortero para muestra CZ1C.....	61
Figura 29. Análisis EDS en el agregado para muestra CZ1C.....	62
Figura 30. Análisis EDS en el mortero para muestra CZ3C.....	63
Figura 31. Análisis EDS en el agregado para muestra CZ3C.....	64
Figura 32. Análisis EDS en el mortero para muestra CZ4C.....	65
Figura 33. Análisis EDS en el agregado para muestra CZ4C.....	66

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Análisis granulométrico de chips de caucho reciclado.	27
Gráfica 2. Ensayos de compresión uniaxial	35
Grafica 3. Ensayos a tracción indirecta.....	36
Gráfica 4. Diseño de mezcla óptimo	38
Grafica 5. Curva granulométrica de agregado fino natural.	47
Grafica 6. Curva granulométrica de agregado grueso natural.	47

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. CURVAS GRANULOMÉTRICAS	47
ANEXO B. PASOS PARA DOSIFICACIÓN DE MEZCLA.....	49
ANEXO C. ENSAYOS DE COMPRESIÓN UNIAXIAL.....	50
ANEXO D. ENSAYOS A TRACCIÓN INDIRECTA	55
ANEXO E. ENSAYOS A FLEXIÓN	58
ANEXO F. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM), ESPECTROSCOPIA DE DISPERSIÓN DE ENERGÍA DE RAYOS X (EDS)	61

RESUMEN

TÍTULO: EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA DE HORMIGÓN HIDRÁULICO CON REEMPLAZO PARCIAL DE AGREGADO NATURAL POR RESIDUOS DE CAUCHO DE LLANTAS EN DESUSO*

AUTOR: CABALLERO ANAYA UYLFREN**

PALABRAS CLAVES: Hormigón Hidráulico, Llantas en Desuso, Diseño de Mezcla, Granulometría, Compresión, Tracción Indirecta, Flexión.

DESCRIPCIÓN:

Este proyecto de investigación tuvo por finalidad diseñar y evaluar una mezcla de hormigón hidráulico estructural con sustitución parcial de agregado grueso natural, por agregado grueso reciclado proveniente de la trituración de llantas en desuso. El objetivo fue formular un diseño de mezcla óptimo para un hormigón hidráulico estructural con resistencia a la compresión uniaxial de 21 MPa (3000 PSI) a una edad de curado de 28 días, con relación agua-cemento de 0,53. El agregado reciclado de caucho de llantas utilizado proviene de la planta de troceado de llantas en desuso PIROLISAN SAS. Se prepararon 5 dosificaciones de mezclas con proporciones de agregado grueso reciclado de caucho de llantas con reemplazo 0, 5, 10, 15 y 20% en volumen, para ser fallados a edades de maduración de 7, 14 y 28 días. Los hormigones se analizaron en estado fresco y estado endurecido. Para el estado fresco se realizaron ensayos de asentamiento, peso unitario y contenido de aire. En estado endurecido se evaluaron las propiedades mecánicas como: resistencia a la compresión, a la tracción indirecta y a la flexión. Se tomaron muestras representativas de mezclas y se analizó la zona de transición interfacial entre el agregado de caucho y la matriz cementante en el microscopio electrónico de barrido (SEM). Los resultados obtenidos indicaron que la resistencia a la compresión disminuye con respecto al aumento en el reemplazo de agregado de caucho en la mezcla. Para las resistencias a la tracción indirecta y flexión, se encontró un aumento en los porcentajes de 10 y 15% en la sustitución de agregado natural. Se encontró un diseño de mezcla óptimo de 15,52% en reemplazo para una resistencia a la compresión de 21 MPa.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Ph.D. Dionisio Antonio Laverde Cataño.

ABSTRACT

TITLE: EVALUATION OF THE HYDRAULIC CONCRETE RESISTANCE WITH PARTIAL REPLACEMENT OF NATURAL AGGREGATE FOR RUSTY RUBBER RESIDUES IN DISUSE*

AUTHOR: CABALLERO ANAYA UYLFREN **

KEYWORDS: Hydraulic Concrete, Disused Tires, Mix Design, Granulometry, Compression, Indirect Traction, Flexion.

DESCRIPTION:

The purpose of this research project was to design and evaluate a mixture of structural hydraulic concrete with partial replacement of natural coarse aggregate by coarse aggregate recycled from the crushing of disused tires. The objective was to formulate an optimal mix design for a structural hydraulic concrete with uniaxial compressive strength of 21 MPa (3000 PSI) at a curing age of 28 days. With water-cement ratio of 0,53. The recycled aggregate of rubber tires used comes from the disused tire cutting plant PIROLISAN SAS. Five dosages of mixtures were prepared with proportions of coarse rubber recycled aggregate of tires with replacement of 0, 5, 10, 15 and 20% in volume, to be failed at maturity ages of 7, 14 and 28 days. The concretes were analyzed in a fresh state and in a hardened state. For the fresh state, settlement tests, unit weight and air content were carried out. In the hardened state, the mechanical properties were evaluated as: resistance to compression, to indirect traction and to flexion. Representative samples of mixtures were taken and the interfacial transition zone between the rubber aggregate and the cementitious matrix in the scanning electron microscope (SEM) was analyzed. Results indicated that the resistance to the compression decreases with respect to the increase in the replacement of rubber aggregate in the mixture. For the resistance to the indirect traction and flexion an increase in the percentages of 10 and 15% in the substitution was found of natural aggregate. An optimum mix design of 15,52% was found in replacement for a compressive strength of 21 MPa.

* Degree Work.

** Physical-Chemical Engineering Faculty. Chemical Engineering School. Director: Ph.D. Dionisio Antonio Laverde Cataño.

INTRODUCCIÓN

Soluciones innovadoras en el reciclaje de materiales de desecho se clasifican como actividades promisorias que permiten reorganizar la producción industrial y económica a tasas de consumo más amigables con el medio ambiente, evitando poner en peligro las generaciones futuras [1].

La incorporación de materiales de desecho tales como los escombros, vidrio, fibras naturales y sintéticas, llantas, entre otros, en la fabricación de hormigón hidráulico se presenta como una alternativa para minimizar la huella ecológica producida por el crecimiento desmesurado de productos, servicios e infraestructura. Las llantas son de naturaleza no biodegradable y están diseñadas para soportar grandes esfuerzos de fricción, carga y abrasión. Almacenan agua durante un largo período debido a su forma tórica e impermeable que proporciona un hábitat de reproducción para mosquitos y diversas plagas que afectan gravemente la salud humana. Al quemarse producen gases de alta toxicidad (SOx, NOx, Arsénico, Cadmio, Níquel, Mercurio, Cromo y Vanadio) y causa graves riesgos de incendio debido a que una vez encendido, es muy difícil apagarlo ya que el 75% de espacio libre puede almacenar oxígeno [2-3].

En Colombia, el ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en cooperación con la ANDI (Asociación Nacional de Empresarios de Colombia), mediante resolución 1326 de 2017 “Por la cual se establecen los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas y se dictan otras disposiciones” vienen adelantando estrategias concernientes a la promoción de residuos posconsumo de llantas, con el propósito de fomentar y establecer sistemas de recolección, tratamiento y aprovechamiento de llantas usadas y no conformes con el fin de reincorporarlos en el ciclo económico y productivo involucrando el concepto de responsabilidad extendida del productor [4].

1. DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Con la implementación de políticas gubernamentales sobre la protección del ambiente y la salud humana a nivel nacional e internacional y la adopción de un sistema de sostenibilidad en procesos productivos, se planteó el reto del reciclado y disposición final de desechos posconsumo, entre ellos el caucho proveniente de llantas en desuso del parque automotor. En Colombia es pertinente indicar que en 2015 se dispusieron 100 mil toneladas de llantas [5], gran parte de estas llantas son almacenadas en sitios clandestinos o arrojados en lugares públicos, permitiendo la proliferación de roedores y mosquitos, además de una potencial amenaza de incendio con generación de humo tóxico.

La legislación colombiana en la última década ha establecido normativas encaminadas a la mitigación del impacto ambiental por la disposición final de llantas de forma inadecuada e irresponsable ya que se prohíbe llevarlos a rellenos sanitarios y son utilizados como combustible en hornos de Clinker, siderúrgicas y en ladrilleras, debido a su alto poder calorífico de 34,7 MJ/kg, semejante al poder calorífico del Gas Natural de 35,4 MJ/kg [6,7]. Las aplicaciones con mayor potencial de utilización en volumen son el sector de infraestructura y construcciones civiles.

Con respecto a lo anterior, el propósito de esta investigación es buscar un uso alternativo a estos residuos de llantas, en reemplazo como agregado grueso en una mezcla óptima de hormigón hidráulico estructural, que cumpla con los mínimos estándares de trabajabilidad, costo y resistencia mecánica a distintas edades de maduración con relación a un hormigón hidráulico convencional mediante ensayos de laboratorio conforme a la Norma Técnica Colombiana (NTC) para agregado y hormigón.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar el comportamiento del hormigón hidráulico al variar su dosificación de agregado grueso reciclado, proveniente de la trituración de llantas en desuso con respecto al agregado grueso natural.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar un diseño de mezcla óptimo para hormigón hidráulico estructural con resistencia a la compresión uniaxial de 21 MPa (3000 PSI).
- Comparar las propiedades mecánicas (compresión, tracción indirecta y flexión) de hormigón hidráulico modificado con caucho respecto al hormigón hidráulico convencional.
- Establecer gradaciones semejantes a la granulometría del agregado grueso natural mediante la adición de chips de caucho reciclado.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 GENERALIDADES DEL HORMIGÓN HIDRÁULICO

El hormigón hidráulico es una mezcla de un material aglutinante (normalmente cemento Portland Hidráulico), un material de relleno (agregado grueso y fino), agua y eventualmente aditivos, que fragua rápidamente al contacto con el aire por medio de una reacción química exotérmica de hidratación del Clinker, hasta lograr consistencia pétreo debido a sus propiedades de adhesión y cohesión [8].

El hormigón convencional tiene un peso específico que varía de 2200 hasta 2500 kg/m³ dependiendo de la cantidad y densidad del agregado, el contenido de aire atrapado y la relación agua-cemento. El hormigón se produce a partir de un diseño de mezcla de sus componentes y su dosificación en cantidades relativas tan económicamente sea posible [8].

3.1.1 Propiedades del Hormigón Hidráulico. El hormigón hidráulico se puede encontrar en estado fresco, en proceso de curado y en estado endurecido. En estas fases se presentan características definidas que determinan su comportamiento y propiedades.

En estado fresco se determinan propiedades fisicoquímicas como asentamiento, trabajabilidad, segregación, exudación, masa unitaria y contenido de aire atrapado, mediante pruebas de laboratorio. Los factores más representativos en estas propiedades son aportados por la granulometría de agregados gruesos y finos, y por la cantidad de agua de amasado. En estado endurecido, las propiedades mecánicas como la resistencia a la compresión, a la tensión y a la flexión están gobernadas por la interface cemento- agregados en la matriz.

3.2 GENERALIDADES DE LAS LLANTAS

Las llantas son partes constitutivas de toda clase de vehículos de carretera y fuera de carretera (tractores, combinadas, motoniveladoras, guacos, drumper, etc.), tienen como funciones: proveer tracción, mantener el frenado seguro, dar soporte a la carga y absorber impactos del camino. Están clasificadas según su estructura en convencionales y radiales, las radiales están fabricadas con una única carcasa en dirección radial de cables de acero recubiertos con latón, esta configuración reduce las deformaciones de la superficie de contacto con el suelo y la fricción debido al roce. Las llantas convencionales presentan una carcasa compuesta por varias lonas cruzadas entre sí, formando un monobloque, producto de esta configuración presentan mayor fricción con el suelo, provocando mayor desgaste [9].

Los tipos de caucho (elastómeros) más empleados en la fabricación de llantas son: cauchos naturales (NR), caucho estireno- butadieno (SBR), polibutadienos (BR) y polisoprenos sintéticos. En la fabricación se busca combinar cauchos naturales (25% en peso) que le proporcionan a la llanta elasticidad, y cauchos sintéticos que le proporcionan estabilidad térmica.

3.2.1 Aplicaciones del Caucho de Llantas Recicladas. Las llantas en desuso han sido utilizadas de diferentes formas y tecnologías. Desde los años setenta, su utilización como combustible en hornos de cemento proliferó debido a su fácil adquisición y pocas restricciones. Estas aplicaciones van desde lo artesanal, lo tecnológico e infraestructura, ver Tabla 1.

La búsqueda de nuevas aplicaciones para el caucho de llantas reciclado debe orientarse a productos de mayor valor agregado, para que estas alternativas sean atractivas económicamente y logren aumentar el volumen utilizado de llantas en desuso [5].

Tabla 1. Aplicaciones de caucho de llantas en desuso.

Tipo de Aplicación	Usos
Artesanal	Materos, Cotizas, Tapetes, Bolsos, Empaques, Cojinetes, Frenos, Amortiguadores, Jardineras
Infraestructura	Césped artificial, Pistas de atletismo, Baldosas Aislantes acústicos, Mezclas bituminosas, Hormigón Taludes, Muros de contención, Sellador de juntas
Tecnología	Pirolisis, Termólisis, Combustión para generar vapor, Tratamientos de agua, Celdas de combustible, Rellenos en torres de adsorción

3.3 TRITURACIÓN MECÁNICA DE LLANTAS

Este proceso consiste en reducir el tamaño de las llantas a través de maquinarias electromecánicas de troceado y trituración con el propósito de separar el acero y la fibra textil del caucho para obtener, ya sea tiras, chips o gránulos para las diferentes aplicaciones. La trituración mecánica emplea cuchillas para desmenuzar las llantas, por lo general esta trituración se realiza en cascada, se tritura paulatinamente hasta alcanzar el tamaño requerido, ver Figura 1. Luego se emplean clasificadores neumáticos y magnéticos para separar la fibra textil y el acero [10].

Figura 1. Caucho troceado, chips y granulado.



El proceso de recuperación de los componentes de las llantas se lleva a cabo en las siguientes etapas:

- a. Lavado de llantas: mediante un sistema de hidrante a presión se retira la tierra y suciedad de las llantas.
- b. Cortadora de caras: se extraen las caras laterales que contienen anillos concéntricos de acero de alta resistencia para ser aprovechado en siderúrgicas.
- c. Troceadora: las llantas son alimentadas en una banda transportadora hacia la tolva principal en cuyo interior están soportados los juegos de cuchillas de acero, obteniendo trozos de llanta de aproximadamente 75 mm (3”).
- d. Trituradora primaria: los trozos de llanta son reducidos de tamaño a cortes de 25 mm (1”) y 19 mm (3/4”) aproximadamente, ver figura 2.
- e. Granulador: es un molino que permite reducir a tamaños de 4,75 mm (malla # 4) y 2,36 mm (malla # 8).
- f. Granulador de finos: permite obtener gránulos hasta tamaños de 150 μm (malla # 100).
- g. Extractor de fibra textil: se retiran los fragmentos de fibra textil mediante el uso de ciclones incorporados en la zaranda.
- h. Extractor de acero: los hilos de acero son separados del granulo de caucho mediante el uso de electroimanes ubicados en la parte final de la zaranda.

Figura 2. Equipos de trituración y clasificación. a) zaranda b) triturador primario.



a)

b)

4. ESTADO DEL ARTE

Siddique y colaborador en 2004; efectuaron investigaciones para incorporar cemento de oxiclورو como aglutinante en rubcrete en usos probables para este material como soporte de morteros de maquinaria rotativa como bancos de motores y compresores, para dar relleno y cama de tuberías, cabezas de pilotes y adoquines, en requerimientos de resistencia al impacto como carreteras de carga [4].

Vadivel y colaborador en 2011; realizaron pruebas de resistencia mecánica en diseños de mezclas de hormigón hidráulico modificado con caucho de llantas en reemplazo de agregados gruesos y finos en proporción de 5, 10, 15 %, donde encontraron en resistencias tempranas a 7 días una desviación leve con respecto a la muestra patrón [11].

Bravo y colaborador en 2012; realizaron estudios sobre la durabilidad de rubcrete mediante ensayos de contracción-absorción de agua, resistencia a la penetración de cloruros y carbonatación en mezclas de 5, 10 y 15% en volumen de reemplazo. Evaluaron el caucho obtenido por trituración mecánica y criogénica, donde reportaron un aumento en la carbonatación y absorción de agua en relación al incremento de reemplazos [12].

Ataei en 2013; evaluó el efecto de incorporar caucho de llantas como agregado grueso y fino en reemplazo de agregados naturales, en la resistencia de cargas compresivas y dinámicas en especímenes cilíndricos de hormigón, utilizando en su diseño de mezcla cemento portland tipo II y una distribución granulométrica en un rango de 25 mm (1 in) hasta 0,3 mm (malla # 50) en sustituciones de 25% hasta 100% en volumen. Los resultados obtenidos mostraron una reducción significativa en la resistencia a la compresión en comparación con la muestra patrón, los

especímenes exhibieron capacidad para absorber energía en los ensayos dinámicos [1].

Barbuta y colaboradores en 2016; evaluaron los efectos en las propiedades mecánicas al utilizar como agregado grueso y fino, chips y gránulos de caucho de llantas como agregados naturales y resina epóxica en reemplazo de cemento, en diseños de mezclas de hormigón hidráulico. El reemplazo de agregados se realizó en 25, 30, 40 y 50%. En el caso del cemento se realizaron reemplazos en 6,4, 12,4, 17, 20 y 23%. Realizaron ensayos de resistencia a la compresión y a la tensión, encontrando como resultado un decremento en las resistencias al aumento de los reemplazos [13].

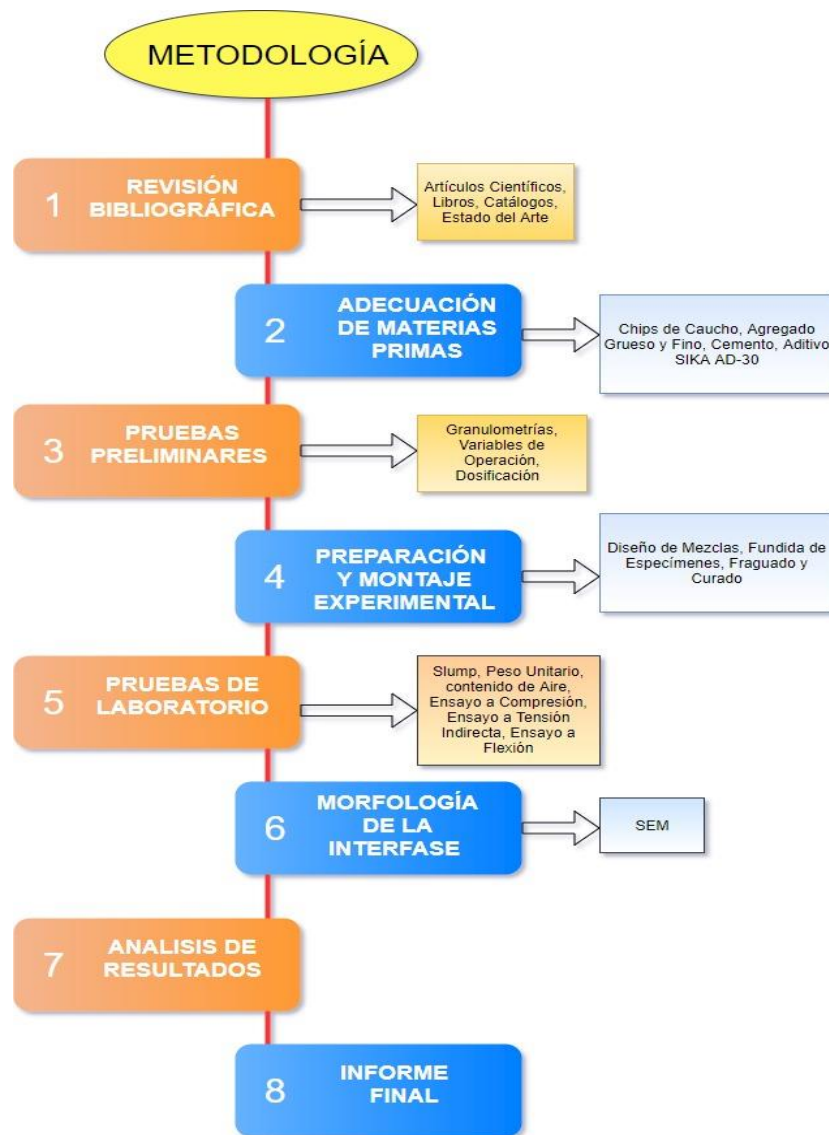
Guo y colaboradores en 2016; realizaron investigaciones con partículas de caucho de llantas modificadas con recubrimientos de Hidróxido de Sodio (NaOH) y Silicato Sódico (Na_2SiO_3) en mezclas de rubcrete, evaluando propiedades mecánicas y durabilidad con relación a rubcrete convencional, midiendo la rentabilidad de utilizarlo a gran escala [14].

Bisht y colaborador en 2017; realizaron estudios de propiedades mecánicas y durabilidad en hormigón modificado con gránulos de caucho de llantas en su agregado fino, conocido mundialmente como “rubcrete”. Utilizaron cemento portland puzolánico en sus diseños de mezcla, presentaron ensayos de resistencia a la compresión, a la flexión, y propiedades de durabilidad como absorción de agua y resistencia a la abrasión para reemplazos en caucho de 0, 4, 4,5, 5 y 5,5%. Estudiaron la micro-estructura usando XRD, SEM y microscopia óptica, encontrando un ligero descenso de 4% en la resistencia a la compresión producto de una menor adherencia entre el caucho y la matriz cementante [2].

5. METODOLOGÍA

En la figura 3 se relaciona la metodología implementada en la investigación, la cual según su alcance, se orientó a una evaluación de la resistencia mecánica de hormigón hidráulico modificado con chips de caucho procedentes de la trituración mecánica de llantas en desuso.

Figura 3. Diagrama de flujo de la metodología.



6. PARTE EXPERIMENTAL

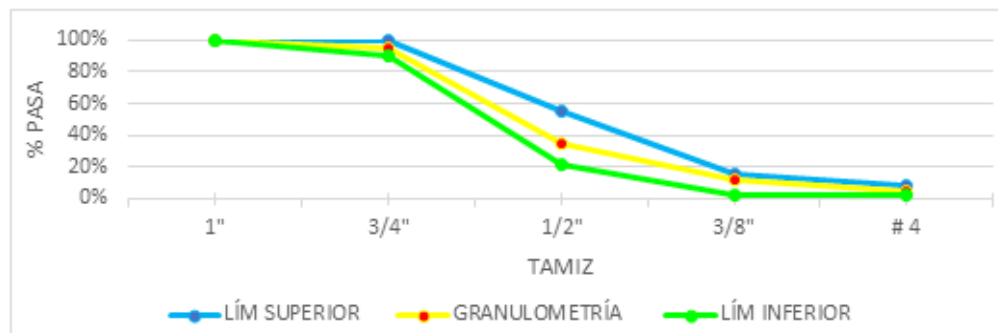
La investigación se desarrolló con el apoyo de la empresa PIROLISAN ubicada en la zona industrial de chimitá de la ciudad de Girón, quien suministró los chips de caucho. Se utilizó agregado grueso y fino proveniente de la planta de agregados AVENSA ubicada en Pescadero-Santander y cemento portland tipo I procedente de la planta de concretos ARGOS, ubicada en la zona industrial café Madrid de la ciudad de Bucaramanga.

6.1 CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

Se determinaron las propiedades de cada uno de los materiales: chips de caucho reciclado, cemento, agregado grueso, agregado fino, agua y aditivo.

6.1.1 Chips de Caucho Reciclado. Se utilizaron chips de caucho reciclado de forma irregular en reemplazo de agregado grueso natural con tamaño máximo nominal de 19 mm (3/4") y gradaciones inferiores de 12 mm (1/2"), 9,5 mm (3/8") y 4,75 mm (malla # 4), de esta forma se ajustó el análisis granulométrico similar al agregado grueso natural según la norma NTC 77, ver grafica 1 [15].

Gráfica 1. Análisis granulométrico de chips de caucho reciclado.



La densidad específica y la absorción se determinaron según la norma NTC 456, ver tabla 2 [16].

6.1.2 Cemento. Su utilizó cemento ARGOS Portland tipo I con módulo de finura 2,4 según NTC 33 y densidad específica de 3030 kg/m³ según NTC 221 [17] [18].

6.1.3 Agua de Amasado y Aditivo. Se utilizó como agua de amasado el suministro de agua potable del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga con una densidad específica de 1000 kg/m³ y un promedio de pH de 7,35. Se utilizó un aditivo retardante de fraguado y plastificante PLASTIMENT AD 30 de SIKA, con una dosificación de 0,3% del peso del cemento en la mezcla [19] [20].

6.1.4 Agregado Grueso y Fino Natural. Se establecieron los análisis granulométricos según NTC 77, tanto para agregado grueso y fino natural (ver Anexo A). Para el agregado fino se realizó ensayo de impurezas orgánicas y se encontró un color similar al estándar, lo que indica que es de muy buena calidad, según NTC 127 [21]. También se determinaron las masas unitarias según NTC 92, y densidad y absorción según NTC 176, ver tabla 2 [22] [23].

Tabla 2. Propiedades de agregado grueso y fino natural y reciclado.

Propiedad	Natural Fino	Natural Grueso	Reciclado Grueso
Tamaño máximo de partícula	# 4 (4,75mm)	1" (25mm)	1" (25mm)
Tamaño máximo nominal	# 8 (2,36mm)	¾" (19mm)	¾" (19 mm)
Densidad específica (kg/m ³)	2650	2600	1109
Porcentaje de absorción (%)	0,33	0,47	0,24
Módulo de finura	2,7	5,7	5,5
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1426	1407	682
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1491	1466	724

6.2 DISEÑO DE MEZCLA

Los diseños de mezcla se realizaron con el propósito de obtener una resistencia a la compresión uniaxial de 21 MPa (3000 PSI) a 28 días en el hormigón, para una relación a/c de 0,53, siguiendo los procedimientos del ACI 211 (American Concrete Institute) ver Anexo B, con reemplazos en el agregado grueso natural en

proporciones de 0, 5, 10, 15 y 20% en volumen por chips de caucho reciclado. Ver tabla 3.

Tabla 3. Diseño de mezcla.

Reemplazo %	Cemento (kg/m ³)	Agua (kg/m ³)	Agregado Fino (kg/m ³)	Agregado Grueso (kg/m ³)	Chips de Caucho (kg/m ³)
0	375	200	750	1013	0
5	375	200	750	962,4	21,6
10	375	200	750	911,3	43,3
15	375	200	750	861,2	64,8
20	375	200	750	810,5	86,5

Las mezclas de hormigón se elaboraron en una mezcladora de 1 bulto (trompo) con un tiempo de mezclado de 120 segundos, ver figura 4a. Para cada mezcla se realizaron ensayos de asentamiento según NTC 396, ver figura 4b, peso unitario y contenido de aire según ASTM C138 [24] [25].

Figura 4. Equipo de mezcla en obra y asentamiento a) Trompo .b) Slump.



a)



b)

6.3 ENSAYOS EN ESTADO FRESCO DE HORMIGÓN HIDRAÚLICO

6.3.1 Prueba de Asentamiento (SLUMP). Es una medida de la consistencia de hormigón hidráulico, la cual indica que tan seca o fluida está cuando se encuentra en estado plástico, permitiendo una determinada colocación, permitiendo observar si la mezcla presenta segregación de sus agregados o exudación del agua de

amasado. Para determinar el ensayo de Slump se utiliza el cono de Abrams según NTC 396.

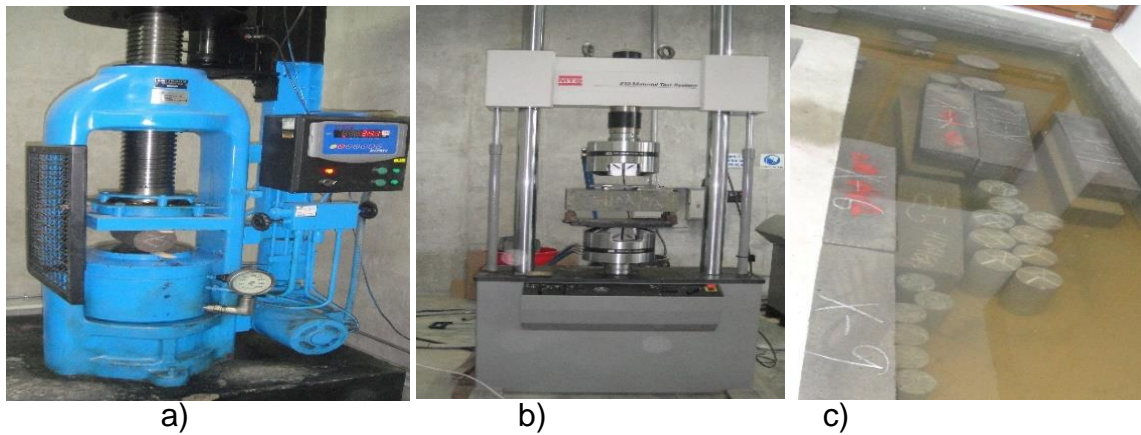
6.3.2 Determinación del Peso Unitario y Contenido de Aire del Hormigón Convencional y Modificado. El peso unitario del hormigón hidráulico fresco o endurecido depende de la granulometría, densidad del cemento y agregados y del contenido de aire atrapado o incorporado en el momento del mezclado.

6.4 ANÁLISIS MECÁNICO DEL HORMIGÓN HIDRÁULICO

Los análisis mecánicos se desarrollaron para los 5 diseños de mezcla de 0, 5, 10, 15 y 20% de reemplazo de agregado, los procedimientos de falla en compresión uniaxial según NTC 673 [26], y tracción indirecta según NTC 722 [27], se realizaron en la prensa hidráulica ALFRED J. AMSLER Y CIA. SUIZA (79/191) con capacidad máxima de carga de 400 KN, ver figura 5a. Para los ensayos se elaboraron 9 especímenes cilíndricos con dimensiones de 100 mm de diámetro por 200 mm de altura según NTC 550 [28], para ser ensayados a los 7, 14 y 28 días.

Los ensayos de flexión según NTC 2871 [29], se realizaron en la maquina universal de ensayos MTS 810. 318-50. USA (2007) con capacidad máxima de carga de 50 ton, ver figura 5b, para estos ensayos se elaboraron 6 vigas simples con dimensiones 150 mm x 150 mm x 500 mm para ser ensayadas a los 7, 14 y 28 días. Las maquinas se encuentran en el laboratorio de caracterización de materiales de construcción de la escuela de ingeniería civil UIS.

Figura 5. Máquinas de análisis mecánico y especímenes a) Prensa hidráulica b) Máquina universal de ensayos c) Cilindros y vigas.



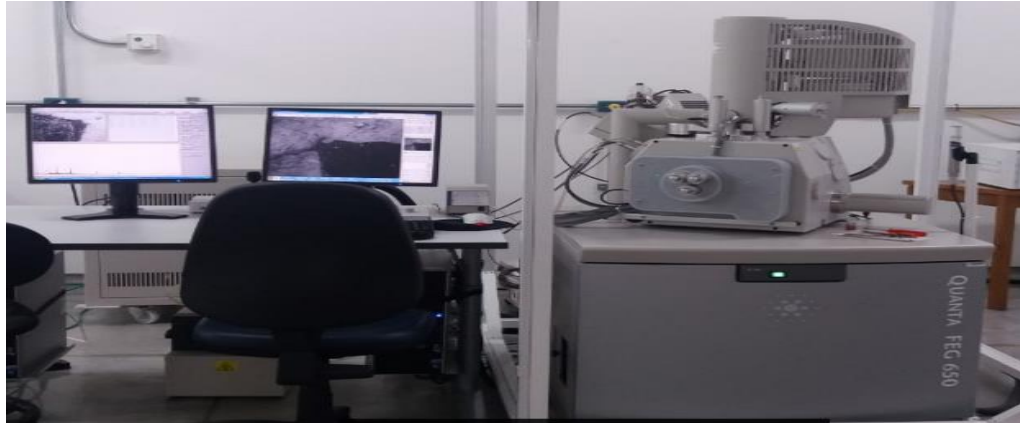
6.4 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM)

La microscopía electrónica de barrido SEM (Scanning Electron Microscopy) consiste en hacer incidir un barrido de haz de electrones sobre la muestra, en este caso muestras de hormigón de los diferentes diseños de mezclas recubiertas con una capa de carbón mediante la técnica de “Sputtering”, ver figura 6. Los ensayos se realizaron en el laboratorio de microscopía del Parque Tecnológico de Guatiguará-UIS en el equipo QUANTA 650 FEG Ambiental (Field Emission Gun), ver figura 7, este ensayo proporciona imágenes y espectros de la morfología y caracterización de la interfase agregado-matriz cementante.

Figura 6. Muestras acondicionadas para ensayo SEM.



Figura 7. Equipo para análisis SEM.



7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos del proyecto de investigación conforme a la metodología implementada, referente a los ensayos para determinar al análisis mecánico y la técnica de microscopía electrónica de barrido (SEM) para obtener la morfología y la caracterización de los 5 diseños de mezcla elaborados con reemplazos en su agregado grueso natural y la obtención del diseño de mezcla óptimo.

Las nomenclaturas adoptadas para los 5 diseños de mezclas son:

- 0% en reemplazo: Z1, espécimen cilíndrico compresión CZ1C, espécimen cilíndrico tracción indirecta CZ1T, viga flexión VZ1F.
- 5% en reemplazo: Z2, espécimen cilíndrico compresión CZ2C, espécimen cilíndrico tracción indirecta CZ2T, viga flexión VZ2F.
- 10% en reemplazo: Z3, espécimen cilíndrico compresión CZ3C, espécimen cilíndrico tracción indirecta CZ3T, viga flexión VZ3F.
- 15% en reemplazo: Z4, espécimen cilíndrico compresión CZ4C, espécimen cilíndrico tracción indirecta CZ4T, viga flexión VZ4F.
- 20% en reemplazo: Z5, espécimen cilíndrico compresión CZ5C, espécimen cilíndrico tracción indirecta CZ5T, viga flexión VZ5F.

7.1 ENSAYOS EN ESTADO FRESCO DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS

Los ensayos de Slump se realizaron para cada diseño de mezcla de manera inmediata para determinar la trabajabilidad, segregación y exudación de la mezcla, en la tabla 4, se muestran los resultados y se observa que al aumentar el contenido de agregado reciclado aumenta el Slump lo cual favorece la fluidez de la mezcla permitiendo la colocación de hormigón.

En la tabla 5 se muestra el peso unitario promedio de los diseños de mezclas en estado fresco y contenido de aire. Donde se muestra que el peso unitario promedio en el hormigón disminuye gradualmente hasta un 5% en el diseño de mezcla de mayor reemplazo, esto se debe a que el agregado reciclado (chips de caucho) presenta una densidad específica menor a la del agregado natural.

Tabla 4. Slump.

Mezcla	Slump				
	0%	5%	10%	15%	20%
In (mm)	1" ½ (38mm)	3" (76mm)	2" ½ (64mm)	4" (101mm)	3" ¾ (96mm)

Con respecto al porcentaje de contenido de aire se encontró que al reemplazar agregado grueso natural por agregado reciclado se aumenta el contenido de aire atrapado en un 25% en los diseños de mezcla con mayores reemplazos debido a que los chips de caucho presentan mayor porosidad.

Tabla 5. Peso unitario promedio y contenido de aire.

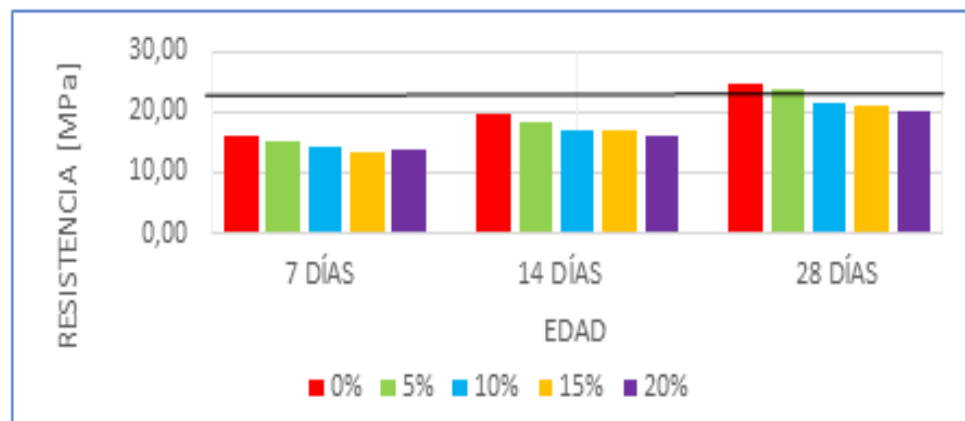
Mezcla	0%	5%	10%	15%	20%
Peso unitario promedio (kg/m ³)	2626	2590	2564	2528	2499
Contenido de aire atrapado (%)	2,0	2,1	2,3	2,5	2,5

7.2 COMPORTAMIENTO DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS EN COMPRESIÓN

En la gráfica 2 se observa que a medida que aumenta el porcentaje de reemplazo en el hormigón empieza a disminuir la resistencia a la compresión uniaxial en las distintas edades de curado, estos resultados corresponden al promedio de tres especímenes por cada edad de ensayo, estos diseños se realizaron con un factor de sobredimensionamiento del 20%, en incremento de la resistencia como consecuencia de la reducción que involucra el reemplazo de material pétreo por material elastómero, ver Anexo C.

En las edades de maduración en estado endurecido, a los 7 días por lo general el hormigón hidráulico convencional alcanza una resistencia a la compresión del 65-70% de la resistencia de diseño a 28 días. En esta investigación, las mezclas Z4 y Z5 no están en este límite, a los 14 días se alcanza el 80% de la resistencia de diseño. Se observa que la mezcla Z5 no está dentro del parámetro, a los 28 días se alcanza el 95% de la resistencia a la cual se diseña. Se observa entonces que el diseño con mayor reemplazo, que cumple el límite, es Z4. Resultados similares han sido reportados en las investigaciones realizadas por BRAVO y GUO [12] [14]. Reemplazos superiores a este diseño ocasionan pérdidas hasta del 50% de la resistencia, lo que sería inviable técnicamente su aplicación con funciones estructurales.

Gráfica 2. Ensayos de compresión uniaxial.



7.3 COMPORTAMIENTO DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS EN TRACCIÓN INDIRECTA

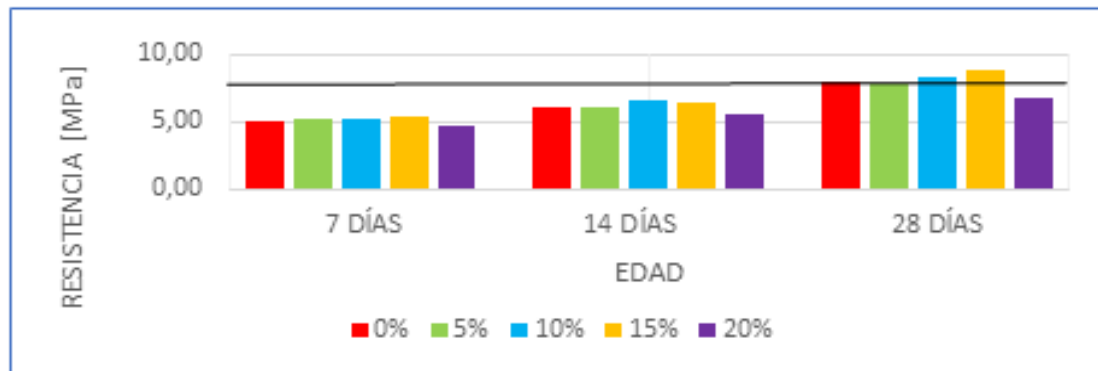
Generalmente el valor de la resistencia a la tensión se encuentra entre un 25 y 30% de la capacidad a compresión a los 28 días, ver Anexo D. En la gráfica 3 se muestran los resultados de someter los especímenes cilíndricos de hormigón a tracción indirecta. En las edades de curado 7 y 14 días se observó un incremento del 5 y 7% en la resistencia en los diseños Z3 y Z4. A diferencia del diseño Z5, que

en las 3 edades de control se observó una disminución de la resistencia promedio en relación con el diseño patrón Z1 de un 10%. En la figura 8, se muestran especímenes a fallados a tracción indirecta.

Figura 8. Especímenes fallados a tracción indirecta.



Grafica 3. Ensayos a tracción indirecta.



7.4 COMPORTAMIENTO DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS EN FLEXIÓN

Según la Norma Sismo Resistente NSR 10 C18.4, el módulo de rotura está en el rango del 10 al 20% de la resistencia a la compresión [30]. La resistencia a la flexión de los diseños de mezcla se realizó siguiendo la NTC 2871, calculando el módulo de rotura mediante una viga simple en sus tercios medios. Se realizaron 2 ensayos por cada 7,14 y 28 días para cada diseño de mezcla, ver figura 9.

Figura 9. Ensayos a flexión



En la tabla 6 se muestran los resultados obtenidos referente al módulo de rotura promedio a 28 días, momento cuando el hormigón alcanza un 95% de su resistencia a la compresión, donde se observa que el diseño patrón VZ1F alcanza el 14% de la resistencia a la compresión.

En el diseño VZ3F se observa el mayor valor alcanzado de la resistencia a la flexión, lo cual muestra que los reemplazos de agregado grueso natural hasta este límite favorecen el comportamiento sismo resistente del hormigón bajo los parámetros de diseño establecidos en esta investigación.

Tabla 6. Módulo de rotura promedio de diseños de mezclas a 28 días.

Diseño de mezcla	Módulo de rotura (kPa)	Fuerza última (KN)	Desplazamiento axial (mm)
VZ1F	2,41	19,056	8
VZ2F	2,49	20,114	11
VZ3F	3,23	24,884	4
VZ4F	2,46	20,179	14
VZ5F	2,35	18,362	6

7.5 DISEÑO DE MEZCLA ÓPTIMO

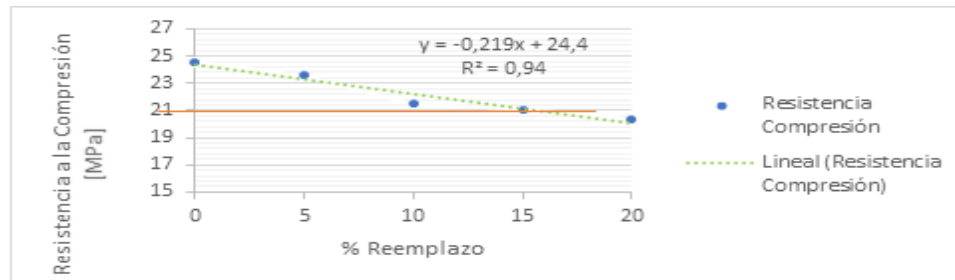
Se realizó un análisis estadístico con los datos obtenidos en el ensayo de compresión, para los distintos diseños de mezclas, aplicando regresión lineal,

teniendo como variable dependiente (Y=resistencia a la compresión) y variable independiente (X=porcentaje de reemplazo), ver grafica 4. La regresión lineal generó la siguiente ecuación:

$$Y = -0,219X + 24,4 \text{ (MPa)}$$

Al reemplazar el valor de la resistencia de control $Y = 21$ (MPa) se obtiene $X = 15,52$ que representa el porcentaje de reemplazo óptimo en sustitución de agregado grueso natural en el diseño de mezcla.

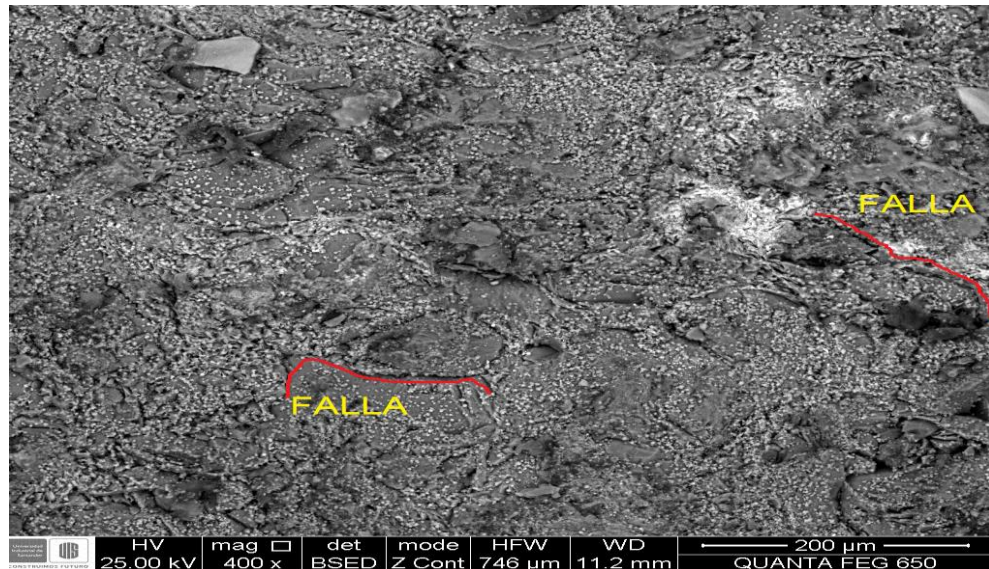
Gráfica 4. Diseño de mezcla óptimo



7.6 CARACTERIZACIÓN DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS MEDIANTE (SEM-EDS)

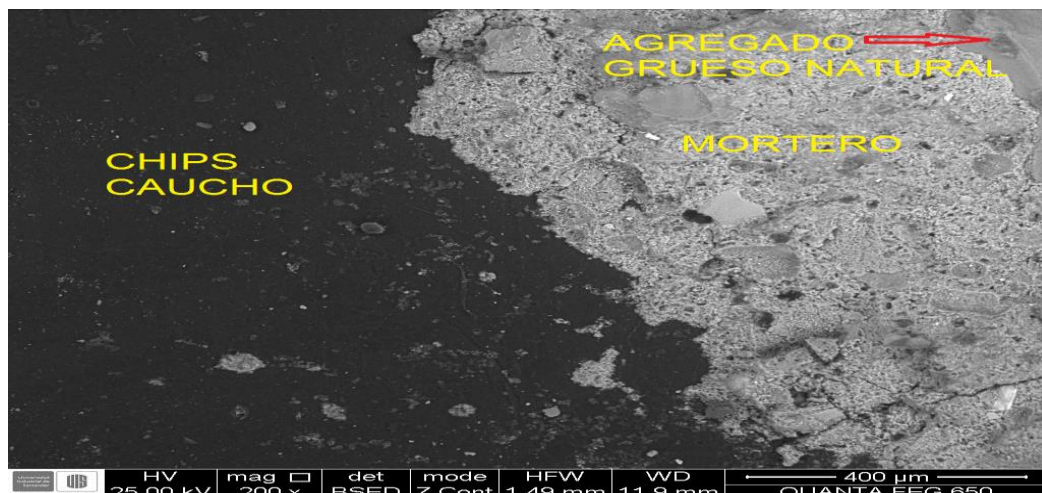
Los ensayos SEM-EDS se realizaron en los especímenes CZ1C, CZ3C y CZ4C para identificar las propiedades microestructurales de los diseños de mezclas. En el espécimen de control CZ1C se observó una fuerte adhesión en la zona de transición interfacial entre el agregado grueso natural y la matriz cementante, lo que refleja altos valores de resistencia a esfuerzos mecánicos. Se pudo apreciar una buena cohesión dentro de la matriz cementante. Las líneas rojas muestran microfisuras como resultado del exceso de esfuerzo en el ensayo de compresión uniaxial, ver figura 10.

Figura 10. Micrografía de muestra CZ1C



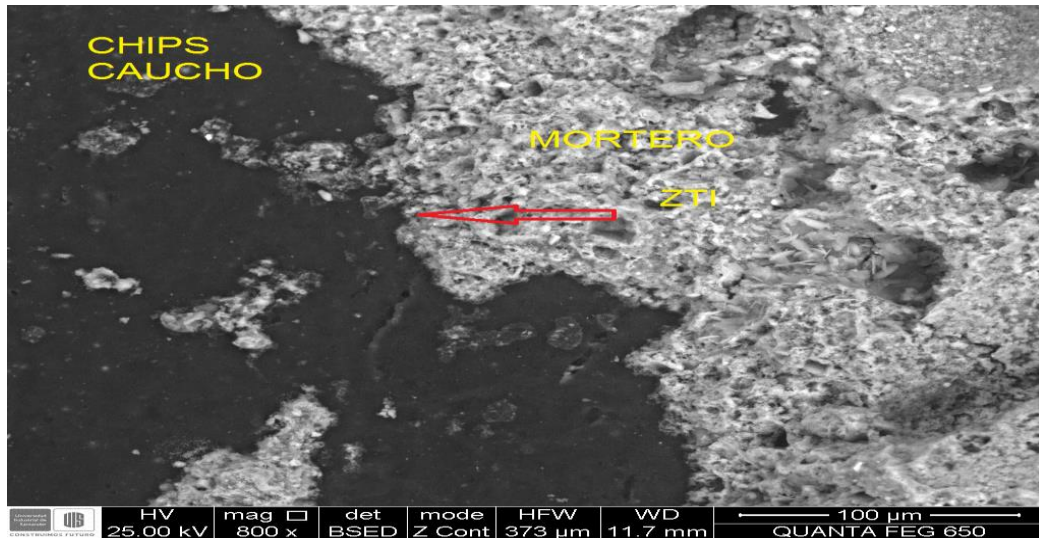
En la figura 11 se puede apreciar aparentemente una buena adhesión de la zona de transición interfacial (ZTI) entre el agregado reciclado y la matriz cementante del espécimen CZ3C, también se observó una buena distribución de los agregados naturales y reciclados unidos en la matriz.

Figura 11. Micrografía de muestra CZ3C



En la figura 12 se observa el diseño de mezcla CZ4C referente al diseño óptimo, donde se aprecia buena adherencia en la ZTI, permitiendo el aumento de la resistencia a la flexión reflejada en el diseño de mezcla Z4.

Figura 12. Micrografía de muestra CZ4C



8. CONCLUSIONES

- En la determinación de las propiedades de resistencia mecánica se reflejaron comportamientos decrecientes promedios en los ensayos de compresión uniaxial hasta del 20% de su valor patrón de diseño de 21 MPa (3000 PSI), mientras que en la resistencia a la tracción indirecta y resistencia a la flexión se presenta un incremento promedio de 5% en reemplazos del 10 y 15% del agregado grueso natural.
- Se realizó la curva granulométrica del agregado reciclado (chips de caucho) similar a la del agregado grueso natural para favorecer la resistencia mecánica del hormigón hidráulico.
- La gravedad específica del hormigón hidráulico modificado disminuye en 5% al reemplazar gradualmente el agregado grueso natural por agregado reciclado.
- En el análisis de SEM-EDS se evidenció buena adherencia en la zona de transición interfacial entre el agregado reciclado y la matriz cementante, representando un mejor comportamiento ante esfuerzos de tracción indirecta y flexión.
- Esta investigación presenta resultados favorables para la incorporación del caucho de llantas en desuso en diseños de mezcla para hormigón hidráulico en porcentajes no mayores de 15% en volumen.

9. RECOMENDACIONES

- Realizar un análisis económico costo-beneficio referente a la aplicación en obra de hormigón hidráulico modificado frente al hormigón convencional teniendo en cuenta los rubros que proporciona la ANDI para darle un destino final apropiado a las llantas en desuso en Colombia.
- Valorar la durabilidad del hormigón hidráulico modificado mediante ensayos de carbonatación, permeabilidad de cloruro, absorción superficial en edades de maduración de 28 y 90 días.
- Realizar en diseños de mezcla con cementos especializados en aumento de la resistencia y relaciones agua-cemento menores.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ATAEI, Hossein. Experimental study of rubber tire aggregates effect on compressive and dynamic load-bearing properties of cylindrical concrete specimens. En: Journal of Material Cycles and Waste Management, 2016, vol. 18, no 4, p. 665-676.
- [2] BISHT, Kunal y RAMANA, Venkata. Evaluation of mechanical and durability properties of crumb rubber concrete. En: Construction and Building Materials, 2017, vol. 155, p. 811-817.
- [3] SOFI, Alba. Effect of waste tyre rubber on mechanical and durability properties of concrete – A review. En: Journal Engineering Ain Shams [en línea]. Octubre, 2017. [Citado el 18 de Febrero de 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447917301132>
- [4] SIDDIQUE, Rafat y NAIK, Tarun. Properties of concrete containing scrap-tire rubber – A overview. En: Waste Management, 2004, no. 24, p. 563-569.
- [5] PELAÉZ, Gabriel, VELÁSQUEZ, Sandra y GIRALDO, Diego. Applications of recycled rubber – A literature review. En: Revista de Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 2017, no 27, p. 2-23.
- [6] BAUMEISTER, Theodore y AVALLONE, Eugene. Marks: Manual del Ingeniero Mecánico. 4ed. Mc Graw Hill, 1989.
- [7] ECOPETROL. Catálogo de Productos: Gas Natural. Ficha Técnica. Bogotá. 2012.

- [8] INSTITUTO DEL CONCRETO ASOCRETO. Colección Básica del Concreto: Tecnología y Propiedades. 2ed, Vol. 1. Bogotá: Asocreto, 2000.
- [9] MICHELIN. Llanta radial versus llanta convencional [en línea]. [Consulta 30 de octubre de 2017]. Disponible en <http://www.michelin.com.ec/llanta-radial.html>.
- [10] MUNDOLIMPIO. Trituración Mecánica [en línea]. [Consulta: 30 de octubre de 2017]. Disponible en <http://www.mundolimpio.com.html>.
- [11] VADIVEL, Senthil y THENMOZHI, R. Waste tyre rubber based concrete- A new generation practice for solid waste management and preventing depletion of natural resources. En: Journal on Civil Engineering. 2011, no. 1, p. 47-54.
- [12] BRAVO, Miguel y BRITO, Jorge. Concrete made with used tyre aggregate: durability-related performance. En: Journal of Cleaner Production, 2012, no. 25, p. 42-50.
- [13] BARBUTA, Marinela, *et al.* Effects of tire wastes on the mechanical properties of concrete. En: Procedia Engineering, 2017, no. 18, p. 346-350.
- [14] GUO, Shuaicheng, *et al.* Evaluation of properties and performance of rubber-modified concrete for recycling of waste scrap tire. Journal of Cleaner Production, 2017, No. 148, p. 681-689.
- [15] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos. NTC 77. Bogotá D.C.: El instituto, 2007.

[16] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Caucho vulcanizado, determinación de la densidad y absorción. NTC 456. Bogotá D.C.: El instituto, 2004.

[17] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Método para determinar la finura del cemento hidráulico por medio del aparato de Blaine de permeabilidad al aire. NTC 33. Bogotá D.C.: El instituto 1997.

[18] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Método de ensayo para determinación de la densidad del cemento hidráulico. NTC 33, Bogotá D.C.: El instituto, 1999.

[19] ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A.E.S.P. pH del agua [en línea]. [Consulta: 17 de septiembre de 2017]. Disponible en: http://www.amb.com.co/DocumentoInfo/resumen_buc_2017.pdf.html.

[20] PLASTIMENT AD 30. Catálogo de productos: Hoja de datos del producto. Ficha técnica. Bogotá. 2017

[21] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Método de ensayo para determinar las impurezas orgánicas en agregado fino para concreto. NTC 127. Bogotá D.C.: El instituto, 2000.

[22] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Determinación de la masa unitaria y vacíos entre partículas de agregados. NTC 92. Bogotá D.C.: El instituto, 1995.

[23] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción de los agregados. NTC 176. Bogotá D.C.: El instituto, 1999.

[24] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto. NTC 396. Bogotá D.C.: El instituto, 1992.

[25] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Peso unitario, rendimiento y contenido de aire del hormigón fresco. Método gravimétrico. ASTM C138. USA, 2009.

[26] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto. NTC 673. Bogotá D.C.: El instituto, 2010.

[27] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Método de ensayo para determinar la resistencia a la tensión indirecta de especímenes cilíndricos de concreto. NTC 722. Bogotá D.C.: El instituto, 2000.

[28] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra. NTC 550. Bogotá D.C.: El instituto 2000.

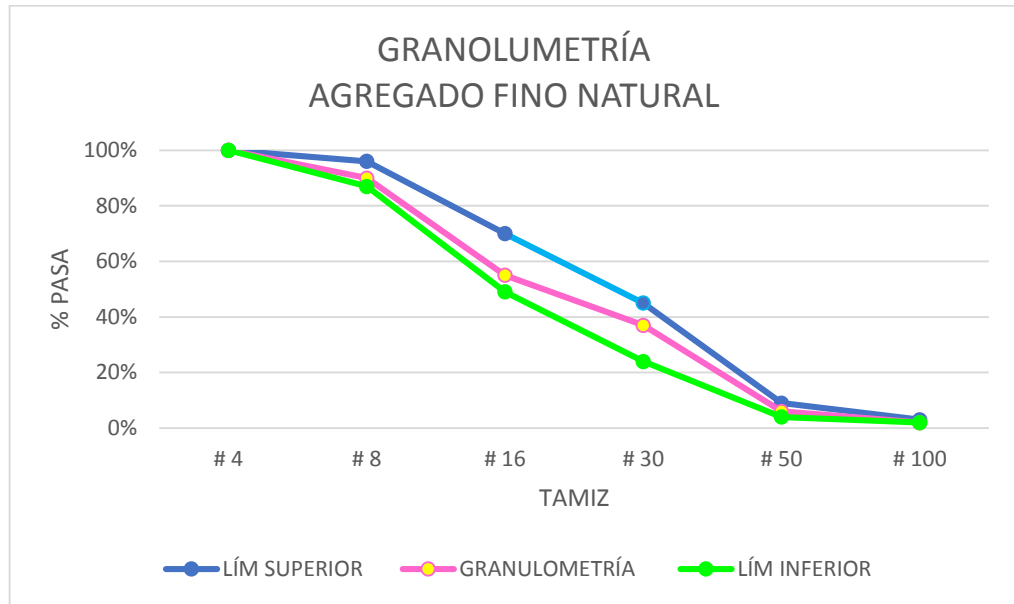
[29] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión utilizando una viga simple con carga en los tercios medios. NTC 2871. Bogotá D.C.: El instituto, 2004.

[30] COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título c. Concreto estructural [en línea]. Bogotá D.C., 2010. [Consulta: 17 de septiembre de 2017]. Disponible en <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/3titulo-c-nsr-100.pdf>.

ANEXOS

ANEXO A. CURVAS GRANULOMÉTRICAS

Grafica 5. Curva granulométrica de agregado fino natural.



Grafica 6. Curva granulométrica de agregado grueso natural.

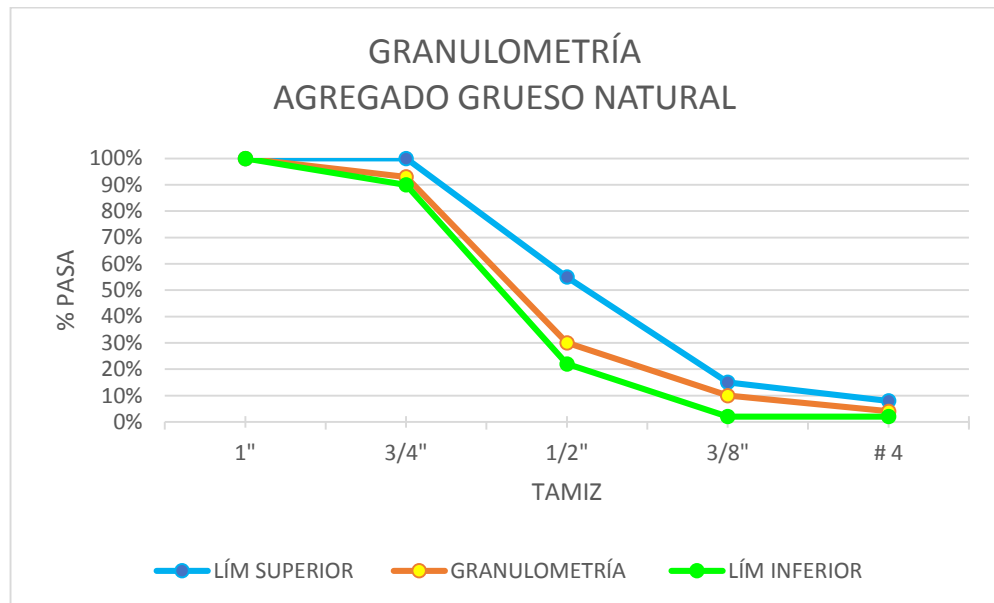
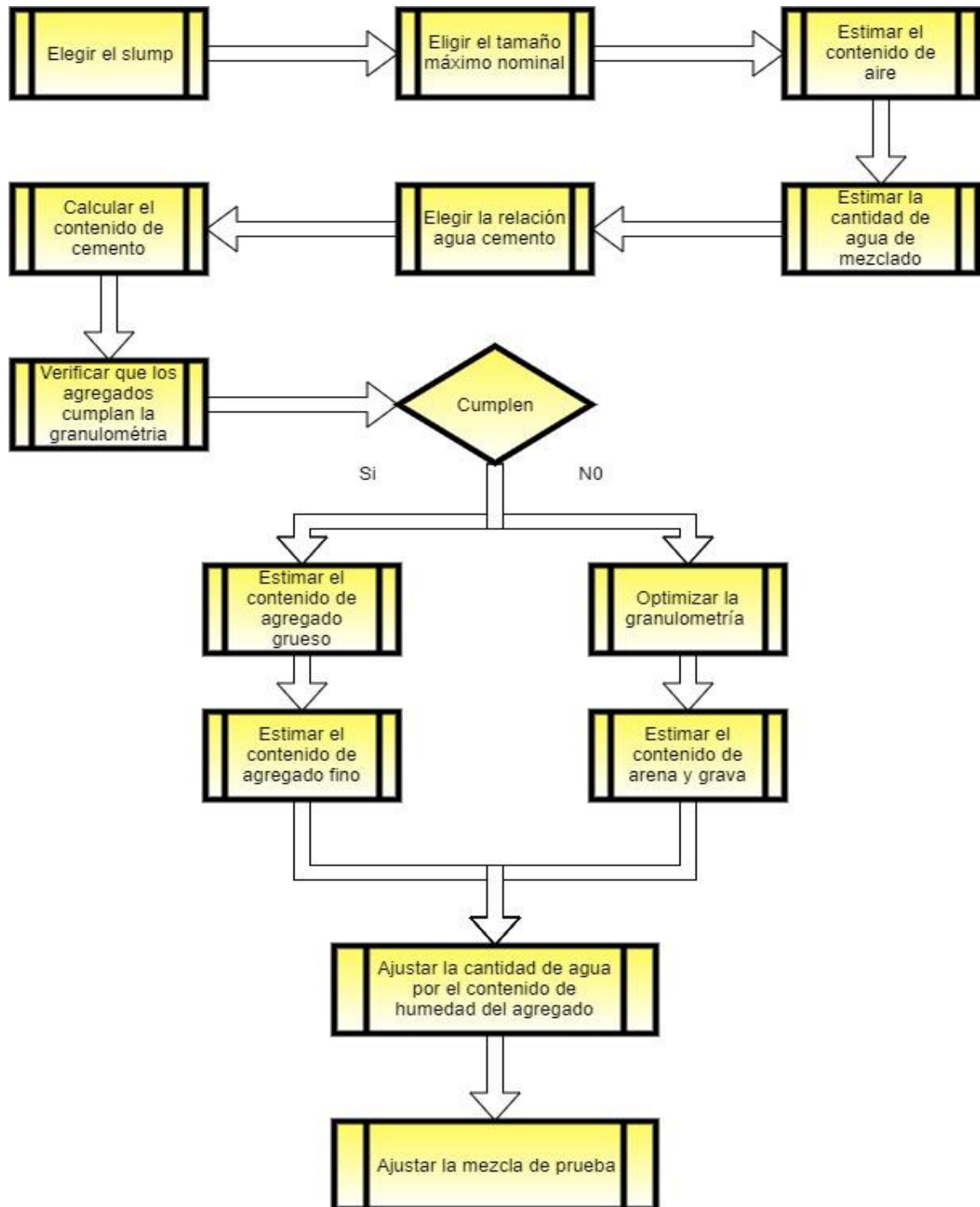


Figura 13. Gradación agregado grueso y fino natural.




ANEXO B. PASOS PARA DOSIFICACIÓN DE MEZCLA.

Figura 14. Metodología ACI 211.



ANEXO C. ENSAYOS DE COMPRESIÓN UNIAXIAL.

Figura 15. Resultados especímenes Z1 y Z2.

	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES	Codigo: FPS-01
	INFORME DE RESULTADOS ENSAYO A COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN	pag. 1 de 1 Versión: 06

INFORME No 1017 - 18 - 1011H

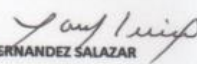
CLIENTE : UYLFREN CABALLERO ANAYA
FECHA DE ENSAYO : OCTUBRE 02 2017 **NORMA DE REFERENCIA N T C C 673 :** 2010
PROCEDENCIA/OBRA: HORMIGÓN HIDRÁULICO MODIFICADO AGREGADO CAUCHO LLANTAS

CONDICIONES DE ENSAYO									
EQUIPO	PRENSA HIDRAULICA CS112298	CAPACIDAD EQUIPO	1500 kN	CLASE	1				
PUNTO DE CARGA	CENTRICA	TEMPERATURA	23 °C	HUMEDAD	60 %				
VEL. DE ENSAYO	0.10 mm/s	ULTIMA CALIBRACIÓN	16 DE MAYO 2017						

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	IDENTIFICACION INTERNA	DIAMETRO cm	ALTURA cm	PESO gf	FECHA FUNDICION			FECHA DE RUPTURA			EDAD MUESTRA DIAS	AREA cm ²	RESISTENCIA ULTIMA		ESFUERZO kgf/cm ² PSI	TIPO DE FALLA NUMERAL 7,6 NTC 673:10
					D	M	A	D	M	A			kgf	kgf/cm ²		
CZ1C-01	C-01	10	20	4122	28	8	17	4	9	17	7	78,5	12914	164,5	2350	TIPO 5
CZ1C-02	C-02	10	20	4130	28	8	17	4	9	17	7	78,5	13024	165,9	2370	TIPO 2
CZ1C-03	C-03	10	20	4117	28	8	17	4	9	17	7	78,5	12870	163,9	2342	TIPO 3
CZ1C-04	C-04	10	20	4123	28	8	17	11	9	17	14	78,5	15620	199	2843	TIPO 1
CZ1C-05	C-05	10	20	4156	28	8	17	11	9	17	14	78,5	15712	200,2	2859	TIPO 3
CZ1C-06	C-06	10	20	4128	28	8	17	11	9	17	14	78,5	15750	200,6	2866	TIPO 1
CZ1C-07	C-07	10	20	4115	28	8	17	25	9	17	28	78,5	19298	245,8	3512	TIPO 5
CZ1C-08	C-08	10	20	4128	28	8	17	25	9	17	28	78,5	19779	252	3599	TIPO 3
CZ1C-09	C-09	10	20	4116	28	8	17	25	9	17	28	78,5	19645	250,3	3575	TIPO 4
CZ2C-01	C-01	10	20	4056	4	9	17	11	9	17	7	78,5	11868	151,2	2160	TIPO 2
CZ2C-02	C-02	10	20	4076	4	9	17	11	9	17	7	78,5	11920	151,8	2169	TIPO 1
CZ2C-03	C-03	10	20	4051	4	9	17	11	9	17	7	78,5	11956	152,3	2176	TIPO 2
CZ2C-04	C-04	10	20	4081	4	9	17	18	9	17	14	78,5	14652	186,6	2666	TIPO 5
CZ2C-05	C-05	10	20	4067	4	9	17	18	9	17	14	78,5	14680	187	2672	TIPO 4
CZ2C-06	C-06	10	20	4083	4	9	17	18	9	17	14	78,5	14718	187,5	2678	TIPO 1
CZ2C-07	C-07	10	20	4050	4	9	17	2	10	17	28	78,5	18900	240,8	3439	TIPO 1
CZ2C-08	C-08	10	20	4056	4	9	17	2	10	17	28	78,5	18856	240,2	3431	TIPO 2
CZ2C-09	C-09	10	20	4037	4	9	17	2	10	17	28	78,5	18667	237,8	3397	TIPO 3

OBSERVACIONES :

FIN DEL INFORME

Realizo  JAIRO HERNANDEZ SALAZAR Lab. De Hormigón	Reviso EDUARDO CASTAÑEDA Director de Laboratorio	VoBo WILFREDO DEL TORO Director Escuela Ing. Civil
---	---	---

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS Y MATERIALES
 Ciudad Universitaria, Carrera 27 – Calle 9, Edificio Álvaro Beltrán Pinzón
 PBX: (+57 7) 634 4000 Ext. 2487-2490 – FAX: (+57 7) 632 0744, Bucaramanga, Colombia
 F-mail labcivil@uis.edu.co




Figura 16. Resultado especímenes Z3 y Z4.


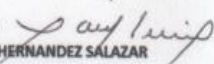
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES		Codigo: FPS-01																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
	INFORME DE RESULTADOS ENSAYO A COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN		pag. 1 de 1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
			Versión: 06																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
		INFORME No 1017 - 18 - 101LH																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
CLIENTE :	UYLFREN CABALLERO ANAYA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
FECHA DE ENSAYO :	OCTUBRE 04 2017	NORMA DE REFERENCIA N T C C 673 : 2010																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
PROCEDENCIA/OBRA:	HORMIGÓN HIDRÁULICO MODIFICADO AGREGADO CAUCHO LLANTAS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
CONDICIONES DE ENSAYO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
EQUIPO	PRESA HIDRAULICA CS112298	CAPACIDAD EQUIPO	1500 kN	CLASE 1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
PUNTO DE CARGA	CENTRICA	TEMPERATURA	23 °C	HUMEDAD 60 %																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
VEL. DE ENSAYO	0.10 mm/s	ULTIMA CALIBRACIÓN	16 DE MAYO 2017																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">IDENTIFICACION DE LA MUESTRA</th> <th rowspan="2">IDENTIFICACION INTERNA</th> <th rowspan="2">DIAMETRO cm</th> <th rowspan="2">ALTURA cm</th> <th rowspan="2">PESO gr</th> <th colspan="3">FECHA FUNDICION</th> <th colspan="3">FECHA DE RUPTURA</th> <th rowspan="2">EDAD MUESTRA DIAS</th> <th rowspan="2">AREA cm²</th> <th rowspan="2">RESISTENCIA ULTIMA Kgf</th> <th colspan="2">ESFUERZO</th> <th rowspan="2">TIPO DE FALLA NUMERAL 7,6 NTC 673:10</th> </tr> <tr> <th>D</th><th>M</th><th>A</th> <th>D</th><th>M</th><th>A</th> <th>kgf/cm²</th> <th>PSI</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>CZ3C-01</td><td>C-01</td><td>10</td><td>20</td><td>4060</td><td>5</td><td>9</td><td>17</td><td>12</td><td>9</td><td>17</td><td>7</td><td>78,5</td><td>11429</td><td>145,6</td><td>2080</td><td>TIPO 1</td></tr> <tr><td>CZ3C-02</td><td>C-02</td><td>10</td><td>20</td><td>4056</td><td>5</td><td>9</td><td>17</td><td>12</td><td>9</td><td>17</td><td>7</td><td>78,5</td><td>11415</td><td>145,4</td><td>2077</td><td>TIPO 2</td></tr> <tr><td>CZ3C-03</td><td>C-03</td><td>10</td><td>20</td><td>4048</td><td>5</td><td>9</td><td>17</td><td>12</td><td>9</td><td>17</td><td>7</td><td>78,5</td><td>11396</td><td>145,2</td><td>2074</td><td>TIPO 5</td></tr> <tr><td>CZ3C-04</td><td>C-04</td><td>10</td><td>20</td><td>4061</td><td>5</td><td>9</td><td>17</td><td>19</td><td>9</td><td>17</td><td>14</td><td>78,5</td><td>13847</td><td>176,4</td><td>2520</td><td>TIPO 3</td></tr> <tr><td>CZ3C-05</td><td>C-05</td><td>10</td><td>20</td><td>4071</td><td>5</td><td>9</td><td>17</td><td>19</td><td>9</td><td>17</td><td>14</td><td>78,5</td><td>13627</td><td>173,6</td><td>2480</td><td>TIPO 1</td></tr> <tr><td>CZ3C-06</td><td>C-06</td><td>10</td><td>20</td><td>4055</td><td>5</td><td>9</td><td>17</td><td>19</td><td>9</td><td>17</td><td>14</td><td>78,5</td><td>13605</td><td>173,3</td><td>2476</td><td>TIPO 1</td></tr> <tr><td>CZ3C-07</td><td>C-07</td><td>10</td><td>20</td><td>4045</td><td>5</td><td>9</td><td>17</td><td>3</td><td>10</td><td>17</td><td>28</td><td>78,5</td><td>17320</td><td>220,6</td><td>3152</td><td>TIPO 4</td></tr> <tr><td>CZ3C-08</td><td>C-08</td><td>10</td><td>20</td><td>4059</td><td>5</td><td>9</td><td>17</td><td>3</td><td>10</td><td>17</td><td>28</td><td>78,5</td><td>17039</td><td>217,1</td><td>3101</td><td>TIPO 3</td></tr> <tr><td>CZ3C-09</td><td>C-09</td><td>10</td><td>20</td><td>4055</td><td>5</td><td>9</td><td>17</td><td>3</td><td>10</td><td>17</td><td>28</td><td>78,5</td><td>17008</td><td>216,7</td><td>3095</td><td>TIPO 2</td></tr> <tr><td>CZ4C-01</td><td>C-01</td><td>10</td><td>20</td><td>3968</td><td>6</td><td>9</td><td>17</td><td>13</td><td>9</td><td>17</td><td>7</td><td>78,5</td><td>10497</td><td>133,7</td><td>1910</td><td>TIPO 2</td></tr> <tr><td>CZ4C-02</td><td>C-02</td><td>10</td><td>20</td><td>3990</td><td>6</td><td>9</td><td>17</td><td>13</td><td>9</td><td>17</td><td>7</td><td>78,5</td><td>10444</td><td>133</td><td>1901</td><td>TIPO 3</td></tr> <tr><td>CZ4C-03</td><td>C-03</td><td>10</td><td>20</td><td>3978</td><td>6</td><td>9</td><td>17</td><td>13</td><td>9</td><td>17</td><td>7</td><td>78,5</td><td>10867</td><td>138,4</td><td>1978</td><td>TIPO 2</td></tr> <tr><td>CZ4C-04</td><td>C-04</td><td>10</td><td>20</td><td>3991</td><td>6</td><td>9</td><td>17</td><td>20</td><td>9</td><td>17</td><td>14</td><td>78,5</td><td>13448</td><td>171,3</td><td>2447</td><td>TIPO 5</td></tr> <tr><td>CZ4C-05</td><td>C-05</td><td>10</td><td>20</td><td>3994</td><td>6</td><td>9</td><td>17</td><td>20</td><td>9</td><td>17</td><td>14</td><td>78,5</td><td>13256</td><td>168,9</td><td>2412</td><td>TIPO 4</td></tr> <tr><td>CZ4C-06</td><td>C-06</td><td>10</td><td>20</td><td>3974</td><td>6</td><td>9</td><td>17</td><td>20</td><td>9</td><td>17</td><td>14</td><td>78,5</td><td>13559</td><td>172,7</td><td>2468</td><td>TIPO 1</td></tr> <tr><td>CZ4C-07</td><td>C-07</td><td>10</td><td>20</td><td>3995</td><td>6</td><td>9</td><td>17</td><td>4</td><td>10</td><td>17</td><td>28</td><td>78,5</td><td>16702</td><td>212,8</td><td>3039</td><td>TIPO 4</td></tr> <tr><td>CZ4C-08</td><td>C-08</td><td>10</td><td>20</td><td>3973</td><td>6</td><td>9</td><td>17</td><td>4</td><td>10</td><td>17</td><td>28</td><td>78,5</td><td>16820</td><td>214,3</td><td>3061</td><td>TIPO 1</td></tr> <tr><td>CZ4C-09</td><td>C-09</td><td>10</td><td>20</td><td>3970</td><td>6</td><td>9</td><td>17</td><td>4</td><td>10</td><td>17</td><td>28</td><td>78,5</td><td>16799</td><td>214</td><td>3057</td><td>TIPO 2</td></tr> </tbody> </table>					IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	IDENTIFICACION INTERNA	DIAMETRO cm	ALTURA cm	PESO gr	FECHA FUNDICION			FECHA DE RUPTURA			EDAD MUESTRA DIAS	AREA cm ²	RESISTENCIA ULTIMA Kgf	ESFUERZO		TIPO DE FALLA NUMERAL 7,6 NTC 673:10	D	M	A	D	M	A	kgf/cm ²	PSI	CZ3C-01	C-01	10	20	4060	5	9	17	12	9	17	7	78,5	11429	145,6	2080	TIPO 1	CZ3C-02	C-02	10	20	4056	5	9	17	12	9	17	7	78,5	11415	145,4	2077	TIPO 2	CZ3C-03	C-03	10	20	4048	5	9	17	12	9	17	7	78,5	11396	145,2	2074	TIPO 5	CZ3C-04	C-04	10	20	4061	5	9	17	19	9	17	14	78,5	13847	176,4	2520	TIPO 3	CZ3C-05	C-05	10	20	4071	5	9	17	19	9	17	14	78,5	13627	173,6	2480	TIPO 1	CZ3C-06	C-06	10	20	4055	5	9	17	19	9	17	14	78,5	13605	173,3	2476	TIPO 1	CZ3C-07	C-07	10	20	4045	5	9	17	3	10	17	28	78,5	17320	220,6	3152	TIPO 4	CZ3C-08	C-08	10	20	4059	5	9	17	3	10	17	28	78,5	17039	217,1	3101	TIPO 3	CZ3C-09	C-09	10	20	4055	5	9	17	3	10	17	28	78,5	17008	216,7	3095	TIPO 2	CZ4C-01	C-01	10	20	3968	6	9	17	13	9	17	7	78,5	10497	133,7	1910	TIPO 2	CZ4C-02	C-02	10	20	3990	6	9	17	13	9	17	7	78,5	10444	133	1901	TIPO 3	CZ4C-03	C-03	10	20	3978	6	9	17	13	9	17	7	78,5	10867	138,4	1978	TIPO 2	CZ4C-04	C-04	10	20	3991	6	9	17	20	9	17	14	78,5	13448	171,3	2447	TIPO 5	CZ4C-05	C-05	10	20	3994	6	9	17	20	9	17	14	78,5	13256	168,9	2412	TIPO 4	CZ4C-06	C-06	10	20	3974	6	9	17	20	9	17	14	78,5	13559	172,7	2468	TIPO 1	CZ4C-07	C-07	10	20	3995	6	9	17	4	10	17	28	78,5	16702	212,8	3039	TIPO 4	CZ4C-08	C-08	10	20	3973	6	9	17	4	10	17	28	78,5	16820	214,3	3061	TIPO 1	CZ4C-09	C-09	10	20	3970	6	9	17	4	10	17	28	78,5	16799	214	3057	TIPO 2
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	IDENTIFICACION INTERNA	DIAMETRO cm	ALTURA cm	PESO gr						FECHA FUNDICION			FECHA DE RUPTURA						EDAD MUESTRA DIAS	AREA cm ²		RESISTENCIA ULTIMA Kgf	ESFUERZO		TIPO DE FALLA NUMERAL 7,6 NTC 673:10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
					D	M	A	D	M	A	kgf/cm ²	PSI																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
CZ3C-01	C-01	10	20	4060	5	9	17	12	9	17	7	78,5	11429	145,6	2080	TIPO 1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
CZ3C-02	C-02	10	20	4056	5	9	17	12	9	17	7	78,5	11415	145,4	2077	TIPO 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
CZ3C-03	C-03	10	20	4048	5	9	17	12	9	17	7	78,5	11396	145,2	2074	TIPO 5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
CZ3C-04	C-04	10	20	4061	5	9	17	19	9	17	14	78,5	13847	176,4	2520	TIPO 3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
CZ3C-05	C-05	10	20	4071	5	9	17	19	9	17	14	78,5	13627	173,6	2480	TIPO 1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
CZ3C-06	C-06	10	20	4055	5	9	17	19	9	17	14	78,5	13605	173,3	2476	TIPO 1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
CZ3C-07	C-07	10	20	4045	5	9	17	3	10	17	28	78,5	17320	220,6	3152	TIPO 4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
CZ3C-08	C-08	10	20	4059	5	9	17	3	10	17	28	78,5	17039	217,1	3101	TIPO 3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
CZ3C-09	C-09	10	20	4055	5	9	17	3	10	17	28	78,5	17008	216,7	3095	TIPO 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
CZ4C-01	C-01	10	20	3968	6	9	17	13	9	17	7	78,5	10497	133,7	1910	TIPO 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
CZ4C-02	C-02	10	20	3990	6	9	17	13	9	17	7	78,5	10444	133	1901	TIPO 3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
CZ4C-03	C-03	10	20	3978	6	9	17	13	9	17	7	78,5	10867	138,4	1978	TIPO 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
CZ4C-04	C-04	10	20	3991	6	9	17	20	9	17	14	78,5	13448	171,3	2447	TIPO 5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
CZ4C-05	C-05	10	20	3994	6	9	17	20	9	17	14	78,5	13256	168,9	2412	TIPO 4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
CZ4C-06	C-06	10	20	3974	6	9	17	20	9	17	14	78,5	13559	172,7	2468	TIPO 1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
CZ4C-07	C-07	10	20	3995	6	9	17	4	10	17	28	78,5	16702	212,8	3039	TIPO 4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
CZ4C-08	C-08	10	20	3973	6	9	17	4	10	17	28	78,5	16820	214,3	3061	TIPO 1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
CZ4C-09	C-09	10	20	3970	6	9	17	4	10	17	28	78,5	16799	214	3057	TIPO 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
OBSERVACIONES :																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
FIN DEL INFORME																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Realizo		Reviso	EDUARDO CASTAÑEDA	VoBo																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
	JAIRO HERNANDEZ SALAZAR		Director de Laboratorio	WILFREDO DEL TORO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
	Lab. De Hormigón			Director Escuela Ing. Civil																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS Y MATERIALES Ciudad Universitaria, Carrera 27 – Calle 9, Edificio Álvaro Beltrán Pinzón PBX: (+57 7) 634 4000 Ext. 2487-2490 – FAX: (+57 7) 632 0744 Bucaramanga, Colombia																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															

Figura 18. Tipo de falla

TIPO DE FALLAS ENSAYO A COMPRESIÓN CILINDROS DE HORMIGÓN

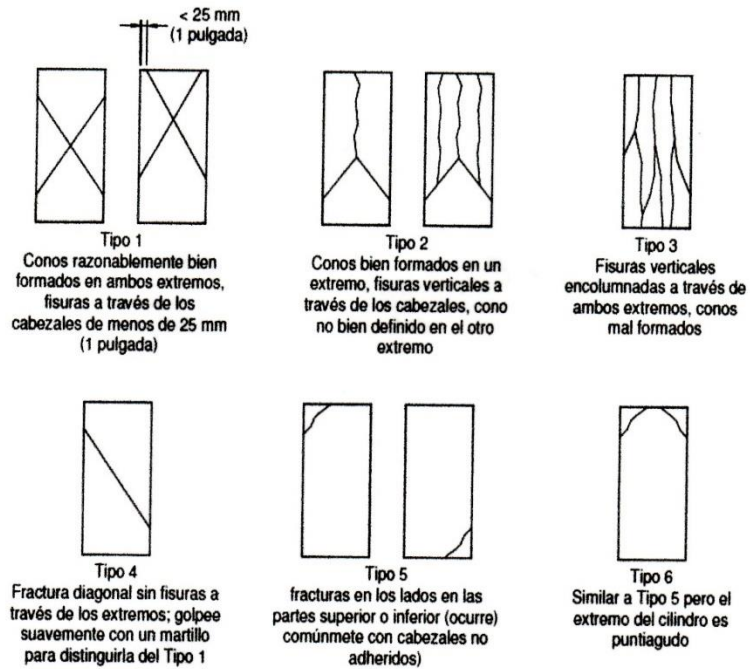


Figura 2 Esquema de los modelos de fractura típicos

Figura 19. Calibración prensa hidráulica.



SERVINTEGRAL LTDA.



ACREDITADO
ONAC
ORGANISMO NACIONAL DE
AUTORIZACIÓN DE CALIBRACIÓN
ISO/IEC 17025:2005
11-LAC-011

F-06-TEC V7

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Calibration Certificate

NUMERO : 4198
Number

ACREDITACIÓN ONAC: <small>ONAC Accreditation</small>	11 - LAC - 011 DEL 13 DE JULIO DE 2011
DIRECCIÓN <small>Address</small>	CARRERA 20 No 39-33 Ofic 301 BOGOTA D.C. TELEFONOS: 3382470-3382471 FAX: 3382470
LABORATORIO : <small>Laboratory</small>	SERVINTEGRAL LTDA.
INSTRUMENTO : <small>Instrument</small>	MAQUINA DE ENSAYO A COMPRESION
FABRICANTE : <small>Manufacturer</small>	ALFRED J. AMSLER
MODELO : <small>Model</small>	79/191
NUMERO DE SERIE : <small>Serial number</small>	CS112298
RANGO DE MEDICIÓN : <small>Measurement Range</small>	201,38 kN A 907,74 KN
SOLICITANTE : <small>Customer</small>	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
DIRECCIÓN : <small>Address</small>	CIUDAD UNIVERSITARIA CARRERA 27 # 9
FECHA DE CALIBRACIÓN : <small>Date of Calibration</small>	18 de mayo de 2017
NUMERO DE PÁGINAS INCLUYENDO ANEXOS : <small>Number of Pages and Documents Attached</small>	SIETE (7)

Ing. ANDRÉS FIERRO RAMIREZ

ELABORADO:
Elaborate



T.s.u. RUBEN C. HERNANDEZ G.

REVISADO / AUTORIZADO
Checked / Authorized

Este certificado (Informe) expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas. No podrá ser reproducido total o parcialmente excepto cuando se haya obtenido previamente permiso por escrito del laboratorio que lo emite.
 This certificate (report) is an accurate record of the performed measurements results. This certificate may not be partially or totally reproduced, except with the prior written permission of the issuing laboratory.


Los resultados contenidos en el presente certificado(Informe) se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones.
 El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos calibrados.
 The results of this certificate (Report) refer to the moment and conditions in which the measurements were made. The issuing laboratory assumes no responsibility for any ensuing damages to the misuse of the calibrated instruments.

El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados.
 The user is responsible for having his instruments calibrated at appropriate intervals.

Página 1 de 7

ANEXO D. ENSAYOS A TRACCIÓN INDIRECTA

Figura 20. Resultados falla por tracción indirecta Z1 y Z2.

	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES	Codigo: FPS-01
	INFORME DE RESULTADOS ENSAYO A TRACCIÓN INDIRECTA EN CILINDROS DE HORMIGÓN	pag. 1 de 1
		Versión: 07

INFORME No 1017 - 18 - 1011H

CLIENTE : UYLFREN CABALLERO ANAYA
FECHA DE ENSAYO : OCTUBRE 02 2017 **NORMA DE REFERENCIA :** NTC 722 : 2000
PROCEDENCIA/OBRA: HORMIGÓN HIDRÁULICO MODIFICADO AGREGADO CAUCHO LLANTAS

CONDICIONES DE ENSAYO									
EQUIPO	PRENSA HIDRAULICA CS112298	CAPACIDAD EQUIPO	1500 kN	CLASE	1				
PUNTO DE CARGA	CENTRICA	TEMPERATURA	23 °C	HUMEDAD	60 %				
VEL. DE ENSAYO	0.10 mm/s	ULTIMA CALIBRACIÓN	16 DE MAYO 2017						

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	IDENTIFICACION INTERNA	DIAMETRO	ALTURA	PESO	FECHA FUNDICION			FECHA DE RUPTURA			EDAD MUESTRA	AREA	RESISTENCIA ULTIMA		ESFUERZO		Mpa
		cm	cm		D	M	A	D	M	A			DIAS	cm ²	Kgf	kgf/cm ²	
CZ1T-01	C-01	10	20	4125	28	8	17	4	9	17	7	78,5	12914	51,41	734	5,06	
CZ1T-02	C-02	10	20	4128	28	8	17	4	9	17	7	78,5	13024	51,85	741	5,11	
CZ1T-03	C-03	10	20	4117	28	8	17	4	9	17	7	78,5	12870	51,23	732	5,05	
CZ1T-04	C-04	10	20	4129	28	8	17	11	9	17	14	78,5	15620	62,18	888	6,12	
CZ1T-05	C-05	10	20	4162	28	8	17	11	9	17	14	78,5	15712	62,55	894	6,16	
CZ1T-06	C-06	10	20	4132	28	8	17	11	9	17	14	78,5	15750	62,7	896	6,18	
CZ1T-07	C-07	10	20	4115	28	8	17	25	9	17	28	78,5	19298	79,3	1133	7,81	
CZ1T-08	C-08	10	20	4128	28	8	17	25	9	17	28	78,5	19779	81,28	1161	8,01	
CZ1T-09	C-09	10	20	4119	28	8	17	25	9	17	28	78,5	19645	80,73	1153	7,95	
CZZT-01	C-01	10	20	4048	4	9	17	11	9	17	7	78,5	11868	52,13	745	5,13	
CZZT-02	C-02	10	20	4049	4	9	17	11	9	17	7	78,5	11920	52,36	748	5,16	
CZZT-03	C-03	10	20	4051	4	9	17	11	9	17	7	78,5	11956	52,52	750	5,17	
CZZT-04	C-04	10	20	4081	4	9	17	18	9	17	14	78,5	14652	62,22	889	6,13	
CZZT-05	C-05	10	20	4067	4	9	17	18	9	17	14	78,5	14680	62,34	891	6,14	
CZZT-06	C-06	10	20	4083	4	9	17	18	9	17	14	78,5	14718	62,5	893	6,16	
CZZT-07	C-07	10	20	4056	4	9	17	2	10	17	28	78,5	18900	80,25	1146	7,90	
CZZT-08	C-08	10	20	4051	4	9	17	2	10	17	28	78,5	18856	80,07	1144	7,89	
CZZT-09	C-09	10	20	4044	4	9	17	2	10	17	28	78,5	18667	79,27	1132	7,81	

OBSERVACIONES :

FIN DEL INFORME

Realizo <i>J. Hernández Salazar</i> JAIRO HERNANDEZ SALAZAR Lab. De Hormigón	Revisó EDUARDO CASTAÑEDA Director de Laboratorio	VoBo WILFREDO DEL TORO Director Escuela Ing. Civil
--	--	--

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS Y MATERIALES
 Ciudad Universitaria, Carrera 27 – Calle 9, Edificio Álvaro Beltrán Pinzón
 PBX: (+57 7) 634 4000 Ext. 2487-2490 – FAX: (+57 7) 632 0744, Bucaramanga, Colombia
 E-mail labcivil@uis.edu.co





Figura 21. Resultados falla por tracción indirecta Z3 y Z4.

	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES	Codigo: FPS-01
	INFORME DE RESULTADOS ENSAYO A TRACCIÓN INDIRECTA EN CILINDROS DE HORMIGÓN	pag. 1 de 1
		Versión: 07

INFORME No 1017 - 18 - 101LH

CLIENTE : UYLFREN CABALLERO ANAYA
 FECHA DE ENSAYO : OCTUBRE 04 2017 NORMA DE REFERENCIA N T € 722 : 2000
 PROCEDENCIA/OBRA: HORMIGÓN HIDRÁULICO MODIFICADO AGREGADO CAUCHO LLANTAS

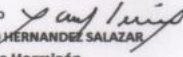
CONDICIONES DE ENSAYO

EQUIPO PRENSA HIDRAULICA CS112298 CAPACIDAD EQUIPO 1500 kN CLASE 1
 PUNTO DE CARGA CENTRICA TEMPERATURA 23 °C HUMEDAD 60 %
 VEL . DE ENSAYO 0.10 mm/s ULTIMA CALIBRACIÓN 16 DE MAYO 2017

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	IDENTIFICACION INTERNA	DIAMETRO	ALTURA	PESO	FECHA FUNDICION			FECHA DE RUPTURA			EDAD MUESTRA	AREA	RESISTENCIA ULTIMA	ESFUERZO		Mpa
		cm	cm	gr	D	M	A	D	M	A	DIAS	cm ²	Kgf	kgf/cm ²	PSI	
CZ3T-01	C-01	10	20	4048	5	9	17	12	9	17	7	78,5	11429	53,92	770	6,70
CZ3T-02	C-02	10	20	4051	5	9	17	12	9	17	7	78,5	11415	53,86	769	6,69
CZ3T-03	C-03	10	20	4048	5	9	17	12	9	17	7	78,5	11396	53,77	768	6,68
CZ3T-04	C-04	10	20	4051	5	9	17	19	9	17	14	78,5	13847	65,33	933	8,11
CZ3T-05	C-05	10	20	4071	5	9	17	19	9	17	14	78,5	13627	64,29	918	7,99
CZ3T-06	C-06	10	20	4055	5	9	17	19	9	17	14	78,5	13605	64,19	917	7,97
CZ3T-07	C-07	10	20	4048	5	9	17	3	10	17	28	78,5	17320	81,72	1167	10,15
CZ3T-08	C-08	10	20	4059	5	9	17	3	10	17	28	78,5	17039	80,39	1148	9,99
CZ3T-09	C-09	10	20	4055	5	9	17	3	10	17	28	78,5	17008	80,25	1146	9,97
CZ4T-01	C-01	10	20	3968	6	9	17	13	9	17	7	78,5	10497	53,49	764	6,64
CZ4T-02	C-02	10	20	3994	6	9	17	13	9	17	7	78,5	10444	53,22	760	6,61
CZ4T-03	C-03	10	20	3978	6	9	17	13	9	17	7	78,5	10867	55,37	791	6,88
CZ4T-04	C-04	10	20	3991	6	9	17	20	9	17	14	78,5	13448	68,52	979	8,51
CZ4T-05	C-05	10	20	3994	6	9	17	20	9	17	14	78,5	13256	67,55	965	8,39
CZ4T-06	C-06	10	20	3974	6	9	17	20	9	17	14	78,5	13559	69,09	987	8,58
CZ4T-07	C-07	10	20	3995	6	9	17	4	10	17	28	78,5	16702	85,11	1216	10,57
CZ4T-08	C-08	10	20	3975	6	9	17	4	10	17	28	78,5	16820	85,71	1224	10,65
CZ4T-09	C-09	10	20	3972	6	9	17	4	10	17	28	78,5	16799	85,6	1223	10,63

OBSERVACIONES :

FIN DEL INFORME

Realizo 
JAIRO HERNANDEZ SALAZAR
 Lab. De Hormigón

Reviso
EDUARDO CASTAÑEDA
 Director de Laboratorio

VoBo
WILFREDO DEL TORO
 Director Escuela Ing. Civil

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS Y MATERIALES
 Ciudad Universitaria, Carrera 27 – Calle 9, Edificio Álvaro Beltrán Pinzón
 PBX: (+57 7) 634 4000 Ext. 2487-2490 – FAX: (+57 7) 632 0744, Bucaramanga, Colombia
 F-mail labcivil@uis.edu.co



ANEXO E. ENSAYOS A FLEXIÓN

Figura 23. Viga a flexión Z1.

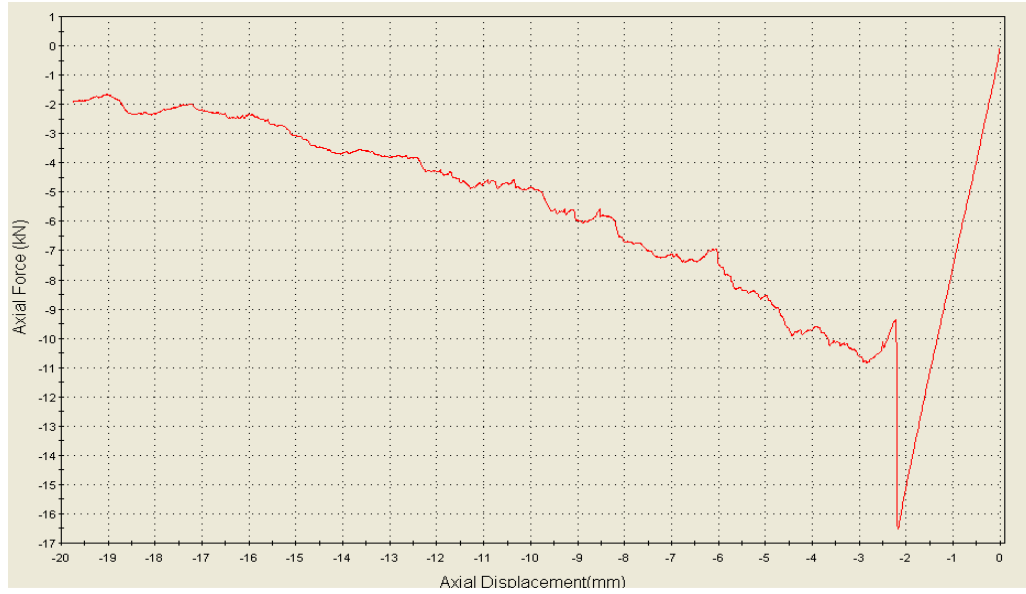


Figura 24. Viga a flexión Z2.

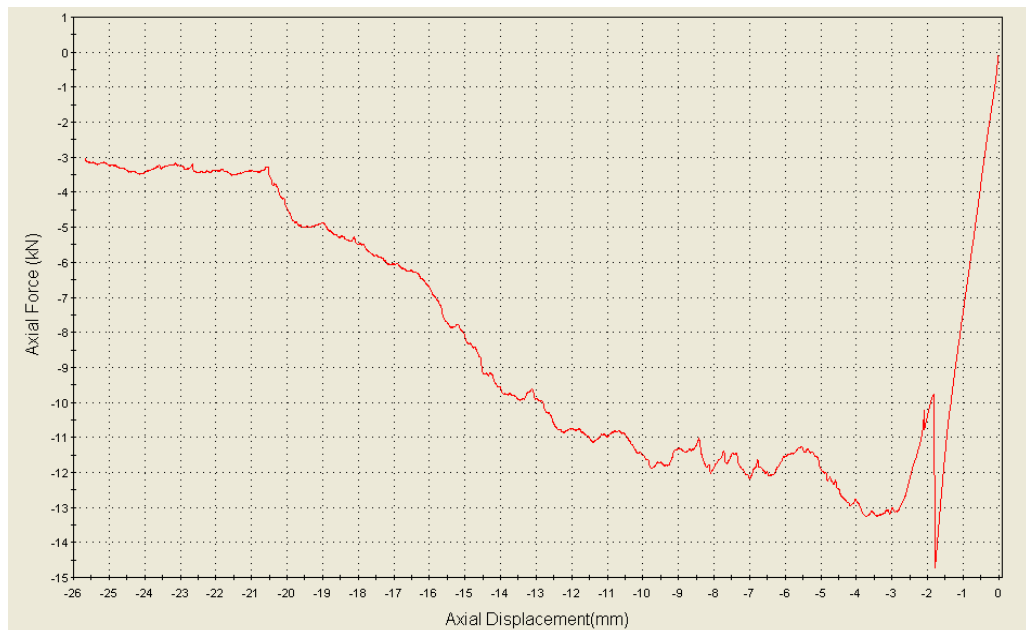


Figura 25. Viga a flexión Z3.

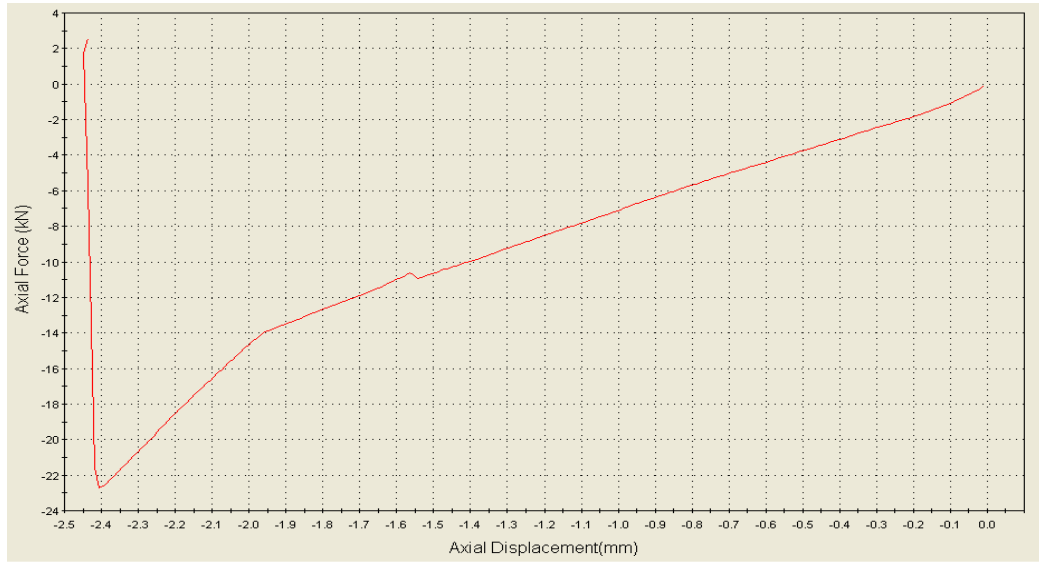


Figura 26. Viga a flexión Z4.

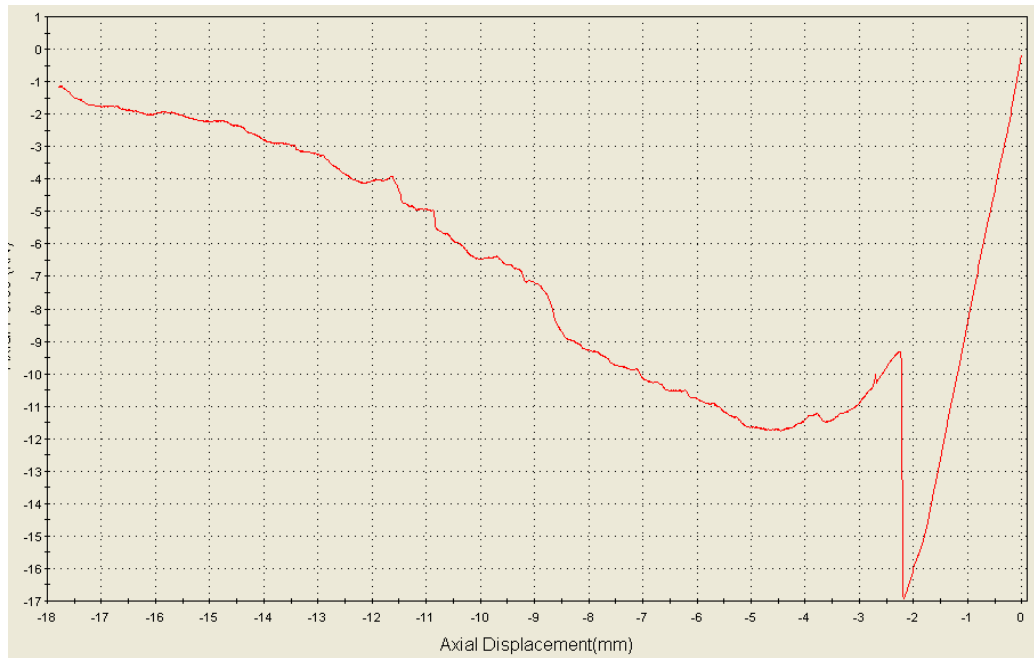
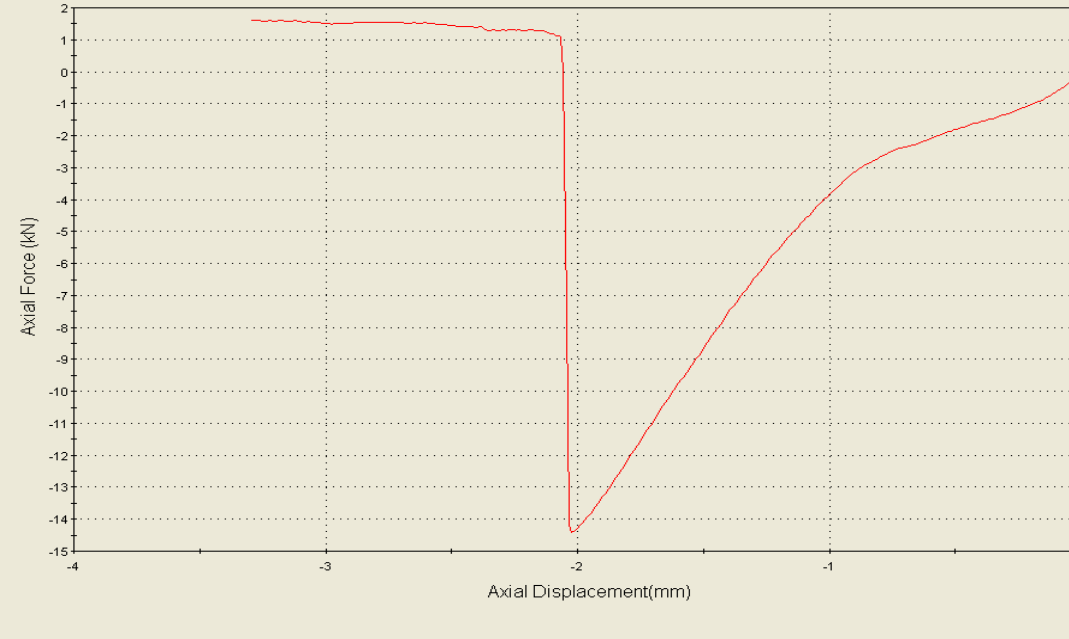


Figura 27. Viga a flexión Z5.



**ANEXO F. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM),
ESPECTROSCOPIA DE DISPERSIÓN DE ENERGÍA DE RAYOS X (EDS)**

Figura 28. Análisis EDS en el mortero para muestra CZ1C.

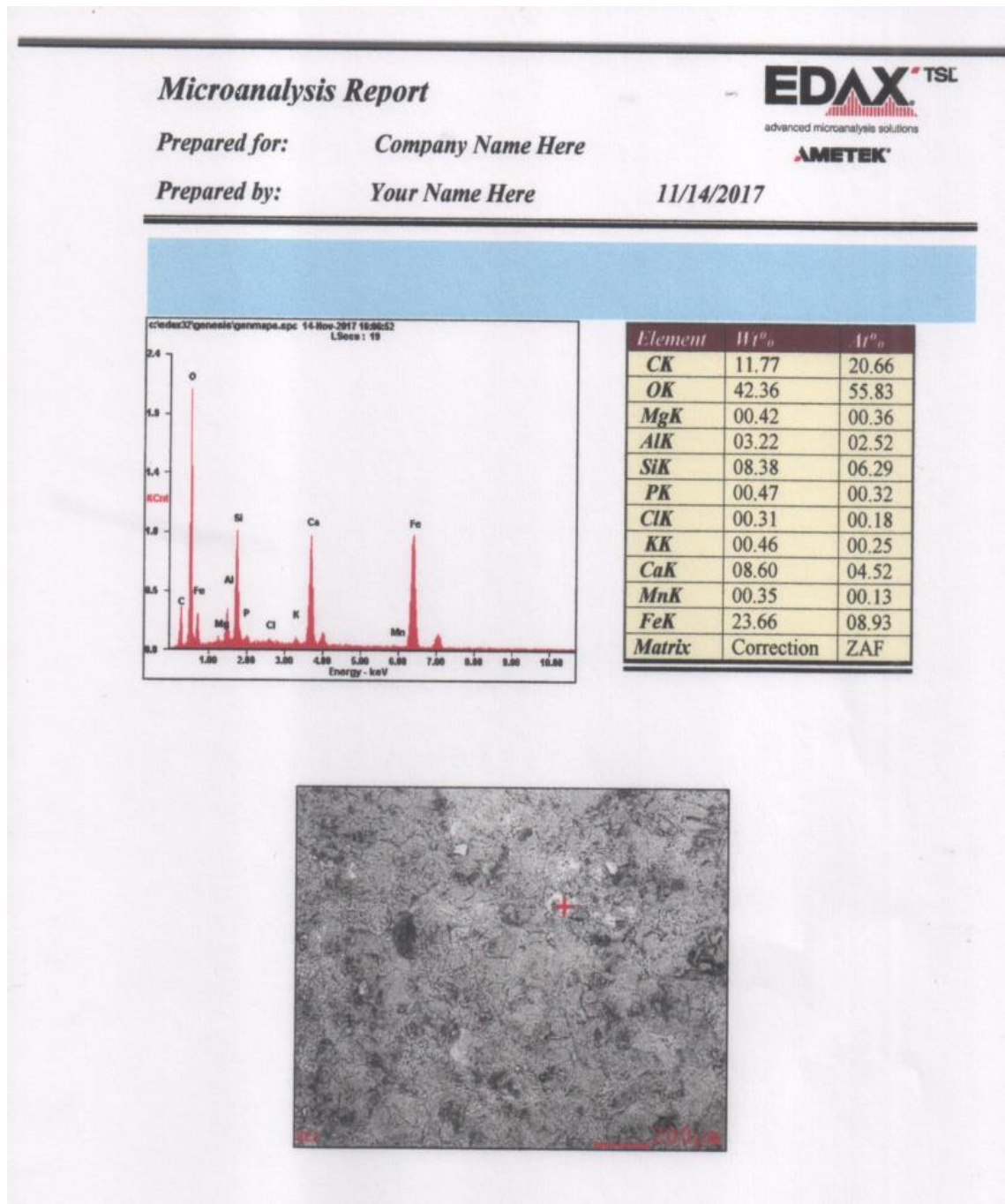


Figura 29. Análisis EDS en el agregado para muestra CZ1C

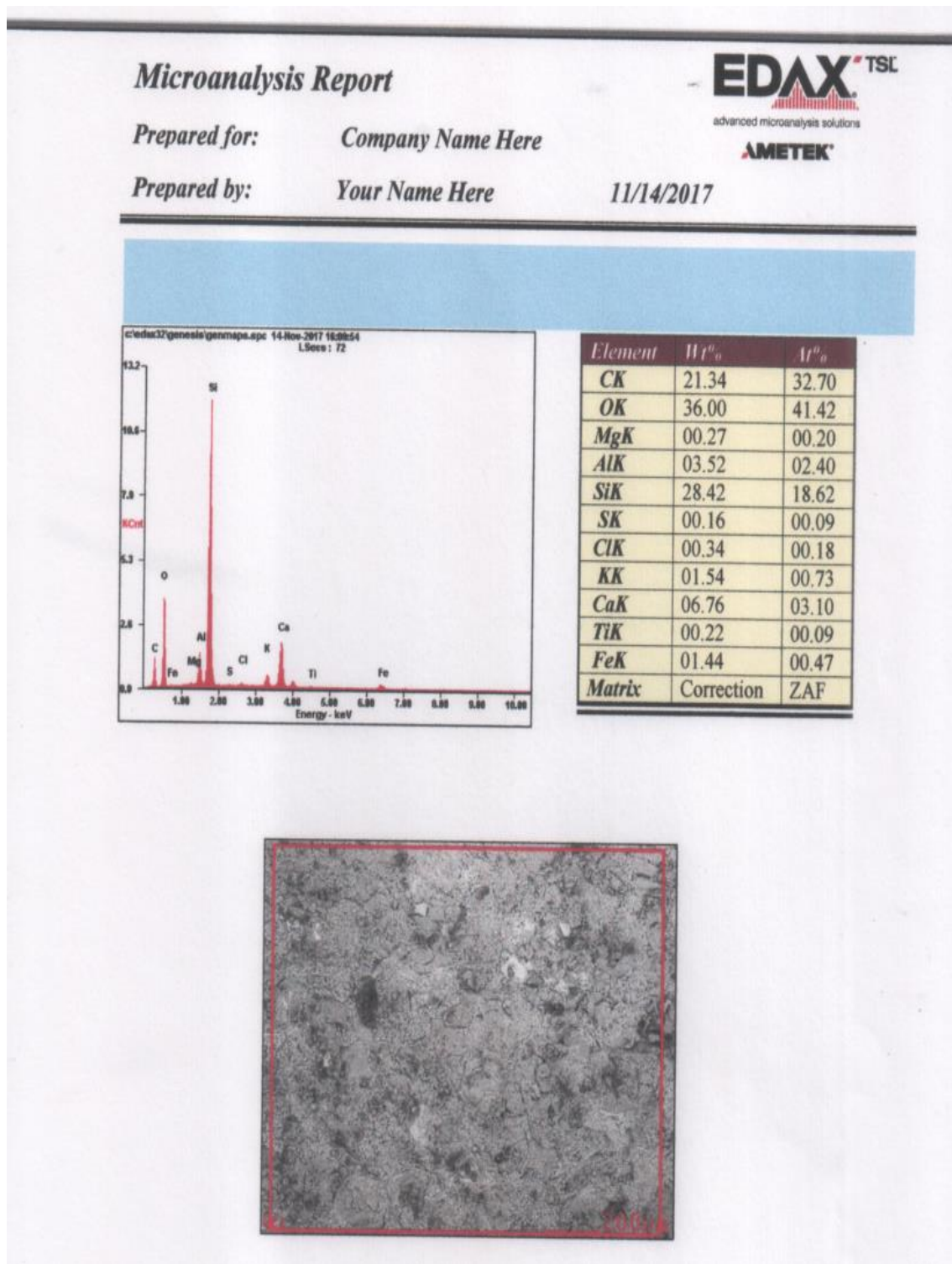


Figura 30. Análisis EDS en el mortero para muestra CZ3C.

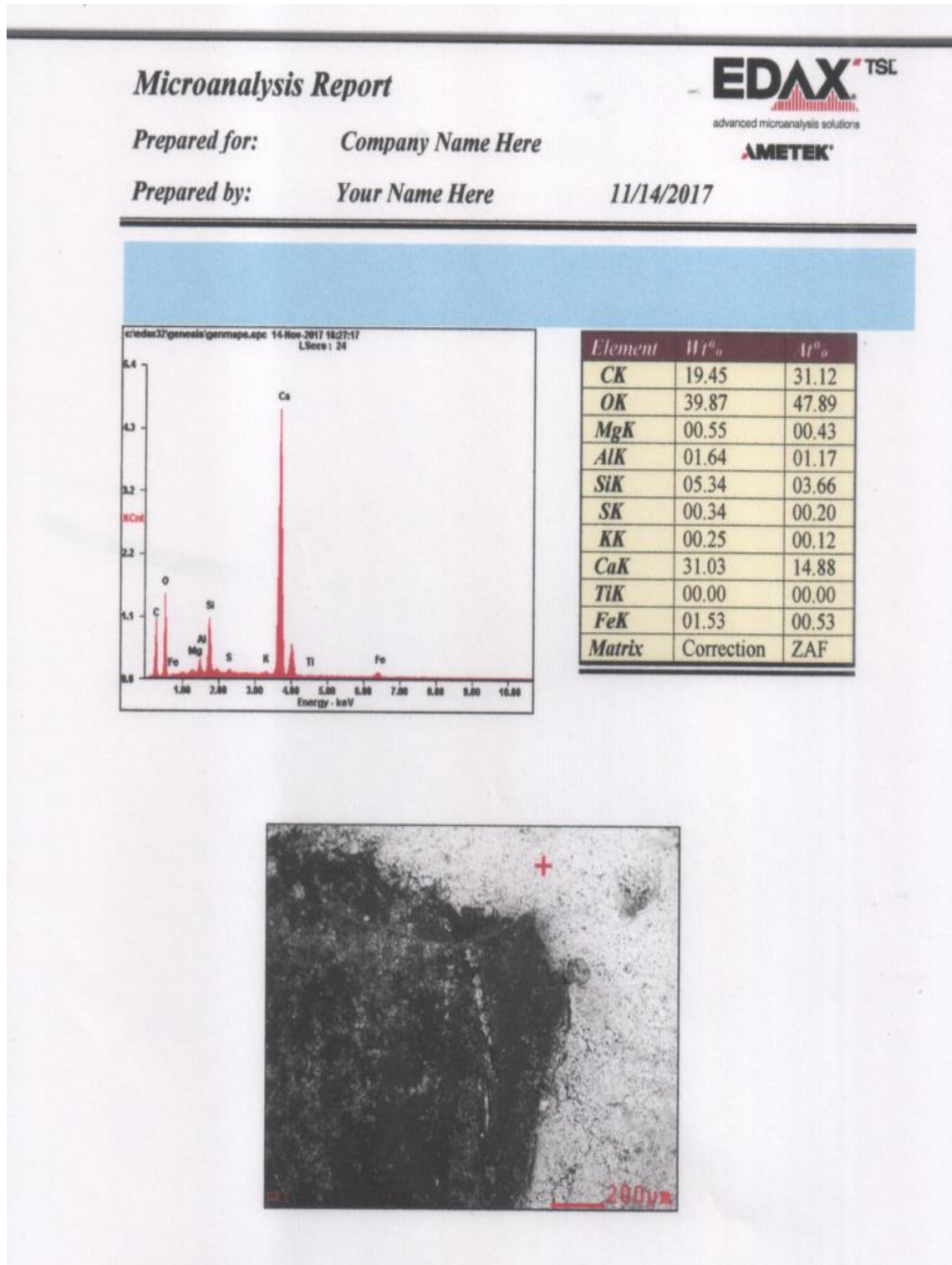


Figura 31. Análisis EDS en el agregado para muestra CZ3C.

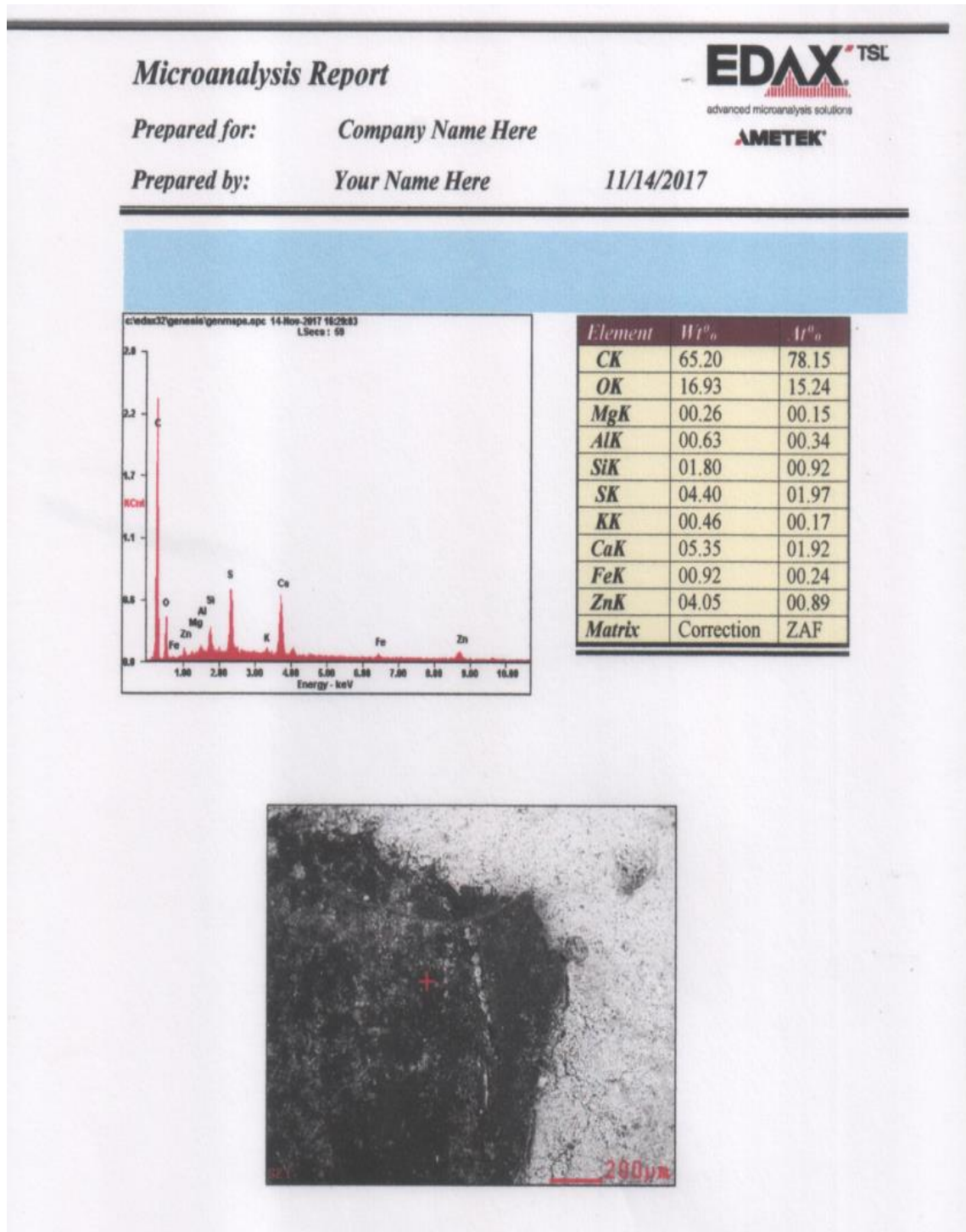


Figura 32. Análisis EDS en el mortero para muestra CZ4C.

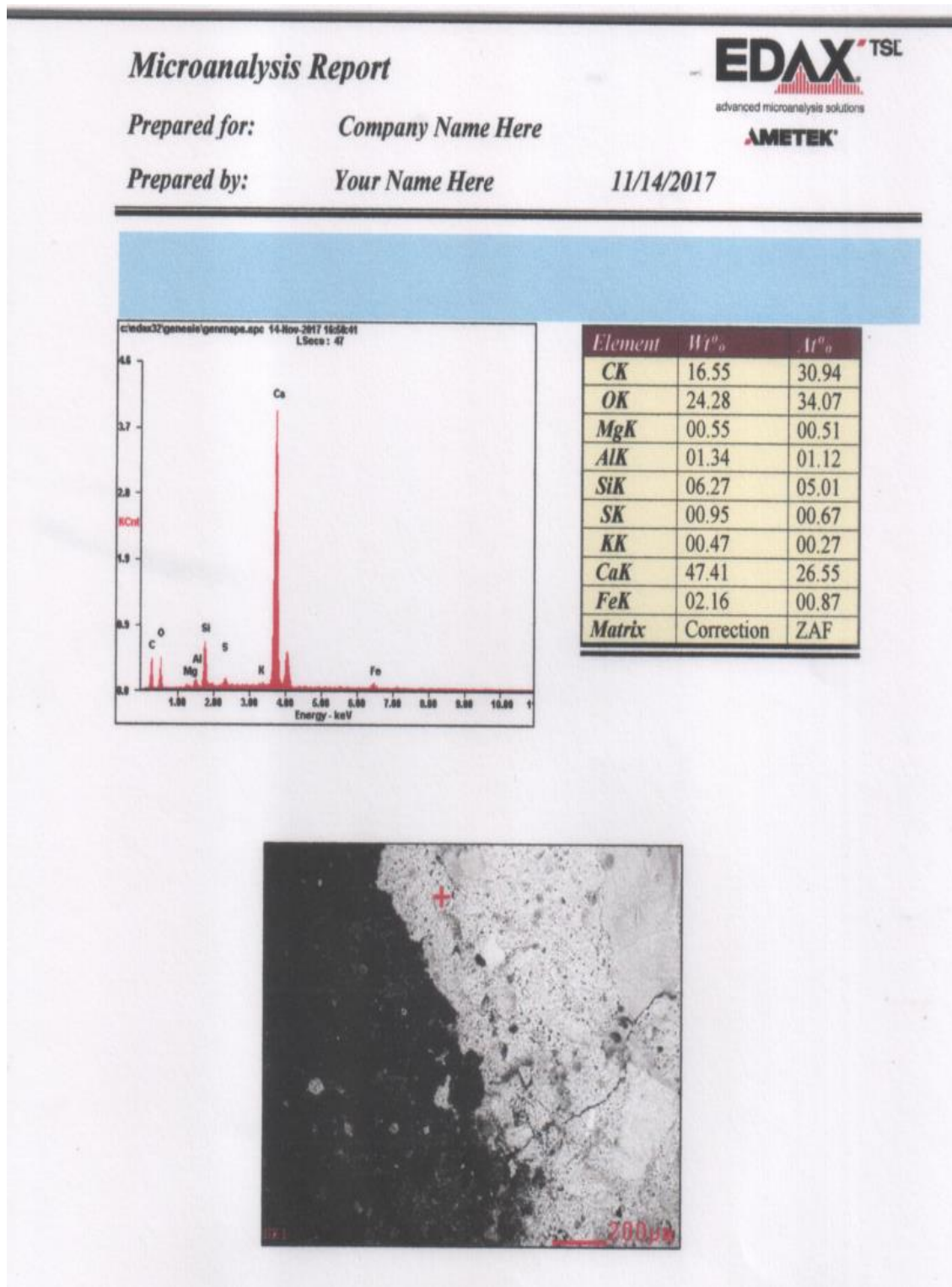


Figura 33. Análisis EDS en el agregado para muestra CZ4C.

