

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS LADRILLOS NO CONVENCIONALES SEGÚN
LA NORMA NTC 4026, CONSTRUIDOS A PARTIR DE CONCRETO Y
NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU)

BRANKO STEVEN GÓMEZ RIVAS

1088320135

JUAN MATEO GARCÍA ESCOBAR

1113664964

DIRECTORA DEL PROYECTO:

M.Sc. NATALIA CORTÉS URREGO

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

PEREIRA, RISARALDA

2019

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS LADRILLOS NO CONVENCIONALES SEGÚN
LA NORMA NTC 4026, CONSTRUIDOS A PARTIR DE CONCRETO Y
NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU)

BRANKO STEVEN GÓMEZ RIVAS

1088320135

JUAN MATEO GARCÍA ESCOBAR

1113664964

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

PEREIRA, RISARALDA

2019

TABLA DE CONTENIDO

1	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	10
1.1	CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES	10
1.1.1	Agregado Fino.....	10
1.1.2	Agregado grueso	11
1.1.3	Neumático triturado.....	11
1.1.4	Cemento	13
1.1.5	Agua de mezcla.....	13
1.2	FORMA Y DIMENSIONES.....	13
1.3	METODOLOGÍA DE FABRICACIÓN DE BLOQUES	15
1.3.1	Tratamiento del neumático triturado	15
1.3.2	Mezcla	16
1.3.3	Moldes.....	16
1.3.4	Elaboración.....	17
1.3.5	Fraguado.....	18
1.3.6	Curado	18
1.3.7	Secado	18
2	ENSAYOS	19
2.1	DETERMINACIÓN DE DIMENSIONES	19
2.2	ABSORCIÓN DE AGUA.....	21
2.2.1	Procedimiento.....	21
2.2.2	Resultados obtenidos.....	21
2.3	CÁLCULO DE VOLUMEN.....	22
2.3.1	Volumen bruto (Vb).....	22
2.3.2	Volumen neto (Vn).....	22
2.3.3	Resultados obtenidos.....	23
2.4	CÁLCULO DE DENSIDAD	24
2.5	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	24
2.5.1	Especificaciones físicas de los especímenes a ensayar	24
2.5.2	Cálculo del área transversal.....	25
2.5.3	Procedimiento.....	26
2.5.4	Cálculo de la resistencia a la compresión.....	28
2.5.5	Resultados	29

3	ANÁLISIS DE RESULTADOS	30
3.1	REQUISITOS DIMENSIONALES	30
3.1.1	Tolerancias	30
3.2	DENSIDAD	31
3.3	ABSORCIÓN DE AGUA	31
3.4	ACABADO Y APARIENCIA	32
3.5	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	33
3.5.1	Tiempo de carga	33
3.5.2	Diagramas de Esfuerzo – Deformación unitaria	33
3.5.3	Carga máxima	35
3.5.4	Modo de falla	36
4	CONCLUSIONES	39
5	BIBLIOGRAFÍA.....	40
6	ANEXOS.....	42
	ANEXO I: Resultado de medición.....	42
	ANEXO II: Diagramas Esfuerzo - Tiempo	44
	ANEXO III: Diagramas Esfuerzo – Deformación unitaria	48
	ANEXO IV: Documentación fotográfica referente al modo de falla de los especímenes	54

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Rango de valores para el agregado fino.	10
Tabla 2. Granulometría de la arena.	11
Tabla 3. Granulometría del neumático triturado.	12
Tabla 4. Dosificación de los componentes.	16
Tabla 5. Espesor mínimo de las paredes y de los tabiques.....	19
Tabla 6. Absorción de agua.....	21
Tabla 7. Bloques y volúmenes.	23
Tabla 8. Densidad.....	24
Tabla 9. Área neta de trozo de unida.....	26
Tabla 10. Ensayo de compresión.....	29
Tabla 11. Requisitos de resistencia a la compresión, absorción de agua y clasificación de peso.	30
Tabla 12. Clasificación y densidades de los bloques.	31
Tabla 13. Absorción de agua en bloques, absorción de agua promedio y máximo permitido.	32
Tabla 14. Cargas y tiempos en ensayo de compresión.....	33
Tabla 15. Esfuerzo y deformación unitaria en el límite elástico y límite de resistencia.	35
Tabla 16. Resistencia y resistencia promedio obtenidas en los bloques.	35
Tabla 17. Bloques y espesores de pared.....	42
Tabla 18. Bloques y espesores de tabiques.	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tamices utilizados para la determinación granulométrica.....	10
Figura 2. Cantidad de neumático retenida en cada tamiz.....	12
Figura 3. Cemento hidráulico utilizado en la mezcla.....	13
Figura 4. Tipos de unidades perforadas verticalmente (bloques).....	14
Figura 5. Partes de una unidad de mampostería de concreto.....	14
Figura 6. Partes de un bloque de concreto.....	15
Figura 7. Mezcladora para fabricación de bloques.....	16
Figura 8. Moldes para la fabricación de los bloques.....	17
Figura 9. Máquina bloquera y desmolde de un bloque terminado.....	17
Figura 10. Bloques acomodados en estibas.....	18
Figura 11. Denominación del bloque sin división.....	19
Figura 12. Denominación del bloque con división.....	20
Figura 13. Volumen bruto de un bloque perforado verticalmente.....	22
Figura 14. Volumen neto de un bloque perforado verticalmente.....	23
Figura 15. Reducción de unidades perforadas.....	25
Figura 16. Máquina Universal de Ensayos y sus aditamentos para compresión.....	27
Figura 17. Equipo utilizado para el ensayo a compresión.....	27
Figura 18. Posición del espécimen en la máquina.....	28
Figura 19. Modo de falla cono y corte.....	36
Figura 20. Modo de falla cono y fractura.....	37
Figura 21. Modo de falla rotura por cortante.....	37
Figura 22. Modo de falla cónica.....	37
Figura 23. Modo de falla semi-cónica.....	38
Figura 24. Fotografías del modo de falla concerniente a los especímenes de la mezcla 1.....	54
Figura 25. Fotografías del modo de falla concerniente a los especímenes de la mezcla 2.....	55
Figura 26. Fotografías del modo de falla concerniente a los especímenes de la mezcla 3.....	56

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Curva granulométrica de la arena.....	11
Gráfica 2. Curva granulométrica del neumático triturado.....	12
Gráfica 3. Diagrama Esfuerzo - Tiempo para el bloque 11.....	44
Gráfica 4. Diagrama Esfuerzo - Tiempo para el bloque 12.....	44
Gráfica 5. Diagrama Esfuerzo - Tiempo para el bloque 13.....	44
Gráfica 6. Diagrama Esfuerzo - Tiempo para el bloque 14.....	45
Gráfica 7. Diagrama Esfuerzo - Tiempo para el bloque 21.....	45
Gráfica 8. Diagrama Esfuerzo - Tiempo para el bloque 22.....	45
Gráfica 9. Diagrama Esfuerzo - Tiempo para el bloque 23.....	46
Gráfica 10. Diagrama Esfuerzo - Tiempo para el bloque 24.....	46
Gráfica 11. Diagrama Esfuerzo - Tiempo para el bloque 31.....	46
Gráfica 12. Diagrama Esfuerzo - Tiempo para el bloque 32.....	47
Gráfica 13. Diagrama Esfuerzo - Tiempo para el bloque 33.....	47
Gráfica 14. Diagrama Esfuerzo - Tiempo para el bloque 34.....	47
Gráfica 15. Diagrama Esfuerzo – Deformación unitaria para el bloque 11.	48
Gráfica 16. Diagrama Esfuerzo – Deformación unitaria para el bloque 12.	48
Gráfica 17. Diagrama Esfuerzo – Deformación unitaria para el bloque 13.	49
Gráfica 18. Diagrama Esfuerzo – Deformación unitaria para el bloque 14.	49
Gráfica 19. Diagrama Esfuerzo – Deformación unitaria para el bloque 21.	50
Gráfica 20. Diagrama Esfuerzo – Deformación unitaria para el bloque 22.	50
Gráfica 21. Diagrama Esfuerzo – Deformación unitaria para el bloque 23.	51
Gráfica 22. Diagrama Esfuerzo – Deformación unitaria para el bloque 24.	51
Gráfica 23. Diagrama Esfuerzo – Deformación unitaria para el bloque 31.	52
Gráfica 24. Diagrama Esfuerzo – Deformación unitaria para el bloque 32.	52
Gráfica 25. Diagrama Esfuerzo – Deformación unitaria para el bloque 33.	53
Gráfica 26. Diagrama Esfuerzo – Deformación unitaria para el bloque 34.	53

INTRODUCCIÓN

Los neumáticos han tomado un papel bastante importante en la actualidad, debido a la necesidad de la sociedad por el uso de automóviles, por lo que el crecimiento de la producción de neumáticos se ha incrementado conforme aumenta el número de vehículos en la calle. Según la revista Dinero “Colombia cuenta con un espacio amplio para la penetración del sector automotor. El parque automotor en Colombia se ubica en 3,7 millones de automóviles y 6,8 millones, si incluimos motocicletas, lo cual implica un promedio de 80 unidades por cada mil habitantes ó 148 si se incluyen las motos [...] el análisis hecho por BBVA Research Colombia va incrementar su parque automotor en 3.5 millones de vehículos entre 2010 y 2020, lo cual implica duplicar su stock actual y crecer a una tasa promedio anual de 7.9%.” [1]

Aunque no se puede definir con exactitud la vida de los neumáticos, debido a que esta depende del uso, las condiciones climáticas y el estado de las vías. Empresas como Pirelli o Bridgestone recomiendan una vida útil de 5 años, a partir de la fecha de fabricación. Si solo contamos con los 3.7 millones de automóviles y hacemos la asunción de que en 5 años todos habrán cambiado neumáticos obtenemos un total de 14.8 millones de neumáticos fuera de uso.

En la actualidad ya se ve un problema por la cantidad de neumáticos desechados, “al año se desechan 2.5 millones de neumáticos, de los cuales 750.000 se dejan en cualquier lado” [2]. Si se tiene en cuenta que en Colombia solo hay 4 plantas de trituración, y que la recolecta de los neumáticos no se realiza en todas las ciudades del país obteniendo números exorbitantes de neumáticos desechados que van a parar a los vertederos o en la peor de las situaciones en calles y parque de las ciudades, con los problemas que esto conlleva. Por su geometría las llantas son susceptibles a llenarse de agua lo cual potencializa el criadero de mosquitos, los cuales ocasionan problemas en la salud pública, transmitiendo enfermedades como dengue, zika y Chikunguña.

En el ámbito del reciclaje de llantas, existe problema para reutilizarlas debido a que están hechas de cauchos naturales y sintéticos los cuales son elastómeros sometidos a vulcanización para darle sus propiedades características. Este proceso de vulcanización los convierte en elastómeros termoestables donde los elementos adicionados al caucho forman puentes que unen todas las cadenas poliméricas del caucho y debido a este entrecruzamiento las cadenas poliméricas no pueden deslizarse una respecto de la otra, lo que hace que no se puedan derretir al aplicarles calor y cuando se les aplica demasiado pasan a un estado gaseoso antes de derretirse y por ello no son moldeables nuevamente [3]. Para reciclar llantas existen dos tipos de métodos; métodos mediante aplicación de calor como son: termólisis, pirólisis e incineración, y métodos físicos tales como trituración criogénica y trituración mecánica.

El método de trituración mecánica es el método que más se está impulsando debido a que no es tan costoso y tiene bajo impacto ambiental. En Colombia varias instituciones están adelantando campañas de recolección de llantas usadas o desgastadas para que se le dé una correcta disposición fina, una de estas es Rueda Verde “...en la actualidad su labor se adelanta en 20 de los 32 departamentos de Colombia con la colocación de 177 puntos de recolección de llantas y un balance de más de 6’500.000 llantas recogidas en los últimos cuatro años...”[4] Estas labores permiten que se aumenten tanto la conciencia como la cantidad de empresas en que hacen productos a partir del caucho triturado.

Para el reaprovechamiento de llantas en bloques de mampostería (según la norma NTC 4383 define una unidad de mampostería como “Elemento que, en conjunto, se utiliza para elaborar una mampostería. Puede ser de diversos materiales: piedra, barro, arcilla cocida, concreto, vidrio, etc. Por lo general tiene forma de prisma rectangular.”[5]), y su uso también en pavimentos, se incorpora a estos casi siempre reemplazando una parte de algún componente. Dependiendo de las propiedades tanto físicas como mecánicas que se deseen obtener en el asfalto o concreto.

En la construcción de obras civiles y comerciales se usa suficientemente en muros y paredes el bloque de concreto. El concreto es una mezcla de cemento, grava, arena, aditivos y agua. Maleable en su forma líquida y de gran resistencia en su estado sólido [6]. Actualmente es el material más usado para la construcción debido a lo económico de sus componentes, a su duración a través del tiempo además como se menciona anteriormente, en forma líquida es muy versátil. El concreto, al ser una es una mezcla de elementos estos intervienen de forma directa en sus propiedades, en seguida se describirán los componentes que hacen parte de este.

El cemento es el principal componente en la mezcla del concreto “es un material que acciona con el agua y que actúa como aglutinante presentando propiedades de adherencia y cohesión.” [7], estas propiedades es lo que lo convierte en el primordial integrante del concreto y es responsable de su adaptabilidad.

Los agregados, son materiales granulares e inertes, de origen natural o por un proceso de trituración a partir de rocas. Constituyen entre el 65% y el 85% del volumen total del Concreto; además, constituyen aproximadamente el 95% de las mezclas asfálticas [8]. Los agregados se clasifican en dos grupos: agregado fino y grueso, los cuales están dados por el tamaño de partícula, según la Norma Técnica NTC 174 “el agregado fino debe estar compuesto de arena natural, arena triturada o una combinación de estas... El agregado grueso debe estar compuesto de grava, grava triturada, roca triturada, escoria de alto horno enfriada al aire, o concreto triturado fabricado con cemento hidráulico o una combinación de ellos, conforme a los requisitos de esta norma.” [9].

1 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

1.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

Para la construcción de los bloques de concreto se utilizaron materiales cementantes y neumático triturado; dentro de los materiales cementantes se encuentran: agregado fino, agregado grueso, cemento y agua de mezcla. A continuación, se presenta la información técnica de los materiales cementantes y el neumático triturado utilizado en la construcción de los bloques de concreto.

1.1.1 Agregado Fino

El agregado fino utilizado en el proceso de fabricación de los bloques es arena; esta cumple con las características tanto generales como granulométricas expuestas en la norma NTC174 [9]. La determinación granulométrica de la arena se presenta en la Tabla 2 y la Gráfica 1.

Tabla 1. Rango de valores para el agregado fino.

Tamiz NTC 32 (ASTM E 11)	Porcentaje que pasa
9,50 mm	100
4,75 mm	95 a 100
2,36 mm	80 a 100
1,18 mm	50 a 85
600 μm	25 a 60
300 μm	10 a 30
150 μm	2 a 10

Fuente: NTC 174[9].

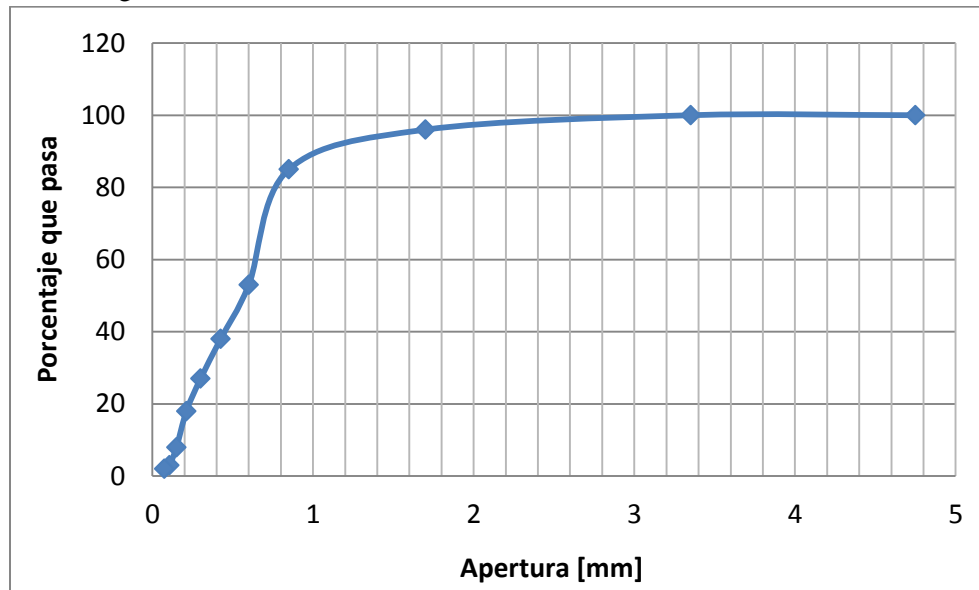
Figura 1. Tamices utilizados para la determinación granulométrica.



Tabla 2. Granulometría de la arena.

Malla	Apertura [mm]	Porcentaje que pasa
No. 4	4,750	100
No. 6	3,350	100
No. 12	1,700	96
No. 20	0,850	85
No. 30	0,600	53
No. 40	0,425	38
No. 50	0,300	27
No. 70	0,212	18
No.100	0,150	8
No.140	0,106	3
No.200	0,075	2

Gráfica 1. Curva granulométrica de la arena.



1.1.2 Agregado grueso

El agregado grueso utilizado en la elaboración de los bloques de concreto fue el arenón. Este agregado es una arena gruesa proveniente de la trituración de roca de cantera y cumple con lo estipulado en la norma NTC 174 [9].

1.1.3 Neumático triturado

El neumático triturado utilizado en la fabricación de los bloques de concreto es adquirido a través de la empresa CORPAUL que cuenta con una planta de reciclaje y aprovechamiento de neumáticos fuera de uso, ubicada en Yumbo – Valle del Cauca. La determinación granulométrica del neumático triturado se presenta en la Tabla 3 y la Gráfica 2.

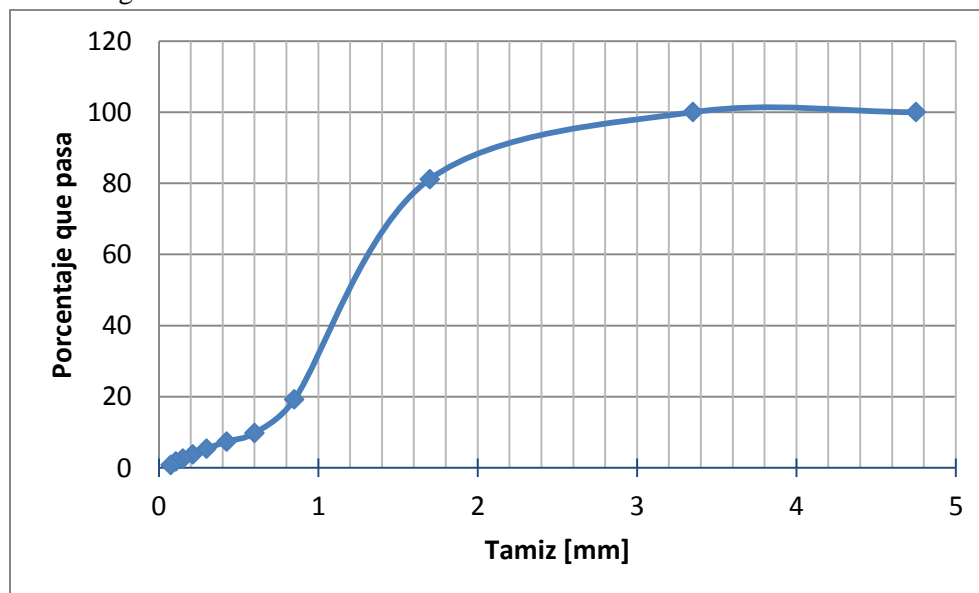
Figura 2. Cantidad de neumático retenida en cada tamiz.



Tabla 3. Granulometría del neumático triturado.

Malla	Apertura [mm]	Porcentaje que pasa
No. 4	4,750	100
No. 6	3,350	100
No. 12	1,700	81
No. 20	0,850	19
No. 30	0,600	10
No. 40	0,425	7
No. 50	0,300	5
No. 70	0,212	4
No.100	0,150	3
No.140	0,106	2
No.200	0,075	1

Gráfica 2. Curva granulométrica del neumático triturado.



Nota 1: la determinación granulométrica fue realizada en el laboratorio de metalografía presente en la Universidad Tecnológica de Pereira. Los tamices utilizados (ver Figura 1) hacen parte del equipo de este laboratorio.

1.1.4 Cemento

Se utilizó para la fabricación de los bloques de concreto cemento de la marca San Marcos, tipo hidráulico de uso estructural tipo ART (alta resistencia temprana). Este tipo de cemento es usado para la fabricación de elementos prefabricados ya que permite alta resistencia inicial, esta cualidad permite que los bloques sean desmoldados fácilmente. Este cemento cumple la norma NTC 121 del 2014 [10].

Figura 3. Cemento hidráulico utilizado en la mezcla.



1.1.5 Agua de mezcla

El agua utilizada en la fabricación de los bloques fue agua potable de la red de Pereira. Según su informe mensual de la calidad de agua dado por aguas y aguas [11], esta cumple con las especificaciones para la elaboración de concreto dichas en la norma NTC 3459.

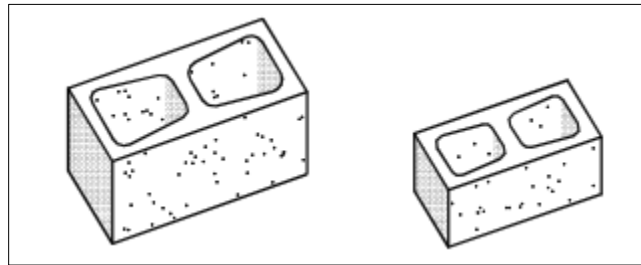
1.2 FORMA Y DIMENSIONES

La forma que debe tener el bloque de concreto es prismática y rectangular. El bloque deberá ser una unidad perforada verticalmente, esta tendrá dos perforaciones en ese sentido (en la dirección de su altura), el volumen de estas cavidades unidas supera al de la unidad en un 25% [5].

Hay tres clases de dimensiones para un bloque de concreto las cuales son:

- Dimensiones estándar
- Dimensiones nominales
- Dimensiones reales

Figura 4. Tipos de unidades perforadas verticalmente (bloques).



Fuente: NTC 4383 [5]

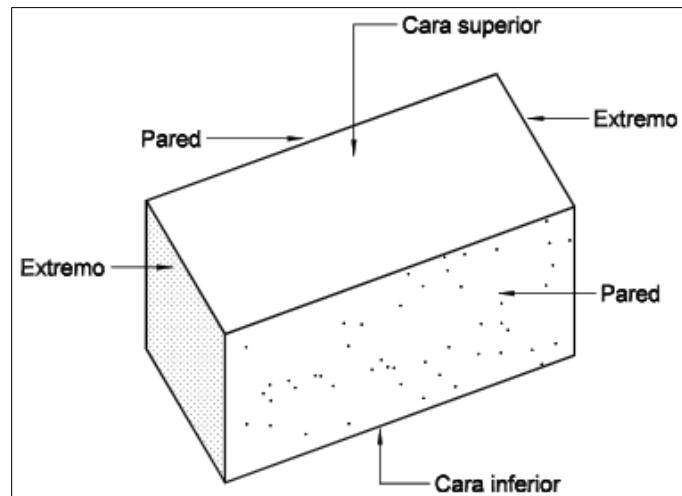
Las dimensiones estándar son las que especifican en el catálogo que provee el fabricante [5]. Estas sirven como referencia para contrastar las medidas reales del bloque y saber la carencia o exceso de material en el bloque final.

Las dimensiones nominales son la suma de las dimensiones estándar más el espesor de una junta de pega o mortero que por lo general es de 1 cm [5].

Las dimensiones reales son las dimensiones que se toman directamente del bloque cuando está terminado y con estas se verifican las dimensiones estándar [5].

Afín de dar un sentido, las unidades de mampostería usan una determinada designación para cada cara.

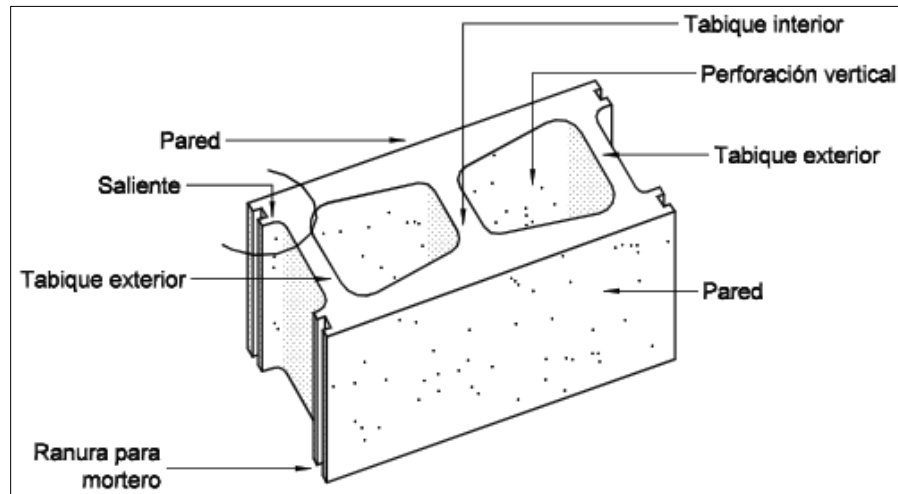
Figura 5. Partes de una unidad de mampostería de concreto.



Fuente: NTC 4383 [5]

Los bloques de concreto también cuentan con unos determinados términos para la correcta designación y comprensión de los fragmentos que se estén mencionando. La Figura 6 muestra el bloque y cada una de sus partes con sus respectivos nombres.

Figura 6. Partes de un bloque de concreto.



Fuente: NTC 4383 [5].

Existen tres dimensiones estándar que son las más usadas al momento de elaborar bloques de concreto, estas medidas son: 10 cm x 20 cm x 40 cm, 15 cm x 20 cm x 40 cm y 20 cm x 20 cm x 40 cm. En las dimensiones del bloque lo único que cambia es la distancia entre paredes, debido a que la única dimensión que varía es el espesor.

La dimensión elegida para la elaboración de los bloques de concreto fue 10 cm x 20 cm x 40 cm, las razones de esta elección son las siguientes:

- Al ser de menor tamaño consumirá menos cantidad de materiales para su realización.
- Ocupará menor espacio de almacenamiento.
- Tendrá menor área transversal, lo que facilita la instalación en la maquina a la hora del ensayo de compresión.

1.3 METODOLOGÍA DE FABRICACIÓN DE BLOQUES

La elaboración de los bloques fue realizada en una empresa dedicada a la fabricación de unidades de concreto para mampostería en el corregimiento de Tribunas ubicado en el sur oriente de Pereira.

1.3.1 Tratamiento del neumático triturado

El neumático triturado, cuenta con una serie de impurezas que vienen desde el periodo de fabricación o almacenamiento en el lugar donde fue adquirido. Para mejorar la adherencia de este al concreto y por tanto aumentar la resistencia de la mezcla, se recomienda que las partículas sean tratadas para aumentar su rugosidad antes de ser adicionadas. Los tratamientos previos que se pueden hacer van desde el lavado de la partícula hasta tratamientos con ácidos [12]. El lavado de agua es el tratamiento más fácil de realizar ya que menos cuidados se deben tener, es el más amigable con el ambiente y la obtención del agua es sencilla, por estos motivos se eligió este método como procedimiento para eliminar las impurezas.

1.3.2 Mezcla

Se elaboraron tres tipos de mezcla para la realización de los bloques, la cantidad de cada material se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Dosificación de los componentes.

Mezcla	Arenón [kg]	Arena [kg]	Cemento [kg]	Neumático triturado [kg]	Mezcla total [kg]
1	31,5	26,25	12,6	4	74,35
2	42	31,5	11,2	2,5	87,2
3	42	31,5	12,6	0	86,1

Se busca que la cantidad de neumático triturado que llevan las mezclas sea inferior en comparación con los otros agregados para que la resistencia del bloque no se vea muy alterada.

Los materiales se vierten en la máquina mezcladora (ver Figura 7) disponible en la empresa, para obtener una mezcla homogénea y estable; también, se buscaba reducir el tiempo de preparación de la mezcla. Inicialmente se vierte el agua, una vez que la mezcladora esté en funcionamiento se agregan los materiales uno a uno paulatinamente hasta que la mezcla vaya mostrando adherencia, seguidamente se deja agitar durante varios minutos hasta que la composición se vea consistente.

Figura 7. Mezcladora para fabricación de bloques.



1.3.3 Moldes

La dimensión elegida para la elaboración de los bloques de concreto fue 10 cm x 20 cm x 40 cm. Los moldes con los que contaba la empresa no tenían exactamente esta medida, y se optó por un molde de 10 cm x 20 cm x 39,5 cm.

El molde contaba con una capacidad para tres bloques. El primer molde (de abajo hacia arriba) del bloque mostrado en la Figura 8 cuenta con una pequeña placa en el medio, esta placa (no pasante) hace que el tabique central cuente con una pequeña ranura que permite que el bloque pueda ser dividido por la mitad. El tabique resultante es más grueso que en los otros dos bloques y se denominará como si fueran tabiques diferentes porque si fuese dividido el bloque, estos deben cumplir igualmente la norma.

Figura 8. Moldes para la fabricación de los bloques.



1.3.4 Elaboración

En la empresa se contaba con un equipo vibro-compactador, comúnmente conocido como máquina bloquera (ver Figura 9). Este equipo somete el concreto a vibración mientras compacta el bloque, durante este proceso se va asentando uniformemente la mezcla y el aire atrapado va saliendo de esta. El vibrocompactado permite que la mezcla obtenga una correcta hidratación ya que el agua de exceso se evapora en el proceso. También aumenta la resistencia mecánica del concreto y facilita el desmolde.

El vertido de la mezcla a los moldes se realiza mediante un balde de albañilería. El desmoldado se efectúa inmediatamente después de realizado el bloque.

Figura 9. Máquina bloquera y desmolde de un bloque terminado.



1.3.5 Fraguado

El fraguado es el proceso que consiste en un desarrollo gradual de la rigidez de una mezcla cementosa; se debe a reacciones químicas y ocurre después de la adición del agua de mezclado [13].

Una vez fabricados los bloques, éstos se situaron en un lugar cubierto dentro de la empresa, donde no había incidencia del sol ni de vientos, con la finalidad de poder desarrollar rigidez sin secarse. El periodo de fraguado fue de un día, luego de ese tiempo, los bloques fueron retirados de este lugar para comenzar el proceso de curado.

1.3.6 Curado

El curado es el mantenimiento de las condiciones de humedad y temperatura en una mezcla cementosa para permitir el desarrollo de sus propiedades [13].

Para mantener las condiciones de humedad se sumergieron los bloques en una pileta llena de agua saturada con cal, durante un periodo de siete días.

1.3.7 Secado

Una vez terminado el proceso de curado, los bloques se acomodaron en estibas (ver Figura 10) y se ubicaron en la zona de almacenamiento de la empresa. En esta zona los bloques estaban cubiertos de la lluvia, permitiendo que se secaran lentamente durante 28 días.

Figura 10. Bloques acomodados en estibas.



2 ENSAYOS

2.1 DETERMINACIÓN DE DIMENSIONES

Los bloques de concreto perforados verticalmente deben de cumplir con los requisitos mostrados en la Tabla 5.

Cada uno de los espesores mencionados en la Tabla 5 tienen requisitos a cumplir dependiendo del tipo de bloque. Para el espesor de pared se debe cumplir que, el promedio de las mediciones de tres unidades obtenidas en el punto más delgado debe ser mínimo el especificado en la Tabla 5. Las mediciones para el espesor de tabique deben realizarse de manera análoga al espesor de pared.

En la Figura 11 se representa el bloque sin división en el medio y como se designaron sus partes, y en la Figura 12 el bloque con la división.

Tabla 5. Espesor mínimo de las paredes y de los tabiques.

Esesor nominal de las unidades (en) mm	Esesor de pared (ep) Mínimo, mm	Esesor de tabique (et) Mínimo, mm	Esesor de tabique equivalente (ete) Mínimo, mm/mm
80	20	20	0,150
100	20	20	0,150
120	22	20	0,165
150	25	25	0,188
200	30	25	0,188
250	35	30	0,225
300	40	30	0,225

Fuente: NTC 4026 [14].

Figura 11. Denominación del bloque sin división.

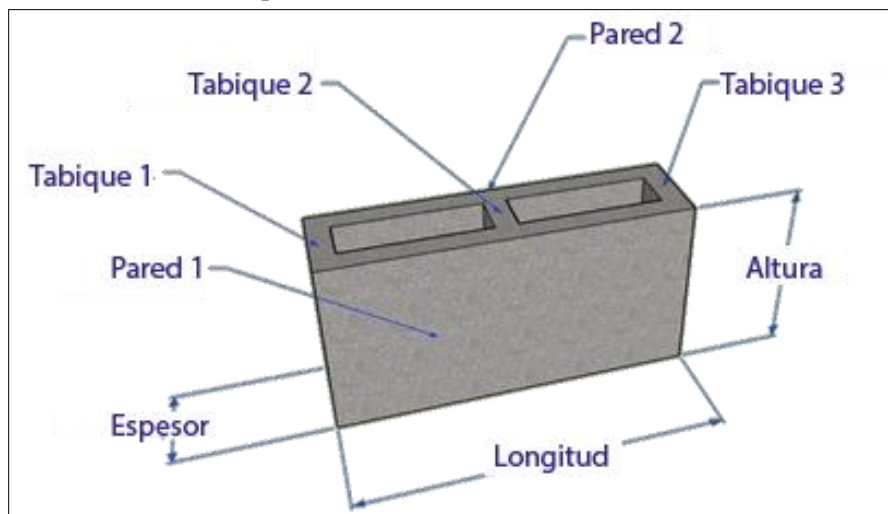
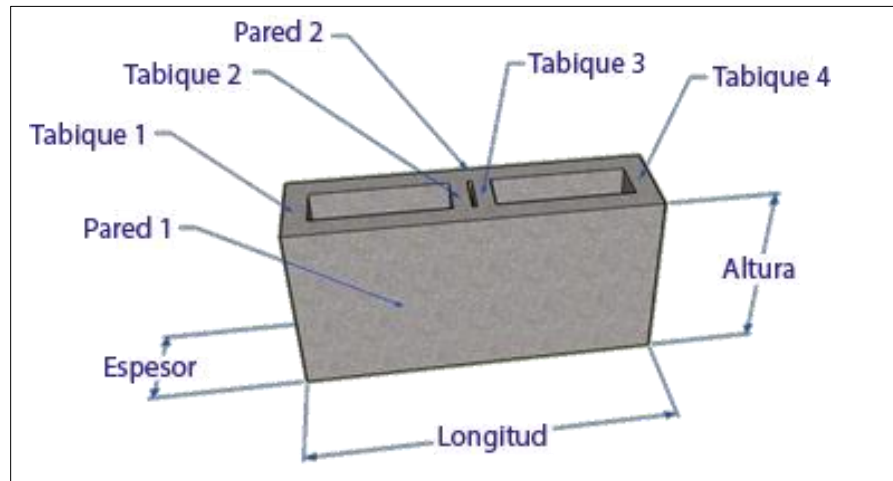


Figura 12. Denominación del bloque con división.



Nota 2: Para el correcto desarrollo de esta investigación y con el fin de identificar los bloques fácilmente se dispuso una nomenclatura de dos dígitos: el primer dígito corresponde al número de la mezcla y el segundo pertenece al número de ejemplar; así, entonces el bloque denominado 24 corresponde a la mezcla 2 y es ejemplar número 4.

Las unidades deben tener unas tolerancias que no sean de más de 2 mm para la longitud, para el espesor y la altura se requiere que no difiera en más de 1% (1 mm para el espesor y 2 mm para la altura).

El espesor de tabique equivalente se calculó con la ecuación 1 [14].

$$ete = \frac{et_1 + et_2 + et_3 + et_4}{l_r} \quad (\text{Ec 1})$$

dónde:

ete: Espesor de tabique equivalente.

et₁: Espesor de tabique 1.

et₂: Espesor de tabique 2.

et₃: Espesor de tabique 3.

et₄: Espesor de tabique 4.

l_r: Longitud real (longitud medida sobre el espécimen).

En el Anexo I se encuentra la Tabla 17 y la Tabla 18, donde están consignadas las medidas de cada bloque.

2.2 ABSORCIÓN DE AGUA

Las unidades hechas de concreto deben contar con una cierta cantidad de agua en el momento de su despacho. Por esta razón se realiza un ensayo para determinar el porcentaje de agua que es capaz de retener.

2.2.1 Procedimiento

Los bloques de concreto se sumergieron en agua a una temperatura ambiente cumpliendo el rango de temperatura de 15.6 a 26.7 ° C dicho en la norma ASTMc 140 [15]. Las muestras se mantuvieron en el agua 24h con una separación de 5mm, después se pesaron hasta obtener una masa constante. Este pesaje se registró como W_I (peso sumergido). Posteriormente se sacaron del agua y se dejó drenar el exceso de agua durante 60 s. Luego se secó el agua de la superficie con un paño húmedo, se procedió a tomar su peso y se anotó como W_S (peso saturado). Subsecuentemente se dejaron secar un tiempo mayor a 24h hasta que dos pesajes sucesivos en intervalos de 2h no mostraron una variación mayor al 0.2%. Se apuntó su peso como W_D (peso seco).

El porcentaje de absorción de agua se calculó con la ecuación 2 [15].

$$\% \text{ abs} = \frac{W_s - W_D}{W_D} * 100 \quad (\text{Ec } 2)$$

dónde:

% abs: Absorción de agua en porcentaje.

W_S : Peso saturado del espécimen después de la inmersión en agua.

W_D : Peso seco del espécimen.

2.2.2 Resultados obtenidos

El resultado final de absorción de agua para los bloques se consignó en la Tabla 6.

Tabla 6. Absorción de agua.

Bloque	Peso seco [g]	Peso saturado [g]	Peso sumergido [g]	% abs
11	8365	9205	4860	10,0
12	8200	8955	4667	9,2
13	8790	9490	4886	8,0
14	8795	9550	5176	8,6
21	8410	9135	4818	8,6
22	8000	8760	4559	9,5
23	8850	9535	5046	7,7
24	8840	9540	4993	7,9
31	10320	10860	6428	5,2
32	9550	10130	5554	6,1
33	9670	10235	5947	5,8
34	9960	10560	6128	6,0

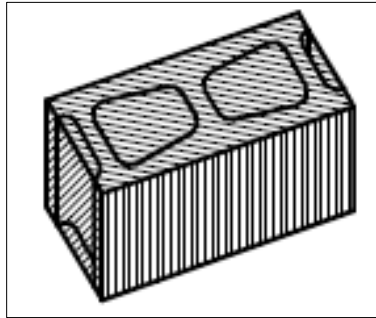
2.3 CÁLCULO DE VOLUMEN

Después de determinar el porcentaje de absorción de agua, se pueden calcular el volumen de cada bloque. Un método para el cálculo de esto es por medio de los pesos obtenidos en el ensayo anterior.

2.3.1 Volumen bruto (V_b)

El volumen bruto es el volumen resultante de multiplicar las dimensiones reales del bloque [5]. En la Figura 13 se exhibe el volumen bruto de un bloque.

Figura 13. Volumen bruto de un bloque perforado verticalmente.



Fuente: NTC 4383 [5].

El volumen bruto se calculó con la ecuación 3.

$$V_b = a_r * l_r * e_r \quad (\text{Ec 3})$$

dónde:

V_b : Volumen bruto, en cm^3 .

a_r : Altura real (altura medida sobre el espécimen), en cm.

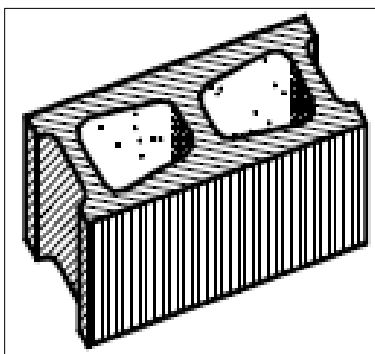
l_r : Longitud real (longitud medida sobre el espécimen), en cm.

e_r : Espesor real (espesor medido sobre el espécimen), en cm.

2.3.2 Volumen neto (V_n)

Es el volumen ocupado sólo por la parte maciza de una unidad [5]. En la Figura 14, se muestra el volumen neto y se expone la diferencia entre este volumen y el bruto.

Figura 14. Volumen neto de un bloque perforado verticalmente.



Fuente: NTC 4383 [14].

El volumen neto se calculó con la ecuación 4 [15].

$$V_n = W_S - W_I \quad (\text{Ec 4})$$

dónde:

V_n : Volumen neto, en cm^3 .

W_S : Peso saturado del espécimen después de la inmersión en agua, en g.

W_I : Peso sumergido en agua del espécimen, en g.

2.3.3 Resultados obtenidos

Los cálculos finales de los volúmenes para los bloques se consignaron en la Tabla 7.

Tabla 7. Bloques y volúmenes.

Bloque	Volumen neto [cm^3]	Volumen bruto [cm^3]
11	4345	7900,0
12	4288	7801,2
13	4604	8058,8
14	4317	7880,0
21	4374	8058,8
22	4201	7801,2
23	4489	8058,8
24	4547	7939,5
31	4432	7880,0
32	4576	7801,2
33	4288	8058,8
34	4432	7939,5

2.4 CÁLCULO DE DENSIDAD

La densidad del espécimen seco se calcula con la ecuación 5 [16].

$$D = \left(\frac{W_D}{W_S - W_I} \right) * 1000 \quad (\text{Ec 5})$$

dónde:

D : Densidad, en kg/m^3 .

W_D : Peso seco del espécimen, en kg.

W_S : Peso saturado del espécimen después de la inmersión en agua, en kg.

W_I : Peso sumergido en agua del espécimen, en kg.

Tabla 8. Densidad.

Bloque	Peso seco [kg]	Peso saturado [kg]	Peso sumergido [kg]	Densidad [kg/m^3]
11	8,365	9,205	4,860	1925
12	8,200	8,955	4,667	1912
13	8,790	9,490	4,886	1909
14	8,410	9,135	4,818	1948
21	8,795	9,550	5,176	2011
22	8,000	8,760	4,559	1904
23	8,850	9,535	5,046	1971
24	8,840	9,540	4,993	1944
31	10,320	10,860	6,428	2329
32	9,550	10,130	5,554	2087
33	9,670	10,235	5,947	2255
34	9,960	10,560	6,128	2247

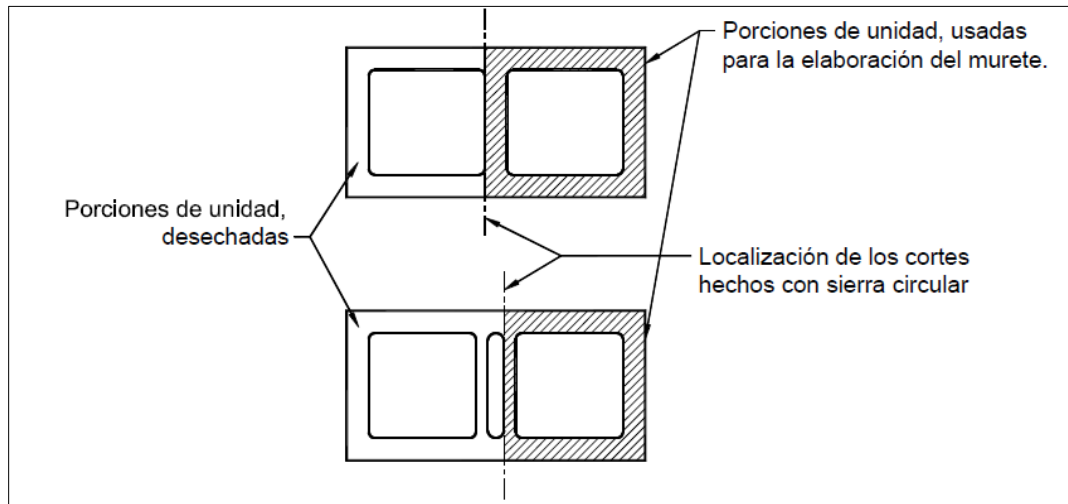
2.5 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Para la determinación de la resistencia a la compresión de los bloques se empleó como guía la norma técnica colombiana 3495 [17].

2.5.1 Especificaciones físicas de los especímenes a ensayar

Como los especímenes completos, para el ensayo de compresión, son demasiado grandes para los bloques y las placas de soporte de la máquina de ensayo, se redujo la longitud de las unidades. La longitud de los especímenes fue reducida por corte, mediante una pulidora con un disco diamantado segmentado especial para concreto. Los bloques fueron cortados de tal manera que quedara al menos, una perforación cerrada completa, con un tabique completo a cada lado (ver Figura 15).

Figura 15. Reducción de unidades perforadas.



Fuente: NTC 3495 [17].

Además de acoplarse bien en la máquina de ensayo, la reducción de longitud proporciona ventajas sobre el espécimen completo como: simplificar su transporte, facilitar su manejo, y reduce el efecto de la deflexión de las placas durante el ensayo.

La resistencia a la compresión del segmento se debe considerar como la resistencia a la compresión del espécimen completo [16].

Nota 3: En la norma NTC 3495 [17] se especifica que para el ensayo de resistencia de compresión se deben construir un conjunto de unidades de mampostería ensambladas (murete) para evaluar el desempeño estructural tanto de las unidades como del mortero que las une. No obstante, dentro del propósito de esta investigación no se encuentra evaluar las características del mortero, por este motivo los especímenes de este ensayo están compuestos solo por las unidades de mampostería (bloques).

2.5.2 Cálculo del área transversal

Como se menciona anteriormente, los especímenes para el ensayo a compresión se han cortado de unidades completas, esta porción se denomina trozo de unidad. El área neta a compresión de los especímenes (trozos de unidad) se calcula con la ecuación 6 [16].

$$A_{nt} = \frac{V_{nt}}{a_{rt}} \quad (\text{Ec } 6)$$

dónde:

A_{nt} : Área neta promedio del trozo de unidad.

V_{nt} : Volumen neto del trozo de unidad.

a_{rt} : Altura real del trozo de unidad.

El volumen neto del trozo de unidad y la altura real del trozo de unidad se calcularon de manera análoga al numeral 2.3. Los resultados son presentados en la Tabla 9.

Tabla 9. Área neta de trozo de unida.

Especimen	Peso seco del trozo de unidad [g]	Peso saturado del trozo de unidad [g]	Peso sumergido del trozo de unidad [g]	Volumen neto del trozo de unidad [cm ³]	Área neta del trozo de unidad [cm ²]
11	4653	5121	2704	2417	121
12	4568	4988	2600	2388	119
13	4450	4804	2473	2331	115
14	4455	4838	2682	2403	120
21	4682	5085	2622	2216	110
22	4438	4860	2529	2331	117
23	4595	4951	2620	2331	115
24	4588	4951	2591	2360	117
31	5093	5360	3173	2187	109
32	5105	5415	2969	2446	122
33	5439	5756	3344	2412	119
34	5756	6103	3542	2561	127

2.5.3 Procedimiento

Los ensayos de compresión se realizaron en el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Universidad Tecnológica de Pereira.

2.5.3.1 Máquina de ensayo

Se empleó la Máquina Universal de Ensayos, marca IBERTEST Modelo UMIB-600-SW, con capacidad de 560 kN, que cumple con los requisitos impuestos por normativa internacional. Los aditamentos de compresión de esta máquina constan de un bloque superior e inferior de transferencia de carga (ver Figura 16).

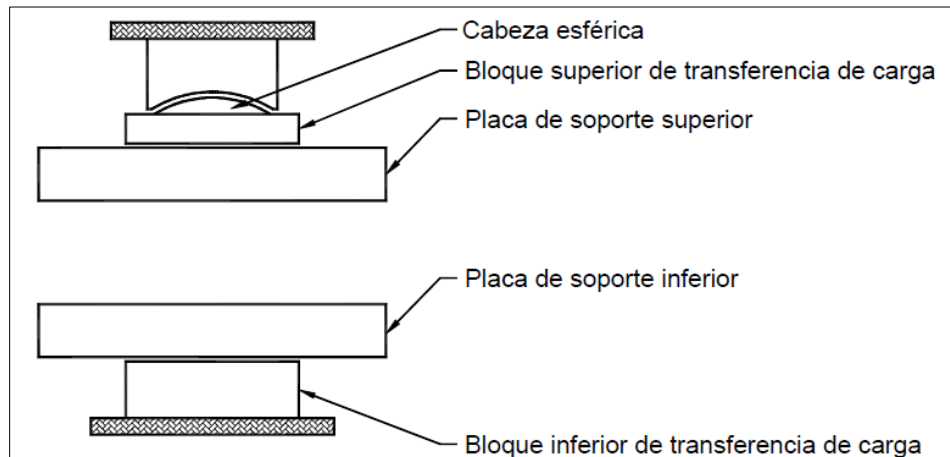
El bloque superior está firmemente unido a una cabeza esférica que le permite girar libremente en cualquier dirección con el fin de acomodar especímenes cuyas superficies de apoyo no sean paralelas.

Los bloques de transferencia de carga tienen forma cilíndrica con un diámetro de 20 cm, cuya área de soporte no es suficiente para abarcar el área del espécimen, razón por la cual se emplearon placas de soporte adicional elaboradas en acero; el tamaño de estas placas cumplen con los requisitos dimensionales especificados en el Anexo A de la norma NTC 3495 [17].

Figura 16. Máquina Universal de Ensayos y sus aditamentos para compresión.



Figura 17. Equipo utilizado para el ensayo a compresión.



Fuente: NTC 3495 [17].

2.5.3.2 Instalación del espécimen en la máquina

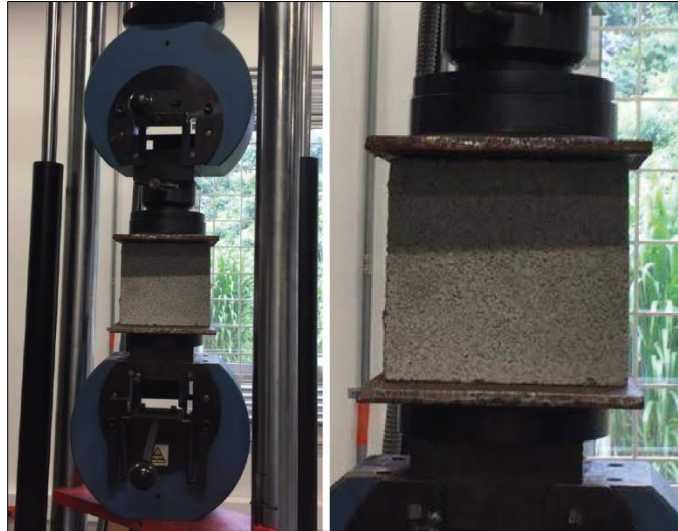
Los especímenes se rotularon con la nomenclatura usada, agregando al final una letra, así: “A” para los trozos de unidades a ensayar (especímenes) y “B” para los trozos de unidades sobrantes.

Los especímenes se instalaron en la Máquina Universal de Ensayos con los centroides de sus superficies de soporte, alineados verticalmente con el centro de aplicación de carga de los bloques.

La postura de las perforaciones de los especímenes a ensayar es vertical, la misma posición que se tiene durante el servicio (posición normal).

En el momento del ensayo, los especímenes estaban libres de humedad visible.

Figura 18. Posición del espécimen en la máquina.



2.5.3.3 Carga

La velocidad de carga fue especificada en el software controlador de la máquina antes de cada ensayo. Esta velocidad fue uniforme y controlada durante los ensayos para evitar cargas por impacto.

Se definió una velocidad de carga para cada mezcla, de tal modo que cada ensayo durase entre 3 y 4 minutos. Como resultado, el lapso comprendido entre la mitad de la carga y el final de esta corresponde a un periodo de 1 a 2 minutos.

2.5.4 Cálculo de la resistencia a la compresión

Una vez terminado cada ensayo se registró la carga máxima de falla ($C_{m\acute{a}x}$); esta corresponde a la carga máxima a compresión que resiste un espécimen individualmente, y es proporcionada por el software controlador de la máquina.

Para el cálculo de la resistencia a la compresión (R_c) se utiliza la ecuación [16].

$$R_c = \frac{C_{m\acute{a}x}}{A_{nt}} \quad (\text{Ec } 7)$$

dónde:

R_c : Resistencia a la compresión, en MPa.

$C_{m\acute{a}x}$: Carga máxima de falla, en N.

A_{nt} : Área neta promedio del trozo de unidad, en mm^2 .

2.5.5 Resultados

Los datos de carga máxima de falla ($C_{m\acute{a}x}$) y resistencia a la compresión (R_c) se recopilan en la Tabla 10.

Tabla 10. Ensayo de compresión.

Espécimen	$C_{m\acute{a}x}$ [N]	Área transversal [mm²]	R_c [MPa]
11	17550,1	12086,3	1,5
12	16483,8	11942,4	1,4
13	15525,7	11539,3	1,3
14	16152,2	12014,4	1,3
21	25941,1	10969,4	2,4
22	7216,9	11654,7	0,6
23	19779,9	11539,3	1,7
24	19705,0	11739,9	1,7
31	121785,3	10935,3	11,1
32	64755,7	12230,2	5,3
33	75813,4	11938,2	6,4
34	95141,2	12742,0	7,5

3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para la clasificación de los bloques se utiliza la Tabla 11, en la que se recopila los requisitos necesarios.

Tabla 11. Requisitos de resistencia a la compresión, absorción de agua y clasificación de peso.

Resistencia a la compresión a los 28 días, evaluada sobre el área neta promedio (Anp)			Absorción de agua (Aa) % según el peso (densidad) del concreto secado en horno kg/m ³		
Mínimo, MPa			Promedio de 3 unidades, máximo, %		
Clase	Promedio de 3 unidades	Individual	Peso liviano, menos de 1680 kg/m ³	Peso mediano, de 1680 kg/m ³ hasta menos de 2000 kg/m ³	Peso normal, 2000 kg/m ³ o mas
Alta	13	11	15 %	12 %	9 %
Baja	8	7	18 %	15 %	12 %

Fuente: NTC 4026[14].

Nota 4: Después de revisar los resultados del bloque 22 se concluye que no corresponde a ninguna de las mezclas planteadas en esta investigación, se supone como un error de organización en la empresa donde se construyeron los bloques.

Nota 5: Para los cálculos de los promedios de mezcla en las tablas de la sección de análisis (sección 3) se excluyen las filas cuyos valores estén acompañados de un asterisco (*).

3.1 REQUISITOS DIMENSIONALES

El espesor de pared (ep), el espesor de tabique (et) y el espesor de tabique equivalente (ete) deben ser mínimo de 20 mm, 20 mm y 0,150 mm/mm respectivamente para una unidad de mampostería perforada verticalmente (bloque), cuyo espesor nominal sea de 100 mm como lo indica la Tabla 5.

Se puede observar en el Anexo I que el espesor de pared para todos los bloques es mayor a 20 mm, siendo el menor de 21 mm; el espesor de tabique para todos los bloques es mayor o igual a 20 mm; y el espesor de tabique equivalente para todos los bloques es mayor a 0,150 mm/mm, siendo el menor de 0,162 mm/mm. Al comparar el Anexo I con los requisitos de la Tabla 5, se puede afirmar que todos los bloques cumplen con los requisitos establecidos en la norma NTC 4026 [14].

3.1.1 Tolerancias

- La longitud nominal de los bloques es de 39,5 cm. La longitud real mínima de los bloques fue 39,4 cm y la máxima de 39,5 cm. Estas dimensiones no difieren más de 2 mm con la longitud normal.
- La altura nominal de los bloques es de 20 cm. La altura real mínima de los bloques fue 20 cm y la máxima de 20,2 cm. Estas dimensiones no difieren más del 1% (2 mm) con la altura normal.
- El espesor nominal de los bloques es de 10 cm. El espesor real mínimo de los bloques fue 9,9 cm y la máxima de 10,1 cm. Estas dimensiones no difieren más del 1% (1 mm) con el espesor normal.

3.2 DENSIDAD

Para el análisis de densidad de los bloques se propone la Tabla 12, que reúne los valores de densidad y su clasificación según la Tabla 11; además, se añade una columna de valor promedio de mezcla para su comparación.

Tabla 12. Clasificación y densidades de los bloques.

Bloque	Densidad [kg/m ³]	Clasificación según su peso	Densidad promedio de mezcla [kg/m ³]
11	1925	Mediano	1924
12	1912	Mediano	
13	1909	Mediano	
14	1948	Mediano	
21	2011	Normal	1975
22*	1904*	Mediano*	
23	1971	Mediano	
24	1944	Mediano	
31	2329	Normal	2230
32	2087	Normal	
33	2255	Normal	
34	2247	Normal	

Después de analizar el promedio de densidad de las mezclas se puede decir que:

- Las mezclas 1 y 2 son clasificadas de peso mediano (exceptuando el bloque 21).
- La mezcla 3 es clasificada de peso normal.
- La mezcla 1 es 2,7% menos densa que la mezcla 2.
- La mezcla 2 es 12,9% menos densa que la mezcla 3.
- La mezcla 1 es 15,9% menos densa que la mezcla 3.

3.3 ABSORCIÓN DE AGUA

La absorción de agua es una variable de importante análisis, ya que el concreto es un material poroso y estos materiales permiten la permeabilidad de gases y líquidos dentro de orificios que están comunicados con el exterior.

La Tabla 13 muestra el porcentaje de absorción de cada bloque, además del promedio de cada mezcla y el máximo valor que puede alcanzar según la Tabla 11.

Tabla 13. Absorción de agua en bloques, absorción de agua promedio y máximo permitido.

Bloque	% abs	% abs promedio de mezcla	% abs máximo permitido, según el peso
11	10,0	9,0	15
12	9,2		
13	8,0		
14	8,6		
21	8,6	8,1	15
22*	9,5*		
23	7,7		
24	7,9		
31	5,2	5,8	12
32	6,1		
33	5,8		
34	6,0		

Comparando las columnas 3 y 4 de la Tabla 13, se puede percibir que todos los bloques cumplen con los requisitos según su clasificación de peso, ya que todos los valores de la columna 3 son inferiores a los máximos permitidos presentes en la columna 4.

Las aseveraciones que se realizan al analizar los promedios de mezcla de la Tabla 13 son las siguientes:

- El porcentaje de absorción de la mezcla 1 es 11,0% mayor que el de la mezcla 2.
- El porcentaje de absorción de la mezcla 2 es 39,7% mayor que el de la mezcla 3.
- El porcentaje de absorción de la mezcla 1 es 55,0% mayor que el de la mezcla 3.

3.4 ACABADO Y APARIENCIA

Las unidades se encontraban con pequeñas desportilladuras en el momento del ensayo debido a la manipulación y transporte a la que se vieron sometidas durante las diferentes pruebas. Esta condición en los bloques no interfirió en el momento de realizar el ensayo a compresión.

Las averías en las unidades no tienen repercusión en el momento de situar la unidad, ya sea para almacenarla o cuando vaya a ser utilizada en la construcción.

Las desportilladuras en las unidades eran lo suficientemente pequeñas para no evidenciarse al ser observadas a una distancia de 6 m, por otra parte, estos desprendimientos de material en el bloque se encontraban en esquinas y bordes de esta manera pueden ser cubiertos fácilmente por el mortero o junta de pega si se fuesen a utilizar en la construcción. En cuanto a las grietas de las unidades, no se presentaba ninguna en alguna de sus paredes por si esta fuera a ser utilizadas como mampostería expuesta.

Los bloques presentan un color uniforme en todo el espécimen. Entre las mezclas el color no es desigual a pesar de contener diferente porcentaje de neumático agregado.

La textura con la que cuentan los bloques es lo suficientemente rugosa para permitir la adherencia de diferentes tipos de recubrimientos en sus paredes si así se desea.

3.5 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

3.5.1 Tiempo de carga

Las gráficas de la evolución del esfuerzo respecto al tiempo para cada espécimen están presentes en el Anexo II.

En la Tabla 14 se presenta un resumen del esfuerzo medio y máximo de cada espécimen, también el tiempo donde estos ocurren y la diferencia entre estos tiempos; esta diferencia debe estar entre uno y dos minutos (60 y 120 segundos).

Tabla 14. Cargas y tiempos en ensayo de compresión.

Especimen	Esfuerzo medio		Esfuerzo máximo		Diferencia de tiempo [s]
	Valor [MPa]	Tiempo [s]	Valor [MPa]	Tiempo [s]	
11	0,726	87,95	1,452	166,26	78,31
12	0,691	73,02	1,380	147,41	74,39
13	0,674	73,16	1,345	143,28	70,12
14	0,672	75,72	1,344	147,86	72,14
21	1,182	117,94	2,365	234,40	116,46
22	0,310	7,97	0,619	14,81	<u>6,84</u>
23	0,857	89,04	1,714	177,41	88,37
24	0,839	238,52	1,678	462,99	<u>224,47</u>
31	5,567	110,97	11,137	221,7	110,73
32	2,644	59,23	5,295	117,8	<u>58,57</u>
33	3,175	70,1	6,350	139,21	69,11
34	3,733	87,01	7,467	173,8	86,79

Se puede apreciar en la Tabla 14 que el tiempo transcurrido desde la mitad de la carga hasta la carga máxima es menor a 60 segundos en los bloques 22 y 32 y mayor a 120 segundos en el bloque 24. Por esta razón, los datos de compresión de estos bloques no se tendrán en cuenta para promedios de mezcla o posterior análisis en los próximos numerales.

3.5.2 Diagramas de Esfuerzo – Deformación unitaria

Debido a que la sollicitación principal de carga de bloques es compresión, resulta de interés fundamental su curva esfuerzo-deformación unitaria a compresión.

En el Anexo III se encuentran todos los diagramas de Esfuerzo – Deformación unitaria para cada uno de los especímenes ensayados. Cada diagrama incluye el tratamiento gráfico correspondiente (ver Nota 6).

Nota 6: Cuando se situaron los especímenes en la Máquina Universal de Ensayo quedaron unos cuantos milímetros de diferencia entre el bloque superior de transferencia de carga y la placa de soporte superior. Tras este evento quedaron registradas algunas perturbaciones en el tramo inicial de los diagramas; para corregir esto se realizó un tratamiento gráfico, el cual consistió en prolongar el tramo rectilíneo de la curva hasta la intersección con el eje de las deformaciones unitarias. El punto donde ocurre esta intersección es tomado como un nuevo origen de coordenadas.

En los diagramas de los especímenes que se tienen en cuenta para el desarrollo de este análisis, se puede observar una primera parte claramente proporcional, sobre esta parte del diagrama esta una recta de trazo no continuo de color verde correspondiente al tratamiento gráfico. Además de esta característica no hay otra en común para todos los especímenes, en consecuencia, para el análisis se propone una agrupación de propiedades por mezclas, así:

- En las mezclas 1 y 2 destaca la presencia de una zona no proporcional, entre en límite elástico y límite de resistencia. Con la presencia de esta zona se infiere que el espécimen puede almacenar más energía antes de su rotura (más tenaz), comparado con la ausencia de esta.
- En la mezcla 3 es importante resaltar que el límite de resistencia se alcanza después de la zona proporcional, o después de una zona de fluencia (donde el espécimen se deforma sin necesidad de aumentar la carga) que sigue a la zona proporcional. Incluso en el diagrama del bloque 34 donde se observa una especie de escalón, se puede apreciar que después de la parte inicial se presenta una parte de fluencia y luego un tercer tramo que tiene aproximadamente la misma pendiente del tramo inicial, justo después de esto alcanza su límite de resistencia.

En la Tabla 15 se realiza una recopilación de los datos referentes a esfuerzos y deformaciones unitarias obtenidas en dos momentos importantes: en el límite elástico y el límite de resistencia. En la Tabla 15 se puede apreciar que:

- La mezcla 1 alcanza el límite elástico en una deformación unitaria menor que las mezclas 2 y 3.
- En la mezcla 3, el límite elástico está muy cerca del límite de resistencia, incluso hay un espécimen en el que estos límites corresponden al mismo valor.

Tabla 15. Esfuerzo y deformación unitaria en el límite elástico y límite de resistencia.

Especimen	Límite elástico		Límite de resistencia	
	Esfuerzo [MPa]	Deformación unitaria [mm/mm]	Esfuerzo [MPa]	Deformación unitaria [mm/mm]
11	1,08	0,0020	1,45	0,0055
12	1,08	0,0045	1,38	0,0090
13	0,88	0,0040	1,35	0,0080
14	0,96	0,0025	1,34	0,0050
21	2,00	0,0050	2,37	0,0080
22*	No aplica			
23	1,20	0,0060	1,71	0,0110
24*	No aplica			
31	11,14	0,0060	11,14	0,0060
32*	No aplica			
33	5,20	0,0055	6,35	0,0100
34	5,20	0,0065	7,47	0,0120

3.5.3 Carga máxima

La resistencia a compresión es una de las características mecánicas más importante del concreto, depende de factores como: cuidado y rigor en la elaboración del concreto, tamaños y forma de los especímenes de prueba y la manera en que estos son cargados.

En la Tabla 16 se recopila la resistencia a compresión de cada bloque y se realiza un promedio de mezcla.

Tabla 16. Resistencia y resistencia promedio obtenidas en los bloques.

Especimen	Rc [MPa]	Rc promedio de mezcla [MPa]
11	1,5	1,4
12	1,4	
13	1,3	
14	1,3	
21	2,4	2,1
22*	0,6*	
23	1,7	
24*	1,7*	
31	11,1	8,3
32*	5,3*	
33	6,4	
34	7,5	

Después de analizar la Tabla 16 se pueden realizar las siguientes declaraciones:

- La resistencia de la mezcla 1 es 33,3% menor que la mezcla 2.
- La resistencia de la mezcla 2 es 74,7% menor que la mezcla 3.
- La resistencia de la mezcla 1 es 83,1% menor que la mezcla 3.

Dicho de otra manera los bloques realizados con la mezcla 1 y 2 alcanzan solo un 16,9% y 25,3% de la resistencia de un bloque convencional, respectivamente.

Por otra parte, ninguno de los bloques elaborados con la mezcla 1 o 2 cumplen con los requisitos de resistencia a la compresión de clase alta o baja, presentes en la Tabla 11. En la mezcla 3, a pesar de cumplir el requisito de superar 8 MPa en el promedio de 3 unidades, no se pueden considerar de clase baja, ya que el bloque 33 no supera los 7 MPa necesarios en unidades individuales.

Nota 7: Nada de lo expuesto hasta aquí significa que la empresa que realiza estos bloques, este incumpliendo con la norma, ya que la prueba de resistencia a compresión fue modificada para fines investigativos.

3.5.4 Modo de falla

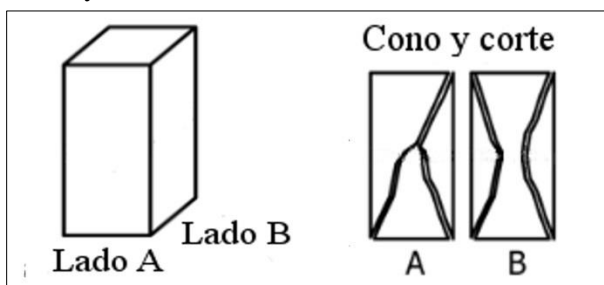
En el Anexo IV están las figuras que contienen las fotografías donde se puede observar el modo de falla de cada espécimen.

Cabe mencionar también en este análisis, la diferencia en el desprendimiento de material al finalizar los ensayos de compresión, ya que al momento de retirar el espécimen de la maquina se notó más material en la placa inferior de soporte para las mezclas 1 y 2 que para la mezcla 3.

A continuación se hace una agrupación de los bloques de acuerdo a sus modos de falla.

3.5.4.1 Cónica y corte

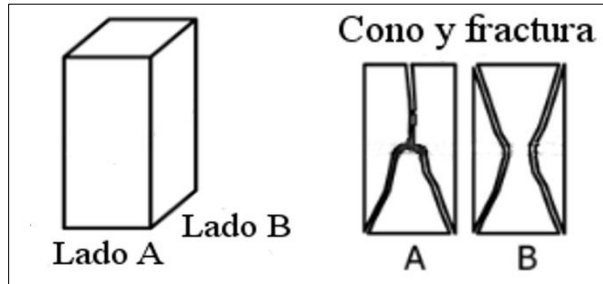
Figura 19. Modo de falla cono y corte.



Los bloques 11, 12, 13 y 23 al ser sometido a compresión presentaron un modo de falla con forma cónica y corte. Este modo de rotura se presenta cuando hay esfuerzos combinados debido a desviaciones de la carga del centro del espécimen. La carga en los bloques produjo un momento flector que actuó en sentido horario en el bloque 11 y anti-horario en el resto de bloques, respecto a la cara del espécimen y por este motivo hubo un mayor aplastamiento hacia un lado de los especímenes.

3.5.4.2 Cono y fractura

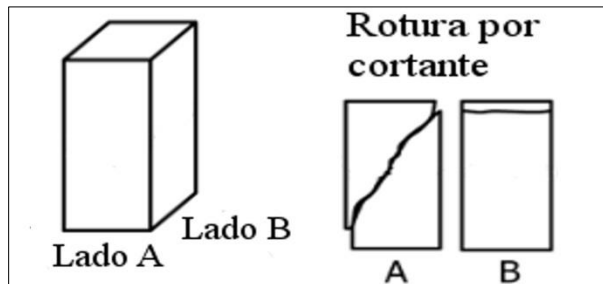
Figura 20. Modo de falla cono y fractura.



Los bloques 14 y 31, al ser sometido a compresión presentaron un modo de falla con forma cónica y fractura. Esta conducta ocurre debido a una concentración de esfuerzo por un punto sobresaliente en el espécimen; en el bloque 14 este punto se encontraba en la parte superior e hizo una fisura que se propagó a lo largo del bloque; en el bloque 31 se encontraba en el lado inferior derecho y en el lado izquierdo también se divide una pequeña grieta vertical ocasionada también por un diminuta concentración.

3.5.4.3 Rotura por cortante

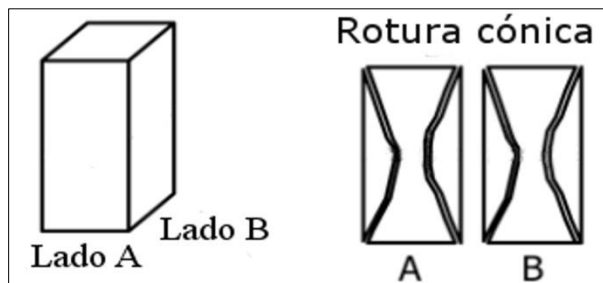
Figura 21. Modo de falla rotura por cortante.



Los bloques 21, 22, y 34 al ser sometido a compresión presentaron un modo de falla por cortante. Este modo de rotura ocurre cuando aparece una fuerza longitudinal a lo largo del plano oblicuo por donde falló el bloque. Además se pueden ver en la Figura 26 que el bloque 34 presenta pequeñas grietas verticales, debido a la concentración de esfuerzos de puntos sobresalientes en la parte superior del espécimen.

3.5.4.4 Rotura cónica

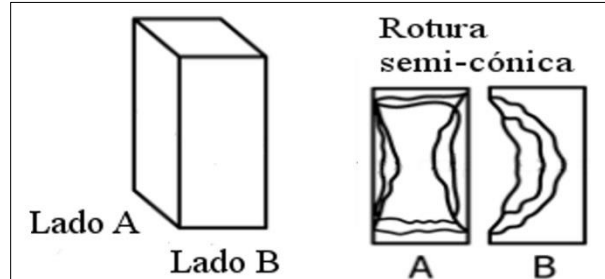
Figura 22. Modo de falla cónica.



El bloque 24, al ser sometido a compresión presentó un modo de falla con forma cónica. Este modo de rotura se presenta cuando la carga está bien aplicada sobre el espécimen.

3.5.4.5 Rotura semi-cónica

Figura 23. Modo de falla semi-cónica.



Los bloques 32 y 33 al ser sometido a compresión presentaron un modo de falla con forma semi-cónica. Este modo de rotura se presenta por la acción de un momento flector y la carga de compresión. El momento flector actuó en sentido anti-horario respecto a la cara del espécimen e hizo que el lado izquierdo de los especímenes presentara desprendimiento de material. Si se observa la Figura 26 se nota como el lado derecho presenta una curvatura y grietas horizontales debido a la tracción ocasionada por el momento.

4 CONCLUSIONES

- Todos los bloques cumplen con los requisitos dimensionales y tolerancias de la norma.
- Al aumentar la cantidad de neumático triturado en las mezclas para fabricar los bloques, propiedades como el peso, densidad y resistencia a la compresión disminuyen. Esto se debe a que el neumático triturado presenta una menor densidad que los demás agregados, disminuyendo el peso y densidad del bloque.
- En cuanto a la absorción de agua, el neumático triturado propicia una mayor retención de agua y esta es directamente proporcional al aumento en la cantidad de neumático triturado utilizado en la mezcla. A pesar de tener un aumento máximo de 55%, los bloques de las mezclas 1 y 2 siguen cumpliendo con los estándares de la norma.
- Los diagramas esfuerzo – deformación unitaria de la mezcla 3 presentan un comportamiento propio de un material frágil, y al adicionar neumático triturado a la mezcla se agrega un pequeño comportamiento plástico, ya que caucho le aporta ductilidad a la mezcla.
- La resistencia de los bloques se pudo ver afectada debido a que el neumático triturado presenta propiedades mecánicas diferentes al concreto. Esta es la razón por la que el neumático triturado no presenta una perfecta afinidad con la matriz de concreto, y en el momento de ser sometido a compresión se comporte como un material anisótropo. Las anisotropías mecánicas de los materiales hacen que se presenten debilidades mecánicas, por lo tanto los materiales se fracturan por cizalla y por extensión de grietas con una mayor posibilidad.
- El uso de neumático triturado en bloques de concreto demostró no tener una resistencia adecuada para ser usado en la realización de muros portantes, pero demostró tener una resistencia adecuada para ser utilizados en la confección de muros divisorios o como muros para acabados decorativos. Si se fuesen a utilizar en la fabricación de muros portantes se recomienda que los muros no estén sometidos a cargas considerables y que las cavidades sean reforzadas incorporando concreto y barras de acero que mejoran la capacidad de la pared.
- Se recomienda seguir atentamente todo el proceso de elaboración de los bloques, para así tener un mejor control y evitar sesgo en el momento de elaboración y almacenamiento de los bloques.
- Se recomienda realizar un refrentado a los bloques, en las caras en contacto con las placas de soporte en el ensayo de compresión, para evitar la concentración de esfuerzos en puntos salientes de la unidad.

5 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Dinero, “Colombia tendrá 3,5 millones de vehículos a 2020,” *Dinero*, 2013. [En línea]. Disponible en: <https://www.dinero.com/empresas/articulo/colombia-tendra-35-millones-vehiculos-2020/168797>. [Fecha de consulta: 14-May-2018].
- [2] C. Malaver, “Las llantas en desuso, las nuevas invasoras del espacio en Bogotá,” *El tiempo*, 2014. [En línea]. Disponible en: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-14594218>. [Fecha de consulta: 15-May-2018].
- [3] D. Juárez Varón, R. Balart Gimeno, S. Ferrándiz Bou, and D. García Sanoguera, “ESTUDIO, ANÁLISIS Y CLASIFICACIÓN DE ELASTÓMEROS TERMOPLÁSTICOS,” *3ciencias*, no. 2, 2012.
- [4] Dinero, “Reciclaje de llantas usadas en Colombia,” *Dinero*, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.dinero.com/pais/articulo/reciclaje-de-llantas-usadas-en-colombia/249688>. [Fecha de consulta: 15-May-2018].
- [5] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC, “Norma Técnica Colombiana NTC 4383. Ingeniería Civil Y Arquitectura. Mampostería De Cocreto. Términos Y Definiciones,” 1999.
- [6] Grupo Argos S.A, “Concreto - Argos Corporativo.” [En línea]. Disponible en: <https://www.argos.co/Productos/Concreto>. [Fecha de consulta: 03-Jun-2018].
- [7] Grupo Argos S.A, “Cemento - Argos Corporativo.” [En línea]. Disponible en: <https://www.argos.co/Productos/Cemento>. [Fecha de consulta: 03-Jun-2018].
- [8] Grupo Argos S.A, “Agregados - Argos Corporativo.” [En línea]. Disponible en: <https://www.argos.co/Productos/Agregados>. [Fecha de consulta: 03-Jun-2018].
- [9] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC, “Norma Técnica NTC 174. Concretos. Especificaciones De Los Agregados Para Concreto,” 2000.
- [10] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC, “Norma Técnica Colombiana NTC 121. Especificación De Desempeño Para Cemento Hidráulico,” vol. 34, no. 11, 2014.
- [11] Aguas y aguas, “Informes Mensuales.” [En línea]. Disponible en: <https://www.aguasyaguas.com.co/calidad.aguasyaguas.com.co/index.php/es/>. [Fecha de consulta: 23-Jun-2018].
- [12] R. Siddique and T. R. Naik, “Properties of concrete containing scrap-tire rubber – an overview,” *Waste Manag.*, vol. 24, no. 6, Jan. 2004.
- [13] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC, “Norma Técnica Colombiana NTC 385. Ingeniería Civil Y Arquitectura. Terminología Relativa Al Concreto Y Sus Agregados,” pp. 1- 6, 1999.
- [14] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC, “Norma Técnica Colombiana NTC 4026. Unidades (bloques y ladrillos) de concreto, para mampostería estructural,” pp. 1–5, 1997.

- [15] A. S. for T. and M. (ASTM), “Standard Test Methods for Sampling and Testing Concrete Masonry Units and Related Units,” pp. 1–17, 2012.
- [16] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC, “Norma Técnica Colombiana NTC 4024. Prefabricados De Concreto. Muestreo Y Ensayo De Prefabricados De Concreto No Reforzados, Vibrocompactados,” 2001.
- [17] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), “Norma Técnica Colombiana NTC 3495. Método de Ensayo para Determinar la Resistencia a la Compresión de Muretes de Mampostería.,” 2003.

6 ANEXOS

ANEXO I: Resultado de medición

Tabla 17. Bloques y espesores de pared.

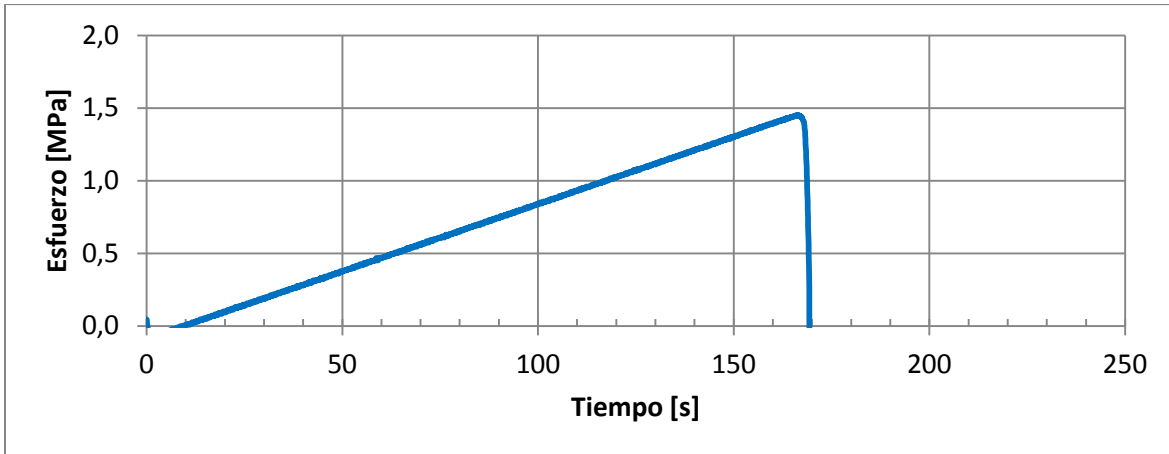
Bloque	Longitud [cm]	Altura [cm]	Espesor [cm]		Espesor de pared frontal [mm]	Espesor de pared posterior [mm]
11	39,5	20	10	superior	24	26
				inferior	30	26
12	39,4	20	9,9	superior	22	22
				inferior	29	28
13	39,5	20,2	10,1	superior	24	23
				inferior	30	26
14	39,5	20,2	10,1	superior	23	23
				inferior	27	28
21	39,4	20	10	superior	22	21
				inferior	29	28
22	39,4	20	9,9	superior	22	23
				inferior	27	30
23	39,5	20,2	10,1	superior	22	23
				inferior	26	29
24	39,5	20,1	10	superior	22	24
				inferior	26	29
31	39,4	20	10	superior	23	22
				inferior	29	28
32	39,4	20	9,9	superior	21	22
				inferior	27	29
33	39,5	20,2	10,1	superior	21	22
				inferior	29	28
34	39,5	20,1	10	superior	23	25
				inferior	28	30

Tabla 18. Bloques y espesores de tabiques.

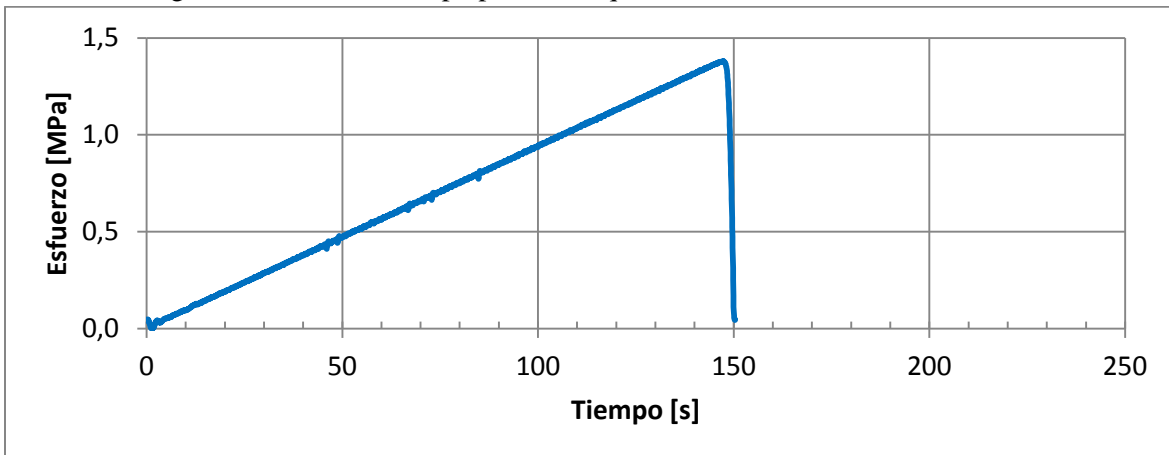
Bloque		Espesor de tabique [mm]				Espesor de tabique equivalente [mm/mm]
		1	2	3	4	
11	superior	23	23	23		0,175
	inferior	28	30	27		0,215
12	superior	20	20	24		0,162
	inferior	23	24	29		0,193
13	superior	22	22	22		0,167
	inferior	23	29	27		0,200
14	superior	22	20	25	23	0,228
	inferior	29	56	24		0,276
21	superior	20	24	25		0,175
	inferior	22	30	30		0,208
22	superior	20	25	27		0,183
	inferior	20	30	32		0,208
23	superior	21	20	22	20	0,210
	inferior	27	55	23		0,266
24	superior	23	20	23	22	0,223
	inferior	23	56	25		0,213
31	superior	22	22	20	22	0,218
	inferior	23	54	25		0,259
32	superior	20	24	25		0,175
	inferior	20	30	31		0,206
33	superior	20	25	25		0,177
	inferior	22	30	29		0,205
34	superior	25	24	22		0,180
	inferior	30	32	25		0,220

ANEXO II: Diagramas Esfuerzo - Tiempo

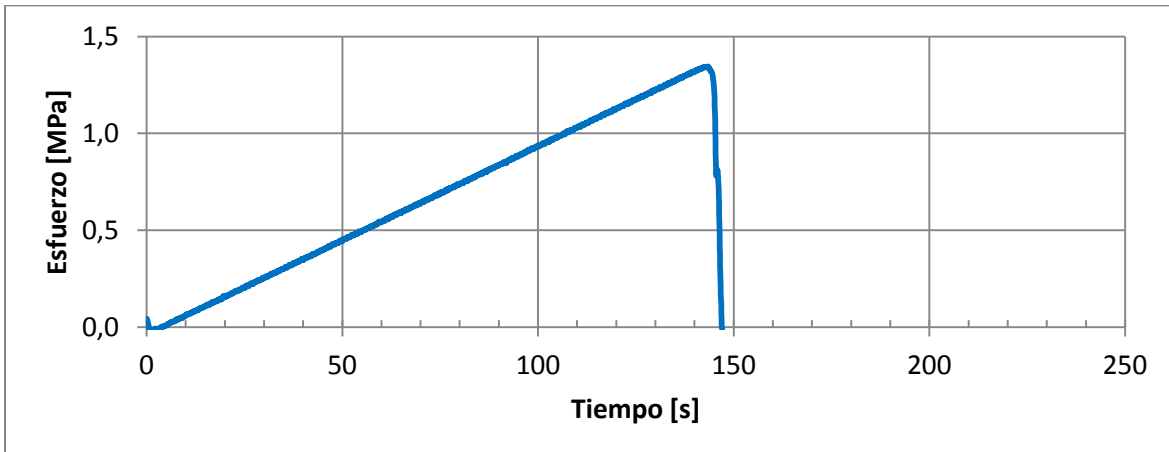
Gráfica 3. Diagrama Esfuerzo - Tiempo para el bloque 11.



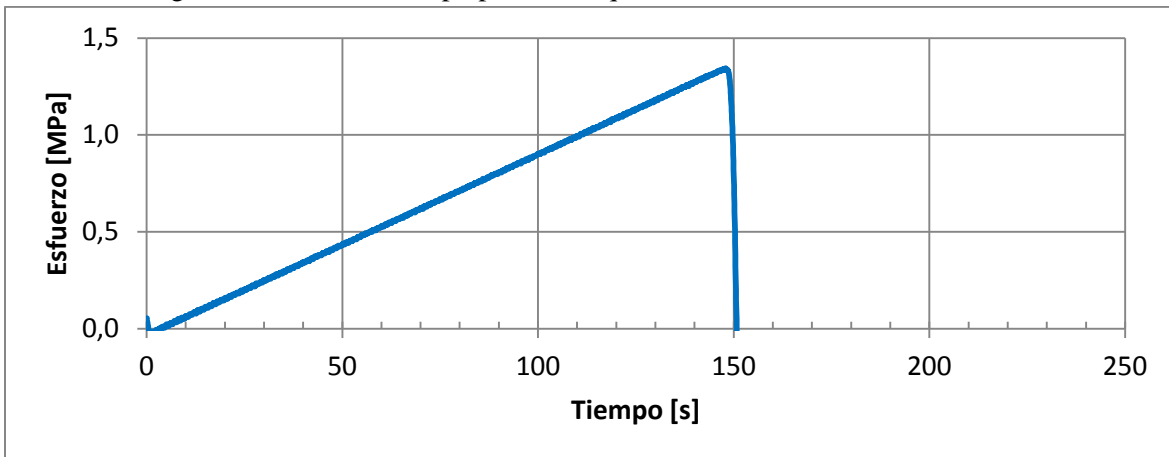
Gráfica 4. Diagrama Esfuerzo - Tiempo para el bloque 12.



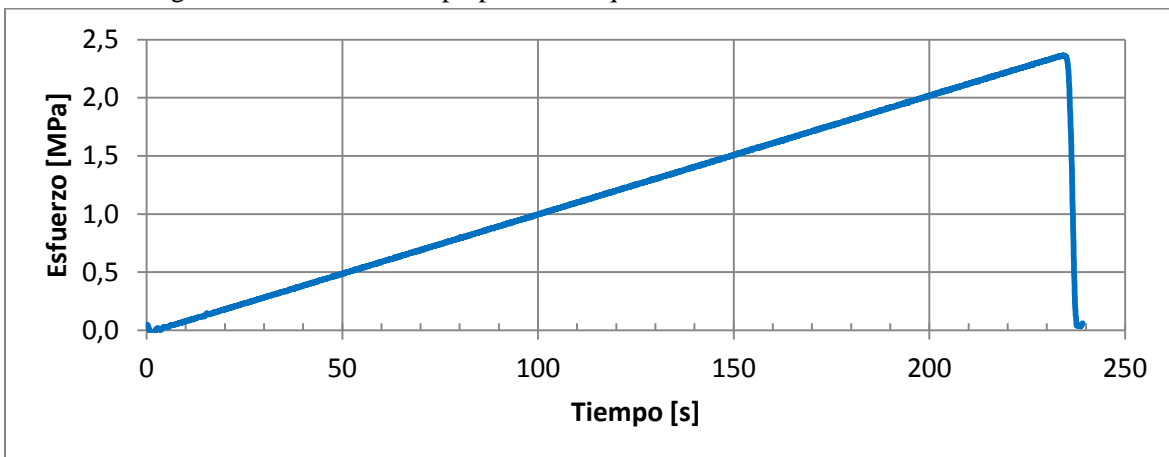
Gráfica 5. Diagrama Esfuerzo - Tiempo para el bloque 13.



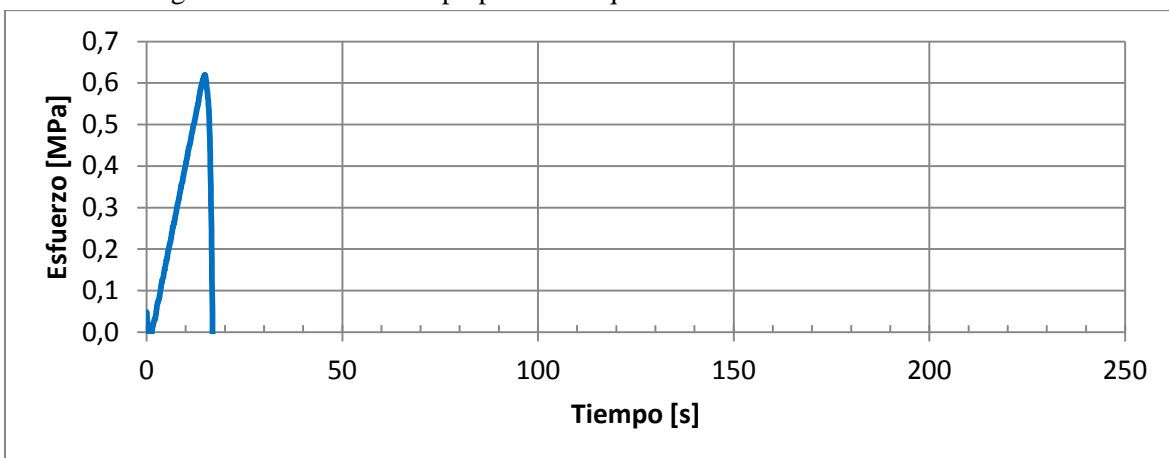
Gráfica 6. Diagrama Esfuerzo - Tiempo para el bloque 14.



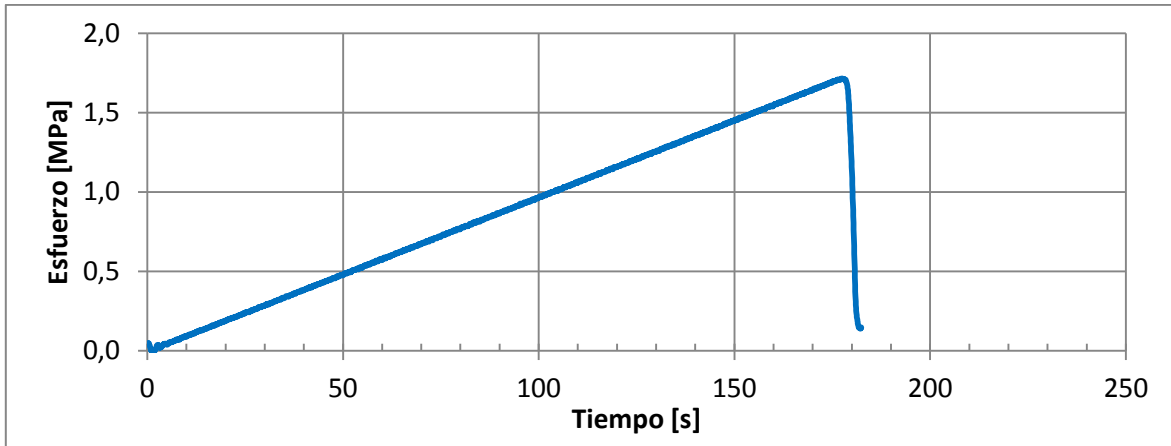
Gráfica 7. Diagrama Esfuerzo - Tiempo para el bloque 21.



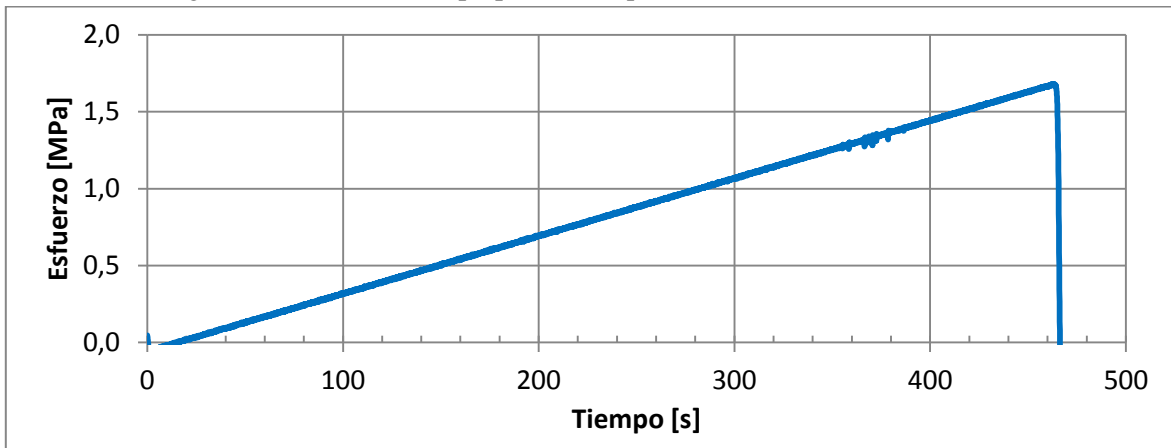
Gráfica 8. Diagrama Esfuerzo - Tiempo para el bloque 22.



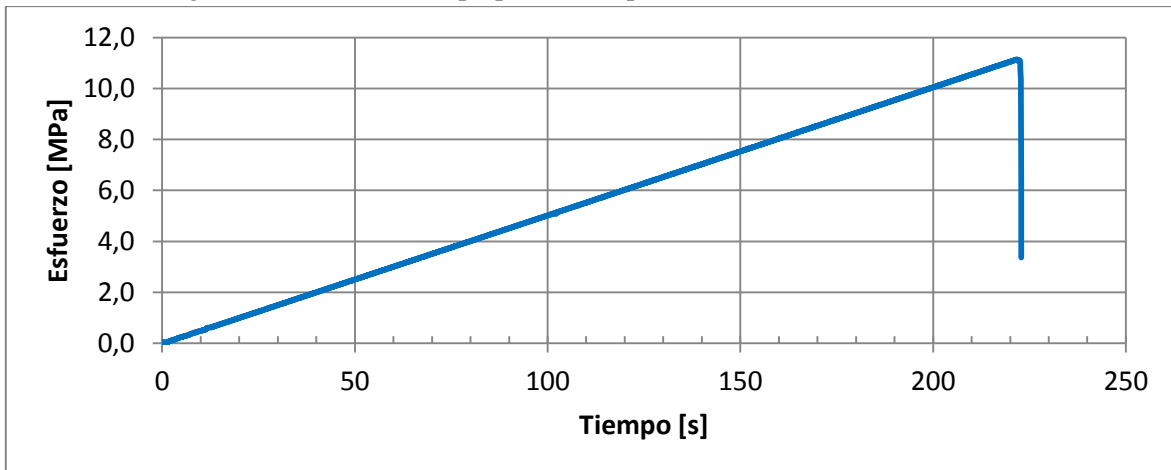
Gráfica 9. Diagrama Esfuerzo - Tiempo para el bloque 23.



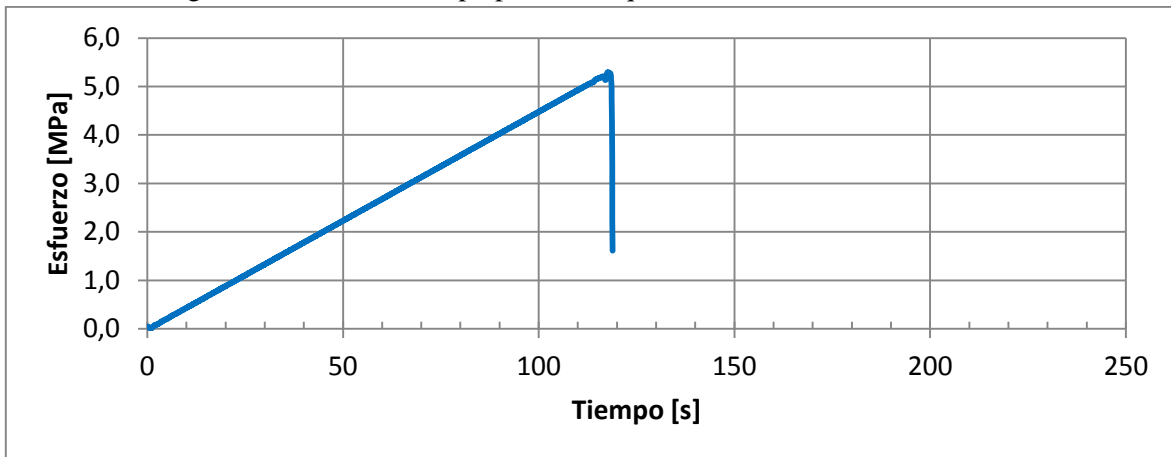
Gráfica 10. Diagrama Esfuerzo - Tiempo para el bloque 24.



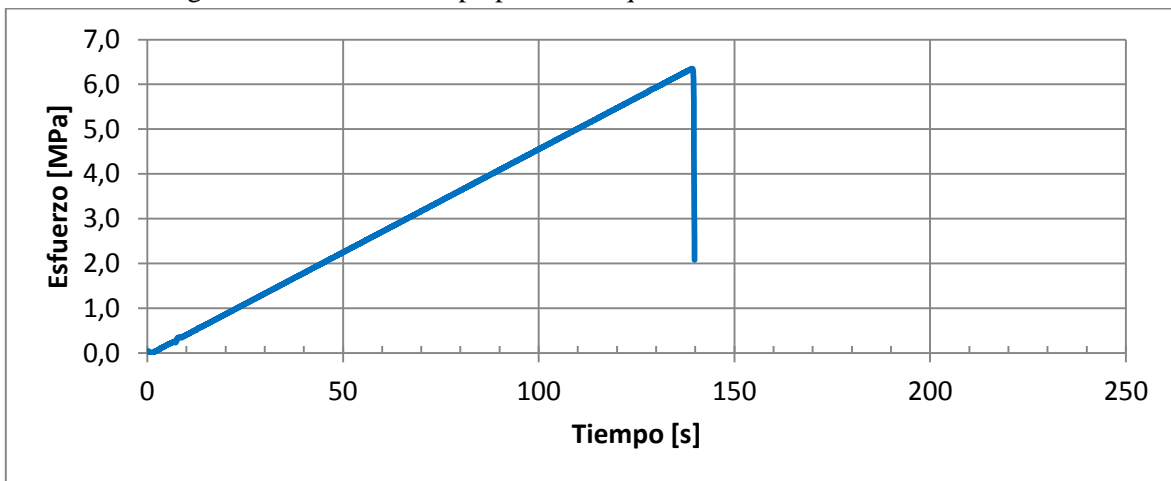
Gráfica 11. Diagrama Esfuerzo - Tiempo para el bloque 31.



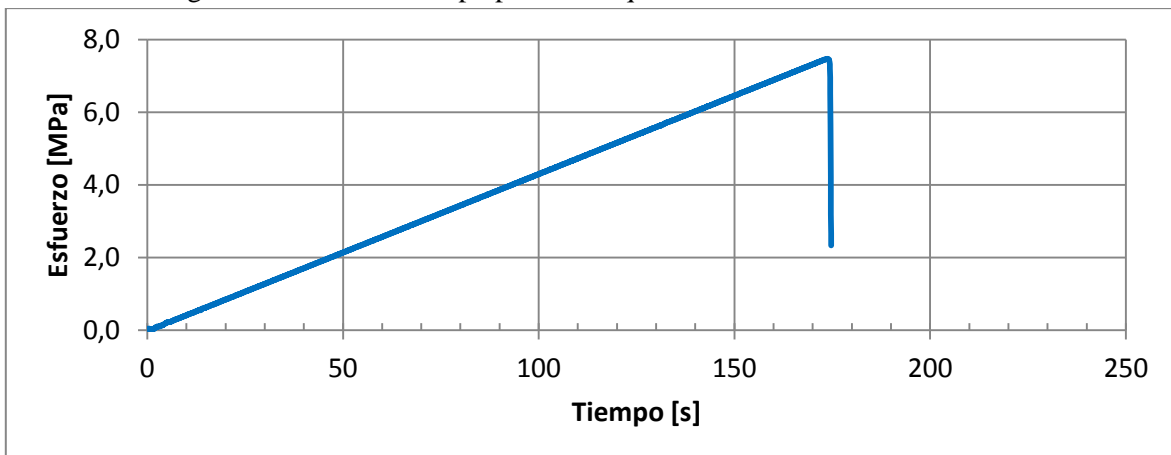
Gráfica 12. Diagrama Esfuerzo - Tiempo para el bloque 32.



Gráfica 13. Diagrama Esfuerzo - Tiempo para el bloque 33.

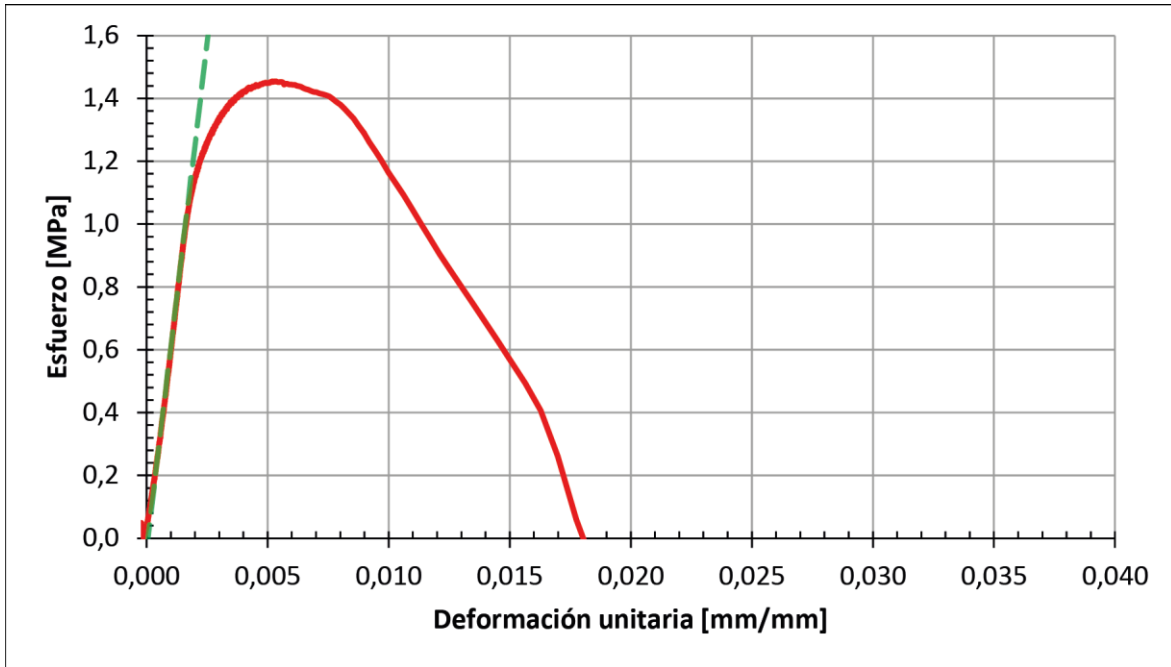


Gráfica 14. Diagrama Esfuerzo - Tiempo para el bloque 34.

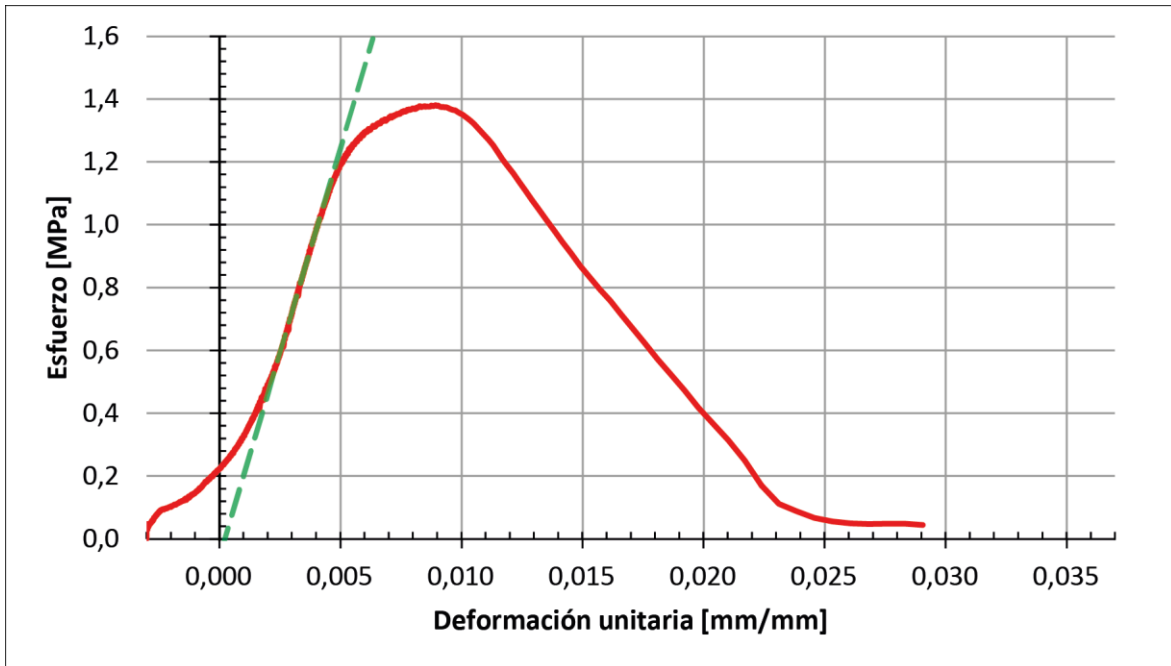


ANEXO III: Diagramas Esfuerzo – Deformación unitaria

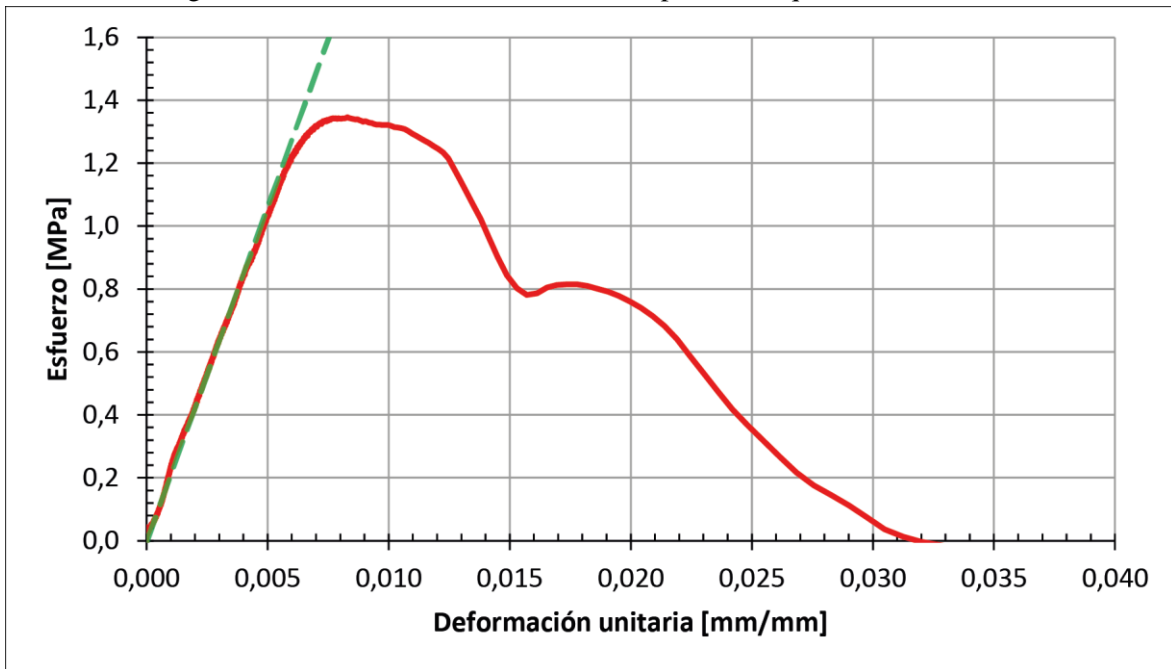
Gráfica 15. Diagrama Esfuerzo – Deformación unitaria para el bloque 11.



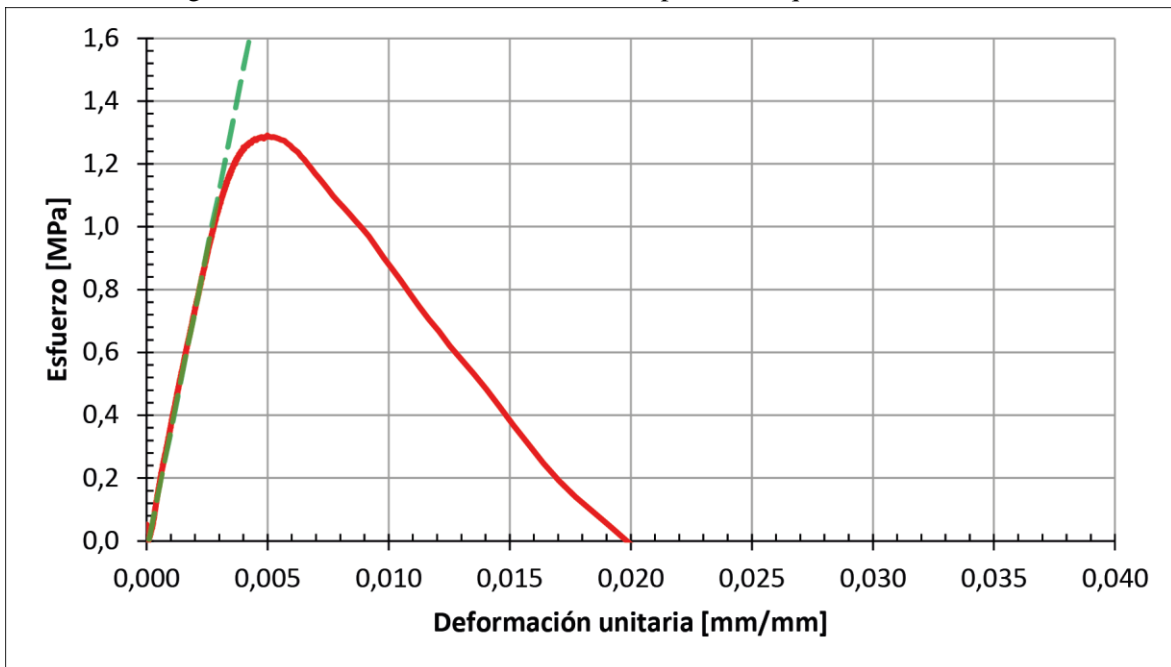
Gráfica 16. Diagrama Esfuerzo – Deformación unitaria para el bloque 12.



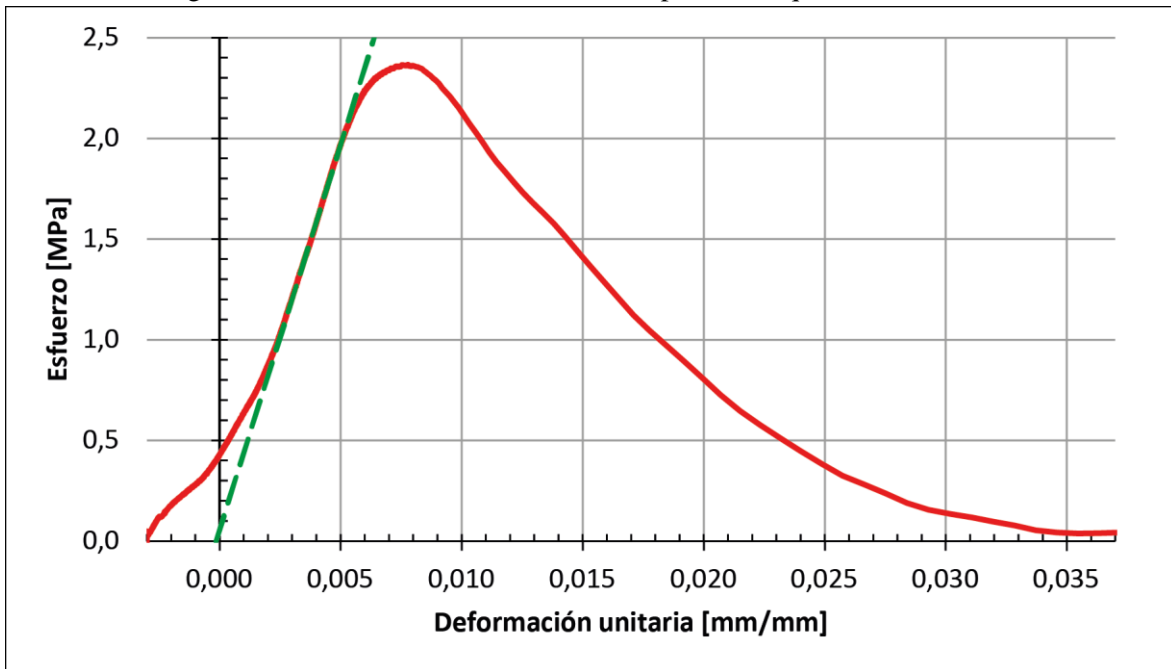
Gráfica 17. Diagrama Esfuerzo – Deformación unitaria para el bloque 13.



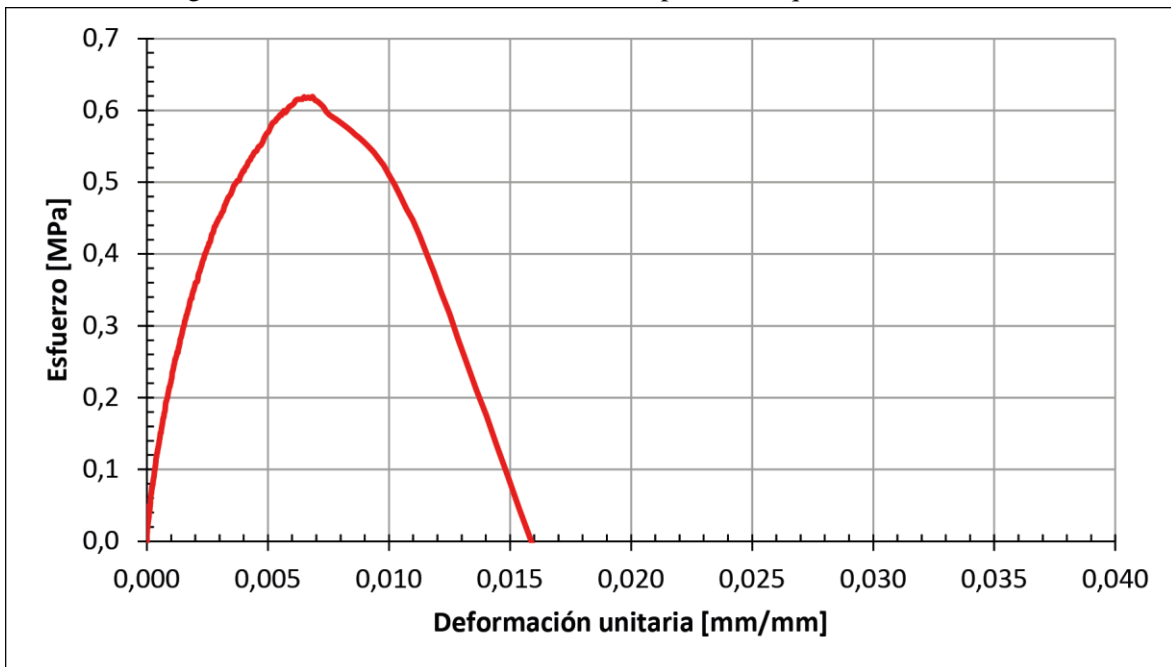
Gráfica 18. Diagrama Esfuerzo – Deformación unitaria para el bloque 14.



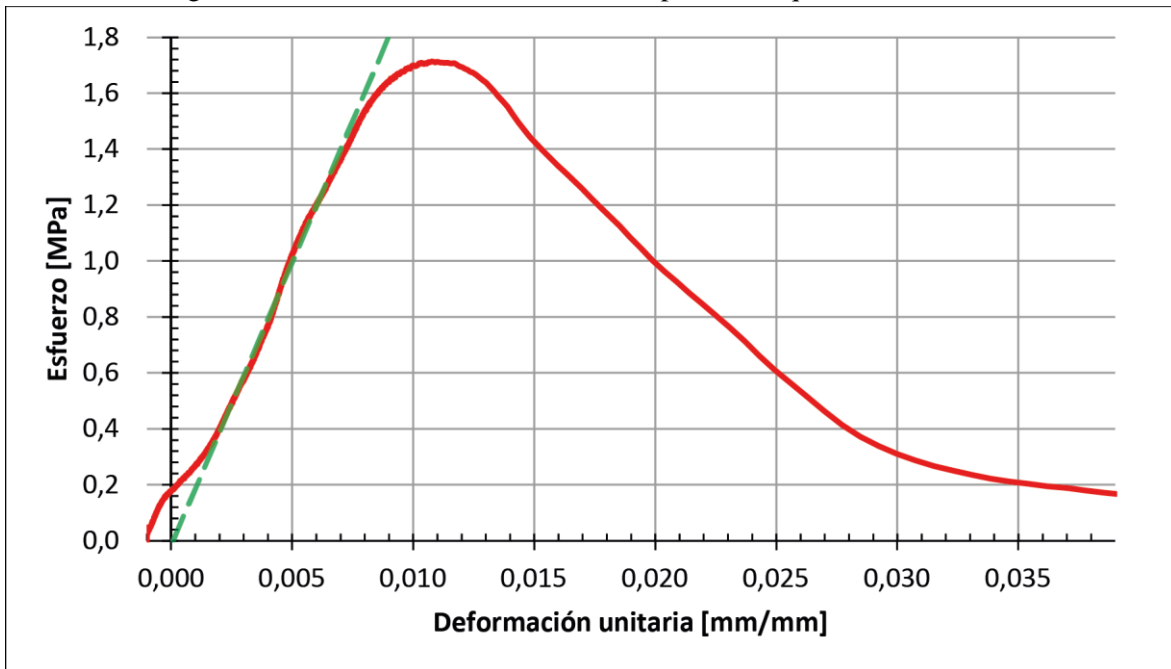
Gráfica 19. Diagrama Esfuerzo – Deformación unitaria para el bloque 21.



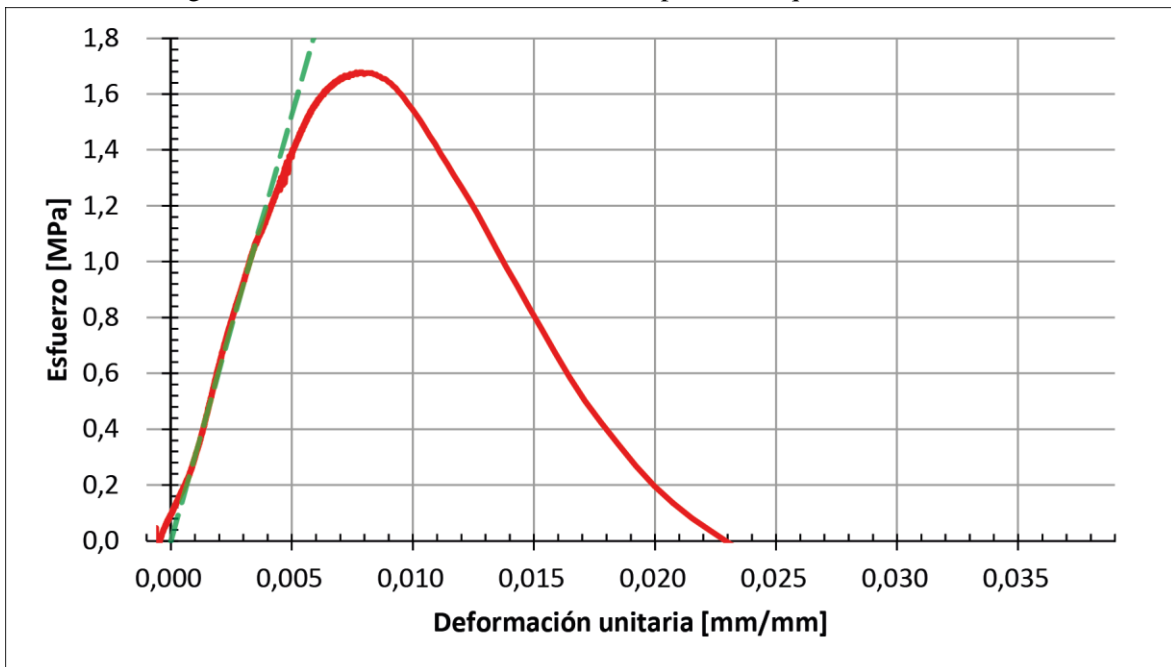
Gráfica 20. Diagrama Esfuerzo – Deformación unitaria para el bloque 22.



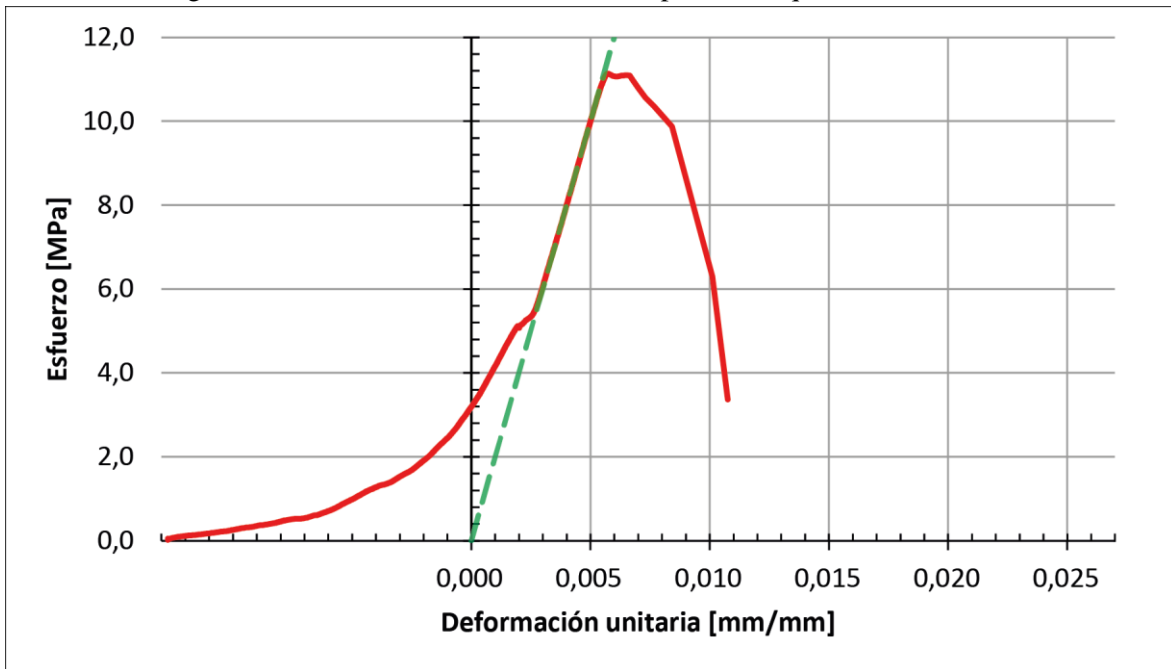
Gráfica 21. Diagrama Esfuerzo – Deformación unitaria para el bloque 23.



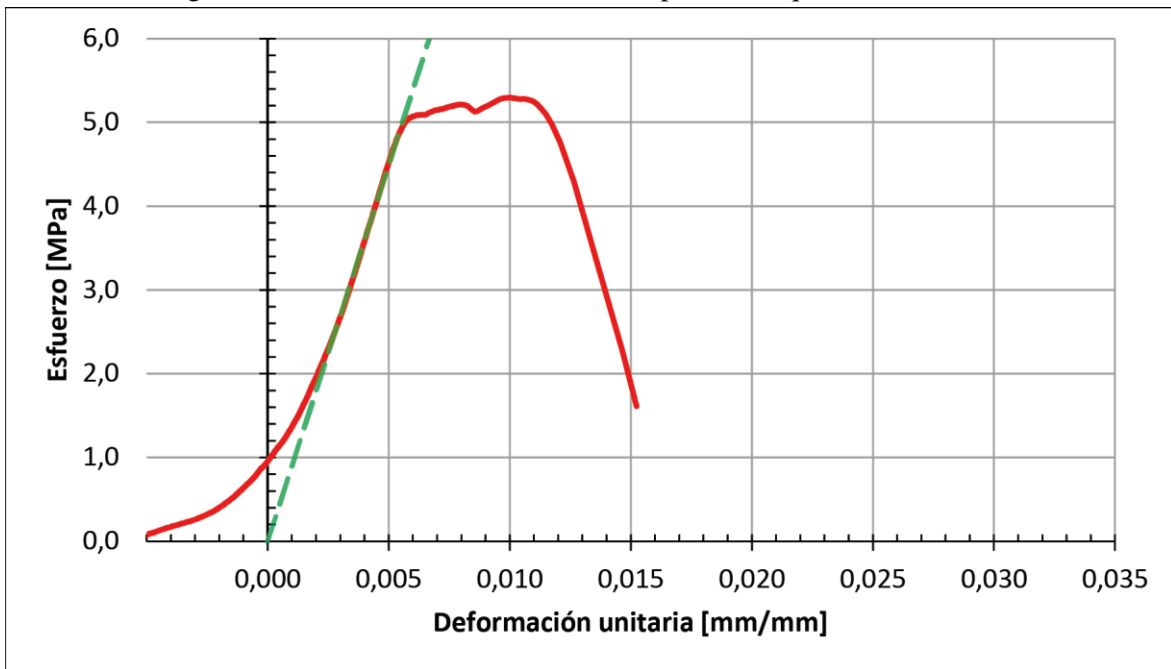
Gráfica 22. Diagrama Esfuerzo – Deformación unitaria para el bloque 24.



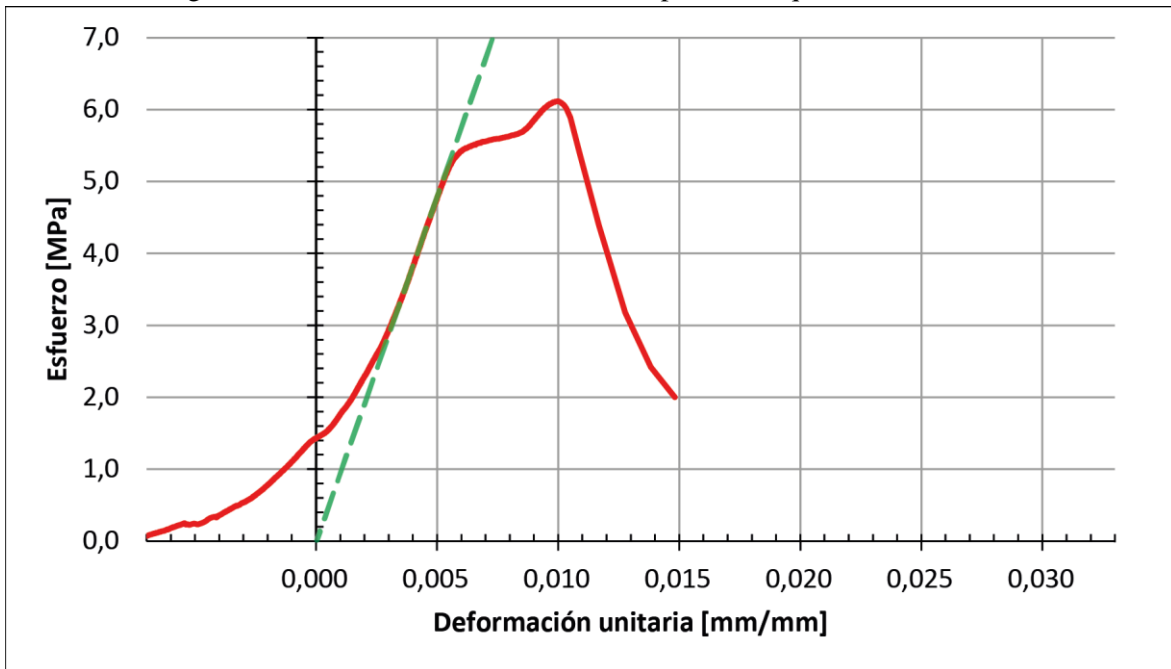
Gráfica 23. Diagrama Esfuerzo – Deformación unitaria para el bloque 31.



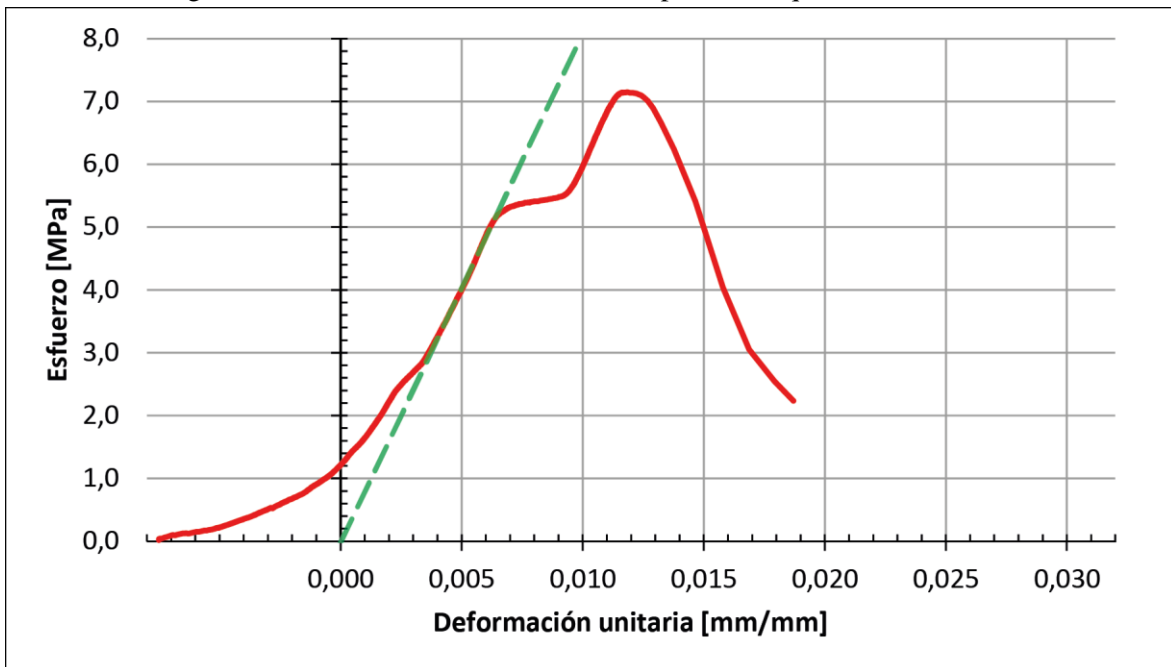
Gráfica 24. Diagrama Esfuerzo – Deformación unitaria para el bloque 32.



Gráfica 25. Diagrama Esfuerzo – Deformación unitaria para el bloque 33.



Gráfica 26. Diagrama Esfuerzo – Deformación unitaria para el bloque 34.



ANEXO IV: Documentación fotográfica referente al modo de falla de los especímenes

Figura 24. Fotografías del modo de falla concerniente a los especímenes de la mezcla 1.

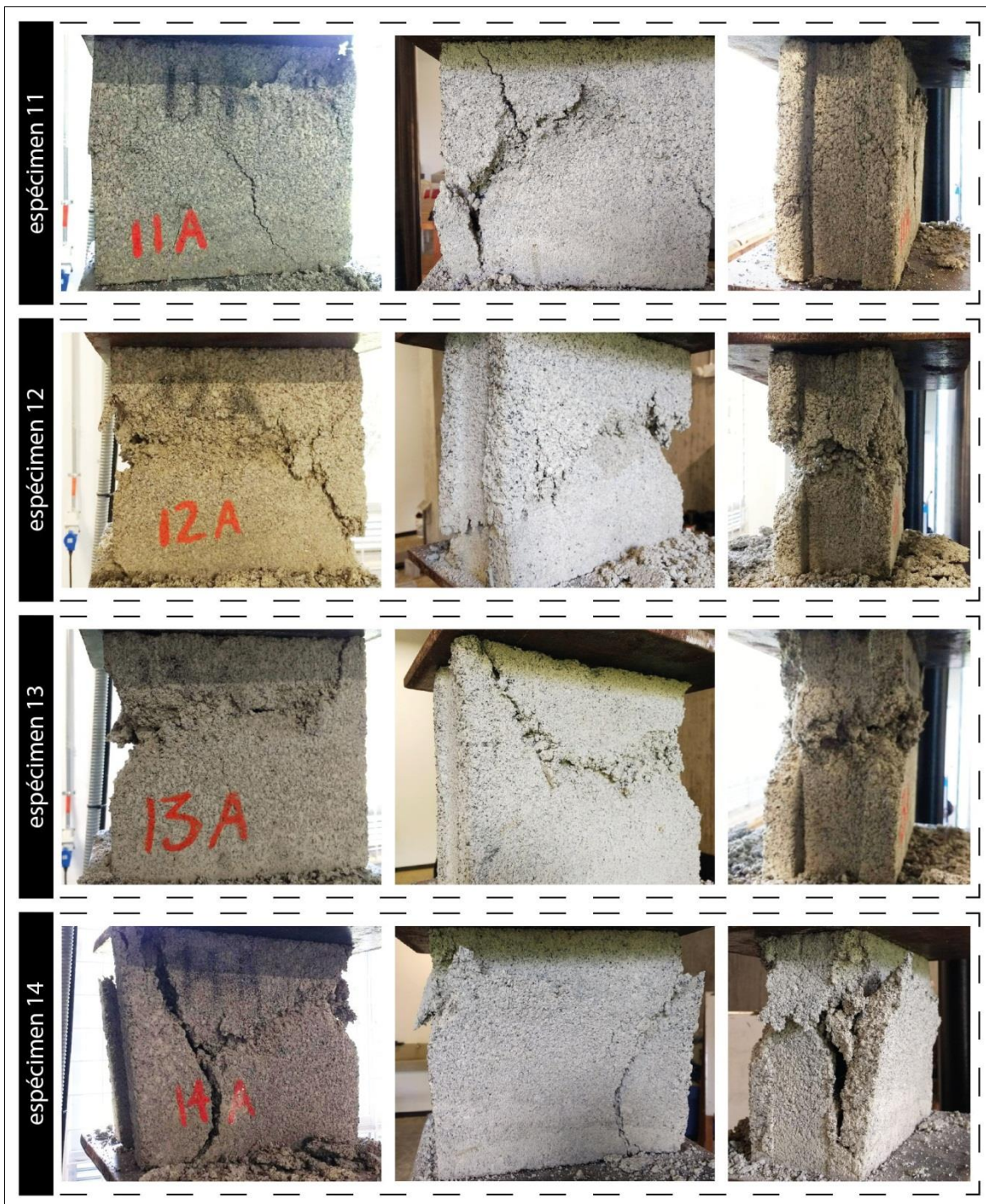


Figura 25. Fotografías del modo de falla concerniente a los especímenes de la mezcla 2.



Figura 26. Fotografías del modo de falla concerniente a los especímenes de la mezcla 3.

