

# Physical and Mechanical Properties of Concrete Pavers with the Addition of Demolition Wastes as a Sustainable Construction Product

Edwin Eduardo Tamayo Carranza, Bachiller<sup>1</sup> , Carlos Mario Fernández Díaz, Doctor<sup>1</sup> , Marco Antonio Cerna Vasquez, Doctor<sup>1</sup> , Segundo Eloy Soto Abanto, Doctor<sup>1</sup> , Elmis Jonatan García Zare, Doctor<sup>1</sup> , Flor Alicia Calvanapón-Alva, Doctora<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Universidad César Vallejo (UCV). Perú, edtamayo@ucvvirtual.edu.pe, cmfernandezd@ucvvirtual.edu.pe, mcernav@ucvvirtual.edu.pe, ssotoa@ucv.edu.pe, ejgarciaz@ucvvirtual.edu.pe, calvanaponfa@ucvvirtual.edu.pe

**Abstract** - The purpose of this research is to evaluate the physical and mechanical properties of concrete pavers with a compressive strength of  $f_c=420$  kg/cm<sup>2</sup> by adding demolition waste. It is an applied research with an experimental design, and the sample consisted of 144 pavers in accordance with the NTP 399.034 standard. It is concluded that the physical and mechanical properties of the concrete pavers with a compressive strength of  $f_c=420$  kg/cm<sup>2</sup> improve by 14%, 18%, and 10% with the addition of 20%, 40%, and 60% of demolition waste, respectively. These pavers can be used for light vehicular traffic pavement.

**Keywords** - Physical and mechanical properties, concrete pavers, compressive strength, demolition waste.

**Identificador de Objeto Digital:**(solo para trabajos completos, insertados por LACCEI).  
**ISSN, ISBN:**(a ser insertado por LACCEI).

# Propiedades físicas y Mecánicas de Adoquines de Concreto Adicionando Residuos de Demolición como un Producto Sustentable para la Construcción

Edwin Eduardo Tamayo Carranza, Bachiller<sup>1</sup> , Carlos Mario Fernández Díaz, Doctor<sup>1</sup> , Marco Antonio Cerna Vasquez, Doctor<sup>1</sup> , Segundo Eloy Soto Abanto, Doctor<sup>1</sup> , Elmis Jonatan García Zare, Doctor<sup>1</sup> , Flor Alicia Calvanapón-Alva, Doctora<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Universidad César Vallejo (UCV). Perú, edtamayo@ucvvirtual.edu.pe, cmfernandezd@ucvvirtual.edu.pe, mcernav@ucvvirtual.edu.pe, ssotoa@ucv.edu.pe, ejgarciaz@ucvvirtual.edu.pe, calvanaponfa@ucvvirtual.edu.pe

**Resumen – Investigación que tiene como finalidad evaluar las propiedades físico y mecánicas de adoquines de concreto  $f'c=420$  kg/cm<sup>2</sup> adicionando residuos de demolición, investigación aplicada, diseño experimental, la muestra fueron 144 adoquines en concordancia con la norma NTP 399.034. Se concluye que las propiedades físico y mecánicas de los adoquines de concreto  $f'c=420$  kg/cm<sup>2</sup>, mejoran con las adiciones de 20%, 40% y 60% de residuos de demolición en 14%, 18% y 10%, respectivamente, y se pueden usar como adoquines para pavimentos de tránsito vehicular ligero.**

**Palabras clave - Propiedades físicas y mecánicas, adoquines de concreto, resistencia a la compresión, residuos de demolición**

## I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento vertiginoso del sector construcción a nivel mundial, registra un crecimiento de 6,6% en el 2022,[1], al mismo tiempo se encontró que los residuos de construcción equivalen a un 30%, por esa razón es que se busca reutilizar algunos materiales de desecho, que serán empleados en la elaboración de adoquines de concreto, que permitan minimizar los costos de producción sin alterar la calidad de las edificaciones [2]. El Organismo de Evaluación y Fiscalización ambiental (OEFA) en el año 2016, muestra la emergencia que vive el estado peruano con respecto a los residuos sólidos y su disposición final en nuestro país, donde más de 3000 toneladas de basura ingresan a diario a los botaderos más críticos en el Perú, que destacan el botadero de El Milagro en la Libertad. La deuda pendiente del Perú con la gestión de la basura se encontró que 54% los derivan a los 67 rellenos sanitarios que hay en el país, y el 45% restante se arrojan a calles, botaderos, quebradas y ríos en todo el litoral del Perú [3].

Concerniente a la elaboración de adoquines adicionando residuos de demolición, los cuales son elaborados rigiéndose a lo establecido en la norma NTP399.611 para tomar en cuenta las características y parámetros que debe cumplir. Es de esa manera que al utilizar dicho agregado se observa que beneficia considerablemente en aspectos ambientales como económicos de los pobladores de la zona, donde el sector construcción requiere de mejores viviendas para mayor durabilidad, se

conoce que el 30% de las edificaciones de nuestro país se realizan en material rústico, que pone en riesgo a la población y su deterioro es a corto plazo [4].

Es por ello que en la presente investigación se ha planteado el siguiente problema: ¿Cuáles son las propiedades físico y mecánicas de adoquines de concreto  $f'c=420$  kg/cm<sup>2</sup> adicionando residuos de demolición?, siendo el objetivo: Evaluar las propiedades físico y mecánicas de adoquines de concreto  $f'c=420$  kg/cm<sup>2</sup> adicionando residuos de demolición, Por último, la hipótesis planteada fue: Las propiedades físico y mecánicas de adoquines de concreto  $f'c=420$  kg/cm<sup>2</sup> se mejoran un 10% al adicionar residuos de demolición.

Existen estudios que investigan el reciclaje y aprovechamiento de residuos de demolición y construcción en agregados de construcción [5] [6] [7] [8].

Con la finalidad de profundizar acerca de las variables del presente estudio, se identifica que residuos de construcción (RC), según el Ministerio de Vivienda y saneamiento, en su Decreto Supremo 003-2013 estipula que los residuos que se generan de los procesos y actividades de rehabilitación, construcción, demolición, remodelación y restauración de infraestructuras y edificaciones. Los RCD se clasifican internacionalmente de acuerdo con la procedencia: Mantenimiento y construcción de obras civiles: metales, arena, grava y asfalto, entre otros. Materiales de demolición: yeso-cal, bloques de hormigón, ladrillos y porcelana. En materiales de excavación, arena, tierra, rocas, grava, entre otros.

Respecto a la Distribución de Refuerzos pueden ser clasificados como: Elementos de albañilería simple o no reforzados, que no tienen refuerzo, o al tenerlos, no cumplen con las especificaciones mínimas que señala la norma que debe contar un elemento reforzado, Los parámetros para fines estructurales, es el diseño estructural donde las unidades de albañilería, cuenta con características que indican la norma E.070. Las propiedades del concreto se tienen: asentamiento del concreto, consistencia o concreto fresco, denominado también revenimiento o slump, mediante el ensayo se puede medir la caída del concreto, a ensayar, de esa forma el ensayo, en el caso de los concretos secos no es adecuado un ensayo para tener hundimiento con una altura menor a 6mm [9].

Concerniente a la variable propiedades mecánicas del concreto, se analizan las características de los diferentes

**Identificador de Objeto Digital:**(solo para trabajos completos, insertados por LACCEI).

**ISSN, ISBN:**(a ser insertado por LACCEI).

elementos que se consideran para la elaboración del concreto. Por lo que se recomienda hacer uso de agregados idóneos para obtener buenos resultados, así como la cantidad de agua determinada y la mejor condición del cemento. Las propiedades mecánicas son: resistencia a la compresión, se le conoce al esfuerzo máximo que se puede exponer el concreto sin llegar a fracturarse. Debido que una de sus principales funciones del concreto está relacionada con su resistencia a los esfuerzos a la compresión, se podría decir, que es su manera de medir su capacidad y calidad de soporte [9].

Respecto a las propiedades físicas del concreto, se analizan la trabajabilidad del concreto, considerando al slump, que se utiliza para establecer cómo se comporta el concreto en su estado fresco. Se aplica 3 capas, colocando veinticinco golpes en cada capa, luego de retirar el cono se pasa a la medición del asentamiento que el concreto manifiesta, de esa manera analizar la diferencia entre la altura del concreto y la altura del molde original [10].

Al diseñar correctamente un concreto, permite la compactación y colocado de la mezcla con mucha facilidad, se requiere que el concreto cumpla con la trabajabilidad necesaria para poder vaciarla sin dificultad. Contar con la cantidad que requiere de agua se rige a las características de los materiales que se aplican en la mezcla, sobre todo las adiciones que se emplea con respecto a las características del cemento. Para casos que se necesite mayor trabajabilidad en la mezcla se aumenta la cantidad del mortero sin adicionar solamente cemento y agua [11]

## II. METODOLOGÍA

Investigación no experimental, aplicada, de enfoque cuantitativo, diseño experimental, La población del proyecto de investigación está conformada por todas las unidades de concreto de  $f'c=420$  kg/cm<sup>2</sup> que se adiciona residuos de construcción en porciones de 20%, 40%, 60%, 80% y 100%. De acuerdo con la NTP 399.611. La muestra está conformada por los adoquines que se detallan a continuación:

TABLA I  
MUESTRAS DE UNIDADES PARA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Tipo de muestra / Edad	7 días	14 días	28 días	Total
Adoquín patrón	5	5	5	15
Adoquín patrón + 20% RCD	5	5	5	15
Adoquín patrón + 40% RCD	5	5	5	15
Adoquín patrón + 60% RCD	5	5	5	15
Adoquín patrón + 80% RCD	5	5	5	15
Adoquín patrón + 100% RCD	5	5	5	15
Cantidad Total de Adoquines				90
Muestras de Unidades				
Tipo de Muestra / Ensayo	Absorción	Color y Text.	Var. Dimens.	Total
Adoquín patrón	3	3	3	9
Adoquín patrón + 20% RCD	3	3	3	9
Adoquín patrón + 40% RCD	3	3	3	9

Adoquín patrón + 60% RCD	3	3	3	9
Adoquín patrón + 80% RCD	3	3	3	9
Adoquín patrón + 100% RCD	3	3	3	9
Cantidad Total de Adoquines	18	18	18	54

Se aplico la observación como técnica y fichas de observación como instrumento para el registro.

TABLA II  
ENSAYOS REALIZADOS A LOS AGREGADOS

Clasificación	Cantidad
Clasificación agregado fino y grueso	1
Gravedad específica y absorción agregado fino y grueso	1
Peso unitario suelto y compactado	1
Diseño de mezcla de concreto $f'c=420$ kg/cm <sup>2</sup>	1

TABLA III  
ENSAYOS REALIZADOS A LOS ADOQUINES

Clasificación	Cantidad
Resistencia a la compresión	90
Variación dimensional	18
Absorción	18
Color y textura	18

Se validaron los resultados por juicio de expertos, ingenieros civiles, todos los procedimientos fueron enfocados en la norma NTP399.611, así como el comité 211 de ACI, y de ASTM, que permitió la evaluación de los aspectos físicos y mecánicos del concreto.

## III. RESULTADOS

Objetivo específico 1: Determinar la influencia de la adición de residuos de demolición en las propiedades físicas de los adoquines de concreto  $f'c=420$  kg/cm<sup>2</sup>.

TABLA IV  
CONTENIDO DE HUMEDAD

Descripción	U.M.	Prueba 1	Prueba 2	Promedio
Peso recipiente	g	107.2	107.3	
Peso recipiente + muestra húmeda	g	1,665.1	1,703.8	
Peso recipiente + muestra seca	g	1,646.0	1,685.0	
Peso muestra húmeda	g	1,557.9	1,596.5	
Peso de muestra seca	g	1,538.8	1,577.7	
Peso de agua	g	19.1	18.8	
<b>Contenido de humedad</b>	<b>%</b>	<b>1.2</b>	<b>1.2</b>	<b>1.2</b>

En la prueba de contenido de humedad se encontró un porcentaje en la prueba 1 y prueba 2 de 1.2% de contenido de humedad. Se identifica también que el valor del peso de la

muestra húmeda varía según cada prueba, en la 1 es de 1,557.9 g, mientras que en la dos se obtiene un valor de 1,596.5 g. De igual manera en el caso del peso en muestra seca, se encuentra una variación, donde en la prueba 1 el valor es de 1,538.8 g y en la prueba 2 de 1,577.7 g.

TABLA V  
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

Descripción	U.M.	Prueba 1	Prueba 2	Promedio
Peso de la muestra secada en horno al aire	Kg	448.2	450.6	
Peso de picnómetro lleno de agua	Kg	1,443.7	1,443.7	
Peso de picnómetro lleno de muestra y agua	Kg	1,718.4	1,720.4	
Peso de la muestra en estado SSS	Kg	457.5	459.8	
<b>Peso específico base seca</b>	<b>g/m<sup>3</sup></b>	<b>2.45</b>	<b>2.46</b>	<b>2.46</b>
Peso específico base SSS	g/m <sup>3</sup>	2.50	2.51	2.51
<b>Absorción</b>	<b>%</b>	<b>2.1</b>	<b>2.0</b>	<b>2.1</b>

Se observa el porcentaje promedio del peso específico (base seca) y absorción de la muestra, encontrando un 2.46 gr/m<sup>3</sup> y un 2.1%, respectivamente.

TABLA VI  
PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO

Descripción	U.M.	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
Peso recipiente+ muestra suelta	Kg	21.720	21.740	21.800	
Peso recipiente + muestra apisonada	Kg	23.660	23.660	23.660	
Peso recipiente	Kg	6.380	6.380	6.380	
Peso de muestra en estado suelto	Kg	15.340	15.360	15.420	
Peso de muestra en estado suelto	Kg	17.280	17.280	17.280	
Volumen de recipiente	m <sup>3</sup>	0.0091	0.0091	0.0091	
Peso unitario suelto	Kg/m <sup>3</sup>	1,686	1,688	1,695	<b>1,690</b>
Peso unitario compactado	Kg/m <sup>3</sup>	1,899	1,899	1,899	<b>1,899</b>

Se observa el peso unitario suelto y compactado donde el valor promedio del peso unitario es 1,690 g, mientras que el promedio del peso compactado es 1,899 g, al adicionar residuos de demolición en la mezcla.

TABLA VII  
GRANULOMETRÍA

Tamiz Estándar	Abert. (mm)	Peso Reten. (g)	% Reten. Parcial	% Reten. Acum.	% Que pasa	Límites (NTP)		Datos de la muestra
						Mím	Max	
3/8"	9.500	2.2	0.2	0.2	99.8	100	100	Características físicas: Cont. De Humedad: 1.2% Módulo de Finura: 2.76
Nº.4	4.750	104.4	10.4	10.6	89.4	95	100	
Nº.8	2.360	161.7	16.2	26.8	73.2	80	100	
Nº.16	1.180	126.0	12.6	39.4	60.6	50	85	
Nº.30	0.600	98.0	9.8	49.2	50.8	25	60	
Nº.50	0.300	97.0	9.7	58.9	41.1	<b>5</b>	<b>30</b>	
Nº.100	0.150	318.9	31.9	90.8	9.2	<b>0</b>	<b>10</b>	
Nº.200	0.075	65.4	6.5	97.3	2.7	<b>0</b>	<b>5</b>	
Fondo	-	26.5	2.6	100	0.0			

Se observa la muestra del ensayo de granulometría, donde la muestra presenta las características físicas en módulo de finura de 2,76 g y un contenido de humedad de 1,2%. El tamiz estándar considerado es desde 3/8" hasta el Nº 200 encontrando valores % que pasa de 99,8% a 2,7%, respectivamente

TABLA VIII  
COLOR Y TEXTURA

Código Identificación	Peso(kg)	DIMENSIONES			Color	Textura
		Longitud(cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)		
059-TEM-A91	2.8625	20.1	10.0	6.3	Gris	Rugosidad leve
059-TEM-A92	2.8794	20.1	10.1	6.3	Gris	Rugosidad leve
059-TEM-A93	2.8930	20.1	10.2	6.2	Gris	Rugosidad leve
<b>ADICIÓN 20%</b>						
059-TEM-A94	2.9041	20.2	10.1	6.3	Gris	Rugosidad leve
059-TEM-A95	2.8999	20.1	10.0	6.3	Gris	Rugosidad leve
059-TEM-A96	2.9012	20.1	10.1	6.3	Gris	Rugosidad leve
<b>ADICIÓN 40%</b>						
059-TEM-A97	2.8121	20.2	10.2	6.0	Gris	Rugosidad media
059-TEM-A98	2.9580	20.2	10.0	6.3	Gris	Rugosidad media
059-TEM-A99	2.9046	20.1	10.2	6.2	Gris	Rugosidad media
<b>ADICIÓN 60%</b>						
059-TEM-A100	2.7559	20.0	10.0	6.3	Gris	Rugosidad alta
059-TEM-A101	2.8143	20.0	10.1	6.3	Gris	Rugosidad alta
059-TEM-A102	2.8030	20.1	10.0	6.3	Gris	Rugosidad alta
<b>ADICIÓN 80%</b>						
059-TEM-A103	2.8033	20.1	10.0	6.3	Gris	Rugosidad muy alta
059-TEM-A104	2.7576	20.0	10.0	6.3	Gris	Rugosidad muy alta
059-TEM-A105	2.7841	20.2	9.8	6.3	Gris	Rugosidad muy alta
<b>ADICIÓN 100%</b>						
059-TEM-A106	2.8263	20.2	10.2	6.3	Gris	Rugosidad muy alta
059-TEM-A107	2.8496	20.2	10.2	6.3	Gris	Rugosidad muy alta
059-TEM-A108	2.8000	20.2	10.2	6.3	Gris	Rugosidad muy alta

Se puede observar las dimensiones, color y textura que presentan las muestras de adoquines según el patrón y la adición de 20%, 40%, 60%, 80% y 100%

Objetivo específico 2: Influencia de la adición de residuos

de demolición en las propiedades mecánicas de los adoquines de concreto  $f'c=420 \text{ kg/cm}^2$ .

TABLA IX

ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – CONCRETO PATRÓN

Código identificación	Edad Ensayo (días)	Longitud (cm)	Ancho (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga máx. (kN)	MPa	(kg /cm <sup>2</sup> )
059-TEM-A01	7	20.2	10.1	204.02	634.83	31	317
059-TEM-A02	7	20.10	10.1	203.01	636.96	31	320
059-TEM-A03	7	20.10	10.1	203.01	627.35	31	315
059-TEM-A04	7	20.30	10.3	209.09	630.36	30	307
059-TEM-A05	7	20.20	10.2	206.04	632.15	31	313
Promedio						31	315
059-TEM-A31	14	20.10	10.1	203.01	815.63	40	410
059-TEM-A32	14	20.20	10.3	208.06	822.24	40	403
059-TEM-A33	14	20.20	10.2	206.04	828.61	40	410
059-TEM-A34	14	20.20	10.2	206.04	819.47	40	406
059-TEM-A35	14	20.10	10.1	203.01	825.12	41	414
Promedio						40	409
059-TEM-A61	28	20.20	10.2	206.04	900.53	44	446
059-TEM-A62	28	20.20	10.3	208.06	887.90	44	435
059-TEM-A63	28	20.10	10.2	205.02	902.10	43	449
059-TEM-A64	28	20.30	10.1	205.03	903.47	44	449
059-TEM-A65	28	20.20	10.2	206.04	892.41	43	442
Promedio						44	444

Se observa que, en el ensayo de 7 días de la resistencia a la compresión en el concreto patrón, se obtuvo un valor promedio de 31 MPa y 315 kg/cm<sup>2</sup>.

TABLA x

ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – 20%

Código identificación	Edad Ensayo (días)	Longitud (cm)	Ancho (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga máx. (kN)	MPa	(kg /cm <sup>2</sup> )
059-TEM-A06	7	19.9	10.1	200.99	707.53	35	359
059-TEM-A07	7	20.20	9.9	200.97	704.38	35	357
059-TEM-A08	7	19.8	10.1	199.98	710.63	36	362
059-TEM-A09	7	20.10	10.2	205.02	702.51	34	349
059-TEM-A10	7	20.10	10.2	205.02	711.12	36	354
Promedio						35	356
059-TEM-A36	14	20.30	10.2	207.06	875.43	42	431
059-TEM-A37	14	20.20	10.3	208.06	881.42	42	432
059-TEM-A38	14	20.10	10.2	205.02	887.16	43	441
059-TEM-A39	14	20.30	10.1	205.03	878.74	43	437
059-TEM-A40	14	20.20	10.1	204.02	881.21	43	440
Promedio						43	436
059-TEM-A66	28	20.30	10.1	205.03	957.26	47	476
059-TEM-A67	28	20.30	10.2	207.06	968.28	47	477
059-TEM-A68	28	20.30	10.3	209.09	973.47	47	475
059-TEM-A69	28	20.20	10.3	208.06	982.59	47	482
059-TEM-A70	28	20.20	10.20	206.04	977.50	47	484
Promedio						47	479

Se observa que en el ensayo de 7 días de la resistencia a la compresión adicionando el 20% de RDC se obtuvo un valor promedio de 35 MPa y 356 kg/cm<sup>2</sup>.

TABLA XI

ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – 40%

Código identificación	Edad Ensayo (días)	Longitud (cm)	Ancho (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga máx (Kn)	MPa	(kg /cm <sup>2</sup> )
059-TEM-A11	7	20.10	10.2	205.02	752.56	37	374
059-TEM-A12	7	20.10	10.1	203.01	759.41	37	381
059-TEM-A13	7	20.10	10.1	203.01	460.74	37	382
059-TEM-A14	7	20.00	9.9	198	755.13	38	389
059-TEM-A15	7	20.20	10.2	206.04	761.01	37	377
Promedio						37	381
059-TEM-A41	14	20.10	10.2	205.02	910.36	44	453
059-TEM-A42	14	20.20	10.1	204.02	921.89	45	461
059-TEM-A43	14	20.00	10.2	204.00	913.01	45	456
059-TEM-A44	14	20.20	10.1	204.22	915.45	45	458
059-TEM-A45	14	20.20	10.0	202.00	923.90	46	466
Promedio						45	459
059-TEM-A71	28	20.25	10.2	206.55	1017.87	49	503
059-TEM-A72	28	20.30	10.2	207.06	999.10	48	492
059-TEM-A73	28	20.25	10.2	206.55	103.56	50	509
059-TEM-A74	28	20.20	10.3	208.06	1018.12	49	499
059-TEM-A75	28	20.30	10.2	207.06	992.34	48	489
Promedio						49	498

Se observa que en el ensayo de 7 días de la resistencia a la compresión adicionando el 40% de RDC se obtuvo un valor promedio de 37 MPa y 381 kg/cm<sup>2</sup>.

TABLA XII

ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – 60%

Código identificación	Edad Ensayo (días)	Longitud (cm)	Ancho (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga máx (kN)	MPa	(kg /cm <sup>2</sup> )
059-TEM-A16	7	20.30	10.1	205.03	674.21	33	335
059-TEM-A17	7	20.10	10.3	207.03	666.63	32	328
059-TEM-A18	7	20.20	10.2	206.04	670.80	33	332
059-TEM-A19	7	20.20	10.2	206.04	665.16	32	329
059-TEM-A20	7	20.10	10.2	205.02	637.49	33	335
Promedio						33	332
059-TEM-A46	14	20.30	10.2	207.06	861.14	42	424
059-TEM-A47	14	20.20	10.2	206.04	854.47	41	423
059-TEM-A48	14	20.10	10.2	205.02	848.35	41	422
059-TEM-A49	14	20.20	10.1	204.02	851.41	42	426
059-TEM-A50	14	20.20	10.1	204.02	855.06	42	427
Promedio						42	424
059-TEM-A76	28	20.20	10.3	208.06	920.54	44	451
059-TEM-A77	28	20.20	10.3	208.06	958.36	46	470
059-TEM-A78	28	20.25	10.2	206.55	935.40	45	452
059-TEM-A79	28	20.30	10.3	209.09	946.84	45	452
059-TEM-A80	28	20.30	10.2	207.06	932.01	45	459
Promedio						45	461

Se observa que en el ensayo de 7 días de la resistencia a la compresión adicionando el 60% de RDC se obtuvo un valor promedio de 33 MPa y 332 kg/cm<sup>2</sup>.

TABLE XIII  
ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – 80%

Código identificación	Edad Ensayo (días)	Longitud (cm)	Ancho (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga máx. (kN)	MPa	(kg /cm <sup>2</sup> )
059-TEM-A21	7	20.20	10.1	204.02	574.85	28	287
059-TEM-A22	7	20.10	10.2	205.02	580.32	28	289
059-TEM-A23	7	20.20	10.2	206.04	586.86	28	290
059-TEM-A24	7	20.10	10.3	207.03	578.43	28	285
059-TEM-A25	7	20.30	10.1	205.03	583.70	28	290
Promedio						28	288
059-TEM-A51	14	20.30	10.3	209.09	775.23	37	278
059-TEM-A52	14	20.20	10.2	206.04	761.41	37	377
059-TEM-A53	14	20.30	10.2	207.06	779.14	38	384
059-TEM-A54	14	20.20	10.3	208.06	760.39	37	873
059-TEM-A55	14	20.30	10.2	207.06	772.47	37	380
Promedio						37	378
059-TEM-A81	28	20.30	10.3	209.09	842.51	40	411
059-TEM-A82	28	20.30	10.3	209.09	827.62	40	404
059-TEM-A83	28	20.25	10.3	208.58	850.26	41	416
059-TEM-A84	28	20.30	10.3	209.09	852.94	41	416
059-TEM-A85	28	20.30	10.2	207.06	820.20	40	404
Promedio						40	410

Se observa que en el ensayo de 7 días de la resistencia a la compresión adicionando el 80% de RDC se obtuvo un valor promedio de 28 MPa y 288 kg/cm<sup>2</sup>.

TABLE XIV  
ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – 100%

Código identificación	Edad Ensayo (días)	Longitud (cm)	Ancho (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga máx. (kN)	MPa	(kg /cm <sup>2</sup> )
059-TEM-A26	7	20.30	10.2	207.06	509.14	25	251
059-TEM-A27	7	20.40	10.3	210.12	502.84	24	244
059-TEM-A28	7	20.30	10.2	207.06	500.41	24	246
059-TEM-A29	7	20.20	10.3	208.06	511.37	25	251
059-TEM-A30	7	20.30	10.1	205.03	501.23	24	249
Promedio						24	248
059-TEM-A56	14	20.30	10.3	209.09	696.03	33	339
059-TEM-A57	14	20.20	10.3	208.06	679.73	33	333
059-TEM-A58	14	20.30	10.2	207.06	675.48	33	333
059-TEM-A59	14	20.30	10.3	209.09	685.65	33	334
059-TEM-A60	14	20.30	10.2	207.06	676.67	33	333
Promedio						33	335
059-TEM-A86	28	20.30	10.3	209.09	725.40	35	354
059-TEM-A87	28	20.30	10.2	207.06	762.51	37	376
059-TEM-A88	28	20.30	10.3	209.09	750.10	36	366
059-TEM-A89	28	20.30	10.3	209.09	733.20	35	358
059-TEM-A90	28	20.30	10.2	207.06	740.18	36	365
Promedio						36	363

Se observa que en el ensayo de 7 días de la resistencia a la compresión adicionando el 100% de RDC se obtuvo un valor promedio de 24 MPa y 248 kg/cm<sup>2</sup>.

TABLE XV  
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ENSAYO 7 DÍAS SEGÚN % DE ADICIÓN

% adición	Edad Ensayo (días)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )
Patrón	7	31	315
20%	7	35	356
40%	7	37	381
60%	7	33	332
80%	7	28	288
100%	7	24	248

TABLE XVI  
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ENSAYO 14 DÍAS SEGÚN % DE ADICIÓN

% adición	Edad Ensayo (días)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )
Patrón	14	40	409
20%	14	43	436
40%	14	45	459
60%	14	42	424
80%	14	37	378
100%	14	33	335

TABLE XVII  
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ENSAYO 28 DÍAS SEGÚN % DE ADICIÓN

% adición	Edad Ensayo (días)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )
Patrón	28	44	444
20%	28	47	479
40%	28	49	498
60%	28	45	161
80%	28	40	410
100%	28	36	363

Objetivo específico 3: Determinar la dosificación para la elaboración de la mezcla de adoquines de concreto f<sup>c</sup>=420 kg/cm<sup>2</sup> adicionando residuos de demolición.

TABLE XVIII  
TABLA DE DOSIFICACIÓN PATRÓN (0%)

	Peso Húmedo (kg/m <sup>3</sup> )	Tanda (m <sup>3</sup> )
		<b>0.023</b>
Cemento	598	13.75 kg
Agua	223	5.12 kg
Agregado fino	445	10.24 kg
Agregado grueso	980	22.53 kg
.	0.00	0.000 kg
.	0.00	0.000 kg
Aire	-	-
	<b>2245</b>	<b>51.64 kg.</b>

Se observa el diseño de la mezcla patrón, considerando una tanda de 0.023 m<sup>3</sup>, que se calcula del volumen del adoquín con un total de 51.64kg para la elaboración de 18 adoquines.

TABLA XIX  
TABLA DE DOSIFICACIÓN PATRÓN (20%)

	Peso Húmedo (kg/m <sup>3</sup> )	Tanda (m <sup>3</sup> )
		0.019
Cemento	598	11.36 kg
Agua	223	4.23 kg
Agregado fino	445	8.46 kg
Agregado grueso	980	18.61 kg
.	0.00	0.000 kg
.	0.00	0.000 kg
Aire	-	-
	2245	42.66 kg

Se observa el diseño de la mezcla adicionando 20% de RCD, con una tanda de 0.019 m<sup>3</sup>, dando un total de 42.66 kg con la adición de RCD de 8.53 kg para la elaboración de 18 adoquines.

TABLA XX  
TABLA DE DOSIFICACIÓN PATRÓN (40%)

	Peso Húmedo (kg/m <sup>3</sup> )	Tanda (m <sup>3</sup> )
		0.017
Cemento	598	9.87 kg
Agua	223	3.67 kg
Agregado fino	445	7.34 kg
Agregado grueso	980	16.16 kg
.	0.00	0.000 kg
.	0.00	0.000 kg
Aire	-	-
	2245	37.05 kg

Se observa el diseño de la mezcla adicionando 40% de RCD, con una tanda de 0.017 m<sup>3</sup>, dando un total de 37.05 kg. con la adición de RCD de 14.05kg. para la elaboración de 18 adoquines.

TABLA XXI  
TABLA DE DOSIFICACIÓN PATRÓN (60%)

	Peso Húmedo (kg/m <sup>3</sup> )	Tanda (m <sup>3</sup> )
		0.014
Cemento	598	8.61 kg
Agua	223	3.31 kg
Agregado fino	445	6.41 kg
Agregado grueso	980	14.11 kg
.	0.00	0.000 kg
.	0.00	0.000 kg
Aire	-	-
	2245	32.33 kg

Se observa el diseño de la mezcla adicionando 60% de RCD, con una tanda de 0.014 m<sup>3</sup>, dando un total de 32.33 kg.

con la adición de RCD de 19.45 kg. para la elaboración de 18 adoquines.

TABLA XXII  
TABLA DE DOSIFICACIÓN PATRÓN (80%)

	Peso Húmedo (kg/m <sup>3</sup> )	Tanda (m <sup>3</sup> )
		0.013
Cemento	598	7.65 kg
Agua	223	2.85 kg
Agregado fino	445	5.70 kg
Agregado grueso	980	12.54 kg
.	0.00	0.000 kg
.	0.00	0.000 kg
Aire	-	-
	2245	28.74 kg

Se observa el diseño de la mezcla adicionando 80% de RCD, con una tanda de 0.013 m<sup>3</sup>, dando un total de 28.74 kg. con la adición de RCD de 22.99 kg. para la elaboración de 18 adoquines.

TABLA XXIII  
TABLA DE DOSIFICACIÓN PATRÓN (100%)

	Peso Húmedo (kg/m <sup>3</sup> )	Tanda (m <sup>3</sup> )
		0.013
Cemento	598	6.68 kg
Agua	223	2.56 kg
Agregado fino	445	5.12 kg
Agregado grueso	980	11.26 kg
.	0.00	0.000 kg
.	0.00	0.000 kg
Aire	-	-
	2245	25.83 kg

Se observa el diseño de la mezcla adicionando 100% de RCD, con una tanda de 0.012 m<sup>3</sup>, dando un total de 25.82 kg. con la adición de RCD de 25.82 kg. para la elaboración de 18 adoquines.

#### IV. DISCUSIÓN

En la presente investigación se planteó como objetivo general, evaluar las propiedades físico y mecánicas de adoquines de concreto  $f'c=420$  kg/cm<sup>2</sup> adicionando residuos de demolición, La Esperanza – 2022. Se encuentra la similitud con la teoría presentada por Inocente (2020), donde sus resultados de las propiedades físicas y mecánicas de los adoquines de concreto al adicionar material reciclado en diversas dosificaciones de 20% y 40% cumplen con la norma, ITINTEC 399.124 y NTP 399.611, los valores obtenidos para la resistencia a la compresión fueron de 344,69 kg/cm<sup>2</sup> y 268,24% kg/cm<sup>2</sup> para los porcentajes de 40 y 20% respectivamente, así como una resistencia a la flexión de 58,27kg/cm<sup>2</sup> y de 63,75 kg/cm<sup>2</sup> para dichas dosificaciones. Sin embargo, en la adición de 60% existe una discrepancia pues en su estudio no se cumplen con los valores estimados de la muestra patrón. Los resultados identificados sobre las

propiedades físico y mecánicas de los adoquines de concreto  $f'c=420$  kg/cm<sup>2</sup>, mejoran significativamente en las adiciones de 20%, 40% y 60% de residuos de demolición. Dicho análisis confirma que los porcentajes más recomendados para la adición de residuos de demolición son de 20% y 40%.

Respecto al primer objetivo específico, determinar la influencia de la adición de residuos de demolición en las propiedades físicas de los adoquines de concreto  $f'c=420$  kg/cm<sup>2</sup>. Se identificó similitud en las pruebas presentadas en la de Espinoza (2022), los resultados obtenidos con dosificaciones de 10% 20% y 30% siendo los de 43% las pruebas con los estándares según la norma, donde su prueba de granulometría tiene similitud con la muestra patrón, su contenido de humedad presenta un resultado mayor en ambos ensayos con un valor de 1,56%, un peso específico de 2131 kg/m<sup>3</sup>, con una absorción de 2.69 %. Un peso unitario promedio de 1153.03 kg/m<sup>3</sup>. Y, sobre el peso compactado promedio de 1492.01 kg/m<sup>3</sup>. Se observa que diferencia en los resultados para los ensayos, sin embargo, están dentro del rango permitido por la norma. Los resultados encontrados en el presente estudio, según la prueba de contenido de humedad, se obtiene un 1,2%. El promedio de su peso específico es de 2,46 gr/m<sup>3</sup> y de 2,1% de absorción de la muestra. El peso unitario promedio es de 1,690 g, mientras que el promedio del peso compactado es 1,899 g. En la prueba de granulometría presenta un módulo de finura de 2,76 g y un contenido de humedad de 1,2%. Su tamiz estándar considerado es desde 3/8" hasta el N° 200 obteniendo valores % que pasa de 99,8% a 2,7% respectivamente.

Para el segundo objetivo específico, determinar la influencia de la adición de residuos de demolición en las propiedades mecánicas de los adoquines de concreto  $f'c=420$  kg/cm<sup>2</sup>. Se identificó la concordancia con los resultados de la teoría presentada por Ceballos, González y Sánchez (2021), teniendo como resultados un 3,52%; 1608,21 kg m<sup>-3</sup>; 3,5 MPa (7 días), en las pruebas de resistencia a la compresión se tuvo un valor promedio de 5,4% a los 28 días; se encontró un valor promedio de  $M_r$  con un intervalo del 70% que cumplen con los estándares de la norma. Así mismo, se concluyó que se obtienen agregados utilizando la técnica de trituración de escombros cuentan con buen desempeño en adoquines. Donde los resultados encontrados en el ensayo a la resistencia a la compresión a los 7 días, se obtuvo que el promedio en la muestra patrón es de 31 Mpa y 315 kg/cm<sup>2</sup>. Donde las adiciones de 20% (35 Mpa y 356 kg/cm<sup>2</sup>), 40% (37 Mpa y 381kg/cm<sup>2</sup>) y 60% (33 Mpa y 332 kg/cm<sup>2</sup>) alcanzaron valores mayores al patrón. Mientras que los porcentajes de 80% (28 Mpa y 288 kg/cm<sup>2</sup>) y 100% (24 Mpa y 248 kg/cm<sup>2</sup>) no se encuentran en el rango estimado.

Para el segundo objetivo específico, determinar la influencia de la adición de residuos de demolición en las propiedades mecánicas de los adoquines de concreto  $f'c=420$  kg/cm<sup>2</sup>. Se encontró la semejanza con la teoría presentada por **Barriga (2019)**, donde sus resultados al adicionar residuos de demolición y de construcción se obtuvo un resultado en el ensayo de resistencia a la compresión en rangos de 290 y 310

kg/cm<sup>2</sup> para las dosificaciones de 1%, 1,75% y 2,17%. La prueba de agregado fino adicionando residuos de demolición y de construcción se obtiene un favor de  $f'c$  de 300 kg/cm<sup>2</sup>. Se concluye que la utilización de residuos de demolición y de construcción favorecen en un 4% respecto a la muestra patrón, así mismo se reduce la contaminación de materiales peligrosos en un 12,67%. Los resultados del ensayo a la resistencia a la compresión a los 14 días, se obtuvo que el promedio en la muestra patrón es de 40 Mpa y 409 kg/cm<sup>2</sup>. Donde las adiciones de 20% (43 Mpa y 436 kg/cm<sup>2</sup>), 40% (45 Mpa y 459kg/cm<sup>2</sup>) y 60% (42 Mpa y 424 kg/cm<sup>2</sup>) alcanzaron valores mayores al patrón. Mientras que los porcentajes de 80% (37 Mpa y 378 kg/cm<sup>2</sup>) y 100% (33 Mpa y 335 kg/cm<sup>2</sup>) no se encuentran en el rango estimado.

Para el segundo objetivo específico, determinar la influencia de la adición de residuos de demolición en las propiedades mecánicas de los adoquines de concreto  $f'c=420$  kg/cm<sup>2</sup>. Se identifica la semejanza en la teoría de **Cuenca y Sepúlveda (2021)**, donde los resultados arrojan el mayor porcentaje de resistencia un valor de 62,3%, en el ensayo a la resistencia a la compresión en probetas cilíndricas de residuos de demolición y construcción logró un parámetro de 210 kg/cm<sup>2</sup> en el periodo de 7, 14 y 28 días según la norma INVE – 410 – 13, luego de la prueba de 28 días se presenta una resistencia mayor de 130,87 kgf/cm<sup>2</sup>. Los resultados del ensayo a la resistencia a la compresión a los 28 días, se obtuvo que el promedio en la muestra patrón es de 44 Mpa y 444 kg/cm<sup>2</sup>. Donde las adiciones de 20% (47 Mpa y 479 kg/cm<sup>2</sup>), 40% (49 Mpa y 498kg/cm<sup>2</sup>) y 60% (45 Mpa y 461 kg/cm<sup>2</sup>) alcanzaron valores mayores al patrón. Mientras que los porcentajes de 80% (40 Mpa y 410 kg/cm<sup>2</sup>) y 100% (28 Mpa y 363 kg/cm<sup>2</sup>) no se encuentran en el rango estimado.

Finalmente, para el tercer objetivo específico, determinar la dosificación para la elaboración de la mezcla de adoquines de concreto  $f'c=420$  kg/cm<sup>2</sup> adicionando residuos de demolición. Se relaciona con la teoría de [14] como resultados se encontró que al adicionar agregado fino se obtiene una mezcla que obtiene un 32,2% de matriz cementante y un 9,1% de fragmentos, arrojando un valor total de 41,3%. Como resultados se consideró la dosificación en la muestra patrón los insumos de cemento, agua, agregado fino y grueso con un total de 51,64 kg para 18 adoquines. A la adición de 20% se adicionó 8,53 kg del total, para 40% se adicionó 14,82% del total, para 60% se adicionó 19,40 kg del total, para 80% se adicionó 22,99 kg del total y para 100% se adicionó 25,82% del total en la dosificación de los adoquines de concreto.

## V. CONCLUSIONES

Las propiedades físico y mecánicas de los adoquines de concreto  $f'c=420$  kg/cm<sup>2</sup>, mejoran significativamente en las adiciones de 20%, 40% y 60% de residuos de demolición.

La influencia de la adición de residuos de demolición en las propiedades físicas de los adoquines de concreto  $f'c=420$  kg/cm<sup>2</sup>, según su prueba de contenido de humedad se obtiene

un 1,2%. El promedio de su peso específico es de 2,46 g/cm<sup>3</sup> y de 2,1% de absorción de la muestra. El peso unitario promedio es de 1,690 g, mientras que el promedio del peso compactado es 1,899g. En la prueba de granulometría presenta un módulo de finura de 2,76 g y un contenido de humedad de 1,2%. Su tamiz estándar considerado es desde 3/8” hasta el N° 200 obteniendo valores % que pasa de 99,8% a 2,7% respectivamente.

La influencia de la adición de residuos de demolición en las propiedades mecánicas en el ensayo a la resistencia a la compresión a los 7 días los valores que están por encima de la muestra patrón son: las adiciones de 20% (35 Mpa y 356 kg/cm<sup>2</sup>), 40% (37 Mpa y 381kg/cm<sup>2</sup>) y 60% (33 Mpa y 332 kg/cm<sup>2</sup>). En el ensayo de 14 días se arrojó valores de: en las adiciones de 20% (43 Mpa y 436 kg/cm<sup>2</sup>), 40% (45 Mpa y 459kg/cm<sup>2</sup>) y 60% (42 Mpa y 424 kg/cm<sup>2</sup>). Y, por último, en los ensayos de 28 días se obtuvo los valores de: en las adiciones de 20% (47 Mpa y 479 kg/cm<sup>2</sup>), 40% (49 Mpa y 498kg/cm<sup>2</sup>) y 60% (45 Mpa y 461 kg/cm<sup>2</sup>).

Para la elaboración de la mezcla de adoquines de concreto  $f'c=420$  kg/cm<sup>2</sup> adicionando residuos de demolición se consideró la dosificación en la muestra patrón los insumos de cemento, agua, agregado fino y grueso con un total de 51,64 kg para 18 adoquines. A la adición de 20% se adicionó 8,53 kg del total, para 40% se adicionó 14,82% del total, para 60% se adicionó 19,40 kg del total, para 80% se adicionó 22,99 kg del total y para 100% se adicionó 25,82% del total en la dosificación de los adoquines de concreto.

## REFERENCIAS

[1] Palomera Obregón P. Influencia de las plantas de tratamiento de los residuos de construcción y demolición en las propiedades del árido reciclado. [para obtener título: Universidad de Cantabria]. <http://hdl.handle.net/10902/22638>. 2021.

[2] Gaggino R., Positieri M., Kreiker J., Sanche Amono M. P., Arguello R. y Baronetto J. C. Tejas elaboradas en base a residuos. un producto innovador y sustentable para la construcción. <https://hdl.handle.net/20.500.13048/1156>. 2021.

[3]. La deuda pendiente de Perú con la gestión de la basura, apenas se recupera el 1% de los desechos. [en línea] Diario Gestión. 15 de octubre 2021. [Fecha de consulta: 8 de setiembre 2022]. <https://gestion.pe/peru/la-deuda-pendiente-de-peru-con-la-gestion-de-la-basura- apenas-se-recupera-el-1-de-los-desechos-noticia/?msckid=c75e92d0cfc511eca4f5388c54437917>. 2021

[4]. El Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). “PERÚ: Características de las viviendas particulares y los hogares - Acceso a Servicios Básicos”. <https://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/en-el-pais-existen-mas-de-diez-millones-de-viviendas-particulares-censadas-10893/>. 2017.

[5]. Ceballos S.; González D.; y Sánchez, J. Reciclaje de Residuos de Construcción y Demolición (RC&D) Generados en la Universidad del Valle Sede Meléndez para la Fabricación de Adoquines. Revista Ion, 2021, vol. 34, no 1, pp. 27-35. 2021.

[6]. Ceballos S., González D., y Sánchez J. Reciclaje de Residuos de Construcción y Demolición (RC&D) Generados en la Universidad del Valle Sede Meléndez para la Fabricación de Adoquines. Revista Ion, vol. 34, no 1, p. 27-35. 2021.

[7]. Cuenca K., Sepúlveda X. Elaboración de probetas a base de RCD de laboratorio de concreto para adoquines peatonales en el Municipio de

Girardot, Cundinamarca. [Tesis Doctoral. Corporación Universitaria Minuto de Dios]. 2021.

[8]. Inocente R. Propiedades físicas y mecánicas de adoquines de concreto con la adición de material reciclado de construcción, Los Olivos. 2020.

[9] American Society For Testing And Materials, (ASTM) C 39. Método del ensayo normalizado para Resistencia a la Compresión de especímenes cilíndricos de concreto.

[10]. Oré Torre, J. Manual de Preparación, Colocación y Cuidados del Concreto (1era ed.). Lima, Perú: Cartolan Editores SRL. 2014.

[11]. Chinchayhuara Verde, C. Adición de fibras de agave para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto de 210 kg/cm<sup>2</sup>, La Libertad – 2020 <https://hdl.handle.net/20.500.12692/56890>. 2020.

[12]. Barriga, R. Aprovechamiento de residuos de construcción y demolición para la elaboración de adoquines tipo I en la ciudad de Chiclayo. 2019. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/43648>

[13]. Cuenca, K. y sepúlveda, X. Elaboración de probetas a base de RCD de laboratorio de concreto para adoquines peatonales en el Municipio de Girardot, Cundinamarca. 2021. Tesis Doctoral. Corporación Universitaria Minuto de Dios. <https://hdl.handle.net/10656/13632>

[14]. Mejía, C. et al. Evaluación técnica del potencial cementante de arcillas provenientes de los residuos de la construcción y la demolición. *Tecnológicas*, 2021, vol. 24, no 52, p. 84-109. Instituto Tecnológico Metropolitano, Colombia Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=344268257006>. DOI: <https://doi.org/10.22430/22565337.2038>

[15] Tamayo, E. Análisis de las propiedades físicas y mecánicas de adoquines de concreto adicionando residuos de demolición, La Esperanza – 2022. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/112527>