

Reutilización de plástico pet, papel y bagazo de caña de azúcar, como materia prima en la elaboración de concreto ecológico para la construcción de viviendas de bajo costo

Reuse of pet plastic, paper, and sugarcane bagasse, as raw material in the preparation of ecological concrete for the construction of low-cost housing.

Jorge Wilmer Elías Silupu¹
Julio Cesar Sichez Muñoz²
Cesar Alberto Reyna Pari³

Recibido: 04 de enero de 2019
Aceptado: 20 de enero de 2019

RESUMEN

En la presente investigación se logró determinar los resultados de reutilizar los residuos de plástico pet, papel y bagazo de caña de azúcar como materia prima en la elaboración de concreto ecológico para la construcción de viviendas de bajo costo. Se utilizó como materia prima, para el diseño de mezclas, el cemento portland extra fuerte, gravilla de 1/2", arena gruesa y los residuos de plástico pet, papel y bagazo de caña de azúcar, estos residuos sustituyeron a la arena gruesa en los porcentajes en peso de 5%, 10% y 20% respectivamente.

Se elaboraron probetas de concreto simple y concreto conteniendo los residuos antes mencionados según la Norma Técnica Peruana 339.033, luego se realizó el ensayo de compresión a las probetas, después de 28 días de curado, según la Norma ASTM C39, con lo cual se pudo determinar que el concreto conteniendo 5% de plástico PET presentó la mejor resistencia a la compresión. También se determinó que conforme se aumenta el contenido de los residuos en el concreto su resistencia a la compresión disminuye. Finalmente, se comparó el costo unitario del concreto simple y el concreto conteniendo plástico PET, concluyéndose que efectivamente hay un ahorro con la incorporación de plástico PET en el concreto.

Palabras clave: Reutilización, Concreto Ecológico, Materia Prima, Probeta, Residuo.

1 Docente Universitario de la Facultad de Ciencias Agropecuarias. U.N.T. Ing. Químico de la U.N.T - Doctor en Ingeniería Ambiental - Egresado de la Universidad Nacional de Trujillo. jelias_s@hotmail.es

2 Director de Calidad Educativa Universitaria de la Facultad de Ingeniería. U.N.A.J.M.A. Ing. Químico de la U.N.T- Doctor en Ingeniería Química Ambiental- Egresado de la Universidad Nacional de Trujillo. jusichez@hotmail.com

3 Responsable del Area de Gestión del Riesgo de Desastre - M.P.H. Ing. Civil de la U.C.V - Maestro en Ingeniería Ambiental - Egresado de la Universidad Nacional de Trujillo. reynaparry@hotmail.com

ABSTRACT

In the present research was determined the results of reusing the PET plastic, paper and sugarcane bagasse waste as raw material in the manufacture of concrete ecological for the cheapest house building.

For mix design, the extra forte Portland cement, gravel 1/2", coarse sand and the PET plastic, paper and sugarcane bagasse waste were used as raw material, these wastes replaced to the coarse sand in weight percentages of 5%, 10% and 20% respectively. Specimens of simple concrete and concrete containing the waste were developed according to the Technical Peruvian Standard 339.033, then the compression test was performed to specimens, after 28 days of curing, according to Technical Standard ASTM C39, it was determined the concrete containing 5% PET plastic showed the best resistance to compression. It was also determined that as the content of the waste increase in the concrete then compressive strength decreases.

Finally, the unit cost of simple concrete and concrete containing plastic PET was compared, concluding that incorporating PET plastic in concrete result in the reduction of house building cost.

Keywords: Reuse, Ecological Concrete, Raw Material, Test Tube, Residue.

INTRODUCCIÓN

Son tiempos en los que todo lo que se realiza se hace pensando en el medio ambiente. Es conocida la situación actual del planeta, se sabe que poco a poco con las acciones que se llevan a cabo y el uso desmedido de los recursos naturales para beneficio de la humanidad, ha degradado el planeta.

Los impresionantes cambios climáticos y los ya cada vez más devastadores fenómenos naturales han hecho que se tome conciencia, más bien generada por el miedo, y se está tratando de contrarrestar y remediar el daño hecho desde hace miles de años. En la actualidad se han tomado medidas como el reciclaje, reúso, y sustitución de materias primas naturales, por otras que no afectan las condiciones terrestres.

Otra realidad que no podemos ocultar es el desmedido crecimiento de la población mundial, y, por ende, la creciente urbanización. Esto aparte de estar acabando con las zonas naturales, genera un gran consumo de materia prima para la construcción de los medios urbanos. A lo largo de la historia se han utilizado muchos elementos para construir; desde las rocas, lodo, y muchos productos que con errores y aciertos se han ido probando. Actualmente el concreto es el material más usado.

Debido a la gran demanda de materiales para la construcción de buena calidad, se busca por medio de este trabajo de investigación incorporar el uso de residuos sólidos como el plástico, papel y fibras de bagazo de caña en las mezclas de concreto simple sustituyendo completamente o en parte al agregado grueso, grava, para proporcionarle propiedades similares a las de cualquier concreto simple y tratar de mejorarlas en algunos aspectos. De esta manera se estaría cuidando el medio ambiente, aplicando el concepto de desarrollo sostenible aunado a esto, se busca que los materiales obtenidos cumplan con los requisitos de calidad y durabilidad que requiere la sociedad.

A continuación, se mencionan los antecedentes bibliográficos relacionados con esta tesis y que han ayudado al desarrollo de esta:

Las actividades de la construcción son grandes contribuyentes a la degradación del medio ambiente, más que los automóviles y otras actividades contaminantes de renombre, pero los constructores en los últimos años han hecho grandes avances en la reducción del impacto ambiental del proceso de construcción. En el contexto de un creciente interés hacia el reciclado de materiales innovadores y edificios sostenibles, especial atención está recibiendo

la experimentación y el estudio del concreto reforzado con agregados y/o fibras obtenidas a partir de plástico, vidrio, celulosa y desechos de caucho. (Fraternali et al, 2011)

Varios materiales de desecho, como por ejemplo los plásticos reciclados, vidrio, celulosa, cordones de neumáticos y fibras de madera y alfombras, exhiben una versatilidad extrema, peso ligero, durabilidad, resistencia a los productos químicos, excelentes propiedades de aislamiento térmico y eléctrico. Estas propiedades pueden ser explotadas de manera útil para la fabricación de materiales compuestos innovadores y sostenibles. Especialmente relevante es el caso del concreto reforzado con fibras hechas de materiales reciclados, que se presenta como una técnica de refuerzo de bajo costo capaz de mejorar la resistencia a la tracción, ductilidad estructural y aislante termo - eléctrica de la matriz de concreto. (Fraternali et al, 2011)

La mayoría de las botellas de PET utilizadas como envases de bebidas se convierten en residuos después de su uso, causando problemas ambientales. Para abordar esta cuestión, se presenta un método para reciclar botellas de PET desechados, en el que las fibras cortas hechas de PET reciclado se utilizan dentro del concreto estructural. Para comprobar la capacidad de rendimiento del concreto armado reforzado con fibra de PET reciclado, fue comparado con el concreto reforzado con fibra de polipropileno (PP) para fracciones de volumen de fibra de 0,5%, 0,75% y 1,0%. (Bae et al, 2010)

El concreto reforzado con fibras es un material compuesto resultante de la adición de fibras de refuerzo a la matriz frágil del concreto ordinario. La idea de usar un refuerzo de fibra proviene de la necesidad de encontrar un remedio a los fenómenos de craqueo, tales como los producidos por la contracción, lo que afecta, inevitablemente, la vida de servicio de edificios de concreto. El concreto es un material que es bien resistente a la compresión, pero tiene baja resistencia a la tracción. El bajo nivel de resistencia a la tracción es causado por fenómenos como la contracción plástica y/o hidráulica con la formación de micro y macro grietas no deseadas. (Foti, 2011, p.1906)

El consumo de diversos tipos de plásticos es una cuestión desafiante para la protección del medio ambiente. Todas las formas de los plásticos consumidos son convertidas en residuos y requieren grandes extensiones de tierra para el almacenamiento debido a que varias toneladas

de residuos plásticos no pueden reciclarse por completo a la vez. La baja biodegradabilidad de plástico y la presencia en grandes cantidades de residuos plásticos son un impacto negativo en el medio ambiente. Previamente, se realizaron varios estudios para identificar métodos seguros y amigables con el medio ambiente para la eliminación de los plásticos. Recientemente, varias clases de plásticos se han incorporado en el concreto para evitar el contacto directo de los plásticos con el medio ambiente porque el concreto tiene una vida de servicio más larga. Sin embargo, este método no es un método dominante para la eliminación de los residuos de plástico. (Sharma y Pal, 2015, p.473)

Hemos desarrollado un método para producir fibra de PET reciclado para ser utilizado como refuerzo en el concreto. Una prueba de la mezcla fue conducida mezclando concreto con la fibra de PET producidas; el concreto y las fibras de PET se mezclan fácilmente. Es interesante observar que las fibras PET se mezclan fácilmente con el concreto, incluso cuando el contenido volumétrico de las fibras de PET se aumentó gradualmente hasta 3%. Como es evidente a partir de este resultado, la característica principal del concreto reforzado con fibra de PET es que es fácil de manejar. (Ochi et al, 2007, p.455)

Este trabajo presenta un estudio sobre el uso potencial de parte de caucho residual de neumáticos y partículas de PET para producir concreto sostenible. Con el fin de averiguar la viabilidad del concreto en medio ácido, investigaciones de laboratorio en términos de carga de trituración, masa y velocidad de onda ultrasónica del concreto con caucho de neumáticos (TRC) y el concreto PET con caucho de neumáticos (TRPC) fueron conducidos y evaluados por el Método Taguchi. Después, los resultados se compararon con el concreto normal (NC) y el concreto normal con PET (NPC). 5, 10, y 15 por ciento de las partículas de PET con el 15 por ciento de caucho de neumáticos se sustituyeron los áridos naturales con el objetivo de reducir el consumo de recursos naturales vírgenes y la eliminación de desechos en un enfoque seguro, eficaz y respetuoso del medio ambiente. (Rahimi et al, 2016, p.166)

El presente estudio fue un intento de investigar los efectos de la adición de partículas de residuos de plástico en las propiedades ingenieriles del concreto. Con este fin, se adoptó un diseño de mezcla del concreto en el que las cantidades basadas en el peso pre-definidas de los agregados finos del concreto fueron reemplazadas por

fragmentos de residuos equiva-lentes. En todas las mezclas, la cantidad de agregado grueso (grava) y la relación agua-cemento se mantuvo constante. Los resultados de las pruebas de laboratorio mostraron que los fragmentos de plástico agregados cambiaron las propiedades físicas y las relacionadas con la resistencia del concreto producido. Más específicamente, las propiedades físicas (la densidad y la velocidad ultrasónica, por ejemplo) disminuyó gradualmente a medida que la presencia de proporciones de fragmentos de plástico aumento. Por otro lado, la resistencia a la compresión, tracción y flexión de las muestras subió, cuando el 5-10% de los agregados finos del concreto fueron reemplazados por el mismo porcentaje de fragmentos de tereftala-to de polietileno (PET). (Mahyar et al, 2016, p.55)

Las ventajas de utilizar los desechos son de dos tipos: en primer lugar, el uso de los recursos naturales vírgenes se reduce, y, en segundo lugar, los residuos están siendo eliminados de una manera segura, eficaz y respetuosa con el medio ambiente. Esta solución ventajosa ha inspirado un volumen impresionante de la investigación y su desarrollo. El trabajo está siendo conducido en todo el mundo sobre el uso de materiales reciclados, particularmente sobre los áridos reciclados. (Wang et al, 2009, p.2829)

A pesar de que muchas investigaciones han sido realizadas sobre materiales reciclados, se han realizado muy pocos estudios sobre el concreto liviano que incorpora los productos de desecho en forma de agregados. Este estudio examinará las propiedades del mortero y el concreto con agregados livianos de residuos de PET usado como agregado fino en un in-tento de desarrollar una solución que, no sólo proporciona una opción de reciclaje para las botellas de PET, sino también para mantener o mejorar las características del mortero o con-creto resultante. (Wang et al, 2009, p.2829)

El tereftalato de polietileno (PET), uno de los plásticos más comunes de consumo utilizado, es ampliamente utilizado para botellas y recipientes de productos alimenticios y otros bienes de consumo, incluyendo refrescos, bebidas alcohólicas, detergentes, etc. A pesar de su am-plito uso, gran cantidad de botellas de PET se descartaron todos los años y se convirtió en una fuente contaminante. Por lo tanto, la búsqueda de formas efectivas de reutilizar las bo-tellas de PET desechadas y mejorar la tasa de reciclaje es cada vez más importante para la sostenibilidad del medio ambiente. Estudios se han realizado en los últimos años para con-vertir los residuos de PET en materiales de construcción.

Actualmente, existen tres formas principales de reciclaje de botellas de PET como materiales de construcción, incluyendo la despolimerización de botellas de PET en resina insaturada de poliéster, el uso de fibras de PET como refuerzo del concreto y la sustitución parcial de agregados con residuos de PET. (Ge et al, 2014, p.682)

Se debe conocer cuáles son los materiales que, al ser transformados para construir una vi-vienda, son más amables con el sistema ambiental, se deben proponer nuevas alternativas constructivas que armonicen con la complejidad sistémica de las dinámicas ambientales y que entren a hacer parte de un desarrollo diferente al Capitalista: el desarrollo sostenible. (Osorio, 2011, p.12)

La necesidad de obtener materiales alternativos al concreto reforzado convencional se han incrementado; y, en esa búsqueda de alternativas, el concreto reforzado con fibras presenta las características de una solución con viabilidad técnica y económica. Así, se han utilizado ya, fibras de acero, fibras de vidrio, fibras de carbón, fibras minerales y naturales (madera, yute, bambú, coco, henequén, asbesto, lana, entre otros), fibras de polipropileno y muchas otras fibras sintéticas como el Nylon y Poliéster. (Osorio et al, 2007, p.70)

En la actualidad es común escuchar de concretos sustentables y de materiales compuestos avanzados. Sin embargo, los países pobres y en vías de desarrollo hacen grandes esfuerzos para desarrollar tecnologías que les permitan aprovechar sus vastos recursos naturales y ge-nerar sus propios materiales de construcción. El uso de las fibras naturales como refuerzo en el concreto representa una alternativa de desarrollo para estos países. (Juárez, 2002)

Debido a la gran demanda de materiales para la construcción de buena calidad, se busca incorporar el uso de Fibras de Bagazo de Caña (FBC) en las mezclas de concreto simple sustituyendo en parte al agregado grueso, grava, para proporcionarle propiedades similares a las de cualquier concreto simple y tratar de mejóralas en algunos aspectos. (Hernández, 2008)

El beneficio que se hace al medio ambiente al utilizar algo considerado como residuo para la elaboración de concreto es muy considerable. En la actualidad, el bagazo que se produce en los ingenios es abundante y a pesar de ser utilizado por la industria del papel, el volumen que queda es muy grande. Y tarda en degradarse, aparte de que genera un olor poco agra-dable. (Reyes, 2008)

Reutilizar el plástico es una acción, por sí misma, medioambientalmente responsable. Pero si, además, lo que se sustituye es un objeto contaminante, entonces la reutilización se puede considerar doblemente ecológica. Es lo que tratan de llevar a cabo en el municipio argentino de San Rafael: no sólo reciclar y reutilizar las botellas y otros objetos de plástico, sino también producir con ello ladrillos. Se necesita una planta de reciclado de plástico. Después, pueden ser los propios vecinos los que recolecten el contaminante material para que sea procesado en dicha planta y, una vez triturados y tratados convenientemente, se puedan fabricar ladrillos mezclando el plástico reciclado con cemento. De este modo, se consiguen ladrillos a un costo menor, más livianos, con una mejor propiedad aislante y fácil de colocar. (Sanz, 2011)

El material plástico tiene varios puntos a favor: es económico, liviano, irrompible, muy duradero y hasta buen aislante eléctrico y acústico. Por esta razón este proyecto se basa en la reutilización de esta materia prima, y emplearlo en el área de la construcción de viviendas; el planteamiento es fabricar un ladrillo de características ecológicas, y prescindir del proceso tradicional de conformación de estos, como un proceso de decocción, que destruye el medio ambiente y lo contamina. (Centro Experimental de la vivienda económica, 2012)

Los residuos plásticos se Trituran y se incorporan a una mezcla de cemento Portland común, agua y un aditivo químico. Con esta mezcla se fabrican ladrillos, bloques de pared y de techo, y placas de ladrillos, que se aplican en cerramientos no estructurales de viviendas. Los componentes desarrollados son ecológicos, porque se utiliza para su elaboración un residuo que hasta el presente se recicla sólo en un bajo porcentaje, siendo su destino habitual basurales en donde se acumula o quema produciendo contaminación, o se entierra en predios sanitarios desaprovechando un recurso valioso. (Gaggino, 2008)

Se propone la realización de un nuevo material constructivo, denominado ecoladrillo, inspirado en el tradicional adobe y que sustituya al ladrillo convencional cocido. Para ello se emplea un suelo marginal no empleado hasta el momento para la fabricación de ladrillos. Como aditivos comerciales se emplean el cemento para la realización de las combinaciones de referencia y, al menos usual pero igual de eficiente cal hidráulica. Como aditivo resistente se utilizan las cenizas de cáscaras de arroz y como aditivo estructurante las cascarillas

también de arroz. La adición de estos dos últimos aditivos residuales supone la reducción de un gran impacto medio ambiental ya que las cenizas procedentes de la biomasa generada por la combustión de los restos de la cosecha del arroz permanecen por millones de toneladas en vertederos de todo el mundo. (Cabo, 2011)

Desde que el concepto de sostenibilidad ambiental fue introducido en 1970, la posibilidad del uso de fibra natural para mejorar las propiedades mecánicas de los compuestos cementicios ha tenido el interés de los investigadores. El concreto reforzado con fibras naturales, mediante pequeñas fibras naturales añadidas aleatoriamente o materiales reciclados en compuestos cementicios, podrían enormemente reducir los impactos adversos para el ambiente sostenible, y también expresar sustancialmente las propiedades mecánicas mejoradas a corto plazo. (Tian, 2016, p.237)

Visto y analizado los antecedentes se plantea el siguiente problema de investigación: *¿Cuál sería el resultado de reutilizar plástico PET, papel y bagazo de caña de azúcar como materia prima en la elaboración de concreto ecológico para la construcción de viviendas de bajo costo?*

Para dar respuesta al problema de investigación se propone la siguiente hipótesis:

El plástico PET, papel y bagazo de caña de azúcar si se pueden reutilizar como materia prima para la elaboración de concreto ecológico para la construcción de viviendas de bajo costo.

Este trabajo de investigación tiene como objetivo general determinar los resultados de la reutilización de los residuos de plástico PET, papel y bagazo de caña de azúcar como materia prima en la elaboración de concreto ecológico para la construcción de viviendas de bajo costo; y como objetivos específicos los siguientes:

- Determinar un diseño de mezclas apropiado del concreto conteniendo plástico PET, bagazo de caña de azúcar y papel.
- Determinar la resistencia a la compresión (kg/cm²) del concreto conteniendo plástico PET, bagazo de caña de azúcar y papel.
- Realizar el análisis de costos unitarios del concreto normal y el concreto conteniendo el residuo que mejor comportamiento mecánico le añadió.

MATERIALES Y MÉTODOS.

MATERIALES DE ESTUDIO.

Población.

Estará conformada por el total de probetas de concreto simple y concreto mezclado con residuos de plástico PET, bagazo de caña de azúcar y papel.

Muestra.

Estará constituida por las probetas de concreto de forma cilíndrica de 6" x 12" (diámetro x alto) según las siguientes proporciones:

Tabla 1. Cantidades en peso de los materiales para la elaboración de las probetas con PET.

Nombre del Diseño de Mezcla	Cemento (kg)	Agua (l)	Gravilla 1/2" (kg)	Arena Gruesa (kg)	PET (kg)
P ₀	10.26	5.13	17.85	17.85	0.00
P ₅	10.26	5.13	16.96	17.85	0.89
P ₁₀	10.26	5.13	16.07	17.85	1.79
P ₂₀	10.26	5.13	14.28	17.85	3.57

En la Tabla 1 la nomenclatura P₀, P₅, P₁₀ y P₂₀ se refiere al % de plástico PET que reemplazó parte de la gravilla.

Tabla 2. Cantidades en peso de los materiales para la elaboración de las probetas con bagazo de caña de azúcar.

Nombre del Diseño de Mezcla	Cemento (kg)	Agua (l)	Gravilla 1/2" (kg)	Arena Gruesa (kg)	Bagazo (kg)
B ₀	10.26	5.13	17.85	17.85	0.00
B ₅	10.26	5.13	16.96	17.85	0.89
B ₁₀	10.26	5.13	16.07	17.85	1.79
B ₂₀	10.26	5.13	14.28	17.85	3.57

En la Tabla 2 la nomenclatura B₀, B₅, B₁₀ y B₂₀ se refiere al % de bagazo de caña de azúcar que reemplazó parte de la gravilla.

Tabla 3. Cantidades en peso de los materiales para la elaboración de las probetas con papel.

Nombre del Diseño de Mezcla	Cemento (kg)	Agua (l)	Gravilla 1/2" (kg)	Arena Gruesa (kg)	Papel (kg)
M ₀	10.26	5.13	17.85	17.85	0.00
M ₅	10.26	5.13	16.96	17.85	0.89
M ₁₀	10.26	5.13	16.07	17.85	1.79
M ₂₀	10.26	5.13	14.28	17.85	3.57

En la Tabla 3 la nomenclatura M₀, M₅, M₁₀ y M₂₀ se refiere al % de papel que reemplazó parte de la gravilla.

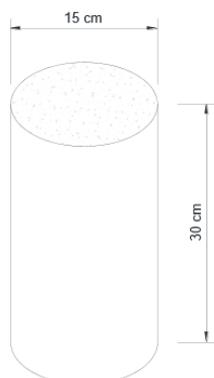


Figura 1. Dimensiones de las probetas de concreto.

MÉTODOS Y TÉCNICAS

Diseño Experimental

Se aplicó el diseño experimental tipo factorial con dos factores.

Se realizará el análisis estadístico de los resultados a través del análisis de varianza y las re-gresiones respectivas con el 5% de probabilidad, empleando para tal fin el Software Estadístico Minitab versión 17.

Variables Dependientes de Estudio:

- Resistencia a la compresión, $f'c$ (kg/cm²)
- Costo de vivienda.

Variablen Independientes de Estudio	Niveles de Estudio
Factor A: Tipo de residuo	Plástico PET, bagazo, papel (a1, a2, a3)
Factor B: Porcentaje de residuo (%)	b1, b2, b3

Tabla 4. Niveles de las variables de estudio

		Factor A		
		a1	a2	a3
Factor B	b1	a1, b1	a2, b1	a3, b1
	b2	a1, b2	a2, b2	a3, b2
	b3	a1, b3	a2, b3	a3, b3

Tabla 5. Diseño de la matriz experimental

$$\begin{aligned}
 \text{Número total de probetas} &= (\# \text{ factor A}) \times (\# \text{ factor B}) \times (\# \text{ repeticiones}) \\
 &= (3) \times (3) \times (3) \\
 &= 27
 \end{aligned}$$

La experiencia corresponderá a 3 réplicas o repeticiones haciendo un total de 27 pruebas experimentales.

Procedimiento Experimental

La experimentación se realizará en cuatro fases; una de preparación de los residuos (07 días), una de elaboración de especímenes (03 días), de curado (28 días) y de ensayo de compresión (03 días).

- La preparación de los residuos se detalla a continuación:

Plástico PET: Se utilizó PET en forma de pellets con un diámetro de 5 mm aproximadamente. Previamente a la elaboración de las probetas estos fueron lavados con agua corriente a fin

de eliminar alguna impureza. Luego se dejó secar por 48 horas.

Bagazo de caña de Azúcar: El bagazo seleccionado presentó un porcentaje de humedad promedio del 35% en base seca. Se realizó un lavado previo de las fibras a utilizar para eliminar la presencia de carbohidratos libres, luego se efectuó el secado del bagazo para evitar problemas de ataque de hongos y plagas, siguiendo las recomendaciones a seguir realizadas por Osorio et al (2007).

Posteriormente, se efectuó un corte en la fibra entre 15 y 25 mm de longitud, cuyas dimensiones son recomendadas por Osorio et al (2007), y las que mejor comportamiento presentó después de realizar ensayos preliminares.

Papel Reciclado: La forma ideal de procesar el papel para tenerlo en las condiciones que se requiere de tamaño nominal máximo del agregado grueso se necesita de un proceso de trituración o picado utilizando una máquina industrial para cortar papel, posteriormente se remojarán los trozos de papel y finalmente se lo arruga formando bolas de papel, en vista que no se contaba con dicha maquina esta parte se realizó de forma manual. Posteriormente las bolas de papel se dejan secar.

- b. Se elaboraron las probetas según lo indicado en la Norma Técnica Peruana 339.033 (Práctica normalizada para la preparación y curado en obra de los especímenes para ensayo del concreto) y según las proporciones en volumen indicadas en el ítem 3.1.2.
- c. Luego se sometieron las probetas a la etapa de curado de acuerdo con la Norma Técnica Peruana 339.033; los especímenes fueron sumergidos en cilindros conteniendo agua.
- d. Luego de la etapa de curado (28 días), se realizó el ensayo de compresión según la Norma ASTM C39 (Método de ensayo estándar para esfuerzo de compresión en especímenes cilíndricos de concreto).
- e. Finalmente se realizó la toma de resultados.

RESULTADOS Y SU DISCUSIÓN

En las tablas numeradas se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de compresión realizados a las probetas de concreto conteniendo plástico PET, bagazo de caña de azúcar (bca) y papel.

Tabla N° 6. Resistencia a la compresión del concreto conteniendo plástico PET.

De la Tabla 6 y la Figura 1, se puede observar que el concreto conteniendo 5% de PET alcanza una resistencia de 459.26 kg/cm², superior a la resistencia del concreto normal. Esto quiere decir que el PET, a este porcentaje, mejora la resistencia a la compresión del concreto debido a que este tiene buenas propiedades mecánicas.

PET (%)	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	Resistencia a la Compresión Promedio (kg/cm ²)
0.00	356.90	353.55
	353.25	
	350.50	
	458.87	
5.00	456.25	459.26
	462.65	
	387.49	
10.00	386.50	387.44
	388.33	
	285.52	
20.00	283.30	285.35
	287.22	

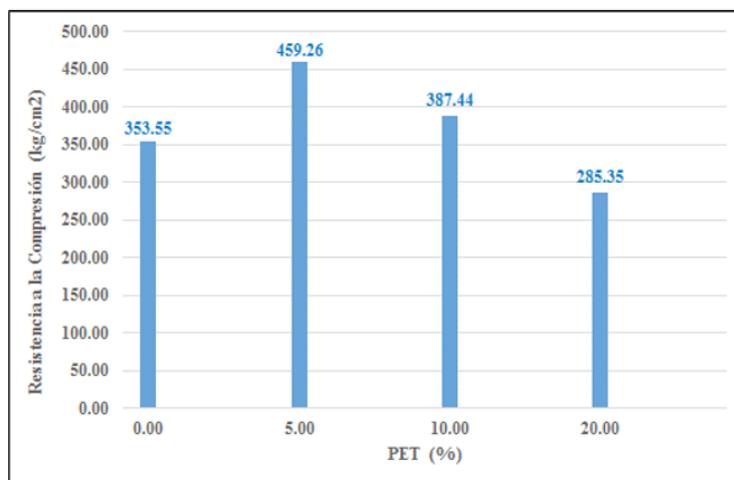


Figura 1. Resistencia a la compresión del concreto conteniendo plástico PET.



De la Tabla 7 y Figura 2, se puede apreciar que conforme se incrementa el contenido de bagazo de caña de azúcar en el concreto la resistencia a la compresión disminuye. Esto se debe a que el bagazo de caña de azúcar tiene pobres propiedades mecánicas.

Tabla N° 7. Resistencia a la compresión del concreto conteniendo bca.

Bagazo de caña de azúcar (%)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia a la Compresión Promedio (kg/cm ²)
0.00	356.90	353.55
	353.25	
	350.50	
	308.12	
5.00	305.65	305.90
	303.92	
	270.55	
	265.60	
10.00	268.12	268.09
	185.20	
	174.65	
	178.26	

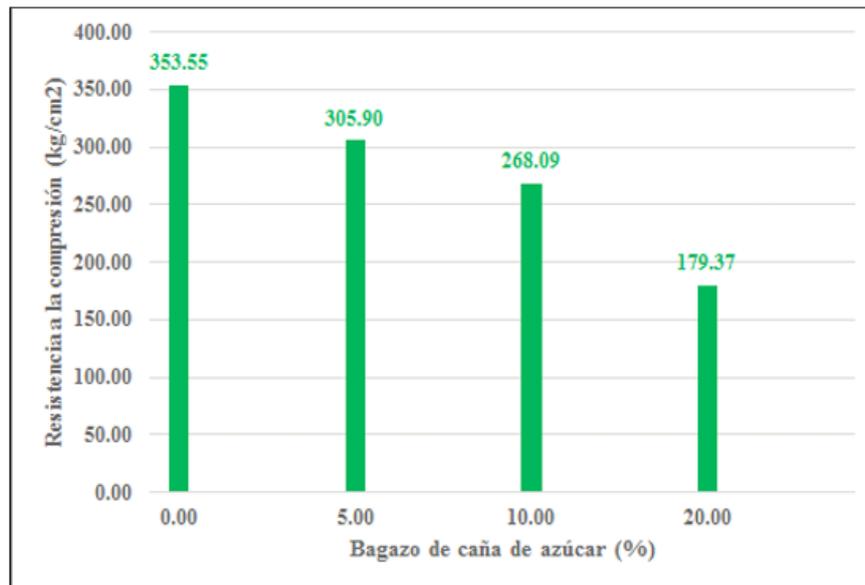


Figura 2. Resistencia a la compresión del concreto conteniendo bca.

De la Tabla 8 y Figura 3, al igual que con el bagazo de caña de azúcar, la resistencia a la compresión desciende conforme se aumenta el contenido de papel, debido a que el papel no tiene buenas propiedades mecánicas.

Tabla N° 8. Resistencia a la compresión del concreto conteniendo papel.

Papel (%)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia a la Compresión Promedio (kg/cm ²)
0.00	356.90	353.55
	353.25	
	350.50	
5.00	232.22	235.74
	239.68	
	235.32	
10.00	165.55	169.39
	170.12	
	172.50	
20.00	82.52	83.00
	81.11	
	85.36	

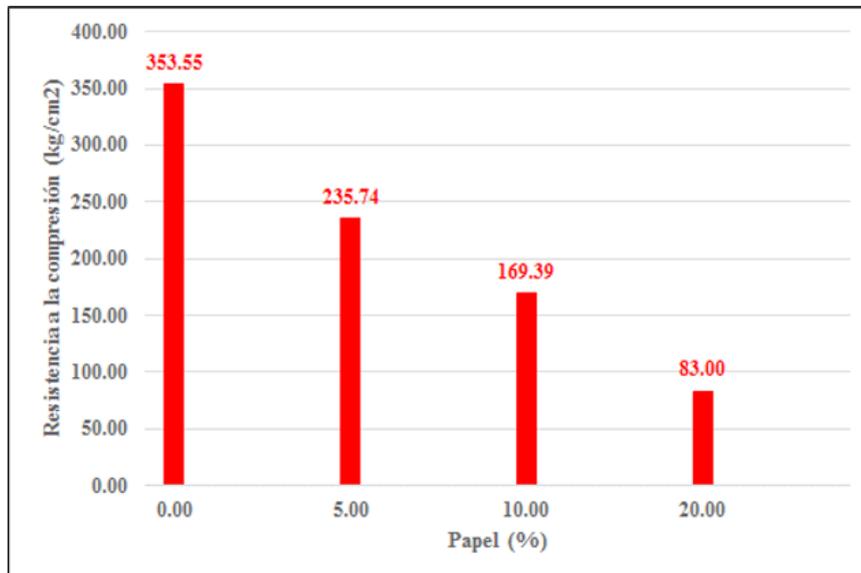


Figura 3. resistencia a la compresion del concreto conteniendo papel



A continuación, se muestra la Figura 4 en la que se puede observar que, de los tres residuos agregados al concreto, el que mejor resistencia a la compresión le confiere al concreto es el plástico PET seguido del bagazo de caña de azúcar. Esto se debe a que el plástico PET tiene buenas propiedades mecánicas (elevada resistencia a la tracción, elevado límite elástico, entre otros).

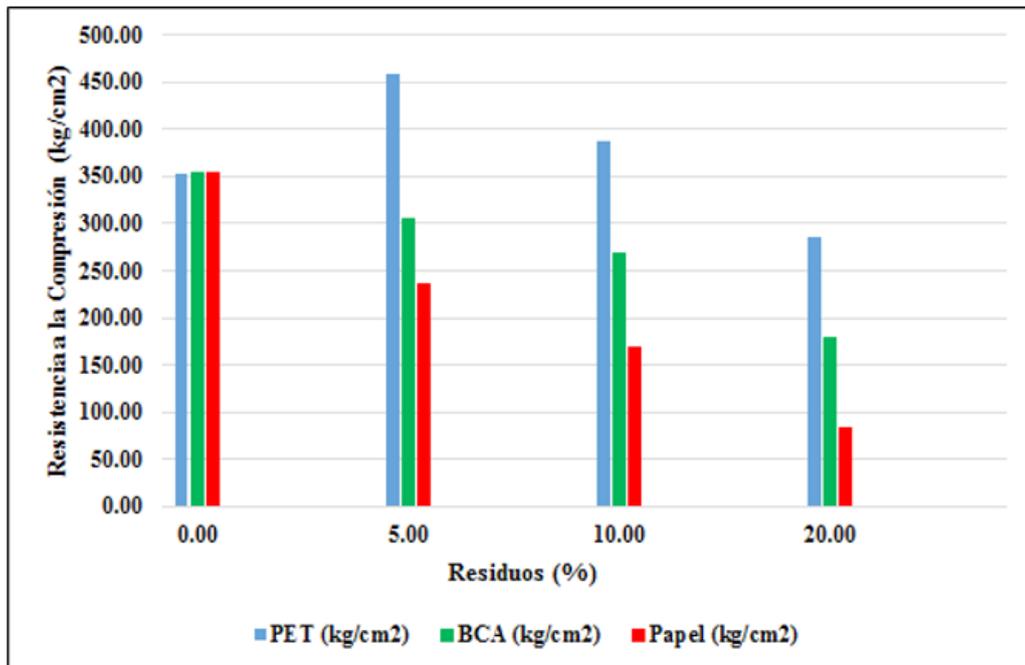


Figura 4. Resistencia a la compresión del concreto conteniendo papel.

En cuanto a la reducción de los costos de vivienda, se realizó el análisis de 1 m³ de concreto $f'c = 210$ kg/cm² conteniendo agregados naturales y el otro conteniendo el 20% de plástico PET, Figura 12 y Figura 13, donde se pudo observar una reducción de S/. 14.25 al utilizar el plástico PET.

Tabla N° 9. Costo unitario de 1 m3 de concreto f'c = 210 kg/cm2.

CONCRETO f'c = 210 kg/cm2					
m3/DIA	15.000	EQ.	15.000	Costo unitario directo por: m3 386.14	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
OPERARIO	hh	2.0000	1.0667	15.20	16.21
OFICIAL	hh	1.0000	0.5333	12.90	6.88
PEON	hh	10.0000	5.3333	11.54	61.55
					84.64
Materiales					
PIEDRA CHANCADA DE ½"	m3		0.5600	95.00	53.20
ARENA GRUESA	m3		0.5500	95.00	52.25
CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5kg)	bls		9.7300	18.64	181.37
AGUA	m3		0.1840	8.00	1.47
					288.29
Equipos					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	84.64	2.54
VIBRADOR DE CONCRETO ¾". 2"	hm	0.5000	0.2667	10.00	2.67
MEZCLADORA DE CONCRETO TAMBOR 18HP 11 p3	hm	0.7500	0.4000	20.00	8.00
					13.21

Tabla N° 10. Costo unitario de 1 m3 de concreto f'c = 210 kg/cm2 conteniendo 20% de PET

CONCRETO f'c = 210 kg/cm2 conteniendo 20% PET					
m3/DIA	15.000	EQ.	15.000	Costo unitario directo por: m3 371.89	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
OPERARIO	hh	2.0000	1.0667	15.20	16.21
OFICIAL	hh	1.0000	0.5333	12.90	6.88
PEON	hh	10.0000	5.3333	11.54	61.55
					84.64
Materiales					
PIEDRA CHANCADA DE ½"	m3		0.5600	95.00	53.20
ARENA GRUESA	m3		0.4000	95.00	38.00
PLASTICO PET	m3		0.1000	0.00	0.00
CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5kg)	bls		9.7300	18.64	181.37
AGUA	m3		0.1840	8.00	1.47
					274.04
Equipos					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	84.64	2.54
VIBRADOR DE CONCRETO ¾". 2"	hm	0.5000	0.2667	10.00	2.67
MEZCLADORA DE CONCRETO TAMBOR 18HP 11 p3	hm	0.7500	0.4000	20.00	8.00
					13.21

CONCLUSIONES.

Se logró determinar los resultados de reutilizar los residuos de plástico PET, papel y bagazo de caña de azúcar como materia prima en la elaboración de concreto ecológico para la construcción de viviendas de bajo costo, quedando demostrado que, si se pueden reutilizar estos residuos, en los porcentajes propuestos, para reemplazar los áridos del concreto.

Se determinó el diseño de mezcla para el concreto conteniendo los residuos de plástico PET, papel y bagazo de caña de azúcar, siendo los porcentajes en peso propuestos 5%, 10% y 20%.

Se determinó la resistencia de compresión (kg/cm²) del concreto conteniendo los residuos de plástico PET, bagazo de caña de azúcar y papel, obteniéndose el resultado de 459.26 kg/cm² para el concreto conteniendo plástico PET al 5% en peso como la resistencia más óptima. La tendencia que se pudo observar es que la resistencia a la compresión del concreto conteniendo los residuos disminuye conforme se aumenta el % en peso de los residuos.

Se realizó el análisis de costos unitarios del concreto normal y el concreto conteniendo los residuos de plástico PET al 20%, como resultado se obtuvo que hay un ahorro de S/. 14.25 al utilizar plástico PET.

RECOMENDACIONES Y/O PROPUESTAS

Se recomienda continuar con las investigaciones en la reutilización de los residuos sólidos como el plástico PET en forma de pellets y fibras, dado los resultados obtenidos, este incluso se podría utilizar en elementos estructurales de concreto armado (columnas, vigas y zapatas).

Para los residuos de bagazo de caña de azúcar y papel si se requiere mayor resistencia a la compresión se necesitará utilizar aditivos como la parafina o floculantes para mejorar el diseño de mezclas y por ende la resistencia a la compresión.

Finalmente, se recomienda investigar el comportamiento de otros residuos sólidos como los envases tetra pack, el caucho de las llantas, el latón como constituyentes, en parte, del concreto o asfalto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Askeland, D. y Phulé, P. (2004). Ciencia e ingeniería de los materiales. México D.F, México: International Thomson Editores S.A.
2. Antolin, G. y Oliva, D. (2015). Caracterización del Bagazo de Caña de Azúcar Mediante Análisis Térmico. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/273821584_Caracterizacion_del_bagazo_de_cana_de_azucar_mediante_Analisis_Termico.
3. Bae, S., Hyun, N., Young, H., Jay, J. y Song, Y. (2010). Material and structural performance evaluation of recycled PET fiber reinforced concrete. *Cement & Concrete Composites*, 32, 232-240.
4. Cabo, M. (2011). Ladrillo Ecológico como Material Sostenible para la Construcción. Universidad Pública de Navarra. Navarra.
5. Callister, W. (2007). Ciencia e ingeniería de los materiales. Barcelona, España: Editorial Reverte S.A.
6. Centro Experimental de la Vivienda Económica. Nuevos materiales para manpuestos con plásticos reciclados. Recuperado de <http://www.ceve.org.ar/ttplasticos.html>
7. Fraternali, F., Ciancia, V., Chechile, R., Rizzano, G., Feo, L. y Incarnato, L. (2011). Experimental study of the thermo-mechanical properties of recycled PET fiber-reinforced concrete. *Composite Structures*, 93, 2368-2374.
8. Fundacion Vida Sostenible. Papel, Carton y Madera. Recuperado de <http://www.larutadelaenergia.org/pdfvs/GFVSpapelymadera.pdf>
9. Foti, D. (2011). Preliminary analysis of concrete reinforced with waste bottles PET fibers. *Construction and Building Materials*, 25, 1906-1915.
10. Gaggino, R. (2008). Componentes Constructivos Elaborados con una Mezcla Cementicia y Agregados de Plásticos Reciclados. Asociación Argentina de Materiales. Argentina.

11. Hernández, R. (2008). Uso de Fibras de Bagazo de Caña en Concreto. Tratamiento de las Fibras con Parafina. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México.
12. Juárez, C. (2002). Concreto base cemento Portland reforzados con fibras naturales (agave lecheguilla) como materiales para construcción en México. Universidad Autónoma de Nuevo León. México.
13. Mahyar, A., Reza, M. y Taheri, M. (2016). The effect of using polyethylene terephthalate particles on physical and strength-related properties of concrete; a Laboratory Evaluation. *Construction and Building Materials*, 109, 55-62
14. Ochi, T., Okubo, S. y Fukui, K. (2007). Development of recycled PET fiber and its application as concrete-reinforcing fiber. *Cement & Concrete Composites*, 29, 448-455.
15. Osorio, J. (2011). El Consumo Sostenible de los Materiales Usados en la Construcción de Viviendas. Universidad de Colombia – Sede Manizales. Colombia.
16. Osorio, J. (2007). Comportamiento Mecánico del Concreto Reforzado con Fibras de Bagazo de Caña de Azúcar. Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín.
17. Rahimi R., Nikbin, I., Allahyarib, H. y Habibi, S. (2016). Sustainable approach for recycling waste tire rubber and polyethylene terephthalate (PET) to produce green concrete with resistance against sulfuric acid attack. *Journal of Cleaner Production*, 126, 166-177.
18. Reyes, U. (2008). Concreto Reforzado con Fibra de Bagazo de Caña. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México.
19. Sharma, R. y Pal, P. (2015). Use of different forms of waste plastic in concrete – a review. *Journal of Cleaner Production*, 112, 473-482.
20. Sanz, D. Ladrillos con Botellas de Plástico. Recuperado de <http://medioambientales.com/ladrillos-con-botellas-de-plastico>
21. Smith, W. y Hashemi, J. (2006). Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. México D.F, México: Mcgraw-Hill Interamericana Editores, S. A.
22. Tian, H. y Zhang, Y. (2016). The influence of bagasse fibre and fly ash on the long-term properties of green cementitious composites. *Construction and Building Materials*, 111, 237-250.
23. Wang, Y., Joong, D., Jic, Y. y Mohamed Lachemi, M. (2009). Characteristics of mortar and concrete containing fine aggregate manufactured from recycled waste polyethylene terephthalate bottles. *Construction and Building Materials*, 23, 2829-2835.



ANEXOS

Anexo A1: Análisis estadístico de los resultados.

Existen varios paquetes de software de estadística que analizan con facilidad di-seños factoriales. Para el análisis de resultados de la tesis se utilizó el Software Minitab 17. A continuación, se muestran los resultados arrojados por el Minitab.

Diseño factorial de múltiples niveles

Factores: 2 Réplicas: 3
 Corridas base: 9 Total de corridas: 27
 Bloques base: 1 Total de bloques: 1
 Número de niveles: 3; 3

Regresión factorial general: Resistencia vs. %Residuos; DM

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
%Residuos	3	5; 10; 20
DM	3	A; B; C

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	315791	39474	4150.61	0.000
Lineal	4	313854	78463	8250.29	0.000
%Residuos	2	104394	52197	5488.42	0.000
DM	2	209460	104730	11012.15	0.000
Interacciones de 2 términos	4	1938	484	50.93	0.000
%Residuos*DM	4	1938	484	50.93	0.000
Error	18	171	10		
Total	26	315963			

A continuación, se consigna el F crítico (Fc) correspondiente a cada F empírico mostrado anteriormente y se le compara:

a. % Residuos:

$$F_{0.05, 2, 18} = 3.55 < 5488.42$$

b. Diseño de Mezcla (DM):

$$F_{0.05, 2, 18} = 3.55 < 11012.15$$

c. % Residuos x Diseño de Mezcla:

$$F_{0.05, 4, 18} = 2.93 < 50.93$$

Se utiliza el valor de P obtenido en el análisis de varianza y un $\alpha = 0.05$ para concluir si se rechaza o acepta la hipótesis. Si $\alpha > P$ se rechaza la hipótesis nula, es decir, se puede aceptar que existe una diferencia significativa en los trata-mientos.

Efectivamente, se puede observar que ambos factores (%Residuos y Diseño de Mezcla) son significativos, así como su interacción.

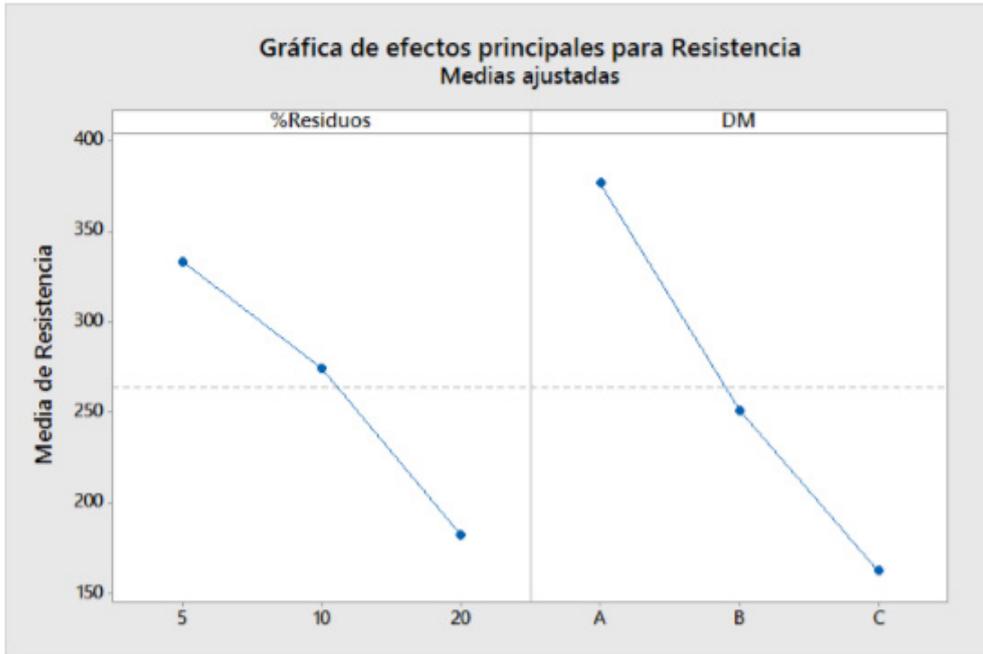


Figura A-1. Gráfica obtenida con el Minitab, se observa el efecto del % residuos y el diseño de mezcla sobre la resistencia a la compresión del concreto.



Figura A-2. Gráfica obtenida con el Minitab, interacción de % residuos y diseño de mezcla (A: concreto contenido plástico PET, B: concreto conteniendo bagazo de caña de azúcar y C: concreto conteniendo papel)

F0.05 V1.V2													
Grados de libertad en el numerador (Y1)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	60	100
1	161.45	199.50	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.88	240.54	241.88	248.02	252.20	253.04
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.45	19.48	19.49
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.66	8.57	8.55
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.80	5.69	5.66
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.56	4.43	4.41
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	3.87	3.74	3.71
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.44	3.30	3.27
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.15	3.01	2.97
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	2.94	2.79	2.76
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.77	2.62	2.59
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.65	2.49	2.46
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.54	2.38	2.35
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.46	2.30	2.26
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.39	2.22	2.19
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.33	2.16	2.12
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.28	2.11	2.07
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.23	2.06	2.02
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.19	2.02	1.98
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.16	1.98	1.94
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.12	1.95	1.91
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.10	1.92	1.88
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.07	1.89	1.85
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.05	1.86	1.82
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.03	1.84	1.80
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.01	1.82	1.78
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	1.99	1.80	1.76
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	1.97	1.79	1.74
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	1.96	1.77	1.73
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	1.94	1.75	1.71
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	1.93	1.74	1.70
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	1.84	1.64	1.59
50	4.03	3.18	2.79	2.56	2.40	2.29	2.20	2.13	2.07	2.03	1.78	1.58	1.52
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.75	1.53	1.48
70	3.98	3.13	2.74	2.50	2.35	2.23	2.14	2.07	2.02	1.97	1.72	1.50	1.45
80	3.96	3.11	2.72	2.49	2.33	2.21	2.13	2.06	2.00	1.95	1.70	1.48	1.43
90	3.95	3.10	2.71	2.47	2.32	2.20	2.11	2.04	1.99	1.94	1.69	1.46	1.41
100	3.94	3.09	2.70	2.46	2.31	2.19	2.10	2.03	1.97	1.93	1.68	1.45	1.39

Grados de libertad en el denominador (V2)