

# PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS PARA UN CONCRETO PERMEABLE, ELABORADO CON AGREGADOS RECICLADOS

Juan Carlos  
Moreno Reyes

Facultad de Ingeniería  
CU-Sur, Chilpancingo,  
Gro, México  
+52 (732) 114 33 75  
C.P. 39070

Carlos.jcmr@outlook.es

Víctor Hugo  
Muñoz García

Facultad de Ingeniería  
CU-Sur, Chilpancingo,  
Gro, México  
52 (747), 472943  
C.P. 39070

13518@uagro.mx

Daniel Delgado  
de la Torre

Facultad de Ingeniería  
CU-Sur, Chilpancingo,  
Gro, México  
52 (747), 472943  
C.P. 39070

13702@uagro.mx

Alberto Jorge  
Salvador

Facultad de Ingeniería  
CU-Sur, Chilpancingo,  
Gro, México  
52 (747), 472943  
C.P. 39070

09073@uagro.mx

## RESUMEN

A nivel mundial, el concreto es uno de los materiales más producidos y utilizados en la construcción dentro de las obras civiles, pero también es uno de los grandes generadores de cantidades de residuos de demolición, por lo que ha representado así un problema debido a que son vertidos al medio ambiente de forma irresponsable. No solo afectando el suelo y el agua, sino que también al medio ambiente en general. Por lo que, en algunos países del continente europeo, los residuos de construcción y demolición se han reutilizado para darles nuevos usos. Es por ello, que el propósito de la siguiente investigación es demostrar la viabilidad de reutilizar los desechos de construcción y demolición como agregado de concreto permeable para aplicarse en obras civiles, y reducir el impacto ambiental causado por la sobre explotación de bancos de material.

Para la elaboración del concreto permeable, se utilizó material producto de demolición de un edificio ubicado en la Facultad de Ingeniería de la Uagro. En esta investigación se elaboraron y ensayaron a compresión simple cilindros de concreto de 15x30 cm. Donde los resultados demostraron que los agregados (producto de desecho) pueden ser utilizados en proyectos de construcción como: áreas de estacionamiento, parques, andadores, canchas deportivas entre otros usos relacionados con proyectos de concreto permeable.

### Palabras reservadas

Concreto permeable con agregado reciclado

## INTRODUCCIÓN

En la construcción de obras civiles, es común estar utilizando materiales como el acero y el concreto, ya que esto permite crear pequeñas y grandes obras en el campo de la ingeniería, haciendo del concreto, uno de los principales materiales más importante para hoy en día. Nacido de acuerdo con algunas investigaciones cerca del año 500 A. C. en el Mediterráneo occidental por medio de algunas construcciones importantes para ese tiempo, figura 1.



Figura 1. Presa Hoover ubicada en EEUU construida a base de concreto

El concreto es un material integrado por componentes como el cemento, agua y agregados (grava y arena). Siendo el agregado el componente que predomina, ya que constituye más de  $\frac{3}{4}$  partes de su peso. Cabe considerar; por otra parte, que el concreto cuenta con la particularidad de cambiar de estado inicial de una mezcla plástica, a una cuya forma final, que es la de un compuesto sólido resistente, figura 2.



Figura 2. Mezcla de concreto predominante  $\frac{3}{4}$  partes de agregado

La resistencia del concreto se mide en  $\text{kg/cm}^2$  y se representa por medio de  $f'c$ , llegando a obtener resistencias de 350 a 400  $\text{kg/cm}^2$ , por lo que se considera que el concreto es el material más importante y utilizado dentro de la construcción de obras civiles.

Alrededor del mundo se han creado distintas variedades de concretos para diferentes tipos de proyectos, con el objetivo principal de desarrollar materiales de acuerdo a las necesidades deseadas para los diferentes usos y aplicaciones. Siendo así, uno de los concretos más importantes:

- Concreto Simple.
- Concreto Ciclópeo.
- Concreto Estructural o Armado.
- Concreto Hidráulico.
- Concreto Premezclado.
- Concreto Prefabricado.
- Concreto Polimérico.
- Concreto de Vacío.
- Concreto Arquitectónico o Coloreado.
- Concreto Permeable

## 1.- ANTECEDENTES

El concreto permeable se ha utilizado en la construcción desde mediados del siglo XIX. Nacido así por primera vez en el Reino Unido debido a la falta de material y mano de obra adaptando solo el uso de agregado grueso y cemento como material para la construcción de residencias a finales de la década de 1930 durante la Segunda Guerra Mundial, figura 3.



Figura 3. Escasez de materiales y mano de obra.

El concreto permeable es también conocido como concreto poroso y también como un concreto de revenimiento cero por su alto grado de porosidad, está constituido principalmente por agregado grueso (grava), agua, cemento y aditivo. Formado uniones de agregado grueso rodeado de una delgada capa de pasta de cemento endurecida en sus puntos de contacto.

Este concreto tiene una porosidad entre 2 a 8 mm de tamaño, permitiendo así, que el agua pase fácilmente a través de ellos, situación que es diferente en un concreto convencional, figura 4.



Figura 4. Estructura porosa de un concreto permeable

### 1.1 APLICACIONES

Durante el desarrollo y evolución del concreto poroso o concreto permeable, se demostró que tiene grandes utilidades para aplicarlo en los diferentes campos, principalmente para pavimentar superficies de uso vehicular y peatonal, requiriendo áreas que permitan que el agua de lluvia se infiltre libremente al suelo. Tales como, por ejemplo:

- Vialidades con tráfico ligero.
- Área de estacionamiento.
- Parquederos.
- Pavimentos de plazoletas y parques.
- Andadores y banquetas.
- Filtros y/o sistemas de drenaje.
- Pavimentos, muros y pisos en donde se desean mejores características de absorción acústica.
- Lechos de sedimentos de plantas para el tratamiento de aguas negras.
- Protección de taludes y gaviones.
- Base en zanjas de ductos para tuberías.

Generalmente, debido a la estructura porosa de este material, el concreto permeable se utiliza en todas estas aplicaciones, por su alto grado de filtración como se muestra en la figura 5.

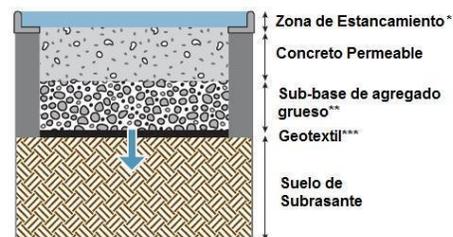


Figura 5. Proceso de filtración a través de una estructura porosa

### 1.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Durante el estudio de las propiedades y aplicaciones del concreto permeable se encontró que existen ventajas y desventajas del concreto frente al concreto tradicional, dentro de estas podemos mencionar:

### 1.2.1. VENTAJAS.

- Disminuye la necesidad de hacer obras para retener agua.
- Es compatible con alcantarillados de pequeña capacidad.
- Puede usarse como alternativa para áreas de aparcamientos.
- Permite la alimentación subterránea de mantos acuíferos de manera natural.
- Enfrenta el problema de inundaciones debido a su filtración por su estructura porosa.
- Permite que al filtrarse el agua tenga menos organismos contaminantes facilitando que llegue a los ríos y arroyos.
- Disminución en la contaminación acústica.
- Reduce la sobre explotación de bancos de materiales (agregado fino y gruesos).
- Bajo costo en el mantenimiento.
- Alta capacidad de adaptación al entorno.
- Permite la circulación de aire y por lo tanto menor retención de calor.



**Figura 6.** Acumulación de recarga de agua subterránea

### 1.2.2 DESVENTAJAS.

- Esguerramiento de agua en capa inferior cuando la pendiente es mayor de 5%.
- No resiste a maquinaria pesada en su aplicación
- No resiste a altos grados de compactación.
- No es apto para otras construcciones que no sea pavimentación.
- Tiene una menor resistencia al desgaste que el concreto convencional.



**Figura 7.** Compactación del concreto permeable con equipo menor

## 2. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS

Para la elaboración del concreto permeable, se utilizó material producto de demolición del Edificio 1 de la Facultad de Ingeniería de la Uagro, figura 8.



**Figura 8.** Demolición del edificio 1 de la Facultad de Ingeniería de la Uagro.

Se realizó un muestreo de material producto de la demolición del edificio 1 de la Facultad de Ingeniería, este muestreo consistió en tomar muestras de este material para aproximadamente de 150 kg de agregado, figura 9.



**Figura 9.** Muestra del agregado de la demolición, Edificio 1.

### 2.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

Para poder determinar y obtener las propiedades físicas y mecánicas de los agregados, se realizaron las siguientes pruebas:

- a) Humedad.
- b) % Absorción.
- c) Densidad.
- d) Peso Volumétrico Seco Suelto (P.V.S.S.)
- e) Peso Volumétrico Varillado Seco (P.V.V.S.)
- f) Granulometría.
- g) Desgaste.

Después del muestreo de concreto producto de demolición, con la finalidad de obtener las propiedades físicas de los agregados, se muestran a continuación las pruebas realizadas para su determinación, figura 10.



**Figura 10.** Obtención del agregado reciclado.

### 2.1.1. HUMEDAD.

Se realizó un cuarteo tomando el peso de una porción de muestra en estado natural, y por medio de un secado a la intemperie se tomó un peso de porción de la muestra, para determinar la pérdida de humedad del agregado reciclado, figura 11.



**Figura 11.** Secado natural de muestra de agregado reciclado

### 2.1.2. % ABSORCIÓN.

Se tomó una muestra por medio de un cuarteo colocando el agregado en un recipiente sumergido en agua a temperatura ambiente, durante un lapso de 24 horas. Posteriormente se realizó el peso del material en estado superficialmente seco y posteriormente se tomó el peso del mismo material en estado ambiente después de secado en una parrilla eléctrica por unos minutos, se procede con los cálculos para conocer el porcentaje de absorción del agregado reciclado, figura 12.



**Figura 12.** Secado de material por medio de una parrilla eléctrica.

### 2.1.3. DENSIDAD.

En una probeta con una graduación de  $1000 \text{ cm}^3$ , se aforo con agua a nivel de 400 c.c., y usando una porción del material sobrante de la prueba de absorción en punto SSS (Saturado Superficialmente Seco), obteniendo el peso de la grava superficialmente seca, después se introducen las gravas en la probeta, generando movimientos oscilatorios y pasado unos minutos se obtiene la lectura final a nivel del agua. Se procede con los cálculos respectivos de la densidad del agregado reciclado, figura 13.



**Figura 13.** Probeta aforada con agua y agregado reciclado.

### 2.1.4. PESO VOLUMETRICO.

Permite conocer el peso del material en estado seco mediante una unidad de volumen, teniendo en cuenta las propiedades en PVSS (Peso Volumétrico Seco Suelto) y PVVS (Peso Volumétrico Varillado Suelto).

#### 2.1.4.1. PVSS (PESO VOLUMETRICO SECO SUELTO).

En un recipiente con peso de 5.20 kg y un volumen de  $0.00982 \text{ m}^3$ , se realizó el llenado con caída libre no mayor a 5 cm, con una cantidad de material aproximadamente de 20 kg. Para realizar una diferencia de peso total de recipiente de material lleno menos peso del recipiente de material vacío, obteniendo así el valor del peso volumétrico suelto seco (PVSS), figura 14.



**Figura 14.** Llenado a caída libre de recipiente vacío.

#### 2.1.4.2. PVVS (PESO VOLUMETRICO VARILLADO SECO).

En un recipiente con peso de 5.20 kg, y un volumen de 0.00982 m<sup>3</sup>, se realizó un llenado con el material muestreado de aproximadamente 150 kg de la cual por cuarteo se utilizó aproximadamente 20 kg de material. El llenado se hizo en tres capas, donde cada una de ella fue compactada con una varilla punta de bala con 25 golpes en cada capa, distribuidos uniformemente sobre la superficie hasta su llenado, posteriormente así se pesó el recipiente con su contenido y haciendo su diferencia de peso compactado y peso del recipiente vacío (PVSS), figura 15.



**Figura 15.** Compactación a cada un tercio de agregado con una varilla punta de bala.

#### 2.1.5. GRANULOMETRIA.

Se utilizó un juego de mallas ó tamices, número 3/4, 1/2, 3/8, No. 4 y fondo, las cuales son colocadas en orden descendente de mayor a menor abertura, se utilizó una muestra aproximadamente de 10 kg de material y agitando con las dos manos se logró determinar la masa retenida total en cada una de las mallas, figura 16.



**Figura 16.** Distribución de agregado por medio de la agitación dos manos.

#### 2.1.6. %DESGASTE.

Se utilizó material ya lavado y secado con un peso inicial de 2500 g y comparando la granulometría junto con una tabla de proporciones se utilizó 11 esferas en la máquina de los ángeles de 30 a 33 rpm (revoluciones por minutos). Hasta completar 1000 por la tabla de proporciones mencionada, posteriormente se tomó todo el material y se colocó una malla No. 12 en el cual el material paso por medio de un lavado y secado en horno, realizando así los respectivos cálculos del porcentaje de pérdida de material (desgaste), figura 17.



**Figura 17.** extracción de material junto a 11 esferas después de terminar 1000 rpm.

### 2.2. CRITERIOS DE DISEÑO DE MEZCLA

Para el concreto permeable se puede considerar ciertas relaciones de diseño, una de ellas son los datos obtenidos en la caracterización del agregado grueso, de otro modo también son los parámetros que sirven para poder realizar una buena mezcla ya que de no realizarse de este modo afectará las propiedades mecánicas en estado endurecido, realizándose los siguientes parámetros:

- Relación agua-cemento (a/c).
- Relación agregado-cemento.
- Coeficiente de pasta.

El adecuado diseño de mezcla dependerá de las propiedades de los materiales usados y los resultados obtenidos en laboratorio.

### 2.3 PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO

Realizado el diseño de mezclas del concreto permeable con agregado reciclado se continuo con la elaboración del concreto, teniendo en cuenta la serie de moldes para efectuar el llenado y realizar las pruebas siguientes:

- a) Revenimiento.
- b) Peso unitario del concreto.
- c) Temperatura.

A continuación, se numeran las prácticas que se realizaron al concreto permeable en estado fresco, figura 18.



**Figura 18.** Concreto permeable elaborado con agregado reciclado en estado fresco.

### 2.3.1 REVENIMIENTO

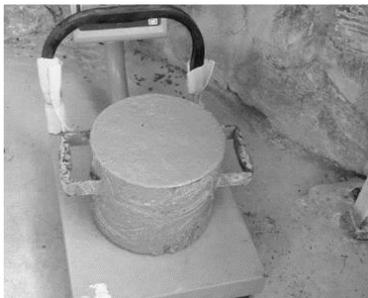
Después de obtener la mezcla elaborada en olla (revolvedora) de capacidad de un saco, se obtuvo el revenimiento tomando el cono de Abrams y llenando en una tercia  $1/3$  parte del cono a cada capa compactando a cada una de ella con una varilla punta de bala en 25 golpes de manera distribuida para después ser levantado el cono en un tiempo de  $5 \pm 2$  segundos, determinando así el asentamiento del concreto y midiendo el mismo con un flexómetro, figura 19.



**Figura 19.** Prueba de llenado de cono Abram

### 2.3.2 PESO UNITARIO DEL CONCRETO

Utilizando el mismo recipiente de la prueba de peso volumétrico de los agregados pétreos, llenándose el recipiente con el concreto fresco a cada una tercia ( $1/3$ ) parte y compactando a cada 25 golpes de manera distribuida, asimismo con ayuda de un mazo de goma se realizó a dar por cada capa 12 golpes al molde metálico para disminuir la pérdida de contenido de aire, posteriormente se pesó el recipiente con su contenido y haciendo uso de su diferencia de peso se calculó su peso unitario, figura 20.



**Figura 20.** Registro del peso unitario de concreto

### 2.3.3 TEMPERATURA

Con la mezcla de concreto ya elaborada, se colocó un termómetro durante 2 minutos registrando así la temperatura del concreto en estado fresco, figura 21.



**Figura 21.** Registro de temperatura de concreto en estado fresco.

### 2.3.2 ELABORACIÓN DE PROBETAS

Para la elaboración de probetas de concreto se utilizaron moldes metálicos con dimensiones de  $15 \times 30$  cm. El llenado de los moldes se realizó en 3 capas, cada capa se varillo con 25 golpes de manera distribuida, cumpliendo con lo establecido en la norma ASTM C31 / C31M, 2012, figura 22.



**Figura 22.** Llenado de molde metálico con concreto permeable

### 2.4 PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO

Pasadas las 24 horas del llenado de los moldes metálicos con concreto, se realizó el descimbrado de los mismos, los especímenes de concreto se sometieron a un curado por inmersión en agua en un cuarto de curado, para posteriormente ser ensayos a la edad de 3, 7, 14 y 28 días.

#### 2.4.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

La resistencia a la compresión se puede definir como la medida máxima de la resistencia a carga axial de especímenes de concreto, de acuerdo a sus respectivas edades para su ensaye dentro de la normal ASTM C39.

Previamente a la edad de 3 días, se registraron las lecturas de 3 de sus diámetros superior, central e inferior del espécimen de concreto posteriormente se aplicó una capa de azufre en la parte superior e inferior del espécimen de concreto con la finalidad de lograr el paralelismo entre las caras para su prueba. Al cilindro de concreto se le aplicó carga por medio una prensa hidráulica para conocer el porcentaje y resultado de la resistencia a la compresión simple, este procedimiento fue realizado en cada uno de los ensayos con sus respectivas edades, figura 23.



**Figura 23.** Ensayo a compresión simple de concreto permeable (edad de 3,7,14 y 28 días).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 EVALUACIÓN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

El agregado grueso reciclado fue utilizado al 100%. Para el diseño de mezcla del concreto permeable con una resistencia  $f'c=250$  kg/cm<sup>2</sup>.

##### 3.1.1 HUMEDAD EN OBRA.

Los resultados de la prueba de humedad en obra del agregado grueso para el concreto permeable, se presentan en la tabla 1. Y de acuerdo a las especificaciones de las muestras tomadas, el valor promedio del contenido de humedad es de 1.31%.

**Tabla 1.** Resultados de la prueba de humedad.

Determinación	Peso Húmedo (g)	Peso Seco (g)	Contenido de Humedad (%)
1	556.92	549.68	1.30
2	644.71	636.75	1.23
3	551.79	543.60	1.48
4	605.77	598.37	1.22

##### 3.1.2 % ABSORCIÓN.

Los resultados de la prueba de % de absorción se obtuvieron conforme a las evoluciones de tres criterios, tabla 2. Donde el AGR le corresponde un valor de 5.08% siendo un valor mayor que el de un agregado grueso en estado normal.

**Tabla 2.** Contenido de absorción del AGR.

Determinación	P.M.S.S.S. (g)	P.M.S. (g)	ABSORCIÓN (%)
1	540.44	513.54	4.98
2	565.27	535.03	5.35
3	621.42	590.80	4.93
P.M.S.S.S.	Peso Muestra Saturada Superficialmente Seca		
P.M.S.	Peso Muestra Seca		

##### 3.1.3 DENSIDAD.

La densidad del agregado grueso reciclado, se determinó conforme a tres parámetros realizados en dicha prueba, tabla 3.

**Tabla 3.** Valores obtenidos por medio de la prueba de densidad.

DETERMINACIÓN	P.P.S.S.S. (g)	LEC 1 (cm <sup>3</sup> )	LEC 2 (cm <sup>3</sup> )	DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> )
1	597.79	400.00	650.00	2.39
2	523.84	400.00	620.00	2.38
3	681.51	400.00	680.00	2.43
P.M.S.S.S.	Peso Muestra Saturada Superficialmente Seca			

##### 3.1.4 PESO VOLUMETRICO SECO SUELTO (P.V.S.S.).

El resultado del peso volumétrico se determinó de acuerdo a la norma ASTM C29. Donde la masa volumétrica aproximada del agregado comúnmente usado para un concreto de peso normal varía de 1200 a 1750kg/m<sup>3</sup> (Kosmatka et al., 2004), tabla 4 y 5, el molde del recipiente es de 0.00982 m<sup>3</sup>

**Tabla 4.** P.V.S.S. correspondientes a la prueba de AGR.

Det.	P + R. Lleno (kg)	Peso Recipiente (kg)	PNT Material (kg)	P.V.S.S. (kg/m <sup>3</sup> )
1	17.66	5.20	12.46	1269.09
2	17.66	5.20	12.46	1269.09
3	17.77	5.20	12.57	1280.29
4	17.77	5.20	12.57	1280.29
P.V.S.S.	Peso Volumétrico Seco Suelto.			
PNT MATERIAL	Peso Neto del Material.			
VOL. RECIPI.	Volumen del Recipiente.			
P + R. Lleno.	Peso más Recipiente Lleno			

**Tabla 5.** Cálculos de dimensionamiento de recipiente.

Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Volumen: (cm <sup>3</sup> )
25.047	20.195	492.72	9950.51
24.712	20.210	479.63	9693.31
24.928	20.162	488.05	9840.07
24.886	20.124	486.41	9788.46

### 3.1.5 PESO VOLUMETRICO VARILLADO SECO (P.V.V.S).

Los resultados obtenidos mediante el peso volumétrico varillado seco, demostró que el agregado es semejante a proporciones de un agregado natural, tenido como promedio realizado para dicha prueba un valor de  $1356.93 \text{ kg/m}^3$ . De acuerdo a la tabla 6 y 7, el resultado obtenido se encontró dentro del rango de la norma ASTM C29, siendo un resultado bajo, debido al tipo de material utilizado, el molde del recipiente es de  $0.00982 \text{ m}^3$

**Tabla 6.** P.V.V.S. correspondiente al Agregado Reciclado.

Det.	P + R. Lleno (kg)	Peso Recipiente (kg)	PNT Material (kg)	P.V.V.S (kg/m <sup>3</sup> )
1	18.35	5.20	13.15	1339.36
2	18.49	5.20	13.29	1353.62
3	18.63	5.20	13.43	1367.88
4	18.62	5.20	13.42	1366.87
P.V.S.S.		Peso Volumétrico Seco Suelto.		
PNT MATERIAL		Peso Neto del Material.		
VOL. RECIPI.		Volumen del Recipiente.		
P + R. Lleno.		Peso más Recipiente Lleno		

**Tabla 7.** Cálculos de dimensionamiento de recipiente

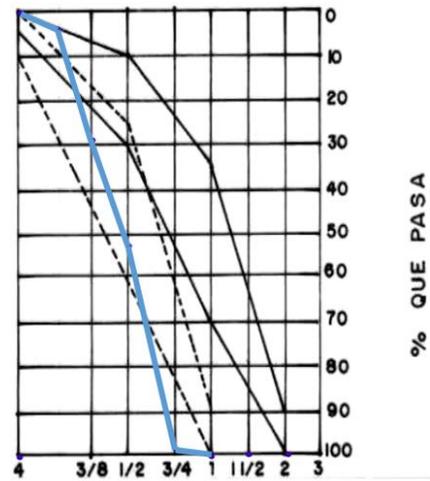
Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Volumen: (cm <sup>3</sup> )
25.047	20.195	492.72	9950.51
24.712	20.210	479.63	9693.31
24.928	20.162	488.05	9840.07
24.886	20.124	486.41	9788.46

### 3.1.6 GRANULOMETRIA.

La granulometría del agregado grueso, se realizó de acuerdo con la norma ASTM C136. En la tabla 8, se muestran los tamaños de agregados que se utilizaron en la granulometría y de acuerdo a la norma ASTM C33, el reciclado grueso cumple para ser utilizado en la elaboración del concreto, figura 24.

**Tabla 8.** Granulometría de agregado grueso.

No. de Malla	Material Retenido (g)	Material Retenido (%)	Material Retenido acumulado (%)	Material que pasa (%)
2	0	0.00	0	100.00
1 1/2	0	0.00	0.00	100.00
1	0	0.00	0.00	100.00
3/4	0.02	0.22	0.22	99.78
1/2	4.27	46.21	46.43	53.57
3/8	2.18	23.59	70.02	29.98
1/5	2.36	25.54	95.56	4.44
Fondo	0.41	4.44	100.00	0.00
Total	9.24	100		
Peso de la muestra	9.24			Kg.



**Figura 24.** Distribución de la curva granulométrica del agregado grueso

### 3.1.7 DESGASTE.

Los resultados de la prueba de desgaste presento que la relación de perdida de material es el doble que la perdida de material de un agregado natural, debido a su principal característica de poseer un 50% de material contenido de grava y un 50% en combinación de mezcla de cemento y arena. Teniendo como resultado un valor de 36.85% de desgaste, tabla 9.

**Tabla 9.** Resultado de prueba de % Desgaste de AGR.

Determinación	Peso inicial (g)	Peso final. (g)	% Desgaste (g)
1	2500.00	1578.76	36.85
2	2500.00	1578.76	36.85
3	2500.00	1578.76	36.85

## 3.2 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.

### 3.2.1 REVENIMIENTO.

La mezcla del concreto permeable con agregado reciclado presento con revenimiento menor que el de un concreto convencional, es decir un asentamiento de 4.5 cm, tabla 10.

### 3.2.2 PESO VOLUMÉTRICO

El peso volumétrico del concreto permeable en estado fresco determino como resultado un valor menor del 0.02% que el peso volumétrico de concreto agregado natura, tabla 10.

**Tabla 10.** Resultados obtenidos de la mezcla de concreto en estado fresco.

REVENIMIENTO (cm)	4.5	
PESO VOLUMETRICO REAL (kg/m <sup>3</sup> )	2261	
AJUSTE DE AGUA (ml)	-300	ml respecto al diseño original.

Debido a su característica de ser un agregado reciclado producto de demolición, se reincorporo una cantidad de 300 ml de agua a la mezcla, debido por tener una característica mayor de absorción en agregado.

### 3.3 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.

Dentro de esta investigación se realizó una comparación respectiva con un concreto elaborado con agregado natural y el concreto elaborado con agregado reciclado en estado endurecido, respectivamente a ensaye a compresión simple.

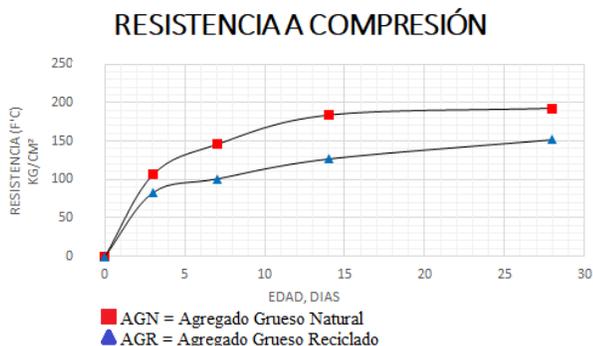
#### 3.3.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

Los resultados de la resistencia a la compresión de la mezcla de concreto permeable elaborado con agregado reciclado se ensayaron a la edad de 3, 7, 14 y 28 días. Tabla 11, de acuerdo con el procedimiento establecido en la norma ASTM-C-39M.01. el comportamiento se presenta en la figura 25.

**Tabla 11.** Resistencia a la compresión de los concretos en  $f'c$  en  $kg/cm^2$

Días	AGN ( $kg/cm^2$ )	AGR ( $kg/cm^2$ )
3	106.14	83.08
7	145.40	101.00
14	183.59	127.03
28	192.37	152.20

AGN = Agregado Grueso Natural  
AGR = Agregado Grueso Reciclado.



**Figura 25.** Comparativa de la resistencia a la compresión simple, con diferente agregado.

## CONCLUSIONES

El crecimiento de las ciudades, conlleva una demanda continua de obra de construcción, así como también grandes sobre explotaciones de bancos de material generando también pérdidas de ecosistemas, además que también de innumerables residuos de material ocasionados por fenómenos naturales como los terremotos. Por lo que los residuos de construcción y demolición al ser desechados pueden volver hacer utilizados como agregados para elaboración de concreto nuevo ayudando a reducir en gran medida los recursos naturales no renovables.

Los resultados obtenidos de esta investigación indica que el concreto permeable elaborado con agregado reciclado cuya resistencia depende de la influencia de ciertas variables, es decir, que el agregado presento características menores en su durabilidad debido que el desgaste de dicho material cuenta con un porcentaje del 36.85% de perdida que un agregado en estado natural, en termino de absorción cuenta con un porcentaje alto de 5.08% debido por ser un material con características absorbentes de concreto. Teniendo así un peso menor que un agregado natural, el peso volumétrico en estado suelto seco (P.V.S.S.) cuenta con un valor menor de  $1274.69 kg/m^3$  entrando en el rango aceptable, pero con un valor bajo, de la misma forma el peso volumétrico varillado suelto (P.V.V.S.) presento el valor de  $1356.93 kg/m^3$  entrando también así en el rango aceptable, pero con un valor bajo para la norma ASTM C29.

El concreto permeable con agregado reciclado presentó una resistencia de  $152.20 kg/cm^2$  a una edad de 28 días y el concreto permeable elaborado con agregado natural una resistencia de  $192.37 kg/cm^2$  a una edad de 28 días, con referente al que fue diseñado ( $250 kg/cm^2$ ), respectivamente dentro del estudio planteado el concreto permeable con agregado reciclado solo está sujeto aplicarse así en lugares con poco recibimiento de peso ya que su principal función es la filtración de agua por medio de su estructura porosa.

## RECONOCIMIENTO

Al Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Uagro por haberme permitido realizar esta investigación.

## REFERENCIAS

- [1] Bedoya, c., & dzul, l. (2015). El concreto con agregados reciclados como proyecto de sostenibilidad urbana. *Revista Ingeniería de Construcción* ric , 99-108.
- [2] Cabello Sequera , s., Campuzano Vera , l., Espinoza Correa , J., & Sánchez Mendieta, c. (2015). Concreto poroso: constitución, variables influyentes y protocolos para su caracterización . *Revista científica*, 64-69.
- [3] Fernández Arrieta, R. J., & Navas Carro, A. (2011). Diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad. *Infraestructura Vial*, 40-49.
- [4] Manual de: tecnología del concreto: agregados pétreos. Elaborado por M. en C. Alfredo Cuevas Sandoval.
- [5] Manuel R. Pinto, c. I. (27-29 de junio de 2018). Estudio y análisis en la dosificación del concreto poroso. *Ciencia y tecnología del concreto (citec)*, 74-76.
- [6] Martínez Molina, w., Torres Acosta, A. A., Alonso guzmán, e. M., Chávez García, h. L., Hernández Barrios, H., Lara Gómez, C., . . . González Valdez, F. M. (2015). Concreto reciclado: una revisión. *Revista Alconpa*, 235-248.
- [7] Mendoza, I., & Chávez, s. (2017). Residuos de construcción y demolición como agregado de concreto hidráulico nuevo. *Revista de ingeniería civil*, 9-14.
- [8] Ramos, I. D. (agosto de 2009). Estudios experimental de concretos permeables con agregados andesíticos. Mexico, D.F.