

Resistencia a compresión de una mezcla con cemento, jal, arena, agua y caucho



Colaboración

José Manuel Guzmán Gileta; José Fidel Navarro Arellano; José Ricardo Moreno Peña; Christian Manuel Flores, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Colima

RESUMEN: Evaluación de resistencia a compresión de una mezcla a base de cemento, jal, arena, agua y caucho, realizando 6 módulos sometidos a prueba en el laboratorio de Ingeniería en Mecatrónica dentro del Instituto Tecnológico de Colima.

Con lo cual, el modelo P-6, fue la más resistente, debido a un agregado mayor de cemento y caucho, teniendo además, un alto grado de deformación antes de la falla, regresando a su forma original al momento de quitar la carga puntual.

PALABRAS CLAVES: Desarrollo Sostenible, Innovación Tecnológica, Llantita Triturada, Mortero, Probetas, Productos Impermeables.

ABSTRACT: Evaluation of compressive strength of a mixture based on cement, pumice stone, sand, water and rubber. Performing 6 modules to be tested in the Mechatronics Engineering laboratory within the Technological Institute of Colima, of which, the test tube P-6, was the most resistant, due to a greater portion of cement and rubber. Furthermore, the test tube P6 showed to have a high degree of deformation before the failure; returning to its original form when removing the punctual load.

KEY WORDS: Sustainable Development, Technological Innovation, Crushed Tire, Mortar, Specimens, Waterproof Products.

INTRODUCCIÓN

La eliminación de neumáticos al término de su vida útil, afecta directamente al medioambiente a nivel mundial [1], ya que al no ser materiales biodegradables son depositados en basureros o simplemente desechados en zonas públicas. En México se desechan 40 millones de toneladas de llantas al año, de los cuales se reciclan sólo 10%; el resto termina en vertederos, rellenos sanitarios, ríos y calles, de acuerdo con datos de la Secretaría de Medio Ambiente en México" [2].

Bajo estas circunstancias, la utilización de la mezcla con agregado de materiales reciclados permitirá una reducción considerable de recursos durante el proceso y fabricación de los componentes. En este sentido, la investigación evalúa las condicionantes resistentes a compresión provenientes de la incorporación de residuos de neumáticos en el mortero.

En vista de las actuales investigaciones realizadas en los últimos años con respecto al volumen de desechos de neumáticos de vehículos, así como las limitaciones en uso alterno, ha dado gran relevancia por el incremento de contaminación en el país. Los nuevos esfuerzos se orientan a la creación de productos innovadores para su uso en la construcción como los productos impermeables por ejemplo, utilizados en cubiertas, pavimentos, etc. [3].

Como lo menciona NeyvaGissela Almeida Salazar en su trabajo para la obtención de título de Ingeniera Civil de la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, "Actualmente se fabrican miles de artículos de caucho para usos muy diferentes. El caucho es ampliamente utilizado en la fabricación de neumáticos, llantas, artículos impermeables y aislantes, por sus excelentes propiedades de elasticidad y resistencia ante los ácidos y las sustancias alcalinas. Es repelente al agua, aislante de la temperatura y de la electricidad. Se disuelve con facilidad ante petrolatos, bencenos y algunos hidrocarburos" [4].

El uso de desechos reciclables no solo reduce el consumo de la materia prima, sino que también es una gran aportación para la problemática mundial del medio ambiente con la eliminación de desperdicios.

Y como lo menciona M. Farfán y E. Leonardo, en su proyecto de tesis, donde realizaron pruebas con caucho triturado de llanta modificado con aditivo pacificante, determinando que "es factible utilizar caucho reciclado en combinación con aditivo plastificante para recuperar significativamente la resistencia mecánica hasta en un 10%, además contribuye a disminuir los efectos negativos que generan los desechos de caucho en el medio ambiente. La resistencia a la compresión se ve afectada por el reemplazo de agregado natural por agregado de caucho de neumáticos en desuso, con una reducción de aproximadamente 12% para una proporción de reemplazo del 15%" [5].

Esto determina que la factibilidad del uso de caucho en cementantes puede ser un recurso que disminuya la contaminación que se genera. Así como el estudio que realizó Pérez Oyola y Arrieta de la Universidad Católica de Colombia sobre la caracterización de una mezcla de concreto con caucho reciclado en un 5% en peso comparado con una mezcla de concreto tradicional e 3500 PSI, donde menciona que "con el ensayo de la resistencia a compresión la disminución fue considerable respecto al concreto tradicional, esto debido a la porosidad que se origina en la muestras con adicción de caucho reciclado, además a la baja adherencia que existe entre la pasta de concreto y el caucho este último a su baja absorción de agua no se entrelaza lo suficiente a la mezcla en estado fresco, es necesario recalcar que el caucho tiene la habilidad de experimentar grandes deformaciones

elásticas antes de la falla, es decir se deforma mucho más que la pasta de concreto que lo envuelve" [6].

Por ello, la intención de este proyecto de investigación, es analizar las propiedades de resistencia que tiene el material resultante al aplicarle una carga puntual, utilizando los materiales base en distintas proporciones y así poder crear varias probetas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la elaboración de la prueba de resistencia a compresión fue necesario crear probetas con dimensiones de 5cm. x 5cm. x 5cm., medida estándar emitida por la N-CMT-2-01-004-02 para la obtención de datos. Esta norma contiene los requisitos de calidad de los morteros que se utilizan en trabajos de albañilería, como lo son juntas, aplanados, firmes, entre otros.

Inicialmente se realizaron moldes (figura 1) hechos con tablillas de madera de pino unidas con pijas que facilitan la extracción de las mezclas al momento de secar. Consecuentemente, los moldes se barnizaron con aceite quemado (figura 2), siendo un proceso necesario para impedir la deformación de la madera al momento del contacto con la mezcla fresca. El aceite debe ser absorbido por la madera, además de que no debe tener excedentes. Este tipo de técnicas son utilizadas en cimbras al momento de verter el colado (cemento) para mantener el molde y la forma original que toma la mezcla al momento del fraguado del concreto.



Figura 1. Moldes de madera de pino de 5cm x 5cm x 5cm fijados con pijas.



Figura 2. Aplicación de aceite quemado a los moldes de madera.



Figura 3. Materiales en estado puro utilizados para la mezcla.

Un par de horas después, cuando la madera haya absorbido el aceite quemado, fue necesario continuar con el siguiente punto, la elaboración de mortero. Para esto, fue necesario crear 6 mezclas basadas en un diseño experimental y poder generar distintas proporciones en los materiales (tabla 1).

Se tomó la cantidad mencionada en la tabla de la imagen 3, dándole un valor del 10%, utilizando la medida para controlar los agregados en la mezcla y así tener proporciones exactas. Por ejemplo, si el agregado de caucho en una de las proporciones marcadas es del 30%, se deben de agregar 3 cantidades similares (figura 4).

Tabla 1. Especificación de probetas y sus proporciones.

| MODULO | CEMENTO | AGUA | JAL | ARENA | CAUCHO | Porcentaje |
|--------|---------|------|-----|-------|--------|------------|
| M-1 | 7.5 | 20 | 40 | 22.5 | 10 | 100 |
| M-2 | 10 | 20 | 35 | 20 | 15 | 100 |
| M-3 | 12.5 | 20 | 30 | 17.5 | 20 | 100 |
| M-4 | 15 | 20 | 25 | 15 | 25 | 100 |
| M-5 | 17.5 | 20 | 20 | 12.5 | 30 | 100 |
| M-6 | 20 | 20 | 15 | 10 | 35 | 100 |

Dentro de los materiales utilizados se encuentra el cemento portland, adquirido de un negocio local de la ciudad de Colima, siendo un cementante de calidad de acuerdo con la norma ASTM C 150 (Sociedad Americana de Pruebas y Materiales), arena y jal en su estado puro, obtenidos del negocio TRUPECO que maneja altos estándares de calidad en sus materiales, agua, que cumple con lo establecido en la Norma N-CMT-2-02-003 Calidad del Agua para Concreto Hidráulico, y por último, neumáticos triturados (figura 3), obtenidos de la vulcanizadora URZUA ubicada dentro de la misma ciudad, empresa que trabaja con neumáticos de la marca Bridgestone.



Figura 4. Medidas volumétricas estándar utilizadas.

Al momento de realizar la unificación de los materiales con sus distintas proporciones, fue necesario separar las mezclas (figura 5).



Figura 5. Separado de mezclas con diferentes proporciones

La unificación de los materiales a excepción del agua puede observarse en la figura 6.



Figura 6. Ejemplo de aleación uniforme de los materiales en la probeta 1.

El siguiente punto se trató de la colocación de las mezclas dentro de un recipiente para poder agregarle como parte final el porcentaje de agua y así facilitar la revoltura de los materiales hasta obtener la consistencia adecuada (figura 7 y 8).



Figura 7. Molde donde se agregó el material listo para agregar el agua y unificar.



Figura 8. Mezcla uniforme ya con el agregado de agua.

Al momento de tener listas todas las mezclas se vertieron en los moldes colocados en una superficie plana evitar el escurrimiento y esperar su fraguado (figura 9 y 10), que según la NMX-C-021-ONNCCE-2015 en su apartado de especificaciones físicas, "Las especificaciones para caracterizar la calidad del cemento para albañilería (mortero) están establecidas en la tabla 1" (tabla 2). Esta especificación permite someter el cubo o probeta resultante a los 7 días de creación y así poder lograr una comparación bajo la norma en la que se basará la probeta.

Para alcanzar un correcto vaciado de la mezcla en los moldes, se utilizó un elemento de madera que permite su esparcimiento uniforme y así poder obtener un cubo sin burbujas de aire que puedan afectarlo durante la prueba.



Figura 9. Colocación manual del material con un elemento de madera para darle uniformidad al llenado del molde.



Figura 10. Vaciado de mezcla en moldes de madera.



Figura 11. Maquinaria utilizada en prueba.

Tabla 2. Tabla comparativa del alcance de la resistencia del mortero a los 7 días de fraguado tomada de la NMX-C-021-ONNC-CE-2015.

| Determinación | Unidad | Condición | Especificación |
|---------------------------------------|-------------------|-----------|----------------|
| Sanidad (expansión en autoclave) | % | máximo | 1,0 |
| Tiempo de fraguado Inicial | min | mínimo | 90 |
| Tiempo de fraguado final | min | máximo | 1 080 |
| Resistencia a la compresión a 7 días | N/mm ² | mínimo | 4,4 |
| Resistencia a la compresión a 28 días | N/mm ² | mínimo | 7,8 |
| Contenido de aire | % | máximo | 22 |
| Retención de agua | % | mínimo | 60 |

Después de haber transcurrido el tiempo de secado, se retiraron los moldes de manera cuidadosa, deslindándose de las pijas en los moldes de madera para facilitar su extracción.

El siguiente apartado consistió en la realización de las pruebas que fueron hechas en el Instituto Tecnológico de Colima, ubicado en Villa de Álvarez, Colima, siendo el laboratorio de pruebas del área de Ingeniería en Mecatrónica quien facilitó el equipo necesario, así como el apoyo en la ejecución.

El equipo utilizado en esta prueba fue el UH - 500 kNI marca SHIMADZU (figura 11) siendo una maquina con un sistema hidráulico universal de la serie UH con una capacidad del marco de 100 KN a 500 KN.

Este tipo de maquinaria utiliza el KN (Kilo Newton) como unidad de medida de fuerza que se aplica en los distintos materiales posibles a utilizar, entre ellos la madera, los metales y el concreto.

Esta unidad de medida tiene un valor distinto al momento de la conversión a kilogramos, teniendo en cuenta, que 1 kilogramo fuerza es igual a 9.8 kilo Newton.

Después de haber transcurrido los 7 días de secado, se extraen las probetas de los moldes (figura 12).

Ahora bien, para dar inicio a la prueba, se colocan los cubos (probetas) uno a uno en el área de acción dentro de la máquina de manera que las caras lisas queden en los puntos de contacto, esto para lograr mayor firmeza en las caras de contacto, y de esta manera, poder dar inicio a la prueba (figura 13).



Figura 12. Probetas sin molde después de haber alcanzado sus 28 días de secado.



Figura 13. Momento de la realización de la prueba (probeta no. 6).

La prueba termina al reflejarse una falla en la probeta, esto se dictamina al momento de que la máquina detecta reducción de resistencia en el cubo, reflejándolo a manera de en la pantalla de datos (figura 14), el proceso continuó en la captura de datos.

Una vez habiendo obtenido los datos de los 6 cubos, se realizó una base de datos en Excel para comparar los resultados en tablas y gráficas.

El diseño de tablas realizadas en Excel, muestran la probeta manejada, especificando los materiales utilizados con sus porcentajes, su peso, volumen y su densidad. Además, cuenta con los datos de la resistencia obtenida en Newtons, su deformación en milímetros y el valor de resistencia en kilogramos sobre centímetros cuadrado.

Estos factores son determinantes para su uso constructivo, mientras más ligero sea el material, más eficaz será, siempre y cuando contenga una resistencia factible.

Tabla 3. Tabla comparativa de resultados, que especifica el tipo de probetas y su mezcla y sus características.

| Datos Generales | | | Características Físicas | | | Características de prueba | | |
|-----------------|------------|------------|-------------------------|--------------|------------------|---------------------------|------------------|-----------------------|
| Probeta | Material | Material % | Peso (Kg) | Volumen (M3) | Densidad (kg/m3) | Resistencia en N | Deformación (mm) | Resistencia en kg/cm2 |
| P-1 | Cemento | 7.5 | 0.160 | 0.000125 | 1280 | 1250 | 1.9 | 5.097 |
| | Agua | 20.0 | | | | | | |
| | Jal | 40.0 | | | | | | |
| | Arena | 22.5 | | | | | | |
| | Caucho | 10.0 | | | | | | |
| | Porcentaje | 100.0 | | | | | | |
| P-2 | Cemento | 10.0 | 0.145 | 0.000125 | 1160 | 1250 | 2.3 | 5.097 |
| | Agua | 20.0 | | | | | | |
| | Jal | 35.0 | | | | | | |
| | Arena | 20.0 | | | | | | |
| | Caucho | 15.0 | | | | | | |
| | Porcentaje | 100.0 | | | | | | |
| P-3 | Cemento | 12.5 | 0.140 | 0.000125 | 1120 | 2250 | 2.8 | 9.174 |
| | Agua | 20.0 | | | | | | |
| | Jal | 30.0 | | | | | | |
| | Arena | 17.5 | | | | | | |
| | Caucho | 20.0 | | | | | | |
| | Porcentaje | 100.0 | | | | | | |
| P-4 | Cemento | 15.0 | 0.135 | 0.000125 | 1080 | 2750 | 2.2 | 11.213 |
| | Agua | 20.0 | | | | | | |
| | Jal | 25.0 | | | | | | |
| | Arena | 15.0 | | | | | | |
| | Caucho | 25.0 | | | | | | |
| | Porcentaje | 100.0 | | | | | | |
| P-5 | Cemento | 17.5 | 0.140 | 0.000125 | 1120 | 3000 | 1.7 | 12.232 |
| | Agua | 20.0 | | | | | | |
| | Jal | 20.0 | | | | | | |
| | Arena | 12.5 | | | | | | |
| | Caucho | 30.0 | | | | | | |
| | Porcentaje | 100.0 | | | | | | |
| P-6 | Cemento | 20.0 | 0.135 | 0.000125 | 1080 | 3250 | 1.7 | 13.252 |
| | Agua | 20.0 | | | | | | |
| | Jal | 15.0 | | | | | | |
| | Arena | 10.0 | | | | | | |
| | Caucho | 35.0 | | | | | | |
| | Porcentaje | 100.0 | | | | | | |

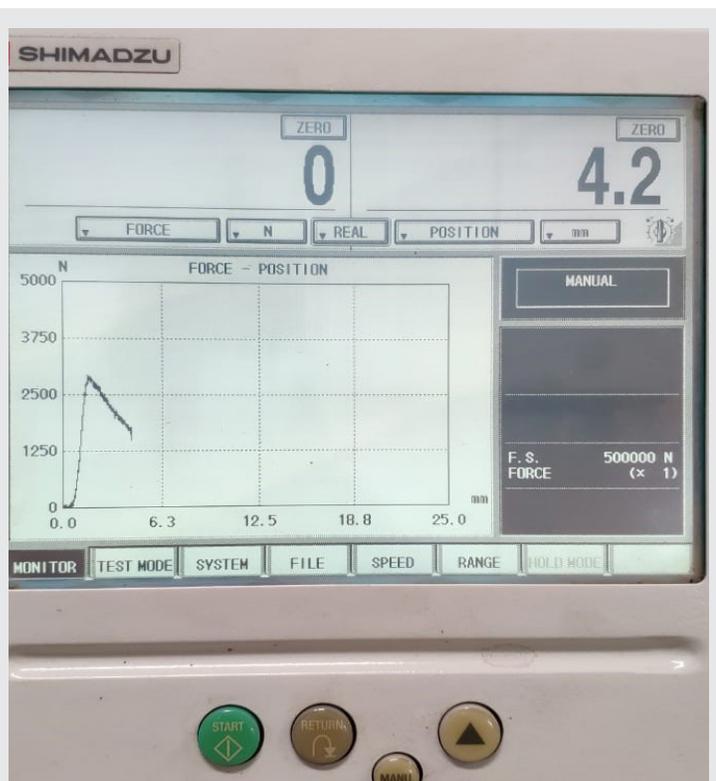


Figura 14. Diagrama de esfuerzo de deformación, se indica la falla cuando la línea va en declive (probeta 6).

RESULTADOS

La probeta P-1 alcanzó una resistencia de 5.097 kg/cm², la probeta P-2 5.097 kg/cm², la probeta P-3 mejoró su resistencia, llegando hasta los 9.174 kg/cm², la probeta P-4 incrementó levemente, con un resultado de 11.213 kg/cm², la probeta P-5 llegó hasta los 12.232 kg/cm² y finalmente, la probeta P-6 que fue las más resistente con 13.252 kg/cm² (tabla 3).

CONCLUSIONES

Las probetas P-1, P-2 y P-3, se deshicieron durante la realización de la prueba convirtiéndose en un material arenoso, conllevando a una falta de cementante al momento de analizarlos, siendo los de menor resistencia. Por otro lado, las probetas P-4, P-5 y P-6, mantuvieron su forma original.

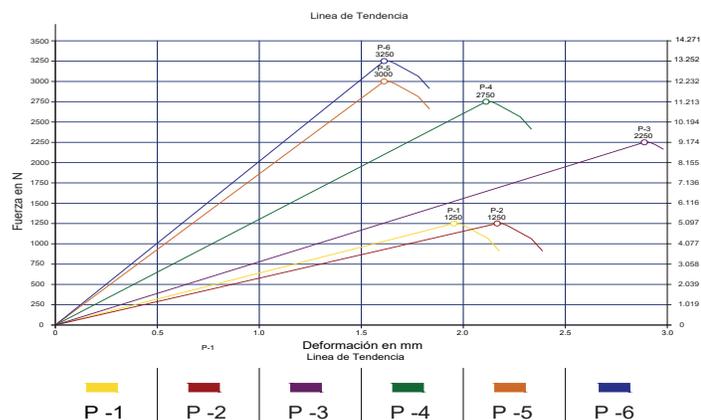
La probeta P-6, fue la más resistente, debido a un agregado mayor de cemento y caucho, que además de obtener alta resistencia, también demostró poseer un alto grado de deformación, regresando siempre a su forma original sin ser destruido al momento de quitar la carga puntual. Este grado de deformación fue de 1.7 mm.

Dicha probeta obtuvo una diferencia considerable al momento de compararla con la resistencia que se obtiene de una probeta de mortero tradicional (arena, cemento y agua) normada por la NMX-C-021-ONNC-CE-2015, que nos especifica que un cubo de mortero de 5cm. x 5cm. x 5cm., a sus 7 días de fraguado, debe alcanzar una resistencia de 4.4 n/mm² (43.1493 kg/cm²) para uso estructural. Dicha diferencia fue de una cuarta parte (13.252 kg/cm²).

Los resultados en las 6 pruebas (tabla 4) realizadas pueden ser considerables y funcionales para otros fines dentro de la construcción como enjarre y pisos, esto implica que se deben de desarrollar mas investigaciones relacionadas con estos términos.

Todo encamina a que el caucho puede ser factible en la mezcla del mortero para su uso en elementos no estructurales dentro de la construcción.

Tabla 4. Gráfica de esfuerzo de deformación. Especifica los rangos obtenidos de las 6 probetas sometidas a prueba.



BIBLIOGRAFÍA

[1] Cristhian Roman Peñalosa Garzón (2015), Comportamiento mecánico de una mezcla para concreto reciclado usando neumáticos triturados como reemplazo del 10% y 30% del volumen del agregado fino para un concreto con fines de uso estructural.

[2] Elizabeth Rodríguez Meza, (2018) Crean Artículos Sustentables Con Llantas Usadas - El Economista. 03 de Diciembre de 2018. <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Crean-articulos-sustentables-con-llantas-usadas-20181203-0056.html>

José Luis López (2019). Contaminan el país 32 millones de llantas. Periódico Digital, "El Heraldo de México".

NOM-161-SEMARNAT-2011. Plan de Manejo de Neumáticos Usados de Desecho. Manejo Responsable de Llantas Usadas, A.C. 2015. <http://recicllantas.org.mx/wp-content/uploads/2016/02/Plan-de-Manejo-de-Neumaticos-Usados-de-Desecho-2015-.pdf>

Cesar Mauricio Díaz Claros, Liliana Carolina Castro Celis (2017). Implementación del Grano de Caucho Reciclado (gcr) Proveniente de Llantas Usadas para Mejorar las Mezclas Asfálticas y Garantizar Pavimentos Sostenibles en Bogotá. Universidad Santo Tomás, Bogotá. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2633/Diazcesar2017.pdf>

[3] Iván Cruz (2018). Crean mexicanos Impermeabilizante con Llantas Usadas. Noticiero Digital "El Universal". <https://www.eluniversal.com.mx/colaboracion/orgullomexicano/nacion/crean-mexicanos-impermeabilizante-con-llantas-usadas>

César Mauricio Díaz Claros, Liliana Carolina castro Celis (2017). Implementación del Grano de Caucho Reciclado (gcr) Proveniente de Llantas Usadas para

Mejorar las Mezclas Asfálticas y Garantizar Pavimentos Sostenibles en Bogotá. Universidad Santo Tomás, Bogotá <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2633/Diazcesar2017.pdf>

[4] NeyvaGissela Almeida Salazar (2011). Utilización de Fibras de Caucho de Neumáticos Reciclados en la Elaboración de Bloques de Mampostería para Mitigar el Impacto Ambiental en el Cantón Ambato. Ambato - Ecuador. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/4346>

[5]. M. Farfán* E. Leonardo* (2018). Caucho Reciclado en la Resistencia a la Compresión y Flexión de Concreto Modificado con Aditivo Plastificante. (p. 241). https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732018000300241

[6] Juan Carlos Pérez Oyola - Yeison Leonardo Arrieta Ballén (2017) Estudio Para Caracterizar Una Mezcla De Concreto Con Caucho Reciclado En Un 5% En Peso Comparado Con Una Mezcla De Concreto Tradicional de 3500 PSI. <https://www.coursehero.com/file/47924515/Tesis-ante-propdf/>

Reporte de un organismo o ente:
Normas: N-CMT-2-01-004-02 CMT.
Características de los Materiales. 2. Materiales para Mampostería. 004. Morteros.

Ing. Guillermo Castro (2007). Reutilizacion, Reciclado y Disposición Final de Neumáticos. Departamento de Ingeniería Mecánica F.I.U.B.A. https://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material_Complementario/Reutilizacion_Reciclado_y_Disposicion_final_de_Neumatico.pdf

NMX-C-021-ONNCCE-2015 - Industria de la Construcción Cemento para Albañilería (mortero) - Especificaciones y Métodos de Ensayo.
Norma ASTM C 150 - (Sociedad Americana de Pruebas y Materiales).
N-CMT-2-01-004-02 - Dimencion de probetas de mortero (5cmx5cmx5cm).

Norma N-CMT-2-02-003 - Calidad del Agua para Concreto Hidráulico.

Otros:
Empresa SELAICON - Empresa de realización de pruebas de ensayo - apoyo con normativa y especificaciones.

Curso de Actualización Sobre Concreto y Mortero (2019) - Colegio de Arquitectos del Estado de Co-lima.