

EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE LA ARENA POR DESECHOS DE CAUCHO Y SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO CON POLVO DE SÍLICE, UNA ALTERNATIVA SUSTENTABLE EN EL CONCRETO

Ing. Alejandro Giménez¹, Ing. María Olavarrieta², Ing. María Rodríguez³

¹ Departamento de Ingeniería de Construcción, Decanato de Ingeniería Civil, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. e-mail: agimenez@ucla.edu.ve

² Departamento de Ingeniería de Construcción, Decanato de Ingeniería Civil, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, e-mail: ingmariaalice@gmail.com

RESUMEN

La presente investigación se trazó como objetivos evaluar las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas de concreto con sustituciones del 5% de la arena por desechos de caucho y 10% - 15% del cemento por polvo de sílice, para hacer comparaciones con una mezcla. Se realizaron diseños de mezclas de variable fija la resistencia a la compresión de 280 Kg/cm², el asentamiento de la mezcla (4"). El cemento empleado fue Portland Tipo I, mientras que los materiales de la sustitución fueron polvo de sílice (amorfo), desecho de caucho, arena y piedra. Se elaboraron probetas cilíndricas, evaluando la resistencia a la compresión a las edades de 3, 7, 14, 28, 56 y 90 días; para el estudio de la porosidad se elaboraron probetas cilíndricas de 10 cm de diámetro y 5 cm de altura. Los resultados se analizaron y compararon con las Normas COVENIN y el manual DURAR-CYTED. Se concluye que la mezcla que aporta mayores valores de resistencia es el patrón en todas las edades ensayadas, mientras que las mezclas con sustitución alcanzaron la resistencia de diseño a los 90 días, siendo la muestra con 10% de polvo de sílice la que mejores valores de resistencia aportó, pudiéndose decir que la presencia de desechos de caucho genera espacios vacíos en la mezcla. En cuanto a la porosidad, la mezcla patrón indica que es de moderada calidad, mientras que las muestras con sustitución indican un hormigón de durabilidad inadecuada, lo cual la hace vulnerable a la penetración de agentes externos.

Palabras clave: Sílice, Caucho, Resistencia y Porosidad.

INTRODUCCIÓN

La imperante necesidad de satisfacer las demandas de diversas construcciones civiles, entre ellas las viviendas para la colectividad, así como la escasez de materiales para la construcción, y el deterioro del medio ambiente a partir de algunas construcciones tradicionales, ha llevado a diversos investigadores en el área a buscar alternativas viables y sustentables de nuevos materiales de construcción que sean novedosos, ecológicos que respeten el medio ambiente. Entre estas alternativas, la utilización de desechos ambientales como materiales reciclados, se han incorporado a las mezclas tradicionales, estudiando así sus propiedades con la intención de compararlas en sus diversas características con las propuestas de materiales tradicionales. En el mismo norte, en el Decanato de Ingeniería Civil de la Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado", se han llevado a cabo, desde hace varios años, un conjunto de investigaciones, cuya propuesta ha sido la experimentación con nuevas mezclas comparadas con otras tradicionales, a fin de generar

nuevos conocimientos al respecto. En este sentido, la presente investigación pretende ampliar la base de conocimientos sobre nuevos materiales de construcción, por lo que se propuso evaluar las mezclas de concreto con sustitución parcial de arena y cemento, con desechos de caucho y polvo de sílice respectivamente como una alternativa sustentable en concreto. La importancia de la propuesta de sílice y caucho es que existe poca evidencia científica de las propiedades de la combinación de estos materiales adicionados al concreto tradicional, de allí lo novedoso del estudio y de los aportes teóricos que se generaran a partir de los resultados.

1- METODO EXPERIMENTAL

1.1 Población y Muestra

Para la investigación que se desarrolló, la población de este estudio comprende el conjunto de mezclas de concreto utilizadas en la construcción, las cuales se compararon con la mezcla de concreto elaborado con sustitución parcial del cemento con arena sílice y arena por desechos de cauchos. La muestra de estudio está conformada por 75 probetas cilíndricas, que comprenden un diseño de mezcla patrón y con sustitución de arena de sílice en dosis de 10 y 15% del peso del cemento y desecho de caucho en dosis de 5% del peso de la arena.

1.2 Sistema de Variables

Es importante en toda investigación definir conceptual y operacionalmente las variables con las que va a trabajar, en este sentido Hurtado (2010) refiere que la variable es cualquier característica, fenómeno, proceso, hecho, o situación susceptible de ser objeto de estudio y de indagación en una investigación

Con base en lo expuesto anteriormente, en la investigación experimental existen variables independientes y dependientes, en este caso la variable independiente serían las adiciones agregados a la mezcla de concreto: cantidad de sílice y cantidad de desecho de caucho, sustitución de arena de sílice en dosis de 10 y 15% del peso del cemento y desecho de caucho en dosis de 5% del peso de la arena.

La variable dependiente serán las características físicas y mecánicas de las diferentes mezclas de concreto, se evaluó la resistencia a la compresión a los 3, 7, 14, 28, 56 y 90 días de edad en estado endurecido.

1.3 Materiales

- a. **Cemento:** Portland Tipo I proveniente de la empresa Cemex Venezuela S.A.C.A Planta Lara.
- b. **Agregados:** proporcionados por los tutores.
- c. **Polvo de Sílice en estado amorfo:** donada por la Reprocesadora Industrial de Arena de Sílice RIAS, C.A, ubicada en la Zona Industrial II, Barquisimeto, Estado Lara.
- d. **Desecho de Caucho:** proporcionada por empresa cauchera de la zona

1.4 Diseño de las mezclas

Realizada la caracterización de los agregados, se procedió a determinar el diseño de mezcla para cada tipo, basado en el método del manual de concreto estructural de Porrero conforme con la **Norma COVENIN 1753-03** “Proyecto y Diseño de Obras en Concreto Estructural”, con resistencia de diseño de 280 Kg/cm² para todas las mezclas, con sustitución de 5% de arena por caucho molido y 10% de cemento por polvo de sílice; y sustitución de 5% de arena por caucho molido y 15% de cemento por polvo de sílice, obteniendo así un total de tres (3) mezclas.

Tabla N° 1. Diseño de mezcla patrón para $f'c=280\text{Kg/cm}^2$

Material o Componente	Dosificación m ³ /concreto
Agua de Mezclado (Lts)	212.35
Cemento Portland Tipo I (Kg)	447.18
Agregado Fino (Kg)	744.80
Agregado Grueso (Kg)	947.93

Tabla N° 2. Diseño de mezcla con sustitución del agregado fino en un 5% por caucho molido y cemento en un 10% por polvo de sílice con $f'c=280\text{Kg/cm}^2$

Material o Componente	Dosificación m ³ /concreto
Agua de Mezclado (Lts)	212.35
Cemento Portland Tipo I (Kg)	402.46
Agregado Fino (Kg)	757.19
Agregado Grueso (Kg)	797.04
5% Caucho (Kg)	39.85
10 % Sílice (Kg)	44.72

Tabla N° 3. Diseño de mezcla con sustitución del agregado fino en un 5% por caucho molido y cemento en un 15% por polvo de sílice con $f'c=280\text{Kg/cm}^2$

Material o Componente	Dosificación m ³ /concreto
Agua de Mezclado (Lts)	212.35
Cemento Portland Tipo I (Kg)	380.10
Agregado Fino (Kg)	742.81
Agregado Grueso (Kg)	781.91
5% Caucho (Kg)	39.10
15 % Sílice (Kg)	67.08

1.5 Elaboración de la Mezcla de Concreto

Se pesaron todos los materiales, se revisaron todos los componentes: el cemento, agregado fino, agregado grueso, la adición de polvo de sílice y la adición de caucho, dependiendo la mezcla a realizar, se midió el agua respectivamente. Luego se comenzó a verter al trompo primero el agregado grueso y una parte del agua, se encendió el trompo y se agregó el agregado fino, el caucho, el cemento, el polvo de sílice y el agua restante, se mezcló durante tres (03) minutos para luego encenderlo y mezclar nuevamente durante dos (02) minutos. Finalizado este tiempo se vertió el concreto en la carretilla anteriormente limpiada y humedecida, para luego hacer la prueba de asentamiento.

1.5.1 Evaluación Física de las Mezclas en Estado Fresco

Se realizó a través de la medición del asentamiento con el cono de abrams, según el procedimiento establecido en la norma COVENIN 339.



Fig. 1 Asentamiento del concreto y probetas

1.5.2 Elaboración, Curado y Ensayo de las Probetas Cilíndricas de Concreto

Se realizó según los criterios establecidos en la Norma COVENIN 338-2002 “Concreto. Método para la Elaboración, Curado y Ensayo a compresión de Cilindros de Concreto”

1.5.2.1 Curado de Probetas Cilíndricas

Las probetas cilíndricas elaboradas se dejan reposar durante un periodo de veinticuatro (24) horas. Transcurrido el tiempo, se desmoldan los cilindros, se identifican y se sumergen en agua para el proceso de curado. En estas condiciones los cilindros deben permanecer por un periodo de 3, 14, 28, 56 y 90 días. Los cilindros se retiran del agua el día anterior a la fecha de ensayo para secarse y luego tomar las medidas de cada cilindro (ancho y alto) en centímetros y se registra su peso en kilogramos. Se traslada cada cilindro a la prensa, donde se coloca el molde neopreno, se centra y se procede a comprimir, se registra el valor de la carga suministrada por la prensa, para luego proceder a calcular el valor de la resistencia



Fig.2 Desencofrado y curado de probetas

1.5.2.2 Evaluación del Concreto Endurecido

Ensayo a compresión de cilindros de concreto

Este tipo de ensayo consiste en aplicar una carga vertical a una rata de $3\pm 1 \text{ kg/cm}^2$, con la finalidad de distribuir la carga uniformemente



Fig. 3 Ensayo a compresión de probetas.

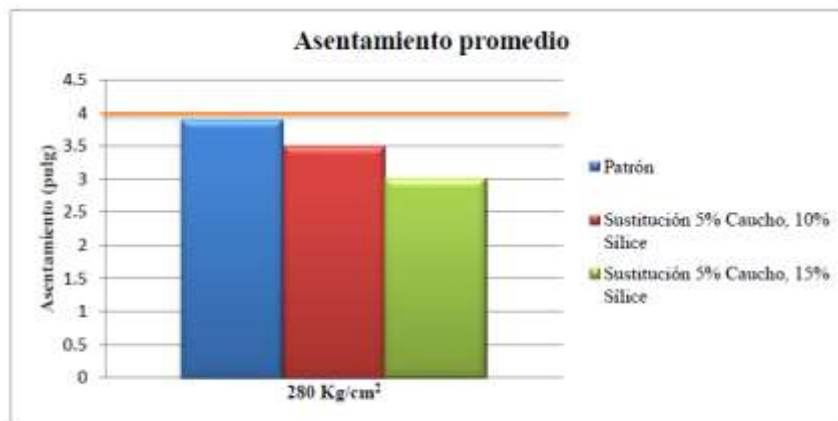
1.6 Método para Determinar el Porcentaje de Porosidad de las Mezclas de Concreto

El ensayo de porosidad se realiza para calcular los poros que le quedan al concreto luego que pierde su agua por calentamiento a cierta temperatura. Estos ensayos se realizaron siguiendo la metodología descrita en el Manual DURAR CYTED 1998.

Una vez elaboradas cada mezcla de concreto, se tomaron tres (3) muestras cilíndricas por cada diseño de mezcla, con dimensiones de los moldes de 10 cm de diámetro por 5 cm de altura, los cuales se sometieron a un proceso de curado durante 3 días, donde se registró su peso fuera (saturado de agua) y dentro de agua (sumergido en agua), este último peso se determinó con la balanza hidrostática. Finalmente se secan las muestras en el horno a una temperatura de $105 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 48 horas, transcurrido ese tiempo se registró el peso seco (peso seco al horno).

2. RESULTADOS

2.1. Asentamiento

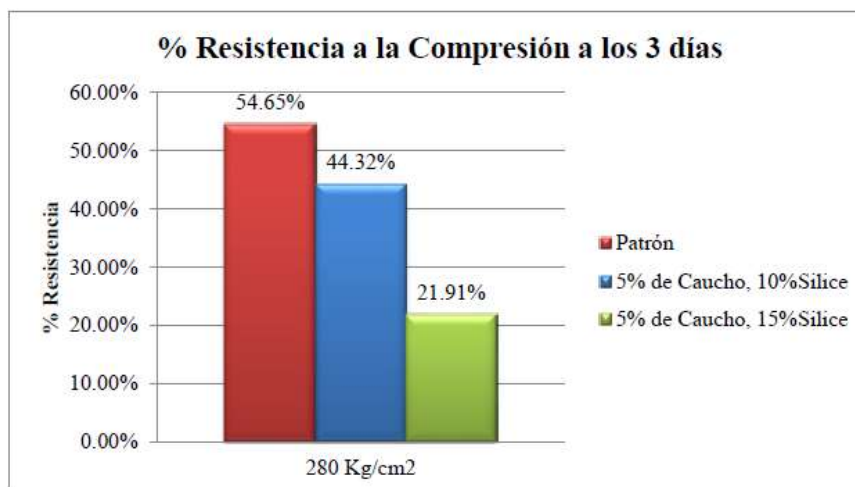


El gráfico anterior refleja los resultados del asentamiento obtenido para las mezclas estudiadas, se observa que la mezcla patrón cumple con el asentamiento de diseño de 4 ± 1 pulgadas, mientras que en las mezclas con sustitución de polvo de sílice y caucho a pesar de presentar asentamientos menores, cumplen con el diseño. Cabe destacar, que debido a la presencia de micro sílice, que tiene la capacidad de actuar como reductor de la relación agua-cemento y esto sumado a la cantidad de gradación gruesa, hace disminuir la manejabilidad de las mezclas. Igualmente se observa una reducción progresiva del asentamiento, al incrementar el porcentaje (%) de sustitución de polvo sílice donde la mezcla patrón reduce 2.5% con respecto al asentamiento de diseño (4”), mientras que la mezcla de sustitución de 5% de Caucho y 10% de polvo de sílice reduce un 12.5% y la mezcla de 5% de Caucho y 15% de polvo de sílice reduce un 25%, por consiguiente la influencia para la presencia de polvo de sílice en las mezclas es moderada, puesto que, los asentamientos no varían significativamente con respecto a los de la mezcla patrón

2.2 Resistencia a la Compresión:

El ensayo de resistencia a la compresión del concreto es el criterio más aplicado para determinar su calidad, puesto que en la resistencia están involucrados diversos factores muy significativos.

A continuación se muestra la evolución comparativa en términos porcentuales en la resistencia del concreto de las mezclas patrón, 5% de sustitución de caucho, 10% y 15% de sustitución de polvo de sílice para una resistencia de 280 Kg/cm² para las edades de 3, 7, 14, 28, 56 y 90 días

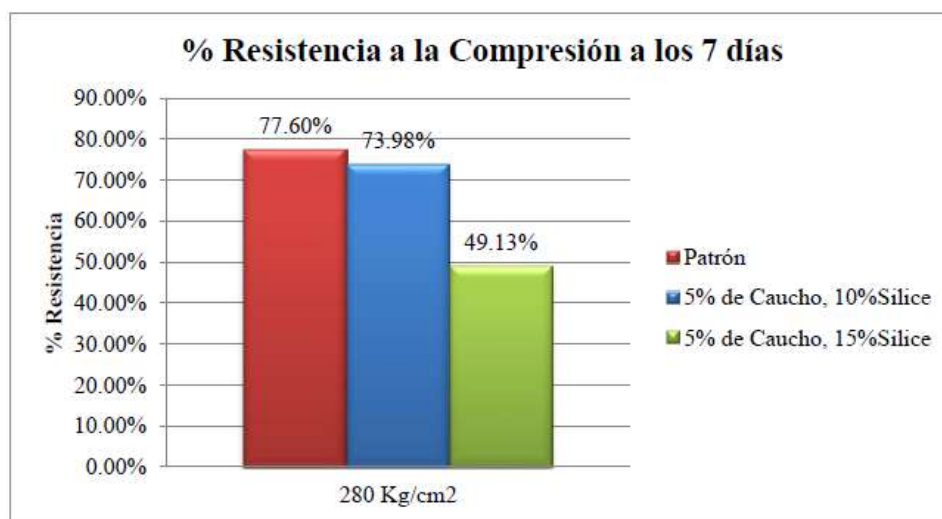


Se muestran los porcentajes de resistencia alcanzados a la edad de 3 días, en el cual se puede observar que la mezcla patrón alcanzó el 54,65% de su resistencia, superando el 50% de la resistencia de diseño. Las mezclas con sustituciones de 10% y 15% de polvo de sílice no alcanzaron la resistencia esperada, solo 44,32% y 21,91% respectivamente.

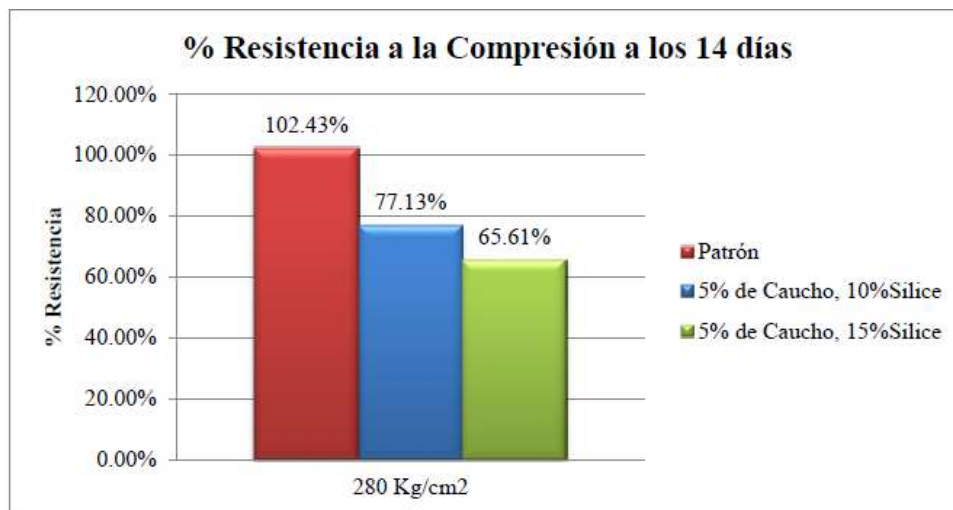
Esto indica que la sustitución de polvo de sílice afecta la ganancia de resistencia a compresión del concreto a edades tempranas, esperando se logre mejorar dichas resistencias

en edades mayores, ya que esta edad es muy temprana para que ocurra la reacción química entre el polvo de sílice y el cemento.

En los gráfico siguiente corresponde a la edad de 7 días, se muestra los porcentajes de resistencia alcanzados a esta edad, en el cual se puede observar que la mezcla patrón y la mezcla con sustitución de 5% de caucho y 10 % de polvo de sílice, incrementaron su resistencia un 22,95% y 29,66% superando el 70% de la resistencia de 280 Kg/cm², sin embargo la mezcla con sustitución de 5% de caucho y 15% de polvo de sílice no alcanzaron la resistencia mínima esperada, aun así esta aumento un 27,22% de su resistencia. A pesar que la sustitución empleada, al parecer no es una puzolana por su estado estructura interna de las moléculas, presenta un incremento de su resistencia. La mezcla patrón fue la que desarrollo mayor resistencia en comparación a las mezclas con sustitución de 5% de caucho, y 10% - 15% de polvo de sílice. De igual manera se observa que a medida que se incrementa el porcentaje de sustitución, la resistencia de compresión son menores en relación a la mezcla patrón.

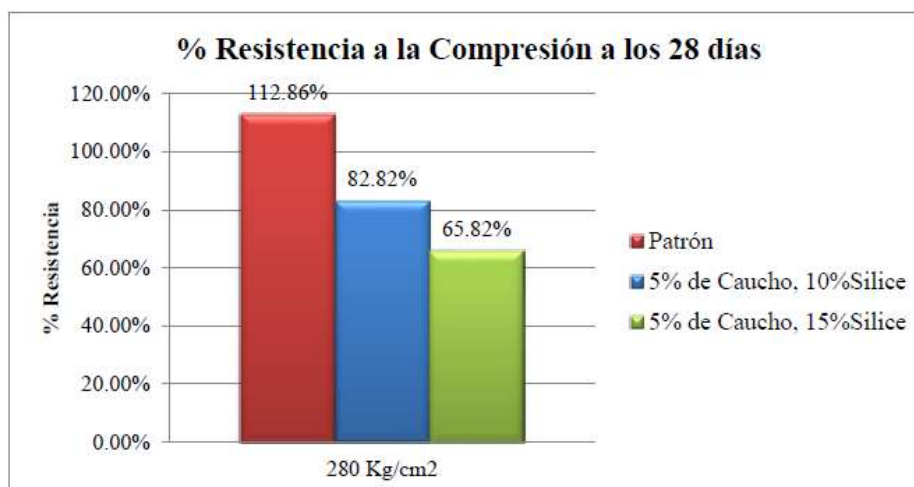


Continuando con las evaluaciones de la resistencia a diferentes edades el grafico siguiente muestra los porcentajes de dichas resistencias, realizados a los 14 días de edad, donde se puede observar, como se esperaba que solo la mezcla patrón superó la resistencia esperada del 90% de la resistencia de 280 Kg/cm², alcanzando más del 100% de la resistencia de diseño. En el caso de las mezclas con sustitución de 10% y 15% de polvo de sílice, no alcanzaron el 90% de la resistencia de diseño, sin embargo el incremento de sus resistencias a compresión fueron de 3,15% y 16,47% con respecto a la edad anterior.



En las mezclas con sustitución de polvo de sílice, el desarrollo de la resistencia tarda debido a que se requiere tiempo para la reacción entre los silicatos activos del posible material puzolánico y el Hidróxido de Calcio liberado por el Clinker en el transcurso de la hidratación. En este estudio se observa que mientras mayor sea el porcentaje de sustitución, más tardara la reacción comentada anteriormente.

A pesar del aumento de resistencias de las mezclas con sustitución para esta edad, se observa que la diferencia entre los porcentajes de aumento de la resistencia a compresión es alta.



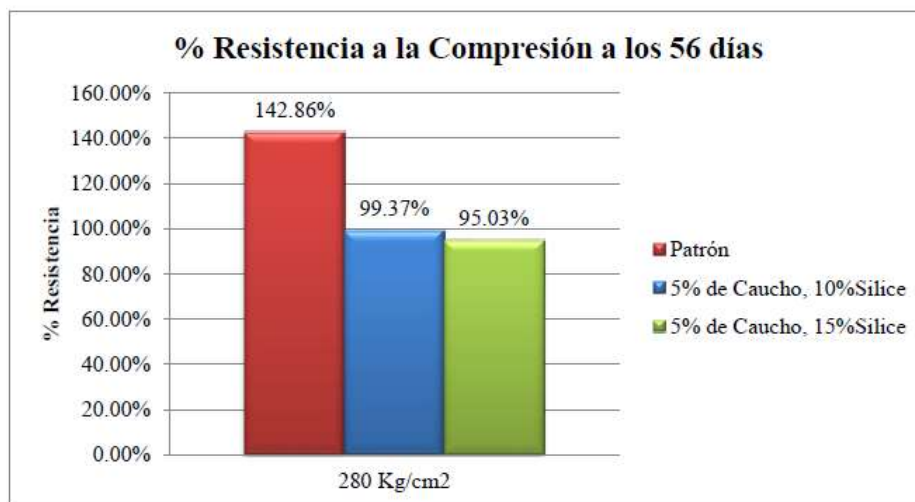
El comportamiento de la resistencia a la edad de 28 días, es similar a las descritas anteriormente donde la única mezcla que supera la resistencia de 280 Kg/cm² la mezcla patrón, en un 12,86% de la resistencia de diseño. Las mezclas con sustituciones de 10 y 15% de polvo de sílice alcanzaron menores resistencias a las esperadas. Sin embargo obtuvieron el 82,82% y 65,82% de su resistencia. El desarrollo de la resistencia a la

compresión (Porrero, J. y otros, 2008) indica que la edad de 28 días se elige ya que el desarrollo de resistencia esta adelantado en gran proporción.

Se espera que para las edades mayores se logre mejorar y aumentar las resistencias de las mezclas con sustituciones, debido que en estas tardan tiempo en reaccionar los silicatos activos del material puzolánico y el Hidróxido de Calcio liberado por el Clinker en el transcurso de la hidratación.

Por las características propias de la adición empleadas se evaluó edades no convencionales los cuales se muestran a continuación. Los porcentajes de resistencias alcanzados para 56 días denotan que la mezcla patrón supera la resistencia de diseño un 42,86% , mientras que la mezclas con sustitución de 10% - 15% de polvo de sílice alcanzaron resistencias mayores a las edades anteriores, incrementando su resistencia un 16,55% y 29,21% respectivamente. Sin embargo a esta edad aun no alcanzaron la resistencia de diseño. Esto debido básicamente a la característica de filler de la adición empleada.

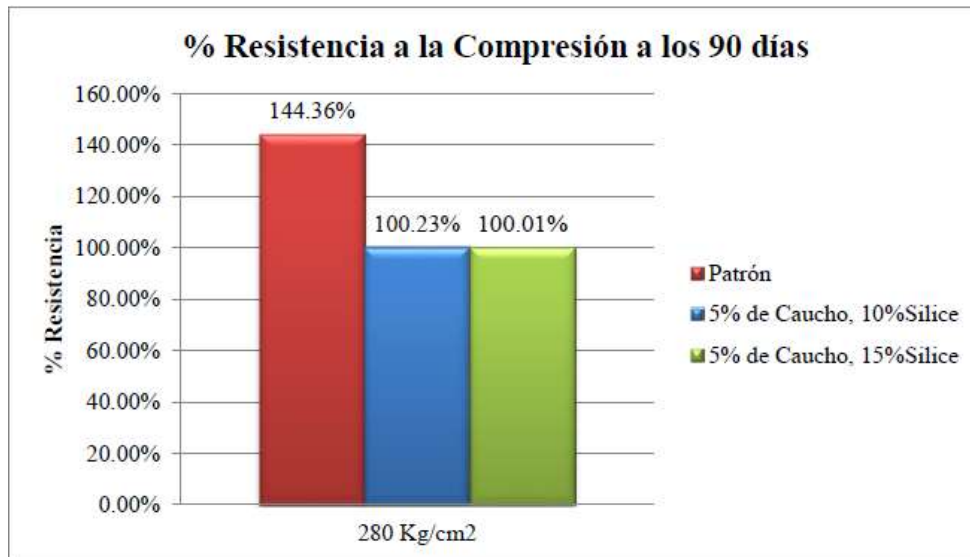
Las ganancias de resistencia del concreto se produce mayormente en los días iniciales después del mezclado, se obtiene un 90% en 14 días, y un 99-100% en los 28 días, después de este tiempo sigue adquiriendo resistencia pero es mínima en comparación a los primeros días, en este caso las muestras con sustituciones de polvo de sílice alcanzaron un porcentaje de crecimiento mayor a las edades iniciales, esto se debe a que ya se activó la reacción entre los silicatos activos del posible material puzolánico y el Hidróxido de Calcio liberado por el Clinker.



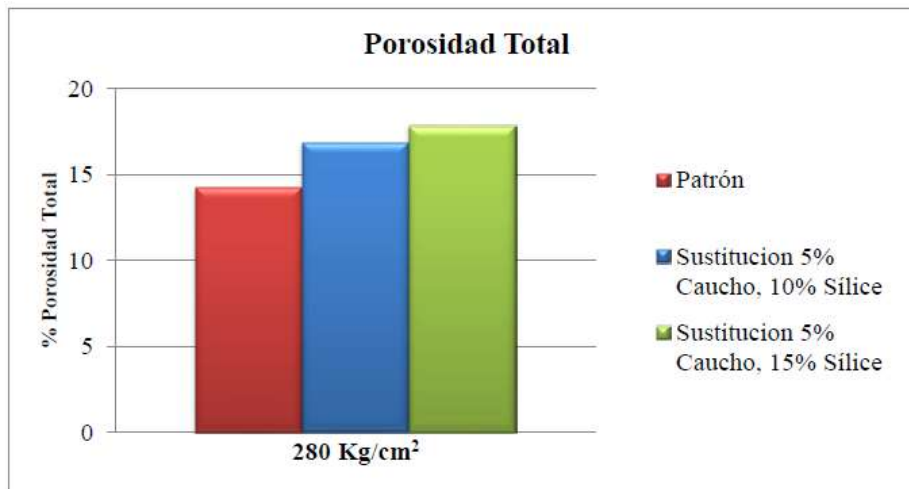
Finalmente se presentan los porcentajes a la edad de 90 días respectivamente, se pueden observar que continúa la tendencia de disminución de los valores de las resistencias a la compresión en cada una de las mezclas, siempre menor a la mezcla patrón.

También en este gráfico se evidencia que la mezcla patrón es la que aporta mayores valores de resistencia, en todas las edades ensayadas, mientras que las mezclas con sustitución de 5% de caucho - 10% polvo de sílice y 5% de caucho - 15% de polvo de sílice finalmente a esta edad alcanzaron la resistencia esperada, siendo valores similares entre ellas y teniendo una ganancia mínima con respecto a la edad anterior (56 días).

El caucho al porcentaje utilizado (5%) en las mezclas estudiadas no evidenció ninguna mejoría en cuanto a la resistencia a compresión del concreto.



2.3 Porosidad



Se muestran los valores de los resultados del ensayo de porosidad en las mezclas patrón y mezclas con sustitución, para la resistencia de 280 Kg/cm². Comparando estos valores con los valores normativos del Manual Durar 1998 mostrados en la Tabla N° 14 se observa que la mezcla patrón se considera un concreto de moderada calidad, ya que se obtuvo un 14.25% de porosidad, por el contrario las mezclas con sustituciones de 5% de caucho y 10% - 15% de polvo de sílice indican un concreto de inadecuada calidad, obteniendo un 16,84% y 17,81% de porosidad respectivamente, siendo estas muy porosas. Esto se debe a

COVENIN 338 - 2002.

Goyo, E. y Rojas, C. (2014). Evaluación de mezclas de concreto con adiciones de arena de sílice en un 5 y 10% como sustituto del peso del cemento. Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Venezuela

Hurtado, J (2010). Metodología de la Investigación. Caracas: Editorial Quirón. 4ta edición.

Porrero, J. (2004). Manual de Concreto Estructural. Conforme a la norma COVENIN 1753:2003 - Proyecto y diseño de obras en concreto estructural. Editor Sidetur. Venezuela.

Rodríguez. B. (2009). Estudio de concreto elaborado con caucho de reciclado de diferentes tamaños de partículas. Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela. ISSN 0798- 4065.

la presencia de polvo de sílice y caucho, lo cual genera menor trabajabilidad y más espacios vacíos, por lo tanto se hace menos compacta.

Recordando que a mayor porosidad, mayor será la permeabilidad y la absorción capilar del concreto, lo que facilita la penetración del oxígeno, la humedad y las sales, aumentando las posibilidades de que ocurra la corrosión.

3. CONCLUSIONES

En los ensayos de resistencia a la compresión se pudo observar que por las características de la adición utilizada, ya que como no se le realizó una caracterización a la misma se presume su poca reactividad puzolanica por el acomodo interno de las moléculas, actuando más como un filler que como un material reactivo, sin embargo las mezclas con sustitución alcanzaron la resistencia de diseño a los 90 días, pudiéndose decir que el sílice (amorfo) reacciona a edades mayores y no son favorables porcentajes tan altos de este material en las mezclas de concreto.

La presencia de caucho afecta la trabajabilidad, fluidez de la mezcla y resistencia a la compresión, siendo este un material que produce espacios vacíos por tener una granulometría específica

La sustitución con mejor aporte de resistencia a la compresión en todos los periodos de ensayo es con 10% de polvo de sílice y 5% de caucho, ya que los resultados obtenidos aumentaron progresivamente con el pasar del tiempo

Las mezclas con sustitución de 5% de caucho y 10% - 15% de polvo de sílice respectivamente alcanzaron valores de porosidad mayores a 15%, lo que indica que es un hormigón de durabilidad inadecuada por lo tanto son sensibles a los ataques de agentes químicos debido a su capacidad de absorción.

4. REFERENCIAS

Akhras, N y col (2003). Properties of Tire Rubber Ash Mortar. Jordan University of Science and Technology

Bolívar, N., Gómez, R., y González, N. (2012). Evaluación de mezclas de concreto sustituyendo parte del cemento con adiciones de arena de sílice. Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Venezuela

Chacón, E. y Lema, G. (2012). Estudio comparativo de elementos fabricados de hormigón con material reciclado PET (Polietileno Tereftalato) y de hormigón convencional. Tesis de Ingeniería Civil. Escuela Politécnica Nacional. Quito. (Disponible en <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4837>)

COVENIN 1753-2003

COVENIN 339 - 1994