

Influencia del *aloe-vera* sobre la resistencia a la compresión, infiltración, absorción capilar, tiempo de fraguado y asentamiento en un concreto estructural

Influence of the percentage of *aloe-vera* on compressive strength, infiltration, capillary absorption, time of setting and settlement in a structural concrete

Zenown Ali Elbinz Aburto-Moreno^{1*}; Hernán Alvarado-Quintana²; Iván Vásquez-Alfaro²

- 1 Escuela profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Trujillo, +51, Trujillo, Perú.
- 2 Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Trujillo. Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

*Autor correspondiente: z_dtb@hotmail.com (Z. Aburto-Moreno).

Fecha de recepción: 02 04 2018. Fecha de aceptación: 10 05 2018

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó la influencia del *Aloe vera* en el concreto para determinar el porcentaje más óptimo, analizando su estado fresco y endurecido. Se realizó el estudio de las partes de la planta de *Aloe vera* mediante la prueba del goteo, con el que se determinó su mejor uso. Se realizó el diseño de mezcla para un concreto 210 kg/cm² según ACI 211 (Instituto Americano del Concreto). El uso de *Aloe vera* fue en porcentajes del 0-6% respecto al total del concreto. Las pruebas realizadas estuvieron bajo las normas de la Sociedad Americana de Ensayo de Materiales (ASTM) C39, C1701, C403, C143, y Una Norma Española – Norma Europea (UNE-EN 1925). El contenido de agua del gel de *Aloe vera* fue del 98%. El mejor uso de la planta se logró al 2% con: la corteza, 2mm de gel y Aloína. El asentamiento disminuyó linealmente, el fraguado inicial favoreció casi el doble y aprox. 7.6 veces más para el fraguado final. La resistencia a la compresión alcanzó 355 kg/cm² (incremento del 41% de la resistencia patrón). La permeabilidad disminuyó 47,9% en términos de tasa de infiltración con 0,039 pulg/hora y la absorción capilar disminuyó 32% con 1,9 g/m²xseg^{0.5}.

Palabras clave: *Aloe vera*; Compresión; Infiltración; Fraguado; Concreto estructural.

ABSTRACT

In this research was evaluated the influence of *Aloe vera* in the concrete to determine the most optimum percentage by analyzing the fresh and hardened condition of the concrete.

A study of the parts of the *Aloe vera* plant by the drip test was carried out, with which its best use was determined. The mix design for a concrete 210 kg/cm² was made according to ACI 211 (American Concrete Institute). The use of *Aloe vera* was in percentages of 0-6% with respect to the total of the concrete. The tests were conducted under the American Society for Testing Materials (ASTM) standards C39, C1701, C403 and C143 and A Spanish Norm - European Norm (UNE-EN 1925). The water content of the *Aloe vera* gel was 98%. The best use of the plant was achieved to 2% with: the bark, gel 2mm and the Aloin. The settling decreased linearly, the initial setting favored almost double and approximately 7.6 times more for the final setting. The compressive strength reached 355 kg/cm² (increase of 41% of compressive strength). Permeability decreased by 47,9% in terms of infiltration rate with 0.039 in/hr and Capillary absorption decreased 32% with 1,9 g/m²xseg^{0.5}.

Keywords: *Aloe vera*; Compression; Infiltration; Setting; Structural concrete.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial la falla del concreto por manifestaciones externas ha ocasionado grandes pérdidas económicas estimadas entre el 2 y 5% del producto bruto interno (PBI) de cada país (Camarillo, 2015).

Históricamente, el diseño de las estructuras de concreto se ha realizado con el criterio de la resistencia mecánica; gracias a esto se han logrado tener estructuras que soportan adecuadamente las cargas de servicio, de rotura, estáticas y dinámicas. Sin embargo, se han encontrado problemas relacionados con este parámetro cuya importancia es primordial al momento de conformar un concreto, puesto que la evaluación de esta propiedad mecánica sirve para medir su calidad (Julián, 2008).

En las últimas décadas se observa que el problema más importante en las construcciones de concreto es la falta de durabilidad de las estructuras ubicadas en ambientes marinos, principalmente los que contienen humedad, que penetran a través de la red de poros del concreto (Carcaño *et al.*, 2005).

Se estima que los problemas que sufre el concreto se debieron en un 16,5% a las deficiencias en la selección de los materiales, un 38% a errores de conformado y ejecución, como error en el vibrado del concreto (CivilGeeks, 2016), así mismo la falta de verificación que hay sobre la consistencia del concreto en estado fresco, indicador fundamental para comprobar que se tenga un concreto de buena calidad tanto de diseño como de trabajabilidad, y más del 40% a errores de diseño y/o cálculo, como no conocer las unidades de medida de cada rubro, no medir con exactitud, cuantificar el mismo concepto o proceso dos o más veces y no poner datos suficientes en cada hoja de cálculo (Borges *et al.*, 2001).

Según el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCYC, 2004) son cuatro sus propiedades (características o cualidades básicas): Trabajabilidad, cohesividad, resistencia y durabilidad. Además, el concreto tiene tres estados diferentes: plástico, fraguado y endurecido.

Hay una relación del estado endurecido con el comportamiento que presente el concreto en estado fresco, dado que como se haya conformado el concreto,

éste repercutirá al endurecer (Castañadú, 2015). Otra problemática que existe hoy en día es el tiempo limitado que tienen las distribuidoras de concreto premezclado, porque adquiere importancia el tiempo que se tarda en distribuir el concreto a obra, el fraguado juega un papel importantísimo y comúnmente se suele utilizar aditivos retardantes que ayuden a que el tiempo de fraguado logre prolongarse, la verificación del asentamiento significando un mayor costo para la elaboración como la adquisición del concreto en tales condiciones.

En los últimos años la experiencia internacional en estructuras de concreto armado y pretensado, demuestra que el deterioro del concreto se incrementa en las zonas marítimas de climas semitropicales y subtropicales, con temperaturas elevadas y apreciable humedad relativa, en comparación con los resultados que se obtienen en climas fríos o templados.

El agua de mar contiene sales disueltas que son agresivas para el concreto. El deterioro de éste se vincula con la temperatura y humedad, entonces el clima también interviene en cuanto se refiera a los procesos de hidratación y endurecimiento del concreto, acelerando el tiempo de fraguado para el primer caso (en climas tropicales por las elevadas temperaturas) trayendo como consecuencia una disminución del tiempo de manipulación y vaciado del concreto, en su mayoría cuando se trata de estructuras con gran área superficial (Gabalec, 2008). De este modo en las regiones tropicales se hace más difícil la prevención, sea por el conveniente diseño estructural o la adopción de apropiados sistemas de construcción.

Existen factores externos al material mismo (presión del líquido y espesor del elemento) que determinan si una estructura de concreto permite o no el paso del agua a través de todo su espesor, evaluándose en términos de absorción capilar del concreto debido a que, al mantenerse expuesto a condiciones de humedad, éste absorbería agua mediante la red de poros capilares.

De igual modo se ve afectado el concreto cuando en éste se logra infiltrar el agua, sea ocasionada en su mayoría por la acción de la brisa marina que transporta los

vientos húmedos o por la misma lluvia que se logra presentar en ciertas épocas del año en las zonas costeras y que ocasionalmente éstas pueden presentarse como un fenómeno, es decir lluvias torrenciales como las sucedidas en Perú durante el mes de marzo del 2017, fenómeno que fue denominado como "El Niño Costero" que trajo como consecuencias \$ 3124,00 millones de dólares en daños totales, mientras que en viviendas las afectaciones se cuantifican en \$ 1123,00 millones y 101 víctimas mortales (La República-Perú, 2017).

Muhammad *et al.* (2015) realizaron una revisión crítica de los enfoques aplicados sobre el rendimiento impermeable del concreto en la cual sostienen que la permeación de agua y otros fluidos en el concreto puede resultar en degradación y otros problemas estéticos que acortan la vida de las estructuras del concreto. Estos problemas se ven presentes en la ciudad de Trujillo, zonas como Buenos Aires, Huancho, Salaverry; donde las viviendas sufren degradación de sus componentes estructurales (muros, losas, columnas) disminuyendo su durabilidad.

Viviendas aledañas en presencia de humedad marítima son perjudicadas debido a la acción de la humedad que traslada el viento producido por las mareas y oleajes. El agua de mar contiene sales disueltas (agentes agresivos para el concreto) que están presentes en ella, como las siguientes: cloruro sódico (NaCl), cloruro magnésico ($MgCl_2$), sulfato magnésico ($MgSO_4$), sulfato cálcico ($CaSO_4$), cloruro potásico (KCl) y sulfato potásico (K_2SO_4) – (del Toro, 2012), dichos agentes son necesarios para ocasionar daños en las viviendas, penetrando al concreto generando a veces desprendimiento del mismo hasta producir debilitamiento de la estructura.

En la actualidad hay escasos estudios que se han realizado con el fin de establecer cuál o cuáles son aquellos materiales que brindan un mejor comportamiento en el concreto, entre las que se destacan: el estudio de compuestos o desechos no dañinos al concreto, como bien podrán ser adiciones naturales (Yuan *et al.*, 2009). Dentro de las adiciones naturales que se han utilizado en escasas investigaciones hemos encontrado al mucílago de *Nopal* y al *Aloe vera*.

En el caso de la planta de *Aloe vera*, conocida en Sudamérica como sábila, se compone de agua, resina, aloína, enzimas, proteínas, vitaminas, aminoácidos, magnesio, titanio, calcio, potasio entre otros (Hamman, 2008). La hoja de *Aloe vera* contiene más de 200 constituyentes de diferentes pesos moleculares y se compone de 3 regiones morfológicamente distintas: la corteza exterior, el gel que se encuentra en el centro y la Aloína que se encuentra entre la corteza y el gel. En la actualidad, diversas industrias se han orientado hacia la obtención del gel en diferentes presentaciones; este mercado ha ido evolucionando significativamente durante los últimos años y mantiene una proyección de crecimiento no menor a 12% interanual, estimándose un mercado global de 65 millones de dólares en productos primarios (plántulas, hojas y gel) y más de 200 mil millones de dólares en productos como champús, lociones, bebidas y medicamentos (Eshun y He, 2004; Domínguez *et al.*, 2012). Esta revisión tuvo como objetivo proporcionar una visión sistemática de la composición y principales actividades biológicas de *Aloe vera*. Sus principales aplicaciones son revisadas y discutidas para llevarse a cabo la evaluación de las tendencias futuras (Sánchez *et al.*, 2017).

Por consiguiente, en esta investigación se empleará el uso de *Aloe vera* para estimar la influencia que tiene ésta en el concreto, evaluándose las propiedades de resistencia a la compresión, infiltración, absorción capilar, tiempo de fraguado y asentamiento cuya proyección está dada en un concreto estructural en viviendas con un contexto marino.

A la fecha hay escasos estudios respecto a lo mencionado, principalmente se ha venido desarrollando investigaciones en México y Cartagena (Colombia) con la obtención de resultados favorables; en Perú no se encontraron estudios respecto al *Aloe vera* como posibilidad de adición natural en el concreto; es por ello que se desarrolla este trabajo con la finalidad obtener mayor información.

Sin embargo, el *Aloe vera* no es una planta exigente en términos de agua, por lo tanto, para las áreas que enfrentan el problema de las sequías, el cultivo de *Aloe* podría ser una buena opción porque es económicamente atractivo para los

agricultores (Manvitha y Bidya, 2014). La duración de la vida de esta planta es de unos 12 años (Eshun y He, 2004).

MATERIAL Y MÉTODOS

Se utilizó como Universo muestral al Concreto de baja permeabilidad cuyas muestras fueron 21 probetas cilíndricas de 20cm x 10cm, ensayos de resistencia a la compresión. 21 probetas cilíndricas de 20cm x 10cm, ensayos de Infiltración y Absorción capilar. 21 probetas cónicas de 7cm x 4cm x 6cm, ensayo de Tiempo de fraguado y (378+21) kilogramos de concreto en estado fresco para determinar el Asentamiento.

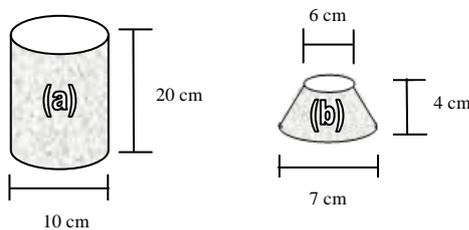


Figura 1. Diseño de probetas para los ensayos de la investigación.

Se empleó cemento Pacasmayo tipo ICo, arena gruesa y piedra de 1/2" de la cantera "Calderón"- el Milagro, Trujillo. Plantas de *Aloe vera* provenientes de la ciudad de Otuzco y agua potable de la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Trujillo. Las propiedades de los materiales se pueden observar en la Tabla 1.

Las cantidades de los componentes del concreto se muestran en la Tabla 2.

Se planteó un diseño unifactorial con 7 niveles (0, 1, 2, 3, 4, 5 y 6%) para el porcentaje de adición de *Aloe vera*, los mismos que estuvieron expresados en base 18 kg, lo que significa que los pesos para cada porcentaje fueron: 0,00; 0,18; 0,36; 0,54; 0,72; 0,90 y 1,08 kg respectivamente.

Para los procedimientos de los ensayos de estudio se elaboraron probetas cilíndricas de concreto de 10 x 20 cm Fig. 1(a), de

acuerdo a la norma ASTM C 39 (resistencia a la compresión) y réplicas de las probetas mencionadas para los ensayos de infiltración y absorción capilar, con adaptación de las normas ASTM C1701 y UNE – EN 1925 respectivamente. Probetas cónicas de 7 x 4 x 6 cm Fig. 1(b), según la norma ASTM C 403 para ensayo de tiempo de fraguado y uso de la norma ASTM C 143 para ensayos del asentamiento.

Tabla 2. Cantidades de los materiales en base a 18 kg

Materiales	Pesos (base 18kg)
Cemento	2,95 kg
Piedra	8,15 kg
Arena	5,09 kg
Agua	1,81 kg
TOTAL	18,00 kg

Procedimiento experimental

Se presenta el diagrama de flujo del procedimiento experimental, donde se muestra cada una de las etapas (Fig. 2).

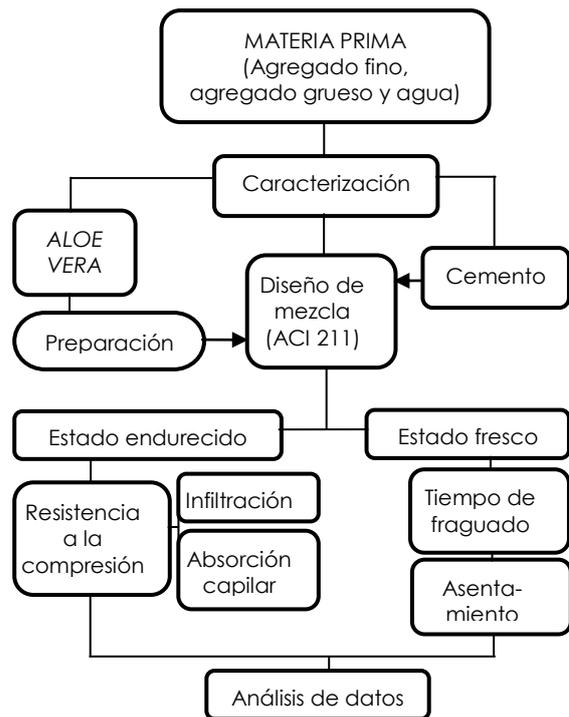


Figura 2. Diagrama del procedimiento experimental.

Tabla 1. Propiedades de la arena (A.F) y piedra (A.G) en base a 18 kg

	Parámetros de los agregados						
	MF	TMN	Hum (%)	PUSS (kg/m ³)	PUCS (kg/m ³)	P.esp (kg/m ³)	Abs (%)
A.F	2,5	-	1,1	1632,4	1854,5	2553,6	2,6
A.G	-	3/4"	0,8	1413,6	1564,5	2470,2	1,9

Caracterización de los agregados

-El procedimiento para el análisis granulométrico fue según norma ASTM C136 para los agregados.

-Se determinó el contenido de humedad según norma ASTM C566.

-Según ASTM C29 calculamos el peso unitario suelto y compacto.

-Se determinó el peso específico y la absorción según la norma ASTM C128 para el agregado fino y según la norma ASTM C127 para el agregado grueso.

Caracterización del Aloe vera

Se eliminó la raíz de la planta de *Aloe vera* para luego ser lavada. Cortamos hoja por hoja y se dejó reposar unos 5 minutos en depósitos plásticos, la sustancia acumulada aquí fue la aloína. Se cortó los extremos, anulando así las espinas. Utilizando el cuchillo se hizo el corte de las hojas, en ambas caras; con un espesor de gel ligado a la cascara de 2mm. Hicimos los cortes en tamaños pequeños y éstos se fueron depositando en bolsas plásticas. Se pesó la cantidad deseada, conjuntamente con la cantidad de aloína perteneciente al total de cáscaras a licuar. Se pesó el agua correspondiente para conformar una probeta, vertimos a la licuadora conjuntamente con la cascara y la aloína. Se licuó durante un tiempo promedio de 8 minutos.

Diseño de Mezcla

La dosificación se basó a partir del diseño de mezcla según ACI 211. Los cálculos se realizaron en base a 18 kg, y las adiciones de *Aloe vera* (AV) se tomó en cuenta en función a ésta. Con porcentajes del 0% (patrón), 1%, 2%, 3%, 4%, 5% y 6%. Se eligió una resistencia de 210 kg/cm² puesto que el uso está proyectado para un concreto estructural.

Prueba del goteo

Se adaptó los pesos de la base de diseño a ¼ de kg puesto que los moldes usados para esta prueba fueron más pequeños. Las probetas tuvieron las siguientes adiciones: Gel (3%), cáscara (3%) y gel + cáscara (3%). Con 25 ml de agua se llevó a cabo esta prueba, vaciando esta agua sobre cada probeta endurecida y se registró el tiempo que tardó el agua en filtrar por completo cada probeta. Finalmente se decidió usar la cáscara + 2mm de gel + Aloína.

Conformación de probetas

La mezcla de la pasta fue manualmente puesto que ésta no superó los 0,007m³. Inicialmente los agregados con el cemento se mezclaron, luego se adicionó el licuado de *Aloe vera*. La pasta fue vertida en moldes de 10x20cm, en dos capas varilladas 25 veces y 12 golpes con el martillo de goma. Fueron cubiertas con bolsas plásticas cada probeta para impedir su pérdida de humedad. Desmoldamos las probetas al 0%, 01 día después; al 1%, 02 días después; al 2%, 03 días después; al 3%, 04 días después; al 4%, 06 días después; al 5%, 07 días después y al 6%, 08 días después. En la codificación de las probetas se adoptó el siguiente formato: AV 0% - AV 6%. Luego las probetas por 28 días estuvieron en la poza de curado.

Asentamiento del concreto

Inmediatamente después de haber conformado la mezcla se llevó a cabo este ensayo. Se llenó el concreto fresco en 3 capas, varillando 25 veces de forma espiral. Se levantó el cono de Abrams verticalmente y luego de 5^o7 segundos se registró la altura de descenso. Este procedimiento tuvo una duración promedio de 2,5 minutos.

Tiempo de fraguado

El diseño se adaptó en base a 1kg por el tamaño de los moldes. La mezcla con cada adición de *Aloe vera* se tamizó en estado fresco por la malla N°4 para obtener la pasta deseada para este ensayo. Con el aparato de Vicat se tomó datos de la penetración de la aguja (30 segundos). Se repitió las lecturas cada 15 minutos hasta que la penetración sea menor a 25mm.

Resistencia a la compresión

03 réplicas por cada nivel fueron preparadas, 21 probetas para este ensayo. Luego de haber desmoldado cada probeta fue introducida en la poza de curado por 28 días. Luego se ensayaron en el equipo de compresión digital (ELE International, modelo 2000 – Cap. 2000 KN). El cálculo se realizó mediante la siguiente expresión.

$$R_c = 4G / \pi D^2 \quad (1)$$

R_c: Resistencia a la compresión (kg/cm²)
G: Carga máxima de rotura (kg/cm)

D: Diámetro de la probeta cilíndrica (cm)

Infiltración

Cada probeta fue secada en el horno durante 24 horas. Manteniendo la relación diámetro/altura se hizo el cálculo para adaptar las dimensiones del "anillo-tubo". Sellamos con silicona líquida un tubo transparente de ½ pulg. con la cara superior de la probeta. Luego de 2 horas se vertió el agua (0,33 lb) al tubo usando un embudo, registrando el tiempo que tardó en filtrar toda el agua. Finalmente se determinó la tasa de infiltración con la siguiente expresión.

$$I=KM/(D^2xt) \quad (2)$$

I: Tasa de infiltración (pulg/h)

M: Masa de infiltración de agua (lb)

D: diámetro del anillo de infiltración (pulg)

t: tiempo (s)

k: 126870 en sistema pulg-lb.

Absorción capilar

Cada probeta fue secada (m_d) en el horno durante 24 horas. Una de las caras de cada probeta fueron sumergidas 3 mm en un depósito con agua durante 60 segundos (Taus, 2003), luego la probeta fue secada parcialmente usando una franela e inmediatamente se registró su nuevo peso (m_i), del mismo modo el tiempo (t_i) transcurrido. La metodología se repitió hasta que la diferencia de pesos sucesivos no supere al 1%. Se determinó así el coeficiente de absorción capilar.

$$C=(m_i-m_d)/(Axt^{0.5}) \quad (3)$$

C: Coef. de absorción capilar ($g/m^2xs^{0.5}$)

A: Área superficial-cara de la probeta (m^2)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Presentamos en este apartado los resultados de los ensayos que fueron realizados en el concreto en estado fresco y endurecido, expresadas en figuras y análisis de las mismas.

Asentamiento del concreto fresco

El asentamiento se midió en centímetros, se observó que el comportamiento del concreto tendió a ser más seco y menos trabajable para incrementos de los porcentajes de Aloe vera, mostrando valores con una tendencia lineal decreciente tal y como se muestra en la Fig. 3.

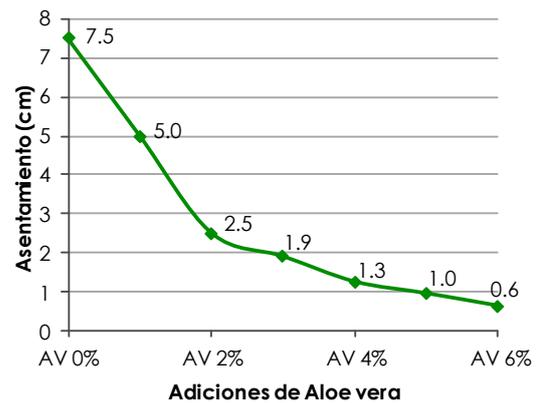


Figura 3. Asentamiento del concreto.

Conforme se incrementó el Aloe vera, el asentamiento disminuyó. En la Fig. 3 se nota claramente que el estado del concreto se tornó seco, dado que el asentamiento fue 0,5 cm para el 6% de AV, esto se debió a que, a mayor porcentaje de Aloe vera mayor fue la concentración del tejido parenquimático perteneciente al gel, a la clorofila perteneciente al exocarpio y a las células de los conductos de aloína, sustancias que al haber sido licuadas formaron un comportamiento pegajoso y por lo tanto unificó más a los componentes de la pasta, aumentando su consistencia porque al momento de retirar el cono de la mezcla, ésta se mantuvo casi invariante, con poco asentamiento.

Domínguez et al. (2012) muestran gráficamente por donde es conducido la aloína y así mismo una microscopía del gel, quien también tiene participación en esta investigación aportando un estado gelatinoso, que en unión con la aloína forman lo que hoy llamaremos la "goma" de Aloe vera.

Cabe mencionar que los resultados fueron obtenidos para los 3 primeros minutos luego de haberla conformado, dado que el comportamiento de la mezcla se manifestó con cambios significativos en términos de trabajabilidad en los siguientes 30 minutos aproximadamente, se pudo encontrar esta variación gracias al ensayo del tiempo de fraguado y además con el conformado mismo de las probetas, porque se observó que al paso del tiempo la mezcla "inicialmente seca" comenzó un proceso de liberación de "una sustancia líquida" propiciada por el AV, volviendo más trabajable a la mezcla

y por ende más fluida, mejorando su consistencia. El responsable de este comportamiento que presentó la pasta fue gracias al desprendimiento retardado de aloína de sus conductos.

El comportamiento de post consistencia, sin duda resulta un beneficio en la trabajabilidad prolongada del concreto en estado fresco, como es el caso de zonas con clima tropicales. Además, luego de haber explicado el estado fresco, es importante relacionarlo con el evidente cambio en su consistencia y por lo tanto con un asentamiento posterior. Se estima que con una mejor trabajabilidad de la mezcla, el asentamiento no se tornaría seco como en los 3 primeros minutos y tranquilamente cumpliría con los requerimientos según ACI 211, quien establece que para los tipos de estructuras como zapatas, cimentaciones, vigas, columnas y concreto ciclópeo el asentamiento máximo debería ser 3 a 4" y el mínimo 1". Para losas y vigas el asentamiento mínimo 1" y el máximo de 3 a 4".

Para la muestra patrón se obtuvo un asentamiento de 7,5 cm (3"), lo que nos indica que cumple con el diseño y aplicación que pretendemos dar al uso del concreto. En cuanto a los porcentajes de *Aloe vera*, podemos aceptar como máximo hasta el 2% según estos resultados porque estaríamos con un asentamiento en el límite inferior con 2,5 cm (1"), pero teniendo además un respaldo de que al paso de los minutos la mezcla mejoraría su consistencia, generando así una mejor trabajabilidad, aseveración que se puede sostener gracias al ensayo de tiempo de fraguado.

Los componentes del concreto como los agregados también tuvieron influencia en el comportamiento del concreto en estado fresco; se aceptan habitualmente, que el agregado fino causa un efecto mayor en las proporciones de la mezcla que el agregado grueso. Los primeros por poseer una mayor superficie específica y como la pasta tiene que recubrir todas las superficies de los agregados, el requerimiento de pasta en la mezcla se puede ver afectado por la proporción en que se incluyan éstos. Por lo tanto una óptima granulometría del árido fino es determinante por su requerimiento de más que por el acomodamiento físico.

Se obtuvo un agregado fino con módulo de finura de 2,5; y puesto que las arenas cuyo módulo de finura son inferiores a 2,3; normalmente se consideran demasiado finas o inconvenientes para esta aplicación, porque suelen requerir mayores consumos de pasta de cemento y agua, lo cual repercute en los cambios volumétricos y en el costo del concreto. En el extremo opuesto, las arenas con módulo de finura mayor a 3.1 resultan demasiado gruesas y también se les juzga inadecuadas porque tienden a producir mezclas de concreto ásperas, Segregables; luego nuestro agregado estuvo dentro de los parámetros idóneos. Huarcaya (2014) en su investigación sobre concreto con aditivo Sikament-290N encontró que el asentamiento para sus muestras patrón fueron de 3,5"; diseñó su mezcla para un concreto fluido, y como establece el ACI 211 le correspondería un Slump o asentamiento de 3 a 4", rango en el que nuestros resultados pertenecieron, verificando para ambos casos que el diseño fue correcto.

Tiempo de fraguado del concreto

Se encontró valores crecientes muy significativos para fraguado, mostrando una tendencia creciente para ambos casos en todas las adiciones de *Aloe vera*, los tiempos de fraguado aumentaron a razón del incremento de *Aloe vera*, como se muestra en la figura 4.

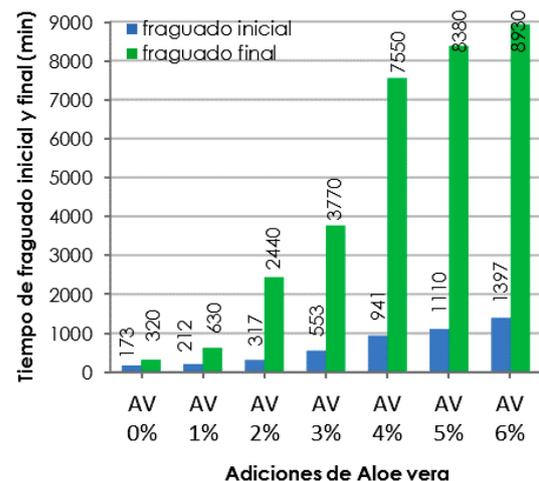


Figura 4. Tiempo de fraguado.

Este ensayo complementó el análisis de la discusión respecto al asentamiento, sin duda nos arrojó valores tales que confirman nuestra hipótesis de que el comportamiento de la mezcla se

manifestaría con cambios significativos en términos de trabajabilidad en los minutos posteriores de su conformado.

Se observó que para la muestra patrón de AV 0% se obtuvo un tiempo de fraguado de 147 minutos, que se asemeja al estudio de María, 2008 y también cumpliendo con los requisitos ASTM C595, indicadores que nuestro diseño fue correcto. En el caso de las adiciones se encontró un comportamiento creciente bastante significativo, puesto que para el máximo porcentaje de *Aloe vera* (6%), el tiempo de fraguado inicial fue 7 veces más y para el fraguado final 28 veces más, lo significa que nos encontramos con un incremento de tiempo de fraguado final sobredimensionado. Esto resulta una deficiencia por el excesivo prolongamiento del fraguado, lo que significaría un mayor tiempo de desencofrado del concreto, retrasando el avance de obra.

Habiéndonos limitado al uso de *Aloe vera* del 2% con el ensayo anterior (asentamiento), resultó que el fraguado inicial favoreció casi el doble de tiempo y aproximadamente 7.6 veces más para el caso del fraguado final. Lo que tampoco nos hace descartar como posibilidad el uso de *Aloe vera* al 1% porque duplicó el tiempo de fraguado final.

Al momento de conformar la mezcla se produjo una reacción exotérmica, y las condiciones ambientales como la temperatura ambiente tuvieron cierta influencia para este ensayo, además resulta lógico sostener que en una zona de clima tropical la pasta de concreto pasa por un proceso de deshidratación más rápida, mientras que en condiciones de bajas temperaturas sucede lo contrario. El comportamiento que manifestó el concreto en su estado fresco se debió a que el proceso de cristalización de sus componentes se retardó debido a la presencia del *Aloe vera*, puesto que esta adición natural estaría volviendo a la mezcla más acuosa por los componentes propios del licuado de AV.

Además, se cumple los parámetros establecidos en la ficha técnica del cemento tipo ICo cuyos valores son de 45 minutos para el fraguado inicial mínimo y de 420 minutos como máximo para el fraguado final, criterio que aplica a la muestra patrón.

Kosmatka y Panarese, (2006) en su trabajo de investigación "Determinación del tiempo de fraguado inicial y final del cemento" sostienen que la penetración de 25 mm se encuentra entre 20 y 30 mm de penetración y le corresponde por interpolación a un tiempo de 158 minutos (promedio entre 150 y 165 minutos) y la lectura para el tiempo de fraguado final en la que no se aprecia marca visible de penetración corresponde a 270 minutos. Mientras que Gabalec, (2008) en su investigación "tiempo de fraguado del hormigón" encontró que el fraguado inicial fue a 209 minutos y el fraguado final a 309 minutos. Y según la ASTM C595 establece 45 y 420 minutos como tiempo de fraguado inicial mínimo y final máximo respectivamente para un cemento tipo ICo, mientras que para el tipo I los valores vienen siendo 45 y 375.

El fraguado inicial fue de 173 minutos y el final de 320 minutos (147 min de fraguado), se observa que nos encontramos en los rangos en cuanto al tiempo de fraguado inicial y final para los estudios antes mencionados. Si comparamos con el cemento portland tipo I podría decirse que también hubiéramos estado dentro de los rangos que se establecen, pero se nota claramente que el tipo I tiene un fraguado más rápido, pero no siendo el único parámetro que diferencia a estos dos tipos de cementos que son los de mayor uso en construcciones, el tipo ICo que es un cemento compuesto posee hasta un 30% de materias calizas mientras que el tipo I posee como máximo un 5% de calizas, presentando el tipo ICo resistencia a los sulfatos mientras que el tipo I no.

Resistencia a la compresión

En el estado endurecido del concreto la compresión de las probetas patrón a edad de tres días fueron ensayadas, con la finalidad de comparar el valor obtenido con el de diseño de mezcla y corroborar que éste cumpla con efectividad, los resultados establecieron que las muestras ensayadas con 127 kg/cm² superaron el 40% de la resistencia de diseño (210 kg/cm²) que equivale a 84 kg/cm², validando a esta edad el correcto diseño de mezclas.

Fue necesario y fundamental en esta investigación determinar la compresión a

28 días, para evaluar correctamente la calidad del concreto en su estado endurecido al 99%, los resultados fueron tal como se observa en la Fig. N° 5.

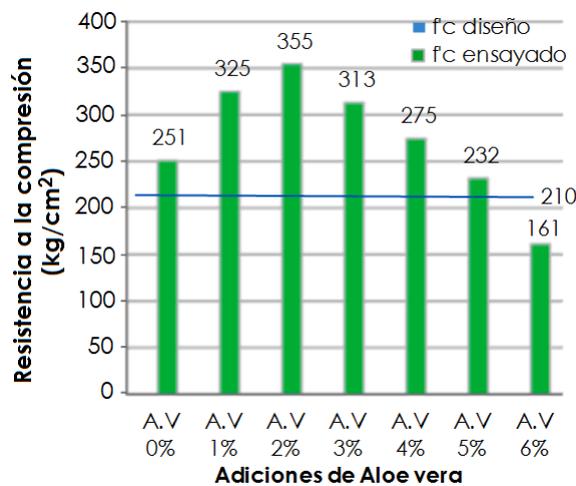


Figura 5. Resistencia a la compresión a 28 días de curado.

Recurrimos a una de las propiedades mecánicas más importantes del concreto. Como se mencionó antes, obtuvimos un módulo de finura de 2,5; valor que está dentro del rango de 2,3 y 3,1; lo que indica que es apto para la elaboración de concreto, según el módulo de finura es clasificado como una arena gruesa, sustentado bajo la norma ASTM C33, además la cantidad de sustancias nocivas (terrones de arcilla y partículas deleznable) no excedieron el 3,0% de la masa total, lo que se pudo comprobar según nuestra caracterización con valores obtenidos de 1,2%.

El agregado fino ayudó como ligante en la mezcla de concreto, es posible que gracias a esto la cohesión de los componentes del concreto haya tenido mejor comportamiento, porque con el análisis de la resistencia a la compresión se lograron valores óptimos.

La compresión (diseño 210 kg/cm²) a edades de 28 días de curado superaron a las del diseño con 251 kg/cm² y además estarían clasificados como un concreto estructural puesto que la resistencia a la compresión fue mayor a 170 kg/cm², tal y como sostiene la Norma E.060 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).

Los resultados mostraron que hay una caída de la resistencia luego del uso de Aloe vera al 5 y 6%, porque al 5% la

compresión decreció en 19 kg/cm² y al 6% disminuyó un 23%. Significa que la concentración de Aloe vera fue excesiva, ocupando mayor espacio en el concreto, disminuyendo la densidad y por lo tanto la resistencia a la compresión del concreto.

Luego, se establece que el punto de quiebre de adición de Aloe vera es al 5%, ergo debemos recordar que con los ensayos analizados anteriormente (asentamiento y fraguado) nos habíamos limitado al 2%, lo que enormemente avala el aspecto aplicativo para un concreto estructural, pues con una resistencia de Aloe vera al 2% (con 355kg/cm²) se garantiza un buen comportamiento mecánico (compresión) ante solicitaciones externas como puede ser el caso de las fuerzas sísmicas.

Según la resistencia del concreto de la muestra patrón estaríamos ante un concreto normal, por estar en el rango de 250 y 420 kg/cm², mientras que al 1, 2 y 3% de adición de Aloe vera se obtuvo un concreto de alta resistencia temprana por superar los 300 kg/cm², sin embargo, al 6% de adición de Aloe vera se obtuvo un concreto no estructural de baja resistencia por ser menor a 170 kg/cm².

Hubo un incremento significativo al 2% (355 kg/cm²) de adición de Aloe vera con un 69% más de la resistencia patrón de diseño y 41% más sobre la resistencia patrón ensayada.

Los responsables de que la compresión del concreto haya alcanzado un valor máximo fueron los tamaños de poros de los componentes del Aloe vera y sobre todo el estado fresco en que se le aplicó en el concreto, logrando una máxima adherencia de todos los componentes de la pasta y al endurecer ésta logró un mejor empaquetamiento.

Estos resultados son sin duda la variante que principalmente se buscaba, puesto que investigaciones anteriores como la de Martínez et al. (2014) quienes ensayaron cubos de mortero en periodos de 30, 90, 180 y 900 días, observaron mejoras marginales en las mezclas deshidratadas de reemplazo de Aloe vera, dado que a 30 días disminuyó 7,1 kg/cm², a 180 y a 900 días aumentó en 11 kg/cm² y a 90 aumentó en 33 kg/cm².

Por otro lado, Babilonia et al. (2015) quienes utilizaron los porcentajes del gel de sábila (0, 10, 20 y 30% del total de

agua) para cada mezcla de concreto incidieron de manera negativa, la compresión disminuyó hasta un 50%. Esto se debió a las propiedades del *Aloe vera* que concentran un altísimo porcentaje de agua en su interior, de hecho, se encontró con la prueba de humedad del *Aloe vera* que el 98% de la planta está compuesta de agua y solo el 2% de otros componentes sólidos, Miranda et al., (2009) también encontró que gel de *Aloe vera* mostró actividad de agua de 0,98.

También está la investigación de Torres, et al. (2010) quienes realizaron mezclas en diferentes concentraciones en relación con el peso del cemento (0,10%; 0,25%, 0,5% y 1,0%) usando el *Aloe vera* como aditivo en el concreto, obtuvieron un incremento máximo del 9% y también disminuciones del 5% de la compresión. Importante mencionar al trabajo de investigación de Herrera et al., (2015) denominado "Gel de *Aloe-vera* como potencial inhibidor de la corrosión el acero de refuerzo estructural" quienes concluyeron que la adición de 8 ml de gel puede inhibir eficientemente hasta el 83% la corrosión del acero expuesto a un medio corrosivo, sin embargo, no hicieron un análisis sobre la resistencia a la compresión.

Infiltración

La infiltración del concreto se presentó en pulg/hora (Fig. N° 6), se observó que la menor tasa de infiltración se dio al 2% de *Aloe vera*. Desde el 4% sin embargo los valores caerían fuera del rango aceptado en comparación de la muestra patrón.

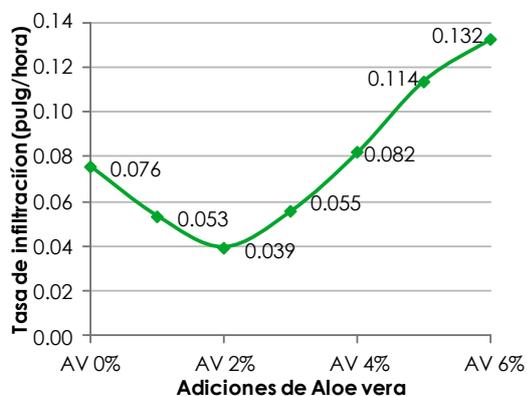


Figura 6. Tasa de infiltración.

La infiltración se expresó en términos de tasa de infiltración, parámetro que establece un comportamiento que muestra cómo el agua logra filtrarse en el concreto, comparando los valores de la muestra patrón (AV 0%) con la adición del 2% (la tasa más baja igual a 0,039 pulg/hora) se estableció que en términos de permeabilidad disminuyó un 47,9%; es decir, se logró una impermeabilidad significativa, y este comportamiento fu gracias en cierta medida al poco parénquima del *Aloe vera*, pero en gran medida al exocarpio (cáscara) y a la cutícula que posee éste, quienes en combinación con el concreto hacen de éste un conformado con una serie de capas impermeables tales que impiden el paso del agua.

Con el incremento mayorado de *Aloe vera*, la infiltración aumentó sobrepasando el estado patrón y disminuyendo la impermeabilidad del concreto, es así que para el 5 y 6% de adición de *Aloe vera* estos valores decrecieron. Por el comportamiento que se observa en éste y los anteriores ensayos, establecemos que las adiciones al 5 y 6% serían excesivas y perjudiciales para el concreto, por empeoran sus propiedades.

El incremento de las tasas de infiltración para los porcentajes de 5 y 6% de *Aloe vera*, son indicativos de que el exceso de este contenido en el concreto generó pequeños espacios (microporos) por donde el agua logró filtrarse con mayor rapidez.

La explicación al comportamiento del *Aloe vera* puede sustentarse gracias a la investigación de Kiran y Rao (2016) quienes desarrollaron la caracterización de hidrogel reconstituido de *Aloe vera* (*Aloe barbadensis Miller*), en otras palabras, el uso no excesivo de corteza de AV genera una eficiente combinación acuosa, disminuyendo un incremento de espacios vacíos y por ende una reducción de infiltración. Pero como no es el único componente usado en esta investigación, la aloína más el aporte del gel, también logran combinarse para formar eficientemente un hidrogel. Entonces la combinación de estos tres elementos formaría lo que se denominó "la goma" del *Aloe vera*, y usada ésta en porcentajes tales como lo es el AV 2% mejoró la capacidad de infiltración de agua en el concreto. Es más

probable que las actividades biológicas de los extractos de hojas de *Aloe vera* sean debidas a una acción sinérgica de los compuestos en lugar de a un sólo compuesto (Hamman, 2008).

Por otro lado, la vitalidad e importancia de encontrar resultados beneficiosos en el concreto en función al ensayo de infiltración recae en que ni siquiera la zona costera está libre de situaciones imprevistas ocasionadas por la naturaleza; porque no sólo un sismo puede arremeter una ciudad costera, sino que también las lluvias como las sucedidas en las fechas de marzo del 2017 en Perú "Fenómeno del Niño Costero".

Absorción capilar

La absorción capilar se midió según los coeficientes de absorción capilar para las distintas adiciones de *Aloe vera*, como se muestra en la figura 7. Además, se analizó el comportamiento de este ensayo para cada porcentaje (Figura 8).

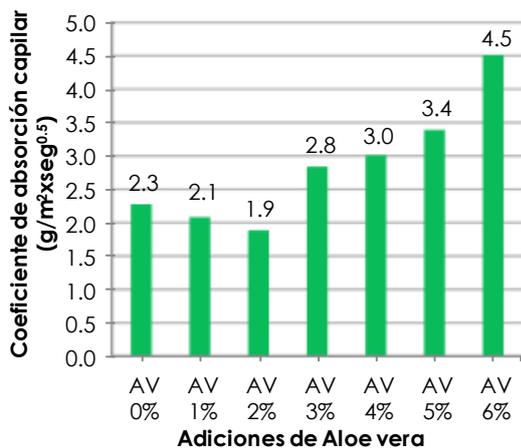


Figura 7. Coeficiente de Absorción capilar.

Los valores de los coeficientes de absorción capilar mostraron que se logró una disminución de este parámetro con una adición de *Aloe vera* al 2%, sin embargo, también se observa que las adiciones de *Aloe vera* al 3% en adelante superan a la muestra patrón, es decir en estos últimos porcentajes la absorción por capilaridad se incrementa linealmente.

La absorción del concreto se determinó por capilaridad, el comportamiento de esta absorción fue graficada según la variación de masas por unidad de área, masas que fueron incrementándose conforme el concreto absorbía más agua

capilarmente, en función a la raíz cuadrada del tiempo medido en segundos, observándose que para el caso de la muestra patrón por ejemplo con 138 gramos por metro cuadrado a los 60 seg^{0.5} alcanzó su absorción por capilaridad total, no logrando incrementar esta ganancia de masa debido a la saturación de la muestra.

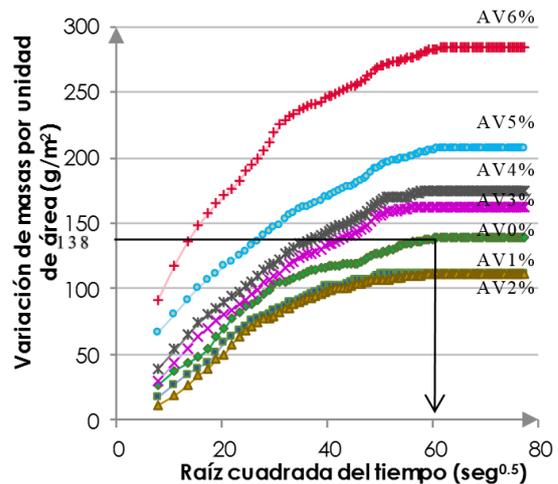


Figura 8. Comportamiento de la absorción capilar.

Al 1 y 2% de *Aloe vera* se observa una disminución de la absorción por capilaridad, mientras que del 3 al 6% éstos incrementan. También se aprecia que la ganancia de masa de agua para los distintos porcentajes de adición de *Aloe vera* presenta una marcada variación a edades tempranas "seg^{0.5}", llegando a un punto de saturación similar respecto al tiempo, pero con distintas y marcadas diferencias de masas por unidad de área. El comportamiento del concreto que sufrirá al absorber agua por capilaridad es tal como una esponja absorbiendo agua, evidentemente las absorciones para ambos casos serán en dimensiones totalmente distintas. El agua fue absorbida contra de la gravedad por capilaridad gracias a los poros capilares (micro y nano poros) del concreto, entonces se consideró como un factor determinante puesto que agentes transportados con la humedad afectan al concreto.

Los coeficientes de absorción capilar se optimizaron al 2% de adición de *Aloe vera* con un valor de 1,9 g/m² x seg^{0.5} que en comparación con la muestra patrón significa una disminución del 32% de absorción capilar.

Se realizó una gráfica del comportamiento de este parámetro gracias a los valores obtenidos de las variaciones de masa por unidad de área versus la raíz cuadrada del tiempo, como se muestra en la Fig. N° 8. Se observó que a los primeros segundos de absorción las muestras tuvieron un comportamiento creciente, pero finalmente llegaron a un punto de pseudo saturación en la que ya no absorbieron agua aparente o por lo menos según la norma los valores de variación de masas (gramos) de agua consecutiva no superaron el 1%.

Entonces por ejemplo para la muestra patrón (AV 0%) se notó una variación de masa de agua total de 138 gramos por unidad de raíz cuadrada de tiempo (60 $\text{seg}^{0.5}$), es decir, absorbió 138 gr. en 3600 segundos (1 hora) en una superficie de 78,5 cm^2 (superficie de la probeta de 10cm de diámetro). También se pudo notar la variación de masas de agua conforme se aumentó el porcentaje de *Aloe vera*, al 1 y 2 % las variaciones fueron pequeñas, mientras que al 3, 4, 5 y 6 % éstas se atenuaron con una variación mayor.

La norma Swiss Standard - SIA 162 - Succión Capilar, determina la absorción capilar a distintos intervalos (½, 1, 2, 3 y 24 horas); lo cual determina de igual modo la absorción capilar del concreto, pero a estos intervalos en un ambiente caluroso no sería lo más conveniente; es por eso que utilizamos como ideal a la norma UNE - EN 1925, que establece períodos mucho más cortos y mayores en número.

Bizzotto *et al.* (2006) en su trabajo de investigación "Determinación de la absorción capilar en hormigones de alto desempeño elaborados con materiales de la región del Noreste de Argentina (NEA)" bajo la norma SIA 162 mostraron que la capacidad de absorción capilar del hormigón toma valores entre 4,05 y 9,59 $\text{g}/\text{m}^2 \times \text{seg}^{0.5}$ donde los indicadores más bajos corresponden al concreto superficial, cuando la superficie expuesta al agua es la base inferior de la probeta, que estuvo en contacto con el molde.

Es importante mencionar que la investigación de Bizzotto *et al.* (2006) se llevó a cabo con una relación agua/cemento de 0.31 y se empleó un cemento de alta resistencia inicial (IRAM 50.001) y un aditivo superfluidificante en

proporción de 2,8 % del peso de cemento. Con estas variaciones respecto a nuestra investigación se entiende que los coeficientes de absorción capilar no resultan los mismos dado que nuestro rango fue de 1,9 a 4,5 $\text{g}/\text{m}^2 \times \text{seg}^{0.5}$, sin embargo recalcamos que el análisis de nuestro fue realizado en períodos más cortos y en mayor cantidad, además teniendo en cuenta el tiempo total, habremos analizado una parte de la norma SIA 162/1, porque si hubiéramos tomado más puntos a edades más tardías estos valores evidentemente habrían aumentado y se habrían acercado a los que muestra Bizzotto *et al.* (2006).

Un concreto de baja permeabilidad que a su vez tiene una gran dependencia de la porosidad capilar, del aire incluido y atrapado y velocidad de penetración del agua; la escala de poros en el concreto según Hermida (2013), es una de las clasificaciones más comúnmente mencionadas con referencia a las pastas de cemento hidratadas, donde se muestra que la célula de una planta es tal como la de la ceniza volante o el silicato tricálsico, con 10 micrómetros de tamaño de poro, siendo éstas menores a la de un cabello humano, además el rango de porosidad capilar se extiende desde las capas de carbono, azufre e hidrógeno hasta las células de una planta.

En nuestra investigación utilizamos la misma relación agua/cemento por lo tanto la misma cantidad de agua para los diferentes porcentajes de *Aloe vera*, y notándose que al 4, 5 y 6% de adición de *Aloe vera* la absorción capilar del concreto se incrementa, tomando como referencia la escala de poros en el concreto según Hermida, 2013 podemos establecer que al momento de haber licuado estos porcentajes de gran contenido, el agua que no se aumentó fue siendo insuficiente para que el licuado sea totalmente eficaz, dejando mayores tamaños; por lo tanto, al aumentar este tamaño de las células de la planta también aumentó el espacio ocupante de éstas partículas en cada probeta, aumentando el tamaño de poro, y por el tamaño de estas partículas incrementando la cantidad de aire atrapado.

Son los poros a partir de los 10 nm los que tienen la influencia más importante sobre

la penetración de líquidos. En la clasificación de Hermida (s.f.) la posibilidad de penetración de agua en la pasta de cemento comienza con los poros saturables que corresponden a aquellos mayores a 10 nm, luego la absorción aumentó por poseer más poros y la capacidad de soportar una carga axial como es la de compresión disminuyó.

CONCLUSIONES

El porcentaje se optimizó al 2% de Aloe vera (exocarpio + 2mm de gel) y asegurándonos de que entre estas dos se encuentre el componente principal de Aloe vera que es la aloína.

El asentamiento cumplió con el diseño de mezcla, con 3" (7,5 cm) este parámetro decreció linealmente con valores de 5cm al 1% de AV, 2,5 cm al 2% de AV, hasta 0,63 cm al 6% de AV.

Al 1% de AV se duplicó el tiempo de fraguado final con 630 minutos y al 2% de AV el fraguado inicial favoreció casi el doble de tiempo y aproximadamente 7,6 veces más para el fraguado final.

La resistencia a la compresión (28 días) al 2% de AV alcanzó 355 kg/cm² (41% más sobre la resistencia patrón).

La infiltración disminuyó 47,9% (de 0,076 a 0,039 pulg/hora) respecto a la muestra patrón.

La absorción capilar se optimizó al 2% de AV de 2,3 a 1,9 g/m²xseg^{0.5} en comparación con la muestra patrón, con una disminución del 32%.

Se recomienda analizar la degradación del concreto por ataque químico, por sulfatos, cloruros y por carbonatación, así mismo establecer cómo afecta químicamente estos agentes en el concreto conteniendo Aloe vera.

Formar un convenio y/o sociedad con industrias que elaboran shampoo o con las industrias medicinales y/o farmacéuticas, puesto que éstas utilizan el gel de Aloe vera y desechan la cáscara.

AGRADECIMIENTOS

Al Laboratorio de Reciclado y Concreto de la Escuela de Ingeniería de Materiales de la Universidad Nacional de Trujillo.

Al Laboratorio de Suelos y Cerámicos de la Escuela de Ingeniería de Materiales de la Universidad Nacional de Trujillo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI. 2011. Práctica estándar para seleccionar proporciones para hormigón normal, pesado y de masa.
- Babilonia, E.; Urango, S.; España, J. 2015. El uso de aditivos de origen natural integral a masas de concreto para la protección contra la corrosión del acero estructural embebido (caso estudio: sabila). Tesis de titulación, Universidad de Cartagena, Colombia. 123 pp.
- Bizzotto, M.; Astori, R.; Sanguinetti, B. 2006. Determinación de la absorción capilar en hormigones de alto desempeño elaborados con materiales de la región NEA. Universidad del Nordeste. Disponible en: <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt2006/07-Tecnologicas/2006-T-067.pdf>
- Borges, P.; Castillo, R.; Carpio, J.; Pazini, J.; San Juan, M. 2011. Corrosión en estructuras de concreto armado. Teoría, inspección, diagnóstico, vida útil y reparaciones. *Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.* 2da edición. 125 pp.
- Camarillo, E. 2015. La corrosión del acero embebido en el concreto reforzado. *Revista de divulgación de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*. pp.1.
- Carcaño, R.; Moreno, E. y Castro, P. 2005. Durabilidad en la estructura de concreto de vivienda en zona costera. *Ingeniería 9*: 13-18.
- Castañadú. 2015. Control de calidad del concreto. *Distribuidora Norte Pacasmayo (DINO)*. Disponible en: http://www.dino.com.pe/download/?file=100600_Control_de_Calidad_de_Concreto.pdf
- Del Toro, H. 2012. Sitio experimental de pruebas y ensayos del hormigón hidráulico sometido a diferentes condiciones de agresividad marina. Universidad Central Marta Abreu. pp.32.
- Domínguez, R.; Arzate, I.; Chanona, J.; Welti, J.; Alvarado, J.; Calderón, G.; Garibay V.; Gutierrez, G. 2012. Aloe Vera GEL: Structure, chemical composition, processing, biological activity and importance in pharmaceutical and food industry. *Revista Mexicana de Ingeniería Química 11(1)*: 23-43.
- Eshun, K.; He, Q. 2004. Aloe vera: a valuable ingredient for the food, pharmaceutical and cosmetic industries- A review. *Critical reviews of food science and nutrition 44*: 91-96.
- Hamman, J. 2008. Composition and applications of Aloe Vera leaf gel. *Molecules 13*: 1599-1616.
- Hermida, G. 2013. Concreto Impermeable: Una mirada reciente. *Sika Informaciones Técnicas*. 31pp.
- Hermida, G. s.f. *Concreto de baja permeabilidad, algo más que disminuir a/c.*, n.d. 1st ed. [ebook] pp.1-5. Disponible en: <http://revistapyc.com/Articulos/Grupo56/ART-56-A.pdf> [Consultado el 15 de mayo de 2017].
- Herrera, H.; Franco, M.; Miranda, J.; Hernández, E.; Espinoza, A.; Fajardo, G. 2015. Aloe-vera gel as

- potential corrosion inhibitor for concrete steel reinforcement. *Executive Business School and Avances en Ciencias e Ingeniería* 6(3): 9-23.
- Huarcaya, C. 2014. Comportamiento del asentamiento en el concreto usando aditivo polifuncional sikament 290n y aditivo super plastificante de alto desempeño sika viscoflow 20e. Tesis de titulación, Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú. 103 pp.
- Julián, F. 2008. Secado, absorción de agua y difusión de cloruros en concreto conteniendo extracto de nopal. Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, México. 103 pp.
- Kiran, P.; Rao, P. 2016. Development and characterization of reconstituted hydrogel from Aloe vera. *Journal of Food Measurement and Characterization* 10(3): 411-424.
- Kosmatka, S.; Panarese, W. 2006. Determinación del tiempo de fraguado inicial y final del cemento. 1ra edición. San Salvador: Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas", UCA. pp. 6-9.
- Manvitha, K.; Bidya, B. 2014. Aloe vera: a wonder plants its history, cultivation and medicinal uses. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 2(5): 85-88.
- Martínez, W.; Torres, A.; Celis, C.; Alonso, E. 2014. Physical Properties of Cement-Based Paste and Mortar with Dehydrated Cacti Additions. *International Journal of Architectural Heritage* 9(4): 443-452.
- Miranda, M.; Maureira, H.; Rodríguez, K.; Vega, A. 2009. Influence of temperature on the drying kinetics, physicochemical properties, and antioxidant capacity of Aloe Vera (Aloe Barbadensis Miller) gel. *Journal of Food Engineering* 91(2): 297-304.
- Muhammad, N.; Keyvanfar, A.; Majid, M.; Shafaghhat, A.; Mirza, J. 2015. Waterproof performance of concrete: A critical review on implemented approaches. *Construction and Building Materials* 101: 80-90.
- La República. Daños de El Niño Costero | PUCP. 2017. Disponible en: <https://btpucp.pucp.edu.pe/noticia-laboral/danos-nino-costero-ascienden-us3-124-millones/> [Accessed 19 Mar. 2018].
- Sánchez, D.; López, J.; Sendón, R.; Sanches, A. 2017. Aloe vera: Ancient knowledge with new frontiers. *Trends in Food Science & Technology* 61: 94-102.
- Taus, V. 2003. Determinación de la absorción capilar en hormigones elaborados con agregados naturales y reciclados. *Ciencia y Tecnología del Hormigón* (10): 7-15.
- Torres, A.; Martínez, W.; Lomelí, M.; Pérez, G. 2010. Adiciones en base a Cactus como inhibidor de corrosión para acero de refuerzo en concreto. Publicación Técnica No. 328, Instituto Mexicano del Transporte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México. 75 pp.
- UNE-EN 1925. Natural stone test methods. Determination of water absorption coefficient by capillarity. Czech Office for Standards, Metrology and Testing.
- Yuan, Q.; Shi, C.; De Schutter, G.; Audenaert, K.; Deng, D. 2009. Chloride binding of cement-based materials subjected to external chloride environment - A review. *Construction and Building Materials* 23: 1-13.