








# Agave Americana L fibers and control of cracks due to plastic shrinkage in rigid pavements

Jorge Luis Nishihara Alcocer- Magister <sup>1</sup> , Luis Alex Alzamora de los Godos Urcia – Doctor <sup>2</sup> , Jully Pahola Calderón Saldaña – Doctora <sup>3</sup> , Joaquin Samuel Támara Rodríguez - Magister <sup>1</sup> , Juan Godoy Caso – Doctor <sup>2</sup> , Carlos Magno Chavarry Vallejos - Doctor <sup>1</sup> , Andrés Sotil Chávez – Ph.D. <sup>1</sup> 

1: Universidad Ricardo Palma - (PE) Maestría en Ingeniería Vial; nishihara.jo@gmail.com, samuel\_tamara@hotmail.com, cchavarryvallejos@hotmail.com, andressotil@hotmail.com

2: Universidad Cesar Vallejo - (PE); Facultad de Medicina – Vicerrectorado Académico UCV, laalzoradela@ucvvirtual.edu.pe, jugodoyca@hotmail.com,








3: Universidad Nacional Federico Villarreal - (PE) – Escuela de Postgrado – Coordinación Ciencias de la Salud, paholitacalderon@gmail.com

**Abstract**— The cracks by Plastic Contraction are a pathology of the rigid pavements (hydraulic) that are studied in the present work that aims to identify if the vegetable fibers of the American Agave L. They control the frequency of cracks by plastic shrinkage surface of rigid pavements. For this, four test cloths were prepared. To the different hydraulic concrete panels were added the fibers Agave Americana L. in proportions of 0, 0.5, 0.75 and 1.0 percent of the total volume of concrete. After finishing, the presence of cracks during the setting period was evaluated with the use of a comparator microscope and a ruler. Fissure data were evaluated with an experimental design of separate samples. The results were obtained that the concrete added with 0.75 and 1.0% of Agave Americana L. fibers managed to reduce the presence of fissures by plastic shrinkage, while the dosage of 0.5%, reduced the propagation of cracks, unlike concrete without addition of fibers, which had the presence of cracks.

**Keywords**— *Plastic Contraction, fibers of the American Agave L.*

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI). ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI). DO NOT REMOVE

# Fibras de Agave americana L y control de fisuras por retracción plástica en pavimentos rígidos

Jorge Luis Nishihara Alcocer- Magister <sup>1</sup> , Luis Alex Alzamora de los Godos Urcia – Doctor <sup>2</sup> , Jully Pahola Calderón Saldaña – Doctora <sup>3</sup> , Joaquin Samuel Támara Rodríguez - Magister <sup>1</sup> , Juan Godoy Caso – Doctor <sup>2</sup> , Carlos Magno Chavarry Vallejos - Doctor <sup>1</sup> , Andrés Sotil Chávez – Ph.D. <sup>1</sup> 

1: Universidad Ricardo Palma - (PE) Maestría en Ingeniería Vial; nishihara.jo@gmail.com, samuel\_tamara@hotmail.com, cchavarryvallejos@hotmail.com, andressotil@hotmail.com

2: Universidad Cesar Vallejo - (PE); Facultad de Medicina – Vicerrectorado Académico UCV, laalzamora@ucvvirtual.edu.pe, jugodoyca@hotmail.com,

3: Universidad Nacional Federico Villarreal - (PE) – Escuela de Postgrado – Coordinación Ciencias de la Salud, paholitalcalderon@gmail.com

**Abstract—** *The cracks by Plastic Contraction are a pathology of the rigid pavements (hydraulic) that are studied in the present work that aims to identify if the vegetable fibers of the American Agave L. They control the frequency of cracks by plastic shrinkage surface of rigid pavements. For this, four test cloths were prepared. To the different hydraulic concrete panels were added the fibers Agave Americana L. in proportions of 0, 0.5, 0.75 and 1.0 percent of the total volume of concrete. After finishing, the presence of cracks during the setting period was evaluated with the use of a comparator microscope and a ruler. Fissure data were evaluated with an experimental design of separate samples. The results were obtained that the concrete added with 0.75 and 1.0% of Agave Americana L. fibers managed to reduce the presence of fissures by plastic shrinkage, while the dosage of 0.5%, reduced the propagation of cracks, unlike concrete without addition of fibers, which had the presence of cracks.*

**Keywords—** *Plastic Contraction, fibers of the American Agave L.*

**Resumen—** *Las grietas por Contracción Plástica son una patología de los pavimentos rígidos (hidráulicos) estudiadas en el presente trabajo teniendo como objetivo identificar si las fibras vegetales del Agave Americano L. controlan la frecuencia de grietas por contracción plástica superficial de pavimentos rígidos. Para ello, se prepararon cuatro paños de prueba. A los diferentes paneles de concreto hidráulico se les adicionó las fibras de Agave Americana L. en proporciones de 0, 0.5, 0.75 y 1.0 por ciento del volumen total de concreto. Después del acabado, se evaluó la frecuencia de grietas durante el período de fraguado con el uso de un microscopio comparador y una regla. Los datos de fisura se evaluaron con un diseño experimental de muestras separadas. Se obtuvieron como resultados que el concreto adicionado con 0.75 y 1.0% de fibras de Agave Americana L. logró disminuir la presencia de fisuras por retracción plástica, mientras que la dosificación de 0.5%, redujo la propagación de grietas, a diferencia del concreto sin adición de fibras, que presentaba grietas.*

**Palabras clave—** *Contracción Plástica, fibras del Agave Americano L.*

## I. INTRODUCCIÓN

El malestar que experimentan los usuarios de las vías pavimentadas se debe en gran medida a la aparición y propagación de grietas y fisuras en las losas o redes de concreto que, también son fuentes potenciales de daños graves. La incomodidad antes mencionada es causada por el nivel de las condiciones de la vía o parámetros de operación

insuficientes, los cuales son percibidos subjetivamente por los usuarios de la vía; También existen propiedades físicas que puede tener el pavimento como fisuras, grietas, hundimientos, etc. (1). El nivel de comodidad y calidad del tráfico será aceptable si el viaje es placentero, cómodo y seguro; esto reflejará el alto nivel de funcionalidad de uso al emplear carreteras de concreto. Por esta razón, el objetivo fue investigar el tipo de aditivo o anclaje natural que se incorpora al concreto destinado a pavimento rígido de tal manera que se pueda controlar o reducir significativamente el agrietamiento por retracción plástica; evitar que desarrolle o participe en otro tipo de patología y así crear aún más molestias e incomodidad a los usuarios de estas vías.

Los costos de mantenimiento del pavimento son generalmente altos y los diseños de pavimentos rígidos a menudo no toman en cuenta el mantenimiento periódico a lo largo de la vida útil. No se espera que, si la propagación de grietas por retracción plástica es excesiva y porque no se controlan adecuadamente en las primeras etapas de hormigonado, estas losas o capas de concreto hidráulico requerirán un curado costoso y/o una renovación mayor. Se sabe que se debe de mantener la capacidad para rodar y mantener un rendimiento óptimo de acuerdo con los requisitos de carga de flujo para los que fue diseñado originalmente la vía. Se espera que al probar estos aditivos para el concreto usando fibra natural pueda reducir el agrietamiento por contracción plástica, y por ende se pueda evitar el mantenimiento periódico imprevisto o el mantenimiento inesperado en la etapa de diseño e indirectamente minimizar los costos de mantenimiento y reparación preventiva para las losas o vías de concreto.

Este trabajo se realiza en una zona que describimos por sus características particulares, El Valle del Mantaro tiene un clima muy característico, ya que la temperatura ambiente puede superar los 22,7 °C (2) durante el día y estar por debajo de -2,8 °C (2) durante la noche. Este cambio brusco de temperatura, conocido como gradiente térmica, así como otras condiciones atmosféricas específicas de la región, como la humedad del aire, la velocidad del viento y la estación del año, son factores que determinan la aparición de grietas por retracción plástica en losas de pavimento rígido al inicio de la operación ocasionando su deterioro, debido a la alta tasa de evaporación y pérdida de humedad en la superficie del concreto (3).

## Importancia de las fisuras por contracción plástica

Las grietas de contracción plástica se ven mal; sin embargo, rara vez afectan la resistencia y durabilidad de las losas de las vías (hasta que las grietas se agrandan y generan daño). Sin embargo, si las sustancias dañinas los atraviesan, pueden afectar el desempeño de la estructura y reducir su durabilidad. Por lo tanto, es importante evaluar, controlar y evitar las grietas por contracción plástica para lograr estructuras más resistentes, que brinden una vida útil aceptable con el menor costo de mantenimiento posible (4). Un procedimiento común para evitar grietas en el concreto es agregar fibras a la mezcla, las fibras normalmente sellan las grietas en el concreto al crear una unión entre los agregados gruesos, lo que permite el control de las grietas después de la grieta inicial, el concreto se comporta como un material dúctil, por lo que evita que se agriete y se vuelva quebradizo. (5).

### Brote y desarrollo de fisuras por contracción plástica

Si la humedad se evapora de la superficie de concreto fresco más rápido de lo que se escapa el agua, la superficie de concreto se contraerá. Debido al confinamiento del concreto debajo de la capa superficial seca, se desarrollan tensiones de tracción en el concreto débil, dúctil y rígido, lo que provoca grietas poco profundas de diferentes profundidades que pueden formar un patrón poligonal aleatorio o pueden aparecer casi paralelas entre sí. Estas grietas suelen ser bastante extensas en la superficie. Su longitud varía desde unos pocos milímetros hasta más de un metro, y la distancia entre ellos puede ser de varios milímetros o incluso de 3 m. Las grietas por contracción plástica comienzan como grietas poco profundas, pero pueden convertirse en grietas que abarcan toda la altura del bloque de concreto. (6). Tales grietas se forman cuando el agua se evapora de la superficie más rápido de lo que el agua puede llegar a la superficie por efusión. Esto hace que la capa superior de concreto se seque (lo que resulta en variaciones de humedad y dureza entre la superficie y el interior del bloque), acompañada de una rápida retracción por secado (que activa las fuerzas capilares en el concreto) y generan tensión de tracción en la superficie, lo que lleva a la formación de grietas (el concreto fresco no tiene resistencia a la tracción). (7).

Según IMCYC(4), el mecanismo de generación de las fisuras o grietas por contracción plástica FCP es el siguiente:

1) Hay filtraciones de agua en la superficie. 2) La tasa de evaporación del agua en la superficie es mayor que la tasa de evaporación del agua que sube a la superficie de la losa o adoquín. 3) La superficie de concreto está seca. 4) La superficie de concreto está tratando de encogerse. 5) Concreto húmedo resistente a la retracción. 6) Desarrollo de tensiones en hormigón dúctil. 7) Formación de grietas por contracción plástica.

### Tamaño de la fisura por contracción plástica

El agua debajo de la superficie de la losa de concreto forma una película entre las partículas finas de cemento y el agregado, creando tracción en las capas superficiales. Los siguientes eventos pueden ocurrir durante este proceso:

Si la superficie de concreto ha comenzado a fraguar y tiene suficiente resistencia a la tracción para soportar estas fuerzas, no se desarrollarán grietas.

- Si la superficie se seca muy rápidamente, el concreto puede permanecer maleable y no aparecerán grietas durante

este tiempo, pero seguramente se formarán tan pronto como se endurezca un poco más. Las grietas por contracción plástica deben distinguirse de otras grietas prematuras o de endurecimiento previo causadas por la deposición (asentamiento) del concreto alrededor del refuerzo, el movimiento del encofrado, el agrietamiento térmico prematuro o el asentamiento diferencial del concreto delgado y profundo. (8).

## II. MATERIAL Y MÉTODOS

Las fisuras o grietas por contracción plástica "FCP" están espaciadas uniformemente entre 1 y 3 pies (0,3 a 0,9 m) y generalmente no cruzan la circunferencia de la lámina. (8). En este sentido, el área mínima que se puede considerar como unidad muestral en la que se puede estimar y evaluar el FCP frente a un determinado fondo debe ser de 320 mm de ancho y 320 mm de largo, correspondiente a un área de 0,1024 m<sup>2</sup>. Luego hay 100 unidades de muestra en el marco de prueba, debido a los 10,24 m<sup>2</sup> que tiene cada una de ellas. 4 paneles tienen una superficie total de 40,96 m<sup>2</sup>, por lo que el número total de muestras es de 400 paneles.

El cálculo de la muestra se basa en la fórmula considerada por Calderón y Alzamora de los Godos (9) para estos estudios experimentales y explicativos con características comunes de las dos variables cuantitativas. Por lo tanto, se recomienda tomar 168 unidades de muestra de 4 paños, contando cada losa como una sección con dimensiones de exactamente 320 mm x 320 mm. Finalmente, para cada tejido (con 0, 0,50, 0,75 y 1,0% de Agave Americana L. en comparación con el volumen de concreto; PPI, PPII, PPIII y PPIV respectivamente) Se evaluarán 42 unidades de muestra para la recopilación de datos y el procesamiento posterior. El diseño de investigación se caracterizó por:

- Por la orientación: Es aplicada
- Por la técnica de contrastación: Es experimental
- Por la direccionalidad: Es prospectiva
- Por el tipo de fuente de recolección: Es prolectiva
- Por la evolución del fenómeno: Es longitudinal
- Por la comparación de poblaciones: Es comparativa

Fase de diseño y construcción de pavimentos a nivel de subrasante: En esta fase se desarrollan los cálculos de espesores de superficie dura en base a experimentos de tránsito, ensayos geotécnicos de la cimentación y ensayos geotécnicos del material excavado utilizado como cimentación. Durante esta fase, también se tiene en cuenta el proceso de construcción del pavimento, desde la clasificación y el marcado hasta la compactación del subsuelo granular y el encofrado del piso. Fase de prueba/construcción antes de la prueba o preevaluación: esta etapa es para obtener y verificar la calidad del lote de concreto premezclado mediante la construcción de los puntos que se registran en la hoja de seguimiento. Durante este período, además de probar la calidad del concreto asfáltico (contra las especificaciones requeridas), los paños de prueba también se identifican y clasifican de acuerdo con la dosificación de Agave Americana L. que se añadió a la mezcla.

|      |                |                |                |                       |
|------|----------------|----------------|----------------|-----------------------|
| PPI  | O <sub>1</sub> | -              | O              | Concreto Convencional |
| PPII | O <sub>3</sub> | X <sub>1</sub> | O <sub>4</sub> | 0.50% de volumen      |

|       |                |                |                |                  |
|-------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| PPIII | O <sub>5</sub> | X <sub>2</sub> | O <sub>6</sub> | 0.75% de volumen |
| PPIV  | O <sub>7</sub> | X <sub>3</sub> | O <sub>8</sub> | 1.0% de volumen  |

**Tabla 1:** Paños con diseño experimental y la concentración del Agave Americana L según volumen del concreto total.

### III. RESULTADOS

#### Tiempo de fraguado a través de la aguja de Vicat

Los resultados del ensayo de determinación del tiempo de fraguado del cemento hidráulico utilizando la aguja de Vicat (ASTM C 191:2008a / NTP 334.006:2013) son los siguientes:

Los valores presentados en la Tabla 2 son consecuencia de los ensayos que como podemos observar el tiempo promedio en minutos del fraguado inicial fue de 4.58 minutos, mientras que el tiempo promedio del fraguado final fue de 5.53 minutos.

| Muestra de ensayo                                      | V-01  |         | V-02  |         | Promedio |         |
|--|-------|---------|-------|---------|----------|---------|
|  | (min) | (hh:mm) | (min) | (hh:mm) | (min)    | (hh:mm) |
| Tiempo de Fraguado Inicial<br>[Penetración 25 mm]      | 300   | 5:00    | 295   | 4:55    | 298      | 4:58    |
| Tiempo de Fraguado Final<br>[Sin penetración de aguja] | 364   | 6:04    | 342   | 5:42    | 353      | 5:53    |

**Tabla 2:** Resultados de tiempo de fraguado a través de la aguja de Vicat.

En la tabla 3 podemos observar el tiempo de fraguado por medio de la resistencia a la penetración, cuyos resultados del ensayo están normalizados para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de la resistencia a la penetración (ASTM C 403/C 403M-08 / NTP 339.082:2011 [Rev.2016]) son los siguientes:

Y se pudo encontrar que el tiempo promedio para el tiempo de fraguado inicial fue de 5.05 minutos, mientras que el tiempo del fraguado final fue de 6.25 minutos en promedio.

| Muestra de ensayo                       | M-01  |         | M-02  |         | M-03  |         | Promedio |         |
|---|-------|---------|-------|---------|-------|---------|----------|---------|
|   | (min) | (hh:mm) | (min) | (hh:mm) | (min) | (hh:mm) | (min)    | (hh:mm) |
| Tiempo de Fraguado Inicial<br>[500 PSI] | 301   | 5:01    | 306   | 5:06    | 301   | 5:01    | 305      | 5:05    |
| Tiempo de Fraguado Final<br>[4000 PSI]  | 384   | 6:24    | 384   | 6:24    | 382   | 6:22    | 385      | 6:25    |

**Tabla 3:** Resultados de tiempo de fraguado por resistencia a la penetración.

#### Fisuras por contracción plástica

Las dimensiones y/o medidas de los paños de prueba (PP) y de las unidades muestrales (UM), que se precisaron en la presente investigación, son las que se presentan en la Tabla 4.

|                      | LONG. (mm) | ANCHO (mm) | ÁREA (mm <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------|------------|-------------------------|
| PAÑO DE PRUEBA [PP]  | 3,200      | 3,200      | 10,240,000              |
| UNIDAD MUESTRAL [UM] | 320        | 320        | 102,400                 |

En la cual se reporta que los paños de prueba se diseñaron con una longitud de 3,200 mm, un ancho de 3,200 mm, mientras que las unidades muestrales correspondieron a 320 mm tanto para ancho como longitud.

**Tabla 4:** – Dimensiones de paños de prueba y unidades muestrales.

En base a dichas dimensiones es que se cuantifica la incidencia que alcanzó cada fisura.

En la tabla 5 podemos ver que el mayor ancho promedio de fisura se presenta en la fisura F4 con un ancho de 2,02 mm, seguida de la fisura F8 con un ancho de 1,94 mm; mientras que la longitud más larga registrada es la fisura F10 con 672 mm, seguida de la fisura F8 con 591 mm, luego la fisura F14 con 487 mm; La humedad relativa ambiente oscila entre el 62 % y el 63 %. Por otro lado, la velocidad del viento fue mayor durante la grabación en la ranura F6 con 2,73 m/s y luego durante la grabación en la ranura F11 con 2,55 m/s. Durante la medición, la temperatura ambiente osciló entre 19,3 °C y 22,20 °C sin fluctuaciones apreciables. En el caso de las temperaturas del concreto, se registró un rango de 28.20 °C a 32.00 °C sin cambios significativos. Para los casos de FCP en el panel de prueba I, se encontró que el área total de grietas era de 7836 mm<sup>2</sup>, con 36 muestras cubriendo las grietas en todo el panel. El área total de las unidades muestrales que cubre el FHP es de 3.686.400 mm<sup>2</sup>. Así, supongamos que el área del paño de prueba (TP) y la pieza de prueba (SU) son 10,240,000 mm<sup>2</sup> y 102,400 mm<sup>2</sup> respectivamente; el número total o frecuencia de fracturas obtenidas fue de 0,0765% para PP y 3,62% para MU. La temperatura ambiente más alta es de 22.2 °C (al registrar la fisura F15) y la más baja es de 19.3 °C (al registrar la fisura F1), la humedad ambiental es constante en el rango de 62% a 63%, la temperatura del concreto entre

| ID FISURA | HORA DE BROTE | ANCHO PROMEDIO DE FISURA (mm) | LONG. DE FISURA (mm) | HUMEDAD RELATIVA DEL AMBIENTE (%) | VELOCIDAD DE VIENTOS (m/s) | TEMPERATURA DEL AMBIENTE (°C) | TEMPERATURA DEL CONCRETO (°C) |
|-----------|---------------|-------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| F1        | 11:53         | 1.22                          | 167                  | 63                                | 0.82                       | 19.30                         | 28.20                         |
| F2        | 11:58         | 1.26                          | 159                  | 63                                | 1.49                       | 19.60                         | 28.30                         |
| F3        | 12:02         | 1.64                          | 248                  | 62                                | 1.95                       | 20.10                         | 29.40                         |
| F4        | 12:11         | 2.02                          | 455                  | 62                                | 1.27                       | 21.20                         | 30.50                         |
| F5        | 12:13         | 1.56                          | 268                  | 62                                | 2.29                       | 21.40                         | 31.30                         |
| F6        | 12:17         | 1.08                          | 215                  | 62                                | 2.73                       | 21.00                         | 31.90                         |
| F7        | 12:18         | 1.42                          | 287                  | 62                                | 2.22                       | 21.00                         | 31.60                         |
| F8        | 12:19         | 1.94                          | 591                  | 62                                | 2.01                       | 21.20                         | 31.60                         |
| F9        | 12:21         | 1.66                          | 227                  | 62                                | 2.18                       | 21.30                         | 31.50                         |
| F10       | 12:24         | 1.76                          | 672                  | 62                                | 2.46                       | 21.30                         | 32.00                         |
| F11       | 12:31         | 0.88                          | 324                  | 62                                | 2.55                       | 21.60                         | 31.60                         |
| F12       | 12:35         | 1.04                          | 413                  | 62                                | 1.92                       | 21.90                         | 31.90                         |
| F13       | 12:39         | 0.70                          | 94                   | 63                                | 1.88                       | 21.80                         | 30.90                         |
| F14       | 12:42         | 1.22                          | 487                  | 63                                | 2.32                       | 21.90                         | 30.80                         |
| F15       | 12:44         | 1.08                          | 148                  | 63                                | 2.48                       | 22.20                         | 30.00                         |
| F16       | 12:51         | 1.16                          | 285                  | 63                                | 1.72                       | 21.50                         | 29.50                         |
| F17       | 12:57         | 1.34                          | 356                  | 63                                | 1.96                       | 22.00                         | 29.00                         |

28.2° C y 32.0 °C (cuando F1 y F10 respectivamente). La velocidad del viento varió de 2,95 km/h (en el récord de F1) a 9,83 km/h (en el récord de F6).

**Tabla 5:** – Dimensiones de las FCP en Paño de Prueba I

Así, la tasa de evaporación obtenida del diagrama de Menzel oscila entre 0,35 kg/m<sup>2</sup>/h en el valor más bajo y 0,90 kg/m<sup>2</sup>/h en el valor máximo, con una media de 0,68 kg/m<sup>2</sup>/h durante el seguimiento. FKP. Aquí, encontramos que el mayor ancho medio de fisura ocurre en la fisura F5 de 0,9 mm de ancho, seguida por la fisura F1 de 0,82 mm de ancho; mientras que la mayor longitud registrada se encuentra en la fisura F1 con una longitud de 226 mm, seguida de la fisura F3 con una longitud de 221 mm, y luego la fisura F6 con una longitud de 155 mm; La humedad relativa ambiente oscila entre el 62 % y el 63 %. Por otro lado, la velocidad del viento fue mayor durante el registro de distancia F3 con 2,73 m/s y luego durante el registro de distancia F2 con 2,44 m/s. Durante la medición, la temperatura ambiente varió de 20,90 °C a 22,20 °C sin fluctuaciones apreciables. En el caso de las temperaturas del concreto, se registró un rango de 28.90 °C a 31.90 °C sin cambios significativos.

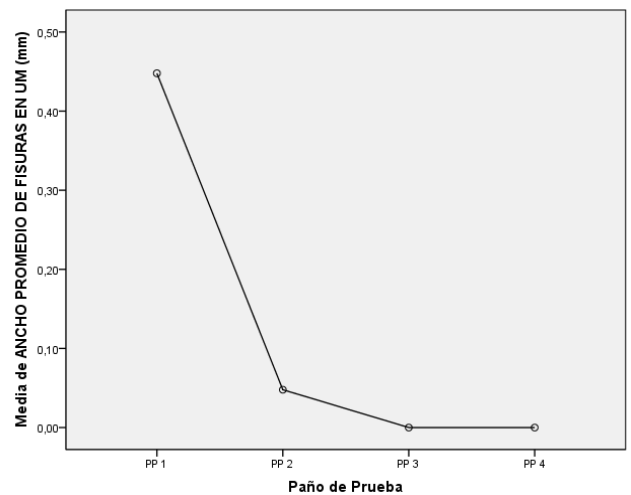
Para los casos de FCP en el panel de la prueba II, se puede concluir que el área total de grietas es de 608 mm<sup>2</sup>, donde 9 es el número total de muestras que cubren las grietas en todo el panel. El área total de las unidades muestrales que cubre el FHP es de 921.600 m<sup>2</sup>. Así, supongamos que el área del paño de prueba (TP) y la pieza de prueba (SU) son 10,240,000 mm<sup>2</sup> y 102,400 mm<sup>2</sup> respectivamente; el número total o frecuencia de fracturas obtenidas fue de 0,0059% para PP y 0,38% para MU. La temperatura ambiente más alta es de 22.2 °C (al registrar la fisura F6) y la más baja es de 20.9 °C (al registrar la fisura F2), la humedad ambiental es constante entre 62% y 63%, la temperatura del concreto está entre 28.9 °C y 31,9 °C (en el momento del registro F6 y F3), respectivamente. La velocidad del viento osciló entre 4,72 km/h (en el récord de F1) y 9,83 km/h (en el récord de F3).

| ID FISURA | HORA DE BROTE | ANCHO PROMEDIO DE FISURA (mm) | LONG. DE FISURA (mm) | HUMEDAD RELATIVA DEL AMBIENTE (%) | VELOCIDAD DE VIENTOS (m/s) | TEMPERATURA DEL AMBIENTE (°C) | TEMPERATURA DEL CONCRETO (°C) |
|-----------|---------------|-------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| F1        | 12:07         | 0.82                          | 226                  | 62                                | 1.31                       | 21.40                         | 29.90                         |
| F2        | 12:15         | 0.56                          | 146                  | 62                                | 2.44                       | 20.90                         | 31.50                         |
| F3        | 12:17         | 0.58                          | 221                  | 62                                | 2.73                       | 21.00                         | 31.90                         |
| F4        | 12:22         | 0.44                          | 81                   | 62                                | 2.21                       | 21.30                         | 31.60                         |
| F5        | 12:49         | 0.90                          | 69                   | 63                                | 1.88                       | 21.50                         | 29.90                         |
| F6        | 13:01         | 0.74                          | 155                  | 63                                | 2.02                       | 22.20                         | 28.90                         |

**Tabla 6:** – Incidencias de las FCP en Paño de Prueba II

La tasa de evaporación obtenida del gráfico de Menzel oscila entre 0,45 kg/m<sup>2</sup>/h en el valor más bajo y 0,90 kg/m<sup>2</sup>/h en el valor máximo, con una media de 0,67 kg/m<sup>2</sup>/h durante el período de seguimiento. Cuando comparamos los anchos medios de FCP para cada paño probado en los cuatro niveles de dosificación de Agave Americana L., pudimos concluir que para PPI, el ancho medio de FCP fue de 0,4478 mm ± 0,6872 y para PPII, el ancho medio de fisura es de 0,0478 ± 0,1773mm; Por otro lado, PPIII y PPIV no presentan fisuras, por lo que el valor de la prueba ANOVA F es de 37,43 con un

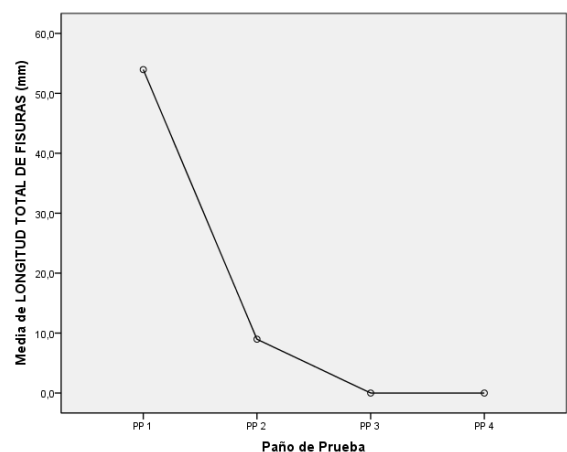
valor de P inferior a 0,001, describiendo una diferencia altamente significativa. En este sentido, se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la hipótesis de estudio, confirmando que el concreto de Agave americana L. controló significativamente el ancho de fisura por contracción plástica (Figura 1).



F = 37,431, p = 0,000

**Figura 1:** Comparación del ancho promedio de las Fisuras por en cada paño de prueba en sus cuatro niveles de dosificación de Agave Americana L.

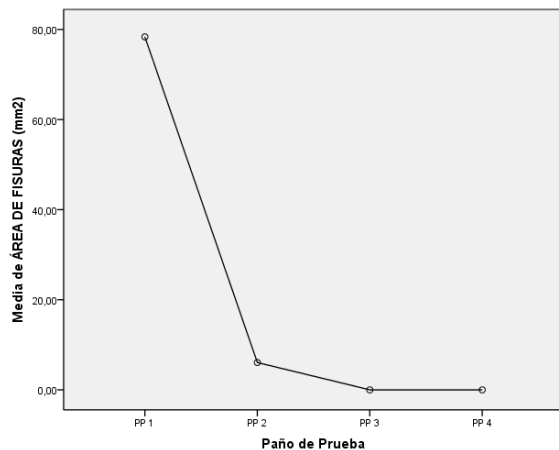
Al comparar la longitud de FCP para cada paño probado en los cuatro niveles de dosis de Agave Americana L., se puede concluir que para PPI, la longitud media de FCP fue de 53.960 mm ± 95,7314 y para PPII, la longitud media de fractura es de 8,9800 ± 38,5945 mm, PPIII y PPIV no tienen grietas; En este sentido, el valor de la prueba F en el análisis de varianza da un valor de 25,054, con una diferencia estadísticamente significativa inferior a 0,001. Por esta razón, se rechazó la hipótesis nula y la hipótesis de estudio confirmó que el concreto de Agave Americana L. controló significativamente la propagación de grietas/fisuras por contracción plástica a lo largo de toda su longitud (Figura 2).



F = 25,054, p = 0,000

**Figura 2:** Comparación de la longitud de las Fisuras/grietas por cada paño de prueba en sus cuatro niveles de dosificación de Agave Americana L.

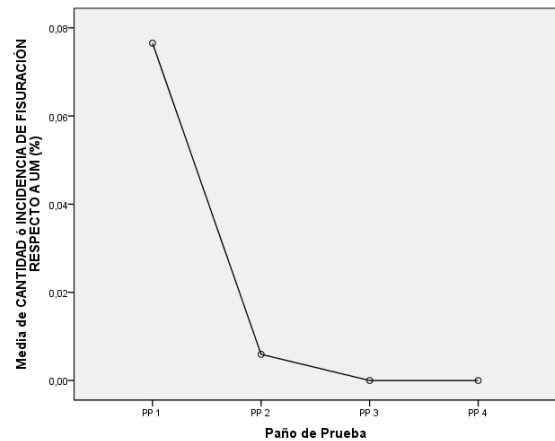
En un análisis comparativo del área FCA para cada tejido probado en cuatro niveles de dosis de Agave Americana L., el área FCA media para PPI fue de  $78,3586 \text{ mm}^2 \pm 148,7947$ , para PPII, el área FCA promedio fue de  $6,077 \pm 26,2082 \text{ mm}^2$ , al mismo tiempo PPIII y PPIV no registraron la presencia de grietas. Los resultados muestran que el valor de la prueba F obtenido es de 25.670 con un valor de P inferior a 0,001, lo que muestra una diferencia estadísticamente muy significativa. En este contexto, se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la hipótesis de estudio, confirmando que el concreto con fibras de Agave americana L. controló significativamente el área de fisuración por retracción plástica de la losa de ensayo (Figura 3).



$$F = 25,670, p = 0,000$$

**Figura 3:** Comparación del área de las Fisuras por paño de prueba en sus cuatro niveles de dosificación de Agave Americana L.

Con respecto al número o frecuencia de agrietamiento por compresión plástica para cada paño probado y los cuatro niveles de dosificación de Agave Americana L., se encontró que la frecuencia media de FCP para los PPI fue de  $0,0765 \% \pm 0,1453$  y para PPII, la frecuencia media de FCP fue de  $0,0059 \% \pm 0,0256$ ; por otro lado, PPIII y PPIV muestran una frecuencia de falla cero. Así, los resultados muestran que la prueba F da un valor de 25,670 y el valor P es menor a 0,001, mostrando una diferencia estadísticamente significativa. En este sentido, se rechazó la hipótesis estadística y se aceptó la hipótesis de investigación, la cual confirmó que el concreto con fibras de Agave Americana L. controló significativamente la ocurrencia o número de grietas por retracción plástica de las fibras de placa de ensayo de pavimento rígido (Figura 4).



$$F = 25,670, p = 0,000$$

**Figura 4:** Comparación de la cantidad o incidencia de fisuración por paño de prueba en sus cuatro niveles de dosificación de Agave Americana L.

Finalmente, se encuentra que cuando los pesos combinados de los porcentajes promedio de los tres índices ("Tamaño", "Cantidad" e "Iniciación de Grietas"), PPIII y PPIV alcanzan el valor esperado óptimo es 100%, entonces PPII obtiene un valor del 97,14% del óptimo esperado;

#### PONDERACIÓN TOTAL

|       | N   | Media    | Desviación típica | Error típico | Mínimo | Máximo |
|-------|-----|----------|-------------------|--------------|--------|--------|
| PPI   | 100 | 80,7050  | 29,18954          | 2,91895      | 20,00  | 100,00 |
| PPII  | 100 | 97,1375  | 11,09887          | 1,10989      | 43,25  | 100,00 |
| PPIII | 100 | 100,0000 | ,00000            | ,00000       | 100,00 | 100,00 |
| PPIV  | 100 | 100,0000 | ,00000            | ,00000       | 100,00 | 100,00 |
| Total | 400 | 94,4606  | 17,50914          | ,87546       | 20,00  | 100,00 |

mientras que el IPP alcanzó el 80,71% del valor óptimo. Como se puede observar, estos resultados alcanzan un valor Anova F de 35,240 y un valor de P inferior a 0,001, mostrando una diferencia estadística con una alta significancia. Esto nos permite rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis de investigación de que el concreto con fibras de Agave Americana L. controla las propiedades propuestas para la medición de grietas con retracción plástica variable; o bien este concreto de Agave Americana L. controla las fisuras por retracción plástica en los paneles de prueba de pavimento rígido (Tabla 7).

$$F = 35,240, p = 0,000$$

**Tabla 7:** Comparación de la Fisuración por Contracción Plástica ponderada en porcentaje ponderal de acuerdo con cada paño de prueba en sus cuatro niveles de dosificación de Agave Americana L.

## IV. CONCLUSIONES

El concreto con adición de fibra de Agave Americana L. en la cantidad de 0.5% por volumen, no controló completamente la propagación de grietas debido a la contracción plástica de los paneles de prueba de pavimento rígido, pero si reducen la tasa de atrapamiento en un 20,36% respecto al hormigón convencional. El concreto con la adición de Agave Americana L. Al 0,75 % de la masa total, controla la propagación de grietas por contracción plástica en

paneles de prueba de pavimento rígido, a diferencia del concreto convencional.

El concreto con la adición de Agave Americana L. Al 1,0 % de la masa total, controla la propagación de grietas por contracción plástica en paneles de prueba de pavimento rígido, a diferencia del concreto convencional. El concreto con la adición de Agave Americana L. controla la propagación de grietas por contracción plástica en paneles de prueba de superficie rígida, a diferencia del concreto convencional en el caso de la zona de la vía urbana San Carlos - Huancayo.

#### AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Ricardo Palma por sus laboratorios y asesores teóricos y al UCV por sus asesores metodológicos y estadísticos para la realización de esta investigación.

#### REFERENCIAS

- [1] AASHTO (1993). Guide for Design of Pavement Structures 1993. Washington D.C. - United States: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- [2] SENAMHI (2017). Datos Históricos de Clima – Estación Convencional Meteorológica INGENIO 2011. Servicio nacional de Meteorología e Hidrología de la República del Perú. Recuperado de [http://www.senamhi.gob.pe/include\\_mapas/\\_dat\\_esta\\_tipo.php?estaciones=155231](http://www.senamhi.gob.pe/include_mapas/_dat_esta_tipo.php?estaciones=155231). Último Acceso: 2016, 03 de octubre.
- [3] Cárcamo, M. (2013). Agrietamiento del concreto en estado plástico. San Salvador - El Salvador: Ministerio de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y desarrollo Urbano - Viceministerio de Obras Públicas - Unidad de Investigación y Desarrollo Vial.
- [4] IMCYC (2011). Fisuras por contracción plástica del concreto. Tecnología – Instituto mexicano del Cemento y del Concreto. Recuperado de <http://www.imcyc.com/revistacyt/dic11/arttecnologia.html>. Último Acceso: 2016, 03 de octubre.
- [5] IMCYC (2012). Daños en el concreto: apuntes de cómo evaluarlos. Construcción y tecnología en concreto. Recuperado de [http://www.imcyc.com/revistacyt/marzo\\_2012/artingenieria.html](http://www.imcyc.com/revistacyt/marzo_2012/artingenieria.html). Último Acceso: 2016, 03 de octubre.
- [6] ACI 224 Comité (1993). Causas, evaluación y reparación de fisuras en estructuras de hormigón – Norma ACI 224.1R-93. Farmington Hills - Michigan - Estados Unidos: American Concrete Institute.
- [7] Rivva, E. (1º Edición). (2010). Ataques al concreto. Lima – Perú. Fondo Editorial ICG.
- [8] National Ready Mixed Concrete Association. (2009). CIP-5 Agrietamiento por contracción plástica. El concreto en la práctica ¿Qué, por qué y cómo?, 1-2. Recuperado de <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP5es.pdf>.
- [9] Calderón, J. y Alzamora de los Godos, L. (1º Edición). (2010). La Investigación Científica para la Tesis de Posgrado. Carolina del Norte – Estados Unidos: Lulu International.