

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**



**Influencia de la incorporación de macrofibras y microfibras de polipropileno reciclado en la resistencia del shotcrete para estabilización de taludes**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER EN INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**

**AUTOR**

**Brayan Smith Olivera Carrero**

**ASESOR**

**Ronald Esteban Villanueva Maguiña**

<https://orcid.org/0000-0002-3707-5503>

**Chiclayo, 2022**

## Índice

Resumen .....	6
Abstract .....	7
Introducción .....	8
Base teórico – científico.....	11
Polipropileno: .....	11
Estabilización de taludes: .....	12
Hipótesis y variables.....	14
Formulación de hipótesis .....	14
Tipo y Nivel de Investigación.....	14
De acuerdo con el fin que se persigue:.....	14
De acuerdo con los datos analizados:.....	14
Diseño de Investigación .....	14
Variables – Operacionalización .....	15
Materiales y métodos .....	16
Tipo de estudio y diseño de contrastación de hipótesis .....	16
Población, muestra de estudio y muestreo .....	16
Unidad de Estudio: .....	16
Población:.....	16
Muestra:.....	16
Muestreo:.....	17
Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	19
Técnica: .....	19
Fuentes: .....	19
Instrumentos de recolección de datos: .....	19
Procedimientos:.....	20
Materiales:.....	20
Resultados y Discusión: .....	22
Ensayo de materiales.....	22

Ensayo de agregados para diseño de mezcla.....	22
Análisis De Diseño De Mezcla .....	22
Análisis de los ensayos de concreto en estado endurecido .....	24
Análisis de los ensayos de muestra de suelo de talud.....	30
Ensayo de muestra de suelo de talud del km 16 + 780, Cutervo – Cochabamba.....	30
Análisis de resultados por aplicación del software “Geo5” (estabilización de taludes) ...	34
Aplicación del método Bishop para cálculo de FS de talud en el km 16 + 780 de la carretera Cutervo – Cochabamba, empleando el software geo5: .....	34
Conclusiones .....	35
Recomendaciones.....	37
Anexos.....	39
Ensayos de agregados (fino y grueso) .....	40
Ensayo de granulometría por tamizado de los agregados fino y grueso:.....	40
Ensayo de contenido de humedad de los agregados fino y grueso: .....	40
Ensayo de contenido de humedad superficial de agregado fino: .....	41
Ensayo de equivalente de arena de agregado fino: .....	41
Ensayo de material fino que pasa por el tamiz N° 200: .....	42
Ensayo de terrones de arcilla y partículas deleznales de agregado fino: .....	42
Ensayo de peso unitario y vacíos de los agregados fino y grueso: .....	43
Ensayo de gravedad específica y absorción de los agregados fino y grueso: .....	44
Ensayo de impurezas orgánicas en el agregado fino: .....	44
Elaboración De Diseños De Mezcla.....	45
Ensayo de relación densidad/humedad (Proctor) en muestra de suelo de talud en estudio: .....	46
Ensayo de corte directo en muestra de suelo de talud en estudio: .....	46

## **Lista de tablas**

tabla 1: Características de las fibras. Fuente [7].....	12
tabla 2: Variables de Estudio.....	15
tabla 3: Muestras de Ensayo para Resistencia a Compresión .....	17
tabla 4: Muestras de Ensayo para Resistencia a Tracción.....	17
tabla 5: Muestras de Ensayo para Resistencia a Flexión.....	18
tabla 6: Muestras de ensayo de Corte Directo a Muestra de Suelo de Talud. ....	18
tabla 7: Comparación de Resultados del Agregado Fino y grueso. Fuente: Propia .....	22
tabla 8: Muestras de variación de Asentamiento por cada tipo de ensayo experimental. Fuente: Propia .....	23
tabla 9: Resultados finales de resistencia a la compresión para los diferentes tipos de adición. Fuente: Propia .....	24
tabla 10: Resultados finales de resistencia a la tracción para los diferentes tipos de adición. Fuente: Propia .....	26
tabla 11: Resultados finales de resistencia a la flexión para los diferentes tipos de adición. Fuente: Propia .....	28
tabla 12: Resumen Caracterización Geotécnica del Suelo de Talud. Fuente: Propia .....	31

## **Lista de figuras**

figura 1: Desarrollo de la Resistencia a Compresión de Shotcrete respecto al tiempo .....	25
figura 2: Desarrollo de la Resistencia a Tracción de Shotcrete respecto al tiempo .....	27
figura 3: Desarrollo de la Resistencia a Flexión de Shotcrete respecto al tiempo .....	29
figura 4: Clasificación SUCS del suelo (Ábaco de Casagrande). Fuente: Propia.....	31
figura 5: Curva de compactación del suelo. Fuente: Propia.....	32
figura 6: Resultado de Ensayo de Corte Directo de Suelo de Talud. Fuente: Propia.....	33

## **Lista de gráficos**

gráfico 1: Muestras de variación de Asentamiento por cada tipo de ensayo experimental. Fuente: Propia .....	23
gráfico 2: Resultados finales de resistencia a la compresión para los diferentes tipos de adición. Fuente: Propia .....	25
gráfico 3: Resultados finales de resistencia a la tracción para los diferentes tipos de adición. Fuente: Propia .....	27

gráfico 4: Resultados finales de resistencia a la flexión para los diferentes tipos de adición.  
Fuente: Propia ..... 29

### **Lista de anexos**

anexo 1: Tramo de Carretera Cutervo - Cochabamba. Fuente: Google Earth Pro.....	39
anexo 2: Funciones de las Micro y Macrofibras de Polipropileno en el concreto. Fuente: [19] .....	39
anexo 3: Tamizado de Agregado fino y grueso. Fuente: Propia .....	40
anexo 4: Secado en Horno de Agregado Fino y Grueso. Fuente: Propia.....	40
anexo 5: Ensayo de contenido de humedad superficial de agregado fino. Fuente: Propia	41
anexo 6: Ensayo de Equivalente de Arena de Agregado Fino. Fuente: Propia.....	41
anexo 7: Lavado de Agregado Fino que pasa por tamiz N° 200. Fuente: Propia .....	42
anexo 8: Muestra de Agregado para Ensayo de Terrones de Arcilla. Fuente: Propia.....	42
anexo 9: Vaciado de Agregado Fino y Grueso. Fuente: Propia .....	43
anexo 10: Varillado de Agregado Fino y Grueso. Fuente: Propia .....	43
anexo 11: Ensayo De Gravedad Específica Y Absorción De Agregado Fino. Fuente: Propia	44
anexo 12: Lavado de Agregado. Ensayo De Gravedad Específica Y Absorción De Agregado Grueso. Fuente: Propia.....	44
anexo 13: Ensayo de Impurezas Orgánicas en Agregado Fino. Fuente: Propia.....	44
anexo 14: Enrasado de Probetas Cilíndricas de Concreto. Fuente: Propia .....	45
anexo 15: Varillado de Probetas Prismáticas de Concreto. Fuente: Propia .....	45
anexo 16: Toma de Muestra de Suelo de Talud para Ensayo de Proctor. Fuente: Propia .....	46
anexo 17: Máquina empleada en Corte Directo en Muestra de Suelo de Talud. Fuente: Propia .....	46

## Resumen

Dada la creciente demanda de infraestructuras viales, muchas investigaciones han centrado su estudio en la obtención de nuevas alternativas que permitan mejorar la conservación de las estructuras, generando de esta manera mayores beneficios económicos y sociales en la población. Para la preservación de redes viales a largo plazo, surge como una de las alternativas la estabilización de taludes, siendo necesario su aplicación en redes accidentadas, como es el caso de nuestra área de estudio. Asimismo, dadas las tendencias actuales, es usual la adición de materiales en la estabilización de estructuras, como alternativas para mejorar su durabilidad y resistencia, por lo que, en la presente investigación, se pretende identificar los niveles de influencia de la aplicación de fibras de polipropileno reciclado sobre las propiedades mecánicas del shotcrete para estabilización de taludes en la ciudad de Cutervo. Para lograr el objetivo de la presente investigación se evaluará la adición de diferentes porcentajes de macrofibras y microfibras de polipropileno sobre el shotcrete, para estabilización de taludes en el tramo más representativo de la carretera Cutervo – Cochabamba, hasta obtener los niveles óptimos de resistencia. Para la medición de la influencia del material plástico sobre las propiedades mecánicas del concreto lanzado, se hará uso de ensayos de laboratorio, mediante la elaboración de 144 testigos de concreto lanzado y estudios geotécnicos del tramo más representativo.

**Palabras clave:** Polipropileno reciclado, concreto lanzado, estabilización, taludes.

### **Abstract**

Given the growing demand for road infrastructures, many researches have focused their studies on obtaining new alternatives to improve the preservation of structures, thus generating greater economic and social benefits for the population. For the long-term preservation of road networks, slope stabilization has emerged as one of the alternatives, being necessary its application in hilly networks, as is the case of our study area. Likewise, given the current trends, it is usual to add materials in the stabilization of structures, as alternatives to improve their durability and resistance. Therefore, in the present research, we intend to identify the levels of influence of the application of polypropylene fibers on the mechanical properties of shotcrete for slope stabilization in the city of Cutervo. To achieve the objective of the present research, the addition of percentages of polypropylene macro and microfibers on shotcrete for slope stabilization in the city of Cutervo will be evaluated until optimum levels of resistance are obtained. In order to measure the influence of the plastic material on the mechanical properties of shotcrete, laboratory tests will be carried out by means of the elaboration of 144 shotcrete cores. Likewise, a significant sample of the type of soil for the application of slopes will be collected in order to carry out a study of its geotechnics.

**Keywords:** Recycled polypropylene, shotcrete, stabilization, slopes.

## **Introducción**

El aumento de la red viaria y los elevados costos de mantenimiento han hecho de la estabilización de taludes el objeto de estudio para la conservación de infraestructuras.

Como lo menciona [1], “tanto por el aspecto económico, como por los efectos derivados de su falla, los taludes constituyen hoy una de las estructuras de ingeniería que demandan mayor estudio por los profesionales”. Es decir, desde un punto de vista económico, rebajar un talud hasta alcanzar su estabilidad, conllevaría a un esfuerzo económico demasiado costoso, mientras que, en lo social, las fallas ocasionadas por los taludes pueden tener consecuencias catastróficas, como son las pérdidas humanas y/o daños sociales importantes (interrupción de las vías de comunicación, daños a las estructuras viales, entre otras).

Varios países en Europa han venido utilizando las fibras sintéticas para el revestimiento y estabilidad en la construcción de estructuras complejas, tal es el caso de España, que ha aplicado el material sintético en túneles ferroviarios de alta velocidad, túneles de carreteras, túneles de mina y túneles hidráulicos [2].

Por otro lado, el uso de productos derivados del plástico es inevitable, dado su importancia social y económica, sin embargo; la contaminación que genera es preocupante, por lo que surge la necesidad de motivar el reciclaje, y su posterior estudio de reutilización en el rubro de la ingeniería civil.

La necesidad de reutilización es inminente, dado que, en el Perú, existen estudios del Ministerio del Ambiente, que manifiestan que, en promedio, el uso de plástico por cada ciudadano es de 30 kilos, lo que perjudica la calidad de vida, producido por la contaminación ambiental.

A nivel local, como lo menciona [3], en la Región Cajamarca, los deslizamientos, caídas de rocas y derrumbes, hundimientos y vuelcos, son usuales en la región norte de Celendín, al sur de Chota, entre Cutervo y Tacabamba, y todos ellos generalmente forman parte de rocas calcáreas. Los vuelcos están relacionados a taludes con una gran caída de rocas o derrumbes, y en muchos casos, en forma combinada.

Esta situación de vulnerabilidad en la región ocasiona muchas veces problemas de comunicación entre las regiones, más aún en épocas climatológicamente complicadas. Asimismo, el daño que sufren las estructuras viales ocasiona perjuicios económicos, que conlleva mayores costos de mantenimiento.



De esta manera, la estabilización de taludes en zonas accidentadas surge como una necesidad al momento de la construcción de redes viales, siendo importante analizar sus características y propiedades, y más aún, buscar alternativas que conlleven a generar una mejor estabilidad a partir de los materiales utilizados para dicho fin.

La aplicación de materiales sintéticos tiene como finalidad primordial la disminución de fisuras en las estructuras construidas, pero, además la motivación de reutilización de productos plásticos que conlleven a la mitigación de la contaminación ambiental.

En este contexto, surge como necesidad realizar un estudio del uso de materiales reciclados (polipropileno) como aditivos para mejorar las propiedades físicas del shotcrete en la estabilización de taludes. Coincide [4], al mencionar que, “el estudio de métodos de estabilización de taludes con materiales no convencionales es muy importante en la Ingeniería Civil ya que con estos diseños se pueden investigar nuevos materiales o darle un adecuado uso a uno ya existente, asimismo; puede ser aplicado en zonas con bajos recursos económicos, lo cual se convierte en una solución muy importante dentro de una comunidad”.

La presente investigación experimental planteó la siguiente formulación de problema; ¿Cómo influye la incorporación de macrofibras y microfibras de polipropileno reciclado en la resistencia del shotcrete para estabilización de taludes en el tramo de la carretera Cutervo – Cochabamba?

De demostrarse la influencia positiva de las fibras de polipropileno en esta investigación, se justificaría económicamente su aplicación en comunidades o zonas con reducidos presupuestos públicos, dado el bajo costo del material reciclado. Con respecto a la justificación ambiental, la reutilización del material plástico se estaría contribuyendo con la sostenibilidad de la ciudad. Asimismo, con respecto a la justificación teórica se estaría motivando al estudio de nuevas alternativas que permitan disminuir el uso del plástico y/o a reutilizarlo de manera positiva en la sociedad.

Con la presente investigación se generaría mayor conocimiento acerca de la reutilización de la materia plástica en el campo de la ingeniería civil y ambiental. Asimismo, motivaría al estudio de mayores alternativas de reutilización y reciclaje.

De demostrarse que la aplicación de fibras de polipropileno como un agregado en el shotcrete para estabilización de taludes, influye de manera positiva en la estabilización de

taludes, conllevaría a que su aplicación disminuya los costos de mantenimiento de infraestructura vial.

Por otro lado, se estaría motivando en la ciudad de Cutervo el desarrollo de la actividad económica de reciclaje, influenciado por la demanda en proyectos de infraestructura, así como la aplicación de fibras de polipropileno reciclado como aditivo al concreto lanzado en estabilización de taludes en el tramo de la carretera Cutervo – Cochabamba.

La investigación experimental tiene como objetivo; analizar la resistencia del shotcrete adicionando microfibras y macrofibras de polipropileno, para la aplicación en estabilización de taludes en el tramo de la carretera Cutervo – Cochabamba, departamento de Cajamarca. Además, para ello se estableció objetivos específicos tales como: Clasificar las fibras de polipropileno reciclado en microfibras y macrofibras, teniendo en cuenta; sus diámetros, longitudes, características físicas y proporción a ser utilizada. Determinar el análisis granulométrico de los agregados a emplear en la mezcla de shotcrete y ensayos determinados a la muestra de suelo de talud. Diseñar la mezcla patrón de shotcrete, con una resistencia a la compresión de 280 Kg/cm<sup>2</sup>. Diseñar una mezcla del shotcrete con porcentajes distintos de microfibras (0,15 %) y macrofibras (0,5 %, 1 %, 1,5 %) de polipropileno. Comparar las propiedades mecánicas de resistencia de la mezcla patrón de shotcrete, y el diseño de mezcla de shotcrete incorporado con distintos porcentajes de microfibras y macrofibras de polipropileno mediante ensayos de resistencia a compresión, tracción, flexión y densidad. Determinar el porcentaje óptimo de fibras de polipropileno para su aplicación en estabilización de taludes en el tramo de la carretera Cutervo – Cochabamba, y su cumplimiento con la Norma CE. 020, MTC y la resistencia planteada. Determinar el factor de seguridad óptimo mediante el método Bishop para estabilización de taludes, utilizando el porcentaje óptimo de microfibras y macrofibras de polipropileno y muestra patrón, realizando ensayo de Corte Directo y análisis granulométricos.

## Base teórico – científico

### Polipropileno:

El polipropileno (PP), según [5], a partir de su lanzamiento comercial en 1957 por la firma Montecatini, no ha dejado de crecer en número de aplicaciones y consumo, representa el 90% de la producción de materiales plásticos, su implementación en la tecnología es gracias a su versatilidad y variedad de tipologías, ya que se trata del polímero termoplástico comercial con menor densidad (0,9 g/cm<sup>3</sup>), siendo 5% más liviano que el polietileno de alta densidad (HDPE), 14% más ligero que el poliestireno (PS), y 50% más que el politereftalato de etileno (PET); obtenido por la polimerización de propileno.

### Clasificación:

El polipropileno [5], se clasifica en tres grupos:

- ✓ **Polipropileno Atáctico (aPP):** Este polímero presenta una superficie amorfa, y una textura pegajosa y blanda, donde su campo de aplicación se emplea en modificación y ejecución de asfalto, impermeabilizadores, elementos adhesivos, entre otros.
- ✓ **Polipropileno Isotáctico (iPP):** Este polímero presentan una alta cristalinidad (70% – 80%), poseen una alta resistencia mecánica y alta tenacidad, resiliencia, rigidez y resistencia al impacto, se usa para la producción de rafia, papel de embalaje, celofán, y otros presentados en piezas de juguetes.
- ✓ **Polipropileno Sindiotáctico (sPP):** Este polímero en cambio tiene una baja cristalinidad, no presentan una buena rigidez, pero si una resistencia al impacto comparada con el isotáctico y además una mayor transparencia.

### Características y Propiedades:

El polipropileno presenta características y propiedades físicas y químicas como bien menciona [6], se presenta como un elemento sin olor, con estructuras diversas y variedad de apariencias físicas, su punto de ebullición se da a 320° F (160° C), su densidad es de 0,9 g/cm<sup>3</sup>, siendo la más baja en comparación con los demás polímeros comerciales, a pesar de tener una baja densidad; es el material más rígido en la mayoría de termoplásticos, con una carga de 25,5 Kg/cm<sup>2</sup>, tiene una resistencia a temperaturas de hasta 70° C, posee la capacidad de recuperación elástica, es decir; puede recuperar sus dimensiones originales luego de haber sido expuesto a

esfuerzos. Además, se afirma que posee naturaleza apolar; con una gran resistencia a agentes químicos que dificulta su interacción con ellos, presenta un bajo coeficiente de absorción de humedad de aproximadamente  $0,02 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$ , este material no es soluble en agua y presenta una buena resistencia a disolventes orgánicos como cloroformo, acetona y tetrahidrofurano.

En [7], realiza una comparación de las características de cada tipo de fibra, desde un punto de vista de la resistencia a tracción y flexión, además del módulo de elasticidad.

*tabla 1: Características de las fibras. Fuente [7]*

Tipo de fibra	Resistencia a tracción (MPa)	Densidad (kg/m3)	Módulo de elasticidad (GPa)	Alargamiento de rotura (%)
Acero	500-3000	7800	210	3,5
Acero inoxidable	2100	7860	160	3,0
Vidrio	2000	2700	60	3,6
Carbono	3000	1900	200-500	0,5
Nilón	900	1100	4	13,0-15,0
Polipropileno	400-800	900	5-25	8,0-20,0
Poliéster	700-900	1400	8,2	11,0-13,0
Hormigón	5-8	2300	30	3,5

### **Estabilización de taludes:**

#### **Definición de un Talud**

Según [1], el talud se define como cualquier área inclinada en relación con la horizontal que tienen que adoptar permanentemente las estructuras terrestres. No cabe duda, que al hablar de taludes es necesario el estudio de mecánica de suelos y mecánica de rocas, más aún cuando se buscan alternativas de solución que permitan mitigar los efectos negativos de las fallas y movimientos que se puedan presentar producto de su propia naturaleza.

#### **Estabilidad**

Para [1], la estabilidad se define como la seguridad que presenta las estructuras terrestres contra cualquier falla o movimiento que repercute de manera negativa en lo que se pretende proteger. Se debe conceptualizar los criterios de seguridad de los taludes, lo cual significa poder presagiar cuál va a ser la pendiente idónea en un corte o terraplén en un determinado momento; casi invariablemente, la más correcta va a ser la más pronunciada que dure la época primordial sin desplomarse.

## Fallas en Taludes

Las fallas que ocurren en taludes se muestran por medio de deslizamientos, los cuales según [1], son desplazamientos del suelo producidos por socavaciones en el pie de la estructura terrestre, o bien; por la dispersión progresiva de la estructura del suelo y el incremento de presiones intersticiales del mismo. Los tipos de falla en taludes son:

- ✓ **Deslizamientos Superficiales:** Son aquellos donde el movimiento de las masas de terreno no ocurre con un cambio violento, pero involucra áreas considerables y es más propenso al movimiento en la superficie. Dicho movimiento escapa de la vista humana ya que desliza la masa terrestre en longitudes pequeñas al año (centímetros).
- ✓ **Movimiento del Cuerpo de Talud:** Son aquellos donde su movimiento se manifiesta de manera violenta, ahora con masas considerables y profundas gracias a esfuerzos cortantes mayores, son comunes en suelos arenosos y sus fallas son debido a presiones altas localizadas en el estrato.
- ✓ **Flujos:** Son aquellos cuyos movimientos son rápidos y con desplazamientos semejante a material viscoso, es frecuente en suelos arcillosos y granulares finos, donde se puede observar la licuefacción del suelo, a través de avalanchas con consecuencias catastróficas. Generalmente esta falla se da de manera rotacional, ya que puede presentarse tanto en la superficie como en el pie del cuerpo del talud.

## **Hipótesis y variables**

### **Formulación de hipótesis**

La adición de microfibras y macrofibras de polipropileno reciclado mejora la propiedad mecánica de resistencia del shotcrete en la estabilización de taludes en el tramo de la carretera Cutervo – Cochabamba, en la Ciudad de Cutervo – Cajamarca.

### **Tipo y Nivel de Investigación**

#### **De acuerdo con el fin que se persigue:**

En el trabajo de investigación utilizamos microfibras y macrofibras de polipropileno reciclado en un esfuerzo por abordar los problemas medioambientales contribuyendo a una justificación medioambiental y metodológica. Esta investigación es aplicada porque crea nuevos conocimientos que son rentables para abordar una realidad desafiante.

#### **De acuerdo con los datos analizados:**

Se trata de un estudio cuantitativo, ya que la cuestión planteada puede resolverse mediante la recopilación y el análisis de los datos de las pruebas pertinentes que se crearán a lo largo del estudio, lo que permitirá confirmar o rechazar la hipótesis planteada.

### **Diseño de Investigación**

En este estudio se utilizará un diseño experimental para respaldar la hipótesis. Para aplicar el estudio indicado, se llevarán a cabo una serie de pruebas, como el análisis de los áridos y de las muestras de suelo del talud, los ensayos de rotura del hormigón, que miden la resistencia del hormigón proyectado utilizado en la estabilización de taludes. A partir de los resultados de la comparación de las mezclas, será posible confirmar o refutar la hipótesis planteada.

## Variables – Operacionalización

	<b>VARIABLE</b>	<b>DIMENSIÓN</b>	<b>INDICADORES</b>
<b>INDEPENDIENTE</b>	<b>POLIPROPILENO</b>	PROPIEDADES DEL POLIPROPILENO	Longitud
			Diámetro
			Peso Específico
			Tracción
<b>DEPENDIENTE</b>	<b>SHOTCRETE PARA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES</b>	PROPIEDAD MECÁNICA DE RESISTENCIA DEL SHOTCRETE	Resistencia a la Compresión
			Resistencia a la Tracción
			Resistencia a la Flexión
		CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SHOTCRETE	Densidad de Shotcrete
			Segregación de Shotcrete
			Peso Unitario
	<b>MUESTRA DE SUELO DE TALUD</b>	FACTOR DE SEGURIDAD	Análisis de Muestra a través de Ensayos normalizados
			Software GEO5, análisis por método Bishop

tabla 2: Variables de Estudio

## **Materiales y métodos**

### **Tipo de estudio y diseño de contrastación de hipótesis**

Este proyecto de investigación tuvo un diseño de tipo experimental, ya que se manipuló la variable independiente mediante ensayos de laboratorio, con la finalidad de evaluar el comportamiento del shotcrete incorporándole fibras de polipropileno en diferentes porcentajes para la aplicación en estabilización de taludes en la Ciudad de Cutervo – Cajamarca.

### **Población, muestra de estudio y muestreo**

#### **Unidad de Estudio:**

La unidad de estudio fue la probeta de shotcrete con la incorporación de fibras de polipropileno en diferentes porcentajes, aplicado en estabilización de taludes.

#### **Población:**

La población estuvo conformada por los 30 Km + 400 de carretera entre las ciudades de Cutervo – Cochabamba.

#### **Muestra:**

Para la presente investigación la muestra fue el tramo 16 Km + 780, de la carretera Cutervo – Cochabamba. En esta muestra se evidenció constantes derrumbes y deslizamientos, lo cual conllevó a concluir que es una zona representativa para el presente estudio.

Esto se realizó a partir de numerosos casos de interrupciones y restricciones en este tramo debido a derrumbes en dicho trayecto de carretera, tal es el caso como evidencia el Centro de Operaciones de Emergencia Regional (COER), el cual informó que, debido a los continuos deslizamientos, numerosos puntos de circulación en la zona de Cajamarca se han visto limitados como consecuencia de las lluvias, entre ellas, el tramo ya mencionado [8].



**Muestreo:**

El procedimiento de muestreo usado fue el probabilístico aleatorio simple. Para efectos de la presente investigación se realizó ensayos de 144 probetas de shotcrete las cuales poseían la misma probabilidad de ser seleccionada.

<b>ESPECÍMENES DE ENSAYO PARA RESISTENCIA A COMPRESIÓN</b>				
<b>EDAD</b>	<b>PORCENTAJE EXPERIMENTAL</b>			
	<b>Muestrario</b>	<b>Muestrario con Porcentajes de Polipropileno</b>		
	<b>0 %</b>	<b>0,5% (Macro) 0,15% (Micro)</b>	<b>1,0 % (Macro) 0,15% (Micro)</b>	<b>1,5% (Macro) 0,15% (Micro)</b>
<b>3 días</b>	3 probetas	3 probetas	3 probetas	3 probetas
<b>7 días</b>	3 probetas	3 probetas	3 probetas	3 probetas
<b>21 días</b>	3 probetas	3 probetas	3 probetas	3 probetas
<b>28 días</b>	3 probetas	3 probetas	3 probetas	3 probetas
<b>Probetas</b>	<b>12 probetas</b>	<b>12 probetas</b>	<b>12 probetas</b>	<b>12 probetas</b>
<b>Total, de Probetas</b>	<b>48 probetas</b>			

tabla 3: Muestras de Ensayo para Resistencia a Compresión

<b>ESPECÍMENES DE ENSAYO PARA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN</b>				
<b>EDAD</b>	<b>PORCENTAJE EXPERIMENTAL</b>			
	<b>Muestrario</b>	<b>Muestrario con Porcentajes de Polipropileno</b>		
	<b>0 %</b>	<b>0,5% (Macro) 0,15% (Micro)</b>	<b>1,0 % (Macro) 0,15% (Micro)</b>	<b>1,5% (Macro) 0,15% (Micro)</b>
<b>3 días</b>	3 probetas	3 probetas	3 probetas	3 probetas
<b>7 días</b>	3 probetas	3 probetas	3 probetas	3 probetas
<b>21 días</b>	3 probetas	3 probetas	3 probetas	3 probetas
<b>28 días</b>	3 probetas	3 probetas	3 probetas	3 probetas
<b>Probetas</b>	<b>12 probetas</b>	<b>12 probetas</b>	<b>12 probetas</b>	<b>12 probetas</b>
<b>Total, de Probetas</b>	<b>48 probetas</b>			

tabla 4: Muestras de Ensayo para Resistencia a Tracción

<b>ESPECÍMENES DE ENSAYO PARA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN</b>				
<b>EDAD</b>	<b>PORCENTAJE EXPERIMENTAL</b>			
	<b>Muestrario</b>	<b>Muestrario con Porcentajes de Polipropileno</b>		
	<b>0 %</b>	<b>0,5% (Macro) 0,15% (Micro)</b>	<b>1,0 % (Macro) 0,15% (Micro)</b>	<b>1,5% (Macro) 0,15% (Micro)</b>
<b>3 días</b>	3 probetas	3 probetas	3 probetas	3 probetas
<b>7 días</b>	3 probetas	3 probetas	3 probetas	3 probetas
<b>21 días</b>	3 probetas	3 probetas	3 probetas	3 probetas
<b>28 días</b>	3 probetas	3 probetas	3 probetas	3 probetas
<b>Probetas</b>	<b>12 probetas</b>	<b>12 probetas</b>	<b>12 probetas</b>	<b>12 probetas</b>
<b>Total, de Probetas</b>	<b>48 probetas</b>			

tabla 5: Muestras de Ensayo para Resistencia a Flexión

<b>ESPECÍMENES DE ENSAYO DE CORTE DIRECTO A MUESTRA DE SUELO DE TALUD</b>		
<b>Suelo</b>	<b>CANTIDAD POR CADA PROBETA DE ENSAYO</b>	
	<b>Muestra de Suelo de Talud (gr)</b>	<b>Muestrario con Porcentajes de Polipropileno</b>
	<b>Cantidad</b>	<b>0 % (Macro) 0 % (Micro)</b>
<b>En Estado Natural</b>	3000 gr	3 probetas
<b>Total</b>	<b>3000 gr</b>	<b>3 probetas</b>
<b>Total, de Probetas</b>	<b>3 probetas</b>	

tabla 6: Muestras de ensayo de Corte Directo a Muestra de Suelo de Talud.

## **Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **Técnica:**

#### **Investigación:**

A través de la recolección de información obtenido, tales como resultados de ensayos, se pudo ejecutar y realizar nuestro tema de investigación.

#### **Experimental:**

Hemos podido confirmar o rechazar nuestra hipótesis ajustando las variables de investigación para las distintas pruebas, al realizar la manipulación de estas mediante los distintos ensayos planteados.

### **Fuentes:**

- ❖ American Concrete Institute (ACI).
- ❖ Ministerio de Transportes y Comunicaciones – MTC (Manual de Ensayos de Materiales).
- ❖ American Society for Testing and Materials (ASTM).
- ❖ NORMA CE.020 (Estabilización de Taludes).
- ❖ Norma Técnica Peruana (NTP).

### **Instrumentos de recolección de datos:**

Softwares de sistematización, tales como:

- ❖ Microsoft Office Word.
- ❖ Microsoft Office Excel.
- ❖ GEO5 y Google Earth Pro.

### **Procedimientos:**

La presente investigación experimental se llevó a cabo mediante los siguientes pasos generales:

1. Se obtuvieron los materiales necesarios para el óptimo desarrollo de la investigación, en la cual las microfibras y macrofibras de polipropileno fueron extraídas de la empresa "Recicladora C&M. E.I.R.L", cuyos parámetros necesarios fueron los diámetros y longitudes de cada una de ellas. El agregado fino y grueso se extrajo de la cantera Yangachis ubicada en el distrito de Succha, provincia de Cutervo, departamento de Cajamarca, y se escogió cemento Tipo I. La muestra de suelo se extrajo del lado derecho del talud en el Km 16+780 del tramo carretero Cutervo - Cochabamba.

2. Se realizaron pruebas con el agregado fino, el agregado grueso y la muestra de suelo del talud, bajo parámetros estandarizados.

3. El diseño de la mezcla se realizó bajo los parámetros de la ACI, cumpliendo con el desarrollo óptimo de esta y estableciendo a su vez los tres experimentos de prueba, donde se adicionó 0.15% Microfibras + 0.5% Macrofibras como Experimento N° 01, 0.15% Microfibras + 1.0% Macrofibras como Experimento N° 02 y 0.15% Microfibras + 1.5% Macrofibras como Experimento N° 03.

4. A continuación, se realizaron ensayos en estado fresco de cada uno de los concretos experimentales y estándar, como ensayos de asentamiento, temperatura y densidad. A continuación, se sometieron a ensayos de compresión, tracción indirecta y flexión en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios de la luz. Posteriormente, se determinaron los valores óptimos de las propiedades mecánicas en estado endurecido del concreto lanzado.

5. Utilizando el programa GEO-5 con los valores óptimos de los ensayos, se verificó la mejora del factor de seguridad mediante un cálculo matemático Bishop.

### **Materiales:**

Para la obtención del material a ser investigado (polipropileno reciclado), ha sido conveniente contactar con la empresa "Recicladora C&M. E.I.R.L", la cual proporcionó las microfibras y macrofibras de polipropileno reciclado, para el óptimo desarrollo y ejecución del proyecto de investigación experimental.

### Microfibras y macrofibras de polipropileno reciclado:

Según [9], las microfibras de polipropileno están destinadas a evitar la fisuración y el agrietamiento del concreto debido a la retracción plástica; en estado fresco, su dosificación en el concreto es para volúmenes comprendidos entre el 0,027% y el 0,150% del concreto. El diámetro de estas fibras de polipropileno oscila entre 0,022 mm y 0,045 mm.

Las macrofibras de polipropileno se encargan de reducir la fisuración del concreto en estado endurecido, además de reducir el tamaño de la fisura si está presente, lo que conduce a un trabajo adecuado de la estructura fisurada. Sus dosificaciones oscilan entre el 0,2% y el 1,8% del volumen de concreto. Sus diámetros varían entre 0,05 mm y 2,00 mm. Su relación (L/d) varía entre 20 y 100. Se incorporan al concreto para aumentar su tenacidad, es decir, para que las estructuras, incluso después de la fisuración de la matriz, puedan seguir sometidas a cargas y esfuerzos.

### Agregado fino:

El agregado fino fue ensayado bajo normas técnicas peruanas, donde se obtuvieron resultados como módulo de finura, de ensayos granulométricos, peso específico, contenido de humedad, porcentaje de absorción, peso unitario seco suelto, peso unitario compactado.

### Agregado grueso

En el caso del agregado grueso, también se realizaron ensayos para obtener resultados como Módulo de Finura, Peso Específico (gr/cm<sup>3</sup>), Contenido de Humedad (%), Porcentaje de Absorción (%), Peso Unitario Suelto (Kg/m<sup>3</sup>) y Peso Unitario Compactado (Kg/m<sup>3</sup>), todos ellos realizados en cumplimiento de la normativa peruana para garantizar su óptima utilización en la investigación.

### Muestra de suelo en estudio

La muestra de suelo de talud fue extraída del talud lateral derecho ubicado en el kilómetro 16 + 780 de la carretera Cutervo - Cochabamba, Cutervo, Cajamarca. El método de extracción fue mediante una excavación lateral a tajo abierto de un metro de profundidad. Los ensayos realizados en ésta determinaron la clasificación del tipo de suelo del talud en estudio, a partir del cálculo del límite líquido de 40% (Grado de Expansión con hinchamiento medio), el límite plástico de 29% (Potencial de hinchamiento medio) y un índice de plasticidad de 11%, y se clasificó según el SUCS, como CL u OL, es decir; arcillas limosas de baja plasticidad.

## Resultados y Discusión:

### Ensayo de materiales

#### Ensayo de agregados para diseño de mezcla

tabla 7: Comparación de Resultados del Agregado Fino y grueso. Fuente: Propia

ENSAYO DE MATERIALES	Laboratorio	Laboratorio
	Quintos	Quintos
	Agregado	Agregado
	FINO	GRUESO
Módulo de Fineza	3.00	6.08
Peso Específico (gr/cm <sup>3</sup> )	2.53	2.64
Contenido de Humedad (%)	6.84	1.77
Porcentaje de Absorción (%)	1.46	0.43
Peso Unitario Suelto (Kg/m <sup>3</sup> )	1622	1376
Peso Unitario Compactado (Kg/m <sup>3</sup> )	1843	1512

En el caso del agregado fino, se obtuvo un módulo de finura de 3,00. También se descubrió que el valor del módulo de finura está dentro del rango sugerido por la NTP 400.037. En cuanto al peso específico, se obtuvieron 2,53 gr/cm<sup>3</sup>, y así sucesivamente.

En el caso del agregado grueso, se obtuvo un peso específico de 2,64 gr/cm<sup>3</sup>; asimismo, se obtuvo un valor de 1512 kg/m<sup>3</sup> para el peso unitario compactado en seco.

#### Análisis De Diseño De Mezcla

Para la ejecución del diseño de mezcla, se debe de tener en cuenta la trabajabilidad del concreto, para lo cual se realizó el ensayo de slump, cuyo diseño fue para 7" tal como lo recomienda la ASTM C-94.

Cabe recalcar que para cada ensayo experimental con incorporaciones de microfibras y macrofibras de polipropileno, se realizó un ensayo, donde se obtuvieron los siguientes resultados de asentamiento:

tabla 8: Muestras de variación de Asentamiento por cada tipo de ensayo experimental. Fuente: Propia

<b>Ensayo de Asentamiento de Concreto <math>f'c=280 \text{ kg/cm}^2</math> – Muestras de variación de Asentamiento por cada tipo de ensayo experimental.</b>			
<b>Ensayo</b>	<b>Diseño Inicial</b>	<b>% de Resistencia estimada según la cantidad de Días</b>	<b>Límite (% <math>f'c=280 \text{ kg/cm}^2</math>)</b>
Patrón	$7 \pm 1 \frac{1}{2}$ "	6.85"	2.14%
0,15% Microfibras + 0,5% Macrofibras	$7 \pm 1 \frac{1}{2}$ "	6.70"	4.28%
0,15% Microfibras + 1,0% Macrofibras	$7 \pm 1 \frac{1}{2}$ "	6.40"	8.57%
0,15% Microfibras + 1,5% Macrofibras	$7 \pm 1 \frac{1}{2}$ "	5.80"	17.14%

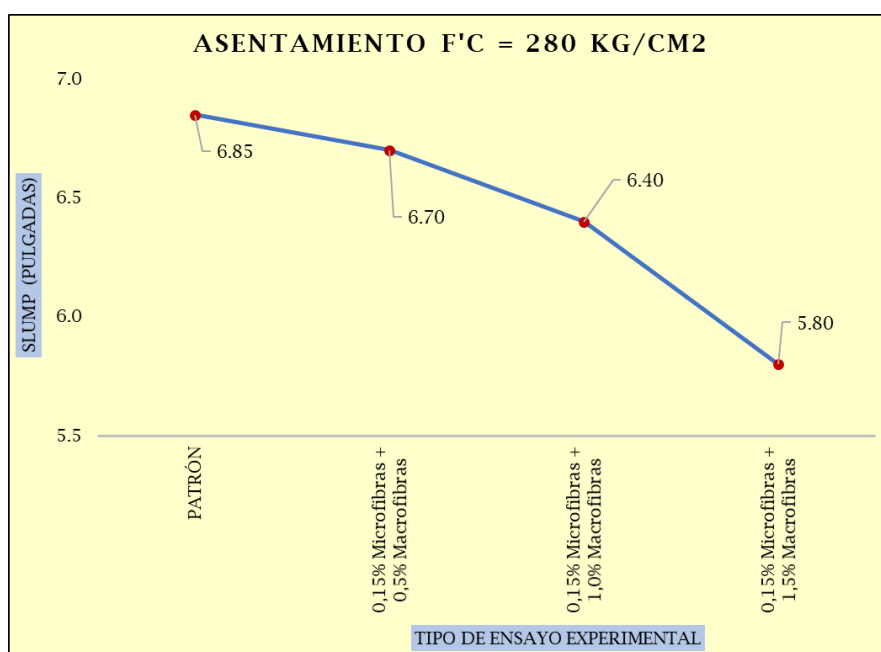


gráfico 1: Muestras de variación de Asentamiento por cada tipo de ensayo experimental. Fuente: Propia

Se utilizó la norma NTP 339.035 para realizar el ensayo de asentamiento del hormigón fresco. El hormigón convencional (hormigón desprovisto de fibras de polipropileno recicladas) se sometió a un primer ensayo de asentamiento, y los resultados revelaron un asentamiento medio de 6,85". Adicional a eso, se realizaron ensayos de asentamiento en las pruebas experimentales, encontrándose los siguientes resultados a discutir:

- Experimento 01 (adición de 0,15% de microfibras + 0,5% de macrofibras) mostró un asentamiento medio de 6,70".

- Experimento 02 (adición de 0,15% de microfibras + 1,0% de macrofibras), que mostró un asentamiento de 6,40".
- Experimento 03 (0,15% de microfibras + 1,5% de macrofibras), que mostró un asentamiento medio de 5,80".

Bajo los resultados citados anteriormente, podemos identificar parámetros de limitación de adición de fibras de polipropileno reciclado, dado que, del ensayo tratado en este punto, observamos que, a mayor incorporación de fibras recicladas, el patrón se vuelve menos trabajable.

No obstante, se recalca que el asentamiento para el concreto patrón y para todos los experimentos cumplieron con el slump de diseño inicial, considerándose este favorable para el desarrollo de la presente investigación, dado el cumplimiento de la variabilidad máxima de  $7 \pm 1 \frac{1}{2}$ " Según ASTM C-94.

## Análisis de los ensayos de concreto en estado endurecido

### Ensayo de testigos cilíndricos de concreto (ensayo de compresión):

De los procedimientos aplicados en la presente investigación, se obtuvieron los siguientes resultados a discutir:

tabla 9: Resultados finales de resistencia a la compresión para los diferentes tipos de adición. Fuente: Propia

Días	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )							
	3		7		21		28	
Adición Experimental	Resist.	% respecto a diseño ( $f'c=280$ kg/cm <sup>2</sup> )	Resist.	% respecto a diseño ( $f'c=280$ kg/cm <sup>2</sup> )	Resist.	% respecto a diseño ( $f'c=280$ kg/cm <sup>2</sup> )	Resist.	% respecto a diseño ( $f'c=280$ kg/cm <sup>2</sup> )
Muestra Patrón	121.2	-	203.47	-	240.76	-	293.36	-
Adición 0,15% Microfibras + 0,5% Macrofibras	129.44	46.23%	213.47	76.24%	254.36	90.84%	310.17	110.78%
Adición 0,15% Microfibras + 1,0% Macrofibras	143.86	51.38%	240.94	86.05%	283.99	101.42%	347.52	124.11%
Adición 0,15% Microfibras + 1,5% Macrofibras	134.95	48.20%	226.88	81.03%	267.08	95.38%	326.29	116.53%



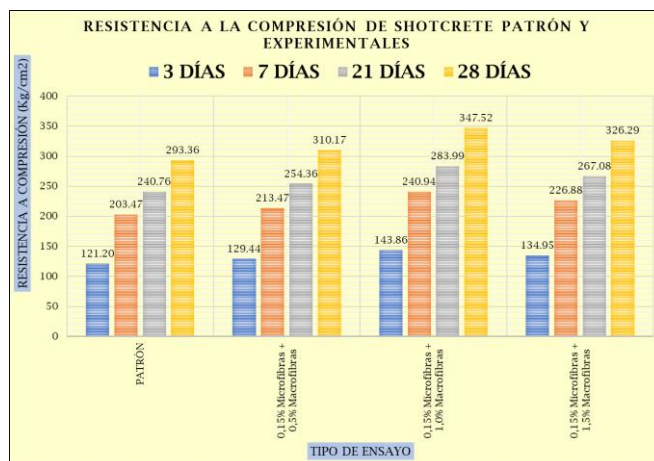


gráfico 2: Resultados finales de resistencia a la compresión para los diferentes tipos de adición. Fuente: Propia

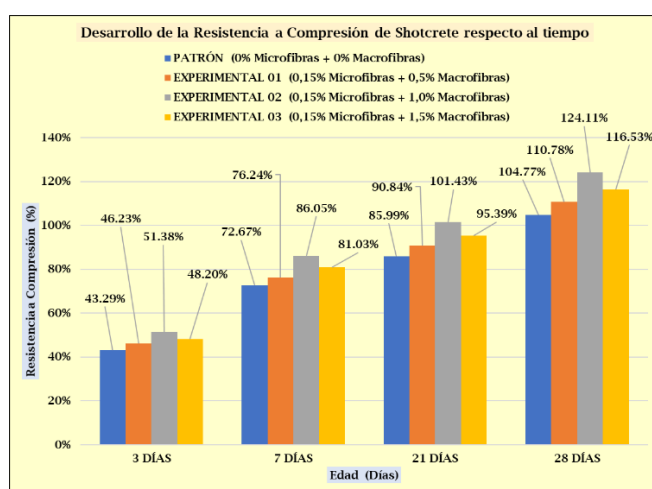


figura 1: Desarrollo de la Resistencia a Compresión de Shotcrete respecto al tiempo

De los experimentos realizados, se pudieron determinar los siguientes resultados a discutir respecto a la resistencia a la compresión:

- Experimental 01 - Adición 0,15% Microfibras + 0,5% Macrofibras de polipropileno reciclado; que produjo 213.47 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a 7 días de curado y 310.17 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de curado, valores más altos a los encontrados en el concreto patrón donde se obtuvo 203.47 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días y 293.36 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días.
- Experimental 02 - Adición 0,15% Microfibras + 1,0% Macrofibras de polipropileno reciclado; que produjo 240.94 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a 7 días de curado y 347.52 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de curado, valores más altos a los encontrados en el concreto patrón donde se obtuvo 203.47 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días y 293.36 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días.

- Experimental 03 - Adición 0,15% Microfibras + 1,5% Macrofibras de polipropileno reciclado, que produjo 226.88 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a 7 días de curado y 326.29 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de curado, valores más altos a los encontrados en el concreto patrón donde se obtuvo 203.47 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días y 293.36 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días.

Se evidencia que tanto en el experimento 1, 2 y 3, se aumentó considerablemente la resistencia a compresión, tomando como referencia la muestra patrón, tanto es así que, a los 28 días de curado se obtuvo un aumento del 6%, 19% y 11% respectivamente.

Es evidente que a mayor adición de microfibras y macrofibras de polipropileno reciclado, la resistencia a la compresión aumenta, sin embargo es importante mencionar, que de los resultados de los experimentos en la presente investigación se determinó una limitada influencia positiva de las fibras de polipropileno reciclado, en la mejora de la resistencia a la compresión, dado que; en el experimento 2 con la adición de 0,15% Microfibras + 1,0% Macrofibras (347,52 Kg/cm<sup>2</sup>, a los 28 días de curado) se obtuvo la mayor resistencia, no obstante al adicionar un 1.5% de macrofibras de polipropileno reciclado (experimento 3), se evidenció una reducción de la resistencia a la compresión esto debido a la mayor influencia de las fibras recicladas lo cual hace que el espécimen reduzca su consistencia.

### Ensayo de testigos cilíndricos de concreto (ensayo de tracción indirecta):

tabla 10: Resultados finales de resistencia a la tracción para los diferentes tipos de adición. Fuente: Propia

Días	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )							
	3		7		21		28	
Adición Experimental	Resist.	% respecto a diseño (f'c= 280 kg/cm <sup>2</sup> )	Resist.	% respecto a diseño (f'c= 280 kg/cm <sup>2</sup> )	Resist.	% respecto a diseño (f'c= 280 kg/cm <sup>2</sup> )	Resist.	% respecto a diseño (f'c= 280 kg/cm <sup>2</sup> )
Muestra Patrón	10.14	-	21.13	-	35.61	-	42.61	-
Adición 0,15% Microfibras + 0,5% Macrofibras	10.84	8.38%	22.49	10.53%	37.96	14.92%	45.41	14.64%
Adición 0,15% Microfibras + 1,0% Macrofibras	12.13	8.43%	25.29	10.50%	42.71	15.04%	51.08	14.70%
Adición 0,15% Microfibras + 1,5% Macrofibras	11.3	8.37%	23.59	10.40%	39.73	14.88%	47.43	14.54%

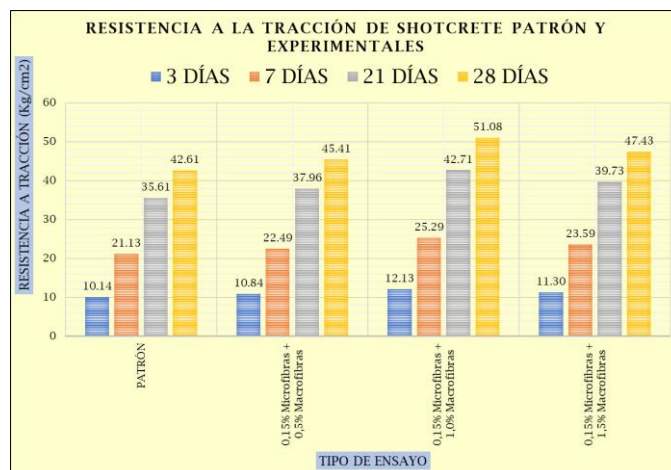


gráfico 3: Resultados finales de resistencia a la tracción para los diferentes tipos de adición. Fuente: Propia

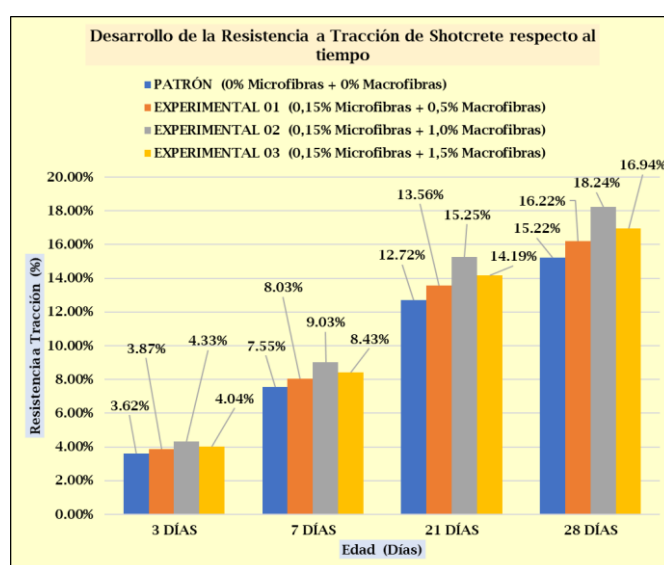


figura 2: Desarrollo de la Resistencia a Tracción de Shotcrete respecto al tiempo

De los experimentos realizados, se pudieron determinar los siguientes resultados a discutir respecto a la resistencia a la tracción indirecta:

- Experimental 01 - Adición 0,15% Microfibras + 0,5% Macrofibras de polipropileno reciclado; que produjo 22.49 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a 7 días de curado y 45.41 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de curado, valores más altos a los encontrados en el concreto patrón donde se obtuvo 21.13 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días y 42.61 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días.
- Experimental 02 - Adición 0,15% Microfibras + 1,0% Macrofibras de polipropileno reciclado; que produjo 25.29 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a 7 días de curado y 51.08 kg/cm<sup>2</sup>

a los 28 días de curado, valores más altos a los encontrados en el concreto patrón donde se obtuvo 21.13 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días y 42.61 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días.

Experimental 03 - Adición 0,15% Microfibras + 1,5% Macrofibras de polipropileno reciclado, que produjo 23.59 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a 7 días de curado y 47.43 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de curado, valores más altos a los encontrados en el concreto patrón donde se obtuvo 21.13 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días y 42.61 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días.

Se evidencia que tanto en el experimento 1, 2 y 3, se aumentó considerablemente la resistencia a tracción indirecta, tomando como referencia la muestra patrón, tanto es así que, a los 28 días de curado se obtuvo un aumento del 7%, 19% y 11% respectivamente.

Adicional a lo antes mencionado, del análisis a los resultados experimentales de esta investigación se determinó también que el máximo porcentaje de adición de macrofibras de polipropileno reciclado debe de ser 1%, dado que, al aumentar el porcentaje del material reciclado, la resistencia a la tracción indirecta sufre un declive respecto al experimento 2, dado a la pérdida de consistencia.

### **Ensayo de vigas prismáticas de concreto (ensayo de flexión a vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo):**

tabla 11: Resultados finales de resistencia a la flexión para los diferentes tipos de adición. Fuente: Propia

Días	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )							
	3		7		21		28	
Adición Experimental	Resist.	% respecto a diseño (f'c= 280 kg/cm <sup>2</sup> )	Resist.	% respecto a diseño (f'c= 280 kg/cm <sup>2</sup> )	Resist.	% respecto a diseño (f'c= 280 kg/cm <sup>2</sup> )	Resist.	% respecto a diseño (f'c= 280 kg/cm <sup>2</sup> )
Muestra Patrón	19.11	-	30.35	-	36.58	-	43.43	-
Adición 0,15% Microfibras + 0,5% Macrofibras	20.76	16.04%	33.04	15.48%	39.66	15.59%	47.05	15.17%
Adición 0,15% Microfibras + 1,0% Macrofibras	24.81	17.25%	39.36	16.34%	47.5	16.73%	56.43	16.24%
Adición 0,15% Microfibras + 1,5% Macrofibras	22.25	16.48%	35.38	15.59%	42.53	15.92%	50.52	15.48%

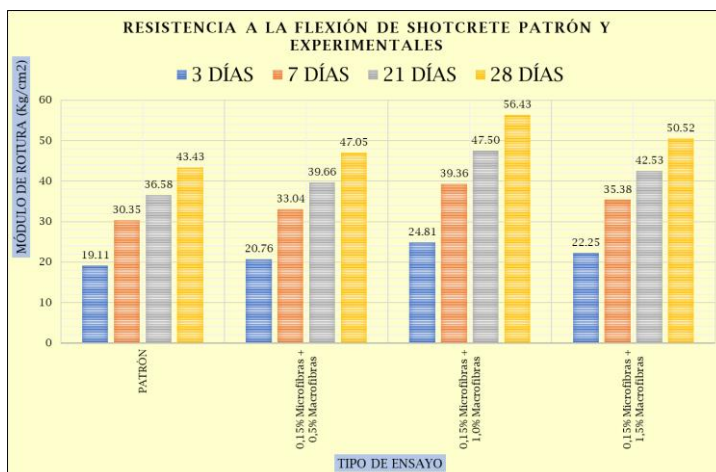


gráfico 4: Resultados finales de resistencia a la flexión para los diferentes tipos de adición. Fuente: Propia

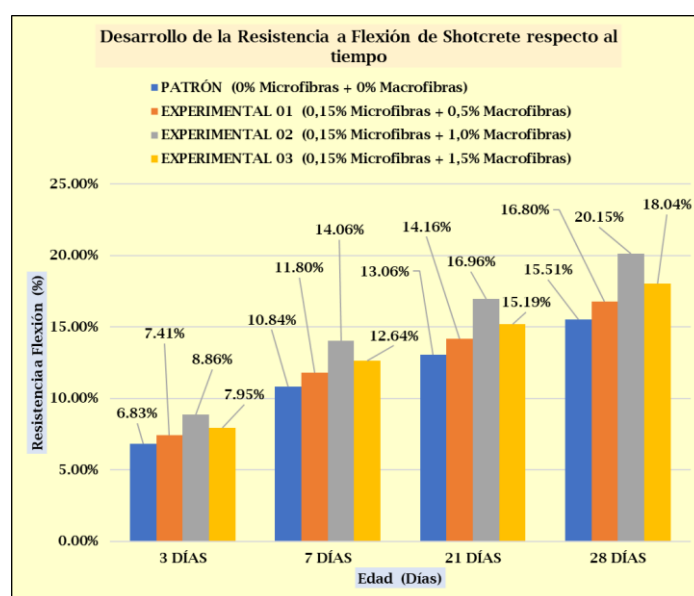


figura 3: Desarrollo de la Resistencia a Flexión de Shotcrete respecto al tiempo

De los experimentos realizados, se pudieron determinar los siguientes resultados a discutir respecto a la resistencia a la flexión:

- Experimental 01 - Adición 0,15% Microfibras + 0,5% Macrofibras de polipropileno reciclado; que produjo 33.04 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a flexión a 7 días de curado y 47.05 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de curado, valores más altos a los encontrados en el concreto patrón donde se obtuvo 30.35 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días y 43.43 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días.
- Experimental 02 - Adición 0,15% Microfibras + 1,0% Macrofibras de polipropileno reciclado; que produjo 39.36 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a 7 días de curado y 56.43 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de curado, valores más altos a los encontrados en el concreto patrón donde se obtuvo 35.38 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días y 43.43 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días.

Experimental 03 - Adición 0,15% Microfibras + 1,5% Macrofibras de polipropileno reciclado, que produjo 35.38 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a 7 días de curado y 50.52 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de curado, valores más altos a los encontrados en el concreto patrón donde se obtuvo 30.35 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días y 43.43 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días.

Se evidencia que tanto en el experimento 1, 2 y 3, se aumentó considerablemente la resistencia a flexión, tomando como referencia la muestra patrón, tanto es así que, a los 28 días de curado se obtuvo un aumento del 8.5%, 30% y 16.5% respectivamente.

Como se puede mostrar de los resultados, la conexión o incorporación creada por las fibras de polipropileno reciclado en el shotcrete da lugar a una mejora de la propiedad de resistencia a la flexión, siendo el porcentaje óptimo de adición el de 0.15% de microfibras y 1.00% de macrofibras de polipropileno reciclado, dado que en la aplicación en la estabilización de talud permitirá una reducción significativa en las grietas y rajaduras. Es inminente la mejora que produce la adición de fibras de polipropileno en el shotcrete para estabilización de taludes, y más aún cuando se trata de la propiedad mecánica de la flexión; dado que las fibras de polipropileno reciclado al ser considerados plásticos, aumenta la flexibilidad del espécimen al aplicar la carga de rotura, deficiencia que no se ha logrado superar en la muestra de estudio planteada.

### **Análisis de los ensayos de muestra de suelo de talud**

#### **Ensayo de muestra de suelo de talud del km 16 + 780, Cutervo – Cochabamba**

El suelo se extrajo del talud lateral derecho ubicado a la altura del kilómetro 16 + 780, de la carretera Cutervo – Cochabamba, Cutervo, Cajamarca. El método de extracción fue mediante una excavación lateral a cielo abierto de un metro de profundidad.

Los resultados obtenidos, luego de los ensayos sometidos a la muestra de suelo del talud del kilómetro mencionado; arrojaron un porcentaje de grava del 0.30%, de arena del 4.90% y de finos del 94.90%.

Además de ello, se determinó la clasificación del tipo de suelo del talud en estudio, partiendo por el cálculo del límite líquido del 40% (Grado de Expansión con un hinchamiento medio), del límite plástico de un 29% (Potencial de hinchamiento medio) y

un índice de plasticidad del 11%, y se clasificó según SUCS, como CL u OL, es decir; arcillas limosas de baja plasticidad.

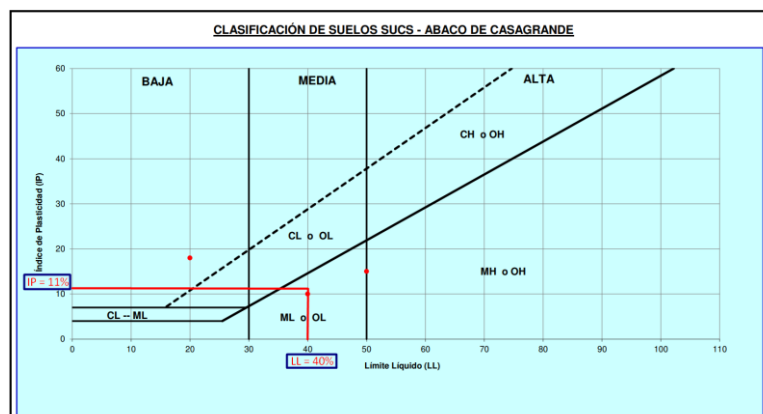


figura 4: Clasificación SUCS del suelo (Ábaco de Casagrande). Fuente: Propia

tabla 12: Resumen Caracterización Geotécnica del Suelo de Talud. Fuente: Propia

PARÁMETRO	VALOR
Densidad ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	1.916 $\text{gr}/\text{cm}^3$
Contenido de Humedad (%)	44.48%
Límite Líquido (%)	40%
Límite Plástico (%)	29%
Sales Solubles en Peso Seco (%)	0.18%
Índice de Plasticidad (%)	11%
Contenido de Arenas (%)	4.90%
Contenido de Finos (%)	94.90%
Contenido de Gravas (%)	0.30%
Clasificación AASHTO	A-6 (8)
Clasificación SUCS	OL

Se determinó la relación humedad – densidad seca, es decir el ensayo Proctor Estándar bajo la normativa AASHTO T-180, MTC E-116, dando como resultado una densidad máxima seca (MDS) de  $1.47\text{gr}/\text{cm}^3$ , con una humedad óptima ( $\omega\%$ ); del 18.60%.

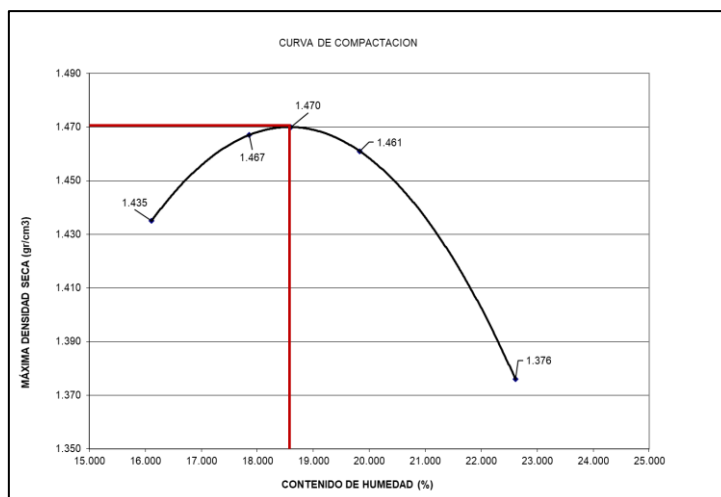


figura 5: Curva de compactación del suelo. Fuente: Propia

Con más del 90% de finos y menos del 1% de gravas, el material es de naturaleza cohesiva, lo que da lugar a un alto valor de densidad máxima en seco. Es decir, cuando se añade la cantidad adecuada de agua a las partículas del suelo durante la compactación, el resultado es una buena adherencia interna y una baja permeabilidad. Debido a la necesidad de mantener o aumentar la densidad seca máxima, es crucial regular los parámetros de compactación. Si se disminuye cualquiera de estos parámetros, la conductividad hidráulica del material y el riesgo de infiltración aumentarían, comprometiendo aún más la estabilidad del talud con el suelo estudiado.

Es por ello, que también se ejecutó el ensayo de corte directo al suelo del talud, teniendo como esfuerzo de corte para los 3 especímenes; 0.486 kg/cm<sup>2</sup>, 0.592 kg/cm<sup>2</sup>, 0.699 kg/cm<sup>2</sup>. Un esfuerzo normal de 0.50 kg/cm<sup>2</sup>, 1.00 kg/cm<sup>2</sup>, 1.50 kg/cm<sup>2</sup>. Y una capacidad admisible de 0.82 kg/cm<sup>2</sup> a una profundidad de 1.00 m, 0.85 kg/cm<sup>2</sup> a una profundidad de 1.20 m, 0.89 kg/cm<sup>2</sup> a una profundidad de 1.50 m y 0.97 kg/cm<sup>2</sup> a una profundidad de 2.00 m. Dando como resultados una cohesión de 0.38 kg/cm<sup>2</sup>, y un ángulo de fricción interna de 12.0°, podemos determinar que estamos frente a un suelo cohesivo arcilloso con un grado de expansión medio.



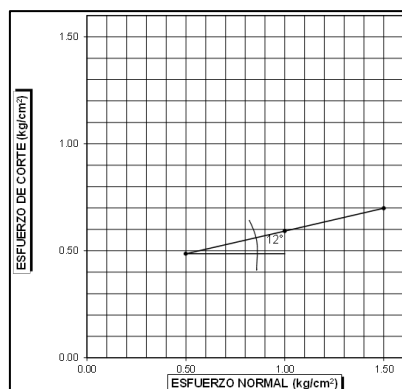


figura 6: Resultado de Ensayo de Corte Directo de Suelo de Talud. Fuente: Propia

Pues bien, es preciso mencionar que este tipo de suelos (arcilloso) tienen un alto grado de adherencia al concreto adicionado de fibras de polipropileno, tal es el caso de la investigación realizada por Li en el 2005, citado por [10], en el que demostró que es posible la adherencia de un concreto con fibras de polipropileno y un suelo clasificado como arcilloso.

Asimismo, la investigación de [10], concluye que, las fibras, al mejorar la interacción entre partículas por su rugosidad influye positivamente en la cohesión que es un parámetro de la resistencia al corte y a su vez está directamente relacionada con la capacidad portante. Es en ese sentido, que [11] manifiesta en su investigación que la técnica de estabilización con fibra de polipropileno es un método muy útil para la mejora del suelo, ya que puede ser utilizado muy fácilmente como otro método de estabilización en muchos campos de la ingeniería geotécnica.

## Análisis de resultados por aplicación del software “Geo5” (estabilización de taludes)

### Aplicación del método Bishop para cálculo de FS de talud en el km 16 + 780 de la carretera Cutervo – Cochabamba, empleando el software geo5:

#### Modelado de talud en estado natural:

##### Verificación de la estabilidad de la pendiente (Bishop)

Suma de fuerzas activas :  $F_a = 1847.82$  kN/m

Suma de fuerzas pasivas :  $F_p = 1585.07$  kN/m

Momento deslizante :  $M_a = 40781.29$  kNm/m

Momento de resistencia :  $M_p = 34982.43$  kNm/m

Factor de seguridad =  $0,86 < 1,00$

**Estabilidad de la pendiente NO ACEPTABLE**

**Optimización de la superficie de deslizamiento circular (Bishop)**

#### Modelado con refuerzo de shotcrete microfibras (0,15%) + macrofibras (1,0%):

##### Verificación de la estabilidad de la pendiente (Bishop)

Suma de fuerzas activas:  $F_a = 2411.49$  kN/m

Suma de fuerzas pasivas:  $F_p = 2467.64$  kN/m

Momento de deslizamiento:  $M_a = 62168.31$  kNm/m

Momento de resistencia:  $M_p = 63615.68$  kNm/m

Factor de seguridad =  $1,21 > 1,00$

**Estabilidad de taludes ACEPTABLE**

**Optimización de la superficie de deslizamiento circular (Bishop)**

Luego de obtener los resultados del modelado en software, nos arrojó los resultados, mediante el método Bishop, que la estabilidad de talud en el Km 16 + 780 de la carretera Cutervo – Cochabamba en un estado natural es de  $FS = 0.86$ , lo cual; expresa que la relación entre las fuerzas resistentes del terreno y las inestabilizadoras, dio un valor menor de 1 indicando así, condiciones inestables de este.

Pues bien, como la parte de la presente investigación se logró determinar que el porcentaje óptimo de adición de fibras de polipropileno fue el experimento 2, el cual contenía 0,15% Microfibras + 1,0% Macrofibras de polipropileno reciclado, esto debido a

que dicho experimento mostró una mayor resistencia a los ensayos de compresión, tracción y flexión del concreto. Este escenario confirma la hipótesis planteada inicialmente, dado que la adición de microfibras y macrofibras de polipropileno, permiten obtener una mejora considerable en el uso del concreto.

Producto de este modelamiento se determinó un resultado aceptable al incorporar como un refuerzo al shotcrete, las microfibras (0,15%) + macrofibras (1,0%), para un  $f'_c=280\text{Kg/cm}^2$ . El resultado obtenido fue de un Factor de Seguridad de 1.21, dando a conocer que esta incorporación beneficia en la estabilidad del talud en estudio, teniendo parámetros de suelo (características y propiedades), y del concreto (Resistencia e incorporación de material experimental) que lo garanticen.

## Conclusiones

Para la presente investigación se obtuvieron las fibras de polipropileno reciclado de la empresa acopiadora Recicladora C&M. E.I.R.L. estas fibras obtenidas se clasificaron en microfibras y macrofibras de polipropileno. Para ser consideradas como microfibras estos monofilamentos tuvieron un diámetro alrededor de 0,022 mm a 0,045 mm y una longitud entre los 4,00 cm a 6,00 cm. Se clasificaron también como macrofibras de polipropileno dado que tuvieron diámetros entre 0,05 mm a 2,00 mm y longitud fluctuó entre los 5 cm a 10 cm.

Del análisis granulométrico del agregado fino empleado en la presente investigación cumplió con la NTP 400.037, ya que la gradación de sus partículas se encuentra dentro de los parámetros exigidos (Tamiz – Porcentaje de Agregado que pasa), y el módulo de fineza obtenido fue de 3,00, resultado que se encuentra dentro del rango normalizado (2,30 – 3,10). También se verificó a través de la prueba colorimétrica, que las impurezas orgánicas en el agregado fino se encontraban dentro del rango aceptable exigido en la norma ASTM C-40. Adicional a lo antes mencionado, se ejecutó el ensayo granulométrico del agregado grueso, obteniendo un tamaño máximo nominal de ½” y un módulo de fineza de 6,08%, características que cumplen con la NTP 400.037.

Se alcanzó a caracterizar geotécnicamente el suelo en estado natural, resultando ser una arcilla limosa de baja plasticidad (OL). Tiene una naturaleza cohesiva, una densidad de 1.916 g/cm<sup>3</sup> y un contenido de finos del 94,90%, lo que da lugar a una elevada densidad máxima seca (1.470 g/cm<sup>3</sup>) en su curva de compactación. Esto significa que las partículas

del suelo logran una distribución eficiente durante la compactación con la cantidad adecuada de agua, lo que resulta en una buena adherencia interna y una baja permeabilidad.

De la realización del diseño de mezcla patrón de shotcrete para un  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ , se determinó un asentamiento de 6,85", factor que se encuentra dentro de lo permitido por la norma ASTM C-94, demostrando una buena trabajabilidad del diseño de mezcla. Este ensayo de asentamiento también fue aplicado a los diseños experimentales, obteniendo resultados aceptables de trabajabilidad. Los resultados en los tres experimentos fueron de, 6,70" para el ensayo de adición de 0,15% Microfibras + 0,5% Macrofibras; 6,40" para 0,15% Microfibras + 1,0% Macrofibras y 5,80" para un 0,15% Microfibras + 1,5% Macrofibras de adición, concluyendo así que cumplieron con la variabilidad de  $7 \pm 1 \frac{1}{2}$ " establecido por norma ya mencionada.

De la ejecución de los ensayos de compresión, tracción y flexión de concreto, tanto de la muestra patrón como de los diseños experimentales, se determinó que en el experimento 2 (adición de 0,15% Microfibras + 1,0% Macrofibras), se obtienen los mejores resultados tanto para la compresión, tracción y flexión. Este diseño experimental, arrojó como resultados una resistencia de 347.52 kg/cm<sup>2</sup>, reflejando un incremento del 24,11% respecto de la resistencia del diseño patrón. Asimismo, se obtuvo que este diseño óptimo tiene una resistencia a la tracción de 51.08 kg/cm<sup>2</sup>, reflejando un 14,70% de la resistencia a la compresión del diseño patrón. Finalmente, este diseño experimental tiene una resistencia a la flexión de 56.43 kg/cm<sup>2</sup>, siendo el más alto de entre todos los experimentos ejecutados para una misma evaluación de la propiedad mecánica de resistencia a la flexión.

De los ensayos de compresión, tracción y flexión, se determinó que el porcentaje óptimo de adición de microfibras y macrofibras de polipropileno fue de 0,15% y 1,0% respectivamente, y que al seguir adicionando mayores cantidades de microfibras y macrofibras de polipropileno, los niveles de resistencia a compresión, tracción y flexión iban disminuyendo.

Del modelamiento al talud en estado natural, utilizando el software GEO-5, se pudo determinar que el Factor de Seguridad del talud, obtenido mediante el Método Bishop, está por debajo del límite admisible ( $FS < 1$ ), dado que el resultado obtenido fue de 0.86. esta situación demuestra la necesidad de la aplicación de un método de estabilización de taludes siendo, una alternativa la incorporación de shotcrete con la adición y/o refuerzo de microfibras y macrofibras de polipropileno.

Finalmente, del modelado del talud en estado natural, adicionando al shotcrete las microfibras y macrofibras de polipropileno óptimas (0,15% Microfibras + 1,0% Macrofibras) obtenidos en los ensayos de compresión, tracción y flexión, se determinó como resultado del método Bishop, que el Factor de seguridad mejoró considerablemente, dado que arrojó un factor de seguridad de 1,21, demostrando así que el empleo de materiales de polipropileno reciclado mejora las propiedades del concreto y por ende generan un beneficio en la estabilización de taludes.

### **Recomendaciones**

Se recomienda generar mayores estudios de materiales reciclados, a fin de promover su uso en el campo de la ingeniería civil.

Incentivar el uso de materiales reutilizados, y tomar como referencia la presente investigación, a fin de aplicar los beneficios del polipropileno en las construcciones ingenieriles.

Aplicar la presente investigación en zonas con inestabilidades de taludes, y aprovechar los beneficios y propiedades mecánicas y físicas de las fibras de polipropileno, más aún. Considerando el bajo costo y el fácil acceso a conseguirlos.

### **Referencias**

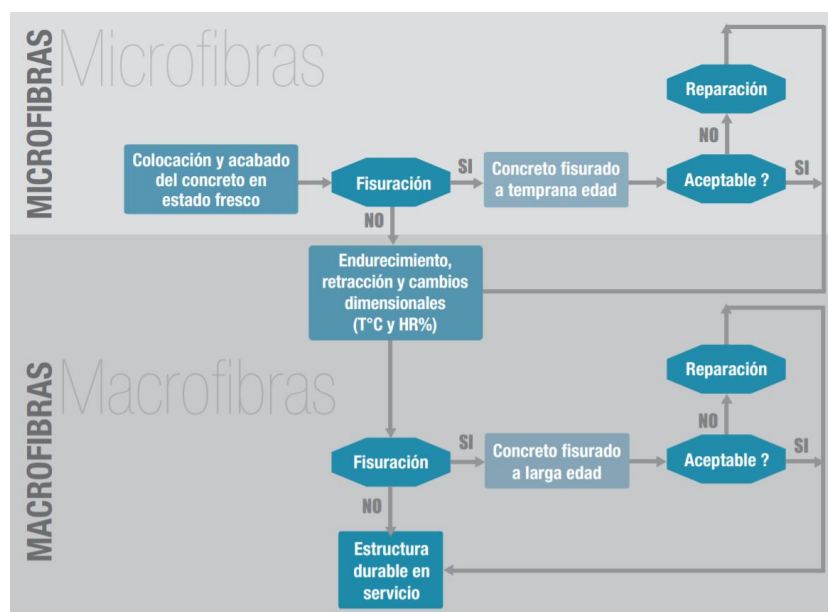
- [1] Á. Matteis, Artist, *Estabilidad de Taludes*. [Art]. Universidad Nacional de Rosario, 2003.
- [2] G. Semelas Ledesma, «MyPHor Materiales Especiales,» LinkedIn, Madrid, España. [En línea]. Available: <https://www.myphor.com/fibras-siteticas-en-ejecucion-de-tuneles/>.
- [3] B. Zavala Carrión y M. Rosado Seminario, Riesgo Geológico en la Región Cajamarca, Primera ed., vol. I, Lima: INGEMMET, 2011, pp. 1-407.
- [4] A. Sánchez y P. Pedro, Artists, *ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL POLIETILENO TEREFTALATO COMO MATERIAL PARA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES*. [Art]. Universidad Católica de Colombia, 2014.

- [5] R. Vilas y J. Montalvo, «DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA INDUSTRIA DEL POLIPROPILENO: PROPIEDADES CONTROLADAS A MEDIDA Y OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO Y DE LA DEGRADACIÓN,» Madrid, España, CYTED, 2016, pp. 1-374.
- [6] A. López, C. Caleffi, N. Domínguez y G. Díaz, «PROCESOS DEL POLÍMEROS,» Universidad José Antonio Páez, Carabobo - Venezuela, 2016.
- [7] M. Fernández Cánovas, «Teoría y experiencias en el incremento de ductilidad de los hormigones de alta resistencia reforzados con fibras de acero.,» *ALCONPAT*, vol. II, nº 3, pp. 131-148, 2012.
- [8] *La República: Deslizamiento bloquea tramo de la carretera que une a Cutervo con Cochabamba*, 2022.
- [9] S. P. S.A., «Concreto Reforzado con Fibras,» *Sika Informaciones Técnicas*, vol. I, nº 1, pp. 1-28, 1 Agosto 2011.
- [10] E. Carozzo y D. Salazar, Artists, *INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA, EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS*. [Art]. Universidad San Martín de Porres, 2021.
- [11] A. S. Soğancı, «El efecto de la fibra de polipropileno en la estabilización de suelos.,» *Revista Internacional de Ingeniería Geológica y Medioambiental*, vol. IX, nº 8, pp. 1-4, 2015.

## Anexos



anexo 1: Tramo de Carretera Cutervo - Cochabamba. Fuente: Google Earth Pro



anexo 2: Funciones de las Micro y Macrofibras de Polipropileno en el concreto. Fuente: [19]

## Ensayos de agregados (fino y grueso)

### Ensayo de granulometría por tamizado de los agregados fino y grueso:



anexo 3: Tamizado de Agregado fino y grueso. Fuente: Propia

### Ensayo de contenido de humedad de los agregados fino y grueso:



anexo 4: Secado en Horno de Agregado Fino y Grueso. Fuente: Propia



### Ensayo de contenido de humedad superficial de agregado fino:



anexo 5: Ensayo de contenido de humedad superficial de agregado fino. Fuente: Propia

### Ensayo de equivalente de arena de agregado fino:



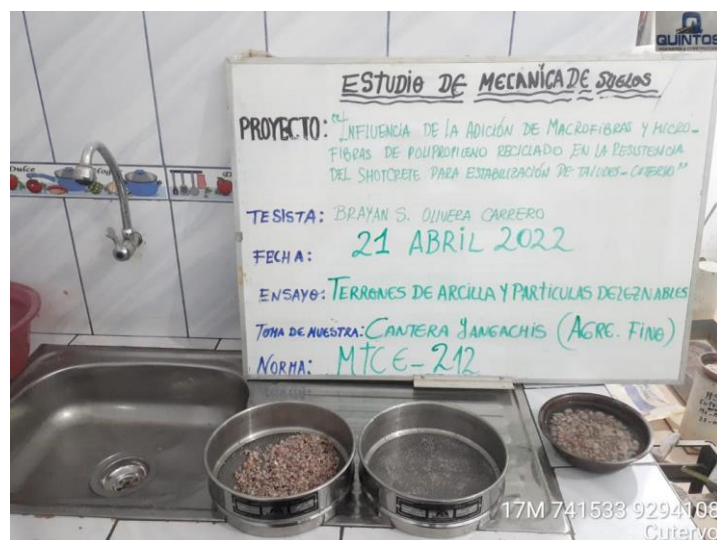
anexo 6: Ensayo de Equivalente de Arena de Agregado Fino. Fuente: Propia

### Ensayo de material fino que pasa por el tamiz N° 200:



anexo 7: Lavado de Agregado Fino que pasa por tamiz N° 200. Fuente: Propia

### Ensayo de terrones de arcilla y partículas deleznable de agregado fino:



anexo 8: Muestra de Agregado para Ensayo de Terrones de Arcilla. Fuente: Propia

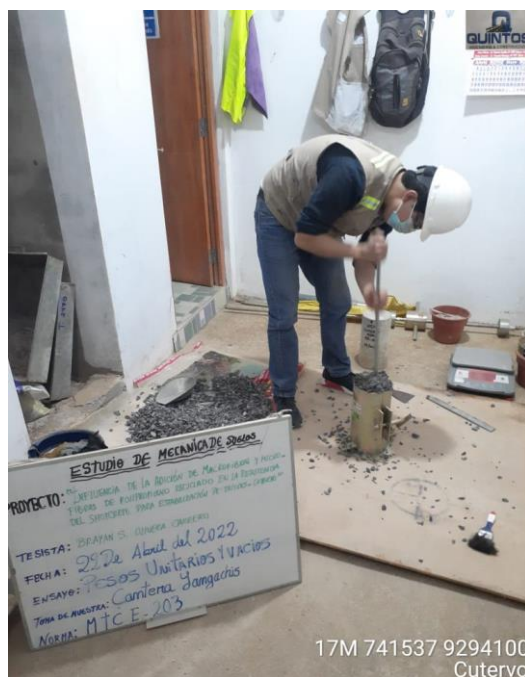
## Ensayo de peso unitario y vacíos de los agregados fino y grueso:

### - SUELTO:



anexo 9: Vaciado de Agregado Fino y Grueso. Fuente: Propia

### - COMPACTADO:



anexo 10: Varillado de Agregado Fino y Grueso. Fuente: Propia

### Ensayo de gravedad específica y absorción de los agregados fino y grueso:



anexo 11: Ensayo De Gravedad Específica Y Absorción De Agregado Fino. Fuente: Propia



anexo 12: Lavado de Agregado. Ensayo De Gravedad Específica Y Absorción De Agregado Grueso. Fuente: Propia

### Ensayo de impurezas orgánicas en el agregado fino:



anexo 13: Ensayo de Impurezas Orgánicas en Agregado Fino. Fuente: Propia



## Elaboración De Diseños De Mezcla



anexo 14: Enrasado de Probetas Cilíndricas de Concreto. Fuente: Propia



anexo 15: Varillado de Probetas Prismáticas de Concreto. Fuente: Propia

### Ensayo de relación densidad/humedad (Proctor) en muestra de suelo de talud en estudio:



anexo 16: Toma de Muestra de Suelo de Talud para Ensayo de Proctor. Fuente: Propia

### Ensayo de corte directo en muestra de suelo de talud en estudio:



anexo 17: Máquina empleada en Corte Directo en Muestra de Suelo de Talud. Fuente: Propia