



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE TEXTILES

INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN

CURRICULAR, MODALIDAD PRESENCIAL

TEMA:

**“CARACTERIZACIÓN DEL HILO POLIACRILONITRILO (PAN)
INCORPORANDO CARBÓN ACTIVADO EN POLVO Y RESINA”**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera Textil

Línea de investigación: Gestión, Producción, Productividad, Innovación y Desarrollo Socio-económico.

Autor(a): Molina Martínez Cristina Elizabeth

Director: MSc. Willam Ricardo Esparza Encalada

Ibarra-2023



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:		1004479257	
APELLIDOS Y NOMBRES:		Molina Martínez Cristina Elizabeth	
DIRECCIÓN:		San Isidro-El Ángel- Carchi	
EMAIL:		cemolinam@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:	0986667131	TELÉFONO MÓVIL:	0980852670

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“CARACTERIZACIÓN DEL HILO POLIACRILONITRILO (PAN) INCORPORANDO CARBÓN ACTIVADO EN POLVO Y RESINA”
AUTOR:	Molina Martínez Cristina Elizabeth
FECHA:	08/09/2023
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE SE OPTA:	Ingeniera Textil
DIRECTOR:	MSc. Willam Ricardo Esparza Encalada

CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 08 días del mes de septiembre de 2023

EL AUTOR:

Firma:

Nombre: Molina Martínez Cristina Elizabeth

CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ibarra, 08 de septiembre de 2023

MSc. Willam Ricardo Esparza Encalada

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el miso que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.



(f).....

MSc. Willam Ricardo Esparza Encalada

C.C.: 1001589017

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular “CARACTERIZACIÓN DEL HILO POLIACRILONITRILO (PAN) INCORPORANDO CARBÓN ACTIVADO EN POLVO Y RESINA” elaborado por Cristina Elizabeth Molina Martínez, previo a la obtención del título de Ingeniera Textil, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte.



(f).....

MSc. Willam Ricardo Esparza Encalada

C.C.: 1001589017



(f).....

MSc. Valeria Verónica Chugá Chamorro

C.C.: 0401732250

DEDICATORIA

Con mucho amor y cariño, este trabajo de grado va dedicado en primer lugar a Dios por haber sido quién me dio fortaleza en los momentos más duros y difíciles de mi vida, a mis padres quienes son mi principal motivación y quienes supieron guiarme y apoyarme durante esta etapa de mi vida. A mis hermanos y familiares por el apoyo, cariño, amor y confianza que depositaron en mí para alcanzar mis metas.

A mis amigos y compañeros quienes fueron parte de este proceso quienes nunca perdieron la fe en mí y siempre me dieron aliento y ánimos para culminar con mi etapa universitaria.

Cristina Elizabeth Molina Martínez

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios por darme la vida y la fuerza para cumplir todos mis propósitos y a la vez ser una guía durante toda mi vida universitaria pues con su bendición he logrado culminar con mis estudios satisfactoriamente.

A mis padres Eduardo Molina y Hermelinda Martínez por ser mi apoyo incondicional, por sus consejos, por su ayuda brindada tanto económica como moral durante esta etapa de mi vida. Agradezco por todo el amor, cariño y confianza que han depositado en mí, así como también el esfuerzo y sacrificio realizado para ver cumplida esta meta. Por enseñarme a luchar y nunca darme por vencida.

A mis hermanos Christian, Javier y Andrés por estar siempre en los momentos más difíciles, guiarme y apoyarme emocionalmente como económicamente.

A mis amigos y familiares quienes siempre me motivaron a seguir adelante y me brindaron su apoyo para cumplir con mis metas y objetivos.

Al MSc. Willam Esparza, por ser mi director de tesis, quien supo ser mi guía y apoyo desde el inicio hasta el final del desarrollo de esta investigación, por su paciencia y motivación para la culminación del proyecto. Agradezco por todos los conocimientos y sabiduría impartidas, así como también sus experiencias, quien me enseñó a creer y tener confianza en mí misma.

Finalmente, quiero extender mis agradecimientos a la Universidad Técnica del Norte, especialmente a la Carrera de Textiles y a cada uno de los docentes que la conforman por impartir sus conocimientos, enseñanzas, experiencias, consejos, valores y ser una guía durante mi formación profesional.

Cristina Elizabeth Molina Martínez

RESUMEN

Esta investigación realiza un análisis de las propiedades del hilo de acrílico (PAC) adquiridas después de pasar por un proceso similar al de las fibras de carbono, estas etapas son: la oxidación y la carbonización. En donde para caracterizar al hilo se aplican productos con diferentes formulaciones de ionizante, ácido fosfórico, carbón activado en polvo y resina para el tratamiento de la superficie. El proceso inició con la formación de las madejas para luego pasar por el proceso de oxidación del hilo a una temperatura entre 240° a 250°C, posterior a esto, se le coloca catalizador o intercambiador iónico según corresponda la formulación y las madejas se sumergen a la solución de resina con carbón. Finalmente, se sometió a carbonizar a la misma temperatura durante 30 minutos y se procedió a realizar las pruebas de laboratorio. De los resultados obtenidos se evidenció que el hilo mantiene la propiedad de resistencia a la rotura, sin embargo, perdió elongación ya que los valores no superaron a la muestra 0. Por otra parte, presentó mejora en su ángulo de recuperación al doblar además de adquirir mayor flexibilidad que el hilo crudo. Los resultados alcanzados fueron analizados en el software Past 4, obteniendo un ($P > 0,05$) con 95% de confiabilidad en los datos de lo cual se constató que la formulación con mejores resultados es la F3 que contiene 10g/L de catalizador, 20g/L y resina y 30%, 50% y 80% de carbón activado debido a que las muestras con las mejores propiedades pertenecen a esta.

Palabras Clave: acrílico, carbonización, oxidación, elongación, resistencia, fibra de carbón.

ABSTRACT

This research conducts an analysis of the properties of acrylic yarn (PAC) acquired after undergoing a process similar to that of carbon fibers. These stages include oxidation and carbonization. To characterize the yarn, products with different formulations of ionizing agents, phosphoric acid, powdered activated carbon, and resin are applied for surface treatment. The process begins with the formation of skeins, followed by the yarn's oxidation process at a temperature between 240° and 250°C. Subsequently, a catalyst or ion-exchanger is applied as per the formulation, and the skeins are immersed in a resin solution with carbon. Finally, the yarn is carbonized at the same temperature for 30 minutes, and laboratory tests are conducted. The results obtained revealed that the yarn maintains its tensile strength property. However, it experienced a decrease in elongation as the values did not surpass those of sample 0. On the other hand, it demonstrated an improvement in its fold recovery angle and acquired greater flexibility than raw yarn. The achieved results were analyzed using Past 4 software, obtaining a value ($P > 0.05$) with 95% reliability in the data. It was confirmed that the formulation with the best results is F3, which contains 10g/L of catalyst, 20g/L of resin, and 30%, 50%, and 80% of activated carbon. This is because the samples with the best properties belong to this formulation.

Keywords: acrylic, carbonization, oxidation, elongation, strength, carbon fiber.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I	1
1. INTRODUCCIÓN.	1
1.1 Descripción del tema.....	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 Importancia del estudio.....	4
1.4 Objetivo general.....	4
1.5 Objetivos específicos	5
1.6 Características del sitio del proyecto	5
CAPÍTULO II	6
2. ESTADO DEL ARTE.	6
2.1 Estudios previos.	6
2.1.1. Fabricación de fibra de carbono	6
2.1.2 Poliacrilonitrilo	7
2.1.3 Propiedades del poliacrilonitrilo	8
2.1.4 Carbonizado	9
2.1.5 Resina	10
2.2 Marco legal	11
2.2.1. Constitución de la República del Ecuador.....	11
2.2.2. Líneas de investigación de la Universidad Técnica del Norte	11
2.3 Marco Conceptual	12
2.3.1. Hilo de poliacrilonitrilo.....	12
2.3.2. Carbonizado	12
2.3.3. Impregnación	14
2.3.4. Carbón activado.....	14
2.3.5. Resina.....	15
Capítulo III	17
3. METODOLOGÍA.	17
3.1. Normas	17
3.1.1. Norma ISO 2062:2009 Determinación de la fuerza de rotura y alargamiento a la rotura. Hilados en paquetes.	17
3.1.2 Norma ISO 2313-Recuperación de los textiles al Doble.....	18
3.2. Tipos de investigación a aplicar.....	18
3.2.1. Investigación analítica.....	18
3.2.2. Investigación experimental	19
3.2.3. Investigación comparativa	19

3.2.4. Investigación bibliográfica	19
3.3. Flujogramas.....	20
3.3.1. Flujograma general	20
3.3.2. Flujograma muestral	20
3.4. Equipos y materiales	22
3.4.1. Dinamómetro	23
3.4.2. Horno	24
3.4.3. Foulard	25
3.4.4. Muestras de hilo de poliacrilonitrilo	26
3.5 Procedimiento	26
3.5.1. Procedimiento de impregnación	27
3.5.2. Procedimiento de carbonizado	28
3.6. Pruebas de laboratorio.....	29
3.6.1. Prueba de resistencia a la rotura	29
3.6.2. Prueba de elongación	30
3.6.3 Prueba de recuperación al dobléz	30
CAPÍTULO IV.....	32
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	32
4.1. Resultados	32
4.1.1 Tabla de resultados de resistencia a la rotura.....	33
4.1.2 Tabla de resultados de elongación.....	33
4.1.3 Tabla de resultados recuperación al dobléz	34
4.1.4. Tabla general de resultados	35
4.2 Discusión de resultados.....	36
4.2.1 Normalidad de los datos	36
4.2.2 Análisis de la varianza	37
4.2.3 Análisis general de resultados en resistencia a la rotura, elongación y recuperación al dobléz	38
CAPÍTULO V	42
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	42
5.1 Conclusiones	42
5.2 Recomendaciones	43
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
ANEXOS.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Línea de fibra de carbono	13
Tabla 2 Materiales.....	22
Tabla 3 Auxiliares utilizados en la receta	27
Tabla 4 Formulación 1.....	27
Tabla 5 Formulación 2.....	27
Tabla 6 Formulación 3.....	28
Tabla 7 Formulación 4.....	28
Tabla 8 Número de probetas para recuperación al dobléz	31
Tabla 9 Análisis de resultados de la prueba de resistencia a la tracción.	33
Tabla 10 Análisis de resultados de la prueba de elongación.....	34
Tabla 11 Análisis de resultados de la prueba de recuperación al dobléz.....	34
Tabla 12 Tabla general de las pruebas de resistencia, elongación y recuperación al dobléz.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de Laboratorio Textil.....	5
Figura 2 Cadena de proceso de la fibra de carbono	7
Figura 3 Flujograma general	20
Figura 4 Flujograma muestral	21
Figura 5 Dinamómetro	24
Figura 6 Horno semi industrial.....	25
Figura 7 Foulard.....	25
Figura 8 Hilo de acrílico.....	26
Figura 9 Hilo PAC carbonizado	29
Figura 10 Prueba de elongación	30
Figura 11 Equipo de recuperación al dobléz	31
Figura 12 Normalidad de los datos de los ensayos de laboratorio.	36
Figura 13 Análisis de varianza de la resistencia a la rotura, elongación y recuperación al dobléz	37
Figura 14 Gráfico general Matriz Plot pruebas de resistencia, elongación y recuperación al dobléz. .	38
Figura 15 Diagrama de barras de la tabla general de resultados.	39
Figura 16 Gráfico general Graph (line+points) de los resultados.	41

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN.

1.1 Descripción del tema

El objetivo principal de la investigación es caracterizar el hilo poliacrilonitrilo (PAN) mediante el proceso de impregnación de carbón activado en polvo y resina. Según el autor Ge et al. (2022), “las fibras de carbono (CF) se definen generalmente como fibras hechas de al menos un 92 % en peso de carbono y sintetizadas a partir de precursores poliméricos” (p.95). Desde su descubrimiento por Shindo en 1961, ha existido un amplio interés de la CF puesto que presenta propiedades mecánicas únicas y ventajosas, haciendo que sea utilizada en diversas aplicaciones.

Las fibras de carbono se pueden obtener de distintos precursores como la brea, el rayón y el poliacrilonitrilo (PAN). La fibra acrílica de poliacrilonitrilo es el principal precursor que se utiliza comúnmente debido a su cadena de carbono interconectada con estructura rígida, que es insoluble y fuertemente resistente (Terra et al., 2021). Para la producción de fibra de carbono que utiliza poliacrilonitrilo como precursor se compone de algunas etapas, como la polimerización, el hilado, la estabilización térmica, la carbonización y el tratamiento de la superficie. “La aplicación de resinas termoplásticas y recubrimientos a base de agua con 0.5–5% en peso del apresto mejora la procesabilidad de la CF en telas y pre impregnados aumentando la resistencia entre la fibra y la resina matriz” (Frank et al., 2017, p.19). Por otra parte, “la fabricación de fibra de carbono incluye procesos térmicos que

consumen mucha energía, así como tiempos de ciclo prolongados, lo que da como resultado energías incorporadas y costos de materiales elevados” (Dér et al., 2021, p.2).

Con base a lo expuesto, para llevar a cabo la investigación se adquirió hilo de poliacrilonitrilo que fue dividido en pequeñas madejas para someterlo a una temperatura de 250°C en el horno, con el fin de que este se oxide a esta temperatura y alcance el amarillamiento. Seguidamente, a las madejas se les colocó un activador aniónico (intercambiador iónico) o catalizador para que el hilo tenga mayor absorción en la solución de resina y carbón en polvo en la cual serán sumergidas las madejas de acrilonitrilo. A continuación, fueron exprimidas en el foulard para que la solución se adhiera mejor y después se colocó nuevamente en el horno a 250°C para su carbonización. Transcurrido un tiempo se obtuvo como resultado un hilo al cual se le realizó pruebas para determinar las propiedades de elongación y resistencia adquiridas acorde con la norma ISO 2062:2009: Determinación de la fuerza de rotura y alargamiento a la rotura. Hilados en paquetes, y para evaluar el ángulo de recuperación al doblar la norma ISO 2313.

Este trabajo permitió demostrar que tan productivo resulta emplear el proceso de fabricación de la fibra de carbono incorporando carbón activado en polvo y resina para mejorar las propiedades de elongación, resistencia y recuperación al doblar del hilo poliacrilonitrilo (PAN), con la finalidad de que este pueda ser utilizado en otras áreas y que no solo sea para textiles.

1.2 Antecedentes

El primer registro de uso de la fibra de carbono (CF) aplicada industrialmente fue con la invención de la bombilla eléctrica, en donde se utilizaron filamentos de fibras de bambú carbonizadas con el fin de que estos no se fundieran rápidamente al momento de encenderse. Por lo cual, en el año de 1879 Thomas Alba Edison patentó su invento y el uso industrial de

la CF. Las fibras de carbono están compuestas por hilos de carbono entrecruzados dentro de una matriz generalmente epoxi, que con la ayuda de un agente endurecedor logran obtener propiedades únicas en comparación a otras fibras (Theurer, 2016).

El poliacrilonitrilo (PAN) es el componente principal de la fibra de carbono, pues hilos de PAN se entrecruzan formando la estructura de las CF después de pasar por distintos procesos (Terra et al., 2021, p.2). Para la producción de las CF se inicia calentando el poliacrilonitrilo, este proceso se lo realiza con el fin de que las moléculas diferentes al carbono se eliminen de la estructura del compuesto, mientras que las moléculas de carbono se organizan hexagonalmente creando una estructura fuerte. Dicho de otra forma, las fibras de carbono se crean producto de la combustión del material precursor, separando los compuestos químicos distintos al carbono (Frank et al., 2017).

El procedimiento que más se emplea en la elaboración de fibras de carbono comienza con la alineación de las moléculas de carbono para estabilizarlas, por lo cual el material se estira o tensiona dentro de un horno y se somete a una temperatura de 300 °C. Seguidamente se eleva la temperatura del horno a 1000 °C con el fin de quemar los restos de hidrógeno y nitrógeno aún existentes, logrando la orientación hexagonal de las moléculas de carbono a lo largo de la fibra. Finalmente, se adiciona un nuevo ciclo de calentamiento a 2000 °C en donde se aplica un catalizador que ayuda a mejorar la adherencia a la fibra de la resina utilizada (Huang, 2009).

Los filamentos de carbono que se obtienen después del procedimiento antes mencionado presentan una pureza que oscila entre el 95 y 99 %. Este material es pasado por una hilera para reducir su diámetro que equivale a una finura cinco veces más delgado que un cabello humano. Posterior a esto, se realiza a los filamentos un trenzado para seguidamente proporcionarles un capa de resina juntamente con un catalizador (Dér et al., 2021). Como ya

se mencionó la resina es el segundo componente la cual se endurece en presencia de un catalizador. El autor Theure (2016) menciona que la resina más utilizada es “la BADGE debido a que presenta mayor resistencia en comparación a otras resinas, además de tener la capacidad de soportar temperaturas por encima de los 200 °C, la corrosión y resistir a la agresión de distintos agentes químicos” (p.60). Las fibras de carbono son conocidas por poseer excelentes propiedades ideales para el área de la aeronáutica, construcción y otras, debido a que superan al acero en características muy importantes como es su resistencia mecánica es hasta diez veces mayor y al mismo tiempo liviano (Zhong et al., 2022).

1.3 Importancia del estudio

La presente investigación se enfocó en la caracterización del hilo poliacrilonitrilo (PAN) incorporando carbón activado en polvo y resina, para ello se utilizó como guía el proceso de elaboración de la fibra de carbono (CF) pues como bien se conoce esta fibra posee excelentes propiedades mecánicas lo que hace que esta fibra sea muy demandada por áreas como la automovilística, aeronáutica, aeroespacial, entre otras. Actualmente es considerada como un material exótico o extraño debido a que no se conoce muy bien las ventajas que esta posee. Por otra parte, una de las desventajas que presenta esta fibra es que tiene un alto precio en el mercado debido al costo de la materia prima y al complejo proceso de fabricación donde se necesita invertir gran cantidad de energía eléctrica. Por tanto, el estudio busca mejorar las características del hilo de poliacrilonitrilo en cuanto a su resistencia, elongación y recuperación al doblar con el fin de que este puede aumentar su uso en otras áreas y no solo este limitado al área textil fabricado mediante un proceso no complejo.

1.4 Objetivo general

Caracterizar el hilo poliacrilonitrilo (PAN) incorporando carbón activado en polvo y resina.

1.5 Objetivos específicos

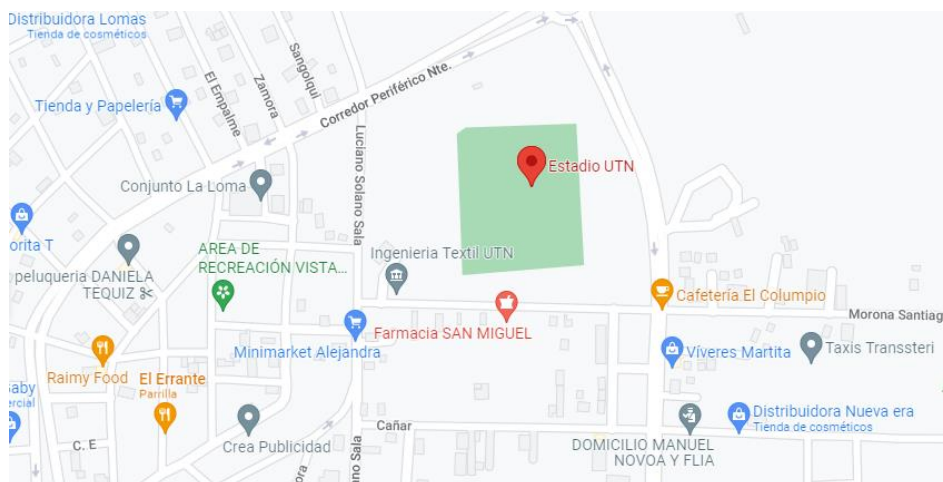
- Indagar en fuentes bibliográficas de libros, revistas, artículos científicos, entre otros para conseguir información técnica del proceso de elaboración de fibra de carbono poliacrilonitrilo (PAN).
- Obtener hilo de poliacrilonitrilo con mejores características mediante un proceso de carbonizado e impregnación empleando carbón activado en polvo y resina.
- Analizar los datos obtenidos en el laboratorio mediante el uso del software Past 4, Excel, Microsoft Word, gráficos de barras para la caracterización de las propiedades de elongación y resistencia adquiridas en el hilo de poliacrilonitrilo y llegar a obtener conclusiones y recomendaciones.

1.6 Características del sitio del proyecto

La presente investigación se desarrollará en la ciudad de Ibarra provincia de Imbabura (**Figura 1**), en los laboratorios que se encuentran en las instalaciones de la Carrera de Textiles mismos que están equipados con equipos normalizados y estandarizados, está ubicado en el barrio Azaya, Calles Morona Santiago y Luciano Sala.

Figura 1

Ubicación de Laboratorio Textil



Fuente: (Google Maps, 2023)

CAPÍTULO II

2. ESTADO DEL ARTE.

2.1 Estudios previos.

2.1.1. Fabricación de fibra de carbono

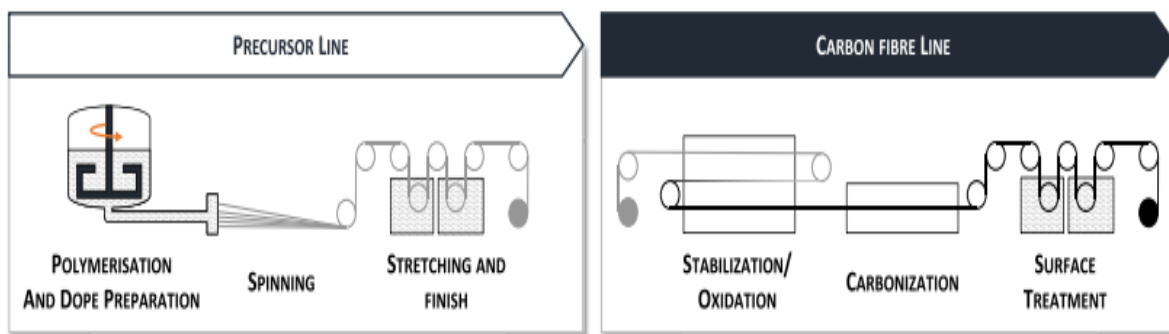
La fibra de carbono cuenta con precursores como rayón, brea y poliacrilonitrilo (PAN). El proceso para la elaboración de fibras de carbono de poliacrilonitrilo consta de dos principales etapas: estabilización y carbonización. La estabilización u oxidación inicia con el calentamiento del PAN a bajas temperaturas desde 200 °C a 300 °C dentro del horno, con el propósito de que los elementos distintos al carbono se eliminen del compuesto haciendo que las moléculas de carbono se alineen u ordenen a lo largo de la fibra. Durante la estabilización las fibras cambian de coloración, desde un color blanco, amarillento hasta uno marrón, esto dependerá del tiempo y la temperatura a la que estén expuestos los filamentos de poliacrilonitrilo. La segunda etapa es la carbonización, la cual consiste en someter a las fibras nuevamente a altas temperaturas que pueden ser desde 800 °C a 2000 °C con el objetivo de que los residuos restantes de los elementos distintos al carbono salgan de la fibra, obteniendo en la fibra final un porcentaje de carbono considerable que oscila entre el 80% y el 90% (Ortiz, 2006).

Según Dér (2021) añade que una vez pasado la etapa de carbonizado se realiza un tratamiento superficial a las fibras de carbono para mejorar adicionalmente las propiedades mecánicas alterando la superficie:

Comúnmente, se aplica alguna forma de oxidación en forma líquida o gaseosa, siendo la más común la oxidación electroquímica. El CF eléctricamente conductor funciona como un ánodo, mientras pasa a través de un baño electrolítico de solución ácida o salina. Después del tratamiento de la superficie, el exceso de electrolito se lava en un baño de enjuague con agua tibia. Para la manipulación, lubricación y protección de la fibra, se aplica una capa de apresto a la superficie de la fibra. El apresto se refiere a la solución de polímero, como las formulaciones de epoxi y las resinas, que recubre las fibras y se requiere como parte del proceso de tejido. (p.3)

Figura 2

Cadena de proceso de la fibra de carbono



Fuente: (Dér et al., 2021)

2.1.2 Poliacrilonitrilo

Según Qin (2016) afirma que:

El poliacrilonitrilo (PAN) es un polímero sintético cuya fórmula lineal es $(C_3H_3N)_n$. Es un termoplástico que no se funde en condiciones normales debido a que se descompone antes de fundirse a una temperatura que sobrepase los 300 °C. Las fibras PAN son copolímeros creados a partir de mezclas de monómeros con acrilonitrilo como componente principal, su uso es muy versátil pues se lo

emplea para producir una amplia gama de productos, tales como: fibras textiles, membranas de ultrafiltración, fibras para ósmosis inversa, entre otros. (p.30)

Por otra parte, Jestin & Poulin (2014) menciona que “las fibras PAN, también llamadas fibras acrílicas, pueden obtenerse mediante hilado en húmedo o hilado en gel. Dichas fibras pueden utilizarse como hilado para prendas de vestir o también pueden carbonizarse bajo atmósfera inerte para producir fibras de carbono” (p.190). Las fibras precursoras de PAN deben estabilizarse antes de la carbonización, el objetivo de esto es reticular el polímero y, por tanto, evitar la relajación y la rotura de la cadena durante la carbonización (Zhu et al., 2016).

2.1.3 Propiedades del poliacrilonitrilo

El poliacrilonitrilo (PAN) tiene muchas buenas características como alta conductividad iónica, estabilidad térmica, entre otras. El autor Ortiz (2006) detalla que el poliacrilonitrilo después de haber pasado por el proceso de fabricación de fibra de carbono las propiedades de resistencia a la tensión y módulo elástico aumentaron durante el carbonizado:

En el caso de la resistencia a la rotura se sometió al filamento de PAN a tres ciclos de temperaturas distintos que fueron de 600 °C, 800 °C y 1000 °C obteniendo los valores de 1,035 MPa, 2,580 MPa y 3,243 MPa respectivamente, evidenciando que al incrementar la temperatura la resistencia también aumentaba. En el caso del módulo elástico se presentó la misma tendencia de incremento en sus valores pues conforme se eleva la temperatura el módulo también aumenta, obteniendo: 72,429.6 MPa, 116,378.1 MPa y 135,149.6 MPa respectivamente. Los resultados obtenidos en el estudio realizado se deben a que existió un mayor orden morfológico en las cadenas del poliacrilonitrilo durante el proceso de carbonización, a causa

del aumento de tamaño y la orientación de los cristales en el filamento. La alta resistencia es el resultado de unas condiciones de preparación sin defectos, pero las fibras de módulo más alto son el resultado de un tratamiento a alta temperatura. (p.71)

Por otra parte, Frank (2017) manifiesta que “las CF a base de PAN se utilizan normalmente como fibras de alta resistencia, con una resistencia que comienza en el rango de 3,5 a 7 GPa y un módulo de Young entre 200 y 500 GPa” (p.21).

2.1.4 Carbonizado

El proceso de carbonizado tiene lugar dentro de una atmosfera inerte, es decir, libre oxígeno, para lo cual se utiliza en una serie de hornos que aumentan gradualmente la temperatura. Este proceso se inicia a partir de los 800°C y termina entre los 1200 a 500°C. Durante la carbonización se ha evidenciado que la cantidad de poliacrilonitrilo que entra y la cantidad que sale es aproximadamente una relación de 2:1. Esto es a causa de que el filamento pierde masa y volumen, contrayendo su longitud entre un 5 y 10%, así como también disminuyendo su diámetro (Sáenz, 2021).

Los estudios muestran que, durante las primeras etapas del carbonizado la velocidad de calentamiento del filamento es muy importante ya que esto implica generalmente para que los compuestos gaseosos de descomposición que se desprenden no dañen la fibra durante el proceso. Durante la carbonización, las altas velocidades de calentamiento introducen defectos en los CF, mientras que las bajas velocidades de carbonización provocan la pérdida de grandes cantidades de nitrógeno al principio de la carbonización, lo que de hecho es preferible para lograr una alta resistencia a la tracción (Yan et al., 2023).

2.1.5 Resina

Las CF están compuestas por hilos de carbono entrecruzados dentro de una matriz generalmente epoxi, que con la ayuda de un agente endurecedor logra obtener propiedades únicas para la fibra a diferencia de otras.

El segundo componente importante de las fibras de carbono es la resina, la cual en presencia del catalizador se endure proporcionando mayor resistencia a la fibra. Generalmente la resina más se usa es del tipo epóxica, la cual posee excelentes propiedades en cuanto a temperatura, corrosión y ataques de agentes químicos (Theurer, 2016, p.60).

Por otra parte, el autor Frank (2017) manifiesta que:

El paso final de la producción de CF implica el tratamiento oxidativo de la superficie y el encolado aplicando emulsiones con base de disolvente, preferiblemente con la misma composición química que la resina matriz final. El superficial oxidativo implica la aplicación de baños electroquímicos o electrolíticos. La aplicación de resinas termoplásticas, plásticos termoestables y revestimientos de base acuosa con 0,5-5wt% del apresto mejora la procesabilidad del CF a tejidos y pre impregnados aumentando la resistencia al fraccionamiento interfacial entre la fibra y la resina matriz. (p.19)

Mientras que otro estudio señala que el proceso de tratamiento de la superficie es un punto crucial para conseguir una fibra de carbono de alta calidad en términos de propiedades pues a parte del precursor, la calidad es lo que distingue un fabricante de otro. Para un compuesto reforzado la unión entre la resina y la CF es clave, por ello para conseguir dicha conexión entre los dos elementos los fabricantes sumergen la fibra en un baño de soluciones químicas que en algunos casos puede ser de hipoclorito de sodio (NaClO) o ácido nítrico (HNO_3).

Estos compuestos ayudan a que la superficie de la fibra sea más rugosa lo que aumenta así el área favoreciendo la unión entre la resina y la fibra, además de que también incorpora grupos químicos reactivos que mejoran la adherencia (Sáenz, 2021, p.5).

2.2 Marco legal

2.2.1. Constitución de la República del Ecuador

De acuerdo con la Constitución de la República del Ecuador alude a los siguientes artículos que hacen referencia al medio ambiente (Constitución de la República del Ecuador, 2008):

Art. 66.- Literal 27 menciona: El derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza.

Art. 83.- Literal 6 manifiesta: Respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible.

Art. 395.- Literal 1 detalla: El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras (p.33, 41, 188).

2.2.2. Líneas de investigación de la Universidad Técnica del Norte

La presente investigación está relacionada con las líneas de investigación de la Universidad Técnica del Norte y la Carrera de Textiles, las cuales se citan a continuación:

- Gestión, Producción, Productividad, Innovación y Desarrollo Socio-económico

2.3 Marco Conceptual

2.3.1. Hilo de poliacrilonitrilo

Se conoce como hilo de acrílico al conjunto de fibras sintéticas obtenidas a partir de un polímero sintético conocido como acrilonitrilo. Para la fabricación de estos hilos inicialmente se adquiere los chips que se obtiene a partir de los hidrocarburos aromáticos provenientes del petróleo que son xileno, benceno y tolueno y mediante un proceso de extrusión se obtienen los filamentos (Tabango, 2015).

Este hilo se caracteriza por tener una composición y textura semejante a lana, es muy suave, cálido y posee excelentes propiedades físicas y químicas que lo hacen único. Por lo general, su precio en el mercado es económico debido que es una fibra artificial que se lo utiliza comúnmente para la elaboración de sacos, tapetes, tejidos a manos, entre otras.

2.3.2. Carbonizado

“La carbonización es un proceso de pirólisis lenta, en el que la producción de carbón vegetal es el objetivo principal. Es la forma más antigua de pirólisis, que se utiliza desde hace miles de años” (Li et al., 2022, p.39).

Por otra parte, el autor Moon & Farris (2009) menciona que la carbonización se puede definir como una reacción pirolítica o termoquímica en la que se proporciona calor en ausencia de oxígeno.

El proceso de carbonización tiene lugar después de la etapa de estabilización, mediante la cual las fibras precursoras estabilizadas se convierten en CF de alta resistencia. La carbonización es un crecimiento y polimerización aromáticos en los que la fibra se tratará a altas temperaturas en condiciones inertes hasta 800–3000 °C para eliminar los elementos que no son de carbono como gases volátiles, como metano, hidrógeno, nitrógeno, cianuro de

hidrógeno, agua, carbono. monóxido, dióxido de carbono, amoníaco y varios otros. (p.2831)

El proceso de carbonización implicado inicia con la **oxidación** en donde la fibra continua se mantiene a lo largo mientras se calienta durante varias horas a unos 220°C. Las fibras incorporan aproximadamente un 8% de oxígeno en su estructura durante este proceso, posterior a esto viene la etapa de **carbonización** (fase de alta temperatura) en la cual las fibras estabilizadas se hacen pasar de temperatura creciente hasta unos 1500°C en una atmósfera inerte, normalmente nitrógeno. Este es el primer paso en el que la estructura de la fibra de carbono y las propiedades asociadas se desarrollan. Finalmente, la **grafitización**, la fibra se calienta a temperaturas de hasta 2500 °C. Las fibras de carbono de alto módulo se obtienen por estiramiento en caliente durante el cual las cadenas de carbono se orientan y se registran en estructuras mejor empaquetadas (Frank et al., 2017).

Por su parte el autor Dér (2021) manifiesta que la línea de fabricación de la fibra de carbono consta de tres etapas importantes, las cuales se describen en la

Tabla 1

Línea de fibra de carbono

Etapas	Descripción
1. Estabilización/ oxidación	El proceso de oxidación tiene lugar en una atmósfera de aire a temperaturas entre 200 y 300°C. El calentamiento debe realizarse lentamente para evitar acumulación de calor en la hebra, dañando la superficie de la fibra y provocando defectos, se aumenta la temperatura escalonadamente y para reducir la relajación de la fibra se debe aplicar tensión.

2. Carbonización En esta etapa se realiza un pirólisis térmico en una atmósfera de gas inerte.

El paso de carbonización se lleva a cabo a temperaturas entre 500 y 1600

C. Al tratarse con altas temperaturas, la mayoría de los elementos distintos del carbono en el precursor se volatilizan en forma de diferentes gases.

3. Tratamiento de superficie Esta etapa se la realiza para mejorar adicionalmente las propiedades mecánicas alterando la superficie. Para el manejo, la lubricación y la protección de la fibra, se aplica una capa de apresto a la superficie de la fibra que recubre las fibras y se requiere como parte del proceso de tejido.

Fuente: (Dér et al., 2021)

2.3.3. Impregnación

El proceso de impregnación se lleva a cabo utilizando la máquina conocida como Foulard. En este proceso el textil pasa a través de una solución conformada por productos químicos y una parte líquida generalmente agua contenida en un recipiente, para luego ser exprimido mediante presión entre dos rodillos. La finalidad es lograr que la solución se absorba y distribuya uniformemente a lo largo y ancho del sustrato textil. La cantidad de solución absorbida por el textil se expresa en forma de porcentaje (%), el cual se calcula con relación al peso seco del tejido. Por lo que es imprescindible pesar el textil antes y después de la impregnación. El % de absorción se denomina “pick up” el cual representa la cantidad de producto aplicado al tejido en relación a su peso en seco (Uribe et al., 2016).

2.3.4. Carbón activado

El carbón activado es una sustancia que presenta como ventaja sus propiedades adsorbentes que lo hacen muy utilizado en diversos campos industriales. Se produce mediante métodos físicos y métodos químicos, siendo este último el más ventajoso debido a las propiedades obtenidas en el producto resultante, además de emplear temperaturas más bajas para su síntesis en comparación al método físico. La calidad de estos productos se

evalúa mediante procedimientos analíticos establecidos y estandarizados (Rolando et al., 2013).

Por su parte el Agudelo (Agudelo, 2017) menciona que:

El carbón activado es un material carbonoso que se produce mediante un proceso de descomposición térmico de materiales que poseen alto contenido de carbono en su estructura. Este material es conocido por su capacidad de adsorción lo que hace que su aplicación sea amplia en diversos sectores industriales ayudando principalmente en los tratamientos de aguas, recuperación de solventes, industria azucarera, entre otras áreas, debido a su eficacia para eliminar compuestos no deseados. (p.19)

Gracias a la organización y distribución de sus poros el carbón activado posee una gran versatilidad como adsorbente pues es ampliamente utilizado en procedimientos de adsorción. Además, su estructura carbonosa puede ajustarse sea en presentación gránulo o en polvo con el fin de adaptarse a diversas aplicaciones actuales y futuras. Acorde a la materia prima elegida y al proceso de activación, la superficie del carbón activado puede variar, por lo cual es primordial la elección del precursor para la elaboración de carbón ya que depende de tres factores importantes como son su disponibilidad, precio y pureza. No obstante, también hay que considerar el proceso de fabricación y las posibles aplicaciones del carbón activado (Minaya Pereyra et al., 2020).

2.3.5. Resina

Las resinas sintéticas son fabricadas a nivel industrial mediante procesos principales conocidos como la condensación química y la polimerización química por lo cual es importante destacar que no todas las resinas existentes pueden ser calificadas como polímeros pues depende mucho del proceso utilizado para su elaboración (Chilón, 2018).

El autor Cegarra (1959) menciona que:

Con el pasar del tiempo el uso de las resinas como agentes de recubrimiento ha tenido gran relevancia debido a estas que permiten alterar las propiedades superficiales del sustrato textil de manera prácticamente permanente acorde al acabado que se le quiera otorgar al tejido o fibra. La resina tiene la función de actuar como agente de recubrimiento externo o a su vez también puede modificar la estructura molecular de la fibra textil. Esto está determinado por la relación existente entre las dimensiones moleculares de los componentes de la resina y el tamaño del canal intermicelar presente en el textil al cual se le aplica la resina para cambiar sus propiedades. (p.4)

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA.

En este capítulo se puntualiza información referente a los diferentes métodos de investigación, equipos, materiales, procedimientos y variables que fueron empleados en el desarrollo de esta investigación, mismos que sirvieron para analizar los resultados obtenidos. Primeramente, se formaron pequeñas madejas que fueron sometidas a 240-250°C en el horno, con el fin de que se oxiden. Seguidamente, a las madejas se les colocó ionizante/ catalizador y se las sumergió en la solución de resina con carbón en polvo. A continuación, fueron exprimidas mediante un rodillo y nuevamente se colocaron en el horno a 240-250°C para su carbonización. Finalmente se realizó pruebas de laboratorio para la discusión de resultados y así concluir con los datos obtenidos.

3.1. Normas

A continuación, se detallan las normas utilizadas en la investigación para determinar las propiedades de resistencia, elongación y recuperación al doblar del hilo.

3.1.1. Norma ISO 2062:2009 Determinación de la fuerza de rotura y alargamiento a la rotura. Hilados en paquetes.

La ISO 2062 es una norma internacional que establece métodos para medir la resistencia a la rotura y la elongación de los hilos textiles. Estas pruebas son fundamentales para evaluar la calidad y propiedades mecánicas de los hilos que son utilizados dentro de la industria textil

para llevar a cabo dicha norma se utiliza el equipo de laboratorio conocido como dinamómetro (INEN, 2014).

3.1.2 Norma ISO 2313-Recuperación de los textiles al Doblez

La norma ISO 2313 se utiliza para evaluar la capacidad que tiene la tela para recuperar su forma después de haber sido doblada horizontalmente, para lo cual se mide su ángulo de recuperación después de que la tela haya sido presionada por un peso después de haber transcurrido un periodo de tiempo específico. Esta norma se la aplica especialmente para la confección de diferentes prendas para oficina o trajes formales, ropa impermeable y telas de celulosa planas que no han sido cepilladas. La magnitud del ángulo de recuperación de arrugas es una indicación de la capacidad de una tela para recuperarse de arrugas accidentales.

3.2. Tipos de investigación a aplicar

Para llevar a cabo este proyecto se utilizaron cuatro métodos de investigación los cuales sirvieron de ayuda para alcanzar los objetivos planteados, estas son: la investigación bibliográfica, analítica, experimental y comparativa. A continuación, se presenta una breve descripción de cada uno de los métodos mencionados.

3.2.1. Investigación analítica

La investigación analítica es aquella que descompone un todo en sus componentes principales o claves, lo que permite examinar y comprender a profundidad cada uno de sus detalles mediante un análisis lógico y crítico de la información recopilada (Lopera, 2010). Esta investigación se utilizó en el proyecto con el objetivo de analizar y comprender los datos alcanzados en el laboratorio de las pruebas de resistencia, elongación y recuperación al doblar realizados a cada una de las muestras.

3.2.2. Investigación experimental

En la investigación experimental se lleva a cabo una serie de experimentos sistemáticos con la finalidad de recopilar datos acerca de una o más variables de estudio. Es de gran utilidad pues permite comprender y observar el comportamiento de las variables, es decir, la relación de causa-efecto que puede existir en las variables planteadas (Murillo, 2010).

Es la investigación más importante pues permitió llevar a cabo el procedimiento de oxidación y carbonización del hilo de poliacrilonitrilo, aplicando resina y carbón activado en polvo en donde se hizo variaciones de las dosificaciones de cada uno de los productos utilizados. Así mismo, permitió conocer si la incorporación del carbón activado en polvo y resina siguiendo un proceso similar al de la fibra de carbono, mejoró las propiedades del hilo de PAN identificando cual fue el porcentaje de carbón activado y fórmula utilizada que brindó mejores resultados.

3.2.3. Investigación comparativa

La investigación comparativa tiene como objetivo principal la generalización empírica (experimental) y la verificación de hipótesis. Permite la comparación de los resultados obtenidos en los diferentes casos presentados agrupando similitudes y diferencias que ayudan a comprender la tendencia o comportamiento de los datos (Gómez & De León, 2016). Esta investigación se la realizó para verificar y valorar en cuál de las muestras se obtuvo mejores resultados acorde a los datos obtenidos en el laboratorio.

3.2.4. Investigación bibliográfica

Este método se implicó la búsqueda y revisión de información ya existente en las distintas fuentes bibliográficas como revistas académicas, artículos científicos, informes académicos, libros, referentes al tema de investigación. Se lo realizó en diferentes plataformas de investigación científica con el fin de obtener información confiable, actual y veraz.

3.3. Flujogramas

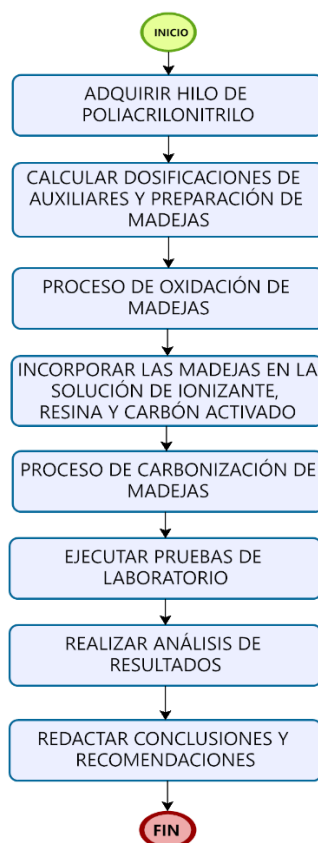
En el siguiente apartado, se presentan el diagrama de flujo general y muestral de la investigación.

3.3.1. Flujograma general

Tal como se observa en la **Figura 3**, el flujograma indica el proceso a seguir en el proyecto de investigación en donde se detallan los diferentes subprocesos de manera general y se describen los materiales y equipos necesarios para la llegar a culminar el proceso.

Figura 3

Flujograma general



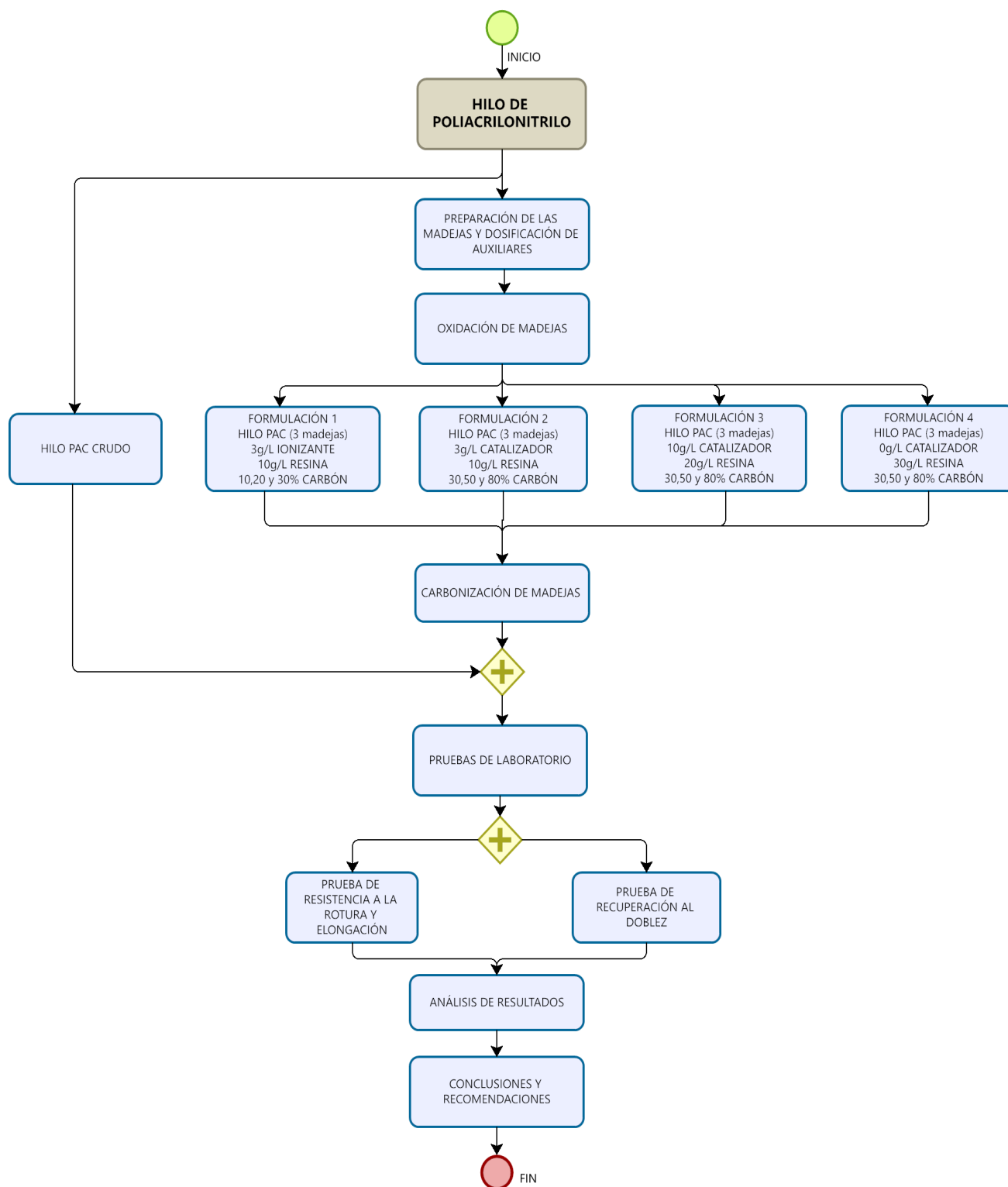
3.3.2. Flujograma muestral

En el siguiente flujograma muestral (**Figura 4**) se observa de manera específica las 4 formulaciones propuestas, en donde se detallan las dosificaciones utilizadas de carbón, resina, ionizante y ácido fosfórico. Así también, se especifica el número de madejas

(muestras) realizadas, es decir, 3 madejas para cada formulación obteniendo un total de 12 madejas las cuales están conformadas por aproximadamente 40 hilos.

Figura 4

Flujograma muestral

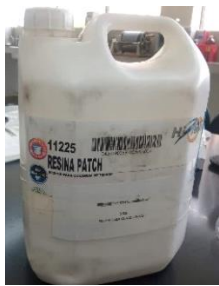
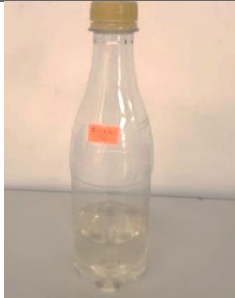




3.4. Equipos y materiales

Los equipos y materiales utilizados en la investigación se detallan en la tabla que se presenta seguidamente:

Tabla 2

Materiales

Material	Características	Gráfico
Resina Patch (Anexo 1)	Apariencia: semi pastosa Color: blanco pH: 6-8 Naturaleza iónica: aniónico	
Ionizante	Intercambiador iónico	
Ácido fosfórico	Sirve como catalizador	
Carbón activado (Anexo 2)	Carbón activado fabricado a partir de cáscara de coco Apariencia: gránulo negro e irregular	

Material	Características	Gráfico
Balanza digital	Balanza de precisión de bolsillo de alta precisión y movilidad.	
Vaso de precipitación	Utilizado para medir volúmenes	
Agitador	Instrumento utilizado para mezclar	
Termómetro digital	Termómetro infrarrojo usado para medir la superficie de los objetos, aplicable para objetos caliente, peligrosos o difíciles de alcanzar sin contacto de manera segura y rápida.	

3.4.1. Dinamómetro

El dinamómetro es un equipo de laboratorio que se utiliza principalmente para medir dos parámetros importantes en los textiles: la resistencia a la rotura y elongación. Dependiendo del tipo de ensayo o norma a aplicar, se calibra el equipo y se colocan las mordazas

adecuadas para tejido, hilo o no tejido. El dinamómetro que se utilizó en la investigación es de la marca James Heal- Titan 5 Universal Strength Tester, entre algunos beneficios que presenta son:

- El sistema operativo TestWise incorpora una biblioteca en constante expansión de estándares y métodos de prueba precargados, permite a los usuarios crear sus propios estándares para satisfacer las necesidades específicas y los requisitos del cliente.
- Ajuste automático de los parámetros de prueba, incluida la longitud de calibre, de acuerdo con el estándar. Área de gráficos en tiempo real con escalado automático y control de zoom.
- Muestra los resultados de las pruebas, incluido el valor medio actual, permiten una visibilidad inmediata de las tendencias (James Heal, 2014).

Figura 5

Dinamómetro



Fuente: (James Heal, 2014)

3.4.2. Horno

El horno utilizado en la investigación es un horno semiindustrial a gas de acero inoxidable que puede alcanzar temperaturas desde 38°C hasta 350°C, además de contar con un termómetro analógico incrustado en la parte interna superior del horno. Se lo utilizó en la

investigación para primeramente oxidar las muestras de acrílico a una determinada temperatura y consecutivamente para el proceso de carbonización.

Figura 6

Horno semi industrial



Fuente: Propia.

3.4.3. Foulard

El foulard es un equipo de laboratorio que mediante presión y velocidad de dos rodillos impregna soluciones de químicos y auxiliares en los textiles. Los cilindros son los encargados de exprimir el exceso de líquido del sustrato con el fin de que el producto que se esté colocando quede adherido en su mayoría en la tela o hilo.

Figura 7

Foulard



Fuente: Propia.

3.4.4. Muestras de hilo de poliacrilonitrilo

El hilo de acrílico se caracteriza por presentar propiedades similares a la lana por lo que comúnmente se emplea en la elaboración de diferentes artículos textiles. Este puede ser hilado en húmedo o en seco en diferentes dimensiones acordes al uso destinado (Sarioğlu et al., 2019). El hilo que se utilizó para realizar la investigación es acrílico de dos cabos 2/29 fabricado por la empresa DELLTEX, del cual se formaron pequeñas madejas que fueron utilizadas como muestras. Se formó 3 madejas para cada formulación debido a que se utilizó tres porcentajes de carbón diferentes, teniendo un total de 12 madejas.

Figura 8

Hilo de acrílico



Fuente: Propia.

3.5 Procedimiento

Para llevar a cabo la investigación se inició con el proceso de oxidación de las muestras de acrílico, a una temperatura que va de 240 °C a 250 °C durante 25min, este tiempo fue definido después de realizar pruebas iniciales y obtener los mejores resultados de oxidación en dicho intervalo. Posterior a esto, a las madejas se les colocó el producto ionizante y/o catalizador para facilitar el intercambio iónico entre el sustrato textil y la solución de resina con carbón a las cuales fueron sumergidas. Las madejas fueron inmersas en ionizante o catalizador durante 20min para luego pasar a la solución indicada durante 30min (**Anexo 3**). A continuación, en la **Tabla 3** se detallan los productos químicos utilizados en la solución.

Tabla 3*Auxiliares para formulaciones*

Producto	Descripción
Catalizador	Ácido fosfórico
Resina	Patch
Carbón	Carbón activado en polvo

3.5.1. Procedimiento de impregnación

Se preparó 4 recetas con diferentes porcentajes de carbón y dosificaciones de auxiliares. A continuación, en las tablas **Tabla 4**, **Tabla 5**, **Tabla 6** y **Tabla 7** se muestran las dosificaciones para cada receta.

Tabla 4*Formulación 1*

F 1	
Peso	2,5 g
Ionizante	3 g/L
Resina	10 g/L
Carbón	10,20 y 30%

Nota: Se prepararon 3 muestras para receta 1 con dosificaciones de carbón de 10, 20 y 30% respectivamente.

Tabla 5*Formulación 2*

F2	
Peso	2, 5g
Catalizador	3 g/L
Resina	10 g/L
Carbón	30%, 50 y 80%

Nota: Se prepararon 3 muestras para receta 2 con dosificaciones de carbón de 30, 50 y 80% respectivamente.

Tabla 6*Formulación 3*

F3	
Peso	2,5 g
Catalizador	10g/L
Resina	20g/L
Carbón	30%, 50 y 80%

Nota: Se prepararon 3 muestras para receta 3 con dosificaciones de carbón de 30,50 y 80% respectivamente.

Tabla 7*Formulación 4*

F4	
Peso	2,5 g
Catalizador	0 g/L
Resina	30 g/L
Carbón	30%, 50 y 80%

Nota: Se prepararon 3 muestras para receta 4 con dosificaciones de carbón de 30,50 y 80% respectivamente.

Por consiguiente, en las 4 formulaciones las dosificaciones de auxiliares fueron modificadas con el fin de mejorar las propiedades del hilo de acrílico, mientras que el peso de las madejas se mantuvo en todas las recetas. Todas las madejas se sumergieron en la solución de resina con carbón durante 30 minutos, fueron prensadas con la ayuda de un rodillo y posterior a esto, se colocaron en el horno para su carbonización (**Anexo 4**).

3.5.2. Procedimiento de carbonizado

Las madejas fueron colocadas en el horno a una temperatura de 240 a 250 °C para su carbonización durante 35 min. Este proceso se lo realiza con el fin de que los elementos diferentes al carbón como el hidrógeno y el nitrógeno se eliminen de la estructura de la fibra.

Figura 9

Hilo PAC carbonizado



Fuente: Propia.

3.6. Pruebas de laboratorio

Según la norma ISO 2062:2009 para llevar a cabo las pruebas de resistencia a la rotura y elongación de un hilo, se debe estirar una muestra de hilo hasta que este se rompa mediante un dispositivo mecánico conocido como dinamómetro en donde se registran la fuerza de rotura y elongación obtenidas durante el estiramiento. El procedimiento se lo realiza haciendo uso de una tasa constante de extensión del 100 % por minuto, pero se permiten tasas más altas o bajas. Se admiten dos longitudes de medición: generalmente de 500 mm y en ocasiones excepcionales una longitud de 250 mm. Cabe señalar que en esta investigación se utilizó la longitud de medición de 250 mm de hilo.

3.6.1. Prueba de resistencia a la rotura

Para realizar este ensayo inicialmente se configuró el dinamómetro con el tipo de mordazas adecuadas para tomar 20 probetas de hilo de cada una de las madejas debido a que es lo que requiere la norma. Inicialmente se tomó las probetas de hilo en crudo para

posteriormente compararlo con los hilos de las otras formulaciones. En total fueron 240 probetas de hilo carbonizado y 20 del hilo crudo.

3.6.2. Prueba de elongación

Para realizar la prueba de elongación, de la misma forma se configuró el equipo con las mordazas adecuadas y se tomó 20 probetas de hilo para determinar dicha propiedad tal como se muestra en la **Figura 10**. Inicialmente se tomó las probetas de hilo en crudo para posteriormente compararlo con los resultados de las otras formulaciones. En total fueron 240 probetas de hilo carbonizado y 20 del hilo crudo. (Anexo 5)

Figura 10

Prueba de elongación



3.6.3 Prueba de recuperación al doblar

Para llevar a cabo esta prueba se tomó de base la norma ISO 2313- Recuperación de los textiles al Doble, la cual sirve para determinar la recuperación de los pliegues de los textiles midiendo el ángulo de recuperación. Para ello se cortaron 6 probetas de 40 mm de longitud por cada una de las muestras dando, es decir, 18 por formulación dando un total de 72 probetas. Primeramente, la probeta se colocó en el equipo para darle presión con un peso de 10N durante 5 minutos para seguidamente pasar la probeta al siguiente instrumento para

medir el ángulo de recuperación después de haber transcurrido 5 minutos. En la **Tabla 8** se muestran el número de probetas realizadas para cada formulación.

Tabla 8

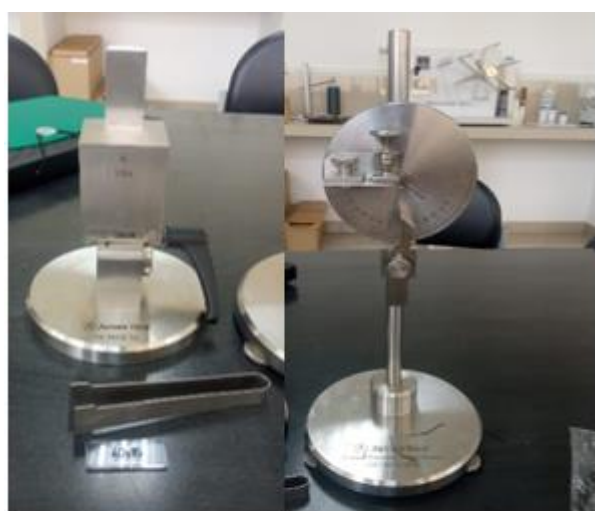
Número de probetas para recuperación al doblar

	Nº de probetas
F0 (hilo crudo)	6 probetas
F1	18 probetas
F2	18 probetas
F3	18 probetas
F4	18 probetas

En la **Figura 11** se muestra el equipo utilizado para realizar la prueba de recuperación al doblar de los hilos de PAC sometidos al proceso similar de las fibras de carbono. Este equipo consta de dos partes importantes: la primera (**a**) posee un peso de 10N que sirve para darle presión al hilo mientras está doblado durante 5 minutos, y la otra parte (**b**) se la utiliza para medir cuánto se ha recuperado el hilo transcurridos 5 minutos.

Figura 11

Equipo de recuperación al doblar



(a)

(b)

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Este capítulo da a conocer los resultados alcanzados en la investigación una vez llevado a cabo los ensayos de laboratorio a cada una de las muestras. Además, los datos que se obtuvieron de las pruebas de resistencia, elongación y recuperación al doblar son tabulados en Excel e introducidos al programa PAST 4 para realizar el análisis estadístico, que mediante gráficos y tablas permiten interpretar de mejor manera los resultados alcanzados, y así determinar cuál de las formulaciones presentadas en el flujograma muestral (**Figura 4**) adquirió mejores propiedades.

4.1. Resultados

En tablas siguientes, se detallan los resultados de cada uno de los ensayos realizados a los hilos, para lo cual, se tomó los datos promedios del total de probetas de los tres ensayos para cada una de las formulaciones. Esto se lo realizó con el fin de resumir la gran cantidad de datos obtenidos en las pruebas y facilitar la interpretación de estos resultados. En donde, para el ensayo de resistencia a la rotura y elongación se tomó 20 probetas de cada concentración de carbón según la norma ISO 2062, siendo 60 probetas por formulación y un total de 240 probetas (datos) usadas para el ensayo. Por otra parte, para el ensayo de recuperación al doblar del hilo se tomaron un total de 78 probetas. En total, se utilizaron 12 datos promedios de cada prueba de laboratorio.

4.1.1 Tabla de resultados de resistencia a la rotura

Una vez llevado a cabo la parte experimental en el laboratorio, se da a conocer la información numérica obtenida en el ensayo de resistencia a la tracción observada en el anexo 5. En la siguiente tabla (**Tabla 9**) se exponen los resultados obtenidos del ensayo realizado al hilo de acrílico con cada una de las formulaciones descritas anteriormente.

Tabla 9

Análisis de resultados de la prueba de resistencia a la tracción.

Formulación	% Carbón	Fuerza máxima (cN)
F0	0	548,05
F1	10	422,02
F1	20	405,47
F1	30	457,62
F2	30	496,51
F2	50	445,91
F2	80	480,02
F3	30	505,63
F3	50	517
F3	80	500,27
F4	30	484,87
F4	50	501,84
F4	80	503,43

4.1.2 Tabla de resultados de elongación

En la **Tabla 10** se exponen los resultados alcanzados en el dinamómetro acorde a la norma ISO 2062 para la prueba de elongación de los hilos de acrílico conforme a cada una de las formulaciones propuestas.

Tabla 10

Análisis de resultados de la prueba de elongación.

Formulación	% Carbón	Extensión (%)
F0	0	27,26
F1	10	4,96
F1	20	4,08
F1	30	5,52
F2	30	5,32
F2	50	4,67
F2	80	6,06
F3	30	6,71
F3	50	6,28
F3	80	6,03
F4	30	4,94
F4	50	5,75
F4	80	6,19

4.1.3 Tabla de resultados recuperación al doblez

Con base a la norma ISO 2313-Recuperación de los textiles al Doblez, se realizó el ensayo al hilo PAC carbonizado tal como se observa en la **Tabla II**, en el cual se determinó el ángulo de recuperación de los hilos de cada formulación con el fin de determinar en cuál de ellas el hilo adquirió mayor grado de recuperación al doblez con respecto al hilo de PAC crudo.

Tabla 11

Análisis de resultados de la prueba de recuperación al doblez.

Formulación	% Carbón	Ángulo de Recuperación Doblez
F0	0	140
F1	10	147
F1	20	149
F1	30	150

Formulación	% Carbón	Ángulo de Recuperación Doble
F2	30	136
F2	50	142
F2	80	148
F3	30	144
F3	50	149
F3	80	155
F4	30	149
F4	50	150
F4	80	152

4.1.4. Tabla general de resultados

Una vez concluidas las pruebas en el laboratorio es importante generalizar los datos con el fin de realizar un análisis global de ellos y tener una mejor interpretación en conjunto. En la siguiente tabla, se exponen los resultados logrados en las pruebas de: resistencia, elongación y recuperación al doblez presentados de forma general.

Tabla 12

Tabla general de las pruebas de resistencia, elongación y recuperación al doblez.

	Formulación	Fuerza máxima (cN)	Extensión (%)	Ángulo de Recuperación Doble
F0	0i-0c-0r	548,05	27,26	140
F1	3i-10c-10r	422,02	4,96	147
F1	3i-20c-10r	405,47	4,08	149
F1	3i-30c-10r	457,62	5,52	150
F2	3a-30c-10r	496,51	5,32	136
F2	3a-50c-10r	445,91	4,67	142
F2	3a-80c-10r	480,02	6,06	148
F3	10a-30c-20r	505,63	6,71	144
F3	10a-50c-20r	517	6,28	149
F3	10a-80c-20r	500,27	6,03	155
F4	0a-30c-30r	484,87	4,94	149
F4	0a-50c-30r	501,84	5,75	150
F4	0a-80c-30r	503,43	6,19	152

4.2 Discusión de resultados

Los datos recopilados en los ensayos de laboratorio se tabularon para su análisis correspondiente, para lo cual, mediante el programa Past 4 se examinó la normalidad de los datos y la varianza de la tabla general de resultados a fin de asegurar la confiabilidad de los datos. Además, se presentan los gráficos estadísticos que ayudan a analizar de forma concisa los resultados alcanzados en la investigación realizando una comparación entre ellos.

4.2.1 Normalidad de los datos

Mediante la aplicación PAST 4 (**Figura 12**) se detalla el análisis de los datos alcanzados en los tres ensayos de laboratorio especificados en la **Tabla 12**. Mediante una evaluación de la normalidad de los datos (P) se comprobó la confiabilidad de los resultados, en donde se puede observar que de acuerdo con los métodos Jarque-Bera JB, Lilliefors L, Anderson-Darling A y Shapiro- Wilk W se demuestra que los valores conseguidos son mayores a 0,05, es decir, ($P > 0,05$). Con lo cual, se ha comprobado que la fiabilidad de los datos es del 95% y por tanto los resultados obtenidos en la investigación son confiables.

Figura 12

Normalidad de los datos de los ensayos de laboratorio.

Tests for normal distribution			
	Fuerza máxima (cN)	Extensión (%)	Ángulo de RD
N	13	13	13
Shapiro-Wilk W	0,9418	0,4273	0,9699
p(normal)	0,4804	2,979E-06	0,893
Anderson-Darling A	0,4342	3,277	0,214
p(normal)	0,254	9,087E-09	0,8093
p(Monte Carlo)	0,2668	0,0001	0,831
Lilliefors L	0,1792	0,4561	0,1708
p(normal)	0,2969	0,0001	0,3685
p(Monte Carlo)	0,3027	0,0001	0,3798
Jarque-Bera JB	0,6536	53,39	0,3978
p(normal)	0,7212	2,55E-12	0,8196
p(Monte Carlo)	0,5764	0,0001	0,7782

4.2.2 Análisis de la varianza

La evaluación estadística realizada en PAST 4 muestra la variación que existen entre los datos obtenidos en cada uno de los ensayos realizados, es decir, que tan dispersos se encuentran los datos, dando a conocer información importante como la desviación estándar, coeficiente de variación, la media, varianza, valor máximo, mínimo, entre otros.

Figura 13

Análisis de varianza de la resistencia a la rotura, elongación y recuperación al dobléz

Univariate statistics			
	Fuerza máxima (N)	Extensión (%)	Ángulo de RD
N	13	13	13
Min	405,47	4,08	136
Max	548,05	27,26	156
Sum	6268,64	93,77	1915
Mean	482,2031	7,213077	147,3077
Std. error	11,00877	1,683053	1,582697
Variance	1575,51	36,82469	32,5641
Stand. dev	39,69269	6,068335	5,706497
Median	496,51	5,75	148
25 prcnil	451,765	4,95	143
75 prcnil	504,53	6,235	151
Skewness	-0,5763689	3,510798	-0,4118427
Kurtosis	0,01396478	12,51669	-0,0424118
Geom. mean	480,6443	6,211322	147,2046
Coeff. var	8,23153	84,12963	3,873862

En la **Figura 13** se observan los valores proporcionados por el software después del análisis de datos realizado, de los cuales, los valores con mayor relevancia que se tomó para la investigación son el coeficiente de variación, la media y la desviación estándar de las tres pruebas de laboratorio realizadas. En donde el coeficiente de variación (CV) con mayor valor numérico es el de la prueba de elongación con un (CV= 84,129), mientras que las otras dos pruebas se observa un CV con un valor menor, es decir, resistencia (CV=8,231) y recuperación al dobléz un (CV= 3,873). Por lo tanto, se observa que dentro de este parámetro existe una cierta dispersión de datos entre las tres pruebas. Por otra parte, para la desviación estándar (DS) el valor más alto es el de la prueba de resistencia con DS=39,69, sin embargo, la desviación estándar entre la prueba de elongación y recuperación al dobléz se muestran casi similares con una mínima diferencia. Finalmente, el promedio del ángulo de

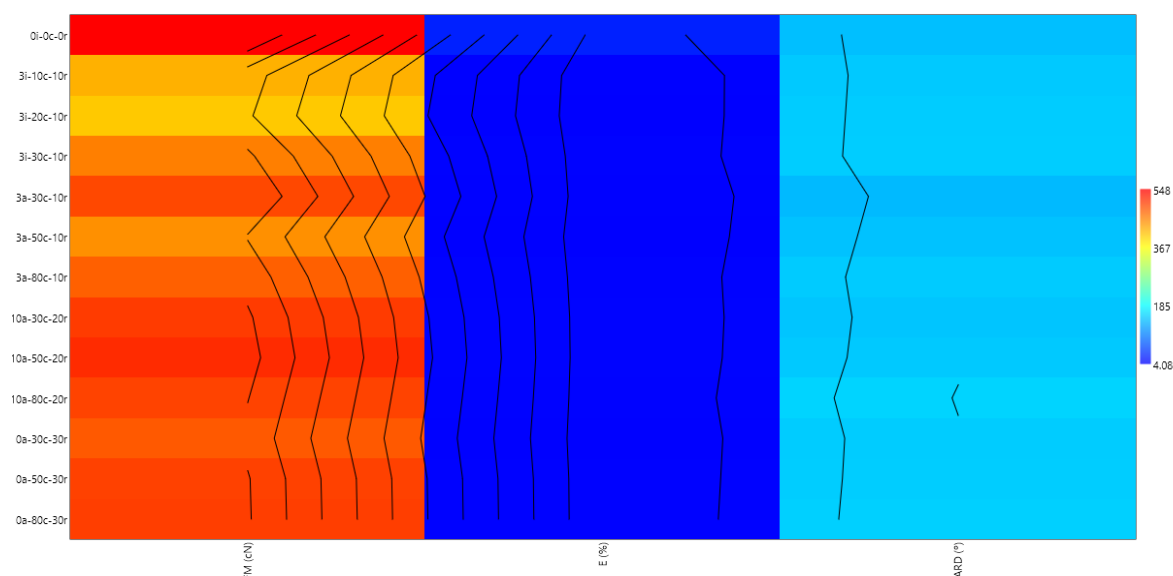
recuperación al doblar es de 148° lo que indica que el hilo carbonizado presenta una buena recuperación al doblar en comparación al hilo crudo.

4.2.3 Análisis general de resultados en resistencia a la rotura, elongación y recuperación al doblar

Los resultados obtenidos se muestran de forma gráfica (**Figura 14**) para su análisis general de las tres pruebas realizadas en laboratorio mediante el uso del software Past 4. En donde el eje X representa las pruebas de resistencia a la rotura (Fuerza Máxima), elongación (Extensión) y el ángulo de recuperación al doblar (ARD), mientras que el eje Y representa las muestras de cada formulación presentadas en la tabla general de resultados.

Figura 14

Gráfico general Matriz Plot pruebas de resistencia, elongación y recuperación al doblar.



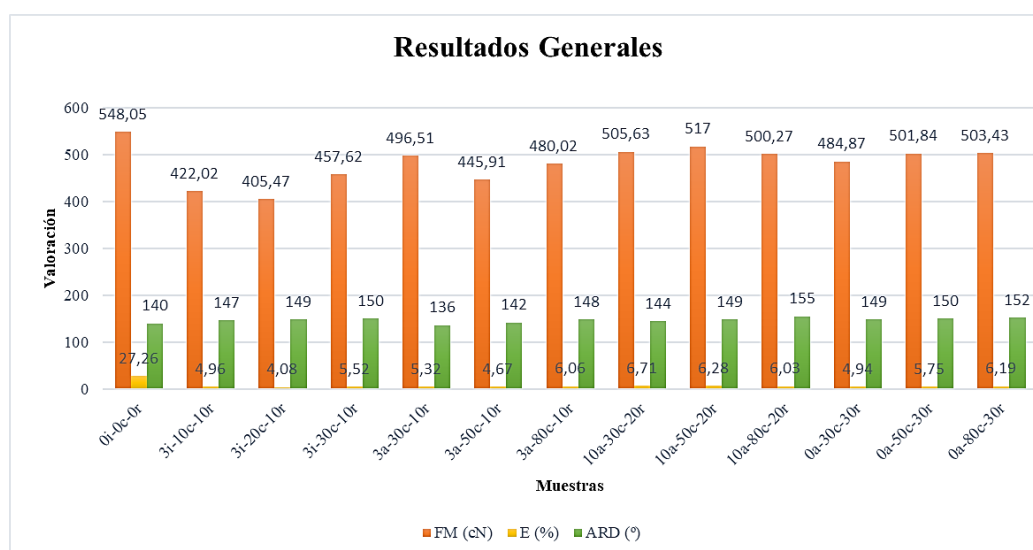
Nota. Se detalla el significado de las siglas: FM (Fuerza máxima en cN), E (Extensión, %) y ARD (Ángulo de Resistencia al Doblar), 0i-0c-0r (i: ionizante, c: carbón, r: resina), 3a-30c-10r (a: ácido fosfórico, c: carbón, r: resina).

En el gráfico Matrix Plot se observa la distribución de los datos obtenidos en las 12 muestras realizadas y la muestra sin acabado (muestra 0). En donde se observa que en la prueba de resistencia (FM, cN) la muestra sin tratar que no contiene ionizante, ácido

fosfórico, carbón ni resina presenta mayor resistencia a la rotura en comparación a todas las demás muestras. Cabe señalar que, en las muestras que contienen ácido fosfórico, carbón y resina, se observa uniformidad de los datos debido a que poseen un color similar, es decir, la propiedad de resistencia a la rotura se mantiene ligeramente regular en estas muestras a diferencia de las probetas que contienen ionizante, carbón y resina pues su resistencia se expone menor. Por otra parte, en la prueba de elongación (E, %) los datos de todas las muestras se observan de un color semejante, es decir que, la elongación se mantiene uniforme en todas las probetas a diferencia de la muestra 0 que posee un color más claro. Esto se asume a que existe una dispersión de los datos en este ensayo debido que los valores numéricos obtenidos son diferentes al resto. Finalmente, en la prueba de recuperación al doblar (ARD) existen notables diferencias entre las muestras, en donde la que presenta mejor recuperación al doblar es la de (10c-80c-20r) pues es las que más resaltan del resto. Por el contrario, las demás muestras poseen un ángulo de recuperación menor siendo el más uniforme el ángulo de las tres últimas probetas, es decir, la formulación 4.

Figura 15

Diagrama de barras de la tabla general de resultados.



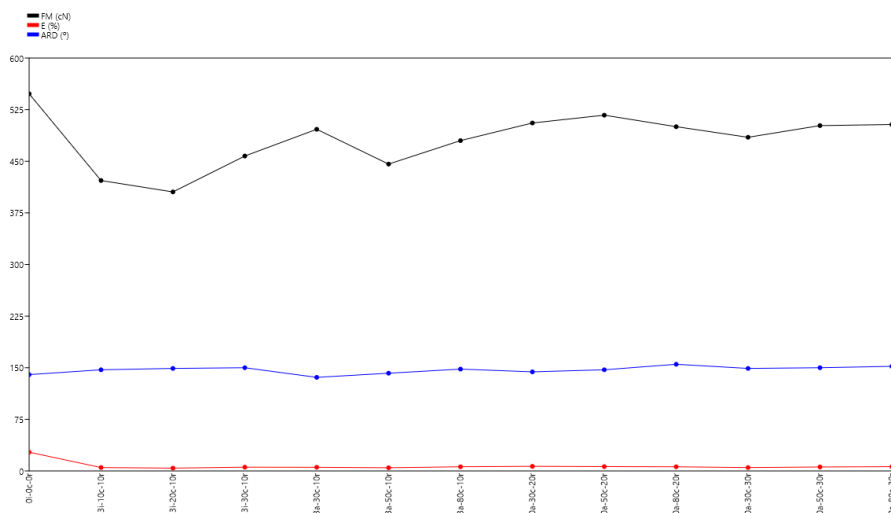
Nota. Se detalla el significado de las siglas: FM (Fuerza máxima en cN), E (Extensión, %), ARD (Ángulo de Resistencia al Doblar, °), i (ionizante), a (ácido fosfórico), c (carbón en polvo) y r (resina).

En la **Figura 15** se presentan los datos de las tres pruebas agrupadas para cada una de las muestras, representando en sentido horizontal las 13 muestras elaboradas y en sentido vertical la valoración numérica obtenida en cada ensayo. Se observa que muestra 0 (0i/a-0c-0r) expone una resistencia a la rotura de 548,05 cN, elongación 27,26% y un ángulo de recuperación al doblar de 140°, mientras que en la formulación 1 que posee ionizante, carbón y resina la mejor muestra es la que contiene 3i-30c-10r pues presenta una resistencia de 457,62 cN, elongación 5,52% y ARD de 150°. En la formulación 2 que contiene ácido fosfórico, carbón y resina, se aumentó el porcentaje de carbón y se mantuvo las demás dosificaciones, la muestra con mejor resultado es (3a-80c-10r) ya que presenta 480,02 cN de resistencia, 6,06% de elongación y 148° de ángulo de recuperación. En el caso de la formulación 3 en la cual se subieron las dosificaciones de ácido, carbón y resina, la muestra más sobresaliente es 10a-50c-20r que exhibe una resistencia de 517 cN, 6,28% de elongación y ángulo de 149°. Finalmente, para la formulación 4 que no contiene ácido, los porcentajes de carbón se mantienen y la dosificación de resina aumentó, la mejor muestra es la de (0a-80c-30r) con una resistencia de 503,43, elongación de 6,19% y 152 de ángulo de recuperación. Con lo expuesto anteriormente, se evidencia que al colocar ionizante (intercambiador iónico), carbón y resina, el hilo de acrílico perdió resistencia y elongación, pero mejoró su ángulo de recuperación al doblar en comparación a la muestra 0. Al colocar ácido fosfórico (catalizador), aumentar el porcentaje de carbón y mantener la dosificación de resina el hilo ganó resistencia y elongación, pero desmejoró su recuperación al doblar en comparación a la formulación 1. Mientras que, al aumentar las dosificaciones de ácido y resina, manteniendo los porcentajes de carbón el hilo ganó resistencia y elongación, y el ángulo de recuperación se mantuvo similar al anterior. Al incrementar la cantidad de resina y no usar ácido, el hilo adquiere mejor recuperación al doblar, aunque las propiedades de

resistencia y elongación disminuyeron. Con lo cual se asume que la formulación 3 es la que mejor resultados ofreció en comparación a F0.

Figura 16

Gráfico general Graph (line+points) de los resultados.



Nota. Se detalla el significado de las siglas: FM (Fuerza máxima en cN), E (Extensión, %), ARD (Ángulo de Resistencia al Doblez).

En el gráfico general (**Figura 16**) se expone la tendencia que presentan cada una de las pruebas de acuerdo con los productos y dosificaciones utilizadas. Para lo cual se visualiza que inicialmente el hilo sin tratar presenta un valor numérico alto en sus propiedades y a medida que se adicionan los productos la tendencia va cambiando. Al colocarle ionizante, carbón y resina en cantidades pequeñas tiende a disminuir sus propiedades en comparación con el hilo que contiene ácido, carbón y resina pues este tiende a subir progresivamente la propiedad de resistencia a la rotura conforme se aumenta las dosificaciones de los productos, pero las propiedades de elongación y recuperación al doblar se mantienen uniformes en todos los puntos. Esto se debe a que en la fabricación de fibra de carbón la resina se endurece en presencia del catalizador facilitando la unión entre la resina y la fibra (Dér et al., 2021). Esto contribuye a que las propiedades del hilo mejoren, ya que al someter al hilo en un baño ácido se logra que la parte superficial de la fibra se vuelva rugosa favoreciendo la unión entre la fibra y el producto con el que se ha tratado la fibra (Sáenz, 2021).

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 Conclusiones

- Mediante la búsqueda y recopilación de fuentes bibliográficas, se obtuvo información de gran relevancia acerca del procedimiento de obtención de la fibra de carbono proveniente de poliacrilonitrilo (PAN), el cual sirvió de guía para la investigación en cuanto a la parte práctica del proceso de oxidación, carbonización y tratamiento del hilo de acrílico utilizado.
- Después del proceso de oxidación, impregnación y carbonizado del hilo de acrílico, se evidenció que este mantuvo la propiedad de resistencia a la rotura pues existió mínima diferencia entre los valores obtenidos (**Tabla 12**), por otra parte, perdió elongación ya que los valores no superaron a la muestra 0, pero sí presentó mejora en su ángulo de recuperación al doblar además de adquirir más flexibilidad que el hilo crudo.
- Se realizaron los ensayos de laboratorio a las 12 muestras obtenidas para determinar las propiedades de resistencia y elongación del hilo según la ISO 2062, y la recuperación al doblar según la norma ISO 2313. Concluyendo que, las muestras que poseen ácido fosfórico (catalizador) presentan mejores propiedades de resistencia,

elongación y ángulo de recuperación al doblar en comparación a las muestras que poseen ionizante, ya que los valores tienden a bajar en relación con la muestra 0.

- Se comparó entre sí las 12 muestras obtenidas de las 4 formulaciones realizadas, en donde la probeta que presenta mayor resistencia a la rotura con 517 cN es la que contiene 10g/L de ácido fosfórico, 50% de carbón y 20 g/L de resina, la que presenta mejor elongación (6,71%) es la probeta de 10g/L de ácido fosfórico, 30% carbón y 20g/L de resina y la de mejor ángulo de recuperación al doblar es la de 10g/L de ácido fosfórico, 80% de carbón y 20g/L de resina con 155°. Concluyendo que, la formulación con mejores resultados es la número 3 debido a que las tres muestras con las mejores propiedades pertenecen a esta y por tanto es la que mejor resultado ofreció.
- Mediante el uso de los programas estadísticos, se logró tabular y graficar los resultados alcanzados en la investigación demostrando que los datos son normales, es decir, están dentro del 95% de confiabilidad pues según los métodos Jarque-Bera JB, Lilliefors L, Anderson-Darling A y Shapiro- Wilk W los valores son ($P > 0,05$), por tanto, los datos son fiables pese a que presentaron una ligera variación en la prueba de elongación.

5.2 Recomendaciones

- Se sugiere buscar información en fuentes bibliográficas confiables, así como hacer uso de las plataformas de investigación que la universidad ofrece a los estudiantes a través de la biblioteca virtual como es Scopus, Science Direct, Springer, entre otros, con el fin de obtener información veraz sobre cualquier tema de interés.
- Es importante revisar la temperatura del horno durante el proceso de oxidación y carbonización del hilo debido a que si se trabaja con temperaturas mayores a 300° C

el hilo de acrílico debido a sus propiedades termoplásticas tiende a fundirse por lo cual se debe controlar el tiempo de exposición en el horno.

- Es fundamental realizar la oxidación del hilo de acrílico debido a que este paso ayuda a que los elementos que no son carbono salgan del compuesto químico haciendo que las moléculas de carbono se alineen u ordenen a lo largo de la fibra proporcionándole resistencia a la fibra.
- Se debe controlar la velocidad de carbonización del hilo, pues según la bibliografía indica que las altas velocidades de calentamiento durante la carbonización introducen defectos en las CF, mientras que las bajas velocidades de carbonización provocan la pérdida de grandes cantidades de nitrógeno al principio del proceso, lo que de hecho es preferible para lograr una alta resistencia a la tracción (Frank et al., 2017).
- Se recomienda hacer el tratamiento de la superficie del hilo en un baño o solución ácida pues según estudios anteriores acerca del procesamiento de las fibras de carbono se ha demostrado que para conseguir una buena unión entre la fibra y la resina se introduce a la fibra a un baño de soluciones químicas que puede ser alcalina o ácida (Sáez, 2021).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Agudelo, B. (2017). Estadarización de proceso de producción de crabón activado por activación física a apartir de cuesco de palma a escala industrial. *FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA*, 3(1), 87.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.106><https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114422><http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2008.11.016><http://www.ansr.pt/Estatisticas/RelatoriosDeSinistralidade/Pages/default.aspx>[http://dx.doi.org/10.1016/j.](http://dx.doi.org/10.1016/j.1016/j.)
- Cegarra, J. (1959). *Fundamento, posibilidades y aplicaciones de los acabados con resinas sobre las fibras textiles.* 22.
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/5456/Article02.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chilón, L. (2018). *Aplicación de resinas exentas de formaldehido en tejido de punto para obtener prendas con mayor valor agregado.*
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Constitución de la República del Ecuador.* Asamblea Nacional Constituyente. https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf
- Dér, A., Dilger, N., Kaluza, A., Creighton, C., Kara, S., Varley, R., Herrmann, C., & Thiede, S. (2021). Modelling and analysis of the energy intensity in polyacrylonitrile (PAN) precursor and carbon fibre manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 303, 127105. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.127105>
- Frank, E., Ingildeev, D., & Buchmeiser, M. R. (2017). High-performance PAN-based carbon fibers and their performance requirements. *Structure and Properties of High-*

Performance Fibers, 7–30. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100550-7.00002-4>

Ge, L., Zafar, T., Wong, D., & Park, S. S. (2022). Manufacturing of Pitch Based Carbon Fibers through Microwave Treatments. *Manufacturing Letters*, 33, 95–102.

<https://doi.org/10.1016/J.MFGLET.2022.07.046>

Gómez, C., & De León, E. (2016). *Método comparativo*. [http://eprints.uanl.mx/9802/1/Estudio Comparado.pdf](http://eprints.uanl.mx/9802/1/Estudio%20Comparado.pdf)

Google Maps. (2023). *Estadio Universidad Técnica del Norte*.

<https://www.google.com.ec/maps/place/Estadio+Universidad+Técnica+del+Norte/@0.3789184,->

[\[78.1220554!16s%2Fg%2F11bvtf7fpv!3m5!1s0x8e2a3b4f6\]\(https://www.google.com.ec/maps/place/Estadio+Universidad+Técnica+del+Norte/@0.3789184,-78.1220554!16s%2Fg%2F11bvtf7fpv!3m5!1s0x8e2a3b4f6\)](https://www.google.com.ec/maps/place/Estadio+Universidad+Técnica+del+Norte/@0.3789184,-78.1267807,17z/data=!4m15!1m8!3m7!1s0x8e2a3b4f62b37d23:0xea99ad1313c1286b!2sEstadio+UTN,+Ibarra!3b1!8m2!3d0.3790498!4d-</p></div><div data-bbox=)

Huang, X. (2009). Fabrication and properties of carbon fibers. *Materials*, 2(4), 2369–2403.

<https://doi.org/10.3390/ma2042369>

INEN. (2014). *NTE INEN-ISO 2062 Textiles. Hilos arrollados. Determinación de la fuerza o carga de rotura y del alargamiento en la rotura de los hilos individuales con un equipo de velocidad constante de alargamiento (CRE) (ISO 2062:2009, IDT)*.

https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_iso_2062extracto.pdf

James Heal. (2014). *Dinamómetro Titan 5 Universal Strength Tester*. <https://login.james-heal.co.uk/news/the-new-titan5>

Jestin, S., & Poulin, P. (2014). Wet Spinning of CNT-based Fibers. *Nanotube Superfiber Materials: Changing Engineering Design*, 167–209. [https://doi.org/10.1016/B978-1-](https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-7863-8.00006-2)

[4557-7863-8.00006-2](https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-7863-8.00006-2)


- Li, T. T., Fu, X., Zhang, X., Shiu, B. C., Lin, J. H., & Lou, C. W. (2022). Preparation and characterization of a novel carbon/PAN/PPy@Zn yarn electrode. *Surfaces and Interfaces*, 33, 102274. <https://doi.org/10.1016/J.SURFIN.2022.102274>
- Lopera, J. D. (2010). El metodo analitico como metodo natural. *Nomadas*, 1(25), 1–28. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=18112179017>
- Minaya Pereyra, M., Cari Rodríguez, P. W., Garate Quispe, J. S., & Achata, L. R. (2020). Carbón activado de residuos maderables de shihuahuaco (*Dipteryx micrantha*), y su aplicación en decoloración de aceite de castaña (*Bertholletia excelsa*). *Ciencia Amazónica (Iquitos)*, 8(1), 1–16. <https://doi.org/10.22386/ca.v8i1.277>
- Moon, S. C., & Farris, R. J. (2009). Strong electrospun nanometer-diameter polyacrylonitrile carbon fiber yarns. *Carbon*, 47(12), 2829–2839. <https://doi.org/10.1016/J.CARBON.2009.06.027>
- Murillo, J. (2010). *Métodos de investigación de enfoque experimental. Asignatura: Métodos de investigación en Curso: 3º Educación Especial*. <https://www.postgradoune.edu.pe/pdf/documentos-academicos/ciencias-de-la-educacion/10.pdf>
- Ortiz, A. (2006). “ *Obtención y estudio de fibras de carbón de módulo medio a partir de fibras de poliacrilonitrilo (PAN)*” [Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C.]. https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/1036/1/PMP_M_Tesis_2006_Alejandro_Ortiz_Fernandez.pdf
- Qin, Y. (2016). A brief description of textile fibers. *Medical Textile Materials*, 23–42. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100618-4.00003-0>

- Rolando, P., Rodríguez, C., Gómez, A., García, A., & González, C. L. (2013). El Carbón Activado, un material adsorbente. *Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos,"* 1, 16.
- Sáenz, A. (2021). *La fibra de carbono : Más allá del refuerzo estructural* (Issue Plan 2014) [Universitat Politècnica de Catalunya]. [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/343558/Rosell Sáenz de Villaverde_Adrià_TFG_La fibra de carbono.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/343558/Rosell_Sáenz_de_Villaverde_Adrià_TFG_La_fibra_de_carbono.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Sarioğlu, E., Gültekin, E., & Karakan Günaydin, G. (2019). Effect of some process parameters on acrylic yarns and knitted fabrics made of those yarns. *Tekstil ve Muhendis*, 26(115), 271–280. <https://doi.org/10.7216/1300759920192611507>
- Tabango, M. (2015). “*Diseño y construcción del telar maya para la elaboración de cubrecamas utilizando hilo de acrílico*” [UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE]. [http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/4346/1/04 DTM 009 TESIS.pdf](http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/4346/1/04_DTM_009_TESIS.pdf)
- Terra, B. M., de Andrade, D. A., & de Mesquita, R. N. (2021). Characterization of polyacrylonitrile thermal stabilization process for carbon fiber production using intelligent algorithms. *Polymer Testing*, 100, 107238. <https://doi.org/10.1016/J.POLYMERTESTING.2021.107238>
- Theurer, M. (2016). Las fibras de carbono como una alternativa para reforzamiento de estructuras. *Ingeniería*, 20(1), 57–62. <https://www.redalyc.org/pdf/467/46750927006.pdf>
- Uribe, C., Roca, E., Brañez, M., Álvarez, J., Román, L. E., Maurtua, D., Solís, J. L., & Gómez, M. M. (2016). FUNCIONALIZACIÓN DE TEXTILES DE ALGODÓN CON NANOPARTÍCULAS DE ZnO₂. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 82(2). <https://doi.org/10.37761/rsqp.v82i2.126>

- Yan, H., Hu, D., Dai, Y., Zhang, X., Yuan, H., Li, W., Huang, X., & Tan, Y. (2023). Self-assembly of carbon nanomaterials onto carbon fiber to improve the interfacial properties of epoxy composites. *Journal of Materials Science and Technology*, *161*, 44–49. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2023.04.004>
- Zhong, Y., Wang, T., Yan, M., Huang, X., & Zhou, X. (2022). A one-step hot pressing molding method of polyacrylonitrile carbon fibers: influence on surface morphology, microstructure and mechanical property. *Journal of Materials Science*, *57*(3), 2277–2291. <https://doi.org/10.1007/s10853-021-06772-7>
- Zhu, S., Yang, Y., Feng, Z., Wang, Y., Pan, Y., Gao, J., Guo, L., & Zuo, X. (2016). Effect of moisture on the measured tensile strength of polyacrylonitrile carbon fibers. *Journal of Materials Science*, *51*(5), 2371–2379. <https://doi.org/10.1007/s10853-015-9546-3>

ANEXOS

Anexo 1. Ficha técnica de la Resina PATCH



L2G024

RESINA PATCH

INFORMACION TECNICA

RESINA PATCH Es una resina especial para el encolado de solapas en forma de parche piezas realizadas en artículos de pantalones vaqueros.

PROPIEDADES

Apariencia	Semi pastosa
Color	blanco
Olor	característico
Naturaleza iónica:	Aniónico
pH	6.0 – 8.0

CARACTERISTICAS

- Está lista para usar y fácil de aplicar.
- Agrega mayor valor a la pieza

L2GD24



RESINA PATCH

MODO DE USO

Aplique con una brocha, un cepillo y / o una espátula;

- 1- Pantalones vaqueros del corte del tejido, PT o mezclas sintéticas de los mismos
- 2- Aplicar con un cepillo, espátula o cepillo y RESINA PATCH
- 3- Deje curar al aire durante al menos 2 horas
- 4- Cortar el PARCHE de acuerdo con el formato raída o rasgado y deltnado
- 5- Es necesario utilizar un tipo de prensa y ser convexa a temperatura 180° C
- 6- Prensado de 1 minutos cada una parchar y presionar con suficiente presión
- 7- Partes aligeradas, el uso de tela blanca es necesario sobre la pieza a sin amarilleamiento se produce en el mismo.
- 8- Dejar que la pieza de trabajo se enfríe por completo, a continuación, los ensayos de adhesión
- 9- El lavado puede aplicar a la corrosión, a la neutralización y el ablandamiento después de la unión al parche

PRECAUCIONES

- Mantener alejado de los niños
- En caso de ingestión, beber agua o leche poco a poco
- En caso de contacto con los ojos, enjuague con agua durante 10 minutos
- En ambos casos buscar atención médica
- No reutilizar el envase para fines alimenticios
- Debe ser almacenado en un lugar fresco, seco y que no están sujetos a la luz solar directa. Temperatura a 40 °C

La información contenida en esta ficha técnica es de carácter general y se debe evaluar en cada caso específico, por lo cual no representa un compromiso de nuestra parte.



Anexo 2. Ficha Técnica del carbón activado



1.- CARACTERÍSTICAS

Este carbón activado granular es diseñado específicamente para la recuperación de cianuros de oro y plata en circuitos de recuperación de este metal. Se fabrica a partir de concha de coco, materia prima con la que se obtiene la máxima dureza disponible en el mercado. Esto es fundamental ya que se minimiza la erosión del carbón, evitando así, pérdidas valiosas del producto adsorbido. Tiene una gran área superficial compuesta por microporos cuyo tamaño es el apropiado para retener los complejos metálicos mencionados.

2.- PROPIEDADES

Parámetros	Especificaciones	Método de Prueba
Base	Carbón de Cáscara de Coco	
Apariencia	Granulo Negro e Irregular	
Tamaño de Partícula *Tamaño Máximo (+3.5mm) *Tamaño Mínimo (-1.7mm)	Malla 6x12 3% (Máx.) 1% (Máx.)	ASTM D2862
Valor de Yodo	1150 mg/gm (Mín.)	ASTM D4607
CTC	60% (Mín.)	ASTM D3467
Densidad Aparente	0.490 - 510 gm/cc	ASTM D2854
Dureza	98% (Mín.)	ASTM D3802
Humedad	5% (Máx.)	ASTM D2867
Ceniza	3% (Máx.)	ASTM D2866
pH	9-11	ASTM D3838
Plaquetas	7% (Máx.)	
Tamaño medio de Partícula	2.5 mm (Mín.)	

3.- ESPECIFICACIONES

Empaque

El producto es empaquetado en súper sacos de 500 kg neto de contenido.

Condiciones de Manejo y almacenamiento

Debe evitarse el contacto del producto con oxidantes fuertes, como ozono, oxígeno líquido, y permanganato de potasio. Almacénese en lugar seco y libre de solventes

Biodegradable

El carbón activado de origen vegetal es un producto orgánico y totalmente biodegradable; el producto también puede ser reutilizado después de un proceso de reactivación térmica con vapor.







Precauciones

El Carbón Activado no es un producto peligroso; sin embargo, cuando se encuentra pulverizado debe utilizarse protección respiratoria y gafas de seguridad.


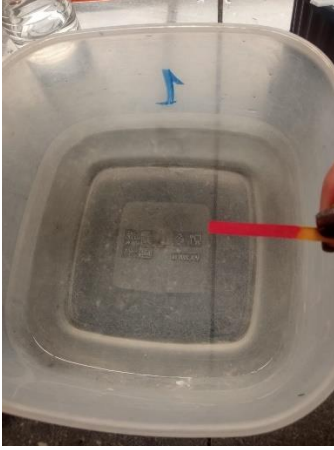




4.- APLICACIONES

Recuperación de metales preciosos, incluyendo extracción en pilas (Heap Leach), carbón en pulpa (CIP) y carbón en lixiviación (CIL).






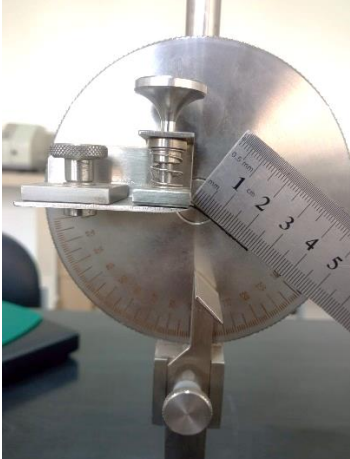
Anexo 3. Proceso de oxidación del hilo

<p>A. Pesar las madejas de hilo.</p>	<p>B. Calentar el horno a 240-250 °C.</p>
	
<p>C. Colocar las muestras en la parrilla de forma cruzada y con tensión.</p>	<p>D. Colocar la parrilla en el horno y dejar oxidar durante 25 minutos.</p>
	
<p>E. Sacar del horno y extraer los hilos de los sujetadores de la parrilla.</p>	<p>F. Dejar reposar la muestra durante 5 minutos y continuar con el proceso.</p>
	 <p>S</p>

Anexo 4. Preparación de solución de carbón con resina y carbonización del hilo.

<p>A. Pesar las dosificaciones de ácido, ionizante, resina y carbón</p>	<p>B. Colocar la madeja oxidada en la solución de ionizante o ácido fosfórico durante 20 min</p>
	
<p>C. Sumergir la madeja en la solución de resina con carbón en 20ml de agua durante 30 min</p>	<p>D. Exprimir las madejas con la ayuda de un rodillo y colocar el hilo en la parrilla de forma cruzada y con tensión.</p>
	
<p>E. Colocar en el horno para su carbonización durante 35 minutos</p>	<p>F. Sacar del horno y cuidadosamente extraer la madeja de los sujetadores de la parrilla.</p>
	

Anexo 5. Pruebas de laboratorio

<p>A. Cortar las probetas de 25 centímetros para las pruebas de resistencia y elongación.</p>	<p>B. Colocar en las mordazas del dinamómetro una por una las 20 probetas que solicita la norma ISO 2062.</p>
	
<p>C. Obtener los datos de los dos ensayos de todas las muestras.</p>	<p>D. Para la prueba de recuperación al doblé se corta probetas de 40 mm y se coloca bajo un peso de 10N durante 5min.</p>
	
<p>E. Se coloca la probeta en el instrumento de medición del ángulo de recuperación al doblé.</p>	<p>F. Transcurridos 5 minutos se procede a verificar el ángulo que logró recuperarse.</p>
	

Anexo 6. Certificado de uso de laboratorio



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
LABORATORIO DE PROCESOS TEXTILES DE LA CARRERA DE
TEXTILES



Ibarra, 14 de junio del 2023

CERTIFICADO DE LABORATORIO

Yo, **MSc. Fausto Gualoto M.** en calidad de responsable del laboratorio de procesos textiles de la Carrera de Textiles:

CERTIFICO

Que la señorita **MOLINA MARTÍNEZ CRISTINA ELIZABETH**, portadora de la cedula de ciudadanía N° 1004479257, ha realizado ensayos de laboratorio referentes al Trabajo de Titulación, con el tema: **"CARACTERIZACIÓN DEL HILO POLIACRILONITRILO (PAN) INCORPORANDO CARBÓN ACTIVADO EN POLVO Y RESINA"** los equipos utilizados en el laboratorio son:

- **DINAMÓMETRO TITAN 5 MODELO 1410- ISO 2062:2009**
Determinación de la fuerza de rotura y alargamiento a la rotura. Hilados en paquetes.
- **EQUIPO DE RECUPERACIÓN AL DOBLEZ-ISO 2313-Recuperación de los textiles al Doblez.**

Además, se le ayudó con las asesorías necesarias para cumplir a cabalidad la metodología establecida en cada una de las normas.

Atentamente:



MSc. GUALOTO FAUSTO M.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE PROCESOS TEXTILES – CTEX