



## PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

### I. Título

**CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE LOS ELASTÓMEROS DE POLIURETANO SINTETIZADOS CON COMPUESTOS DE BASE BIOLÓGICA REFORZADOS CON NANOPARTÍCULAS INORGÁNICAS**

### II. Resumen del Proyecto de Tesis

Se obtendrá un elastómero de poliuretano conductor eléctrico (antiestático) y resistente al desgaste, elaborado a partir de compuestos de base biología y nanopartículas inorgánicas reforzantes. Estos composites serán elaborados con diferentes tipos de nanopartículas inorgánicas, con el objetivo de estudiar la efectividad de las nanopartículas inorgánicas para mejorar tanto la resistencia al desgaste como la conductividad eléctrica. La obtención de los elastómeros será a través del método de dos etapas (prepolímeros), donde las nanopartículas serán dispersadas mecánicamente en el prepolímeros, el cual será endurecido con un curativo. La caracterización de las conductividades eléctricas y resistencia al desgaste de los elastómeros obtenidos serán realizados bajo normas ASTM. Este trabajo de investigación pretende contribuir al desarrollo industrial sostenible de nuestro país. Todo el trabajo de investigación se realizará en los laboratorios del Centro de Investigaciones Tribológicas (CITC) de la Empresa Pankarana S.A.C. ubicada en el distrito de Ventanilla del Callo.

### III. Palabras claves (Keywords)

Bio-poliuretano, conductividad eléctrica, desgaste, nanopartículas.

### IV. Justificación del proyecto

La economía circular está ganando cada vez más atención en todo el mundo como un medio para reducir los impactos ambientales negativos producidos por la economía lineal, donde los productos después de ser usados son desechados. En este marco, es importante el desarrollo tecnológico de materiales poliméricos basados en componentes renovables, y para realizar este desarrollo se requiere la participación de todas las ramas de la ingeniería.

El conocimiento e investigaciones sobre la conductividad eléctrica y las cargas electrostáticas de los materiales poliméricos basados en componentes renovables generan la posibilidad de ampliar la aplicación de estos materiales. Consecuentemente, genera una oportunidad para nuestro país para lograr un crecimiento económico y el desarrollo industrial inclusivo y sostenible.

### V. Antecedentes del proyecto

La electricidad estática ha estado desde siempre en nuestras vidas, Tales de Mileto observó que cuando se frota una varilla de ámbar (resina de árbol petrificada) con un trozo de tela, el ámbar atrae pequeños trozos de hojas o polvo. La palabra Griega "Elektron" significa ámbar y pasaría mucho tiempo para descifrar el fenómeno de la carga electrostática observado por Tales [1]. Hoy en día, en todas las industrias se tiene de alguna forma el cuidado para evitar las cargas electrostáticas, aun así, el riesgo de accidentes (explosiones) ocasionado por las cargas electrostáticas es latente [2]. El desarrollo tecnológico de los materiales poliméricos condujo a usar agentes y refuerzos antiestáticos (incremento de la conductividad eléctrica) para evitar la adhesión de polvos contaminantes en la superficie del producto polimérico final [3]. Es así como en la actualidad es indispensable el uso del composite y el desarrollo de estos, donde el uso de nanomateriales inorgánicos es una tendencia por ofrecer otras ventajas (mejora las propiedades mecánicas, físicas y químicas) a parte de aumentar la conductividad eléctrica del material polimérico [3,4].

En los últimos años se han reportado el desarrollado de nano-composites en base a nanotubos de carbono en diversas matrices poliméricas. Yavad y otros [5], describen la aplicación de los nanotubos de carbono y grafeno en la elaboración de los nano-composites antiestéticos para la



61  
62  
63  
64  
65  
66  
67  
68  
69  
70  
71  
72  
73  
74  
75  
76  
77  
78  
79  
80  
81  
82  
83  
84  
85  
86  
87  
88  
89  
90  
91  
92  
93  
94  
95  
96  
97  
98  
99  
100  
101  
102  
103  
104  
105  
106  
107  
108  
109  
110  
111  
112  
113  
114  
115  
116  
117  
118  
119  
120

industria aeroespacial. He y otros [6], sintetizaron elastómeros multifuncionales usando nanopartículas de plata que le confiere propiedades mecánicas ajustables. Brigandi y Li [3,4], muestran la aplicación multifuncional del composite elastoméricos en base nanomateriales derivados del carbono donde se muestra las mejoras tanto de las propiedades mecánicas como de la conductividad eléctrica. Sin embargo, son pocos los estudios enfocados en mejorar tanto la resistencia al desgaste como la conductividad eléctrica de los materiales poliméricos.

Por otro lado, tenemos un creciente desarrollo de nuevos materiales poliméricos amigables con el medio ambiente, donde los poliuretanos son los preferidos para sintetizar, por poseer buenas cualidades mecánicas. Y entre la familia de poliuretanos están los elastómeros de poliuretano que son usados para contrarrestar el desgaste industrial [5]. Hay estudios enfocados en la síntesis de elastómeros de poliuretano a base polioles de base biológica en combinación con polioles derivados del petróleo con el fin de aminorar el uso de componente derivados del petróleo en la síntesis de dichos elastómeros [6]. Sin embargo, aún no se ha encontrado superar la resistencia al desgaste que ofrecen los elastómeros convencionales.

En muchas aplicaciones de los elastómeros de poliuretano se requiere cumplir tanto con el buen desempeño contra el desgaste como la disipación de las cargas electrostáticas producto de la fricción [1], por ejemplo, en las fajas transportadoras, limpiadoras de oleoductos, entre otras. En la actualidad, se tiene normado tanto la caracterización de la conductividad eléctrica [7,8] como la resistencia al desgaste [9,10] de los materiales elastoméricos, por lo que realizaremos estudios sobre la efectividad del uso de nanopartículas inorgánicas para mejorar la resistencia al desgaste y conductividad eléctrica de los elastómeros sintetizados con componentes de base biológica.

## VI. Hipótesis del trabajo

Es efectivo el uso de nanopartículas inorgánicas para mejorar la resistencia al desgaste y conductividad eléctrica de los elastómeros sintetizados con componentes de base biológica.

## VII. Objetivo general

Obtener un elastómero de poliuretano conductor eléctrico (antiestático) y resistente al desgaste, elaborado a partir de compontes de base biología y nanopartículas inorgánicas reforzantes.

## VIII. Objetivos específicos

- Incorporar las nanopartículas inorgánicas a la matriz del elastómero de poliuretano por medio de una dispersión mecánica.
- Determinar la conductividad eléctrica de los elastómeros de poliuretano sintetizados con componentes de base biológica y reforzada con nanopartículas inorgánicas.
- Determinar las resistencias al desgaste de los elastómeros de poliuretanos sintetizados con componentes de base biológica y reforzada con nanopartículas inorgánicas.
- Determinar efectividad de las nanopartículas inorgánicas para mejorar tanto la resistencia al desgaste como la conductividad eléctrica.

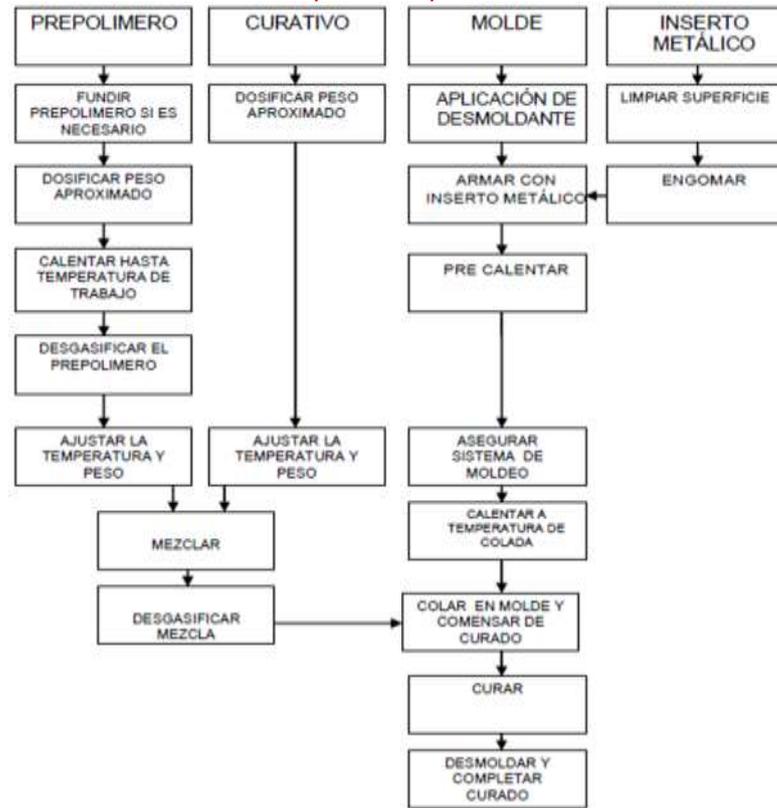
## IX. Metodología de investigación

En este trabajo de investigación básica experimental, el poliuretano elastomérico serán elaborado mediante el método del prepolimero, ósea en dos etapas. En la primera etapa, se sintetizará un prepolímero de poliuretano usando diisocianato de 4,4'-difenilmetano (MDI) y un polioli de base biología (PRIPLAST 1838). En la segunda etapa, los prepolímeros, conteniendo grupos isocianato terminales, se unirán (solidificarán) usando 1,4-butanodiol (BDO) como extensor de cadena para obtener poliuretanos elastoméricos (PUE). En esta última etapa, se agregará hasta tres tipos de nanopartícula dentro del butanodiol (curativo) bajo agitación mecánica constante. La obtención del



121

bio-elastómero nano-composite de poliuretanos en molde abierto se resume en la Figura 1.



122  
123  
124  
125  
126

Figura 1. Proceso de obtención de un elastómero de poliuretano.

127  
128  
129  
130  
131  
132  
133  
134

Para la caracterización de las conductividades eléctricas y la resistencia al desgaste (respuestas) se usará un diseño de experimento, resumido en la Tabla 1, donde el número de ensayos serán determinados por medio del arreglo ortogonal y el análisis estadístico será realizada con el software Minitab (diseño de Taguchi). Este diseño de experimento será ajustado de acuerdo con los resultados y recomendaciones de los ensayos preliminares. Todos los insumos, materiales e instrumentos para la síntesis de los nano-composites, así como las instalaciones para la ejecución de este trabajo de investigación serán proporcionados por el CITC de la Empresa Pankarana S.A.C.

135  
136  
137  
138  
139  
140  
141  
142  
143

Tabla 1 Diseño de experimento para análisis de la conductividad eléctrica			
ID	Factor	Niveles	Valores
1	Tipo de Nanopartículas (NP)	3	Tipo I, Tipo II y Tipo III
2	% de concentración de las NP en la matriz polimérica	4	0.1, 0.3, 0.7, 1
3	Temperatura de curado (°C)	3	60, 90 y 120
4	Tiempo de curado (hrs)	3	8, 16 y 24

144  
145  
146  
147  
148  
149  
150  
151  
152  
153  
154  
155

Las principales respuestas para el análisis serán la conductividad eléctrica medida bajo las normas ASTM D911 y D257, así como las resistencias al desgaste medida bajo las normas ASTM G76 y D5963



156  
157  
158  
159  
160  
161  
162  
163  
164  
165  
166  
167  
168  
169  
170  
171  
172  
173  
174  
175  
176  
177  
178  
179  
180  
181  
182  
183  
184  
185  
186  
187  
188  
189  
190  
191  
192  
193  
194  
195  
196  
197  
198  
199  
200  
201  
202  
203  
204  
205  
206  
207  
208  
209  
210  
211  
212  
213  
214  
215  
216

## X. Referencias

- [1] Wypych, G., & Pionteck, J. (2016). Handbook of antistatics. Elsevier.Clemitson, I.
- [2] Von Pidoll, U. (2013). Helmut Krämer memorial lecture: Electrostatic assessment of products and processes—A view backwards and forwards. Journal of Electrostatics, 71(3), 586-590.
- [3] Brigandi, P. J. (2017). Electrically conductive multiphase polymer blend arbon-based composites (Doctoral dissertation, Lehigh University).
- [4] Li, Z., Zhou, M., Zhang, T., Zhang, J., Yang, L., & Zhou, Z. (2014). Graphene nanoplatelets/lead azide composites for the depressed electrostatic hazards. Materials Letters, 123, 79-82.
- [5] Aguilar, S. A. (2021). Obtención de una matriz de poliuretano base agua mediante inducción  $\beta$ -C con nanocompuestos de ZnO y mineralizantes autocurativos (Tesis de post grado, Universidad de Guanajuato)
- [6] Iglesias, M. L. (2020). Desarrollo de mezclas de poliésteres derivados de recursos renovables como estrategia para obtener un nuevo material completamente biodegradable apto para envases (Tesis de post grado, Universidad de Mar del Plata)
- [7] Yadav, R., Tirumali, M., Wang, X., Naebe, M., & Kandasubramanian, B. (2020). Polymer composite for antistatic application in aerospace. Defence Technology, 16(1), 107-118.
- [8] He, X., Shou, H., Liu, X., & Jia, K. (2021). Silver nanoparticles enhanced crystallization of polyethylene terephthalate-co-polyethylene glycol (PET-PEG) thermoplastic elastomer. Polymer Bulletin, 1-13.
- [9] Clemitson R. (2008). Castable Polyurethane Elastomers. CRC Press.
- [10] Tito, O. (2020). Resistencia al desgaste de un elastómero de poliuretano elaborado a partir de un polioli de base biológica (Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Católica del Peru).
- [11] ASTM D991 Standard Test Method For Rubber Property—Volume Resistivity Of Electrically Conductive And Antistatic Products.
- [12] ASTM D257 Standard Test Methods For DC Resistance Or Conductance Of Insulating Materials.
- [13] ASTM G76 Standard Test Method For Conducting Erosion Tests By Solid Particle Impingement Using Gas Jets.
- [14] ASTM D5963 Standard Test Method for Rubber Property—Abrasion Resistance (Rotary Drum Abrader).

## XI. Uso de los resultados y contribuciones del proyecto

Los resultados de este trabajo de investigación podrán contribuir a la ampliación de la aplicación de los elastómeros de poliuretano como materiales antiestáticos.

## XII. Impactos esperados

### i. Impactos en Ciencia y Tecnología

Se generará un aporte al conocimiento para el desarrollo de materiales antiestáticos a partir de bio elastómeros de poliuretanos reforzaos con nanopartículas inorgánicas.

### ii. Impactos económicos



217  
 218  
 219  
 220  
 221  
 222  
 223  
 224  
 225  
 226  
 227  
 228  
 229  
 230  
 231  
 232  
 233  
 234  
 235  
 236  
 237  
 238  
 239  
 240  
 241  
 242  
 243  
 244  
 245  
 246  
 247  
 248  
 249  
 250  
 251  
 252  
 253

Si las nanopartículas mejoran la resistencia al desgaste, los bio elastómeros podrán ser económicamente competitivos con los materiales convencionales.

**iii. Impactos sociales**

Se generará un aporte a la economía circular por lo que se tendrá un desarrollo sostenible para nuestro país.

**iv. Impactos ambientales**

Se tendrá una contribución al desarrollo sostenible en el uso de los materiales poliméricos.

**XIII. Recursos necesarios**

- Materiales e insumos para la síntesis de bio elastómeros de poliuretano (EPU).
- Equipos y herramientas para la síntesis de bio elastómeros de poliuretano (EPU).
- Por lo menos tres tipos nanopartículas inorgánicas.
- Equipos para determinar el desgaste de los bio-EPU.
- Equipo para determinar la conductividad eléctrica.
- Instalaciones de laboratorio.

**XIV. Localización del proyecto**

El trabajo de investigación se realizará en los laboratorios del Centro de Investigaciones Tribológicas la Cantuta (CITC) de la Empresa Pankarana S.A.C., ubicada en la Provincia Constitucional del Callao.

**XV. Cronograma de actividades**

Actividad	Trimestres												
	1	2	3	4	5	6							
Revisión bibliográfica y procura de materiales y equipos	x	x											
Ensayos preliminares y ajuste del diseño de experimento		x	x										
Ensayos y registro de datos finales			x	x									
Redacción de la tesis y sustentación				x	x	x							

**XVI. Presupuesto**

ID	Recursos necesarios	Costo estimado en soles
1	Materiales e insumos para la síntesis de bio elastómeros de poliuretano (EPU)	1200
2	Por lo menos tres tipos de nanopartículas inorgánicas	1100
3	Servicios de ensayos de caracterización	800
4	Matrickería de probetas para caracterizar la conductividad eléctrica	600
5	Alquiler de equipo para medir la conductividad eléctrica	300
6	Servicio de caracterizaciones mecánicas	1200

254  
 255  
 256



7	Servicio de caracterizaciones morfológicas	800
	TOTAL	6000

257