

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Química y Textil



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**“Especificaciones técnicas de control de calidad de revestimientos de elastómeros de poliuretano comercial en estructuras y accesorios metálicos”**

Para obtener el título profesional de Ingeniero Químico

Elaborado por

Ader Fiorane Núñez Diestra

[0009-0004-1572-8114](tel:0009-0004-1572-8114)

Asesor

Mag. Ing. Javier Borda Cano

[0000-0002-6267-5148](tel:0000-0002-6267-5148)

LIMA – PERÚ

2023

---

Citar/How to cite	(Núñez, 2023)
Referencia/Reference	Núñez, A. (2023). Especificaciones técnicas de control de calidad de revestimientos de elastómeros de poliuretano comercial en estructuras y accesorios metálicos. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI.
Estilo/Style APA (7ma ed.)	

---

## ***Dedicatoria***

*A mi madre Alicia Fortunata Diestra Soto y mis hermanas por su apoyo incondicional.*

## **Agradecimiento**

A mi alma mater la Universidad Nacional de Ingeniería por la formación y la exigencia que le caracteriza.

A mi madre Alicia Diestra y mis hermanas Soraya, Angie y Lady por su enorme paciencia y apoyo en mi vida profesional y personal.

A mi abuela Eugenia Soto por su enorme fuerza de vida que nos transmitió los valores y fortalezas.

A mis tíos que creyeron y apoyaron en mi futuro profesional.

La empresa PANKARANA S.A.C. y en especial al Ing. Oswaldo Tito Quilla por darme las pautas para la investigación científica y formación como profesional.

Por último, a mis amigos que creyeron en mí y me apoyaron.

## Resumen

El presente informe de suficiencia profesional se desarrolla para optar al título de Ingeniero Químico, describiendo la trayectoria profesional como bachiller en Ingeniería Química en donde se puso en práctica los conocimientos básicos de investigación brindados por nuestra alma mater y de ingeniería para el análisis y solución de problemas. En la industria del revestimiento y en especial en la aplicación del presente informe sobre revestimientos con elastómeros de poliuretano, el cual son usados para evitar el desgaste prematuro de las piezas y/o accesorios metálicos propios del estrés donde están sometidos, ya sea por agentes físicos, químicos, biológicos o mecánicos. Se muestran los parámetros básicos de control de calidad mediante el uso de normas estandarizadas aplicados hacia la materia prima y producto final. En la materia prima se determinó la concentración de diisocianatos en el prepolímero de uretano comercial usando la ASTM D2572, el elastómero de poliuretano como producto final se determina la densidad por la norma ASTM D792, para la determinación de la dureza es usada la ASTM D2240, la norma ASTM D5963 usada para determinar la abrasión de las muestras en análisis, ASTM D412 para determinar la tracción y elongación, ASTM D624 es usada para determinar rotura de la muestra, ASTM E797 determinar espesor revestimiento usando un equipo ultrasónico aplicado en revestimiento de elastómeros de poliuretano, también se muestra control de calidad sobre el sustratos metálico aplicando la rugosidad necesaria para la adherencia del material sobre el sustrato aplicando la norma SSPC-SP5, por último, se aplicó un análisis por Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) para poder caracterizar y determinar la existencia de grupos diisocianatos en la matriz polimérica y así tener los análisis oportunos de control de calidad cumpliendo las políticas internas y compromisos con el cliente.

Palabras clave – Elastómero de Poliuretano (EPU), control de calidad, revestimiento, concentración de Isocianatos (%NCO).

## **Abstract**

The present report of professional sufficiency is developed to opt for the title of Chemical Engineer, describing the professional trajectory as a bachelor in Chemical Engineering where the basic knowledge of research provided by our alma mater and engineering for the analysis and solution of problems was put into practice. In the coating industry and especially in the application of this report on coatings with polyurethane elastomers, which are used to prevent premature wear of parts and / or metal fittings own stress where they are subjected, either by physical, chemical, biological or mechanical agents. The basic quality control parameters are shown using standardized norms applied to the raw material and final product. In the raw material, the concentration of diisocyanates in the commercial urethane prepolymer was determined using ASTM D2572, the polyurethane elastomer as final product, the density was determined by ASTM D792, for the determination of hardness ASTM D2240 was used, ASTM D5963 is used to determine the abrasion of the samples under analysis, ASTM D412 to determine the tensile and elongation, ASTM D624 is used to determine sample breakage, ASTM E797 to determine coating thickness using ultrasonic equipment applied on polyurethane elastomer coating, quality control is also shown on the metallic substrates applying the necessary roughness for the adherence of the material on the substrate applying the SSPC-SP5 standard, finally, an analysis by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) was applied to characterize and determine the existence of diisocyanate groups in the polymeric matrix and thus have the timely analysis of quality control in compliance with internal policies and commitments to the customer.

Keywords - Polyurethane elastomer (EPU), quality control, coating, isocyanate concentration (%NCO).

## Tabla de contenido

Resumen	v
Abstract	vi
Capítulo I. Datos generales de las empresas donde laboró como bachiller	1
1.1. Sector industrial al que pertenece	1
1.2. Línea de producto	1
1.3. Cultura organizacional	2
1.4. Organigrama funcional de la empresa.	4
1.5. Normatividad empresarial	5
1.6. Sistema de seguridad industrial	6
1.7. Evaluación del impacto ambiental	6
Capítulo II. Cargos y funciones desarrolladas	7
2.1. Cargo dentro de la organización	7
2.2. Responsabilidades señaladas en la normatividad empresarial	7
2.2.1. Asistente de Investigación y Desarrollo en Biopolímeros	7
2.2.2. Técnico Laboratorio Investigación y Desarrollo de polímeros	8
2.2.3. Técnico Multifuncional de Laboratorio Químico Metalúrgico	8
2.2.4. Asistente de Sistemas Integrados de Gestión	9
2.2.5. Personal a su cargo y sus responsabilidades	9
2.3. Función ejecutiva o administrativa	11
2.4. Cronograma de realización de las actividades como bachiller.	11
Capítulo III. Actividades desarrolladas	12
3.1. Labores y tareas sobre el tema asignado	12
3.2. Conocimientos técnicos de su especialidad requeridos para el cumplimiento de sus funciones	13
3.3. Planteamiento de la realidad problemática de la actividad	13
3.4. Antecedentes referenciales y objetivos de la actividad	15
3.4.1. Objetivo general	17

3.4.2.	Objetivo específico	17
3.5.	Marco teórico	17
3.5.1.	Elastómeros de poliuretano	17
3.5.2.	Síntesis y química de los poliuretanos (PU)	20
3.5.2.1.	Poliéter	22
3.5.2.2.	Poliéster	23
3.5.2.3.	Poliol de base biológica	23
3.5.2.4.	Diisocianato	25
3.5.2.5.	Extensor de cadena (MOCA y BDO)	26
3.5.2.6.	Carga reforzante en la matriz del elastómero de poliuretano	27
3.5.3.	Procesamiento del revestimiento	33
3.5.4.	Tribología	34
3.5.5.	Ensayos control de calidad (%NCO, FTIR, rugosidad superficial a recubrir, espesor de revestimiento, densidad, dureza, abrasión, erosión, tracción, rotura, elongación)	34
3.5.5.1.	Concentración de grupos diisocianatos (%NCO) ASTM D2572	34
3.5.5.2.	Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)	35
3.5.5.3.	Rugosidad zona metal a recubrir	37
3.5.5.4.	Densidad (ASTM D792)	39
3.5.5.5.	Dureza (ASTM D2240)	40
3.5.5.6.	Abrasión (ASTM 5963)	41
3.5.5.7.	Resistencia a la tracción y porcentaje a la elongación	42
3.5.5.8.	Resistencia a la rotura	43
3.5.5.9.	Espesor recubrimiento	44
3.6.	Objetivos y justificaciones del uso de las técnicas propuestas	46
3.6.1.	Objetivo general	46
3.6.2.	Objetivos específicos	47
3.6.2.1.	Especificaciones técnicas mínimas de la materia prima	48

3.6.2.2.	Especificaciones técnicas mínimas de los productos EPU	49
3.7.	Cálculo y determinaciones utilizadas en las aplicaciones	50
3.7.1.	Concentración de isocianatos (%NCO) en la muestra de prepolímero	50
3.7.2.	Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)	52
3.7.3.	Rugosidad zona metal a recubrir	54
3.7.4.	Densidad de muestra EPU	56
3.7.5.	Dureza	57
3.7.6.	Abrasión	58
3.7.7.	Resistencia a la tracción y porcentaje a la elongación	59
3.7.8.	Resistencia a la rotura	62
3.7.9.	Medición del espesor por ultrasonido	63
3.8.	Resultados y aportes técnicos de la actividad	65
3.9.	Análisis de resultados	66
3.10.	Evaluaciones y decisiones tomadas	68
3.11.	Informes o reportes presentado como resultado de las actividades realizadas	70
3.12.	Participación en actividades complementarias de la empresa	70
3.13.	Participación en unidades o grupos de seguridad industrial.	73
Capítulo IV. Contribuciones al desarrollo de la empresa		74
Conclusiones		75
Recomendaciones		76
Referencias bibliográficas		77
Anexo		83

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> Organigrama funcional de la empresa PANKARANA S.A.C.....	4
<b>Figura 2</b> Consistencia metodológica realidad problemática.....	15
<b>Figura 3</b> Formación clásica elastómero de poliuretano .....	18
<b>Figura 4</b> Representación de la formación del prepolímero de poliuretano. ....	20
<b>Figura 5</b> Representación esquemática de los subproductos producidos durante la reacción entre dioles e isocianatos .....	21
<b>Figura 6</b> Ruta fabricación Polipropilenglicol y Politetrametilenglicol.....	22
<b>Figura 7</b> Ruta fabricación Polyethylene adipate glicol, PEA, (éster) .....	23
<b>Figura 8</b> Esquema de síntesis de bio-poliololes a partir de aceite de ricino.....	24
<b>Figura 9</b> Diisocianato MDI y TDI.....	25
<b>Figura 10</b> Diaminas utilizadas como extensor de cadena, MDA y MOCA.....	26
<b>Figura 11</b> 1,4 - Butanodiol.....	27
<b>Figura 12</b> Esquema de tratamiento de TiO <sub>2</sub> NPs con APTES.....	28
<b>Figura 13</b> Síntesis prepolímero de poliuretano .....	29
<b>Figura 14</b> Ruta para la formación elastómero de poliuretano .....	30
<b>Figura 15</b> Proceso de obtención del EPU mediante 2 componentes (prepolímero y extensor de cadena) .....	31
<b>Figura 16</b> Proceso de obtención del EPU mediante 3 componentes (cuasi prepolímero, poliol y extensor de cadena) .....	31
<b>Figura 17</b> Representación prepolímero con segmentos duros y blandos .....	32
<b>Figura 18</b> Enlaces hidrógeno entre cadenas poliméricas .....	33
<b>Figura 19</b> Enlaces Van der Waals y puente de hidrógeno en una poliamida .....	33

<b>Figura 20</b> Método de revestimiento EPU convencional .....	34
<b>Figura 21</b> FTIR de un elastómero de poliuretano .....	36
<b>Figura 22</b> Categoría por norma SSPC/NACE.....	38
<b>Figura 23</b> Balanza de densidad.....	39
<b>Figura 24</b> Escalas de dureza Shore A y D.....	40
<b>Figura 25</b> Equipo de test de dureza shore A o D (ASTM D2240) .....	41
<b>Figura 26</b> <i>Esquema del equipo de abrasión.</i> .....	42
<b>Figura 27</b> Vista de perfil equipo de abrasión rotatorio .....	42
<b>Figura 28</b> Módulo de corte para análisis de resistencia a la tracción.....	43
<b>Figura 29</b> Módulo de corte para análisis de resistencia a la rotura. ....	44
<b>Figura 30</b> Método de pulso eco .....	45
<b>Figura 31</b> Spool.....	47
<b>Figura 32</b> Ficha técnica prepolímero IMUTHANE 22-83A .....	48
<b>Figura 33</b> Propiedades mínimas de revestimiento de poliuretano en tuberías (Spool)	49
<b>Figura 34</b> Método para determinar el %NCO en prepolímeros.....	51
<b>Figura 35</b> Espectro FTIR Elastómero de Poliuretano IMUTHANE 22-83A/MOCA primer día de postcurado .....	53
<b>Figura 36</b> Espectro FTIR Elastómero de Poliuretano IMUTHANE 22-83A/MOCA séptimo día de postcurado .....	54
<b>Figura 37</b> Pieza con arenado SSPC-SP5.....	55
<b>Figura 38</b> Medición in situ de la rugosidad mediante rugosímetro analógico.....	55
<b>Figura 39</b> Pasos para el cálculo de la densidad de una muestra de EPU.....	56
<b>Figura 40</b> Medida de dureza EPU IMUTHANE 22-83A/MOCA.....	57

<b>Figura 41</b> Lado izquierdo: Troquel ASTM D412 DIE D, lado derecho Piezas troqueladas listas para análisis de tracción y elongación .....	60
<b>Figura 42</b> Fuerza vs Tiempo, Análisis de tracción IMUTHANE 22-83A/MOCA.....	61
<b>Figura 43</b> Lado izquierdo: Troquel ASTM D624 DIE C, lado derecho Piezas troqueladas listas para análisis de rotura .....	62
<b>Figura 44</b> Fuerza vs Tiempo, Análisis de rotura Imuthane 22-83A/MOCA.....	63
<b>Figura 45</b> Medición espesor por ultrasonido spool .....	64
<b>Figura 46</b> Spool con revestimiento interno de Elastómero de Poliuretano.....	68
<b>Figura 47</b> Ficha de Información Técnica .....	69
<b>Figura 48</b> Constancia de participación proyecto 1 .....	71
<b>Figura 49</b> Constancia de participación proyecto 2.....	72
<b>Figura 50</b> Constancia de trabajo PANKARANA S.A.C. ....	83
<b>Figura 51</b> Constancia de trabajo POLIURETANOS S.A. ....	84
<b>Figura 52</b> Certificado de trabajo SHOUGANG HIERRO PERU S.A.A. ....	85
<b>Figura 53</b> Conformidad de servicios TOMOCORP S.A.C.....	86

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b> Personal a cargo y responsabilidades .....	10
<b>Tabla 2</b> Función administrativa por puesto de trabajo.....	11
<b>Tabla 3</b> Cronograma de actividades por puesto de trabajo.....	11
<b>Tabla 4</b> Ventajas de los Poliuretanos frente a los Cauchos Convencionales .....	18
<b>Tabla 5</b> Aplicación Industrial EPU's .....	19
<b>Tabla 6</b> Velocidad de propagación de las ondas ultrasónicas en materiales más comunes. ....	46
<b>Tabla 7</b> Resultados análisis %NCO prepolímero comercial IMUTHANE 22-83A .....	52
<b>Tabla 8</b> Registro de datos del análisis de densidad EPU IMUTHANE 22-83A/MOCA56	
<b>Tabla 9</b> Registro de datos del análisis de dureza EPU IMUTHANE 22-83A/MOCA....	58
<b>Tabla 10</b> Registro de datos del análisis de Abrasión EPU IMUTHANE 22-83A/MOCA59	
<b>Tabla 11</b> Registro de datos del análisis de Tracción y Elongación EPU IMUTHANE 22-83A/MOCA .....	61
<b>Tabla 12</b> Registro de datos del análisis de Rotura EPU IMUTHANE 22-83A/MOCA ..	63
<b>Tabla 13</b> Resultados Análisis ASTM.....	65
<b>Tabla 14</b> Resultados otras metodologías.....	66
<b>Tabla 15</b> Informes y registros donde tuve participación .....	70

# **Capítulo I. Datos generales de las empresas donde laboró como bachiller**

## **1.1. Sector industrial al que pertenece**

PANKARANA S.A.C. con R.U.C. 20600327080 se dedica a la investigación, desarrollo experimental y fabricación de materiales poliméricos y en particular a los elastómeros de poliuretano (EPU). Brindando un estricto control de calidad en el diseño, proceso y conformado de EPU's mediante su laboratorio de tribología, polímeros y nanomateriales que es parte del centro de investigación tribológicas la cantuta (CITCA), donde se cuenta con científicos y equipamientos de acuerdo a las necesidades requeridas (PANKARANA S.A.C., 2023).

## **1.2. Línea de producto**

PANKARANA S.A.C. cuenta con una línea extensa de productos y servicios:

### **1.2.1. Productos:**

- Mallas para zaranda vibratoria
- Zapata para helicoidal
- Vortex de ciclón
- Chutes para mixer
- Raspadores de faja
- Planchas antidesgaste
- Ventosas
- Repuestos para sistemas de suspensión
- Caja silenciadora (CHIMBOX)
- Instrumentos de recolección de agua
- Sellos y orings
- Boquillas shocreteras
- Poleas
- Revestimientos para mineroductos

- Polines jaladores y rueda montacargas

### **1.2.2. Servicios:**

- Diseño y fabricación de equipos tecnológicos
- Ensayos químicos
- Ensayos tribológicos
- Ensayos mecánicos
- Asesoramiento en ciencia de los materiales poliméricos
- Asesoramiento en tribología de los procesos de producción
- Asesoramiento en formulación y ejecución de proyectos de investigación y desarrollo

## **1.3. Cultura organizacional**

### **1.3.1. Visión**

“Contrarrestar el desgaste industrial a través del diseño de materiales poliméricos amigables con nuestro medio ambiente” (*PANKARANA S.A.C.*, 2023).

### **1.3.2. Misión**

“Consolidarnos como la mejor solución sostenible contra el desgaste industrial” (*PANKARANA S.A.C.*, 2023).

### **1.3.3. Valores**

#### **Integridad**

“Nuestras actividades cotidianas son realizadas a conciencia para cumplir lo prometido practicando siempre la honradez y respeto” (*PANKARANA S.A.C.*, 2023).

#### **Respeto al medio ambiente**

“Todas nuestras actividades están enmarcadas en la economía circular” (*PANKARANA S.A.C.*, 2023).

#### **Innovación**

“Trabajamos constantemente para encontrar nuevas formas de generar materiales”  
(PANKARANA S.A.C., 2023).

#### **1.3.4. Políticas de calidad, seguridad y medio ambiente**

PANKARANA S.A.C. empresa privada dedicada a la investigación, desarrollo experimental y fabricación de materiales poliméricos y en particular de elastómeros de poliuretano (EPU). Así mismo, brinda servicios de asesoría en investigación y desarrollo de nuevos materiales. Considera que la seguridad, calidad y medio ambiente son puntos fundamentales de su existencia empresarial. Por lo cual, se compromete a:

- Garantizar la calidad de los servicios y productos elaborados mediante el uso de estándares y personal calificado
- Garantizar la seguridad de sus colaboradores mediante la prevención de daños personales e institucionales
- Tener metas y objetivos compartidos con los clientes para la satisfacción plena de las partes interesadas
- Innovación e investigación continua para la generación de valor agregado y su aplicación de la economía circular

#### **1.3.5. Principios para el logro de la calidad**

PANKARANA S.A.C. para el cumplimiento de sus objetivos de calidad trabaja mediante el uso de estándares internacionales (ASTM, ISO, etc.) y laboratorios certificados por INACAL cuando sea requerido. También cuenta con equipos innovadores y competentes para la investigación y publicación internacional con certificación de calibración e inspección y mantenimientos periódicos. Logrando así participar en proyectos de investigación a través del Programa Nacional de Innovación en Pesca y Acuicultura (PNIPA).

- “Desarrollo de una película comestible a partir de algas nativas “Sargazo” (Macrocystis pyrifera) reforzadas con nanopartículas de celulosa” (PNIPA, 2023)

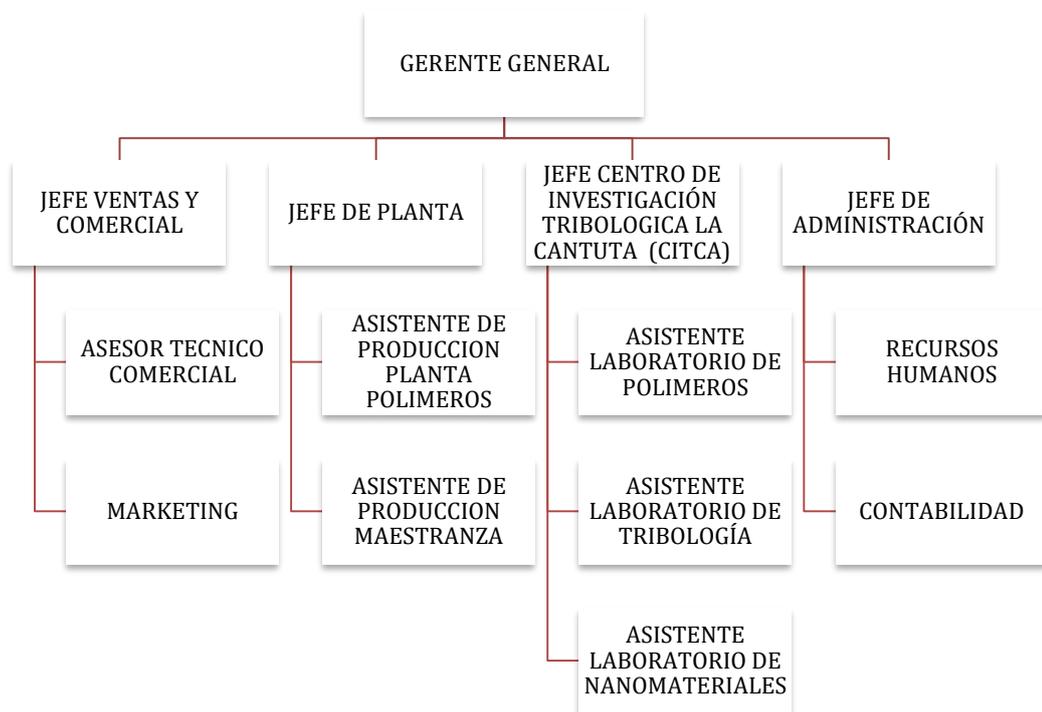
- “Obtención de micropartículas de polioli (MPP) con un método eco-amigable a partir de macroalgas nativas “Sargazo” (Macrocystis pyrifera) en la región Moquegua” (PNIPA, 2023)
- “Obtención de elastómeros de poliuretano basados en polioles de base biológica con alginatos y micropartículas de polioli como reforzantes y extensores de cadena obtenidas a partir de macroalgas nativas de la región Moquegua” (PNIPA, 2023)

#### 1.4. Organigrama funcional de la empresa.

PANKARANA S.A.C., cuenta con un organigrama el cual está diseñado para representar los niveles jerárquicos de la institución. Se muestra en la figura 1.

**Figura 1**

*Organigrama funcional de la empresa PANKARANA S.A.C.*



*Nota:* Elaboración propia

## 1.5. Normatividad empresarial

PANKARANA S.A.C. es una empresa legalmente constituida que inicio actividades el 11 de junio del 2021 que sigue las leyes y normativas nacionales en temas de seguridad, medio ambiente y sanidad donde la coyuntura de estos últimos años amerita la implementación y aplicación básica.

- “Constitución Política del Perú de 1993” (*Constitución Política del Perú*, 1993)
- “Ley 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo” (*Ley 29783*, 2011)
- “Ley 30222 que modifica la Ley 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo” (*Ley 30222*, 2014)
- “Decreto Supremo 005-2012-TR Reglamento de la Ley de Seguridad y Salud en el trabajo” (*D.S. N°005-2012-TR*, 2016)
- “Decreto Supremo 006-2014-TR Modifica el Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo aprobado por Decreto Supremo 005-2012-TR” (*D.S. N°016-2016-TR*, 2016)
- “Ley N°27314, Ley General de Residuos Sólidos” (*Ley N°27314*, 2000)
- “Decreto supremo 057-2004-PCM Reglamento de la Ley N°27314, Ley General de Residuos Sólidos” (*D.S. N°057-2004-PCM*, 2004)
- “Ley 31246 Ley que modifica la Ley 29783 Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo para garantizar el derecho de los trabajadores a la seguridad y la salud en el trabajo ante riesgo epidemiológico y sanitario” (*Ley N°31246*, 2021)
- “Resolución Ministerial N°1275-2021-MINSA, aprueba la Directiva Administrativa N°321-MINSA/DGIESP-2021, Directiva Administrativa que establece las disposiciones para la vigilancia, prevención y control de la salud de los trabajadores con riesgo de exposición a SARS-CoV-2” (*R.M. N°1275-2021-MINSA*, 2021)
- “Resolución Ministerial N°675-2022-MINSA, Modificar la Directiva Administrativa N° 321-MINSA/DIGIESP-2021 Directiva Administrativa que establece las disposiciones para la vigilancia, prevención y control de la salud de los trabajadores

con riesgo de exposición al SARS CoV-2 aprobada por Resolución Ministerial N° 1275-2021-MINSA, conforme al anexo que forma parte integrante de la presente Resolución Ministerial” (*R.M. N°675-2022-MINSA, 2022*)

- “Decreto Supremo N°016-2022-PCM Decreto Supremo que declara Estado de Emergencia Nacional por las circunstancias que afectan la vida y salud de las personas como consecuencia de la COVID-19 y establece nuevas medidas para el restablecimiento de la convivencia social” (*D.S. N°016-2022-PCM, 2022*)

#### **1.6. Sistema de seguridad industrial**

PANKARANA S.A.C. bajo los principios de prevención, responsabilidad y protección frente a los peligros y riesgos asociados a las actividades dispone de:

- Equipos de protección personal (EPP) afines a las actividades a desarrollar
- Mecanismo de seguridad eléctrica, puesta a tierra, UPS, estabilizadores de corriente
- Extintores y kit ante derrame de químicos
- Fumigación y control de plagas
- Protocolo de seguridad en laboratorio
- Instructivos de procedimientos y estándares de trabajo seguro
- Capacitaciones y charlas de seguridad en el trabajo

#### **1.7. Evaluación del impacto ambiental**

PANKARANA S.A.C. cumple con la disposición de residuos sólidos bajo la normativa nacional y municipal. Así mismo, dispone de equipos de extracción y filtrado de vapores químicos para la mitigación de impactos ambientales que van a la mano de su visión y valores institucionales.

## **Capítulo II. Cargos y funciones desarrolladas**

### **2.1. Cargo dentro de la organización**

Durante el periodo profesional como Bachiller en Ingeniería Química se tuvo los siguientes cargos:

- Asistente de Investigación y Desarrollo en Biopolímeros
- Técnico Laboratorio Investigación y Desarrollo de polímeros
- Técnico Multifuncional de Laboratorio Químico Metalúrgico
- Asistente de Sistemas Integrados de Gestión

### **2.2. Responsabilidades señaladas en la normatividad empresarial**

Se describe las responsabilidades asignadas en los trabajos donde se desempeñó como bachiller en Ingeniería química.

#### **2.2.1. Asistente de Investigación y Desarrollo en Biopolímeros**

- Asistir oportunamente en la búsqueda bibliográfica de artículos, revistas, normativas, patentes entre otros
- Redacción de informes técnicos mensuales para el reporte con las entidades que financian los proyectos de investigación e innovación
- Asistir en la síntesis de prepolímeros y cuasiprepolímeros de poliuretano de base biológica y conformado según los objetivos de los proyectos
- Asistir en el desarrollo y producción de elastómeros de poliuretano comercial según las necesidades del cliente
- Soporte en el análisis de fallas, pigmentación y productos no conformes según necesidades del área de producción
- Uso adecuado y soporte de las instalaciones del Centro de Investigación Tribológicas la Cantuta (CITCA)

- Brindar soporte de control de calidad mediante análisis en laboratorio de polímeros y tribología sobre la materia prima y producto final en el conformado de elastómeros de poliuretano
- Implementación progresiva de un sistema de gestión de calidad en laboratorio mediante instructivos y registros
- Brindar charlas de seguridad al personal sobre peligros existente en el área de polímeros y maestranza

### **2.2.2. Técnico Laboratorio Investigación y Desarrollo de polímeros**

- Asistir en la síntesis de prepolímeros de poliuretano y conformado según necesidades del área de producción
- Uso adecuado y soporte del Centro de Investigación y Desarrollo del Poliuretano (CIDPU)
- Brindar oportunamente los análisis de laboratorio tribológico para el control de calidad de los productos a despachar
- Soporte en el análisis de fallas, pigmentación y conformados según necesidades del área de producción
- Brindar charlas de seguridad al personal sobre peligros existentes en el área de polímeros y maestranza

### **2.2.3. Técnico Multifuncional de Laboratorio Químico Metalúrgico**

- Análisis físico - químico e instrumental mediante el uso de instructivos aprobados por la jefatura de laboratorio químico metalúrgico
- Reporte diario de los análisis en cuadernos de trabajo y sistema online hacías las jefaturas que se asignen
- Gestión y mantenimiento de las instalaciones de laboratorio sección mina según asignación
- Mantener una cultura de seguridad velando por los compañeros y uno mismo

#### **2.2.4. Asistente de Sistemas Integrados de Gestión**

- Auditorias del sistema de gestión de calidad.
- Asistir en la actualización de documentos internos del SIG como IPERC, instructivos, mapa de riesgos y procedimientos escritos de trabajo seguro (PETS)
- Charlas de seguridad de 5 min, capacitaciones e inducciones de ingreso a nuevo personal
- Supervisar y velar por el cumplimiento de ATS e IPERC del personal interno y contratistas
- Mantenimiento de registros EPP, IPERC, accidentes e incidentes, charlas y capacitaciones de seguridad
- Coordinación con empresas prestadoras de servicios para le gestión de residuos sólidos peligrosos

#### **2.2.5. Personal a su cargo y sus responsabilidades**

En la tabla 1 se describe las responsabilidades del personal a cargo en el periodo desempeñado como bachiller en Ingeniería Química, siendo así, oportunos y eficientes para el cumplimiento de los objetivos y metas designadas.

**Tabla 1***Personal a cargo y responsabilidades*

<b>PERSONAL A CARGO</b>		
<b>PUESTO</b>	<b>CONTACTO</b>	<b>RESPONSABILIDAD</b>
Asistente de Investigación y Desarrollo en Biopolímeros	Operador de llenado	Preparación mecánica de la pieza a revestir Correcto llenado de acuerdo a la orden de trabajo y coordinaciones con el área de producción Manejo operativo eficiente planta de síntesis e inspección de parámetros de control Reporte oportuno al asistente o jefatura de I + D
Técnico Laboratorio Investigación y Desarrollo de polímeros	Operador de llenado	Manejo operativo eficiente planta de síntesis e inspección de parámetros de control Reporte oportuno al técnico o jefatura de laboratorio I + D
Técnico Multifuncional de Laboratorio Químico Metalúrgico	Operador de laboratorio químico	Realizar el análisis químico de acuerdo con los procedimientos establecidos Orden y limpieza del área a trabajar
Asistente de Sistemas Integrados de Gestión	Prevencionista de riesgo	Velar por el cumplimiento del SGSST en campo manteniendo siempre una cultura de prevención de riesgos

*Nota:* Elaboración propia

### 2.3. Función ejecutiva o administrativa

Se mencionan las funciones administrativas de acuerdo con los puestos laborados como bachiller en Ingeniería Química, como se indica en la tabla 2.

**Tabla 2**

*Función administrativa por puesto de trabajo*

<b>PUESTO DE TRABAJO</b>	<b>FUNCION ADMINISTRATIVA</b>
Asistente de Investigación y Desarrollo en Biopolímeros.	Redacción de informes técnicos e instructivos. Gestión con proveedores externos en la compra de insumos y solicitudes de servicios.
Técnico Laboratorio Investigación y Desarrollo de polímeros.	Implementación de instructivos de laboratorio. Reporte diario de análisis a jefaturas.
Técnico Multifuncional de Laboratorio Químico Metalúrgico.	Gestión con jefaturas insumos requeridos. Reportes diarios de análisis a jefaturas.
Asistente de Sistemas Integrados de Gestión.	Gestión y actualización documentaria del SIG.

*Nota:* Elaboración propia

### 2.4. Cronograma de realización de las actividades como bachiller.

Se presenta en la tabla 3 el cronograma por puesto trabajo desempeñados como Bach. de Ingeniería Química, sustentando con las constancias y certificados laborales (ver anexo 1).

**Tabla 3**

*Cronograma de actividades por puesto de trabajo*

<b>PUESTO DE TRABAJO</b>	<b>PERIODO</b>
Asistente de Investigación y Desarrollo en Biopolímeros.	01/05/22 – Actualidad
Técnico Laboratorio Investigación y Desarrollo de polímeros.	01/12/21 – 30/06/22
Técnico Multifuncional de Laboratorio Químico Metalúrgico.	07/09/18 – 13/02/21
Asistente de Sistemas Integrados de Gestión.	02/06/17 – 07/10/17

*Nota:* Elaboración propia

## **Capítulo III. Actividades desarrolladas**

Las funciones descritas como asistente de investigación y desarrollo de biopolímeros dan constancia de los conocimientos adquiridos en la formación como estudiante y profesional, por ende, pudiendo cumplir con las exigencias solicitadas para el puesto laboral. Anteriormente el autor del presente informe desarrollo funciones similares, por ello, pudo contribuir con estos conocimientos adquiridos y aplicaciones dentro de la empresa PANKARANA S.A.C. Dando soporte en el área de control de calidad y producción de elastómeros de poliuretano. Además, pudo formar parte del equipo de investigación como asistente de laboratorio en un proyecto y como apoyo en otros proyectos de investigación e innovación bajo la supervisión del Programa Nacional de Innovación en Pesca y Acuicultura (PNIPA).

### **3.1. Labores y tareas sobre el tema asignado**

Se describen las principales labores realizadas en función al tema a desarrollar.

- Asistencia en el desarrollo y producción de elastómeros de poliuretano de acuerdo a las condiciones físicas (Stress) y químicas (solventes) que tendrá en operación
- Asistencia en el análisis de fallas, productos no conformes y pigmentación según las necesidades de producción
- Asistencia en la síntesis y control de calidad de prepolímeros de poliuretano de uso interno
- Validación de la concentración de diisocianato (%NCO) de los prepolímeros y cuasiprepolímeros comerciales
- Asistencia en la validación de la rugosidad requerida de las superficies a revestir.
- Asistencia en la validación del espesor de revestimiento de elastómeros de poliuretano
- Control de calidad de las propiedades mecánicas y tribológicas de los elastómeros de poliuretano revestidos mediante análisis de laboratorio

- Implementación progresiva de instructivos y registros de control de calidad y análisis de laboratorio

### **3.2. Conocimientos técnicos de su especialidad requeridos para el cumplimiento de sus funciones**

Los principales conocimientos técnicos adquiridos en pregrado y como Bachiller en Ingeniería Química, son:

- Laboratorio de físico química
- Laboratorio análisis químico cuantitativo
- Análisis químico instrumental
- Sistemas de información y reportes técnicos
- Dibujo técnico
- Balance de materia y energía
- Estadística y diseño de experimentos
- Cinética química y diseño de reactores
- Industria de los procesos químicos
- Seminarios en ingeniería química
- Planeamiento y control de la producción
- Elastómeros termoplásticos (elastómeros de poliuretano) síntesis y conformado
- Gestión de calidad y seguridad industrial

### **3.3. Planteamiento de la realidad problemática de la actividad**

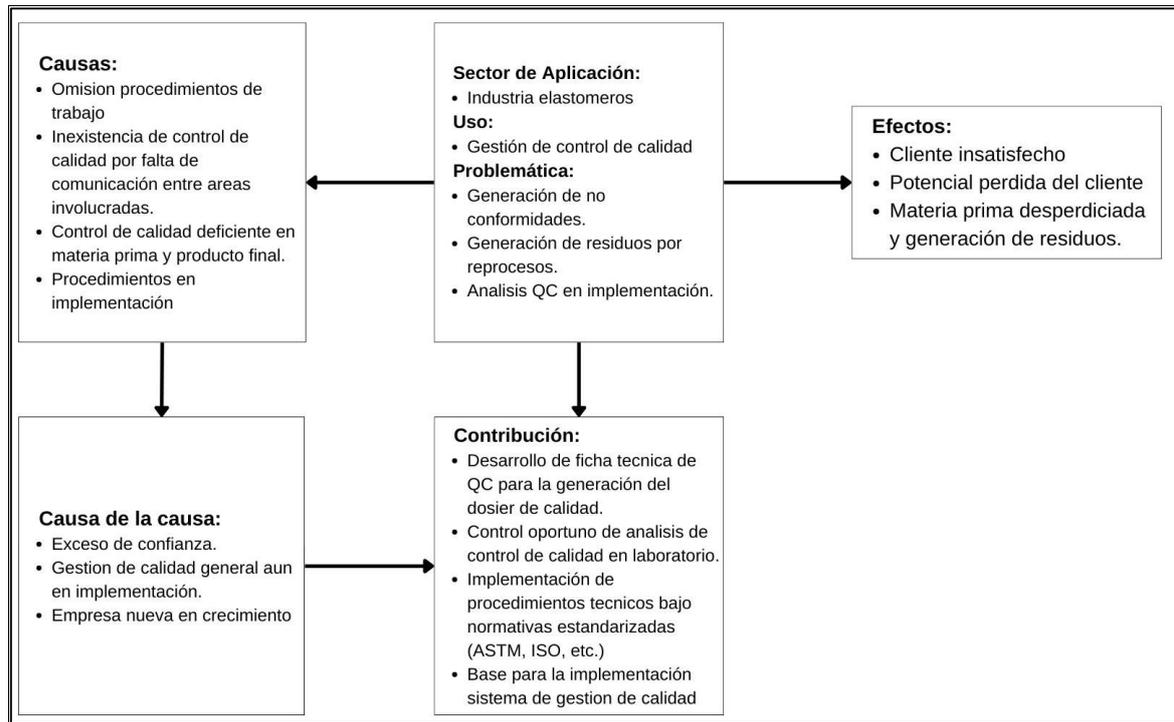
Los elastómeros de poliuretano (EPU) tienen aplicaciones diversas en la industria y en especial en el sector minero, evitando y minimizando el desgaste y la corrosión de las estructuras metálicas en donde son recubiertos, ya que estos evitan el contacto directo con el material de trabajo. Las aplicaciones van desde revestimientos internos en tuberías de mineroductos, transporte de efluentes, planchas anti desgaste los cuales son aplicados en tolvas o camiones de transporte minero, mallas para zarandas vibratorias, entre otros.

Las propiedades de los elastómeros de poliuretano son manejadas de acuerdo a las condiciones de trabajo y especificaciones del cliente, por lo cual podríamos tener una gama de productos, por ende, un estricto control de calidad en los prepolímeros de poliuretano sintetizados y comerciales, así mismo, las propiedades de los elastómeros de poliuretano deben ser evaluadas y verificadas de acuerdo a los estándares y procedimientos de calidad, disminuyendo los productos no conformes y la generación de residuos por reprocesos y demoras en los tiempos de entrega. En ocasiones estas fallas en los productos son causadas por la omisión de análisis por el tiempo mismo de curado que elastómero de poliuretano requiere (7 días), la falta de comunicación entre las áreas involucradas, omisión de los procedimientos de trabajo y por un sistema de calidad aun deficiente.

De acuerdo a la demanda, beneficios y calidad de los productos finales (revestimientos EPU) es que el área de laboratorio de control de calidad realiza los esfuerzos para tener resultados bajo los estándares que permitan la validación y soporte técnico de los ensayos tanto para la síntesis de prepolímeros, prepolímeros comerciales y revestimientos de EPU. En la figura 2 se detalla un resumen de la consistencia de la realidad problemática.

**Figura 2**

*Consistencia metodológica realidad problemática*



Nota: Fuente (Elaboración propia)

### 3.4. Antecedentes referenciales y objetivos de la actividad

En la actualidad se viene investigando y ejecutando nuevas medidas para reducir la generación de reprocesos, productos no conformes y residuos sólidos en los procesos industriales ya sea por controles de calidad internos o nuevas normativas de gestión de calidad. Tito Quilla (2021) como parte de su investigación plantea la generación de materiales de elastómero de poliuretano de base biológica, por lo cual realiza en primera instancia la síntesis de prepolímeros con un poliéster convencional y diisocianato de difenilmetano (MDI), posteriormente sintetiza desplazando el poliéster convencional por uno de base biológica (PRIPLAST) a un determinado porcentaje de grupos isocianatos establecido (%NCO), validado mediante análisis de laboratorio como determinación de %NCO (ASTM D2572) y lecturas por Espectrofotometría por Transformadas de Fourier (FTIR). Los prepolímeros obtenidos son procesados hasta obtener elastómeros de poliuretano, los cuales se realiza caracterizaciones mecánicas como la resistencia a la abrasión (ASTM D5963), erosión (ASTM D968), densidad (ASTM D1817), dureza (ASTM

D2240), resistencia tracción (ASTM D412), rotura (ASTM D624) y resiliencia (ASTM D2632). Así pudiendo brindar controles de calidad a los elastómeros de poliuretano sintetizados.

Jin et al. (2020) nos presenta la interacción que tienen los segmentos blandos en la formación de los elastómeros de poliuretano, tanto así que su desempeño se ve afectado ya sea por la estequiometría en la relación moles de NCO/OH, la variación de la concentración del segmento duro (20, 30 y 40%) que representa el diisocianato de difenilmetano (MDI) y el extensor de cadena 4,4'-metilbis(orto-cloroanilina) (MOCA), el tipo de polioli (Poliéter o poliéster) también tiene un efecto en las propiedades mecánicas ya sea por las interacciones intermoleculares de puente hidrogeno o los entrecruzamientos ligero entre cadenas macromoleculares. Por ende, controles de calidad y parámetros de producción se ven reflejados en las propiedades finales.

Prado & Andre (2018) estudian el efecto y la optimización de la temperatura en el proceso de colado para la formación del elastómero de poliuretano, su diseño experimental se basa en el rango de temperatura de trabajo del prepolímero, molde y extensor de cadena, logrando identificar la formación de poros e impurezas dentro de la matriz. Su aporte demuestra la importancia del control de temperatura en el molde de la matriz en la minimización de poros, burbujas e impurezas evitando así reprocesos o rechazos de los productos.

La dispersión uniforme de nanorellenos dentro de un fluido se ha estudiado por diversos métodos y un caso en particular con mezcladores de alto cizallamiento. Esto gracias a la necesidad de obtener un alto rendimiento en el desempeño y propiedades finales por el aumento del área superficial interfacial por unidad de volumen de las partículas que inicialmente se encuentran aglomeradas o agregadas (Liu et al., 2021; Vashisth et al., 2021). Deshmukh & Mahanwar (2019) nos muestra las principales nanorellenos usados en la industria de los elastómeros de poliuretano, por ejemplo, la alúmina ( $Al_2O_3$ ), óxido de zinc (ZnO), óxido férrico ( $Fe_2O_3$ ), óxido de silicio ( $SiO_2$ ) que mejoran el comportamiento mecánico de la matriz polimérica del elastómero de

poliuretano, otro ejemplo en particular el óxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) que brinda mejoras respecto a la radiación ultravioleta – visible y aumento de algunas propiedades mecánicas dependiendo de la concentración dentro de la matriz polimérica. A nivel industrial el más usado es el óxido de silicio o sílica gracias a su superficie homogénea, fácil acceso, bajo costo y la presencia de grupo silano ( $\text{Si-OH}$ ) pudiendo enlazarse con la matriz polimérica. Por tal motivo, un parámetro de control de calidad es la dispersión de las nanopartículas y/o pigmentos que se verá reflejado en las propiedades mecánicas y estéticas finales del producto.

La importancia del control de calidad en laboratorio es validar las propiedades mecánicas y estéticas (grietas, fallas curado, burbujas, homogeneidad, etc.) de los elastómeros de poliuretano (EPU) conformados de acuerdo a las características solicitadas por el cliente, evitando la generación de residuos y reprocesos.

#### **3.4.1. Objetivo general**

- Brindar las especificaciones técnicas mínimas de control de calidad en los revestimientos de elastómeros de poliuretano comercial en estructuras y accesorios metálicos

#### **3.4.2. Objetivo específico**

- Validar el parámetro de proceso de la materia prima (Concentración de grupo isocianato, %NCO)
- Establecer las especificaciones técnicas de control de calidad de los análisis en laboratorio para la validación de las propiedades mecánicas finales de los EPU's revestidos

### **3.5. Marco teórico**

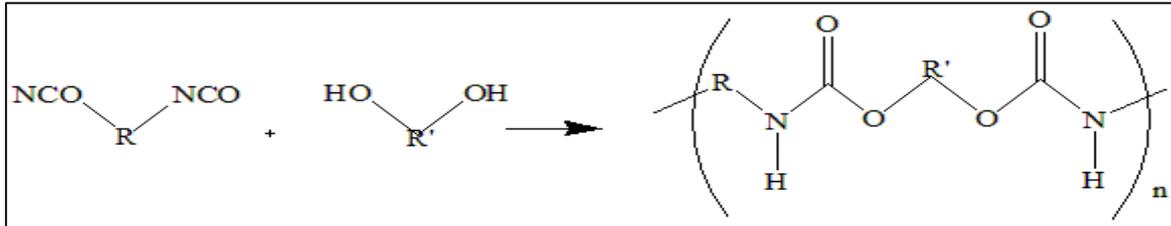
#### **3.5.1. Elastómeros de poliuretano**

Los poliuretanos son polímeros orgánicos que contienen grupo uretano en su estructura, normalmente se fabrican por la reacción de un polioliol con un diisocianato como se puede apreciar en la figura 3, pero dependiendo de la reacción inicial y producto final

pueden requerir de aditivos como extensores de cadena, pigmentos, catalizadores y nanorellenos. Usados en una amplia gama de aplicaciones como pinturas, lacas, colchonetas, espumas, suelas de zapato, sello y en la industria minera (Clemitson, 2015, p. 1).

**Figura 3**

*Formación clásica elastómero de poliuretano*



*Nota:* Fuente (QuimiNet, 2023)

Elastómeros hace referencia a materiales elásticos, que pueden ser termoplásticos o termoestables, según su química y procesamiento. Algunos elastómeros típicos son el caucho natural, que se extrae de los árboles, butilo, un caucho resistente al calor con la capacidad de mantener el aire en los neumáticos de los automóviles, nitrilo para sello de aceite, siliconas para resistencia al calor, poliuretanos, que cubren varios de los campos anteriores, en la tabla 4 podemos ver las ventajas del uso de los elastómeros de poliuretano versus el caucho convencional (Clemitson, 2015, p. 2).

**Tabla 4**

*Ventajas de los Poliuretanos frente a los Cauchos Convencionales*

	<b>POLIURETANO</b>	<b>CAUCHO CONVENCIONAL</b>
Procesamiento	Costo bajo a medio	Alto costo
Mezclado	Cubo y agitado	Molino abierto
	Maquinaria opcional	Mezclado intensivo
Moldeado	Ligero	Trabajo pesado
	Hecho de un modelo simple	
Acabado	Reparaciones sencillas	Reparaciones complejas

*Nota:* Fuente (Clemitson, 2015, p. 2)

Los elastómeros de poliuretano por su gran versatilidad pueden ser incorporados en muchos artículos diferentes, como la pintura, revestimientos líquidos, elastómeros, aislantes, fibras elásticas, espumas, etc. Las diferentes formas en la que el poliuretano aparece son las mejoras que el genio químico alemán Dr. Otto Bayer, que además es reconocido como el padre del poliuretano. Los poliuretanos se pueden producir en una gran variedad, usando diferentes técnicas de composición, se pueden producir poliuretanos con diferentes propiedades finales. Los grandes grupos son:

- Fibras
- Película
- Moldeables
- Termoplásticos
- Espumas
- Millable (fresable)

Podemos clasificar los elastómeros de poliuretano por su aplicación industrial basada en su dureza (Shore A y D).

**Tabla 5**

*Aplicación Industrial EPU's*

<b>Aplicación</b>	<b>Dureza</b>
Rodillos barnizadores	60 - 70 Shore A
Mallas para zaranda	70 - 83 Shore A
Recubrimiento interno de Spool	75 – 85 Shore A
Cuchillas raspadoras	83 - 90 Shore A
Planchas antidesgaste, cubiertas de tolvas	90 - 95 Shore A
Discos amortiguadores de camiones	65 - 70 Shore D

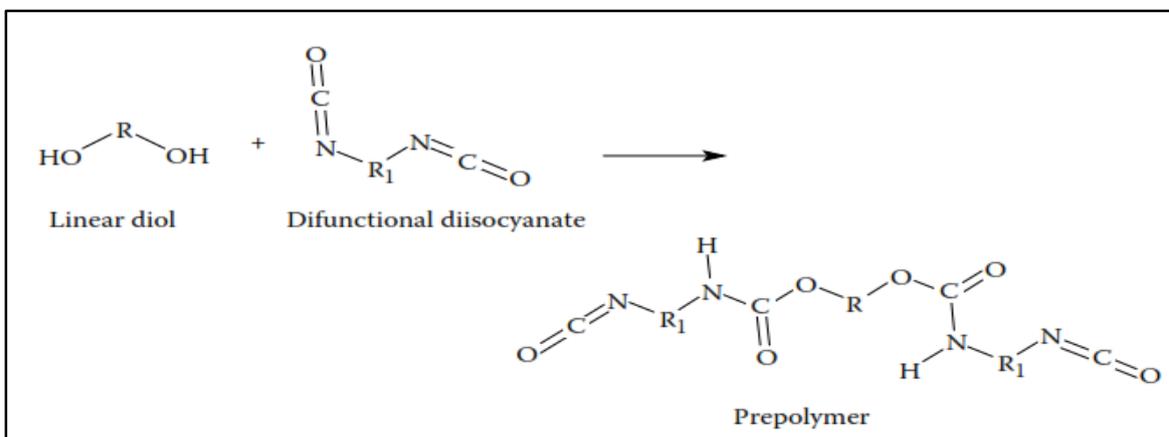
*Nota:* Elaboración propia

### 3.5.2. Síntesis y química de los poliuretanos (PU)

Los poliuretanos se obtienen de la reacción entre dioles y diisocianatos, los dioles son sistemas con dos grupos -OH y un diisocianato contiene dos grupos funcionales diisocianato (NCO). Las PU se pueden sintetizar en un solo paso (el método de una sola vez) mediante la mezcla directa de los componentes o en el método del prepolímero. El método del prepolímero implica la adición de diol e isocianato para formar el prepolímero de poliuretano con -NCO como grupos funcionales finales. Este prepolímero luego se extiende con **extensores de cadena (MOCA O 1,4 Butanodiol)** para formar los elastómeros de poliuretano. Los isocianatos más utilizados para la síntesis de poliuretano son diisocianato de difenilmetano (MDI), diisocianato de tolueno (TDI), diisocianato de hexametileno (HDI) y diisocianato de isoforona (IPDI), los isocianatos aromáticos son más reactivos que las variedades alifáticas. Los polioles usados para la síntesis de PU pueden ser Poliéter y poliéster, por ejemplo, polioles de Poliéter son el etilenglicol, propilenglicol, óxido de polietileno y los polioles de poliéster son productos condensados de ácido adípico o ácido ftálico con 1,4-butanodiol o 1,6-hexanodiol. La formación implica un paso de reordenamiento en el que el hidrógeno del alcohol pasa al nitrógeno del isocianato y el oxígeno se une al carbono. La reacción entre -OH y -NCO se representa en el siguiente paso para la formación de un prepolímero (Reghunadhan & Thomas, 2017).

**Figura 4**

*Representación de la formación del prepolímero de poliuretano.*

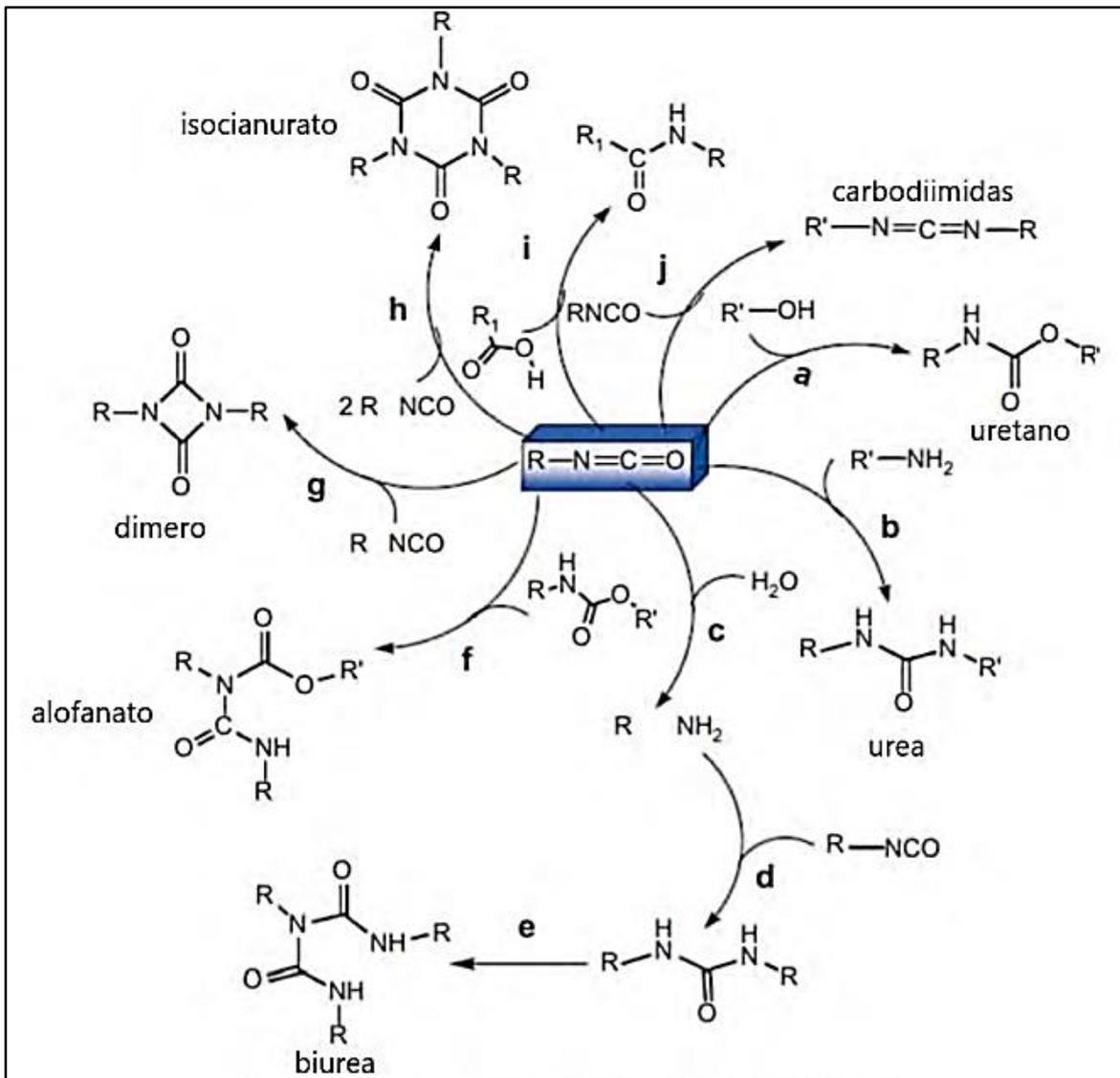


*Nota:* Fuente (Clemitson, 2015, p. 35)

Durante la reacción en la formación del elastómero de poliuretano o prepolímero de uretano se pueden dar reacciones o productos secundarios como urea, alofanato, ácido úrico y biurea son posibles. En la figura 5, se da una representación simple de las reacciones secundarias que ocurren durante la formación de uretano.

**Figura 5**

*Representación esquemática de los subproductos producidos durante la reacción entre dioles e isocianatos*



*Nota:* Fuente (Reghunadhan & Thomas, 2017, p. 4)

Definiremos la materia prima para la elaboración de elastómeros de poliuretano, como los polioles que se obtienen de forma industrial de recursos provenientes del petróleo para la formación de poliésteres y poliéteres, pero también se nombrará a los polioles provenientes de origen biológico. Los diisocianatos que es la base para la formación de los

elastómeros de poliuretano, los extensores de cadena y cargas reforzantes que podrían ser extensora o funcionales.

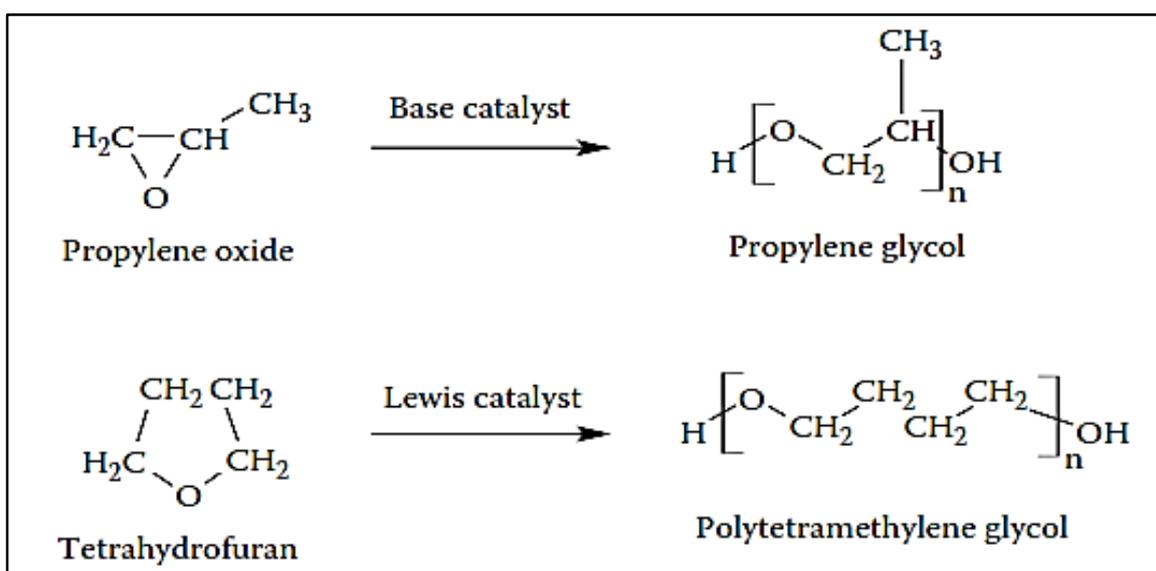
### 3.5.2.1. Poliéter

Los poliéteres forman un segmento muy importante de los dioles utilizados en la fabricación de poliuretano. La ruta normal es por polimerización por adición del epóxido monomérico apropiado. Los poliéteres más importantes son el polipropilenglicol y el politetrametilenglicol.

Los poliéteres glicol producen poliuretanos que no son tan fuertes y duros como los poliuretanos a base de poliéster, pero tienen una estabilidad hidrolítica muy superior. El polioli estándar en este grupo es el politetrametilenglicol (PTMEG), que otorga a los compuestos propiedades físicas y mecánicas superiores a las producidas con sistemas basados en polipropilenglicol (PPG). El PTMEG produce poliuretano con excelentes propiedades mecánicas y muy bajas pérdidas por abrasión. Los prepolímeros a base de polipropilen éter glicol (PPG) tienen propiedades mecánicas y de desgaste excelentes, pero no tan buenas, como los materiales a base de PTMEG (Clemitson, 2015).

**Figura 6**

*Ruta fabricación Polipropilenglicol y Politetrametilenglicol*



*Nota:* Fuente (Clemitson, 2015, p. 14)

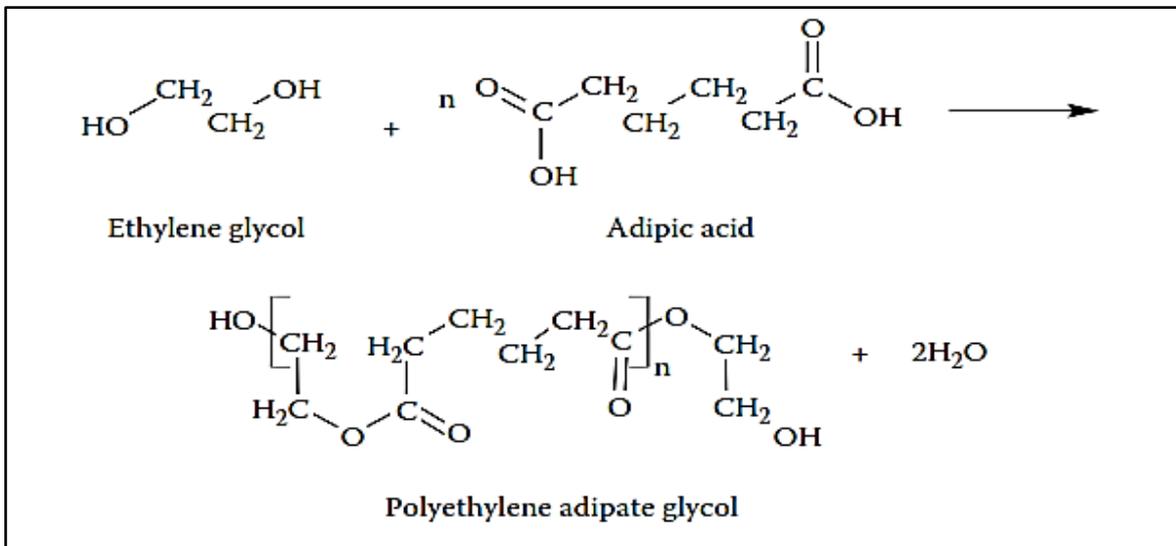
### 3.5.2.2. Poliéster

La estructura química del prepolímero influye en su resistencia química. Como resultado de su estructura, los poliésteres tienen inherentemente una mejor resistencia al aceite o solventes, pero una menor estabilidad hidrolítica. Los grupos éter de los poliésteres uretanos proporcionan una mejor estabilidad hidrolítica y son más flexibles.

El poliéster se fabrica mediante la reacción de un diol de ácido dibásico con la formación de un poliéster y agua. El agua tiene que ser eliminada.

Figura 7

Ruta fabricación Polyethylene adipate glicol, PEA, (éster)



Nota: Fuente (Clemitson, 2015, p. 15)

### 3.5.2.3. Polioles de base biológica

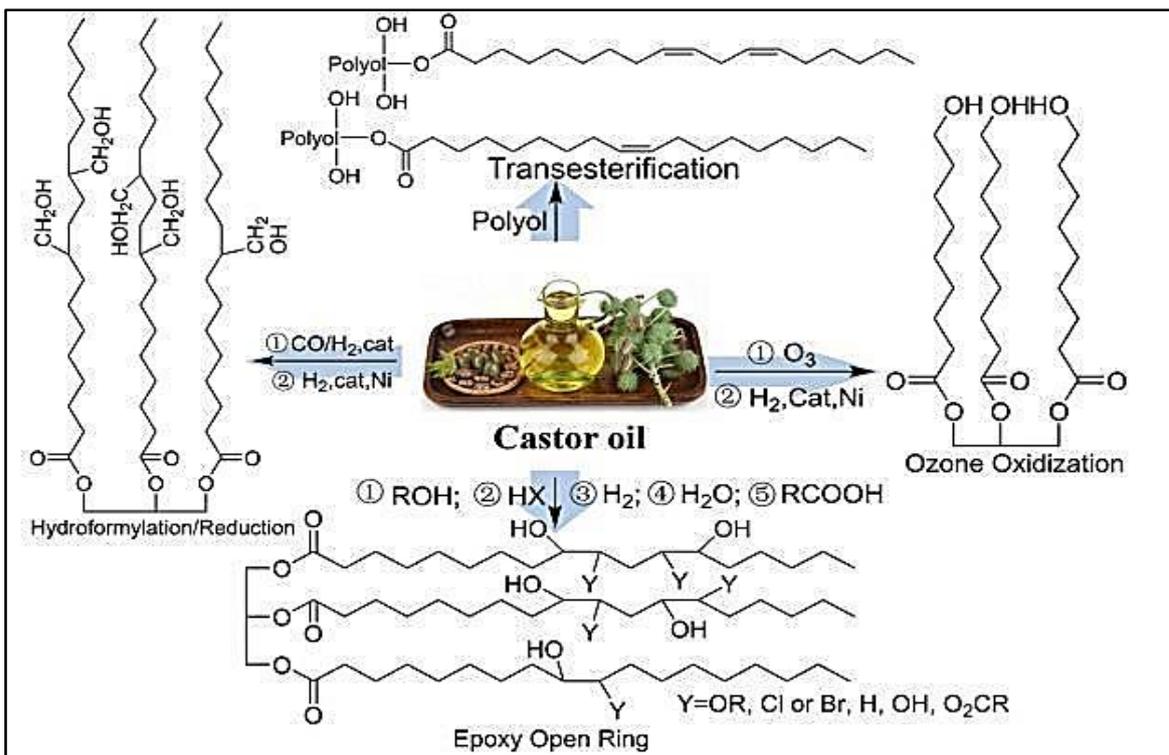
La mayoría de los polioles destinados a la producción de materiales de poliuretano se producen a partir de materias primas derivadas del petróleo. El precio de estas materias primas depende de la volatilidad de los precios del crudo. Con base en los principios de la química verde, es necesario reemplazar las materias primas petroquímicas por materias primas de origen natural más baratas, fácilmente disponibles y renovables, que incluyen, entre otros, los aceites vegetales (Borowicz et al., 2020).

Por ejemplo, el aceite de ricino es un tipo de triglicérido, cuyos componentes principales son el ácido ricinoleico. Se ha utilizado en la industria del PU durante muchos

años porque contiene grupos hidroxilo y puede reaccionar directamente con los isocyanatos para producir PU. Además, el aceite de ricino se puede convertir en polioles a través de la transesterificación, la ozonización, hidroformilación y la reacción de apertura del anillo epoxi, vía de hidroformilación e hidrogenación como se muestra en la figura 8 (Ma et al., 2022).

**Figura 8**

*Esquema de síntesis de bio-polioles a partir de aceite de ricino*

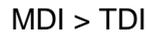


*Nota:* Fuente (Ma et al., 2022, p. 3)

(Akindoyo et al., 2016), nos habla de la complejidad de la mezcla de polioles, con composiciones que han sido cuidadosamente estudiadas y controladas para obtener propiedades consistentes que son necesarias para producir los elastómeros de poliuretano con propiedades específicas, por ejemplo, los elastómeros de poliuretano rígidos se fabrican a partir de polioles de bajo peso molecular (unos pocos cientos de unidades), mientras que los elastómeros de poliuretanos flexibles se obtienen a partir de polioles de alto peso molecular (alrededor de diez mil unidades o más).

### 3.5.2.4. Diisocianato

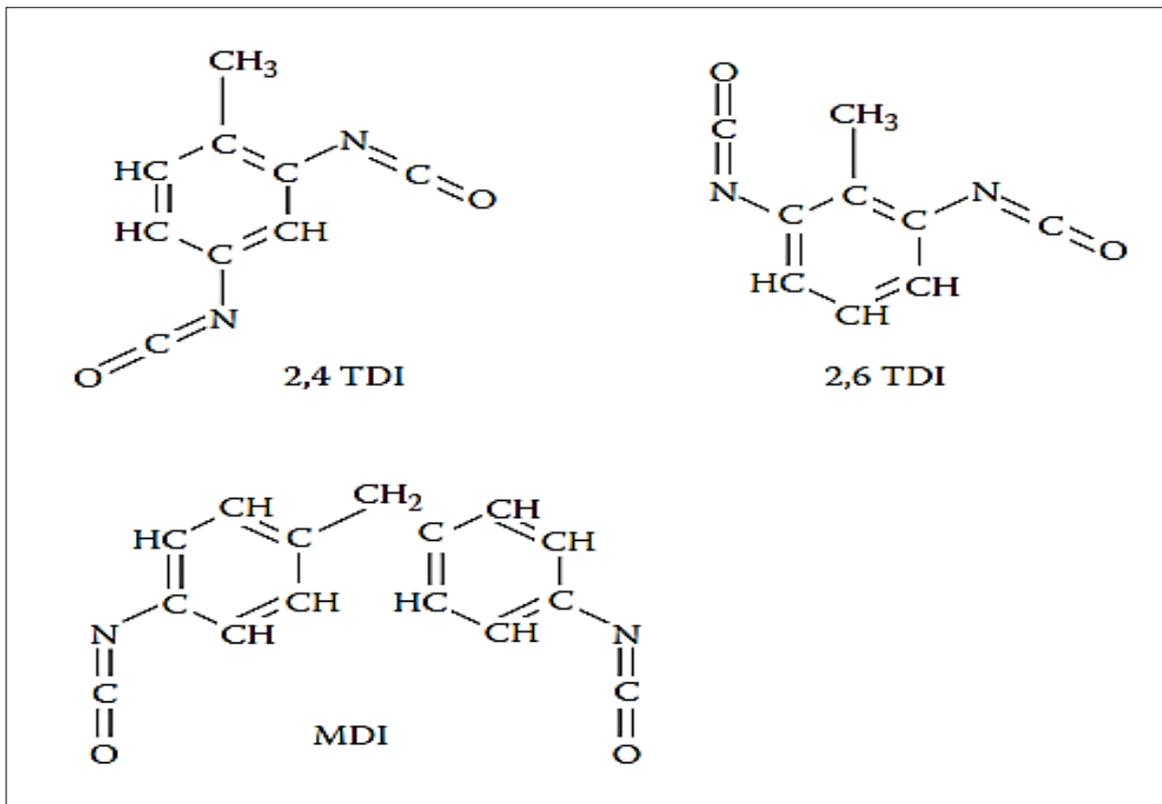
En la producción de elastómeros de poliuretano, solo los diisocianatos tienen un uso importante. Los principales diisocianatos fabricados y utilizados son los diisocianatos de 2,4 y 2,6-tolueno (TDI) y los diisocianatos de 4,4-difenilmetano (MDI). La reactividad de los diversos isocianatos es importante en el procesamiento de cualquier sistema:



El TDI se usa como una mezcla 80:20 de los isómeros 2,4 y 2,6 o como diisocianato de 2,4-tolueno al 100%. La tendencia actual es utilizar los isómeros mixtos 80:20 para trabajos normales y el TDI 100% isómero 2,4 para material de alto rendimiento (Clemitson, 2015).

Figura 9

*Diisocianato MDI y TDI*



Nota: Fuente (Clemitson, 2015, p. 17).

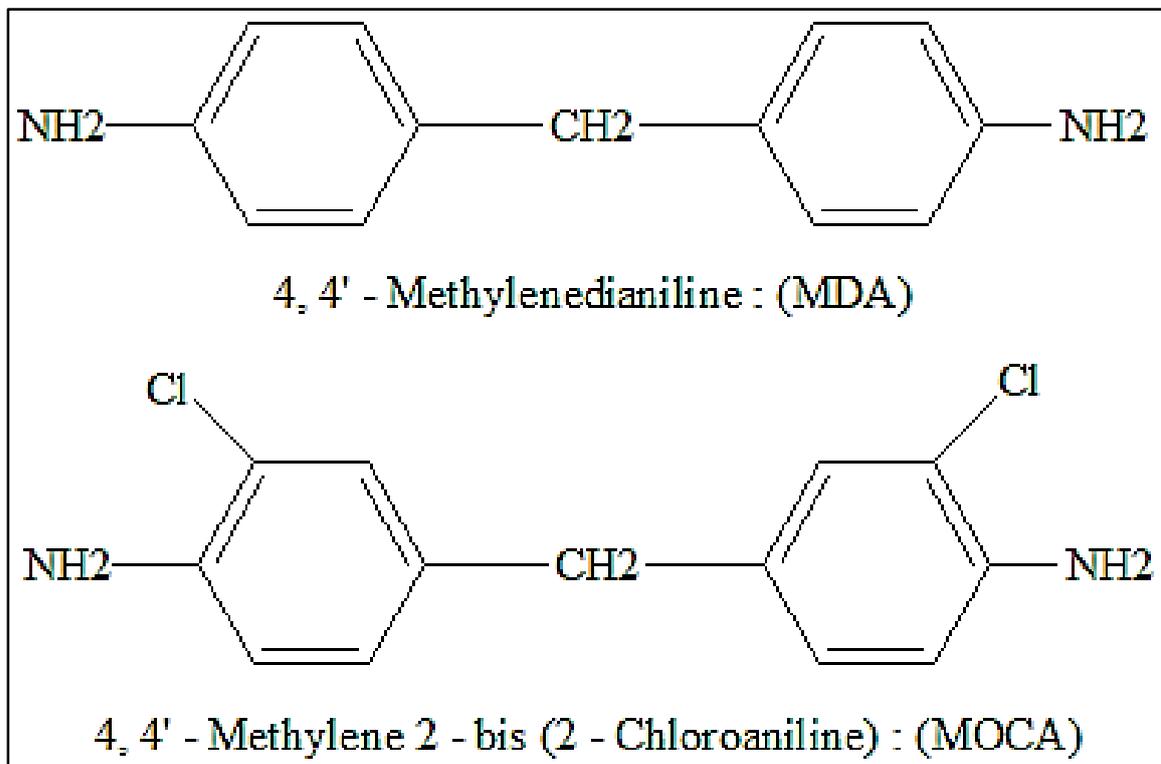
### 3.5.2.5. Extensor de cadena (MOCA y BDO)

Los principales grupos utilizados en el conformado de elastómeros de poliuretano son las diaminas (MOCA) y los compuestos de hidroxilo (Butanodiol), también son usados los trioles cuando se requiere de cierta reticulación. La elección del extensor de cadena depende de las propiedades requeridas y de las condiciones del proceso. Los dioles son los compuestos de hidroxilo más utilizados. En el curso normal de los acontecimientos, los dioles proporcionan buenas propiedades y velocidad de procesamiento con prepolímeros basados en MDI y diaminas con prepolímeros terminados en TDI (Clemitson, 2015, p. 19).

**Moca**, es una diamina aromática usada comercialmente para poliuretanos basados en TDI, presenta una velocidad de reacción controlada añadiendo sustitutos como grupo metilo o cloro, dando propiedades óptimas en los compuestos curados con estas diaminas, como se muestra a continuación en la figura 10.

**Figura 10**

*Diaminas utilizadas como extensor de cadena, MDA y MOCA*

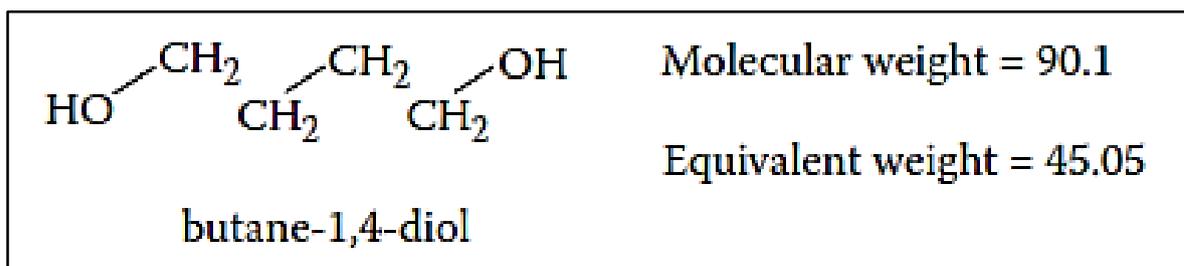


*Nota:* Fuente (Clemitson, 2015, p. 21)

**1,4 Butanodiol (BDO)**, es el diol más utilizado dentro de esta categoría, en especial cuando se trabaja con MDI. Una de las complicaciones es su capacidad de absorción de agua, por lo cual se debe mantener seco mediando un equipo de vacío con temperatura controlada previo al uso o por tamices moleculares para retirar la humedad absorbida.

**Figura 11**

*1,4 - Butanodiol*



*Nota:* Fuente (Clemitson, 2015, p. 22)

### 3.5.2.6. Carga reforzante en la matriz del elastómero de poliuretano

Las cargas reforzantes por lo general son materiales nanoparticulados que se agregan en la formulación de los elastómeros de poliuretano con fines de reducir costo del compuesto o para mejorar sus propiedades físico químicas. Una vez que se establecen los requisitos básicos de las propiedades que se buscan, se determinará el tipo de carga reforzante de acuerdo a sus propiedades y beneficios, formulación óptima para el procesamiento y su equilibrio en costo y rendimiento (Cargas y Aditivos, 2018).

Se pueden clasificar por su desempeño como:

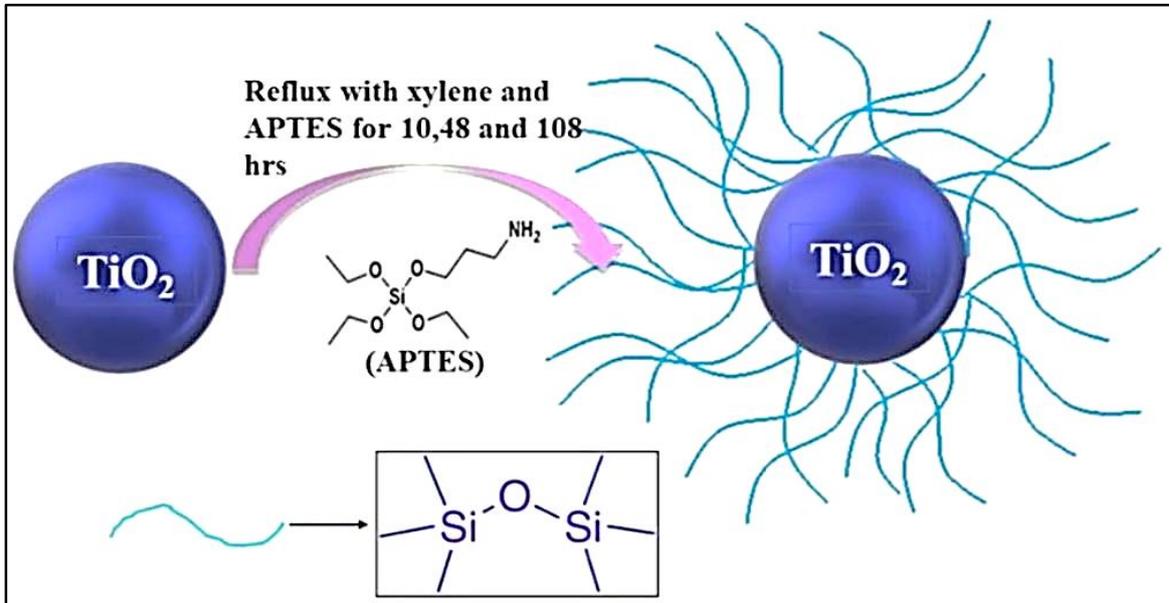
Carga extensora, este tipo de carga ocupan principalmente espacio y se utilizan para reducir los costos en la formulación. En términos generales deben cumplir con ciertos requisitos como no causar reactividad química con el polímero, ser de bajo costo, tener una distribución adecuada de tamaño de partícula aprovechando así sus propiedades inherentes (Cargas y Aditivos, 2018).

Cargas funcionales, aparte de funcionar como carga extensora este tipo de carga brinda propiedades al tener un agente enlazante que interactúa en la matriz polimérica,

como por ejemplo el  $\text{TiO}_2$  funcionalizadas con APTES para darle grupos funcionales ( $\text{NH}_2$ ) que interactúan con la matriz polimérica (uretano) (Meghashree & Paul, 2020).

**Figura 12**

*Esquema de tratamiento de  $\text{TiO}_2$  NPs con APTES*



*Nota:* Fuente (Meghashree & Paul, 2020).

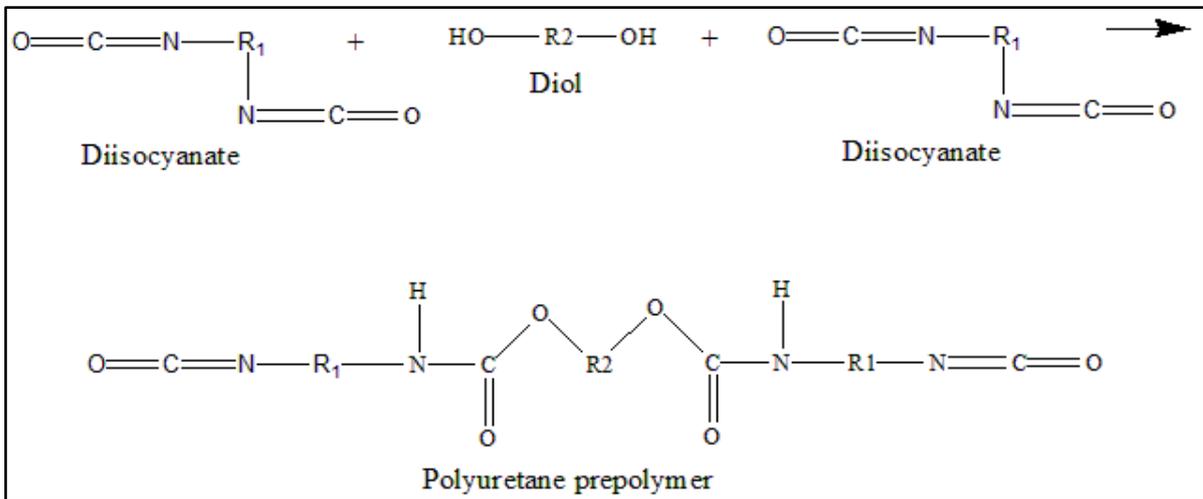
Las nanopartículas se están investigando y utilizando para proporcionar cierta rigidez adicional a los poliuretanos, pueden tener grupos funcionales como aminas unidas a ellos donde se unirán con el segmento duro. La aplicación de la nanotecnología en los polímeros nos ofrece grandes cambios y beneficios para mejorar enormemente las propiedades y características de los materiales, de esta manera obtener productos de excelente calidad que no se podían obtener con los procesos convencionales. La mejora de las propiedades en el polímero base depende del tamaño de las nanopartículas, es decir, a nano escala se garantiza una mayor dispersión en el área superficial comparada con la microescala o escala común, por lo que las propiedades obtenidas pueden ser incrementadas considerablemente (Garza et al., 2012).

Una vez descrito todos estos puntos, podemos mostrar la química del conformado del elastómero de poliuretano (EPU) bajo el método de 1 paso o 2 pasos, siendo el primero cuando reacciona un diisocianato con un poliol donde todos los  $-\text{NCO}$  del grupo

diisocianato reaccionan con los OH del polioli dándonos un elastómero de poliuretano. El método de 2 pasos es la reacción incompleta donde aún queda un porcentaje de grupos NCO presentes en el prepolímero o cuasiprepolímero, más adelante se completa la reacción con los extensores de cadena, siendo esta una amina (MOCA) u otro diol como él 1,4 butanodiol. Si se completa la reacción con MOCA habría enlaces urea y uretanos, mientras si se realiza con un diol habría solo enlaces uretanos dentro de la matriz polimérica (ver figura 15) (Hepburn, 1992, p. 16).

**Figura 13**

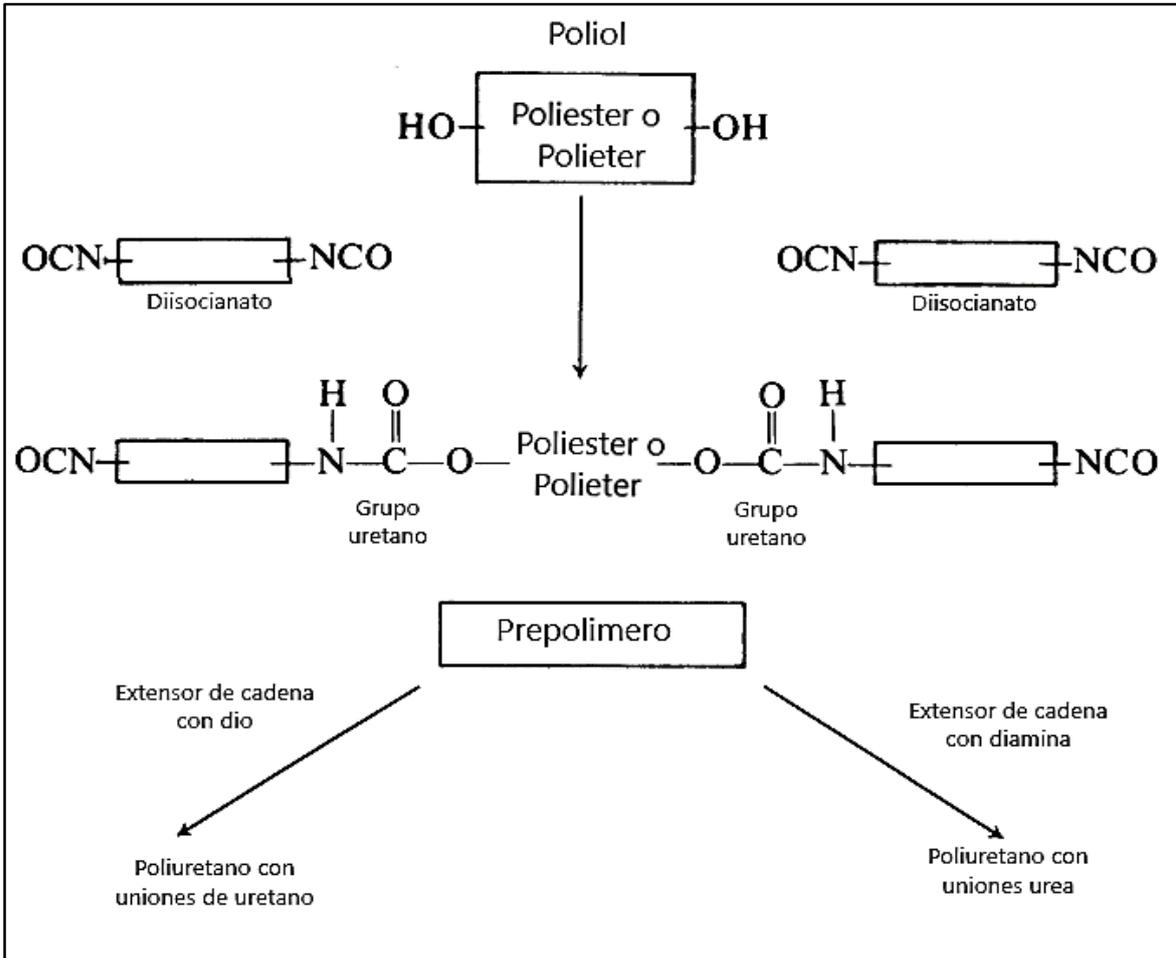
*Síntesis prepolímero de poliuretano*



*Nota:* Fuente (Clemitson, 2008, p. 15)

Figura 14

Ruta para la formación elastómero de poliuretano



Nota: Fuente (Hepburn, 1992, p. 16)

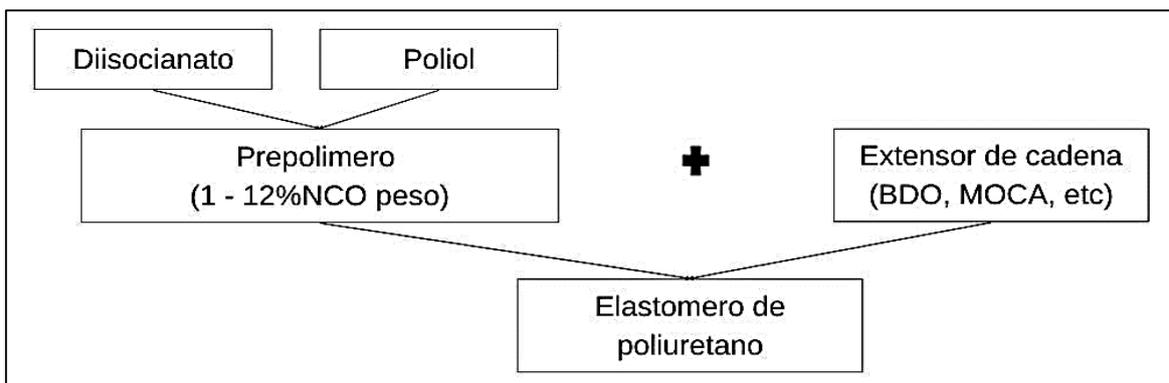
**Cuasi prepolímeros**, están formados gracias a la reacción de un diisocianato MDI y diversos polioles poliésteres o poliéster. Dependiendo de las propiedades y características que se requiera este tipo de posea un alta flexibilidad en la producción simultanea de una amplia gama de elastómeros, gracias a que con un solo material se puede obtener diversas durezas y propiedades mecánicas finales (Elaplas, 2023).

Presentan una baja viscosidad, no necesitan una elevada temperatura de procesado y al reaccionar con un poliol, un extensor de cadena y un catalizador generan elastómeros con unas propiedades mecánicas excelentes, contienen una menor cantidad de poliol, pero un mayor contenido en NCO en comparación a los prepolímeros clásicos (1 a 16% NCO en peso), es llamado un cuasi prepolimero cuando el contenido de NCO está

entre los 16 y 32% en peso (Szycher, 2012, p. 52). El polioli que falta en el proceso de conformado del elastómero de poliuretano mediante el método de 2 componentes es añadido mediante un extensor de cadena a un prepolímero, el método de 3 componentes es usado cuando tenemos cuasiprepolímero en combinación con el polioli y el extensor de cadena, estos pasos son graficados para mejor entendimiento en las imágenes 15 y 16 (Szycher, 2012, p. 42).

**Figura 15**

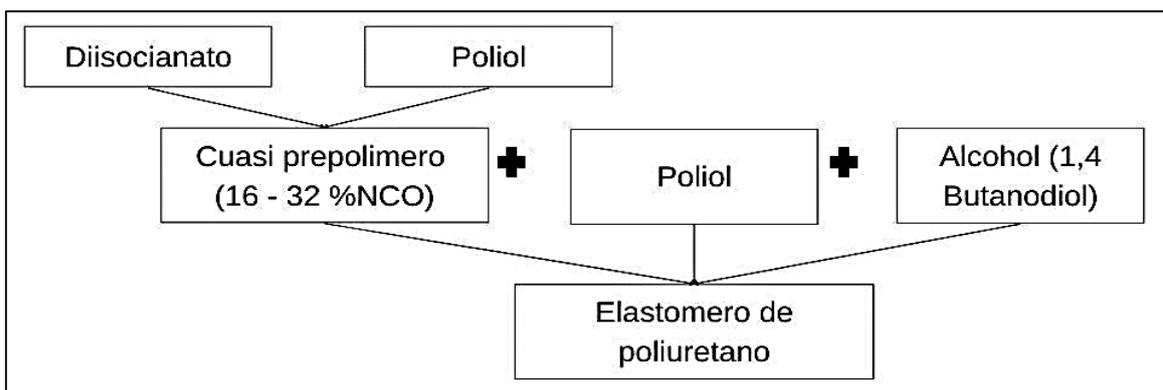
*Proceso de obtención del EPU mediante 2 componentes (prepolímero y extensor de cadena)*



*Nota:* adaptación de (Szycher, 2012, p. 43)

**Figura 16**

*Proceso de obtención del EPU mediante 3 componentes (cuasi prepolímero, polioli y extensor de cadena)*



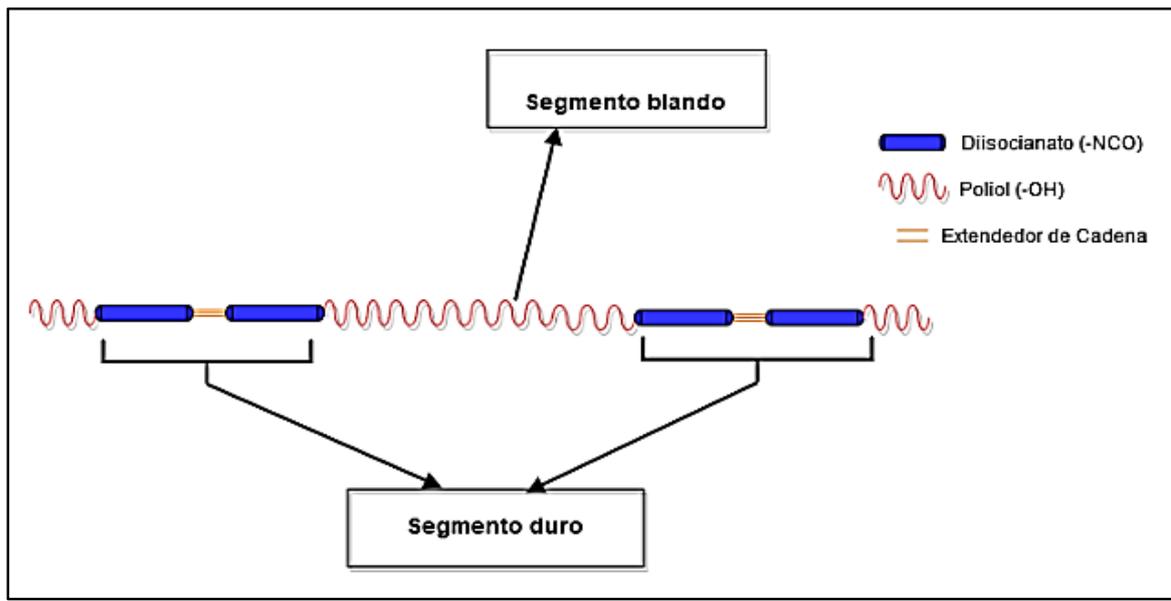
*Nota:* Adaptación de (Szycher, 2012, p. 43)

Los poliuretanos tienen una estructura segmentada por segmentos variables en su consistencia (un segmento blando y uno duro). Estos segmentos son los responsables de las propiedades mecánicas y de la capacidad de poseer memoria de forma, así como de

la potencial biocompatibilidad de los elastómeros de poliuretano. De esta manera, el segmento duro (HS: hard segment) es la formada por el extensor de cadena y el isocianato. El segmento blando (SS: soft segment) la compone el polioliol (Taguado Guayara, 2020).

**Figura 17**

*Representación prepolímero con segmentos duros y blandos*

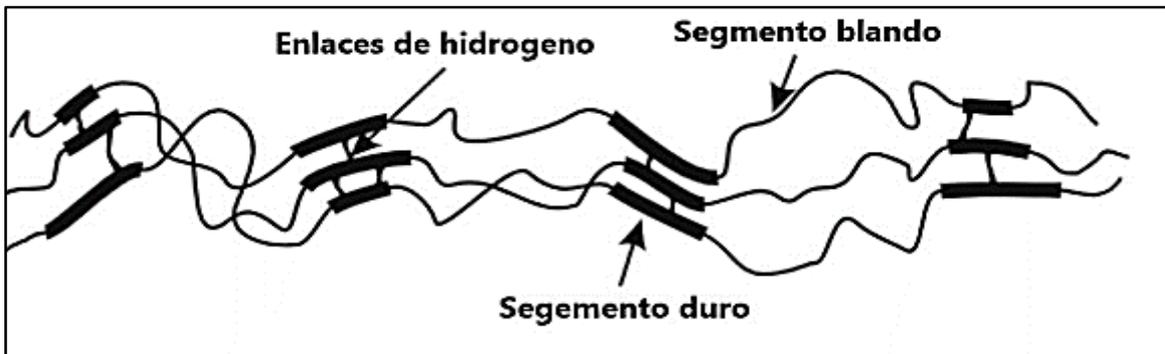


*Nota:* Fuente (Taguado Guayara, 2020, p. 4).

En las cadenas poliméricas se presentan interacciones puente de hidrogeno entre los hidrógenos activos de los nitrógenos del grupo uretano y el oxígeno de los grupos carbonilo de los mismos, también presentándose con los esteres o éteres de los polioliol. Al presentarse una considerado número de estas interacciones intermoleculares juegan un papel muy importante en propiedades mecánicas del polímero, aunque también hay presencia de interacciones de Van der Waals pero siendo estas mucho más débiles (Méndez-Bautista & Coreño-Alonso, 2010).

Figura 18

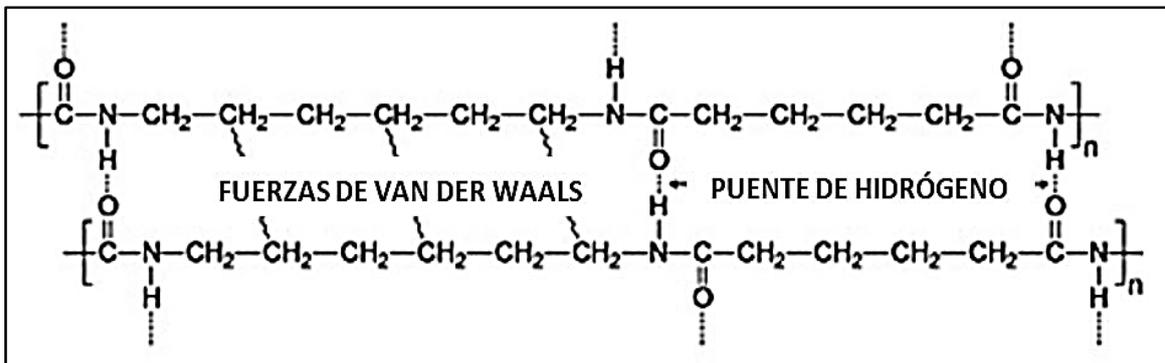
Enlaces hidrógeno entre cadenas poliméricas



Nota: Fuente (Tito Quilla, 2021)

Figura 19

Enlaces Van der Waals y puente de hidrógeno en una poliamida



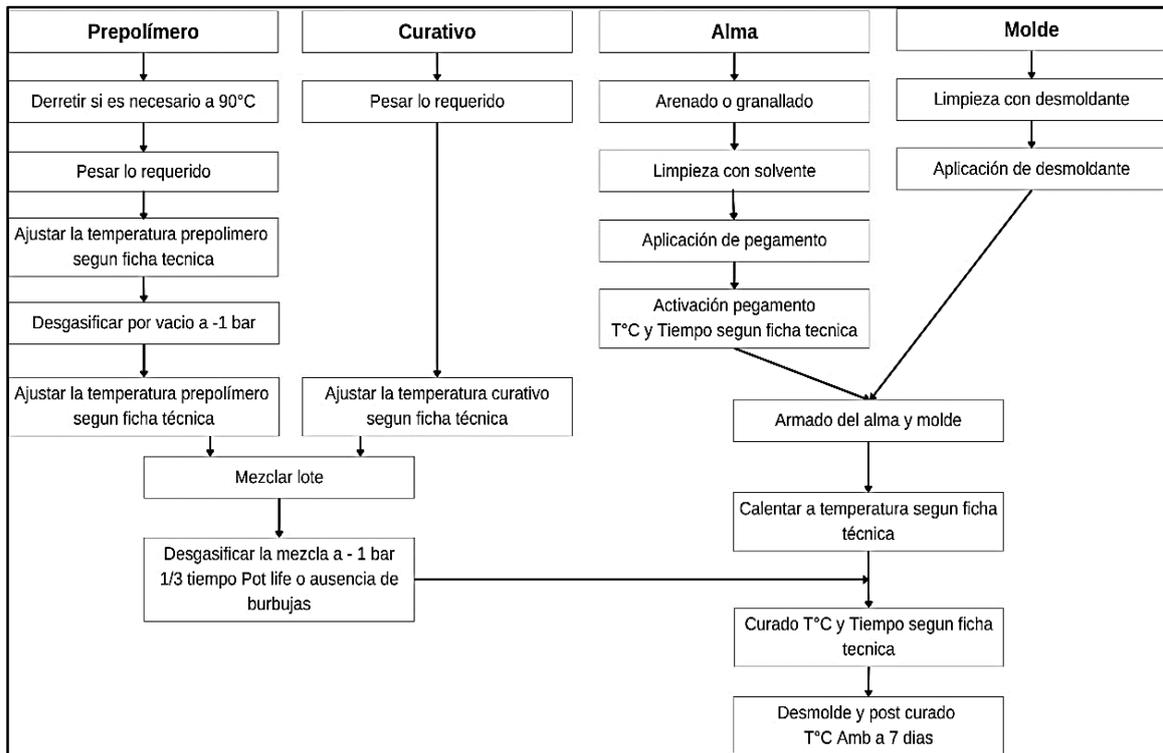
Nota: Fuente (Méndez-Bautista & Coreño-Alonso, 2010)

### 3.5.3. Procesamiento del revestimiento

El proceso de revestimiento convencional de un elastómero de poliuretano es detallado en la figura 20, donde es usado un alma y molde previamente preparados para la operación de revestimiento. Siguiendo las recomendaciones de la ficha técnica del prepolímero.

**Figura 20**

*Método de revestimiento EPU convencional*



*Nota:* Fuente Adaptación del (Clemitson, 2015, p. 71)

### 3.5.4. Tribología

La tribología se define como la rama de la ciencia y la tecnología que se ocupa de las superficies que interactúan en movimiento relativo y de los asuntos asociados, esto conlleva al estudio de la fricción, el desgaste y la lubricación (Hutchings & Shipway, 2017, p. 1). Existen 2 mecanismos de desgastes asociados a los elastómeros de poliuretano (EPU), por abrasión y erosión que están ligados al estudio de la tribología (Tito Quilla, 2021, p. 7).

### 3.5.5. Ensayos control de calidad (%NCO, FTIR, rugosidad superficial a recubrir, espesor de revestimiento, densidad, dureza, abrasión, erosión, tracción, rotura, elongación)

#### 3.5.5.1. Concentración de grupos diisocianatos (%NCO) ASTM D2572

La concentración de diisocianatos es un factor importante en el control de calidad de prepolímeros o cuasiprepolímero, ya que, esta concentración es un indicador que daría

las propiedades básicas de los elastómeros conformados. Por tal motivo, usamos la norma ASTM D2572 como medio de referencia para el cálculo de la concentración de diisocianatos libres mediante un método de titulación volumétrica.

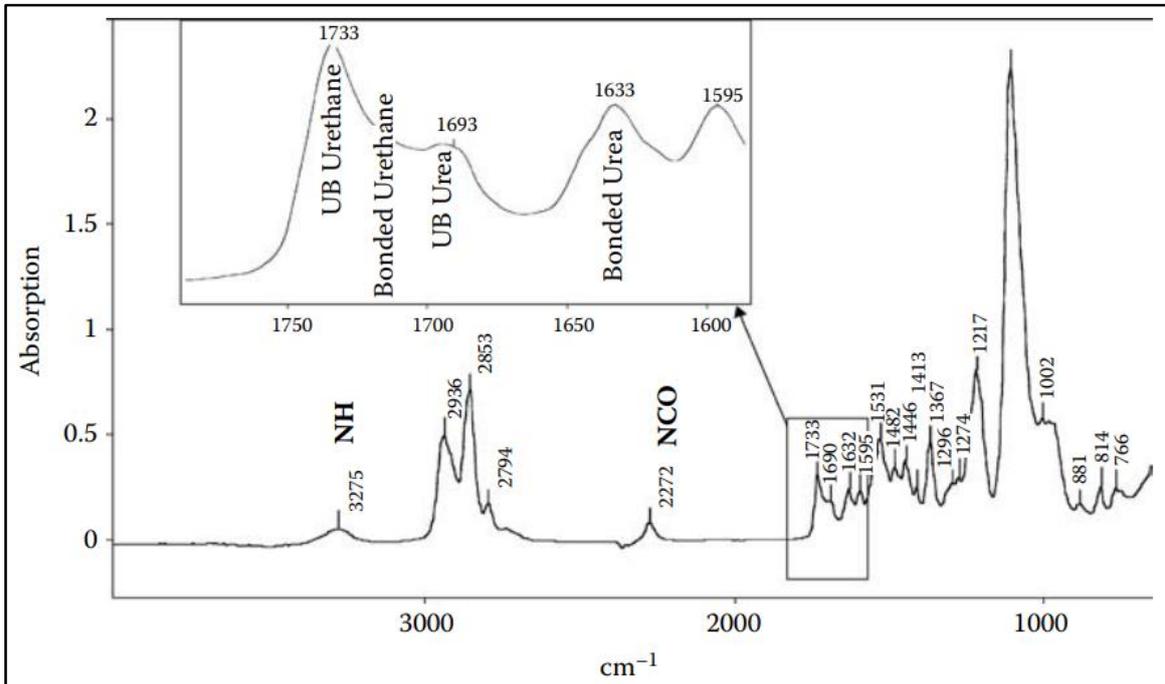
### **3.5.5.2. Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)**

El espectrofotómetro es el instrumento para determinar el espectro de absorción de un compuesto. Este instrumento produce un haz de radiación IR, que es emitido desde una fuente de cuerpo negro brillante, el haz pasa al interferómetro donde tiene lugar la codificación del espectro. La recombinación de haces con diferentes longitudes de trayectoria en el interferómetro crea una interferencia constructiva y destructiva denominado interferograma, posteriormente este interferograma es codificado mediante un software matemático de transformación de Fourier (FT-IR) (Bahrim et al., 2014; Mohamed et al., 2017).

El espectro IR obtenido del espectrofotómetro FTIR se encuentra en la región que comprende los 4000 a 600  $\text{cm}^{-1}$ , correspondiente a la región del IR medio. Es usado para determinar si existen grupos funcionales específicos dentro de lo que se requiere analizar. En la figura 21 se muestra el espectro IR de una muestra de elastómero de poliuretano con la presencia de grupos NCO en 2272  $\text{cm}^{-1}$ .

Figura 21

FTIR de un elastómero de poliuretano



Nota: Fuente (Clemitson, 2015, p. 33).

La absorción de la radiación infrarroja (IR) en una molécula da como resultado la excitación de las vibraciones moleculares a un nivel de energía superior. Es necesario que la radiación IR posea una energía igual o superior a la diferencia entre los dos niveles de energía ( $\Delta E$ ) para que se produzca la absorción IR (Nebhani & Jaisingh, 2020, p. 73).

Para que una molécula sea activa en el IR o muestre absorción en el IR, se requiere un cambio general en el momento dipolar de la molécula (Thompson, 2018). Yadav (2005), nos explica que en la espectroscopia IR el movimiento vibratorio de una molécula se puede entender considerando dos átomos unidos a través de un enlace covalente, pueden considerarse similares a dos masas conectadas por un resorte. Entonces, para este caso la frecuencia vibratoria ( $\tilde{\nu}$ ) del enlace puede estar dada por:

$$\tilde{\nu} = \frac{1}{2\pi c} \sqrt{\frac{K}{\mu}}$$

$K$ : Constante de la fuerza de enlace

$c$  : Velocidad de la luz

$\mu : \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$ , donde  $m_1$  y  $m_2$  son masas de dos átomos unidos por enlace covalente.

Un espectro IR está representado usualmente por luz absorbida o luz transmitida por una molécula versus el número de onda. La expresión matemática de la absorbancia de la muestra se calcula la ecuación:

$$A = \log_{10} \left( \frac{I_0}{I} \right)$$

Donde:

$A$  : Absorbancia

$I_0$ : Intensidad de radiación incidente

$I$  : Intensidad de la radiación transmitida

El espectro IR también puede ser expresado como porcentaje de transmitancia (%T) la cual es calculada por la siguiente ecuación:

$$\%T = 100 \left( \frac{I}{I_0} \right)$$

### 3.5.5.3. Rugosidad zona metal a recubrir

Las superficies metálicas donde los elastómeros de poliuretano (EPU) son fijados deben pasar por tratamientos previos, por las siguientes 2 razones principales:

- Reparaciones de las piezas o superficies, por ejemplo, de óxido presentes en la superficie y otras impurezas
- Una rugosidad requerida mínima para la fijación del elastómero de poliuretano

El EPU curado con adhesivo requiere que ambas las superficies estén limpias de impurezas, por lo cual, son limpiadas con solvente para la eliminación de estas. La

superficie debe tener una ligera rugosidad y debe ser capaz de tener un buen contacto con el EPU curado (Clemitson, 2015, p. 97).

El principal problema generado por una mala rugosidad en la superficie metálica es que el EPU se desprege aun aplicando el adhesivo de forma adecuada como indica el proveedor. En la figura 22 se muestra las categorías de preparación de la superficie metálica según la norma SSPC.

**Figura 22**

*Categoría por norma SSPC/NACE*

Norma SSPC	Descripción		Ultima revisión
SSPC-SP COM	Comentarios sobre Preparación de superficie para acero y sustratos de hormigón		Mar 2015
SSPC-SP 1	Limpieza con Solventes		Abr. 2015
SSPC-SP 2	Limpieza con herramientas manuales	Cepillos, lijas, etc	Nov. 2014
SSPC-SP 3	Limpieza con herramientas manuales mecánicas	Herramientas eléctricas o neumáticas	Nov. 2014
SSPC-SP 5 / NACE N° 1	Limpieza con Chorro de abrasivo	Granallado Metal Blanco	Ene. 2007
SSPC-SP 6 / NACE N° 3	Limpieza con Chorro de abrasivo	Granallado Comercial	Ene. 2007
SSPC-SP 7 / NACE N° 4	Limpieza con Chorro de abrasivo	Granallado Ligero	Ene. 2007
SSPC-SP 8	Decapado químico		Nov. 2014
SSPC-SP 10 / NACE N° 2	Limpieza con Chorro de abrasivo	Granallado Semi-Blanco	Ene. 2007
SSPC-SP 11	Limpieza Manual con herramientas mecánicas	Limpieza metal limpio o desnudo c/ rugosidad mínima de 25 micrones	Jul. 2012
SSPC-SP 12 / NACE N° 5	Limpieza con Agua presión - Waterjetting	Reescrita en Julio 2012 y reemplazadas por las normas SSPC-SP WJ-1,2,3, y 4	Jul. 2002
SSPC-SP 13 / NACE N° 6	Limpieza de concreto		Mar. 2003
SSPC-SP 14 / NACE N° 8	Granallado industrial		Ene 2007
SSPC-SP 15	Limpieza Manual con herramientas mecánicas	Limpieza comercial con rugosidad mínima de 25 micrones	Jul. 2012
SSPC-SP 16	Limpieza metales no ferrosos	Galvanizado, Acero Inoxidable, cobre aluminio, latón, etc.	Abr. 2010

*Nota:* Tomado de la norma SSPC/NACE por (Metal Cym S.A, 2015)

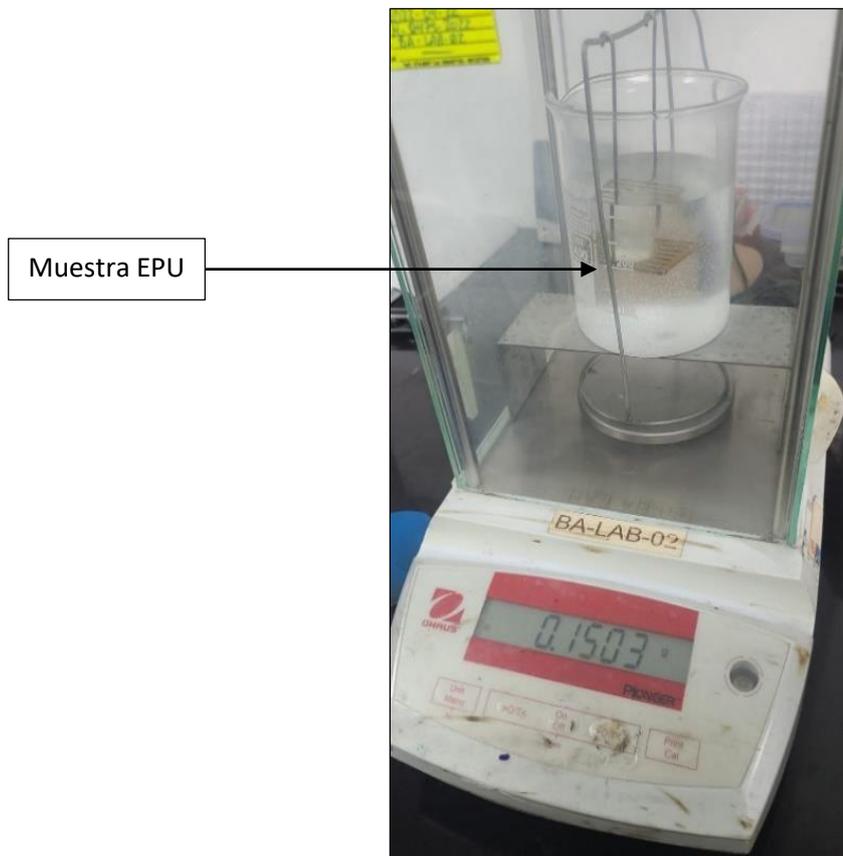
#### 3.5.5.4. Densidad (ASTM D792)

El cálculo de la densidad es una pieza fundamental en el revestimiento de los elastómeros de poliuretano ya que con este dato es posible la cubicación exacta y especialmente en coladas por centrifuga donde el espesor del revestimiento dependerá del volumen calculado de revestimiento.

La norma usada para la medición de la densidad es la ASTM D792 que sirve para medir la densidad y gravedad específica sobre plásticos sólidos en forma de láminas, varillas, tubos o elementos moldeados. En la figura 23 nos muestra el sistema usado bajo la normativa mencionada para el cálculo de la densidad de una muestra de elastómero de poliuretano.

**Figura 23**

*Balanza de densidad*



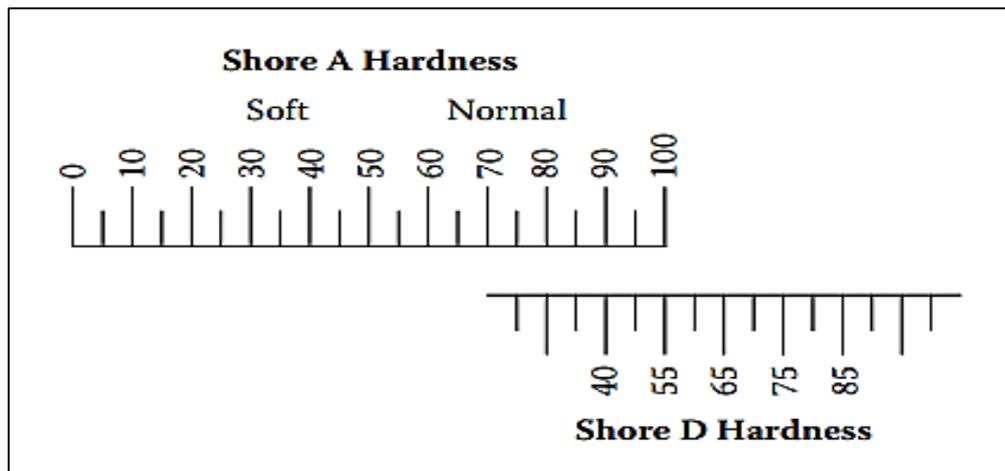
*Nota:* Elaboración propia

### 3.5.5.5. Dureza (ASTM D2240)

Las piezas revestidas con elastómeros de poliuretano (EPU) se caracterizan por sus propiedades, una de estas es la dureza que es la medida de rigidez del material de forma superficial. Normalmente los EPU usan 2 tipos de escalas en Shore A y D mediante equipos de medición de dureza (durómetros), como se aprecia en la figura 24.

**Figura 24**

*Escalas de dureza Shore A y D*



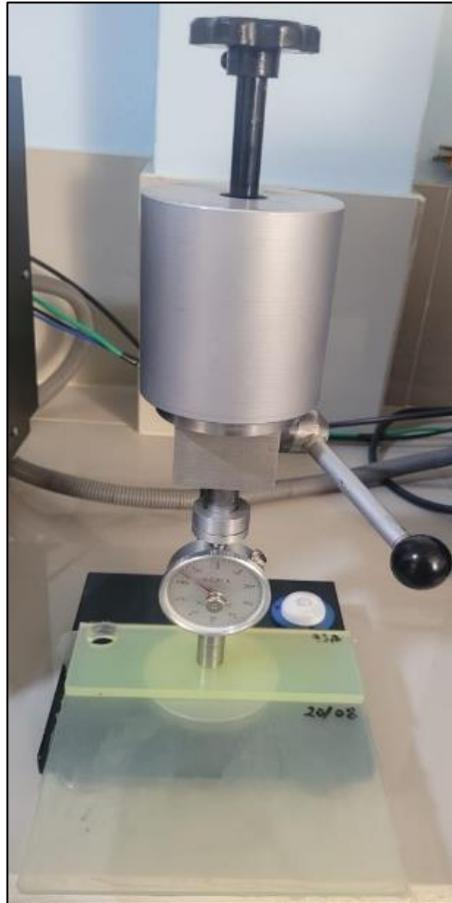
*Nota:* Fuente (Clemitson, 2015, p. 123)

Para poder medir la dureza es necesario condiciones mínimas de un espesor de 5mm y una superficie suficientemente plana para que pueda descansar el equipo medidor de dureza.

La norma usada para realizar las mediciones de dureza es la ASTM D2240 donde nos indican las pautas para la evaluación de la dureza en muestras de caucho, pero también usada para elastómeros de poliuretano. En la figura 25 nos muestra el equipo usado para las mediciones de las probetas de control de calidad en los revestimientos de elastómeros de poliuretano.

**Figura 25**

*Equipo de test de dureza shore A o D (ASTM D2240)*



*Nota:* Elaboración propia

### **3.5.5.6. Abrasión (ASTM 5963)**

Abrasión, es el desgaste causado por la fricción cuando 2 o 3 cuerpos entran en contacto por rodamiento o deslizamiento (Hutchings & Shipway, 2017, p. 166). Se estudia el ASTM D5963-04, que cubre la abrasión de cauchos (cauchos termoestables vulcanizados y elastómeros termoplásticos). La resistencia a la abrasión se mide moviendo una pieza de forma cilíndrica o de botón que será usado como prueba sobre la superficie de una lámina abrasiva previamente desgastada con un caucho patrón que debe tener un desgaste entre 180 – 220 gramos, la pieza de prueba es montada en un cilindro giratorio y se expresa como pérdida de volumen en milímetros cúbicos o índice de resistencia a la abrasión en porcentaje. La figura 26 y 27 muestran los esquemas del equipo de abrasión usada bajo esta normativa.

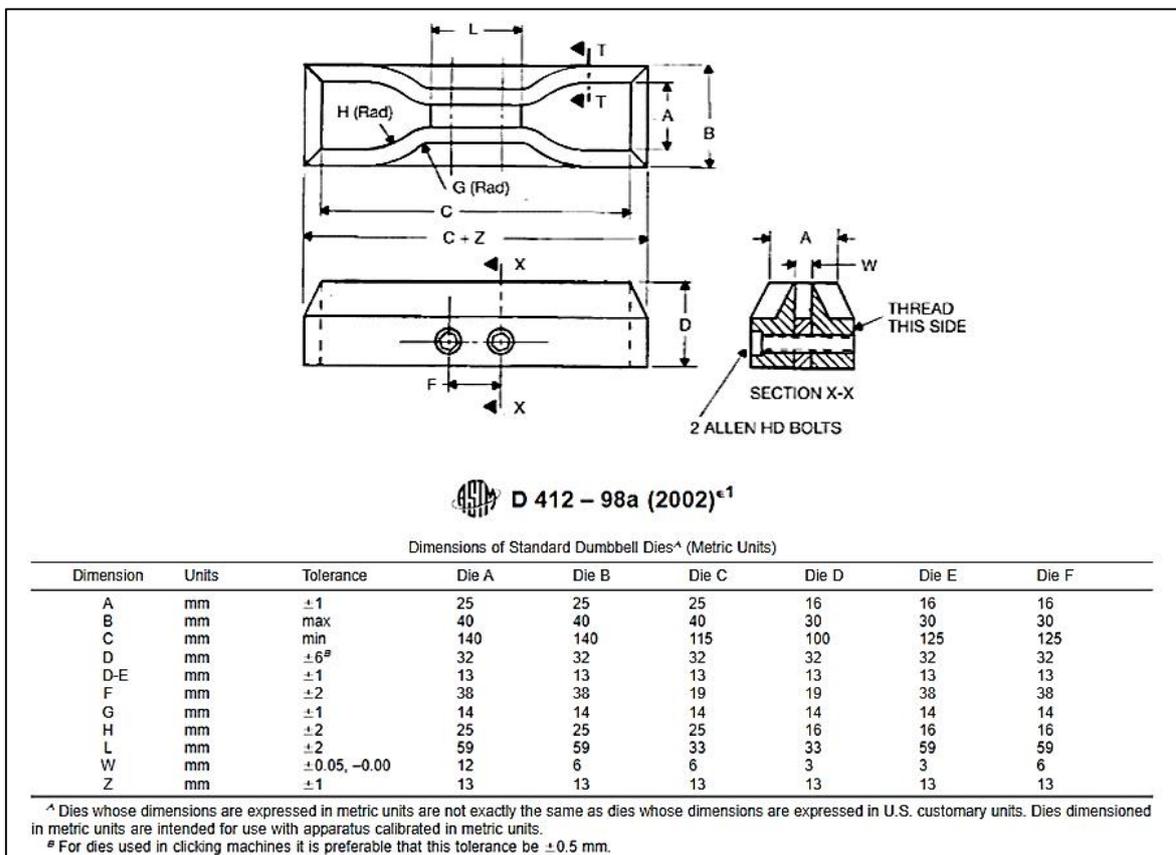


“El porcentaje de elongación es la extensión de una sección uniforme de un espécimen expresada como porcentaje de la longitud original” (ASTM D1566, 2021).

El método utilizado para medir el valor de la tracción y porcentaje de elongación de las muestras de caucho y elastómeros de poliuretano se basa en la norma (ASTM D412, 2021), en la figura 28 se muestra las características del molde de troquelado usado para el corte de las muestras a analizar.

**Figura 28**

Módulo de corte para análisis de resistencia a la tracción.



Nota: Fuente Tomado de la norma (ASTM D412, 2021)

### 3.5.5.8. Resistencia a la rotura

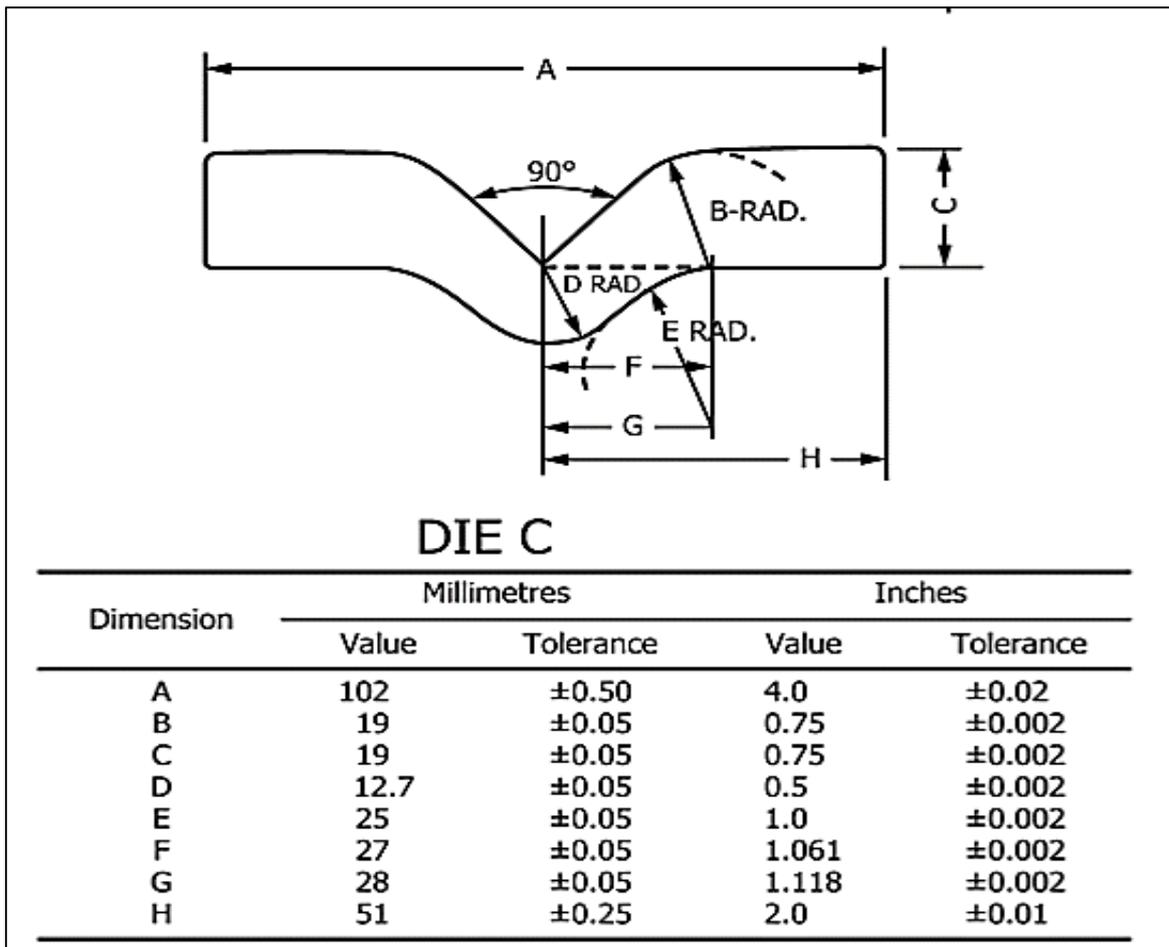
Bajo la norma ASTM D624, que es un método estandarizado para medir la resistencia al desgarro. Esta norma nos brinda diferentes tipos de medida de troquel por lo cual se usa la referencia al tipo DIE C.

Se mide como la fuerza máxima requerida para causar una rotura de una pieza de prueba Tipo C (ángulo recto), dividida por el espesor de la probeta (ASTM D624, 2020).

En la figura 29 se muestra las características del molde de troquelado usado para el corte de las muestras a analizar.

**Figura 29**

*Módulo de corte para análisis de resistencia a la rotura.*



*Nota:* Fuente tomado de la norma (ASTM D624, 2020)

### 3.5.5.9. Espesor recubrimiento

Un factor importante de control de calidad son los espesores recubiertos ya que son solicitudes directo del cliente y son verificados generalmente mediante un equipo de medidor de espesor de materiales por ultrasonido.

Otro punto importante es la detección temprana de un recubrimiento sin uniformidad en la superficie o un espesor muy delgado con presencia de burbujas que no impide que la humedad llegue al refuerzo provocando corrosión (Clemison, 2015, p. 168).

Bajo la norma “ASTM E797 Práctica estándar para medir espesores mediante el método manual de contacto ultrasónico de pulso-eco”, nos brinda los principios de aplicación para medir el tiempo que tarda una onda ultrasónica al entrar y salir de un objeto sólido reflejando un porcentaje de onda el cual es llamado ECO, finalmente este reflejo es registrado por el receptor (Villarreal et al., 2009, p. 132) .En la imagen 30 se esquematiza este principio.

La ecuación a usar y los parámetros de medición son mediante la velocidad de propagación y el tiempo transcurrido entre el emisor y el receptor.

$$E = \frac{V \cdot t}{2}$$

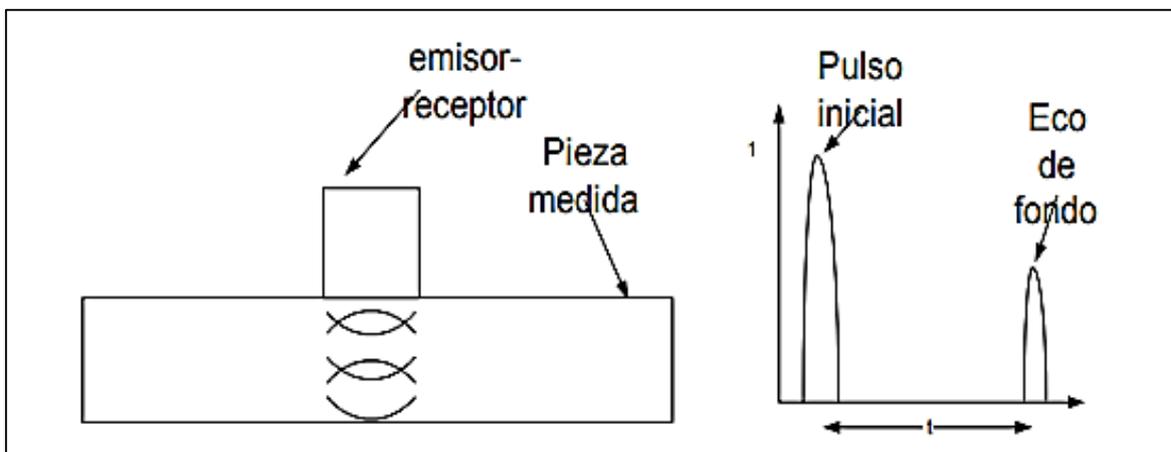
E: Espesor (m)

V: Velocidad propagación de onda

t: Tiempo transcurrido entre emisor y receptor

**Figura 30**

*Método de pulso eco*



*Nota:* Fuente tomado (Villarreal et al., 2009, p. 132)

La velocidad de propagación de onda es característico de acuerdo al material de medición, así como se muestra en la tabla 6.

**Tabla 6**

*Velocidad de propagación de las ondas ultrasónicas en materiales más comunes.*

<b>Material</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>
Acero	5918
Acero inoxidable	5664
Aluminio	6350
Hierro	5893
Níquel	5639
Oro	3251
Plata	3607
Platino	3962
Titanio	6096
Zinc	4216

*Nota:* Fuente tomado (Villarreal et al., 2009, p. 132)

### **3.6. Objetivos y justificaciones del uso de las técnicas propuestas**

#### **3.6.1. Objetivo general**

Brindar las especificaciones técnicas mínimas de control de calidad en los revestimientos de elastómeros de poliuretano comercial en estructuras y accesorios metálicos.

Tomaremos por ejemplo el revestimiento interno de una tubería de uso minero (Spool) como se aprecia en la figura 31.

**Figura 31**

*Spool*



*Nota:* Elaboración propia

Los EPU son materiales poliméricos versátiles donde su aplicación en la industria minera o industrial ha ido en aumento en los últimos años, desplazando al caucho o siliconas gracias a su gran rango de propiedades mecánicas y flexibilidad de procesamiento. Por tal motivo, el uso de normativas aplicadas para el control de calidad de los materiales recubiertos con este polímero tiene el fin de validar las especificaciones técnicas solicitadas por el cliente, con el fin de poder tener un alto rendimiento cuando se vea afectado por el estrés propio de la exposición de trabajo.

### **3.6.2. Objetivos específicos**

- Validar el parámetro de proceso de la materia prima (Concentración de grupos isocianato %NCO)
- Establecer las especificaciones técnicas mínimas de control de calidad de los análisis en laboratorio para la validación de las propiedades mecánicas finales de los EPU revestido.

### 3.6.2.1. Especificaciones técnicas mínimas de la materia prima

Un parametro importante para el proceso de colado es determinar la masa de curativo a usar, por ejemplo, el prepolimero comercial IMUTHANE 22-83A nos da un rango de %NCO entre 3.1 – 3.5. El valor real es determinado por la prueba descrita en “3.5.4.1. Concentración de grupos diisocianatos (%NCO)”.

En la figura 32 se muestra la ficha técnica del prepolimero IMUTHANE 22-83A de la marca COIM.

**Figura 32**

*Ficha técnica prepolímero IMUTHANE 22-83A*

		286 Mantua Grove Road West Deptford (Paulsboro) New Jersey 08066-1732 - USA Telephone: (800) 345-8380 (856) 224-8560 Fax: (856) 224-8599 / 8598 www.coimgroup.com
		<b>IMUTHANE</b> CASTABLE POLYURETHANE ELASTOMERS <b>22-83A</b>
<b>IMUTHANE</b> 22-83A		
IMUTHANE 22-83A is a TDI / PTMG based prepolymer which yields a 83 Shore-A elastomer when cured with 4, 4' methylene bis ortho chloroaniline (MBOCA).		
<b>Typical Prepolymer Properties</b>		
% NCO		3.1 – 3.5
Brookfield Viscosity @ 100° C		5.0 – 8.0
Specific Gravity @ 77° F (25° C)		1.04
@212° F (100° C)		1.00
<b>Typical Process Conditions</b>		
IMUTHANE 22-83A °F (°C)		212 (100)
MBOCA, °F (°C)		240 (115)
Mold, °F (°C)		212 (100)
% Theory		95
Pot Life, min		14
Cure Time, min @ °F (°C)		60 @ 212 (100)
Post Cure, hrs @ °F (°C)		16 @ 158 (70)
<b>Typical Physical Properties</b>		
Shore Hardness		83A
100% Modulus, psi (MPa)		825 (5.7)
300% Modulus, psi (MPa)		1500 (10.3)
Tensile, psi (MPa)		4700 (32.4)
Elongation, %		480
Tear Strength, Die C, pli (kN/m)		350 (61.3)
Tear Strength, (D470), pli (kN/m)		65 (11.3)
Bashore Rebound, %		63
Compression Set, Method B, 22 hrs @ 158°F (70°C), %		25
Specific Gravity		1.07
The data contained herein are believed to be reliable. However, there is no guarantee that the same results will be obtained under different conditions. Fit for use testing should be conducted by each user.		

*Nota:* Fuente tomado de internet (Huiming, 2023)

### 3.6.2.2. Especificaciones técnicas mínimas de los productos EPU

En la industria minera hay varias estructuras de diferentes usos revestidos con elastómeros de poliuretano de acuerdo a las propiedades que se solicitan, por ejemplo, tomaremos los revestimientos de tuberías (Spools), cuyos requisitos mínimos solicitados por el cliente se ven en la figura 33.

**Figura 33**

*Propiedades mínimas de revestimiento de poliuretano en tuberías (Spool)*

<b>DOCUMENTOS A ENTREGAR</b>			
Las tolerancias para el revestimiento son +/-2 teniendo en cuenta las propiedades de los poliuretanos y tolerancia para el espesor es de -0, +2 mm.			
<b>Propiedades Mínimas del Poliuretano</b>			
<b>PROPIEDADES</b>	<b>ESTANDAR</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADES</b>
Resistencia al desgarro (mínima)	ASTM D624	58	KN/m
Tracción (mínima)	ASTM D412	24	MPa
Elongación (mínima)	ASTM D412	400	%
Dureza	ASTM D2240	80 +/- 5	Shore A
Abrasión (máximo)	ASTM D5963	55	mm3
Espesor revestimiento	-	12	mm

Nuestro cliente final nos solicita entregar los siguientes resultados de ensayo por cada vaciada de Spool.

- Tracción
- Resistencia al desgarro
- Resistencia a la abrasión

*Nota:* Elaboración propia

Estos requisitos mínimos son solicitados por el cliente y es parte del área de control de calidad validar y cumplir con lo solicitado mediante el uso de materia prima adecuada para el cumplimiento y satisfacción del cliente mediante un dossier de calidad.

### **3.7. Cálculo y determinaciones utilizadas en las aplicaciones**

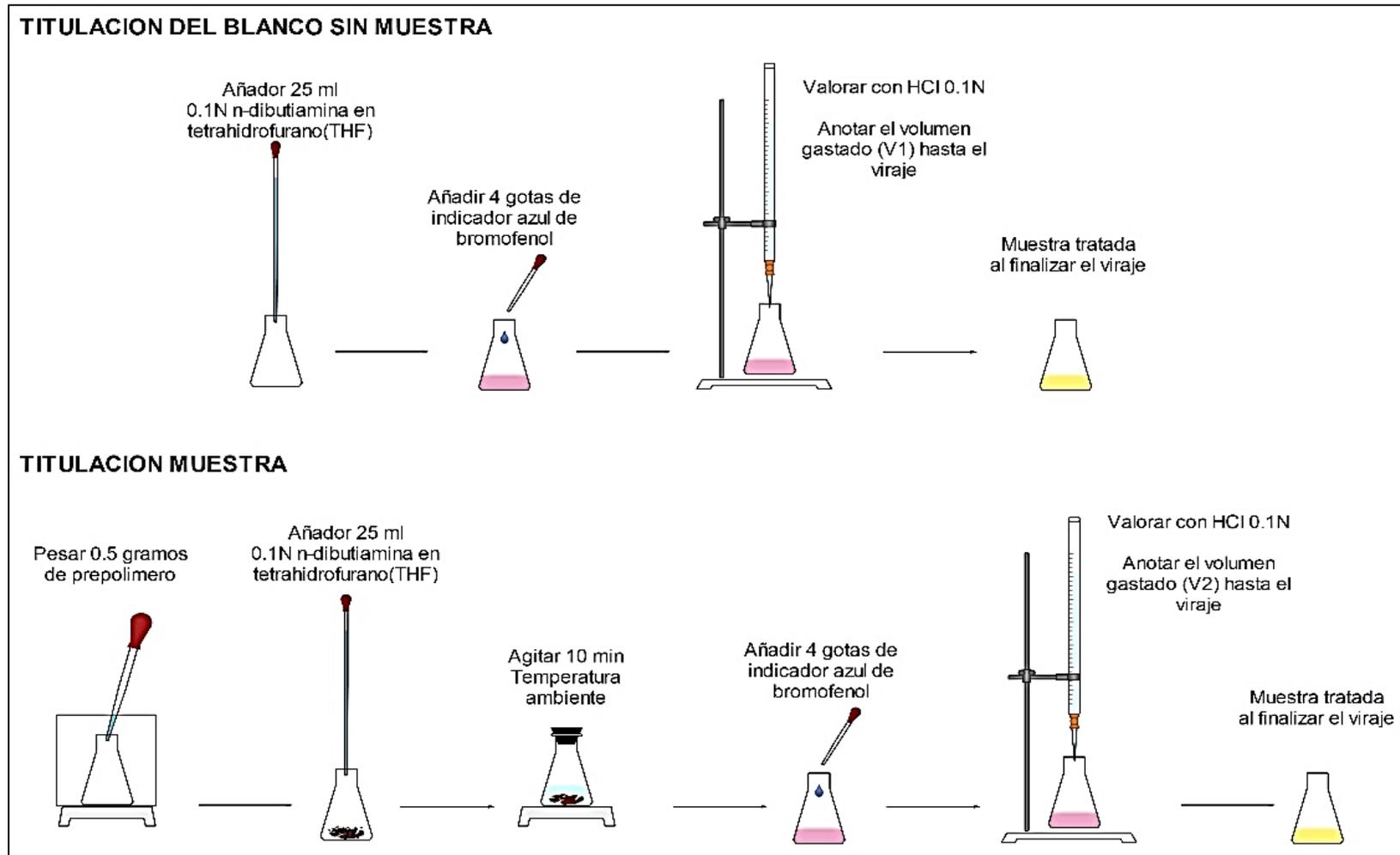
Las especificaciones técnicas mínimas de control de calidad en los revestimientos de elastómeros de poliuretano comercial en estructuras y accesorios metálicos son evaluadas tanto en la materia prima, la superficie y el producto final respecto a sus propiedades mecánicas tomando como referencia las fichas técnicas del material y lo solicitado por el cliente.

#### **3.7.1. Concentración de isocianatos (%NCO) en la muestra de prepolímero**

Un método práctico para determinar la concentración de isocianatos (%NCO), es mediante método de titulación volumétrica. Usamos la norma ASTM D2572, lo cual resumiremos en la figura 34.

**Figura 34**

Método para determinar el %NCO en prepolímeros



Nota: Fuente, adaptación de (Sánchez-Adsuar, 1996, p. 63; ASTM D2572, 2019; Tito Quilla, 2021, p. 11)

El contenido de NCO se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\%NCO = \frac{(V1 - V2) \times 4.2 \times N}{M}$$

Donde:

V1: Volumen gastado muestra blanca (ml)

V2: Volumen gastado muestra analizada (ml)

N: Normalidad de la solución HCl estandarizado (mol/L)

M: Masa pesada muestra analizada (g)

Tomando como muestra el prepolímero comercial IMUTHANE 22-83A, cuya ficha técnica indica que contiene entre 3.1 a 3.5% de NCO. La tabla 7, muestra los resultados del análisis del %NCO en una muestra de prepolímero comercial IMUTHANE 22-83A.

**Tabla 7**

*Resultados análisis %NCO prepolímero comercial IMUTHANE 22-83A*

<b>ANALISIS PREPOLIMERO - %NCO</b>			
<b>V1 (Blanco)</b>	12.7	12.7	12.6
<b>V2 (Muestra)</b>	8.6	8.6	8.5
<b>Masa (Muestra) g</b>	0.5120	0.5130	0.5160
<b>N (HCl)</b>	0.0995		N
<b>%NCO:</b>	3.35	3.34	3.32
	<b>Promedio %NCO:</b>	<b>3.34</b>	<b>%</b>

*Nota:* Elaboración propia.

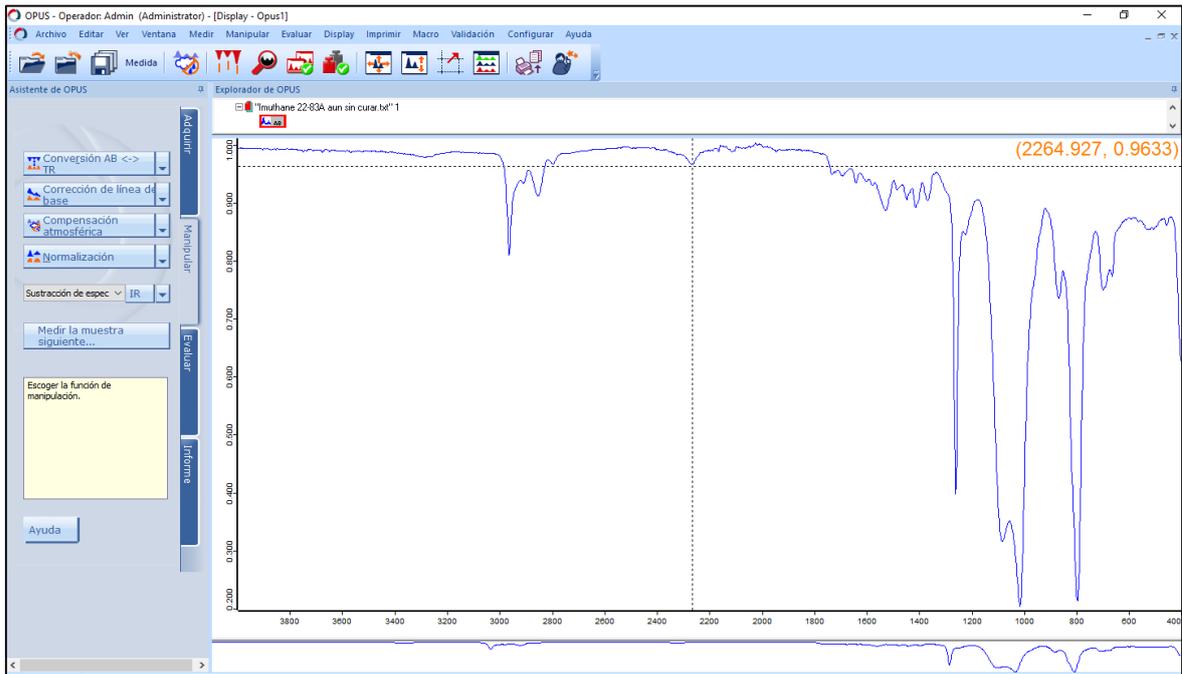
### 3.7.2. Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

El análisis por FTIR nos muestra la interacción de los grupos -NCO a 2250 cm<sup>-1</sup>. La presencia de este pico en las lecturas del conformado nos muestra como indicador si el elastómero fue curado o elaborado de acuerdo a las condiciones de formulación y operación al presentar o no presentar el pico característico en 2250 cm<sup>-1</sup>. En la figura 35

se muestra el elastómero con presencia de grupos NCO libres con análisis realizado el primer día de curación posterior a la colada del material, en la figura 36, se observa el elastómero de poliuretano al trascurso de 7 días sin presencia de grupos NCO, teniendo así el curado completo del EPU en la muestra de análisis.

**Figura 35**

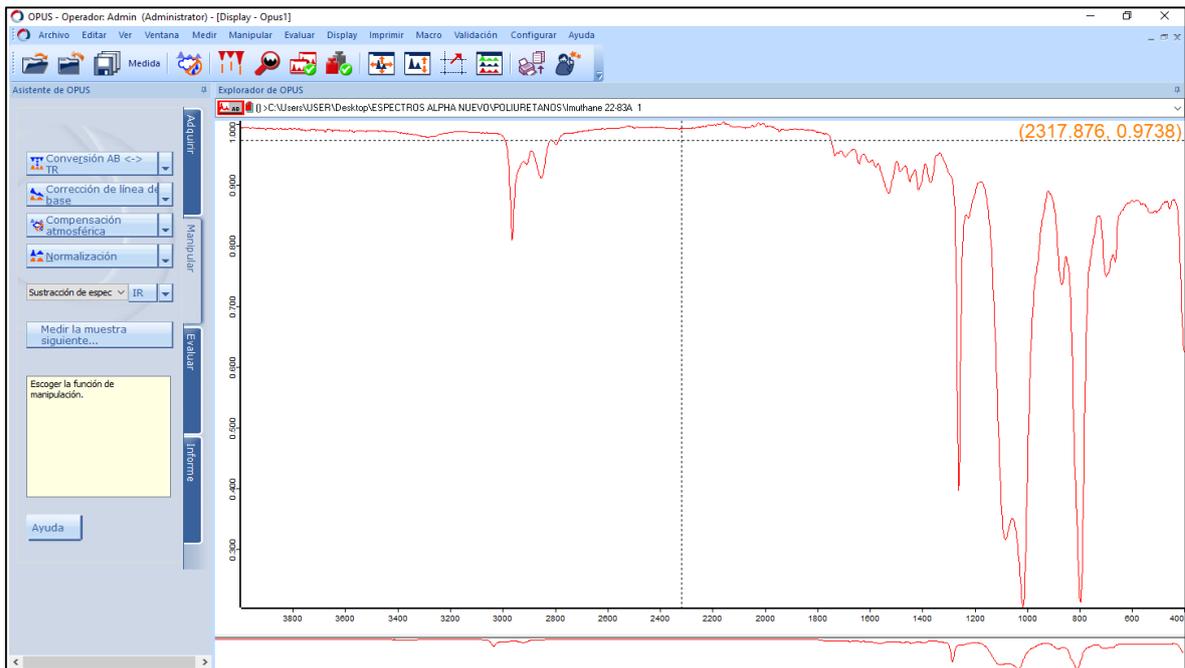
*Espectro FTIR Elastómero de Poliuretano IMUTHANE 22-83A/MOCA primer día de postcurado*



*Nota:* Elaboración propia.

**Figura 36**

*Espectro FTIR Elastómero de Poliuretano IMUTHANE 22-83A/MOCA séptimo día de postcurado*



*Nota:* Elaboración propia.

### **3.7.3. Rugosidad zona metal a recubrir**

El tratamiento superficial se realiza mediante la norma SSPC-SP5 usando chorro abrasivo con granallas de metal blanco, como resultado se puede apreciar en la figura 37, donde se ha tratado la zona interna de una tubería (Spool) a recubrir. Otro punto importante es el grado de rugosidad que es medido con un rugosímetro analógico tomando como valor mínimo lo solicitado por el cliente de 2 mils, en la figura 38 se muestra una lectura de 2.9 mils siendo este un valor aceptable, por lo cual este tratamiento superficial es aceptable.

**Figura 37**

*Pieza con arenado SSPC-SP5*



Nota: Elaboración propia.

**Figura 38**

*Medición in situ de la rugosidad mediante rugosímetro analógico*



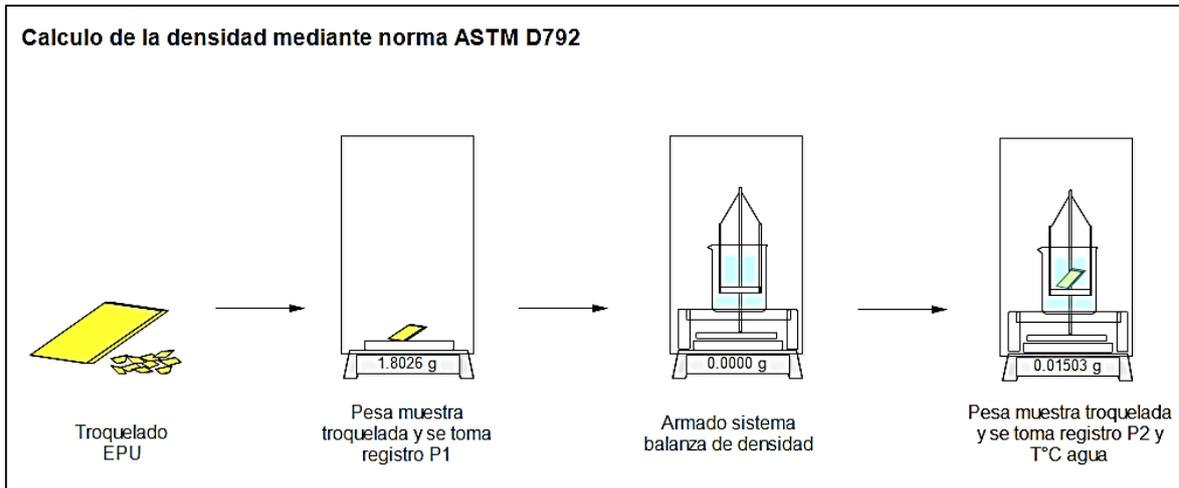
Nota: Elaboración propia.

### 3.7.4. Densidad de muestra EPU

La densidad se calcula mediante la normativa ASTM D792, en la figura 39 se muestra los pasos a desarrollar para el cálculo correspondiente.

**Figura 39**

*Pasos para el cálculo de la densidad de una muestra de EPU*



*Nota:* Elaboración propia.

Lo datos son registrados como se indica en la tabla 8.

**Tabla 8**

*Registro de datos del análisis de densidad EPU IMUTHANE 22-83A/MOCA*

	Troquel 1	Troquel 2	Troquel 3
<b>Peso seco P1 (g)</b>	0.9874	0.9538	0.9843
<b>Peso sumergido P2 (g)</b>	0.0579	0.0478	0.0483
<b>Densidad agua/T°C</b>	0.9975 / 25°C		
<b>Densidad (g/ml)</b>	1.06	1.05	1.05
	<b>Densidad Promedio</b>	<b>1.05</b>	<b>g/ml</b>

*Nota:* Elaboración propia.

Se utiliza la siguiente ecuación para el tratamiento de los datos.

$$d_t = \frac{\text{Densidad agua} \times P1}{(P1 - P2)} \text{ g/ml}$$

Este valor es usado de gran importancia ya que es usado para 3 puntos importantes.

1. Cotización de productos.
2. Cubicación de material en el colado.
3. Ensayo de control de calidad en el análisis de abrasión.

### 3.7.5. Dureza

La dureza se calcula mediante la norma ASTM D2240, mediante la configuración del equipo como se muestra en la figura 40. Se procede a poner la probeta de muestra del EPU IMUTHANE 22-83A/MOCA que fue usado para el revestimiento de la tubería (Spool).

**Figura 40**

*Medida de dureza EPU IMUTHANE 22-83A/MOCA*



*Nota:* Elaboración propia.

Se secciona la muestra o probeta en 4 cuadrantes, tomando como dato de la medición en cada cuadrante en un tiempo de 1 min de lectura hasta que la medición se estabilice. En la tabla 9 se muestran los valores obtenidos junto a los parámetros ambientales que son parte de los datos a reportar en el análisis respectivo.

**Tabla 9**

*Registro de datos del análisis de dureza EPU IMUTHANE 22-83A/MOCA*

ANALISIS DUREZA					
<b>Muestra:</b>	EPU Imuthane 22-83A/MOCA				
<b>Cuadrante 1</b>	83	Shore A	<b>Cuadrante 3</b>	83	Shore A
<b>Cuadrante 2</b>	83	Shore A	<b>Cuadrante 4</b>	83	Shore A
<b>Tiempo lectura:</b>	1	min	<b>Masa cabezal:</b>	1	Kg
<b>Temp. Ambiental:</b>	25	°C			
<b>Humedad Relativa:</b>	61	%			
<b>Dureza promedio:</b>	83	Shore A			

*Nota:* Elaboración propia.

La dureza es un indicador de rigidez del material por lo cual es una característica de gran importancia y de las principales en la elaboración de los EPU, ya que es de fácil medición.

### 3.7.6. Abrasión

La abrasión se calcula mediante la norma ASTM D5963, usando el abrasímetro de tambor. Las muestras de EPU IMUTHANE 22-83A/MOCA que fue usado para el revestimiento de la tubería (Spool) son troqueladas en forma cilíndricas de 16 mm de diámetro y 10 mm de espesor. La tabla 10 nos muestra los valores obtenidos y las condiciones de operación, para este análisis se utiliza un patrón estándar de caucho.

Se usó la siguiente ecuación para el tratamiento de datos:

$$A = \frac{\Delta m \cdot S_0}{d_1 \cdot S}$$

Donde:

A: Resistencia a la abrasión definida por la pérdida de volumen (mm<sup>3</sup>).

$\Delta m$ : Pérdida de masa de la muestra (mg) (polímero).

- $S_0$ : Constante abrasión: 200 mg
- $d_1$ : Densidad del polímero analizado.
- $S$ : Pérdida de masa del material estándar (se toma una media de 3 muestras, caucho, entre 180 a 220mg).

**Tabla 10**

*Registro de datos del análisis de Abrasión EPU IMUTHANE 22-83A/MOCA*

<b>ANALISIS ABRASION</b>			
<b>Muestra:</b>	EPU IMUTHANE 22-83A/MOCA		
	Masa inicial (mg)	Masa final (mg)	Masa inicial – final
<b>STD Caucho 1</b>	2349.4	2153.9	195.5
<b>STD Caucho 2</b>	2348.8	2154.5	194.3
<b>STD Caucho 3</b>	2350.8	2155.7	195.1
<b>S (STD Promedio)</b>	<b>195.0</b>		
			<b>Abrasión por muestra <math>\Delta m</math> (mm<sup>3</sup>)</b>
<b>Troquel 1</b>	1766.9	1723.7	43.2
<b>Troquel 2</b>	1750.2	1706.3	43.9
<b>Troquel 3</b>	1790.5	1747.6	42.9
<b>Densidad muestra</b>	1.05	g/ml	
<b>Contrapeso</b>	10	N	
<b>Temp. Ambiente</b>	22	°C	
<b>Humedad R.</b>	61	%	
	<b>ABRASION promedio:</b>	<b>42.3</b>	<b>mm<sup>3</sup></b>

*Nota:* Elaboración propia.

Bajo la normativa ASTM D5963, se caracterizan diferentes materiales comerciales o a desarrollar, por tal motivo podemos comparar el comportamiento en campo de los diferentes materiales. Mediante este análisis de control de calidad se pueden dar alternativas de mejora contra la abrasión dependiendo la aplicación.

### **3.7.7. Resistencia a la tracción y porcentaje a la elongación**

La tracción se calcula mediante la norma ASTM D412, usando el equipo universal de tracción mediante un juego de pinza de cocodrilo y un sistema de 10KN de fuerza, los parámetros de operación son definidos según la normativa utilizada y lo establecido en el procedimiento de análisis de tracción y porcentaje de elongación.

En la figura 41 se muestra el troquel utilizado según la norma ASTM D412 DIE D donde las medidas del troquel se indica en la sección “3.5.4.7. Resistencia a la tracción y porcentaje a la elongación”. A continuación, se muestran las ecuaciones utilizadas para los cálculos correspondientes y resultados como se muestra en la tabla 11.

$$\text{Resistencia a la tracción: } \frac{\text{Máxima Fuerza (N)}}{\text{area trasversal (mm}^2\text{)}} : \text{MPa}$$

$$\text{Porcentaje de elongación: } \left( \frac{L - L_0}{L_0} \right) (100)\%$$

L: Distancia observada entre las marcas de referencia en la muestra extensora.

L<sub>0</sub>: Distancia original entre puntos de referencia (33mm).

**Figura 41**

*Lado izquierdo: Troquel ASTM D412 DIE D, lado derecho Piezas troqueladas listas para análisis de tracción y elongación*



*Nota: Elaboración propia.*

**Tabla 11**

Registro de datos del análisis de Tracción y Elongación EPU IMUTHANE 22-83A/MOCA

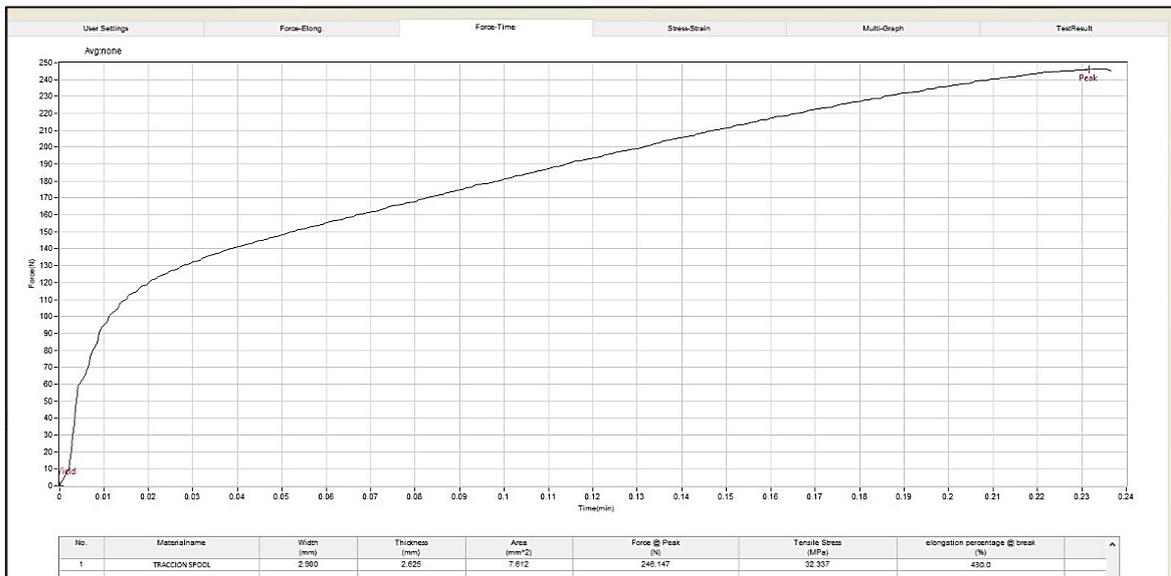
ANALISIS TRACCION Y ELONGACION						
Muestra:	EPU Imuthane 22-83A/MOCA					
	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Fuerza rotura (N)	Tracción (MPa)	Distancia elongada (mm)	% Elongación
Troquel 1	2.9	2.625	237.5	31.2	141.9	463
Troquel 2	2.9	2.630	235.7	30.9	146.9	450
Troquel 3	2.9	2.628	240.8	31.6	144.5	459
L <sub>0</sub> (mm)	33					
Velocidad recorrido (mm/min)	500					
Humedad R. (%)	61	Temperatura Ambiente (°C)		25		
Tracción muestra (MPa)		31.2	%Elongación		457	

Nota: Elaboración propia.

En la figura 42 se muestra el comportamiento del material analizado, en un gráfico de fuerza versus el tiempo.

**Figura 42**

Fuerza vs Tiempo, Análisis de tracción IMUTHANE 22-83A/MOCA



Nota: Elaboración propia.

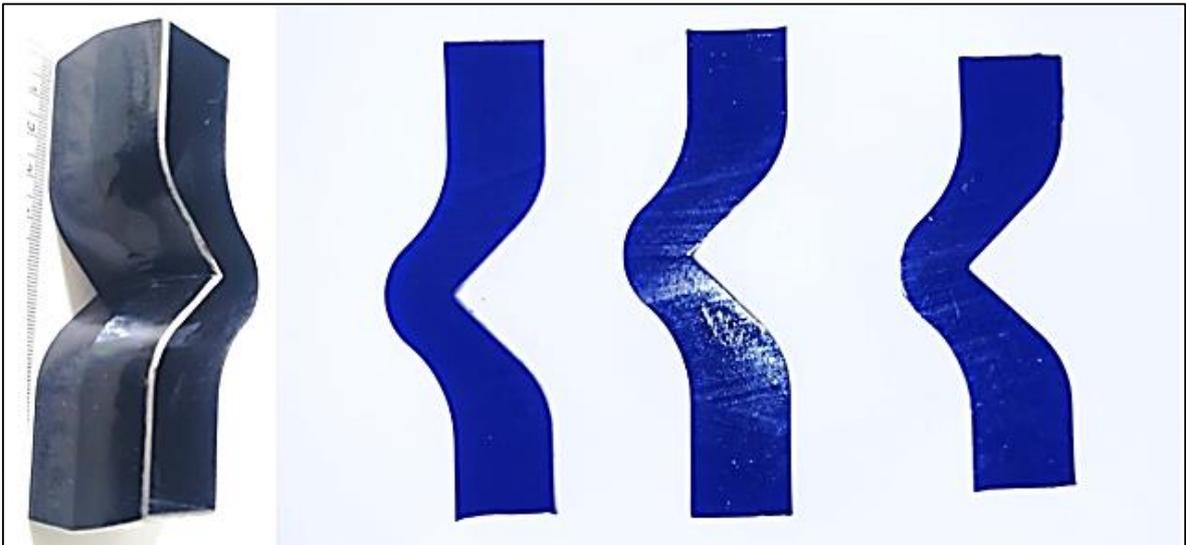
### 3.7.8. Resistencia a la rotura

El análisis se realiza mediante la norma ASTM D624, usando el equipo universal de tracción mediante un juego de pinza de cocodrilo y un sistema de 10KN de fuerza, los parámetros de operación son definidos según la normativa utilizada y lo establecido en el procedimiento de análisis de rotura.

La figura 43, muestra el troque utilizado según la norma ASTM D624 DIE C donde las medidas del troque se indica en la sección “3.5.4.8. Resistencia a la rotura”.

**Figura 43**

*Lado izquierdo: Troquel ASTM D624 DIE C, lado derecho Piezas troqueladas listas para análisis de rotura*



*Nota:* Elaboración propia.

La fórmula utilizada para determinar la resistencia a la rotura se muestra a continuación.

$$\text{Resistencia a la rotura: } \frac{\text{Máxima Fuerza (N)}}{\text{Espesor (mm)}} ; \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

En la tabla 12 se muestran los parámetros de operación y resultados de los análisis.

**Tabla 12**

*Registro de datos del análisis de Rotura EPU IMUTHANE 22-83A/MOCA*

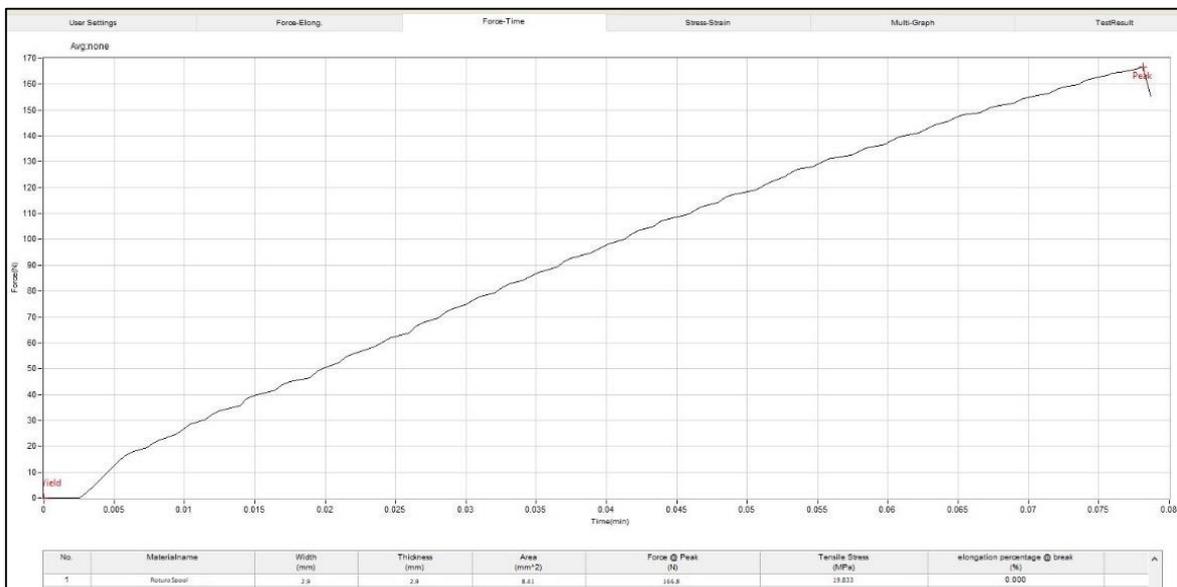
ANÁLISIS ROTURA			
<b>Muestra:</b>	EPU Imuthane 22-83A/MOCA		
	<b>Espesor (mm)</b>	<b>Fuerza máxima (N)</b>	<b>Rotura (KN/m)</b>
<b>Troquel 1</b>	2.9	166.8	57.5
<b>Troquel 2</b>	2.9	165.6	57.1
<b>Troquel 3</b>	2.9	165.0	56.9
<hr/>			
<b>Velocidad recorrido (mm/min)</b>	500		
<b>Humedad R. (%)</b>	61	<b>Temperatura Amb. (°C)</b>	25
	<b>Rotura promedio</b>	57.2 KN/m	

*Nota:* Elaboración propia.

En la figura 44 se aprecia el comportamiento del material analizado, en un gráfico de fuerza vs tiempo.

**Figura 44**

*Fuerza vs Tiempo, Análisis de rotura Imuthane 22-83A/MOCA*



*Nota:* Elaboración propia.

### 3.7.9. Medición del espesor por ultrasonido

El análisis se realiza mediante la norma ASTM E797 y el uso de un medidor de espesor por ultrasonido. Donde la calibración de la velocidad de propagación se realiza

mediante una probeta con un espesor de 12 mm que servira como patron de medida, dando 1500 m/s para el elastomero de poliuretano.

El espesor solicitado es de 12 mm con una tolerancia de 2 mm, en la figura 45 se muestra la medición de espesor del spool revestido dando un valor de 13.18 mm.

**Figura 45**

*Medición espesor por ultrasonido spool*



*Nota:* Elaboración propia.

### 3.8. Resultados y aportes técnicos de la actividad

Los análisis de control de calidad tomados por laboratorio se presentan en las tablas 13 y 14, en donde se evalúan mediante las tolerancias solicitados por el cliente y la ficha técnica del material utilizado, para así tomar decisiones sobre el revestimiento cumpliendo la política de calidad y compromisos con el cliente.

**Tabla 13**

*Resultados Análisis ASTM*

METODOLOGÍA	PARAMETROS	EPU RECUBIERTO	REVESTIMIENTO SPOOL (TOLERANCIA)	FICHA TECNICA IMUTHANE 22-83A	UNIDAD
ASTM D2572	Concentración de isocianato (%NCO)	<b>3.34</b>		3.1 – 3.5	%
ASTM D792	Densidad muestra elastómero poliuretano	<b>1.05</b>		1.07	g/ml
ASTM D2240	Dureza	<b>83</b>	80+/-5	83	Shore A
ASTM D5963	Abrasión	<b>42.3</b>	55 máx.	No indica	mm <sup>3</sup>
ASTM D412	Tracción	<b>31.2</b>	24.0 min	32.4	MPa
ASTM D412	Elongación porcentaje	<b>457</b>	400 min	480	%
ASTM D624	Rotura	<b>57.2</b>	58.0 min	61.3	KN/m
ASTM E797	Espesor	<b>13.18</b>	12 +/-2	-	mm

*Nota:* Elaboración propia

Se presenta un método como parte de aporte para determinación el correcto curado del prepolímero y extensores de cadena, mediante las lecturas por FTIR buscando la presencia o trazas de grupos funcionales diisocianatos (NCO), como se indica en la tabla 14.

**Tabla 14***Resultados otras metodologías*

METODOLOGIA	PARAMETRO	RESULTADO	REVESTIMIENTO SPOOL (TOLERANCIA)
SSPC – SP5	Rugosidad superficial	Rugosidad 2.9 mils	Rugosidad >2.0 mils
FTIR	Grupos funcionales NCO en EPU recubierto	Presencia NCO día 1 Sin rastro NCO día 7	Sin rastros %NCO día 7

*Nota:* Elaboración propia**3.9. Análisis de resultados**

- El análisis de concentración de isocianatos (%NCO) se determinó mediante método por titulación aplicando la norma ASTM D2572, el resultado de 3.34% NCO está dentro de lo tolerancia del fabricante. Si el material hubiera salido menos de 3.1%, se toma como materia prima defectuosa o alteración en el %NCO por recalentamiento o falta de aislamiento entrando en contacto con el medio ambiente reaccionando con la humedad ambiental
- Análisis de densidad se determinó mediante la norma ASTM D792 aplicado a materiales sólidos, el resultado obtenido fue de 1.05 g/ml cercano a lo descrito por la ficha técnica. Este valor es tolerable ya que en campo las condiciones de trabajo son diferentes a condiciones de laboratorio de formulaciones
- Análisis de dureza se determinó mediante un durómetro Shore A aplicando el método ASTM D2240, como resultado el material presentó dureza uniforme de 83 Shore A, dentro del parámetro solicitado para su aplicación
- Análisis abrasión se determinó mediante el equipo de abrasión de tambor utilizando un patrón de caucho, la normativa utilizada es la ASTM D5963 teniendo como resultado 42.3 mm<sup>3</sup> de desgaste, estando por debajo de lo solicitado por el cliente de 55 mm<sup>3</sup> máximo. Si bien la ficha técnica del prepolímero utilizado no indica valor de análisis por abrasión este puede ser determinado en laboratorio mediante análisis previos

- Análisis de tracción nos brinda un resultado superior a lo solicitado o aplicación de 31.2 MPa contra 24.0 MPa, este análisis se realiza mediante la norma ASTM D412 el cual también es utilizada para el análisis de porcentaje de elongación dando un valor de 457% superior a 400% que es lo mínimo solicitado
- En el análisis de tracción y elongación se tiene datos gráficos de Fuerza (N) vs tiempo donde se observa la resiliencia del material a conservar su estado inicial, donde es necesario un esfuerzo considerable en corto tiempo, posteriormente la Fuerza aplicada se torna lineal con el tiempo hasta que ocurre la rotura
- Análisis de rotura se determinó mediante la normativa ASTM D624, se obtiene un resultado de 57.2 KN/m, aunque este valor es ligeramente inferior a lo solicitado por el cliente, es tolerable y aceptable gracias a las propiedades antes estudiadas y por criterios de aplicación y tolerancias
- En el análisis de rotura se observa el comportamiento de Fuerza (N) vs tiempo con tendencia lineal, hasta donde se tiene la máxima fuerza donde se produce el corte generando la rotura por el esfuerzo generado
- El espesor solicitado por el cliente es de 12 mm, pero como resultado del colado tenemos 13.18 mm, aun así, es aceptable por estar dentro de la tolerancia de +2 mm por lo cual este parámetro es válido
- La rugosidad superficial sobre lo cual ira el revestimiento es de suma importancia teniendo como resultado 2.9 mils superior a la tolerancia mínima solicitado por el cliente. Se aplicó un tratamiento superficial mediante granallado con metal blanco utilizando la norma SSPC-SP5
- El análisis por Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) nos brinda una idea del material colado y final ya que en las reacciones que se producen en el conformado el NCO reacciona con las aminas (-NH<sub>2</sub>) de la MOCA en una estequiometria de 0.95%, por lo cual se requiere un tratamiento térmico después del conformado y un tiempo de post curado para que pueda finalizar la reacción,

esto se puede apreciar gracias a las gráficas tomadas por muestras en el conformado y post curado. Se sabe que las propiedades finales optimas se suelen tener en 7 días de post curado, en las figuras 35 y 36 se observa la presencia de grupos NCO aun presentes, después de un tiempo de 7 días ya no son significantes según su pico característico de  $2272\text{ cm}^{-1}$

### 3.10. Evaluaciones y decisiones tomadas

El Centro de Investigaciones Tribológicas La Cantuta (CITCA) realiza las evaluaciones de control de calidad de laboratorio de los revestimientos que realiza PANKARANA SAC, de igual forma mantiene un estricto control de calidad de la materia prima (prepolímeros). Esta evaluación nos da el soporte para la aceptación o rechazo de los productos elaborados en base a los resultados obtenidos de los ensayos y de los solicitados por el cliente.

Tras las evaluaciones de los análisis de control de calidad se realiza la liberación del producto para su entrega o revisión por el cliente, en el ejemplo tomamos el revestimiento interno de Spools (figura 46) donde los parámetros y/o propiedades mecánicas de los EPU revestidos (Tabla 13 y 14) cumplen con lo especificado por el cliente, posteriormente se desarrolla la Ficha de Información Técnica (ver imagen 47) que será parte del dossier de calidad que se entregara al cliente dando conformidad a los acuerdos y compromisos en la gestión de calidad total.

**Figura 46**

*Spool con revestimiento interno de Elastómero de Poliuretano*



*Nota:* Elaboración propia

Figura 47

Ficha de Información Técnica

<p>Laboratorio de Investigación Y Desarrollo del Poliuretano PANKARANA S.A.C.</p>	SPOOL_01	
INFORMACIÓN TÉCNICA		
<p>SPOOL_01 se desarrolla bajo el uso del prepolímero Imuthane 22-83A es un prepolímero de poliuretano basados en un polieter y un diisocianato de tolueno y que alcanza una dureza de 80 Shore A cuando es curado con Moca.</p>		
<p><b>Especificación del prepolímero</b></p>		
% NCO	3.34	
Viscosidad (cps)	500 - 800	
Color	Traslucido	
<p><b>Condiciones de curado</b></p>		
EMA_132	100 g	
Curativo Moca	10.09 g	
Estequiometria	0.95	
Temperatura Prepolímero (°C)	100	
Temperatura del curativo (°C)	115	
Pot Life (min)	14	
Temperatura de curado (°C)	90	
Tiempo de curado (h)	16	
<p><b>Propiedades Física</b></p>		
<p>Las propiedades presentadas son resultado de los análisis de la muestra tomada del mismo producto como resultados del control de calidad en campo.</p>		
+		
	EMA_132 / MOCA	UNIDAD
Color	Azul	
Densidad EPU	1.05	g/ml
Dureza	83	Shore A
Abrasión	42.3	mm <sup>3</sup>
Tracción	31.2	MPa
% Elongación	457	%
Rotura	57.2	KN/m
Espesor	13.18	mm

Nota: Elaboración propia

### 3.11. Informes o reportes presentado como resultado de las actividades realizadas

Como parte de las funciones realizadas dentro de la empresa PANKARANA S.A.C. se realizó reportes técnicos de los proyectos que se fueron ejecutando, de igual forma registros de síntesis de prepolímeros y cuasiprepolimeros, control de calidad de materia prima y productos, entre otros que se describen a continuación en la tabla 15.

**Tabla 15**

*Informes y registros donde tuvo participación*

N°	DESCRIPCIÓN
1	Informes técnicos mensual de los proyectos en ejecución
2	Registros de síntesis de prepolímeros y cuasiprepolimeros
3	Registro de no conformidades
4	Registros de control de calidad de elastómeros conformados
5	Registro de control de calidad de prepolímeros y cuasiprepolimeros comerciales (concentración de diisocianato %NCO) y propiedades mecánicas
6	Registros de investigaciones internas del Centro de Investigaciones Tribológicas la Cantuta (CITCA)
7	Informes de análisis o servicios hacia terceros. Como centro de investigación se brinda servicios de análisis físico químico (Analizador Mecánico Dinámico (DMA), Microscopia Óptica, ensayos tracción, rotura, abrasión, erosión, Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), densidad, etc.)
8	Registros de charlas de seguridad previo inicios de actividades

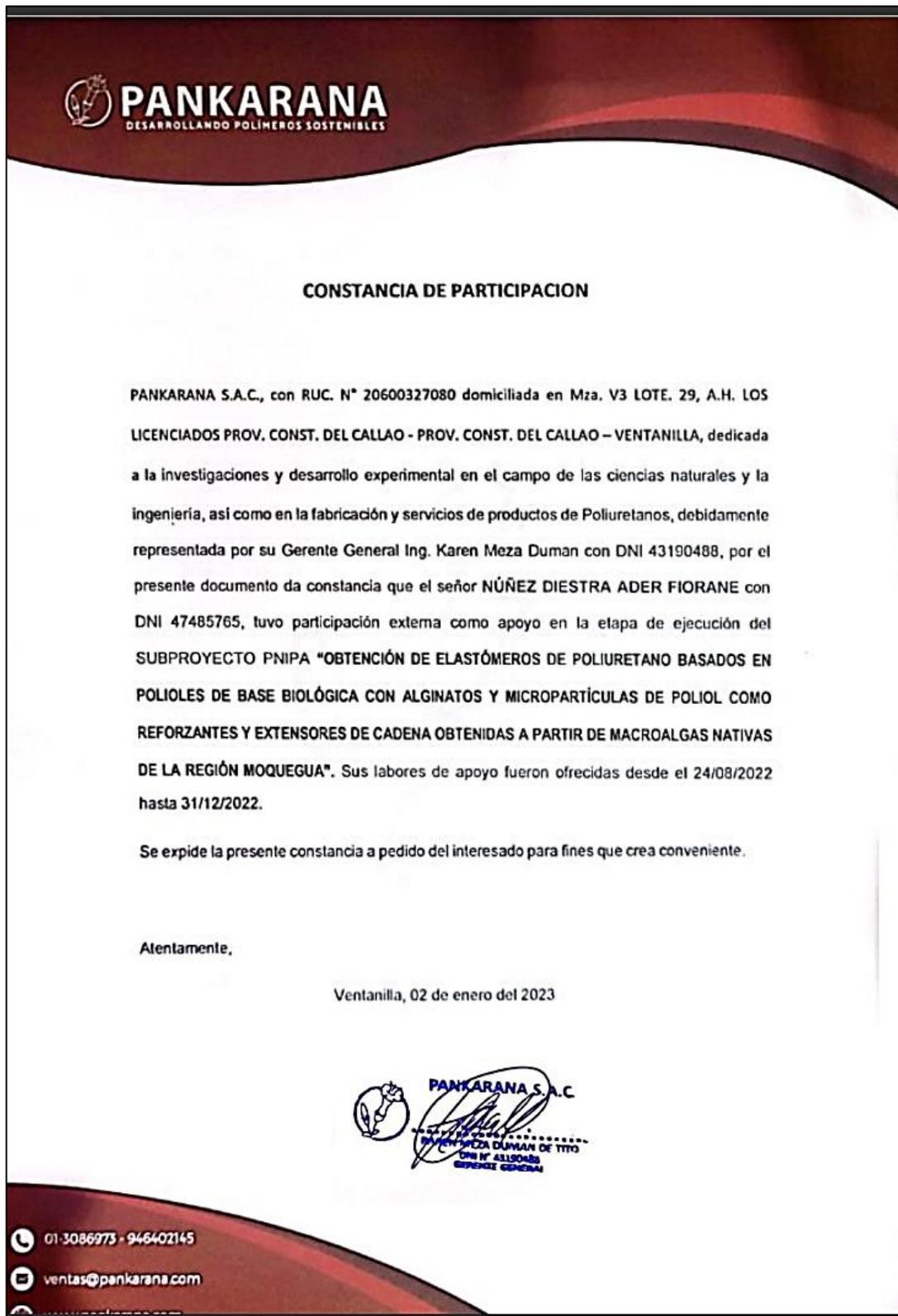
*Nota:* Elaboración propia

### 3.12. Participación en actividades complementarias de la empresa

Como parte de la formación en el área de polímeros y biopolímeros, se pudo participar en proyectos de investigación e innovación. Por lo cual, se muestra constancias de participación de 2 principales proyectos donde participe y brinde apoyo en su ejecución.

Figura 48

Constancia de participación proyecto 1



Nota: Elaboración propia.

Figura 49

Constancia de participación proyecto 2



Nota: Elaboración propia.

### **3.13. Participación en unidades o grupos de seguridad industrial.**

En mi etapa profesional inicial como egresado pude desempeñarme en el área de seguridad industrial y posteriormente como bachiller en seguridad, calidad y medio ambiente. Por lo cual, lleve un curso de Especialización de Seguridad Industrial y un diplomado en Sistemas Integrados de Gestión, los cuales me dieron los conocimientos para brindar las charlas de 5 min de seguridad e inducciones de seguridad, calidad y medio ambiente al personal nuevo por encargo de las jefaturas de producción y calidad.

## **Capítulo IV. Contribuciones al desarrollo de la empresa**

- Las funciones de asistente de laboratorio de investigación y desarrollo en los diferentes laboratorios de la empresa PANKARANA S.A.C. permitieron lograr el cumplimiento de los objetivos de calidad, desarrollando así instructivos de trabajo, metodologías implementadas de acuerdo a las normativas ASTM y otras referencias bibliográficas, elaboración del dossier de calidad y otros documentos internos de calidad, para así cumplir con las especificaciones requeridas por los clientes logrando un manejo eficiente de los recursos básicos como la materia prima y análisis de control de calidad
- Implementación de una nueva metodología mediante análisis de control de calidad de post curado con el equipo Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) donde se determina el correcto curado del revestimiento de elastómeros de poliuretano por la presencia de grupos diisocianatos (NCO)
- La aplicación de conocimiento técnico y criterios en el conocimiento de los materiales para lograr revestimientos acordes a las necesidades de los clientes
- Elaboración de formatos y encargado de los registros para el control de los parámetros en el proceso de colada, ya que estos son influyentes en el curado de los elastómeros de poliuretano
- Parte de las labores fue la participación en 3 sub proyectos de investigación donde la empresa PANKARANA S.A.C. gano bajo la supervisión del PNIPA, los cuales se pudo cerrar con éxito logrando los objetivos propios de los proyectos
- Contribuir con la implementación de políticas de calidad y seguridad, fomentando una cultura de seguridad

## Conclusiones

- Se logró establecer las especificaciones técnicas mínimas de control de calidad de los revestimientos de elastómeros de poliuretano comercial en estructuras y accesorios metálicos, utilizando normativas ASTM para el análisis de la materia prima y producto final. También se utilizó otras metodologías para el análisis de la rugosidad (SSPC) en la superficie metálica a recubrir y la aplicación del análisis con FTIR como un indicador del curado del elastómero de poliuretano.
- Estos análisis nos brindan datos para la aceptación del EPU recubierto respecto a sus características y propiedades mecánicas finales.

## Recomendaciones

- La implementación progresiva de otros análisis y controles de calidad para así tener un menor grado de reprocesos y rechazos cumpliendo a tiempo con las ordenes de trabajo y el cliente. Esto de acuerdo a las exigencias del proceso donde se someterá los EPU y el cliente.
- Se recomienda una evaluación previa con el cliente respecto a que trabajo o agentes físico químico se ve expuesto el revestimiento para así dar mejores alternativas, ya que, los prepolímeros y curativos tienen grupos funcionales como el poliéter y poliésteres que brindan comportamientos diferentes hacia diversos agentes y por ende cada prepolímero o formulación tiene aplicaciones diferentes.
- La implementación progresiva de certificaciones de los laboratorios del Centro de Investigación Tribológicas la Cantuta (CITCA), ya que diversas empresas solicitan ciertos análisis bajo certificación por INACAL, esto hace que se derive a laboratorios externos que acrediten el método de análisis aplicado.

## Referencias bibliográficas

- Akindoyo, J. O., Beg, M. D. H., Ghazali, S., Islam, M. R., Jeyaratnam, N., & Yuvaraj, A. R. (2016). Polyurethane types, synthesis and applications – a review. *RSC Advances*, 6(115), 114453-114482. <https://doi.org/10.1039/C6RA14525F>
- Bahrim, C., Raju, M. M., Khairuzzaman, M., Hsu, W.-T., Lanning, R. N., & Duplan, D. (2014). A New Optoelectronic Switch: The Dielectric of a Capacitor Illuminated with a Laser Radiation. *Journal of Applied Mathematics and Physics*, 2(12), Article 12. <https://doi.org/10.4236/jamp.2014.212128>
- Borowicz, M., Paciorek-Sadowska, J., & Isbrandt, M. (2020). Synthesis and application of new bio-polyols based on mustard oil for the production of selected polyurethane materials. *Industrial Crops and Products*, 155, 112831. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112831>
- Cargas y Aditivos*. (2018, noviembre 25). <https://todoenpolimeros.com/cargas-y-aditivos/>
- Clemitsen, I. R. (2015). *Castable Polyurethane Elastomers* (2.<sup>a</sup> ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b18473>
- Constitución Política del Perú*. (1993, diciembre 29). <https://www.gob.pe/institucion/presidencia/informes-publicaciones/196158-constitucion-politica-del-peru>
- D5963—04*. (2019). <https://tienda.aenor.com/norma-astm-d5963-04-2019-104919>
- Decreto Supremo N°005-2012-TR que aprueba el Reglamento de la Ley N°29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo*. (2016, noviembre 1). <https://www.gob.pe/institucion/presidencia/normas-legales/462577-005-2012-tr>
- Decreto Supremo N°016-2016-TR Modifican el Reglamento de la Ley N°29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo, aprobado por Decreto Supremo N°005-2012-TR*. (2016, diciembre 23). <http://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/modifican-el-reglamento-de-la-ley-n-29783-ley-de-seguridad-decreto-supremo-n-016-2016-tr-1466666-6/>

- Decreto Supremo N°016-2022-PCM. Decreto Supremo que declara Estado de Emergencia Nacional por las circunstancias que afectan la vida y salud de las personas como consecuencia de la COVID-19 y establece nuevas medidas para el restablecimiento de la convivencia social.* (2022, febrero 27). <https://www.gob.pe/institucion/pcm/normas-legales/2772386>
- Decreto Supremo N°057-2004-PCM Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos.* (2004, junio 18). <https://sinia.minam.gob.pe/normas/reglamento-ley-general-residuos-solidos>
- Deshmukh, G. P., & Mahanwar, P. A. (2019). Review on the Use of Nanofillers in Polyurethane Coating Systems for Different Coating Applications. *Journal of Coating Science and Technology*, 6(1), 22-35. <https://doi.org/10.6000/2369-3355.2019.06.01.3>
- Dongguan Huiming Rubber & Plastic Technology Co., Ltd. Materias primas modificadas con plástico de ingeniería, caucho, materias primas de caucho de silicona, uretano, EVA, POE y dióxido de titanio.* (2023). <http://www.huimingtec.com.cn/>
- Elaplas.* (2023). <https://www.elaplas.es/productos/acerca-del-poliuretano/>
- Garza, J. V., Colunga, G. M., Rodríguez, F. Z., Orta, C. A., López, J. P., & Quintanilla, M. L. L. (2012). Polietileno Modificado Reforzado con Nano Partículas de Oxido de Titanio para Envases Médicos. *Quimica Hoy*, 2(4\_Especial), Article 4\_Especial. [https://doi.org/10.29105/qh2.4\\_Especial-149](https://doi.org/10.29105/qh2.4_Especial-149)
- Hepburn, C. (1992). Polyurethane Elastomer Chemistry. En C. Hepburn (Ed.), *Polyurethane Elastomers*. Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-011-2924-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-011-2924-4_2)
- Hutchings, I., & Shipway, P. (2017). *Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials*. Butterworth-Heinemann.
- Jin, X., Guo, N., You, Z., & Tan, Y. (2020). Design and Performance of Polyurethane Elastomers Composed with Different Soft Segments. *Materials*, 13(21), Article 21. <https://doi.org/10.3390/ma13214991>

- Ley 29783. *Ley de Seguridad y Salud en el trabajo*. (2011, septiembre). [http://www.trabajo.gob.pe/boletin/boletin\\_10.html](http://www.trabajo.gob.pe/boletin/boletin_10.html)
- Ley 30222. *Ley que modifica la Ley 29783 Ley de seguridad y salud en el trabajo*. (2014, julio 11). <https://www.gob.pe/institucion/minedu/normas-legales/118483-30222>
- Ley N°27314 *Ley General de Residuos Sólidos*. (2000, julio 20). SINIA. Sistema Nacional de Información Ambiental. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-general-residuos-solidos>
- Ley N°31246 *que modifica la Ley 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo, para garantizar el derecho de los trabajadores a la seguridad y la salud en el trabajo ante riesgo epidemiológico y sanitario*. (2021, junio 25). <http://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/ley-que-modifica-la-ley-29783-ley-de-seguridad-y-salud-en-e-ley-n-31246-1966676-1/>
- Li, Y., Luo, X., & Hu, S. (2015). Introduction to Bio-based Polyols and Polyurethanes. En Y. Li, X. Luo, & S. Hu (Eds.), *Bio-based Polyols and Polyurethanes* (pp. 1-13). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-21539-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-21539-6_1)
- Liu, Y., Guo, J., Zhao, S., Li, W., Li, H., Li, W., Zhou, M., & Zhang, J. (2021). Investigation and estimation on deagglomeration of nanoparticle clusters in teathed in-line high shear mixers. *Chemical Engineering Journal*, 426, 130795. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.130795>
- Ma, Y., Xiao, Y., Zhao, Y., Bei, Y., Hu, L., Zhou, Y., & Jia, P. (2022). Biomass based polyols and biomass based polyurethane materials as a route towards sustainability. *Reactive and Functional Polymers*, 175, 105285. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2022.105285>
- Meghashree, P., & Paul, G. (2020). *Role of size, shape, amount and functionalization of nano-particles of Titania to control the tribo-performance of UHMWPE composites*. [https://www.researchgate.net/publication/342354271\\_Role\\_of\\_size\\_shape\\_amount\\_and\\_functionalization\\_of\\_nano-particles\\_of\\_Titania\\_to\\_control\\_the\\_tribo-performance\\_of\\_UHMWPE\\_composites](https://www.researchgate.net/publication/342354271_Role_of_size_shape_amount_and_functionalization_of_nano-particles_of_Titania_to_control_the_tribo-performance_of_UHMWPE_composites)

- Méndez-Bautista, M. T., & Coreño-Alonso, J. (2010). Relación estructura-propiedades de polímeros. *Educación Química*, 21(4), Article 4. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(18\)30098-3](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(18)30098-3)
- Metal Cym S.A. (2015). Informe Técnico – Normas SSPC de preparación de superficie. *Metal Cym S.A.* <https://www.metalcym.com.br/informes/preparacion-de-superficies-norma-sspc-granallado-cymmateriales-shotblasting/?lang=es>
- Mohamed, M., Jaafar, J., Ismail, A., Othman, M. H., & Rahman, M. (2017). Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy. En *Membrane Characterization* (pp. 3-29). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63776-5.00001-2>
- Nebhani, L., & Jaisingh, A. (2020). Chapter 3—Chemical analysis of polymers. En M. A. A. AlMaadeed, D. Ponnamma, & M. A. Carignano (Eds.), *Polymer Science and Innovative Applications* (pp. 69-116). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816808-0.00003-2>
- PANKARANA S.A.C. (2023, enero 28). <https://pankarana.com/>
- PNIPA—Programa Nacional de Innovación en Pesca y Acuicultura. (2023). <https://cdi.pnipa.gob.pe/>
- Prado, C. N. del, & Andre, E. (2018). Optimización del proceso de colado de piezas, en elastómero termoplástico poliuretano (TPU) mediante el control de temperaturas. *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8247>
- Reghunadhan, A., & Thomas, S. (2017). Chapter 1 - Polyurethanes: Structure, Properties, Synthesis, Characterization, and Applications. En S. Thomas, J. Datta, J. T. Haponiuk, & A. Reghunadhan (Eds.), *Polyurethane Polymers* (pp. 1-16). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804039-3.00001-4>
- Resolución Ministerial N.º 675-2022-MINSA. (2022, septiembre 3). <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/3427060-675-2022-minsa>
- Resolución Ministerial N.º 1275-2021-MINSA. (2021, diciembre 3). <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/2513071-1275-2021-minsa>

- Sánchez-Adsuar, M. S. (1996). *Síntesis y caracterización de poliuretanos termoplásticos: Aplicación a la formulación de adhesivos*.  
<http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/3990>
- Standard Terminology Relating to Rubber*. (2021). <https://www.astm.org/d1566-21a.html>
- Standard Test Method for Isocyanate Groups in Urethane Materials or Prepolymers*. (2019).  
<https://www.astm.org/d2572-19.html>
- Standard Test Method for Tear Strength of Conventional Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers*. (2020). <https://www.astm.org/d0624-00r20.html>
- Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers—Tension*. (2021). <https://www.astm.org/d0412-16r21.html>
- Szycher, M. (2012). *Szycher's Handbook of Polyurethanes*.
- Taguado Guayara, M. (2020). *Síntesis y caracterización de poliuretanos biocompatibles con memoria de forma*. <https://doi.org/10/49106>
- Thompson, J. M. (2018). *Infrared Spectroscopy*. Jenny Stanford Publishing.  
<https://doi.org/10.1201/9781351206037>
- Tito Quilla, O. (2021). *Resistencia al desgaste de un elastómero de poliuretano elaborado a partir de un poliol de base biológica* [Pontificia Universidad Católica del Perú].  
<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/20062>
- Vashisth, V., Nigam, K. D. P., & Kumar, V. (2021). Design and development of high shear mixers: Fundamentals, applications and recent progress. *Chemical Engineering Science*, 232, 116296. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.116296>
- Ventajas de los Elastómeros de Poliuretano Vs Poliurea* | QuimiNet. (2023, febrero 12).  
<https://www.quiminet.com/articulos/ventajas-de-los-elastomeros-de-poliuretano-vs-poliurea-4310280.htm>
- Villarreal, E., Celedón, E. A., & Buendía, C. A. (2009). *MEDIDOR DE ESPESORES PARA MATERIALES METÁLICOS USANDO ULTRASONIDO*.

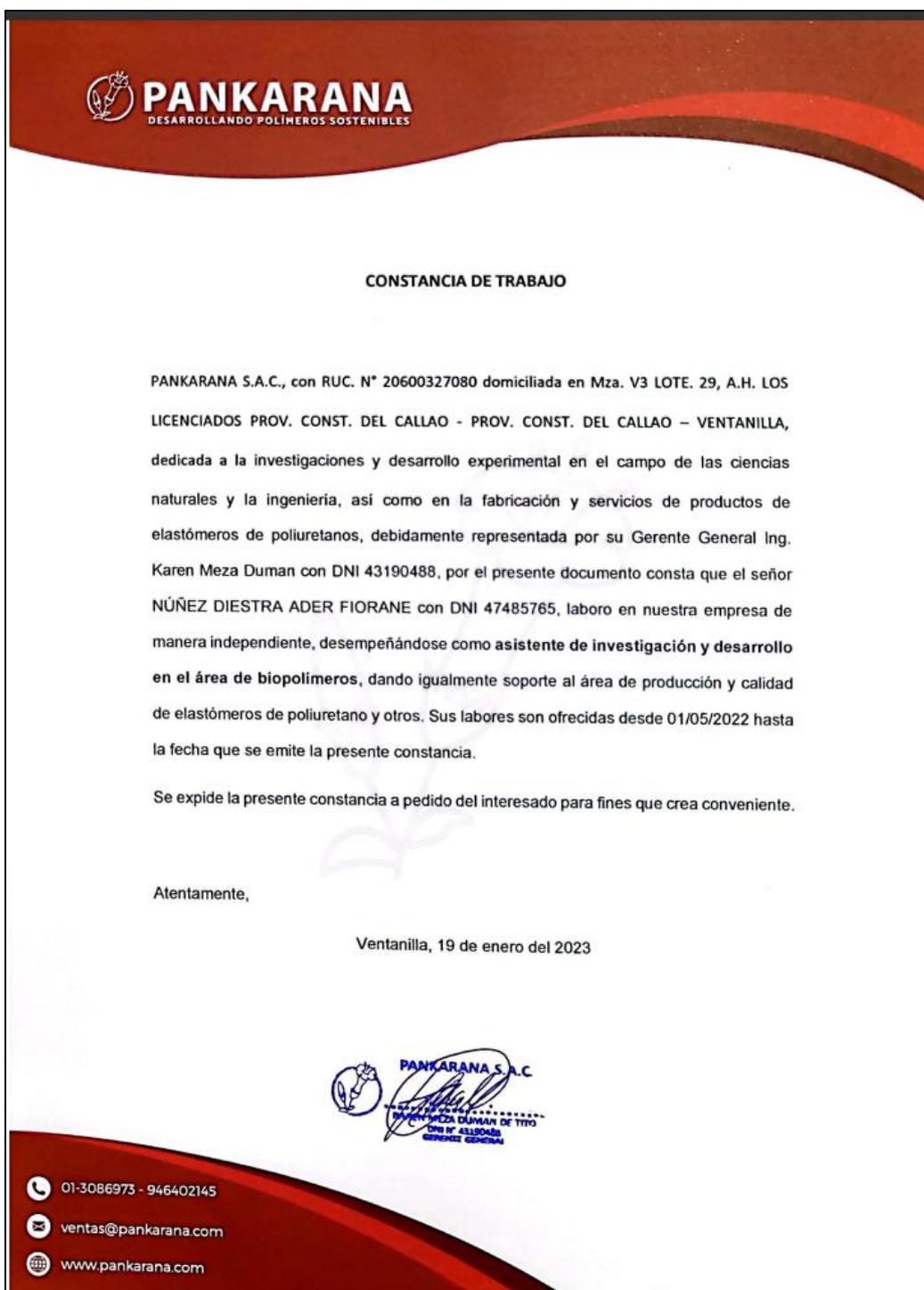
Yadav, L. D. S. (2005). Infrared (IR) Spectroscopy. En L. D. S. Yadav (Ed.), *Organic Spectroscopy* (pp. 52-106). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2575-4\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2575-4_3)

## Anexo

Anexo 1: Constancias, certificados laborales y otros.

Figura 50

Constancia de trabajo PANKARANA S.A.C.



**PANKARANA**  
DESARROLLANDO POLÍMEROS SOSTENIBLES

**CONSTANCIA DE TRABAJO**

PANKARANA S.A.C., con RUC. N° 20600327080 domiciliada en Mza. V3 LOTE. 29, A.H. LOS LICENCIADOS PROV. CONST. DEL CALLAO - PROV. CONST. DEL CALLAO – VENTANILLA, dedicada a la investigaciones y desarrollo experimental en el campo de las ciencias naturales y la ingeniería, así como en la fabricación y servicios de productos de elastómeros de poliuretanos, debidamente representada por su Gerente General Ing. Karen Meza Duman con DNI 43190488, por el presente documento consta que el señor NÚÑEZ DIESTRA ADER FIORANE con DNI 47485765, laboro en nuestra empresa de manera independiente, desempeñándose como **asistente de investigación y desarrollo en el área de biopolímeros**, dando igualmente soporte al área de producción y calidad de elastómeros de poliuretano y otros. Sus labores son ofrecidas desde 01/05/2022 hasta la fecha que se emite la presente constancia.

Se expide la presente constancia a pedido del interesado para fines que crea conveniente.

Atentamente,

Ventanilla, 19 de enero del 2023

 **PANKARANA S.A.C.**  
KAREN MEZA DUMAN  
DNI N° 43190488  
GERENTE GENERAL

01-3086973 - 946402145  
ventas@pankarana.com  
www.pankarana.com

Nota: Elaboración propia

Figura 51

Constancia de trabajo POLIURETANOS S.A.

 <p><i>La mejor solución para los problemas del desgaste por impacto, fricción, corrosión y abrasión</i></p>
<p style="text-align: center;"><b>CONSTANCIA DE TRABAJO</b></p> <p>Poliuretanos S.A., con RUC. N° 20101578977 domiciliada en Av. Revolución N° 258 Z. I. VENTANILLA, dedicada a la Fabricación y servicio de productos en Poliuretanos, debidamente representada por su Gerente General Ing. Santiago Devoto Acha con <b>DNI 48952089</b>, por el presente documento certifica que el señor <b>NUÑEZ DIESTRA ADER FIORANE con DNI 47485765</b>, laboró en nuestra empresa de manera independiente, desempeñándose como <b>TECNICO</b> en el área de LABORATORIO desde el <b>01 de Diciembre</b> del <b>2021</b> hasta el <b>30 de Junio</b> del <b>2022</b>, demostrando en todo momento capacidad y entusiasmo en el desarrollo de las labores encomendadas.</p> <p>Se expide <b>la presente constancia</b> a pedido del interesado para los fines que <b>crea conveniente</b>.</p> <p>Atentamente,</p>  <p style="text-align: right;">Ventanilla, <b>01 de Julio 2022</b></p>
<p style="text-align: center;">Av. Revolución 258, Zona Industrial, Ventanilla, Callao Telf.: 539-7607 / 539-7336 Atención: <a href="mailto:ventas@poliroll.com.pe">ventas@poliroll.com.pe</a> POLIURETANOS S.A.</p>

Nota: Elaboración propia

Figura 52

Certificado de trabajo SHOUGANG HIERRO PERU S.A.A.

	<b>SHOUGANG HIERRO PERÚ S.A.A.</b>
	APR2021 - 0259
<b>CERTIFICADO DE TRABAJO</b>	
El que suscribe, Jefe de Administración de Personal de la Empresa Minera SHOUGANG HIERRO PERU S.A.A.	
<b>CERTIFICA</b>	
Que, el señor, <b>NUÑEZ DIESTRA, ADER FIORANE</b> con DNI N° 47485765 trabajó para la empresa, desde el 07 de Setiembre del año 2018 hasta el 13 de Febrero del año 2021.	
A la fecha de su retiro desempeñaba el cargo de <b>TECNICO</b> , en el área de Administración Laboratorios San Nicolás, Departamento de Beneficio.	
La Empresa deja constancia de haber entregado oportunamente y con la frecuencia necesaria todos los equipos de protección personal (EPP) requerido en cada uno de los puestos de trabajo que ha desempeñado el señor, <b>NUÑEZ DIESTRA, ADER FIORANE</b> , tales como Casco, Guantes, Zapatos de seguridad, Mascara para polvo (con filtros y fundas de reemplazo en la frecuencia requerida), Tapones para oído, Ropa de trabajo, Lentes de seguridad (según convenio) y otros acorde al área de trabajo.	
Extendemos el presente a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.	
San Juan de Marcona, 16 de Febrero del 2021.	
<b>SHOUGANG HIERRO PERU S.A.A.</b>	
	
<b>Juan José Manilla Rojas</b> JEFE DE ADMINISTRACIÓN DE PERSONAL	
<b>REPÚBLICA DE CHILE 262, JESÚS MARÍA TELÉFONO 714 5200 SHOUGANG APARTADO 1229 LIMA 1</b>	

Nota: Elaboración propia

**Figura 53**

Conformidad de servicios TOMOCORP S.A.C.



Nota: Elaboración propia