

Ensayos de álabes de aerogeneradores de baja potencia contruidos con scrap de tubos de Polietileno de Alta Densidad (PEAD)

Ponzoni L.M., Lucio G.A., Montenegro S.A., Ganiele M.J., Tripodi R., Daverio N., Moreno M., Arcone D.A., Pereira M.C.

RESUMEN

Una de las grandes dificultades en la construcción de aerogeneradores de baja potencia es el diseño y construcción de sus álabes. En este trabajo se ensayó un material de un tubo de Polietileno de Alta Densidad (PEAD), similar al empleado para la construcción de álabes y demás partes de un pequeño aerogenerador instalado en el Campus de la Universidad Nacional de Tres de Febrero (UNTREF) - Buenos Aires, Argentina. Se hicieron ensayos mecánicos de tracción bajo norma ASTM D638-14 en probetas tangenciales y axiales extraídas del tubo (PEAD), a fin de poder contrastar dichos resultados con datos de bibliografía. El tubo ensayado fue extruido siguiendo las normas del Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM) con dimensiones de 315 mm de diámetro y 12,1 mm de espesor. Se ensayaron 12 probetas, 6 Tangenciales y 6 Axiales. Comparando los valores medios de los ensayos en probetas tangenciales y axiales, se observó que las tensiones máximas promedio fueron similares en ambos tipos de probetas (23 MPa), no así en el alargamiento a la rotura, dando valores de 320,3% y 37,4% para los ensayos en probetas tangenciales y axiales respectivamente. Del análisis de las áreas debajo de las curvas, también se dedujo una gran variabilidad de resultados en la tenacidad del material, ya que probetas tangenciales los resultados dieron un promedio de tenacidad de 8475,8 MPa y en axiales 973,1 MPa. Estos valores sirven para analizar el potencial de estos tubos para la construcción de álabes de pequeños aerogeneradores.

ABSTRACT

One of the great difficulties in the construction of low power wind turbines is the design and construction of their blades. In this work a High Density Polyethylene (HDPE) pipe material was tested, similar to that used for the construction of blades and other parts of a small wind turbine installed in the National University of Tres de Febrero (UNTREF) Campus - Buenos Aires, Argentina. Mechanical tensile tests were carried out under ASTM D638-14 standard in tangential and axial specimens extracted from the tube (HDPE), in order to be able to contrast these results with bibliographic data. The tested tube was extruded following the Argentine Institute for Standardization and Certification (IRAM) standards, with dimensions of 315 mm in diameter and 12.1 mm in thickness. Twelve test tubes, 6 Tangential and 6 Axial were tested. Comparing the average values of the tests in tangential and axial pieces, the average maximum stresses were

similar in both types of test pieces (23 MPa). However, in the elongation at break analysis, the tests in tangential and axial specimens, gave values of 320.3% and 37.4% respectively. From the analysis of the areas under the curves, a great variability of results in the tenacity of the material was also deduced, since tangential samples the results gave an average of tenacity of 8475.8 MPa and in axial 973.1 MPa. These values serve to analyze the potential of these tubes for the construction of small wind turbine blades.

PALABRAS CLAVE

Aerogenerador Social, Álabes, Ensayo de Tracción, Polietileno, Material Reutilizado.

KEY WORDS

Social Wind Turbine, Blades, Mechanical Tensile Tests, Polyethylene, Reused Material.

COLABORADORES

Dra. María Petraglia, Ing. Julio Sola, Universidad Nacional de Tres de Febrero, Comisión Nacional de Energía Atómica, Fundación Weiba.

CONTEXTO

Este trabajo asienta las bases del estudio del material con el cual se construyeron los álabes de un aerogenerador de baja potencia instalado en Sede Villa Lynch de la Universidad Nacional de Tres de Febrero, correspondientes al proyecto Aerogenerador Social, acreditado por la Universidad Nacional de Tres de Febrero, bajo la dirección del Dr. Lucio Ponzoni. El mismo tiene como objetivo, construir un prototipo de aerogenerador de baja potencia con materiales reutilizados, destinado a comunidades de bajos recursos donde el suministro de energía eléctrica representa un problema importante a resolver. Los ensayos realizados en el presente trabajo, se hicieron en colaboración con el Laboratorio Alar de la Gerencia de Materiales perteneciente a la Comisión Nacional de Energía Atómica.

INTRODUCCIÓN

La energía es un elemento central del desarrollo. Según datos del Banco Mundial, unos 1000 millones de personas viven sin electricidad, y cientos de millones más viven con un suministro eléctrico insuficiente o poco confiable (1). Entre 1990 y 2010, la cantidad de personas con acceso a energía eléctrica aumentó en 1.700 millones. Sin embargo, a la par con el crecimiento de la población mundial, también lo hace la demanda de energía accesible. La economía global dependiente de los combustibles fósiles y el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero generan cambios drásticos en nuestro sistema climático, y estas consecuencias han tenido un impacto en cada continente (2).

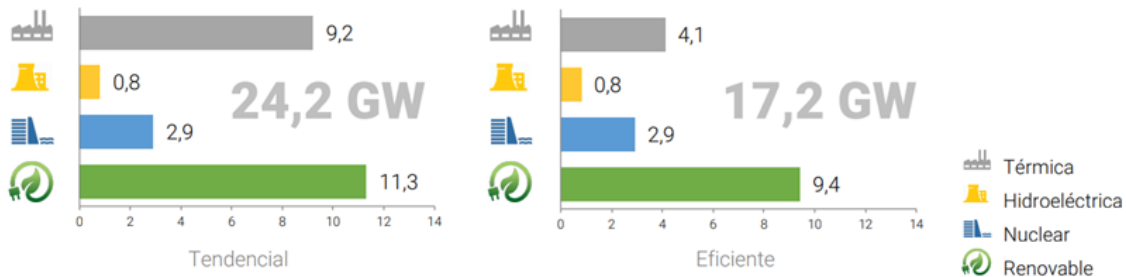
Argentina cuenta con un sistema deficiente de generación, transporte y distribución de energía eléctrica, por lo que la expansión demográfica de la Ciudad de Buenos Aires y Gran Buenos Aires en las últimas décadas, ha dado origen a la formación de asentamientos precarios carentes de este servicio.

Actualmente, nuestro país se encuentra inmerso en un marco de creciente uso de energías renovables impulsado por un lado, por el compromiso que asumió la Argentina respecto de los Objetivos de Desarrollo Sostenible propuestos por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2), y por otro, por un marco legal que propone alcanzar cierto porcentaje de la energía eléctrica obtenida a partir de este tipo de fuentes de energía¹. Teniendo en cuenta este contexto, la creación de proyectos que fomenten la producción de energías renovables es de gran importancia. Como muestra el gráfico a continuación, se plantean dos escenarios, tendencial y eficiente, ya que las medidas de eficiencia energética reducirían la demanda de potencia en 7 GW (3). Dichas medidas consisten en aumentar la eficiencia de electrodomésticos, crear sistemas de alumbrado

¹ La Ley N° 27191 de 2015 ha establecido metas para la participación de las energías renovables en la matriz energética a corto, mediano y largo plazo.

público eficientes, utilización de bombas de calor e implementación de sistemas de cogeneración, entre otros.

Figura 1: Proyección de Potencia total instalada al año 2025.

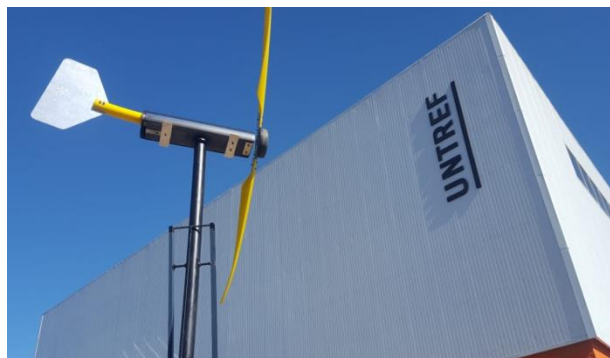


Fuente: Secretaría de Planeamiento Energético Estratégico. Escenarios Energéticos 2025 (3).

El proyecto Aerogenerador Social surge como iniciativa de la carrera de Ingeniería Ambiental en respuesta a la problemática mencionada. El objetivo del mismo, consiste en el diseño y desarrollo de un aerogenerador de baja potencia construido a partir de materiales reutilizados. Este dispositivo será instalado en comunidades de bajos recursos carentes del suministro eléctrico.

La primera etapa del proyecto mencionado, consistió en la instalación de un aerogenerador de baja potencia en Sede Villa Lynch de la Universidad Nacional de Tres de Febrero (UNTREF). Las etapas posteriores dependen de distintos estudios y análisis que se deben realizar en función de optimizar el dispositivo y concluir con el diseño final. En este marco, el presente trabajo pretende aportar conocimiento acerca del material utilizado para la construcción de los álabes del aerogenerador, el Polietileno de Alta Densidad.

Figura 2: Prototipo de aerogenerador de baja potencia instalado en UNTREF.

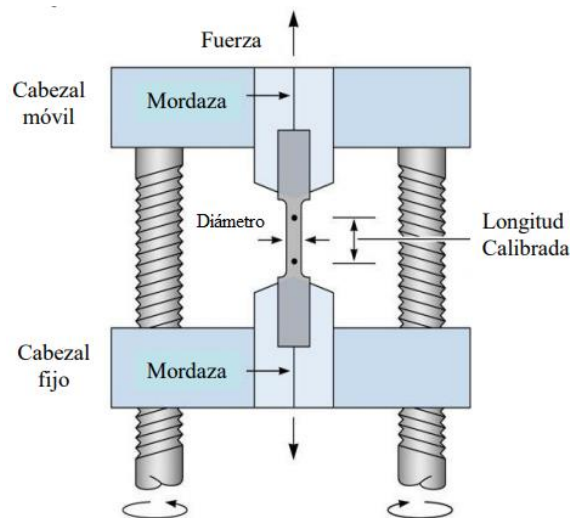


Fuente: Elaboración propia.

Actualmente, el Polietileno de Alta Densidad es utilizado como materia prima de tuberías que distribuyen gas y agua potable. Desde el punto de vista ambiental, revalorizar este residuo implica cerrar su ciclo de vida apuntando a una economía circular donde el producto sea reutilizado para formar parte de nuevos procesos.

En este trabajo se describen los ensayos estáticos realizados al material empleado para la construcción de álabes de un pequeño aerogenerador instalado en el Campus Lynch de la UNTREF. El material ensayado resulta de tubos de descarte de polietileno empleado para el transporte de gas y agua, de dimensiones 315 mm de diámetro y 12,1 mm de espesor y 1400 mm de longitud. Los resultados obtenidos permiten analizar su comportamiento en diferentes condiciones de funcionamiento, y analizar su viabilidad en la construcción de los álabes y demás partes de futuros aerogeneradores. Se hicieron ensayos de tracción uniaxial en probetas extraídas del tubo en las direcciones circunferenciales y axiales del tubo. Durante un ensayo de tracción se toma una probeta estandarizada y se la tracciona uniaxialmente a velocidad de deformación constante, registrando carga y deformación hasta la rotura de la probeta. Los ensayos fueron realizados empleando la norma ASTM D638-14 a fin de contrastarlos con datos encontrados en bibliografía (4).

Figura 3: Esquema de funcionamiento de una máquina de tracción. (4)



Fuente: Moreno, M., & Casariego, V. Tecnología de los Materiales, Ensayo de tracción, Práctica de Laboratorio N°1 (4).

En forma complementaria, se evaluó la tenacidad del material de los álabes, a partir de la integración del área bajo la curva en el diagrama tensión-deformación de los ensayos tracción. Esta propiedad expresa la tendencia a absorber energía antes de fracturarse. Los materiales más tenaces muestran mayor energía de rotura en el ensayo de tracción.

OBJETIVOS

El objetivo general del presente trabajo consiste en caracterizar la tracción de tubos de Polietileno de Alta Densidad para construir los álabes de un aerogenerador de baja potencia.

Los objetivos específicos son:

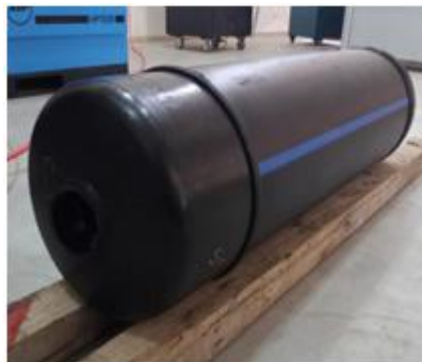
- Determinar qué normas regulan la caracterización mecánica de la tracción en materiales poliméricos;

- Construir probetas para realizar los ensayos, a partir de tubos de Polietileno de Alta Densidad utilizados en la distribución de agua potable; realizar ensayos de tracción sobre las probetas;
- Comparar los resultados obtenidos con los datos técnicos de proveedores de tubos de Polietileno de Alta Densidad para la distribución de agua potable;
- Comparar los resultados obtenidos para los distintos tipos de probetas;
- Determinar si la dirección de extrusión del tubo influye en las propiedades del material;
- Comparar los diagramas de tensión-deformación obtenidos, con un diagrama característico del Polietileno de Alta Densidad.

METODOLOGÍA

El material que se ensayó en este trabajo es Polietileno de Alta Densidad (PEAD) elaborado a partir de una resina de polietileno clase 100 (PE100) (5). Este material fue empleado en la construcción de varias partes de un aerogenerador instalado en el Campus de Lynch de la Universidad Nacional de Tres de Febrero. Para evaluar su uso en diferentes partes claves del aerogenerador (como el álabe), se realizaron ensayos mecánicos. El ensayo de tracción es el más utilizado en cuanto a caracterización de materiales, por ello se eligió como punto de partida para el estudio del material (4). El tubo ensayado fue extruido siguiendo las normas del Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM) con dimensiones de 315 mm de diámetro y 12,1 mm de espesor y 1400 mm de longitud (Figura 4).

Figura 4: Tubo ensayado de PED 100-As Received.



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 1, se observan algunas de las características más importantes de las tuberías PEAD 100 (6).

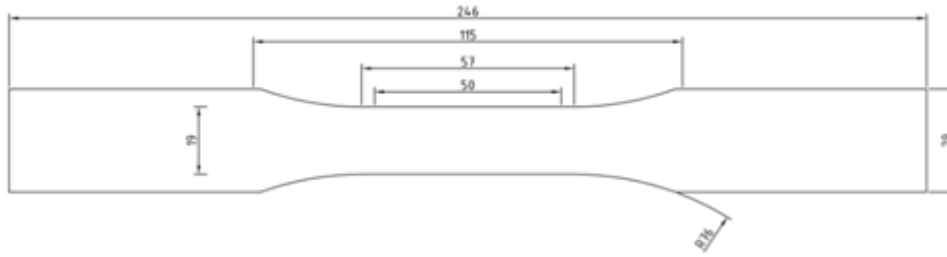
Tabla 1: Propiedades típicas de tuberías PEAD 100.

Características	Unidades	PEAD 100
Densidad	g/cm ³	0.949
Índice de fluidez (190°C)	g/10min.	0.45 (5 kg)
Contenido negro de carbono	%	>= 2
Alargamiento a la rotura	%	>600
Estabilidad térmica - T.I.O. a 200°C	min.	>20
Contenido de materia volátil	mg/kg	-
Coefficiente de dilatación lineal	mm/m°C	0.28-0.33
Conductividad térmica	kcal/m.h.°C	0.37
Tensión nominal requerida	MPa	25
Coefficiente de diseño	-	1.25
Tensión tangencial de diseño	MPa	8
Constante dieléctrica	-	2.3-2.35
Módulo de elasticidad	kg/cm ²	14000
Dureza shore	Escala D	60
Coefficiente hidráulico	Mannig	0.009
	Hazen - Williams	150

Fuente: Elaboración propia.

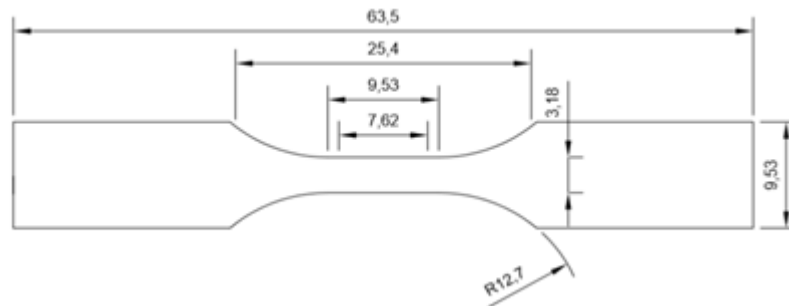
El tubo cuenta con un espesor promedio de 12.1 mm por lo que, según norma ASTM D638-14, se optó por fabricar probetas tipo III en la dirección axial del tubo, ya que estas son para materiales con un espesor de entre 7 mm y 14 mm (7). Para la dirección circunferencial, el tipo de probeta utilizado fue el tipo V, debido a que es el tamaño de probeta más pequeño que propone la norma con el objetivo de que la curvatura del tubo afecte las condiciones de ensayo (alineación del esfuerzo) lo mínimo posible. Luego se procedió a dibujar las probetas tipo III (dirección circunferencial) y tipo V (dirección axial) en un programa de dibujo CAD, para posteriormente hacer la impresión del molde en escala real de acuerdo a los requerimientos de la norma ASTM D638-14, cuyas dimensiones se muestran en las Figuras 5 y 6.

Figura 5: Probeta tipo III.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6: Probeta tipo V.



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se realizaron seis probetas axiales y seis circunferenciales. La norma enuncia que deben realizarse cinco ejemplares, sin embargo se realizaron seis para evitar/descartar alguna por falla en los ensayos realizados.

Figura 7: Probeta tipo V y tipo III.



Fuente: Elaboración propia.

Al momento de realizar los ensayos, se relevaron largo y ancho de la zona calibrada de las probetas. Se tomaron varias medidas para promediar los valores de cada una de las probetas ensayadas. Estos valores se encuentran expresados para los diferentes tipos de probetas en la Tablas 2 y 3. El espesor empleado en ambos tipos de probetas (III y V) fue el del espesor del tubo, es decir de 12,1 mm.

Tabla 2: Medidas de probetas tipo III.

Probeta N°	Largo zona calibrada (mm)	Ancho de zona calibrada (mm)
1	105	21.68
2	110	20.00
3	110	19.74
4	105	20.00
5	105	22.53
6	105	19.28

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3: Medidas de probetas tipo V.

Probeta N°	Largo zona calibrada (mm)	Ancho zona calibrada (mm)
1	24.78	6.85
2	24.14	6.46
3	22.39	6.87
4	24.71	5.64
5	24.80	6.59
6	23.42	6.57

Fuente: Elaboración propia.

Los ensayos de tracción con las probetas tipo III (axiales), se realizaron con una velocidad de 50 mm/min según lo establecido por la norma ASTM D638-14 para un material no rígido en una máquina SHIMADZU AG-100kNG. A fin de analizar el comportamiento con diferentes velocidades de ensayo, la probeta N°1 se realizó una prueba a una velocidad de 5 mm/min.

Figura 8: SHIMADZU AG-100kNG para ensayo de probetas tipo III.



Fuente: Elaboración propia.

Módulo de tracción, cuña de la mordaza, consola del dispositivo.

Los ensayos de probetas tipo V (tangenciales), se realizaron de forma análoga a los de probetas tipo III a excepción de la máquina y la velocidad de tracción empleada. Debido a la geometría de las probetas V, se usó una máquina *TINIUS OLSEN* por su mejor agarre de la mordaza, usándose una velocidad promedio de 40 mm/min. Con la probeta N°1 se realizó una prueba a una velocidad de 4 mm/min.

Figura 9: Módulo de tracción TINIUS OLSEN para probetas tipo V.



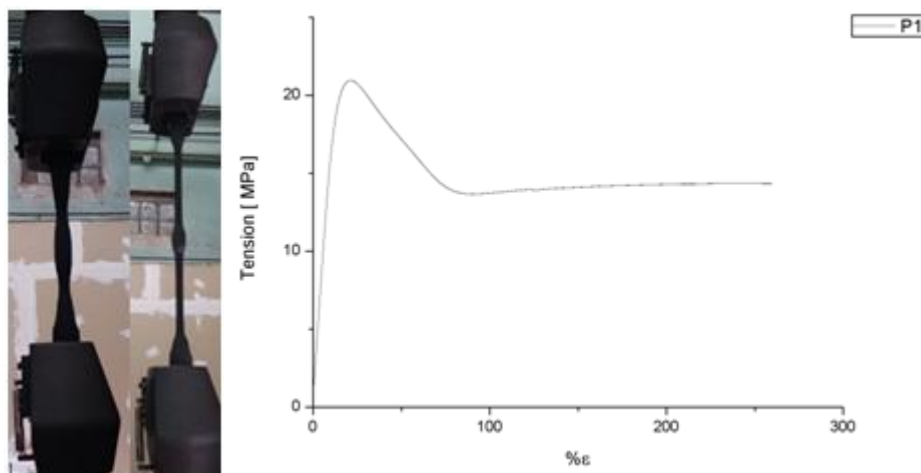
Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Probetas Tipo III

Los resultados de la probeta N°1 fueron descartados debido a que, a una velocidad de 5 mm/min, la probeta no rompió en función del desplazamiento máximo determinado para la mordaza móvil, como se muestra en la imagen de la probeta y el diagrama de tensión-deformación (%ε) (Figura 10).

Figura 10: Formación de estricciones en probeta N°1 tipo III y diagrama tensión-deformación.



Fuente: Elaboración propia.

Las probetas N°2, 3, 4, 5 y 6 fueron sometidas a tracción con velocidades de 50 mm/min, estableciendo el largo de la zona calibrada luego de rotura y formándose la correspondiente zona de estricción y rotura de las mismas (Figura 11 A y B).

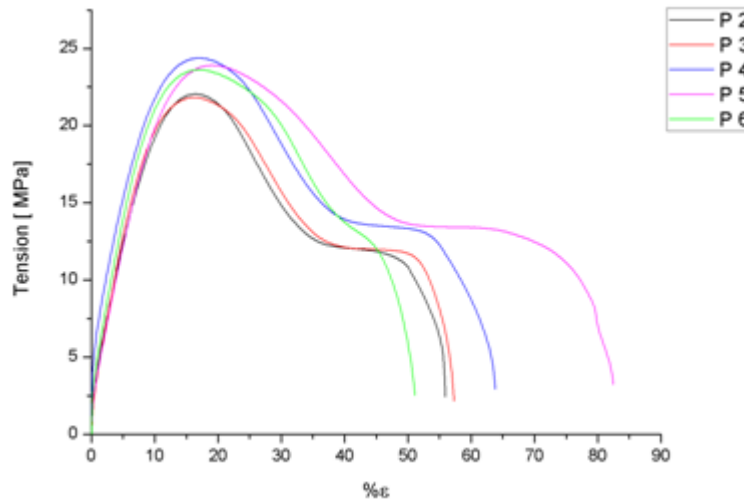
Figura 11: Formación de estricción y rotura en probetas tipo III.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 12 se muestran los diagramas de tensión obtenidos de las probetas N°2, 3, 4, 5 y 6, mostrando un comportamiento inicial de incremento de la tensión con la deformación, un máximo y luego un decaimiento hasta la rotura.

Figura 12: Diagrama tensión-deformación de probetas tipo III.



Fuente: Elaboración propia.

Para calcular la tenacidad del material se calculó el área bajo la curva de cada una de las probetas utilizando el software Origin. Este software calcula dicha área utilizando el método de los trapecoides a partir de valores en los ejes de abscisas y ordenadas. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4 y 5.

Tabla 4: Resultados obtenidos para probetas tipo III.

Probeta N°	Largo inicial [mm]	Largo final [mm]	Alargamiento a la rotura [%]	Tensión Máxima [MPa]	Tenacidad [MPa]
2	110	150	36.36	22.04	811.21
3	110	150	36.36	21.81	842.93
4	105	140	33.33	24.38	1,040.64
5	105	160	52.38	23.91	1,303.77
6	105	135	28.57	23.62	866.68

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5: Promedios y desvío de los resultados obtenidos para probetas tipo III.

Probetas axiales	Promedio Tensión Máxima [MPa]	Desvío	Promedio Tenacidad [MPa]	Promedio de alargamiento a la rotura [%]
	23.15	1.15	973.05	37.40

Fuente: Elaboración propia.

Probetas Tipo V

Seis probetas fueron sometidas a tracción, estableciendo el largo de la zona calibrada luego de la rotura. La probeta N°1 de prueba, rompió a una velocidad de 4 mm/min. En la Figura 13 se muestran las probetas tipo V luego de ser ensayadas hasta rotura.

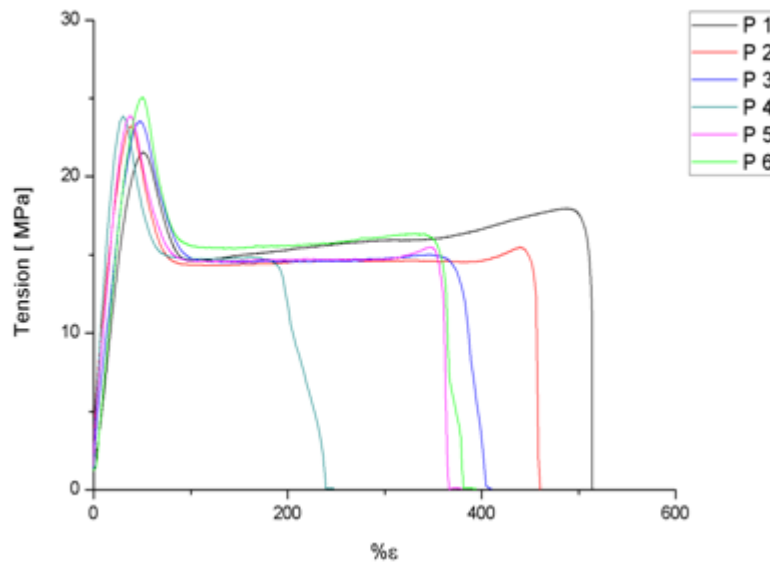
Figura 13: Probetas tipo V ensayadas hasta rotura.



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 14 muestra las curvas tensión-deformación de los ensayos obtenidos en las probetas tipo V.

Figura 14: Diagrama tensión-deformación de probetas tipo V.



Fuente: Elaboración propia.

Como se mencionó anteriormente, para calcular la tenacidad del material se determinó el área bajo la curva de cada una de las probetas tipo V obteniéndose los resultados mostrados en las Tablas 6 y 7.

Tabla 6: Resultados obtenidos para probetas tipo V.

Probeta N°	Largo inicial [mm]	Largo final [mm]	Alargamiento a la rotura [%]	Tensión Máxima [MPa]	Tenacidad [MPa]
1	24.78	120	384.26	21.54	30486.05
2	24.14	111	359.82	23.23	795.04
3	22.39	90	301.96	23.54	4493.08
4	24.71	60	142.82	23.86	3716.59
5	24.8	92	270.97	23.86	1060.03
6	23.42	90	284.29	25.04	5544.77

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7: Promedios y desvío de los resultados obtenidos.

Probetas Tangenciales	Promedio Tensión Máxima [MPa]	Desvío	Promedio Tenacidad [MPa]	Promedio de alargamiento a la rotura [%]
	23.44	1.26	8475.79	320.26

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la probeta N°4 fueron descartados debido a que los valores obtenidos de deformación son poco representativos.

Análisis de los resultados

De cada tipo de probeta se obtuvieron 5 resultados satisfactorios. En ambos ensayos, se sometieron a tracción 6 probetas. Sin embargo, para el tipo III se descartó el resultado N°1, debido a que a una baja velocidad no se produjo rotura; y para el tipo V, se descartó el resultado N°4, ya que los valores obtenidos de deformación son poco representativos tal como se observa en las curvas de tracción de las Figuras 5 y 9 respectivamente.

En la Tabla 8 se comparan el alargamiento a la rotura y la tensión obtenidos en este trabajo con uno tubo PEAD nuevo. En cuanto al alargamiento a la rotura se puede observar que es menor para el tubo ensayado. La tensión nominal requerida para un tubo PE100 nuevo y el promedio de tensión máxima obtenida en los ensayos no varían en cuanto al orden de magnitud.

Tabla 8: Comparación entre datos obtenidos del ensayo y datos técnicos de un proveedor.

Características	Unidades	Tubo PE100 nuevo	Tubo PE100 reutilizado probetas tipo III	Tubo PE100 reutilizado probetas tipo V
Alargamiento a la rotura	%	>600	37.40	320.26
Tensión nominal requerida	MPa	25	-	-
Promedio Tensión Máxima	MPa	-	23.15	23.44

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 9 se comparan los resultados de los ensayos. En cuanto al promedio de tensión máxima y su respectivo desvío, en ambos casos es similar. Sin embargo, la tenacidad promedio y el alargamiento a la rotura promedio son diferentes en cuanto a órdenes de magnitud.

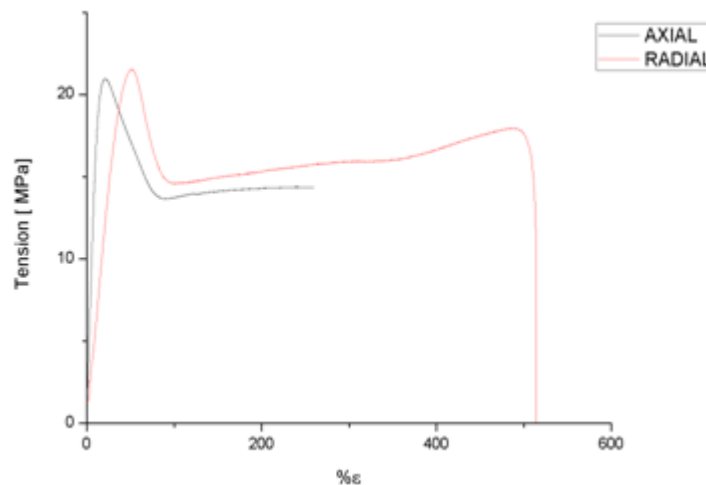
Tabla 9: Comparación entre probetas tipo III y V.

Probetas	Promedio Tensión Máxima [MPa]	Desvío	Promedio Tenacidad [MPa]	Promedio de alargamiento a la rotura [%]
Tipo III	23.15	1.15	973.05	37.40
Tipo V	23.44	1.26	8475.79	320.26

Fuente: Elaboración propia.

La velocidad de tracción en probetas tipo V, 4 mm/min para la probeta de prueba y 40 mm/min para las restantes, no afectó la rotura. Asimismo, comparando los resultados de las probetas de prueba axial (tipo III) y circunferencial (tipo V), las cuales se ensayaron a 5 mm/min y 4 mm/min respectivamente, se observa en la Figura 15 que la probeta axial no rompió.

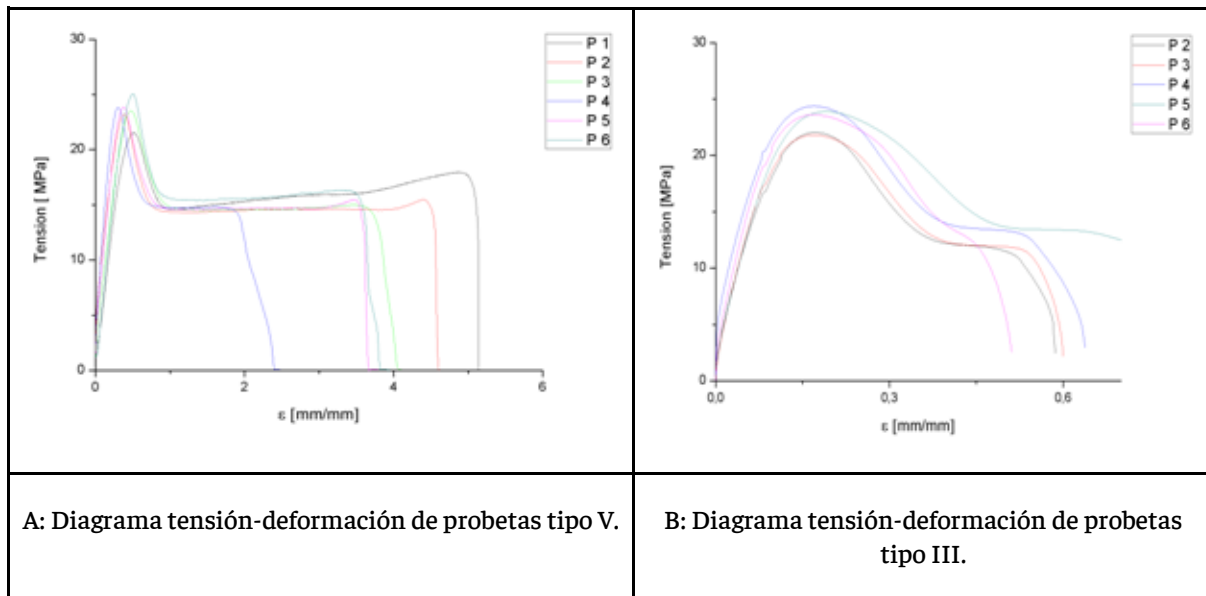
Figura 15: Probetas de prueba sometidas a bajas velocidades.



Fuente: Elaboración propia.

De los diagramas de los ensayos de tracción, se observa que las curvas se comportan de manera similar en ambos casos (ensayos de probetas tipo III y V): los valores de tensión máxima son mayores a 20 MPa en ambos casos. Asimismo, en cuanto a la deformación del material, sólo en las probetas tipo V se registran valores mayores a 1.6 mm/mm.

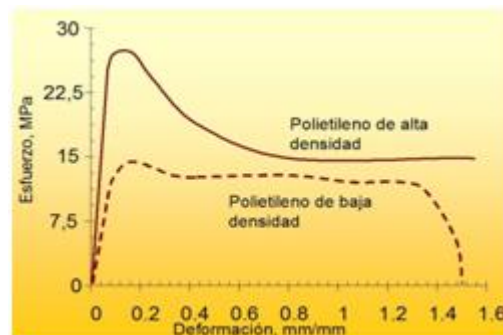
Figura 16: Diagrama tensión- deformación en probetas tipo III y V.



Fuente: Elaboración propia.

Estos diagramas están en concordancia a los encontrados en bibliografía para ensayos de tubos de Polietileno de Alta Densidad, mostrando valores de tensión similares, Figura 17 (8). Respecto del alargamiento a la rotura, se puede inferir que el material presenta anisotropía, es decir, que en función de la dirección de extrusión se obtienen distintas características (9), (10), (11).

Figura 17: Diagrama tensión-deformación para Polietileno de Alta y Baja Densidad.



Fuente: ASTM D638-14 (7).

CONCLUSIONES

Se llevó a cabo con éxito la caracterización de la tracción de tubos de Polietileno de Alta Densidad utilizados en la construcción de álabes de un aerogenerador de baja potencia, obteniendo valores de tensión máxima, tenacidad y alargamiento a la rotura.

Para realizar los ensayos de tracción, se utilizó la norma ASTM D638-14 a partir de la cual se construyeron probetas tangenciales y axiales. Se contrastaron los resultados de ambos tipos probetas y se compararon con datos técnicos de un proveedor de tubos PEAD. Se

observó que el diagrama tensión-deformación obtenido es similar a un diagrama característico para el Polietileno de Alta Densidad.

Comparando tubos nuevos y reutilizados, se determinó que la tensión nominal requerida para un tubo nuevo y el promedio de tensión máxima obtenida en los ensayos no varían en cuanto al orden de magnitud. Asimismo, el alargamiento a la rotura es menor para un tubo PE100 reutilizado, por lo que se puede concluir que es clave identificar en qué estadio de su vida útil se encuentra el material.

Comparando los dos tipos de probetas, se observó que la tensión máxima registrada es similar en ambas. Asimismo, a partir de los resultados obtenidos del alargamiento a la rotura, se puede inferir que el material presenta anisotropía.

La tenacidad del material presenta gran variabilidad en los resultados. Esto se debe a que la misma depende del área bajo la curva, delimitada por los valores obtenidos en los diagramas tensión versus deformación. Como en ellos se observa que los valores de tensión de los dos tipos de probetas son similares, se puede inferir que la deformación es la causa de tales diferencias.

Respecto a la velocidad de ensayo, se concluye que no influyó en la tensión registrada para las probetas. En las pruebas a bajas velocidades, se observa que en ambos tipos de probetas los valores de tensión son similares.

BILBIOGRAFIA

- [1] Banco Mundial. (3 de Octubre de 2018). *Energía*. Recuperado el 13 de Noviembre de 2018, de <https://www.bancomundial.org/es/topic/energy/overview#1>
- [2] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (s.f.). *Objetivo 7: Energía asequible y no contaminante*. Recuperado el 13 de Noviembre de 2018, de <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-7-affordable-and-clean-energy.html>
- [3] Secretaría de Planeamiento Energético Estratégico. (2016). *Escenarios Energéticos 2025*. Buenos Aires: Ministerio de Energía y Minería.
- [4] Moreno, M., & Casariego, V. (s.f.). *Tecnología de los Materiales, Ensayo de tracción, Práctica de Laboratorio N°1*. Buenos Aires: Universidad Austral, Facultad de Ingeniería.
- [5] Cuervo, N. F. (2017). *Desarrollo de materiales a partir de plásticos reciclados para aplicaciones en impresión 3D*. Buenos Aires: Instituto de Tecnología Prof. Jorge A. Sábato.
- [6] <http://www.stradasa.com.ar/ampliado.php?id=3511>

- [7] American Society for Testing and Materials. (2014). Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. Obtenido de ASTM D638-14
- [8] Universidad Politécnica de Valencia. (s.f.). Curso de Fundamentos de Ciencia de Materiales. Recuperado el 12 de Noviembre de 2018, de https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15_2.html
- [9] Ruiz, D. H. (2006). Fundamentos y ensayos en materiales metálicos. Buenos Aires: Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología.
- [10] R. S. Sastre, F. M. Salinas. Propiedades de los Materiales y Elementos de Construcción. (2010). Edición UPC.
- [11] Trifonova, D., Drouillon, P., Ghanem, A., & Vancso, J. (1997). Morphology of Extruded High-Density Polyethylene Pipes Studied by Atomic Force Microscopy. Enschede & Bruxelles: University of Twente & SOLVAY S.A.
- [12] Pérez, R. A., Torres, A., & Candal, M. V. (2013). Efecto de las variables del proceso de extrusión sobre las relaciones estructura-propiedades de películas tubulares de PEBD. Revista Iberoamericana de Polímeros.