

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**TRABAJO DE UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR, PREVIO A
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: “Análisis mediante pruebas destructivas y no destructivas
de una autoparte manufacturada en nuestro país, para determinar
sus propiedades mecánicas”.**

**AUTORA:
PICO SOLIS, ANA GRACIELA**

**DIRECTOR:
ING. SOLIS SANTAMARIA, SANTIAGO ISAAC**

**LATACUNGA
2023**



Justificación

Actualmente en el mercado automotriz existe discontinuidad en cuanto a piezas y accesorios de diferentes modelos de vehículos.

La importación de este tipo de elementos toma mucho tiempo provocando inconvenientes al consumidor y causando elevación de precios.

La fabricación nacional de numerosas partes automotrices podría solventar estos inconvenientes.

Alrededor del 18% y 20% de los plásticos que se utilizan para fabricar partes internas de autos están compuestos de materiales reciclados, siendo una buena manera de aportar con el medio ambiente.

El motivo de esta investigación es validar polímeros mediante pruebas destructivas y no destructivas, empleando normativas nacionales e internacionales.

Y analizar sus propiedades físicas, químicas y mecánicas del polipropileno reciclado versus las propiedades del ABS existente en el mercado.



Objetivos

General

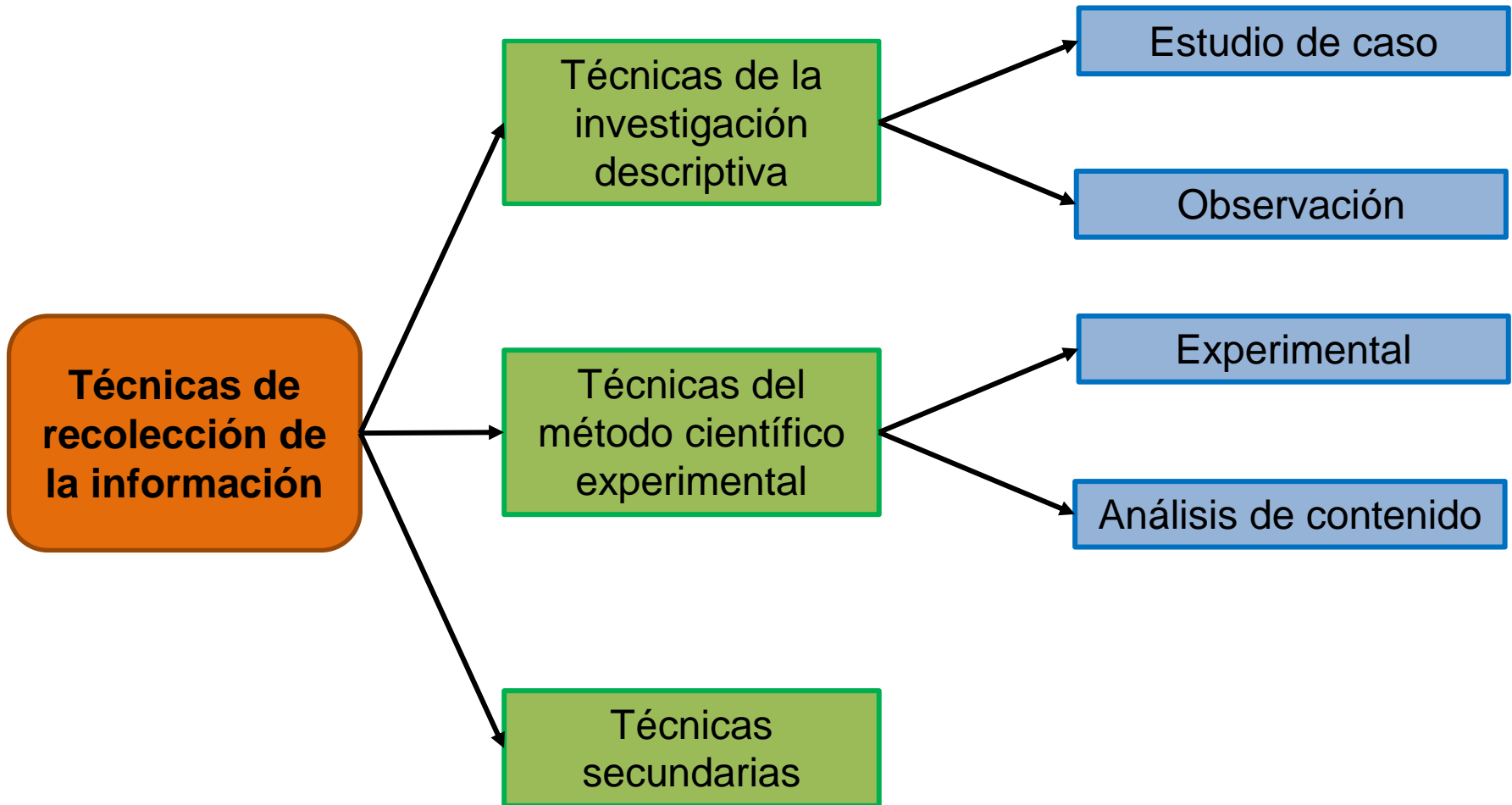
Analizar mediante pruebas no destructivas y destructivas las propiedades de la autoparte.

Específicos

- Investigar las normativas nacionales e internacionales para realizar los ensayos no destructivos.
- Investigar las normativas nacionales e internacionales para realizar los ensayos destructivos.



Metodología



Fundamentación Teórica

Polímeros Reciclados

Los polímeros pueden ser reutilizados y reciclados de maneras infinitas, debido a la gran cantidad de materiales poliméricos sintéticos existentes en el mercado. (Benalcazar, 2010)

Acrilonitrilo butadieno estireno

Más conocido como ABS o plástico de ingeniería, este polímero no tiene forma, es un material sumamente resistente a los impactos y a ataques químicos. (Castro, 2011)



Fundamentación Teórica

Normativas internacionales para pruebas en polímeros

La American Society for Testing and Materials conocida por sus siglas como ASTM ha desarrollado las diferentes normativas para pruebas en polímeros, en las que especifican las condiciones y procedimientos a realizarse en la probeta para la obtención de resultados positivos durante el ensayo, la organización internacional de normalización (ISO) tiene su equivalente a las normas ASTM. (Guamanquispe, 2013)



Fundamentación Teórica

Ensayos no destructivos

Los ensayos no destructivos se realizan en todo tipo de material ya sea metálico o plástico sin ocasionar ningún tipo de daño a las probetas analizadas, estos ensayos sirven para evaluar la integridad y las propiedades del material, siendo una herramienta excelente para realizar un control de calidad. (Atómica, 2022)



Fundamentación Teórica

Propiedades mecánicas del ABS

Propiedad	Unidad	Alto impacto	Resistencia al calor
Resistencia al impacto	<i>J/m</i>	375 – 640	105-320
Resistencia a la tensión	<i>Kg/mm²</i>	3,3 – 4,2	4,2 – 5,3
Elongación	%	15-70	5-20
Módulo de tensión		173-214	214-265
Dureza	(HRC) Rockwell	88-90	105-110
Peso Especifico		1,02-1,04	1,04-1,06
Coefficiente de la expansión térmica	<i>x 10⁵cm/cm°C</i>	9,5-11,0	65-9,3
Distorsión por calor		93-99	102-112
Alargamiento en la rotura	<i>°C a 1804 Kg/cm²</i>	45	
Modulo elástico	%	1,1-2,9	
Coefficiente de Poisson	GPa	0,391-0,422	
Resistencia mecánica a la compresión:	Mpa	31-86,2	
Resistencia mecánica a la flexión	Mpa	47,8-76	
Resistencia mecánica a la tracción	MPa	27,6-55,2	

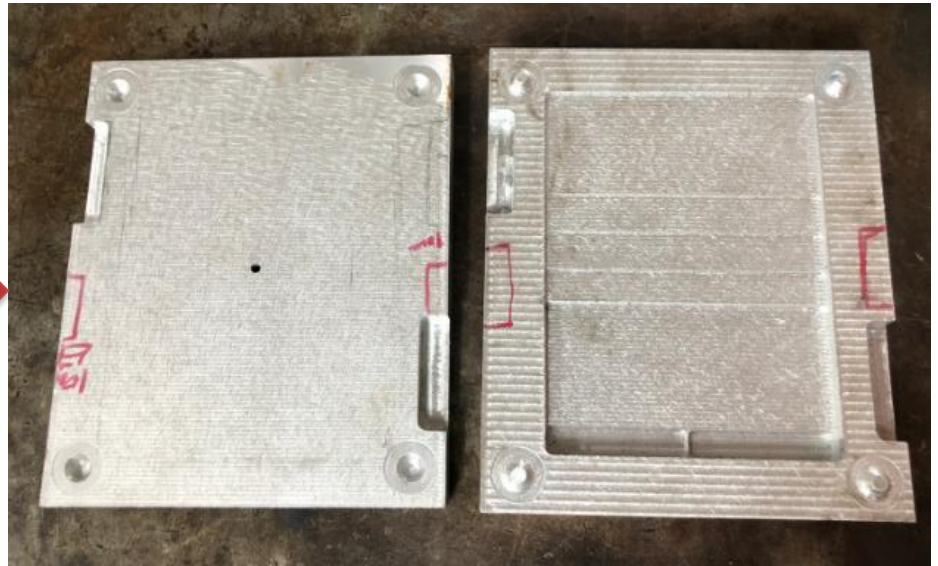


Probetas para Ensayos Destructivos



Desarrollo

Diseño y fabricación de la matriz de probetas



Aluminio mecanizado



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Desarrollo

Proceso de Inyección del Polipropileno



Máquina FU CHUN SHIN auto modelo FT110

Temperatura de inyección: 197°C

Presión: 63 psi

Material: 80 gr

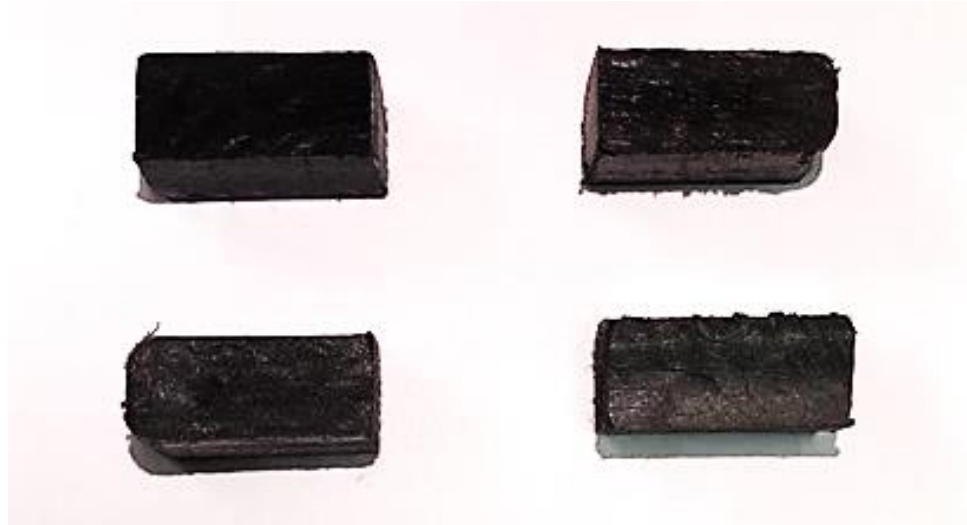
Tiempo: 24 s



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Desarrollo

Ensayo de compresión



Dimensiones: 12.7 x 12.7 x 25.4 (mm)

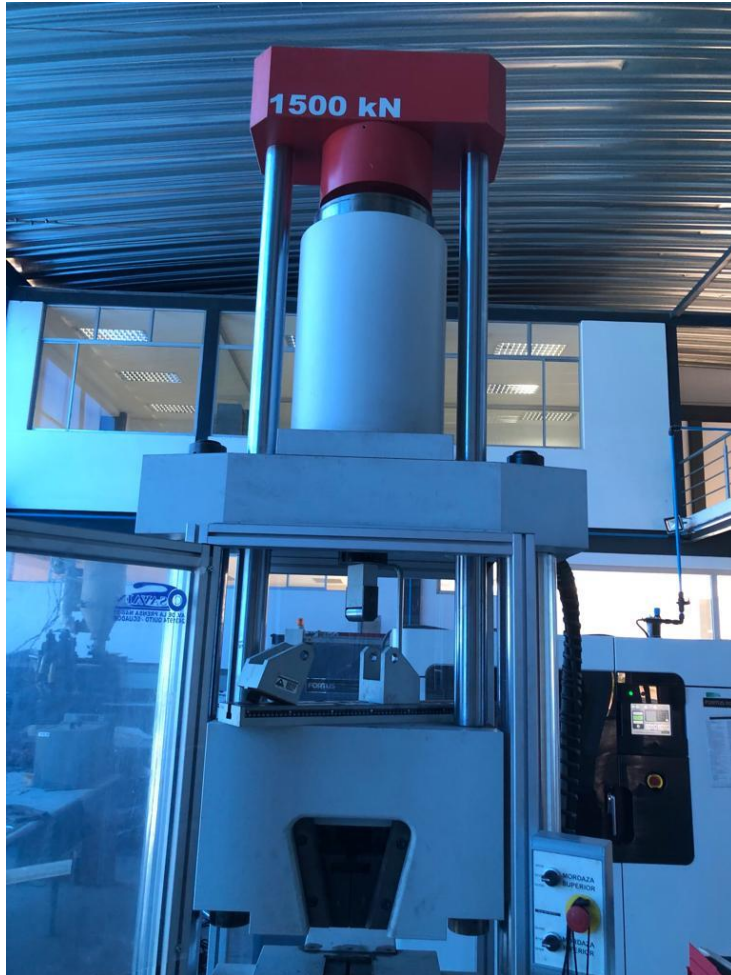
Norma ASTM D695-15, ISO 604

La cual describe el método de prueba estándar para las propiedades de compresión de plásticos rígidos



Desarrollo

Ensayo de compresión



Máquina de ensayos universal Metro Test
1500 N Modelo: STH-1500 S/C
Velocidad: 1.3 mm/min.

- Fuerza máxima (F): 6540 N
- Fuerza de fluencia (σ_Y): 45.15 MPa
- Esfuerzo máximo de compresión (σ_{max}): 37.057 MPa
- Porcentaje de deformación (α): 17.213 %
- Modulacion de elasticidad (E): 256.85 Mpa



Ensayo de dureza



Norma ASTM D2240-15, ISO 868
Método de prueba estándar para las propiedades del caucho y polímeros.

Dimensiones: 50,8 x 50,8 x 6.4 mm



Ensayo de dureza



Equipo Durómetro SHORE
Velocidad de indentación: 1s
Temperatura: 25.2°C
humedad relativa: 41.3%.

- Dureza SHORE (D): 73.4
- Desviación estándar (S_{n-1}): 0.42
- Coeficiente de variación (CV): 0.57
- Modulacion de elasticidad (E): 256.85 MPa

Ensayo de tracción



Norma ASTM D-638

Esta norma se utiliza para realizar ensayos de tracción en plásticos

Dimensiones:

Longitud: 25 mm \pm 0.5

Espesor: El espesor de la porción más delgada debe ser 2mm \pm 0.2mm



Desarrollo

Ensayo de tracción



Máquina universal Metrotec 50 KN
Velocidad: 50 mm/min

- Esfuerzo máximo de tracción: 29.67 Mpa
- Fuerza máxima: 2024.5 N
- Módulo de elasticidad: 149.991 MPa
- Porcentaje de elongación: 20.418 %



Desarrollo

Ensayo de Flexión



Norma ASTM D-790, ISO 178

La cual analiza tres puntos rígidos y semirrígidos

Dimensiones:

Profundidad: 3.2 mm

Ancho: 12.7 mm

Largo: 127 mm



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Desarrollo

Ensayo de Flexión



Máquina Instron modelo 3365

Velocidad: 20 mm/min

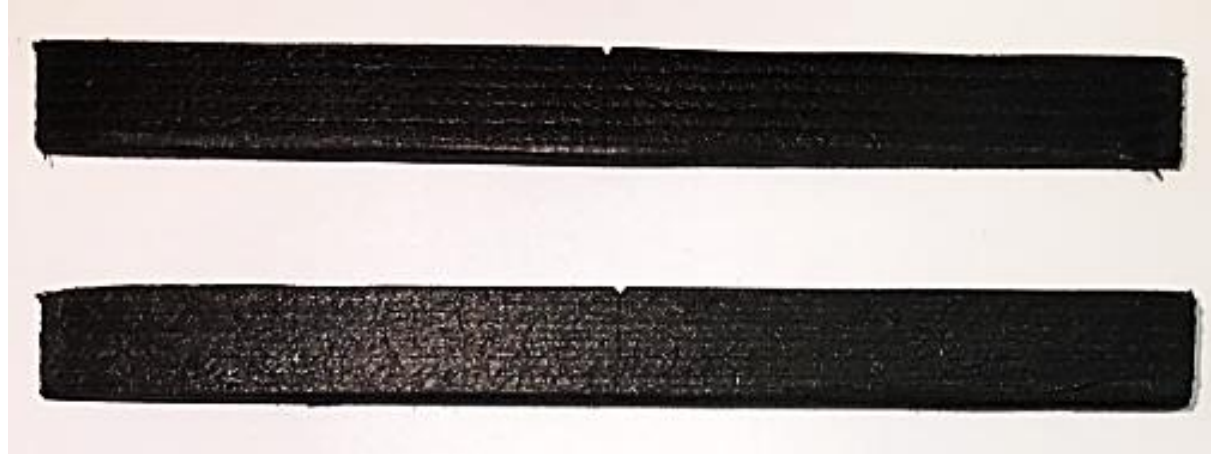
Temperatura: 23°C

humedad relativa: 50

- Modulo elástico: 1474 +- 74.9 Mpa
- Esfuerzo de flexión al 5% de elongación: 43.6 +-1.6 MPa



Ensayo de Impacto



**Norma ASTM D6110-18, probeta de tipo
ISO 179**

Dimensiones:

Profundidad: 2.54mm 45° de abertura

Radio: 0.25 mm

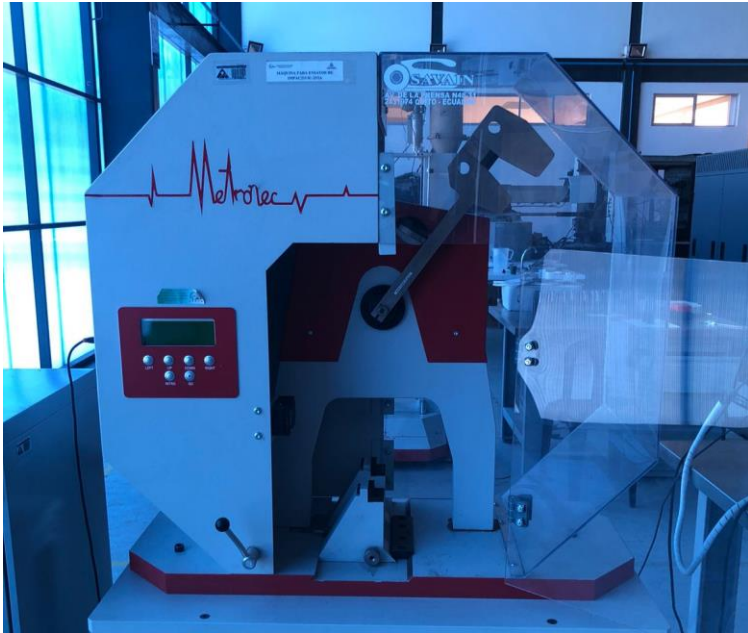
Largo: 127 mm

Ancho: 12.7mm



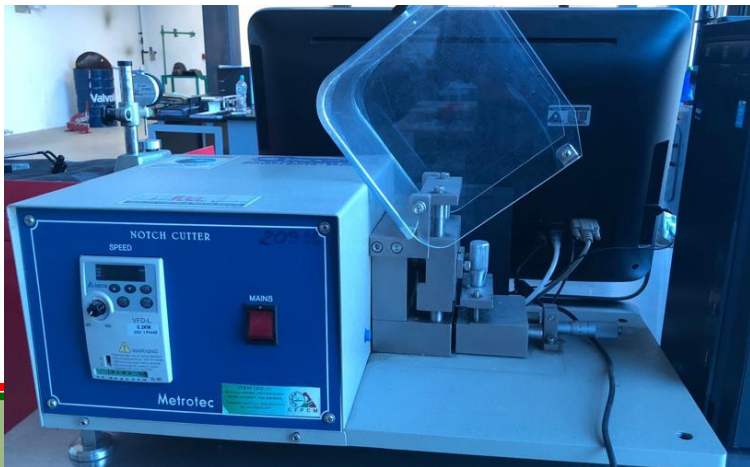
Desarrollo

Ensayo de Impacto



Máquina de ensayo de impacto Charpy modelo IC-25/IA serie 1986M002.

- Energía de ruptura (τ): 0.16 J
- Resistencia al impacto: $16.983 \frac{J}{m}$
- Resistencia al impacto: $1.282 \frac{J}{m^2}$



Desarrollo

Ensayo de compresión en la autoparte fabricada



Ensayo no Normado



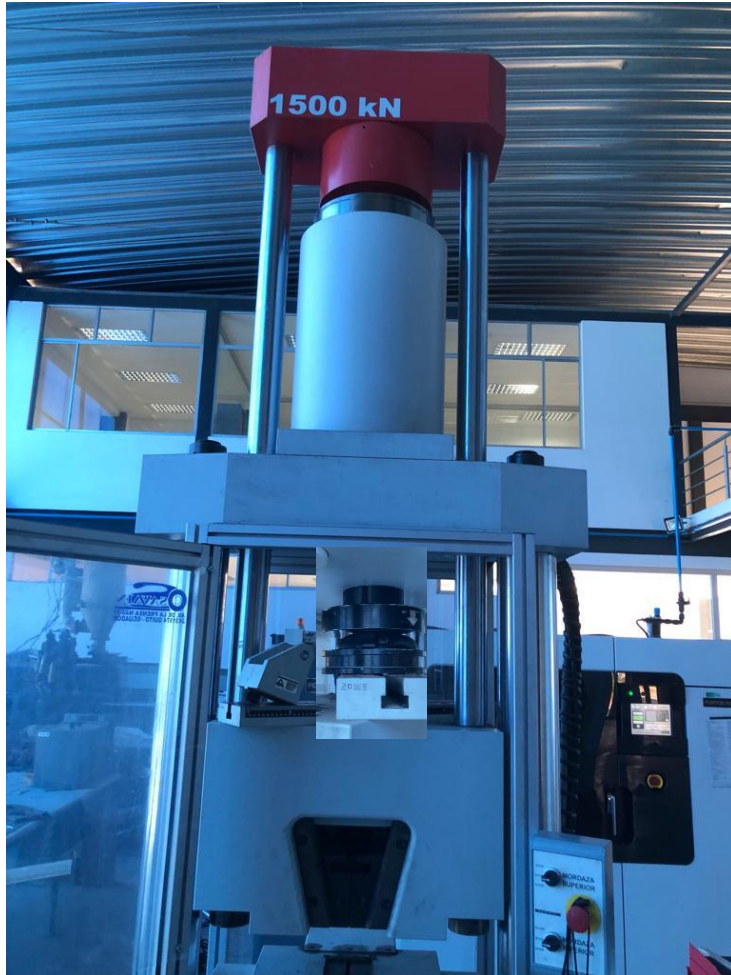
ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Ensayo de compresión en la autoparte original ABS



Desarrollo

Ensayo de compresión en la autoparte fabricada PP reciclado y original ABS



Ensayo cuantitativo

Máquina de ensayos universal para metales metro test 1500KN

Velocidad: 10 mm/min

Fuerza máxima: 1720 N

Fuerza de fluencia: 1260 N

Esfuerzo máximo: 1,590 MPa

Esfuerzo de fluencia: 1,165 MPa

Fuerza máxima: 2150 N

Fuerza de fluencia: 1400 N

Esfuerzo máximo: 1,17MPa

Esfuerzo de fluencia: 0,76 MPa



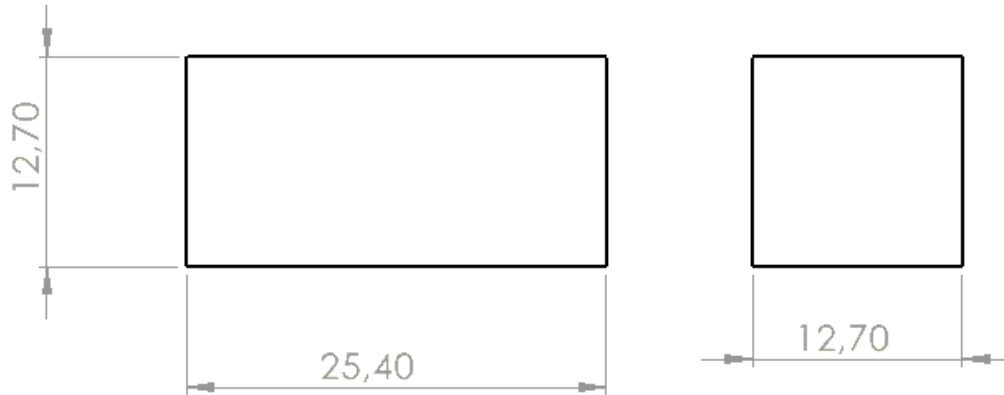
ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Probetas para Ensayos No Destructivos



Desarrollo

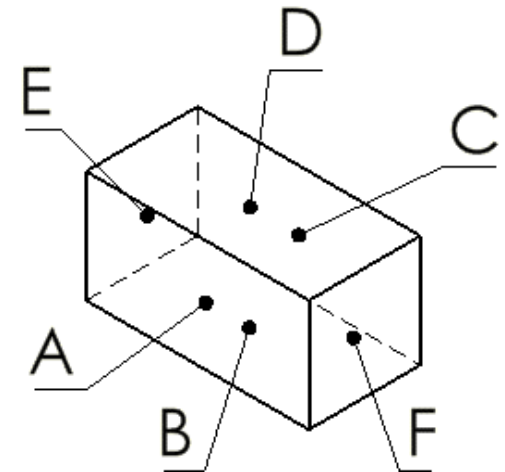
Ensayo por Inspección con tintas penetrantes



Norma ASTM-E-165-02

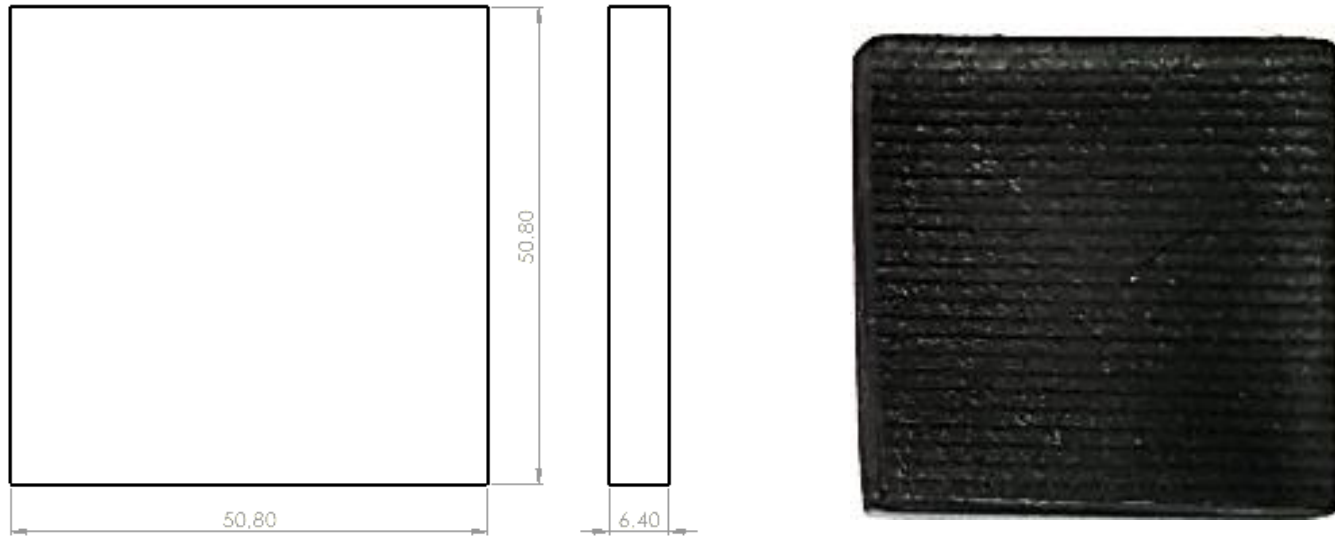
Analiza las discontinuidades por líquidos penetrantes en la superficie del material como, fisuras, costuras

Técnica visible:
procedimiento LEND-PT
Temperatura: 18°C
Tiempo: 22 minutos.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Ensayo de Radiografía por ultrasonido



Norma ASTM E797

Mide los espesores de cualquier tipo de material por medio de un análisis de ultrasonido con contacto manual denominado pulso eco

Desarrollo

Ensayo de Radiografía por ultrasonido

- **Equipo:** SIUI
- **Serie:** M06320220107 R
- **Modelo:** SMARTOR
- **Serie interna:** LEND -UT-ME

El transductor

- **Marca:** SIUI
- **Modelo:** TGM5-10L
- **Serie:** 52200671R
- **Serie interna:** LEND-TB-ME
- **Frecuencia:** 3.5 MHz
- **Dimensiones:** diámetro 12



Desarrollo

Ensayo de Radiografía por ultrasonido



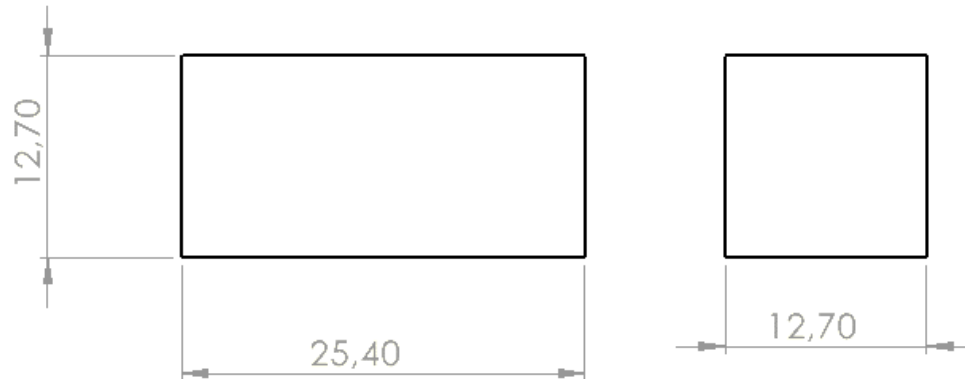
Parámetros de inspección

- **Ganancia:** 50 Db
- **Primer elemento:** 10mm
- **Ultimo Elemento:** 12,5 mm
- **Pero se apertura:** 2
- **Angulo de detección:** 90°
- **Velocidad:** 3000m/s
- **Modo:** pulso Eco
- **Técnica:** Medición de espesores
- **Tipo de inspección:** UT convencional
- **Acoplante:** Glicerina



Desarrollo

Ensayo de Inspección Visual



Peso de 7,41 g

- **Radiómetro:** Visible Light Meter
- **Equipo de medición;** Calibrador pie de rey
- **Distancia de inspección:** 30 cm
- **Angulo de inspección:** 90°



Resultados obtenidos Ensayos Destructivos



Ensayo de Compresión

Resultados del ensayo de compresión en la autoparte fabricada PP reciclado

Propiedades del PP compresión				
Probetas	Esfuerzo máximo de compresión (MPa)	Fuerza de fluencia (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Fuerza máxima (N)
1	1,11	900	0,83	1200
2	1,71	1450	1,34	1850
3	1,53	1250	1,16	1650
4	1,76	1350	1,25	1900
5	1,85	1350	1,25	2000
Promedio	1,59	1260	1,165	1720
Desviación estándar	0,29	213,3	0,197	317,41



Ensayo de Compresión

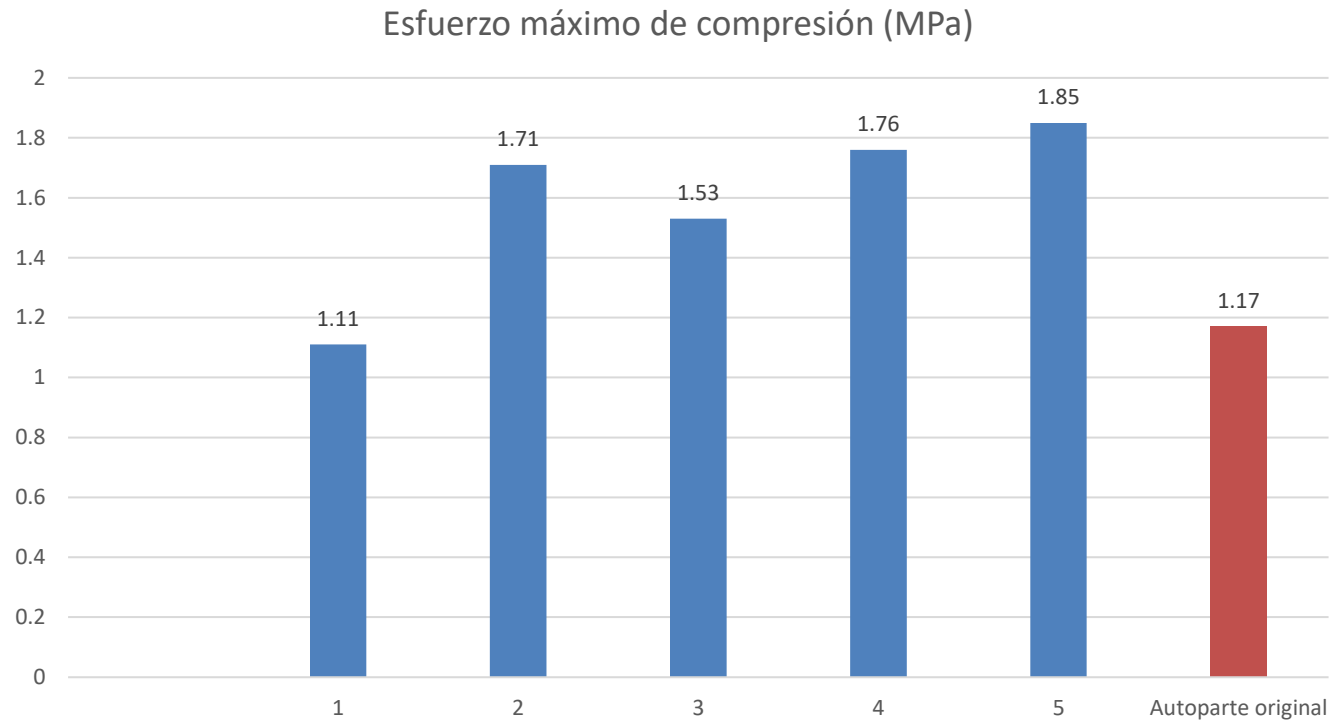
Resultados del ensayo de compresión en la autoparte original ABS

Propiedades del PP compresión				
Probetas	Esfuerzo máximo de compresión (MPa)	Fuerza de fluencia (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Fuerza máxima (N)
Autoparte original	1,17	1400	0,76	2150



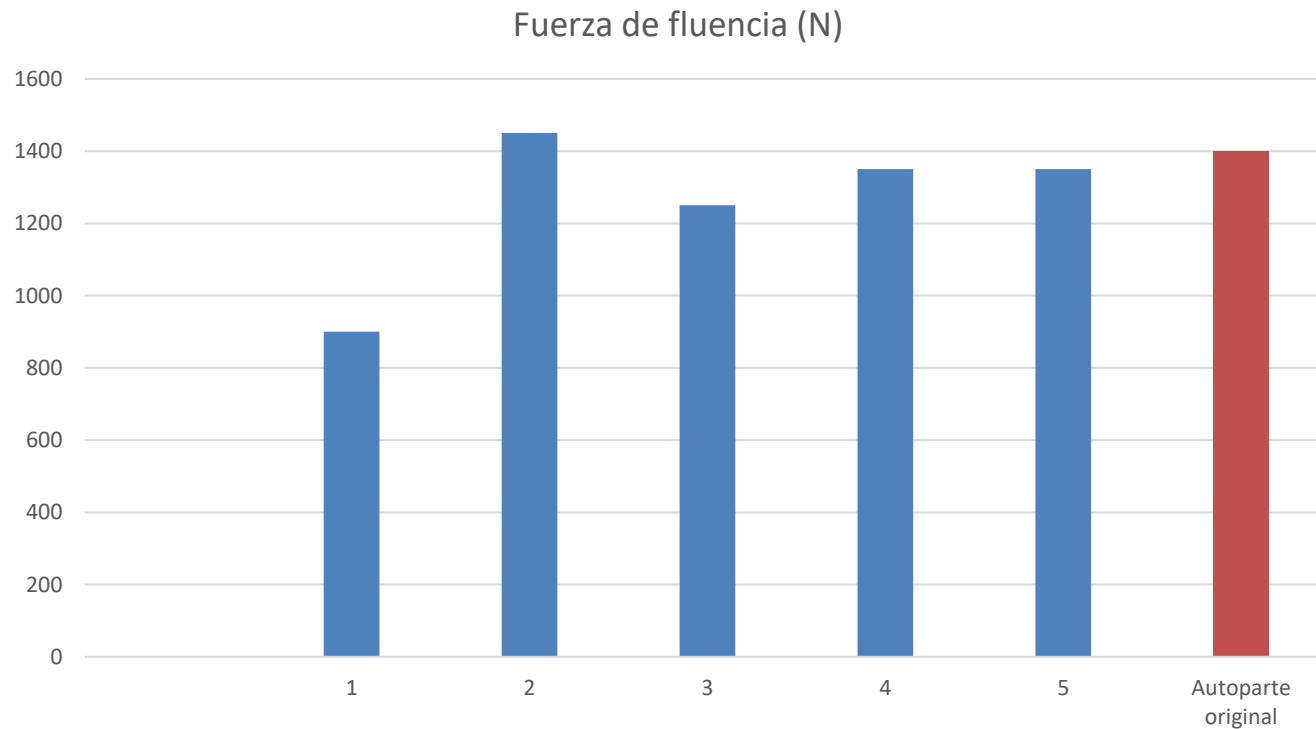
Ensayo de Compresión

Gráfico de los resultados del esfuerzo máximo de compresión



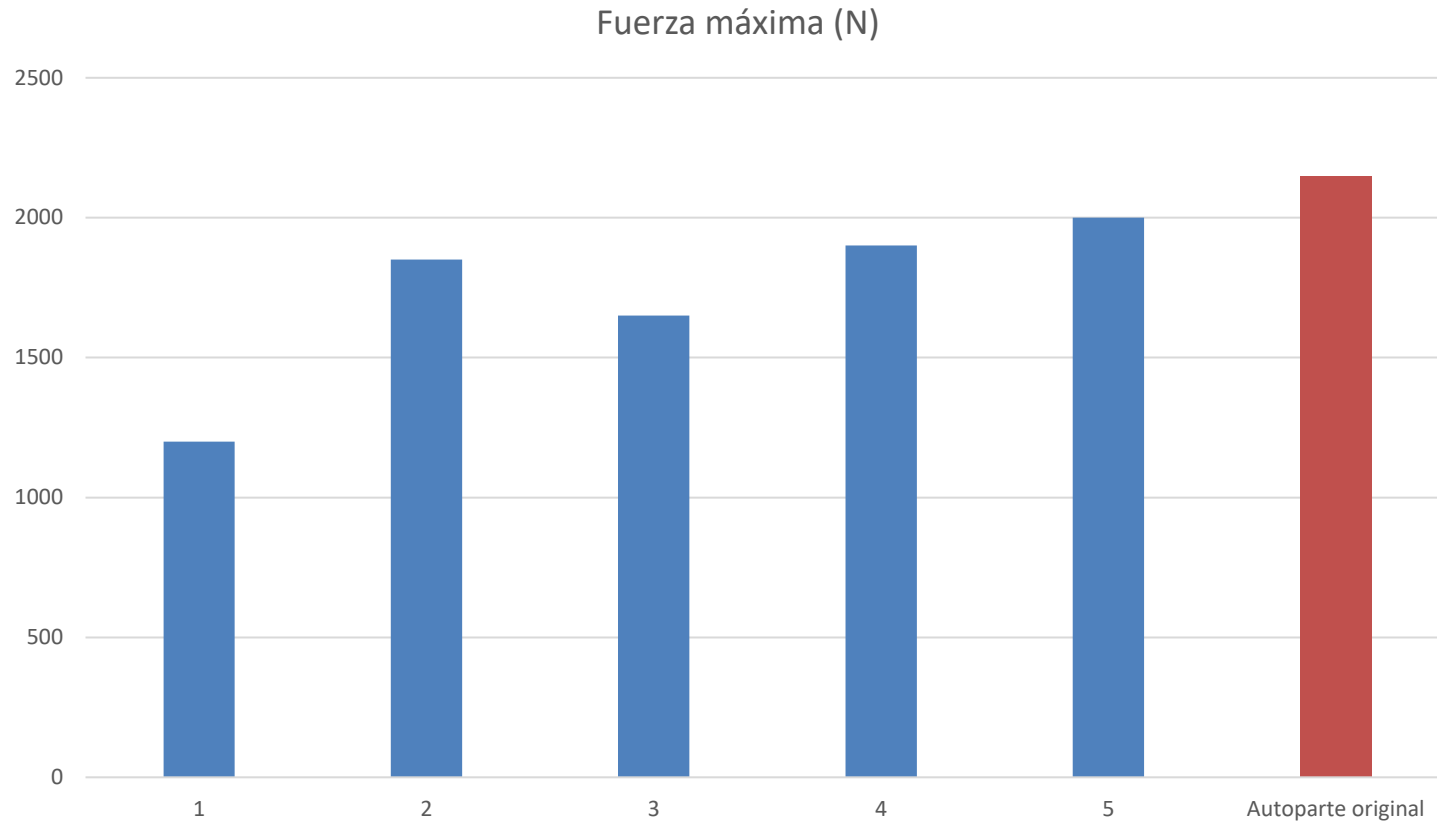
Ensayo de Compresión

Gráfico de los resultados de la fuerza de fluencia



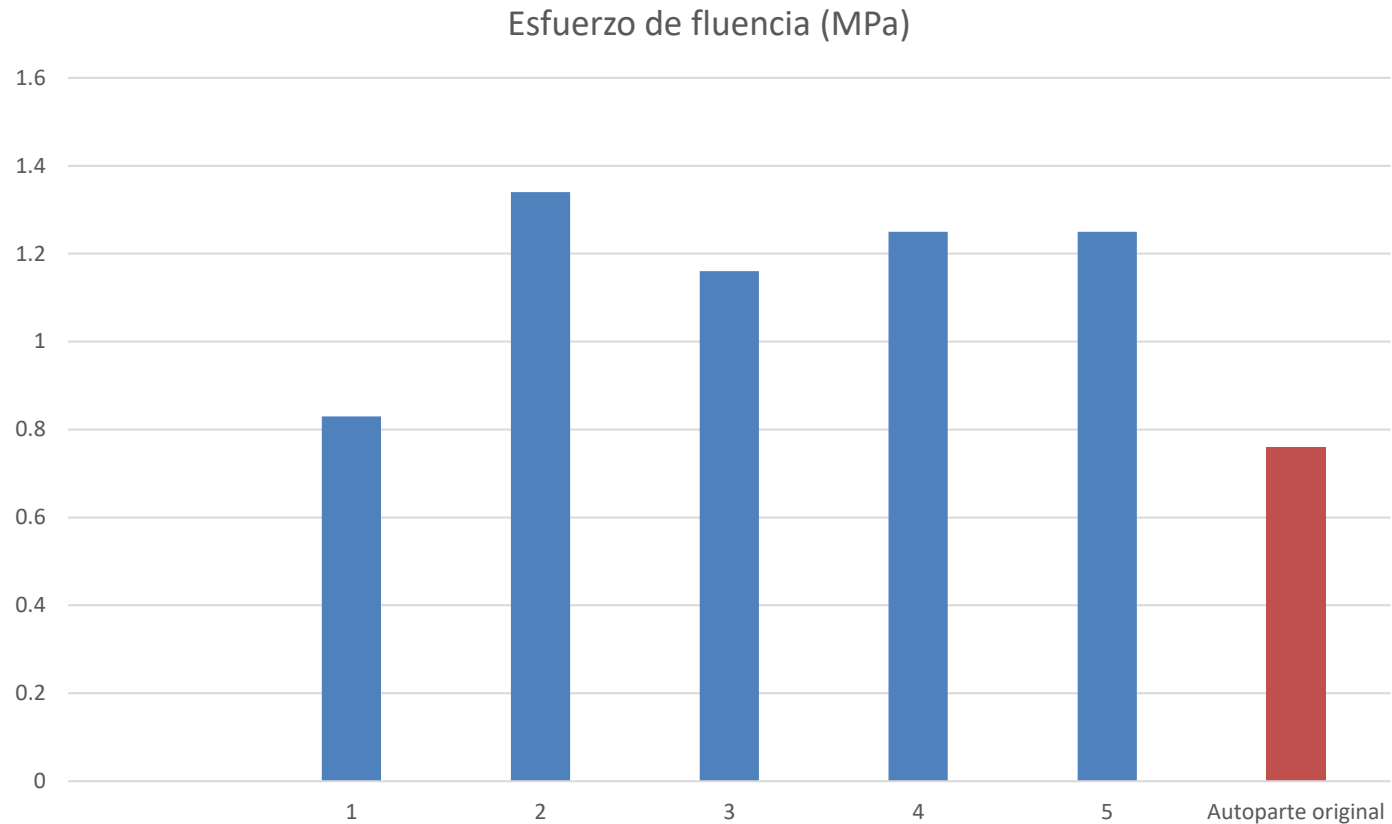
Ensayo de Compresión

Gráfico de los resultados de la fuerza máxima de compresión



Ensayo de Compresión

Gráfico de los resultados del esfuerzo de fluencia



Ensayo de Compresión

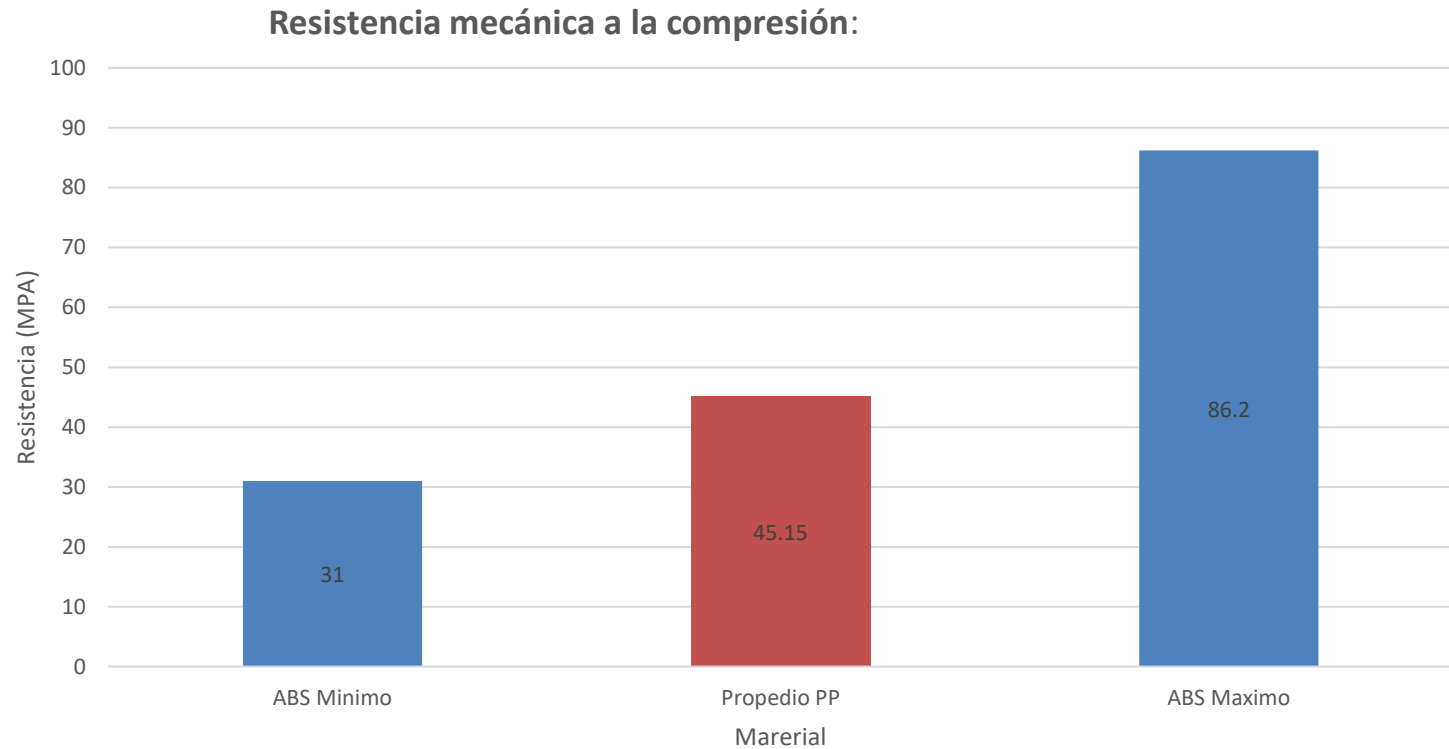
Resultados del PP reciclado a compresión

Propiedades del PP reciclado compresión	
Probetas	Esfuerzo máximo de compresión (MPa)
1	46,18
2	45,24
3	45,20
4	44,52
5	44,62
Promedio	45,151
Desviación estándar	0,661



Ensayo de Compresión

Gráfico de la resistencia a la compresión del ABS y el PP reciclado



Ensayo de Impacto

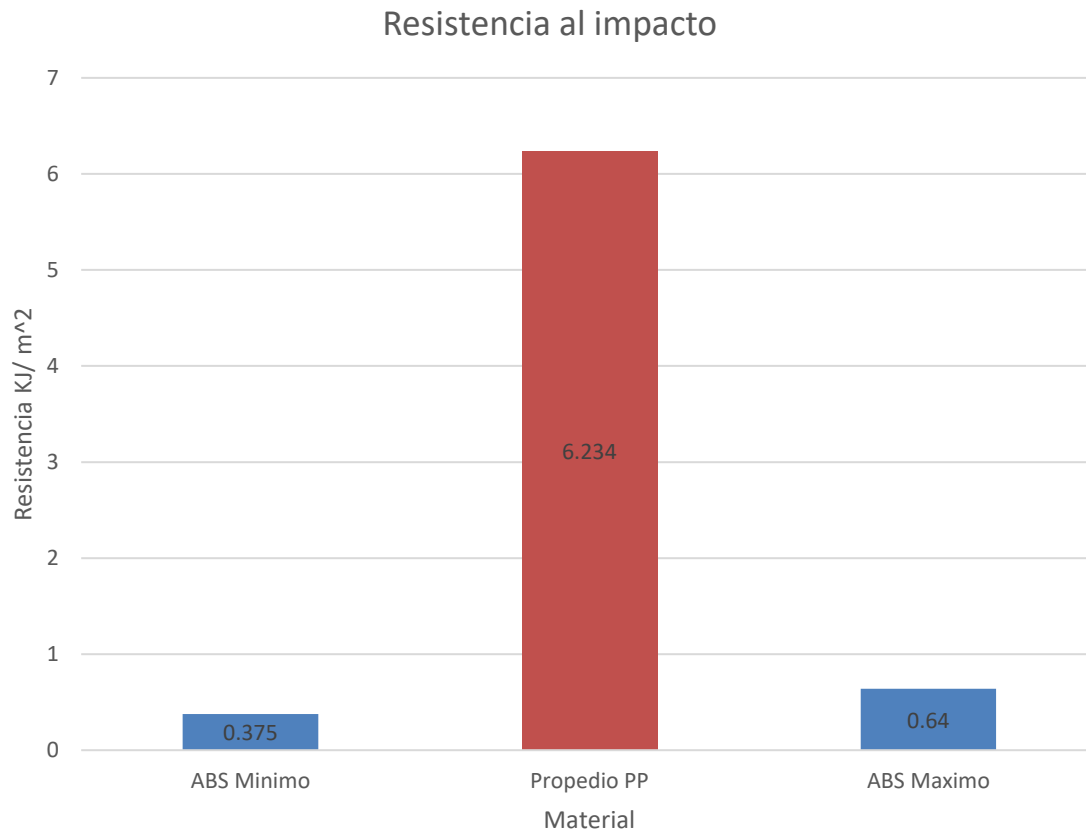
Resultados del PP reciclado a impacto

Propiedades del PP impacto	
Resistencia al impacto (KJ/m^2)	
Probetas	
1	5,145
2	7,399
3	6,413
4	4,698
5	7,516
Promedio	6,234
Desviación estándar	1,282



Ensayo de Impacto

Gráfico de la resistencia al impacto del ABS y el PP reciclado



Ensayo de Dureza

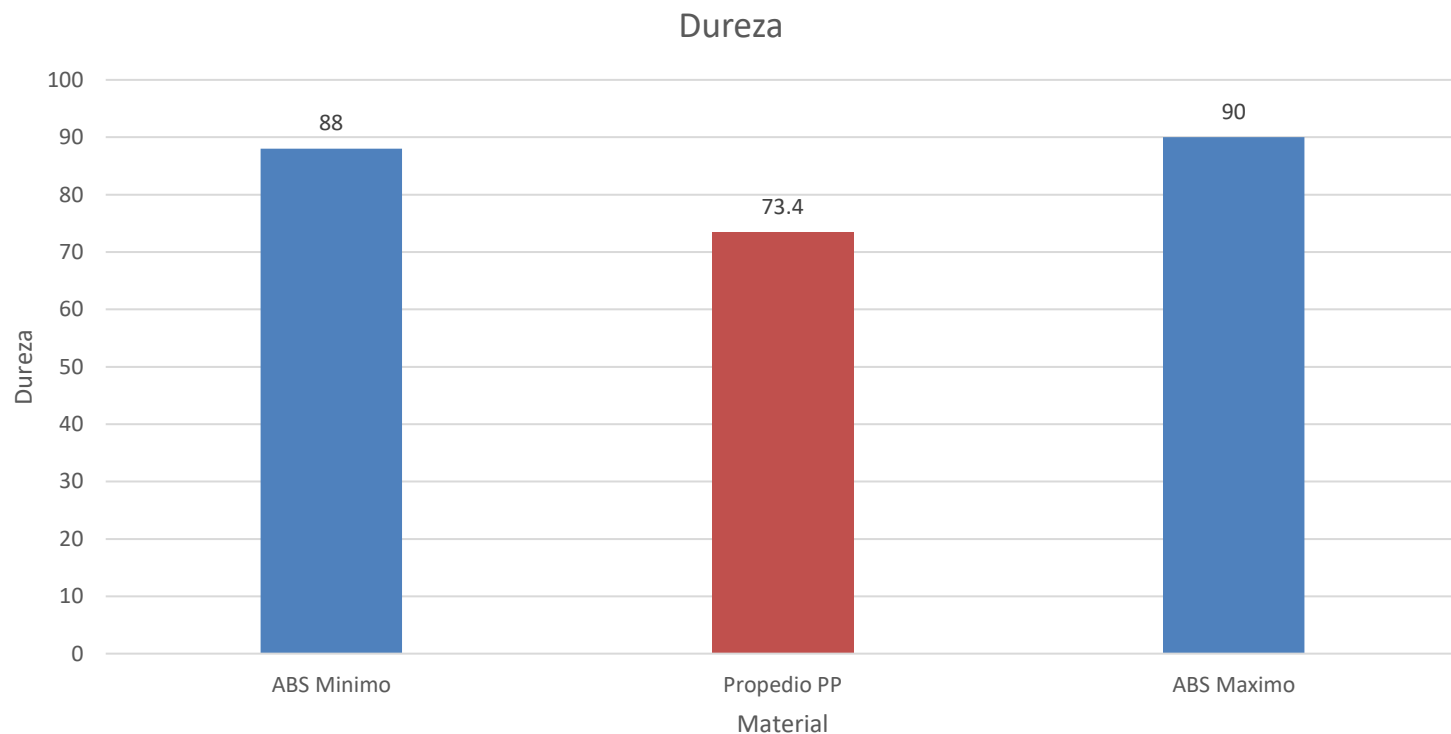
Resultados del PP reciclado en dureza

Propiedades del PP reciclado dureza	
Probetas	Dureza SHORE (D)
1	74
2	73
3	73,5
4	73
5	73,5
Promedio	73,4
Desviación estándar	0,42



Ensayo de Dureza

Gráfico de la Dureza SHORE del ABS y el PP reciclado



Ensayo de Tracción

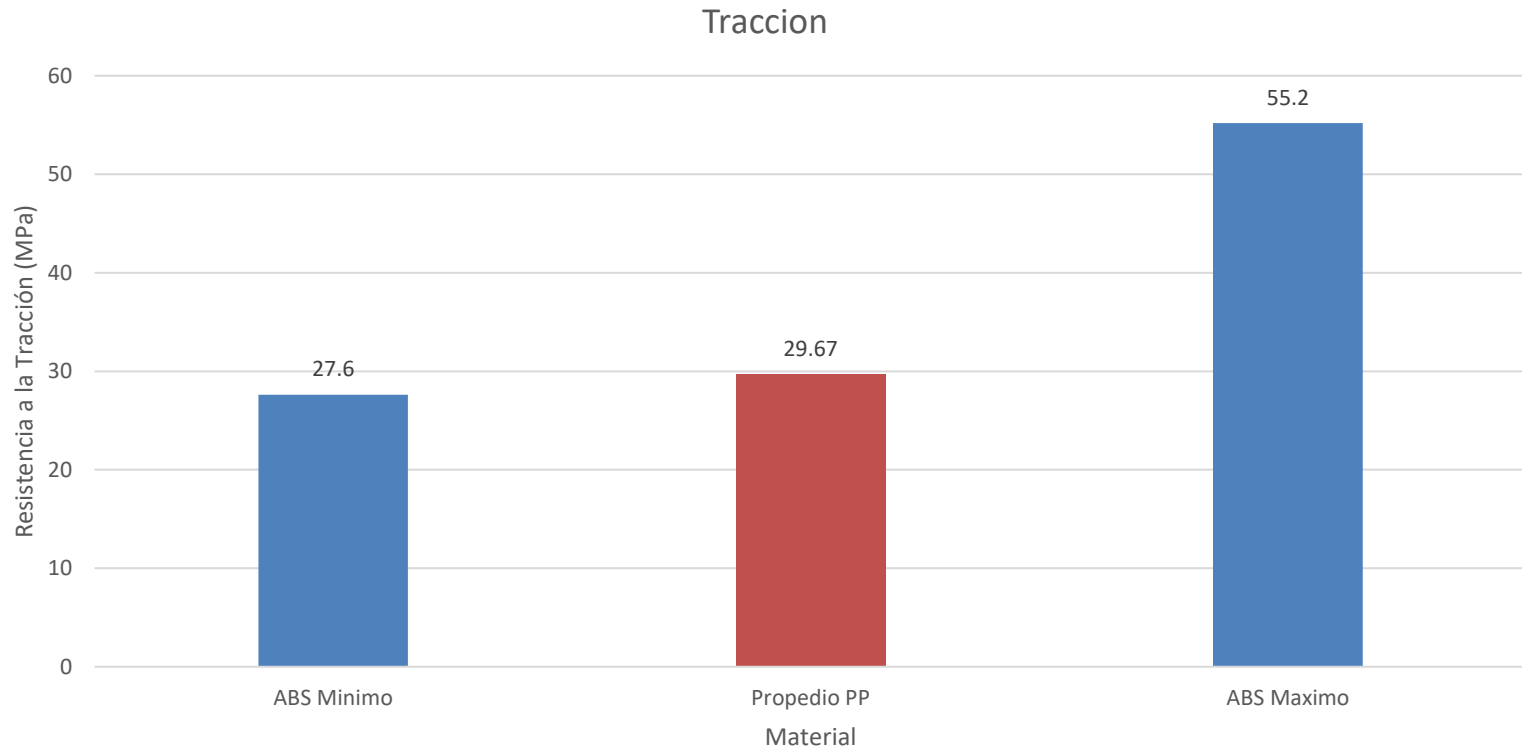
Resultados del PP reciclado a tracción

Propiedades del PP reciclado tracción	
Probetas	Esfuerzo máximo de tracción (Mpa)
1	29.55
2	26,35
3	30,88
4	30,71
5	30,87
Promedio	29.67
Desviación estándar	1,938



Ensayo de Tracción

Gráfico de los resultados de esfuerzo a tracción del PP reciclado y del ABS



Ensayo de Flexión

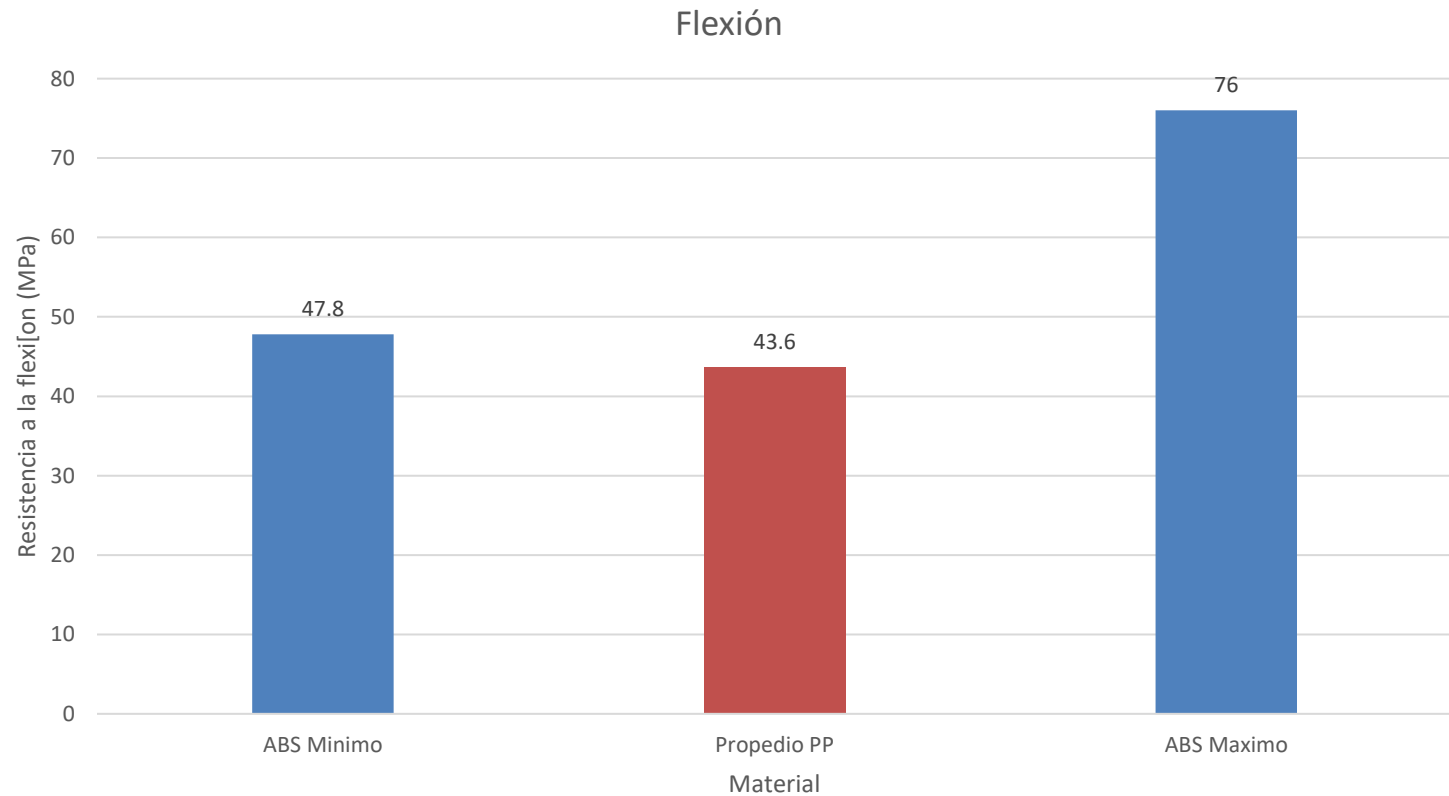
Resultados del PP reciclado a flexión

Propiedades del PP flexión		
Probetas	Módulo elástico (Mpa)	Esfuerzo de flexión al 5% de elongación (MPa)
Promedio	1474 ± 74,9	43.6±1,6



Ensayo de Flexión

Gráfico de los resultados del ensayo a flexión del PP reciclado



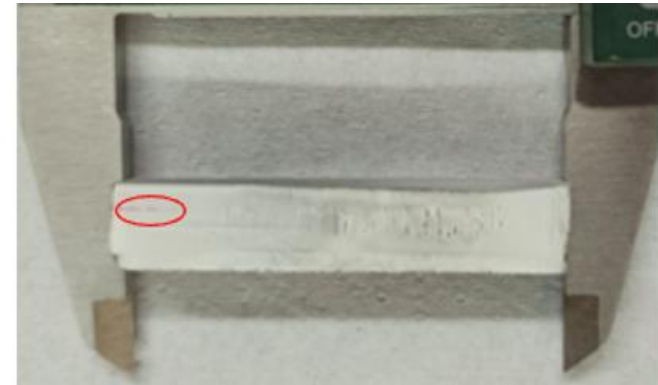
Resultados obtenidos Ensayos No Destructivos



Resultados de Inspección por líquidos penetrantes

Probeta 1

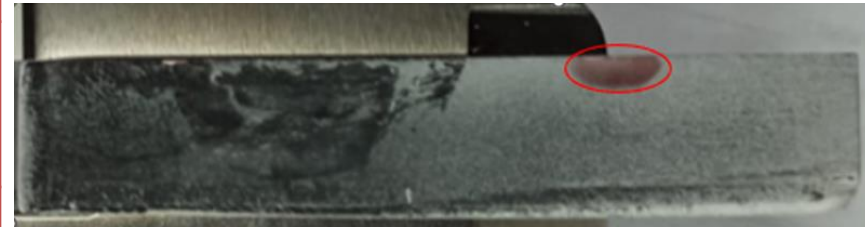
Probeta 1		
Lado/cara	Tipo de discontinuidad	Medida (mm)
A		
B		
C		
D	Fisura	10,35
E	Poros	1,8
F		



Resultados de Inspección por líquidos penetrantes

Probeta 2

Probeta 2		
Lado/car a	Tipo de discontinuidad	Medida (mm)
A		
B	Fisura	8,52
C		
D		
E	Poros	1,5
F		

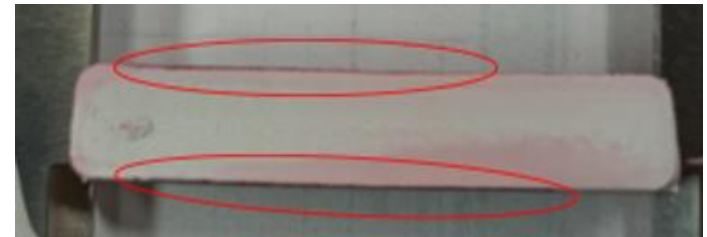


Resultados de Inspección por líquidos penetrantes

Probeta 3

Probeta 3

Lado/cara	Tipo de discontinuidad	Medida (mm)
A	Rugosidad Excesiva	47,4
	Rugosidad Excesiva	31,7
B	Rugosidad Excesiva	60,5
C	Rugosidad Excesiva	61,2
	Poros	2,4
	Poros	3,2
D	Poros	1,8
E		
F		



Resultados de Inspección por líquidos penetrantes

Probeta 4

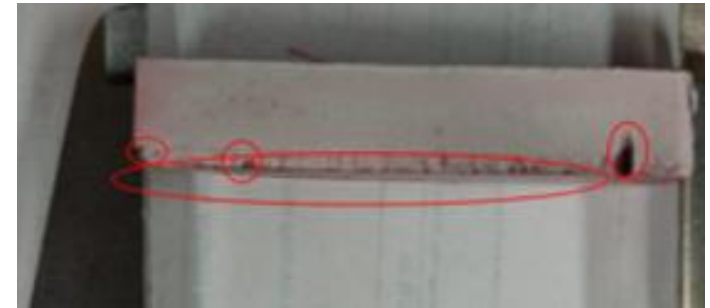
Probeta 4		
Lado/cara	Tipo de discontinuidad	Medida (mm)
A	Poros	1,1
	Poros	0,80
	Poros	1,30
	Poros	0,50
	Poros	1,06
	Poros	0,30
B	Poros	0,20
	Poros	0,30
	Poros	0,20
C	Fisura	12,74
	Poros	1,20
	Rugosidad Excesiva	61,10
D	Poros	2,10
	poros	0,42
E		
F		



Resultados de Inspección por líquidos penetrantes

Probeta 5

Probeta 5		
Lado/cara	Tipo de discontinuidad	Medida (mm)
A	Poros	3,2
	Poros	2,05
	Poros	0,25
	Poros	0,18
	Fisura	43,2
	Rugosidad Excesiva	36,39
B	Fisura	6,83
	Rugosidad Excesiva	55,39
	Poros	1,48
	Poros	0,59
C		
D		
E		
F		



Elemento Rechazado



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Inspección por ultrasonido

Medición de espesores de la probeta 1



Los valores superan el 20% de amplitud permitido en la altura del pico.



Inspección por ultrasonido

Medición de espesores de la probeta 2



Los valores superan el 20% de amplitud permitido en la altura del pico.



Inspección por ultrasonido

Medición de espesores de la probeta 3



Los valores superan el 20% de amplitud permitido en la altura del pico.



Inspección por ultrasonido

Medición de espesores de la probeta 4



Los valores superan el 20% de amplitud permitido en la altura del pico.



Inspección por ultrasonido

Medición de espesores de la probeta 5



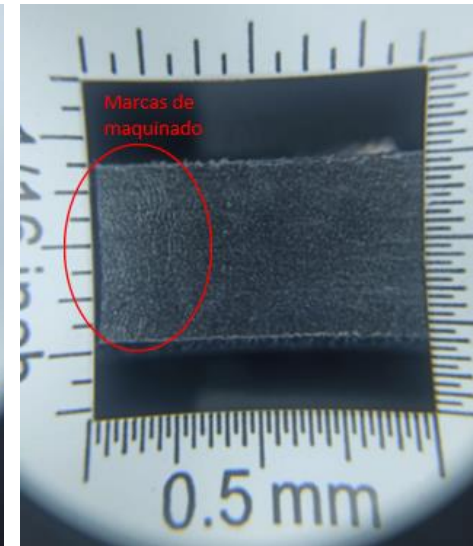
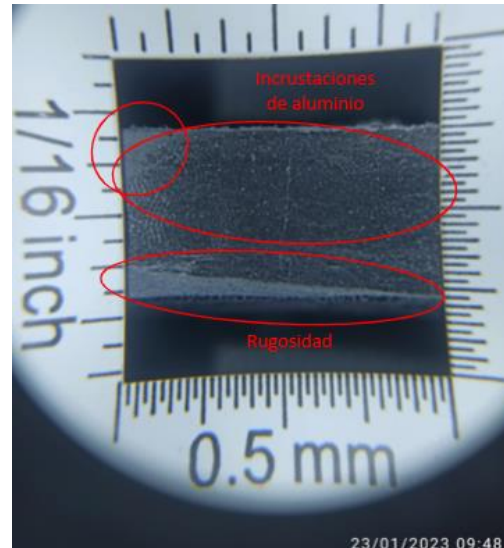
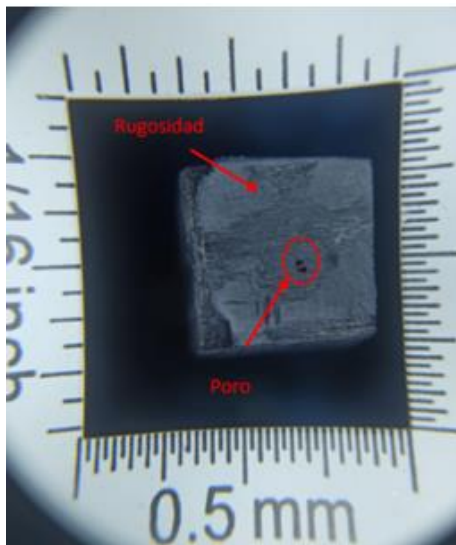
Los valores superan el 20% de amplitud permitido en la altura del pico.

Elemento Rechazado



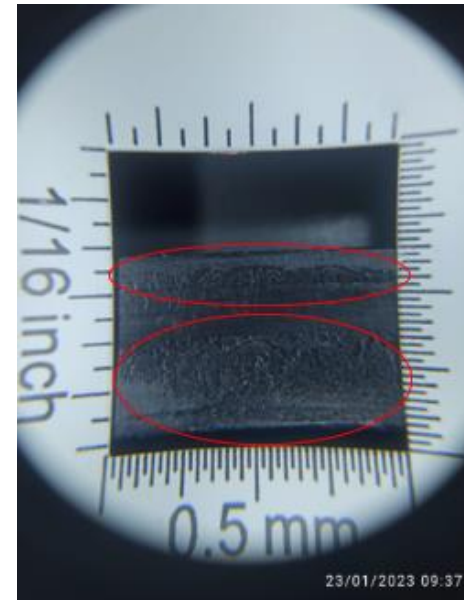
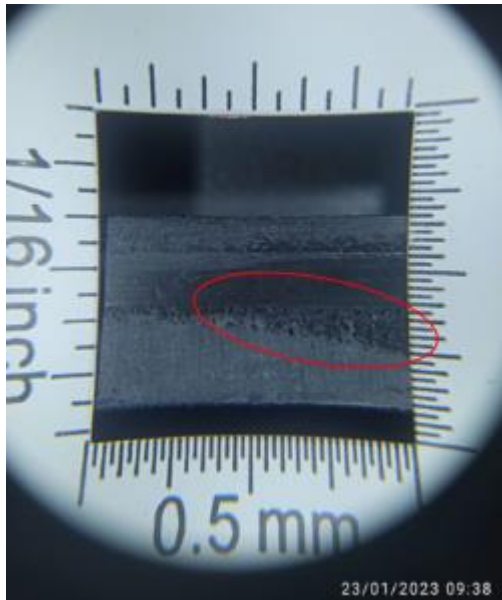
Resultado del ensayo por Inspección visual

Probeta		
Lado/cara	Tipo de discontinuidad	Medida (mm)
A	Rugosidad	20
	Marcas de maquinado	12,5
	Rugosidad	
	Rugosidad	16,25
	Rugosidad	20
	Poros	16,5



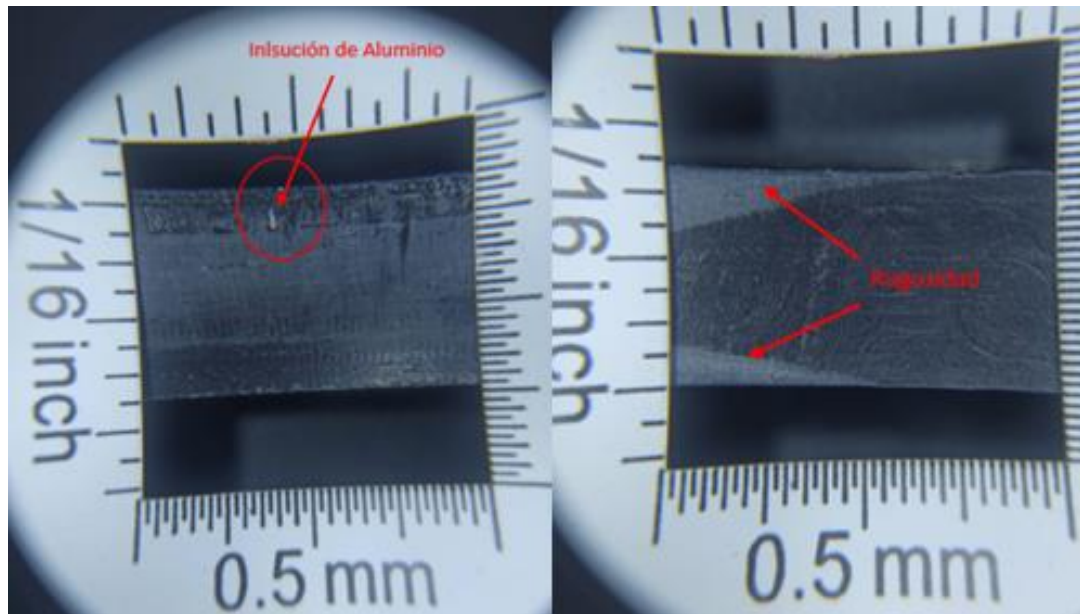
Resultado del ensayo por Inspección visual

Probeta		
Lado/cara	Tipo de discontinuidad	Medida (mm)
B	Nido de poros	0,5
	Rugosidad	14,5
	Rugosidad	20
	Rugosidad	20
	Poros	16



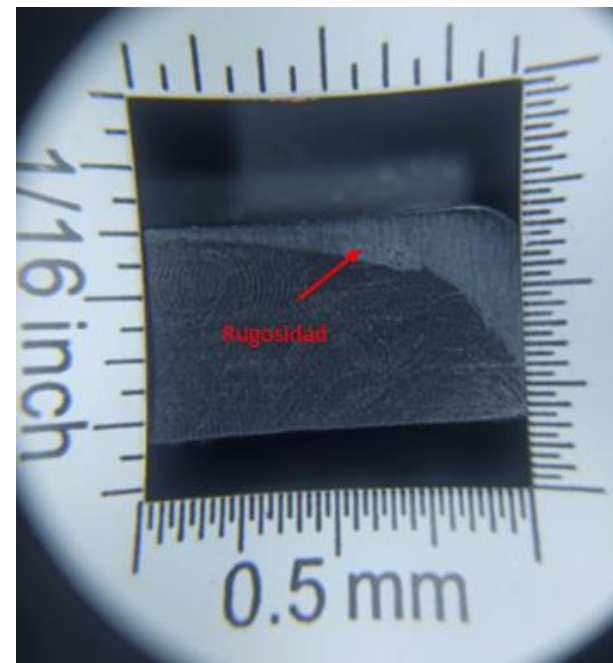
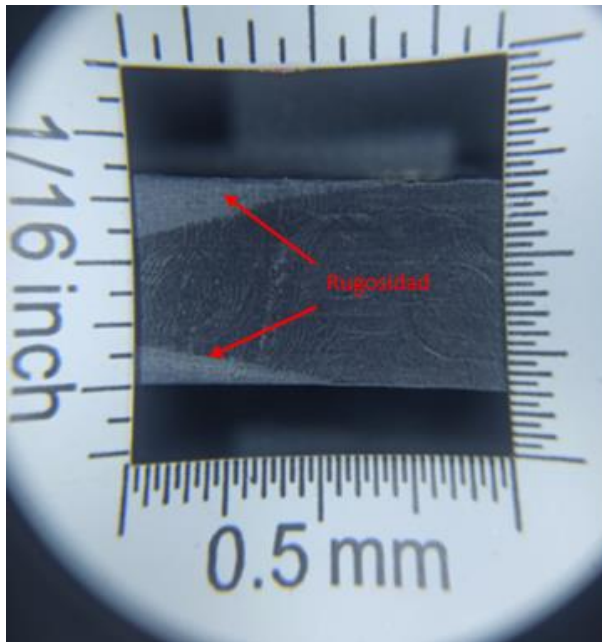
Resultado del ensayo por Inspección visual

Probeta		
Lado/cara	Tipo de discontinuidad	Medida (mm)
C	Inclusión de escoria	0,5
	Rugosidad	1,5



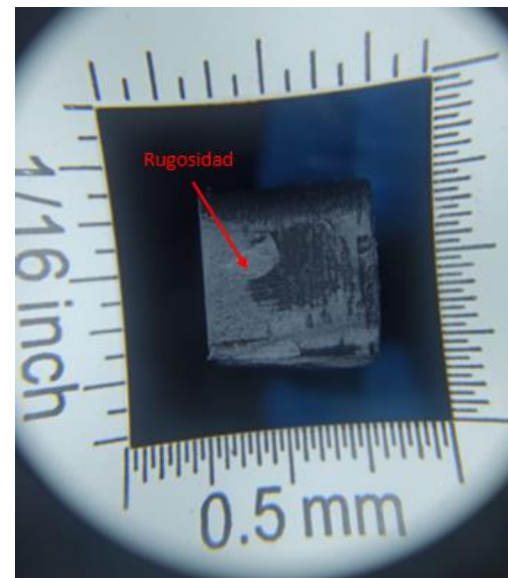
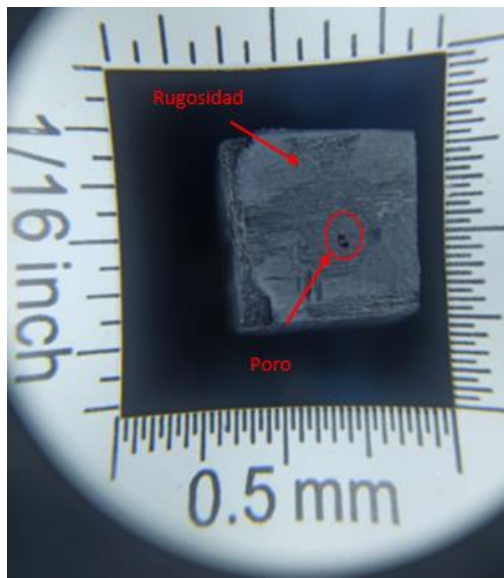
Resultado del ensayo por Inspección visual

Probeta		
Lado/cara	Tipo de discontinuidad	Medida (mm)
D	Rugosidad	17
	Rugosidad	12
	Rugosidad	20



Resultado del ensayo por Inspección visual

Probeta		
Lado/cara	Tipo de discontinuidad	Medida (mm)
E	Nido de poros	11,5
	Rugosidad	1,5
F	Rugosidad	5



Elemento Rechazado



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Conclusiones

- Por medio del ensayo destructivo de compresión realizado a la autoparte fabricada con polipropileno reciclado el cual está compuesto de 20% PP virgen y 80% del PP reciclado, se determinó que la fuerza máxima promedio que resistió el retrovisor fue de 1350 N, siendo esta menor que la fuerza resistente de la autoparte original la cual fue fabricada con ABS, caso contrario sucede con el esfuerzo máximo de compresión ya que el retrovisor de polipropileno reciclado sobrepaso con 36,76 % al valor del retrovisor de ABS.
- A través de ensayos destructivos realizados al polipropileno reciclado se determinó lo siguiente, en el ensayo de compresión el valor obtenido es de 45,15 MPa este dato se encuentra dentro del rango permisible de compresión del ABS [min: 31 – max: 86.2]MPa. En cuanto al resultado conseguido en el ensayo de impacto se evidencia que el PP reciclado es 89,7% mayor que el ABS. La resistencia a la tracción alcanzada es de 29,67 MPa y al igual que la compresión se encuentra dentro del rango permisible, por el contrario, en las pruebas de dureza SHORE y flexión el PP reciclado no llego al valor mínimo requerido por el ABS, siendo 88 MPa y 47,8 MPa los valores mínimos correspondientes.



Conclusiones

- En base a los ensayos no destructivos realizados a las probetas de polipropileno reciclado se observó que el material presenta discontinuidades como fisuras, poros, nido de poros, marcas de maquinado, escoria, rugosidad excesiva y un espesor no uniforme, de acuerdo a los parámetros de revisión el proceso de inyección de material no es apto para realizar este tipo de autopartes, ya que presentar discontinuidades excesivas afectan a la calidad y funcionamiento del producto final.
- Después de investigar normativas nacionales e internacionales para ensayos destructivos se concluyó que era necesario aplicar normativa internacional ASTM en cada ensayo, pues cada prueba debe cumplir diferentes parámetros, en el caso del ensayo de flexión la norma utilizada es ASTM D-790:B, para compresión ASTM D695-2015, con el propósito de obtener la dureza SHORE se aplicó la norma ASTM D2240-15, así mismo la normativa ASTM D6110-18 ayudo a encontrar la resistencia al impacto, finalmente para determinar la resistencia a la tracción se empleó la ASTM D638-2022.



Conclusiones

- Las normas mencionadas anteriormente proporcionaron especificaciones técnicas como dimensiones, forma, número de probetas indispensables al momento de realizar el ensayo correspondiente. Además, se determinó que no existen normativas nacionales para este tipo de estudios.



Recomendaciones

- Mediante el trabajo realizado se recomienda variar el porcentaje de polipropileno virgen y reciclado para mejorar los resultados de los ensayos destructivos y obtener una mejor combinación del material.
- Se recomienda realizar un acabado fino de la matriz ya que, al tener irregularidades en la misma, la probeta presenta marcas de maquinado, que afectan al correcto análisis del material, además de evitar que esta tenga escoria en su interior.
- Se recomienda realizar la matriz de las probetas con un material diferente al aluminio, para corroborar los resultados y determinar que el material de la matriz no influye en los resultados de los ensayos realizados en las probetas.
- En base al estudio realizado se recomienda realizar una matriz para cada probeta de acuerdo con la norma que se va a emplear, para facilitar la obtención de probetas, ya que al realizar una matriz en general de todas provoca inconvenientes al momento de obtener la probeta a analizar
- Se recomienda realizar este ensayo bajo las normativas ISO que son equivalentes a las ASTM, para confirmar los datos del estudio y asegurar que el Polipropileno reciclado puede reemplazar las piezas vehiculares construidas con ABS en cuanto a características mecánicas se habla

