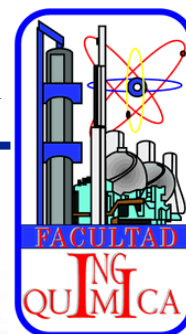




BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

COLEGIO DE INGENIERÍA QUÍMICA

***COMPORTAMIENTO DE UNIONES PLÁSTICAS SOLDADAS
FRENTE AL ENSAYO DE Tensión.***

TESIS PROFESIONAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA:

ALFREDO CUAYA JUÁREZ

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JOSÉ HUMBERTO CAMACHO GARCÍA

PUEBLA

JUNIO DE 2014



C. ALFREDO CUAYA JUÁREZ
PASANTE
LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA
PRESENTE:

Oficio No. FIQ/AC/397/2014
Asunto: Registro de Tema de Tesis
Fecha: 24 de Marzo de 2014

Por medio del presente me permito informarle, de la aprobación del Registro de Tema de Tesis de la Licenciatura en Ingeniería Química cuyo título es el siguiente:

"COMPORTAMIENTO DE UNIONES PLÁSTICAS SOLDADAS FRENTE AL ENSAYO DE TENSIÓN"

Con el siguiente contenido:

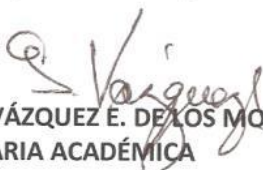
INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1	ANTECEDENTES
CAPÍTULO 2	METODOLOGÍA
CAPÍTULO 3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CONCLUSIONES
BIBLIOGRAFÍA

Director de Tesis: Dr. José Humberto Camacho García

Lo cual me permito comunicarle para su conocimiento y fines consiguientes aclarando que la vigencia de este tema será **ÚNICAMENTE POR UN AÑO.**

ATENTAMENTE
"Pensar Bien, Para Vivir Mejor"

M.I.C. MA. GPE. TITA VÁZQUEZ E. DE LOS MONTEROS
SECRETARIA ACADÉMICA

C.c.p. Director de Tesis: Dr. José Humberto Camacho García
Archivo.

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

Matricula: 200817002

Ingeniería Química	(X)
Ingeniería Ambiental	()
Ingeniería en Alimentos	()
Ingeniería en Materiales	()
Ingeniería Agroindustrial	()

Al C. Sustentante Alfredo Guaya JuárezDe acuerdo a la **presentación y revisión** de la tesis:

Comportamiento de uniones plásticas soldadas
frente al ensayo de Tensión

se aprueba la impresión y empastado de la misma.

Jurado de examen profesional:

Presidente: Dra. María de Lourdes Ruiz Peralta
Secretario: Dra. Mirna López Fuentes
Vocal: Dr. José Humberto Comacho García

Firma

[Firma]
[Firma]
[Firma]

Fecha de examen: 30 DE JUNIO DE 2014H. Puebla de Zaragoza a 24 de JUNIO de 2014.

Agradecimientos

Estas líneas servirán para expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo, en especial al Dr. José Humberto Camacho García, director de esta investigación, por la orientación, el seguimiento y la supervisión continúa de la misma, pero sobre todo por la motivación y el apoyo recibido a lo largo de estos meses.

Especial reconocimiento merece el interés mostrado por mi trabajo y las sugerencias recibidas por la Doctora María de Lourdes Ruiz Peralta y con la Doctora Mirna López Fuentes por el ánimo infundido y la confianza en mí depositada. Además quisiera hacer extensiva mi gratitud a mis compañeros y amigos de generación de la Facultad de Ingeniería Química pertenecientes a sus diversos colegios de Ingeniería Química, Ingeniería Ambiental, Ingeniería de Alimentos e Ingeniería de Materiales, por su amistad y colaboración.

También quiero agradecer al Maestro Manuel Francisco Pacheco Aguirre por la formación en Laboratorio de Operaciones Unitarias que ayudó en mi crecimiento profesional, al Maestro Jorge Ortega Pérez por mostrarme que el camino en la licenciatura no es fácil y los retos son cada vez más grandes, y a todos los demás catedráticos que instruyeron mi formación académica en ésta Facultad.

Un agradecimiento muy especial merece todo el apoyo brindado así como la comprensión, paciencia y el ánimo recibido por mis padres y toda mi familia y amigos cercanos.

A todos ellos, muchas gracias.

Comportamiento de uniones plásticas soldadas frente al ensayo de tensión.

Índice

Introducción.....	1
Capítulo 1 Antecedentes.....	4
Polímeros.....	4
Termoplásticos.....	6
Acrónimos.....	7
Polipropileno.....	9
Polimerización.....	9
Propiedades	9
Acrilonitrilo Butadieno Estireno ABS	11
Propiedades físico – mecánicas	12
Fuerzas que pueden actuar en los polímeros	12
Aspectos generales sobre adhesión	13
Adhesivos	14
Grupos de Adhesivos.....	15
Adhesivo de fusión en caliente.....	17
Soldadura	17
Procesos de soldadura para la unión de plásticos.....	18
Capítulo 2. Marco Teórico.....	21
Resistencias mecánicas.....	21
Propiedades Mecánicas	21
Ensayos con materiales	22
Deformación elástica y plástica.....	23
Deformación Plástica.....	23
Ensayo de Tensión	23
Esfuerzo y deformación ingenieriles	25

Dispositivo de ensayo de tensión	26
Resistencia a la tensión.	27
Propiedades Elásticas.	28
Ductilidad.	29
Ensayos de corta duración	30
Ensayo de tensión rápida.....	30
Propuesta de metodología.....	31
Diagrama de la Metodología.....	33
Método y materiales.....	34
Método de caracterización.....	35
Caracterización de los plásticos.	35
Normalización	35
Aplicación	37
Ensayo de recepción de material.....	37
Ensayo en piezas semi-terminadas.....	37
Ensayo en la piza terminada completamente	38
Ventajas	38
Propiedades Mecánicas	39
Resistencia a la Tensión	40
Método	40
Capítulo 3. Resultados y discusión	43
Conclusiones.....	63
Anexo A. Inspección visual de cada soldadura plástica.	66
Bibliografía.....	72

Introducción

La industria automotriz es considerada un pilar de la economía a nivel global. Exclusivamente en México representa el segundo sector económico más importante del país, además de que significa el elemento primordial de la modernización y estrategias de globalización del mismo [1]. México se ubica entre los diez principales productores de automóviles, camiones, partes y componentes del mundo. Nuestro país cuenta con una industria madura y dinámica que continúa en crecimiento. Es por ello que 8 de las 10 armadoras líderes de autos del mundo cuentan con plantas de ensamblaje en México. Además, existen más de mil empresas de autopartes establecidas en el país, la gran mayoría de ellas de origen extranjero [2].

Conociendo todo lo anterior, es de gran importancia contar con los equipos necesarios para la asegurar la óptima calidad del ensamblado de los automóviles. Cada planta armadora cuenta con un estricto control de análisis en todas las piezas que conforman un automóvil. Generalmente, los departamentos de calidad se dividen en dos grandes grupos: Partes Plásticas y Partes Metálicas. Ambos grupos se subdividen en áreas más específicas que se encargan de analizar con mayor detalle ciertas zonas del automóvil.

Con el gran avance de la tecnología y la misión de construir autos más eficientes con respecto al consumo de combustible y la seguridad del conductor, el uso de polímeros en la estructura del automóvil se ha incrementado notablemente llegando a formar un 80% del total en las piezas que lo conforman. Estos polímeros están presentes mayormente en toda la zona interior del automóvil, por ejemplo: tableros, asientos, revestimientos de puertas, toldos, pisos, tapetes, recubrimientos de zonas metálicas y zonas decorativas.

Lo más importante y destacado de estas piezas plásticas es el método de unión entre ellas. Anteriormente, las piezas eran unidas por medio de adhesivos y atornillados, pero con la evolución tecnológica, actualmente éstas piezas son

unidas por su punto de fusión, es decir, por un proceso de soldado. Si bien se conoce que el proceso de soldado es propio de uniones metálicas, éste mismo principio es aplicado para piezas plásticas pero con una metodología y tecnología delicada y sutil.

Los polímeros más utilizados en el ensamblado de autos son Polipropileno (PP), Polietileno (PE), Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS), Policloruro de vinilo (PVC), Poliamida 6 (PA6) y Poliamida 66 (PA66). Todos éstos forman las diferentes uniones entre las piezas que conforman al automóvil, y por lo tanto, las combinaciones de materiales para unirlos por un proceso de soldadura.

Cada tipo de soldadura entre los diferentes polímeros es completamente diferente, ya que no todas las uniones son realizadas con el mismo proceso de soldado. Esto se debe a que cada polímero presenta una temperatura de fusión diferente, y además, la funcionalidad que desempeña cada pieza es distinta así como la zona en donde será colocada, es decir, si es una zona decorativa, o piezas ocultas; es por esto que las técnicas de soldado más utilizadas en la industria automotriz durante el ensamblado de las piezas son:

- ❖ Ultrasonido.
- ❖ Rayo Láser.
- ❖ Aportación de calor.

Actualmente, se conocen la mayoría de las propiedades físicas de los polímeros, pero no de las soldaduras que se forman entre ellos. Por lo tanto es de suma importancia caracterizar y evaluar la función que desempeñan estas uniones. Existen algunas uniones plásticas soldadas que se ven más afectadas que otras, un claro ejemplo son las soldaduras en la zona del revestimiento del automóvil, las cuales soportan un fuerte desgaste al abrir y cerrar la puerta, lo cual disminuye su tiempo de vida predeterminado.

El punto más importante es desarrollar una tecnología así como su respectiva metodología que sea capaz de evaluar las zonas de unión plástica por punto de fusión, y así caracterizar el comportamiento de la zona fundida. Esto con el fin de mejorar el proceso de soldado, garantizar una mejor resistencia en las piezas ensambladas frente al desgaste por uso cotidiano, incrementar la calidad del producto terminado reduciendo fallas y obteniendo una satisfacción total del consumidor.

El control y aseguramiento de la calidad son medidas eficaces que reducen el descarte de mercancía, disminuyen las reclamaciones de garantía y protegen al consumidor. Solo quien produce calidad, podrá imponerse permanentemente en el mercado.

Capítulo 1 Antecedentes

En éste capítulo se abordan temas que describen a los polímeros, la clasificación de los mismos según su comportamiento frente al incremento de temperatura, la denominación que reciben basados en el nombre de las materias primas para su fabricación, aspectos generales sobre la adhesión de polímeros incluyendo los grupos adhesivos y la unión por punto de fusión de los materiales plásticos, así como las propiedades de 2 tipos de polímeros que se estudiarán a lo largo de éste trabajo, de tal modo que genere una amplia visión del tema para comprender los aspectos indicados en éste estudio.

Polímeros.

Con el nombre de **polímero** se define a toda sustancia constituida por moléculas que se caracterizan por la repetición (despreciando extremos finales, ramificaciones y otras irregularidades de relativamente menor importancia) de uno o más tipos de unidades monoméricas. Se trata de cadenas muy largas (o también redes) en las que muchos átomos están uno junto a otro [3].

Los **monómeros** son, por tanto, sustancias químicas de bajo peso molecular capaces de relacionar consigo mismo o con otras sustancias para formar un polímero [3].

En el sentido etimológico la palabra “polímero” deriva del griego *poli* y *meros*, que significan muchas partes, respectivamente, en contraste con “monómero” (*mono* significa uno). El término **macromolécula** se suele utilizar también con el mismo significado que el de polímero; lo mismo sucede con la expresión **cadena polimérica** [4].

Los polímeros tienen importancia en tres campos:

- a) Polímeros naturales.
- b) Polímeros naturales modificados.
- c) Polímeros sintéticos.

A) Polímeros naturales

Se pueden clasificar en cuatro grupos:

- a) Polisacáridos (almidón, celulosa...)
- b) Proteínas.
- c) Ácidos nucleicos.
- d) Caucho natural.

B) Polímeros naturales modificados

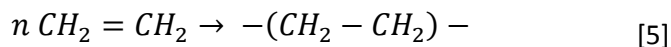
- a) Derivados de la celulosa (nitrato y acetato de celulosa, celulosa regenerada,...).
- b) Caucho vulcanizado.

C) Polímeros sintéticos

- a) *De adición* (polietileno, polipropileno, policloruro de vinilo,...).

Se basan en el hecho de que el doble enlace de las moléculas no saturadas tienen aún dos lugares potenciales de enlace: el enlace π puede en cierto modo abrirse, ambos átomos de carbono pueden pasar del estado de hibridación sp^2 al sp^3 y captar cada uno de ellos un nuevo asociado en el enlace. Estas moléculas no saturadas son monómeros [4].

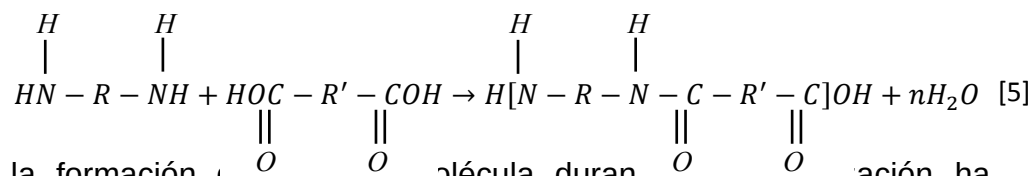
Para el caso del polietileno, por ejemplo, se tendrá:



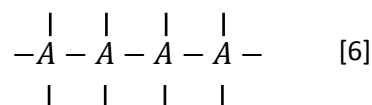
- b) *De condensación* (poliamidas, poliésteres,...).

En este caso los monómeros no son moléculas insaturadas, sino que, en el caso más general, poseen grupos funcionales en sus externos. Eligiendo monómeros en grupos antagónicos, se puede llevar a cabo el encadenamiento por reacción entre estos grupos [4].

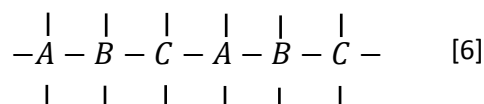
Caso de una poliamida:



Si en la formación de una molécula durante la polimerización ha intervenido solamente un tipo de monómero en este caso A, el polímero que se forma se denomina homopolímero.



Si en la formación de la macromolécula durante la polimerización han intervenido dos o tres monómeros en su formación, el polímero se denomina copolímero o terpolímero respectivamente y las unidades estructurales que lo conforman son comonómeros en este caso A,B,C [6].



Termoplásticos

Un plástico se denomina termoplástico cuando es capaz de ser ablandado repetidamente por acción del calor y endurecido por enfriamiento en un intervalo de temperatura característico para cada material, y ser capaz de conformarse repetidamente en artículos acabados por aplicación de calor y presión.

Los termoplásticos han de cumplir los siguientes requisitos:

- Energía cohesiva intermedia entre la de las fibras y los elastómeros.
- Para aplicaciones mecánicas han de poseer una alta tenacidad: cristalinidad moderada, o plásticos reforzados (los plásticos reforzados son

los que llevan incorporados en la masa fibras o tejidos de alta resistencia, con lo cual algunas propiedades mecánicas de los mismos resultan mejor).

- Para aplicaciones eléctricas, baja polaridad.
- Para aplicaciones ópticas, baja cristalinidad, o cristalinidad controlada.
- Si el peso molecular es bajo, la viscosidad del fundido también lo será y la transformación será más fácil, pero las propiedades mecánicas del producto serán pobres.

Un plástico que curado por calor u otros medios, se transforma en un producto sustancialmente infusible e insoluble se denomina termoestable. Todo termoestable se obtiene a partir de un material termoendurecible, denominado prepolímero [7].

Acrónimos

La denominación de los plásticos se basa en el nombre de las materias primas, es decir, los monómeros utilizados en su fabricación. Particularmente, en los homopolímeros termoplásticos se antepone el prefijo “poli” al nombre del monómero de donde se origina el plástico, por ejemplo:

Monómero Inicial → *Metacrilato de Metilo*

Nombre de Polímero → *Polimetacrilato de Metilo*

Como se puede observar, los nombres químicos de los polímeros con frecuencia son muy largos y difíciles de utilizar. Para aligerar este problema se introdujeron las siglas o “**acrónimos**”.

Para el ejemplo citado, el acrónimo es:

Nombre de Polímero → *Polimetacrilato de Metilo*

Acrónimo → *PMMA*

La mayor parte de estos acrónimos han sido normalizados. Sin embargo, el nombre de algunos plásticos, así como sus modificaciones, se asignan por los fabricantes o provienen de la misma práctica.

En la actualidad, existen más de 170 acrónimos que designan un tipo de plástico, y más de 70 que designan mezclas o aleaciones de éstos.

Sin embargo, los plásticos más conocidos llegan a ser no más de 26 tipos diferentes, los cuales se presentan en la tabla 1 y son con los que debemos familiarizarnos más, pues son los plásticos más conocidos en México [8].

Tabla 1. Acrónimos y nombres de los principales plásticos [8].

Acrónimo	Nombre
ABS	Acrilonitrilo Butadieno Estireno
ASA	Estireno Acrilonitrilo Acrilato
EP	Resina Epóxica
EPS	Poliestireno Expansible
EVA	Etil Vinil Acetato
EVOH	Alcohol Polivinílico
HDPE / PEAD	Polietileno de Alta Densidad.
LDPE / PEBD	Polietileno de Baja Densidad
PA	Poliamida
PB	Polibutileno
PBT	Polibutirlén Tereftalato
PC	Policarbonato
PET	Polietilén Tereftalato
PF	Fenol Formaldehído
PMMA	Polimetil Metacrilato.
POM	Polióxido de Metileno
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PTFE	Politetrafluoroetileno
PUR	Poliuretano
PVC	Policloruro de Vinilo
SAN	Estireno Acrilonitrilo
SB	Copolímero Estireno-Butadieno
SI	Silicón
UHMWPE	Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular
UP	Resina Poliéster Insaturada

Polipropileno

El monómero $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$, se obtiene por craqueo del gas natural o aceites ligeros. Si la polimerización se realiza sin catalizador se obtiene un polímero atáctico, que no cristaliza y presenta una baja resistencia mecánica. En presencia de catalizadores Ziegler-Natta (contienen un compuesto organometálico con propiedades catalíticas que permiten la polimerización estereoespecífica de alquenos) se obtiene un polímero altamente isotáctico, cristalino, de elevada rigidez, dureza y temperatura de reblandecimiento mayor que el polietileno [9].

Polimerización

Al medio de reacción, nafta, se añade el catalizador y el monómero a presión. La temperatura de reacción es de 60°C y el tiempo de reacción 8 horas. El grado de conversión es de alrededor del 85%. El polímero cristalino precipita.

Tras la reacción se obtiene una mezcla de Polímero isotáctico, algo de polímero atáctico, nafta, monómero no reaccionado y catalizador.

Después de la separación, se consigue el polímero isotáctico, que es el de interés comercial [10].

Propiedades

El isotáctico cristaliza en forma helicoidal, con tres grupos $-\text{CH}_3$ por paso. Los polímeros comerciales son 90 – 95 por 100 isotácticos. (El índice de isotacticidad se mide por el porcentaje de polímero insoluble en n-heptano). Es lineal de alto peso molecular. Sin insaturación. La temperatura de reblandecimiento es mayor a la del polietileno. Resiste al agua hirviendo [11]. Su elevado punto de fusión de 175°C proporciona una mejor resistencia térmica, que permite su uso en productos que requieren esterilización o pasteurización por calor.

Presenta una densidad en el rango de 0.89 a 0.906 g/cc, en contraste al polietileno, no existe variación significativa en la tendencia a la cristalización entre los distintos grados.

En general, el polipropileno presenta excelente resistencia química, puede ser ligeramente atacado por algunos hidrocarburos no polares, también es sensible a la degradación por calor o radiación UV [12].

Presenta una moderada rigidez y tenacidad por lo que clasifica como plástico semirrígido. Su resistencia a la abrasión es particularmente buena en comparación con el polietileno. El Polipropileno en general se puede procesar por los siguientes métodos: Inyección, Extrusión, Soplado, Termoformado, y Rotomoldeo [13]. En la tabla 2 se muestran las propiedades físico-mecánicas del polipropileno.

Tabla 2. Propiedades del Polipropileno PP [14].

Propiedades Físico – Mecánicas	
Alargamiento a la Rotura (%)	150-300
Coefficiente de Fricción	0,1-0,3
Módulo de Tensión (GN/m ²)	0,9-1,5
Resistencia a la Tensión (MN/m ²)	25-40
Resistencia al Impacto Izod (J/ m)	20-100
Absorción de Agua - en 24 horas (%)	0,03
Densidad (g /cm ³)	0,9
Resistencia a la Radiación	Aceptable
Resistencia a luz Ultra-violeta	Mala (Presenta degradación)

Acrilonitrilo Butadieno Estireno ABS

El ABS se originó por la necesidad de mejorar algunas propiedades del poliestireno de alto impacto. Su fórmula química es: $(C_8H_8 \cdot C_4H_6 \cdot C_3H_3N)_n$. Para obtenerlo, originalmente se mezclaban emulsiones de dos polímeros, SAN y polibutadieno. La mezcla era coagulada para obtener el ABS.

El ABS es un termoplástico duro, resistente al calor y a los impactos [15]. Como lo indica su nombre, el ABS es el resultado de la combinación de tres monómeros, es originado de un plástico que se presenta una gran variedad de grados dependiendo de las porciones utilizadas de cada uno.

De manera general, se puede considerar que cada monómero participa en el polímero impartiendo las propiedades mostradas en la tabla 3 [8].

Tabla 3. Propiedades de los monómeros presentes en ABS [15].

Monómero	Propiedades que aporta
Acrilonitrilo (C_3H_3N)	Resistencia química y térmica. Resistencia a la fatiga Dureza y rigidez Resistencia a la fusión
Butadieno (C_4H_6)	Ductilidad a baja temperatura Resistencia al impacto Resistencia a la fusión
Estireno (C_8H_8)	Facilidad de procesado (fluidez) Brillo Dureza y rigidez

Las proporciones pueden variar de 15% a 35% de acrilonitrilo, de 5% a 30% de butadieno y 40% a 60% de estireno. El resultado es una larga cadena de polibutadieno entrecruzada con cadenas más cortas de poli (estireno -co-

acrilonitrilo). Los grupos nitrilo de las cadenas vecinas, siendo polares, se atraen entre sí y se unen las cadenas juntas, haciendo al ABS más fuerte que el poliestireno puro. El estireno da al plástico una superficie brillante, impermeable. El polibutadieno, una sustancia gomosa, proporciona resistencia incluso a bajas temperaturas. Para la mayoría de aplicaciones, ABS se puede utilizar entre -20 y 80 ° C (-4 y 176 ° F) como sus propiedades mecánicas varían con la temperatura [16].

Propiedades físico – mecánicas

En la tabla 4 se muestran las propiedades físico mecánicas del ABS:

Tabla 4. Propiedades del Poliacrilonitrilo Butadieno Estireno ABS [17].

Propiedades Físico – Mecánicas	
Alargamiento a la Rotura (%)	45
Coeficiente de Fricción	0,5
Módulo de Tensión (GN/m ²)	2,1-2,4
Resistencia a la Tensión (MN/m ²)	41-45
Resistencia al Impacto Izod (J /m)	200-400
Absorción de Agua - en 24 horas (%)	0.3-0.7
Densidad (g /cm ³)	1,05
Resistencia a la Radiación	Aceptable
Resistencia a luz Ultra-violeta	Mala (Presenta degradación)

Fuerzas que pueden actuar en los polímeros

- a) Los propios enlaces covalentes.

- b) Las cargas eléctricas que pueden existir en la cadena.
- c) Los momentos dipolares.
- d) Las fuerzas de dispersión o de Van der Waals, a causa de los dipolos fluctuantes.
- e) Los enlaces de hidrógeno.

Un **plástico** es un material que contiene como componente fundamental un polímero y que en algunas de sus fases de transformación tiene unas características de fluido, que permiten su conformado. Pueden llevar plastificantes, estabilizadores, pigmentos, etc. [3].

Aspectos generales sobre adhesión

La adherencia se basa en dos tipos de fuerzas-enlaces las de Van Der Waals y uniones químicas.

Las fuerzas de Van Der Waals son la base de la adherencia. Estas fuerzas de atracción actúan entre el adhesivo y el sustrato.

Los enlaces químicos producen el tipo de adherencia más resistente. Estas fuerzas se desarrollan cuando el sustrato tiene grupos químicos que reaccionan con el adhesivo.

El trabado mecánico tiene un papel en la adherencia; sin embargo, no suele ser el mecanismo primario.

Algunos grupos químicos destacan por su capacidad para formar enlaces de Van Der Waals. Estos grupos pueden mejorar la adherencia cuando están presentes en el adhesivo o en el sustrato. En la tabla 5 se incluyen estos grupos en orden descendente aproximado de propiedades de adherencia.

Los polímeros que tienen propiedades bajas de adherencia pueden mejorarse con la adición de un pequeño porcentaje de un ácido orgánico o de acrilonitrilo [18].

Tabla 5 Grupos con atracciones de Van Der Waals [18].

Grupo orgánico	Estructura	Adherencia.
Ácido orgánico	$\begin{array}{c} O \\ \\ -C - OH \end{array}$	Alta
Nitrito	$-C = N$	
Amida	$\begin{array}{cc} H & O \\ & \\ -N & - C - \end{array}$	
Oxhidrilo	$-OH$	Intermedia
Ester	$\begin{array}{c} O \\ \\ -O - C - \end{array}$	
Acetato	$\begin{array}{c} O \\ \\ -O - C - CH_3 \end{array}$	
Cloruro	$\begin{array}{c} \\ CL - C - H \\ \end{array}$	
Éter	$\begin{array}{c} \\ -C - O - \\ \end{array}$	Baja
Etileno	$\begin{array}{cc} & \\ -C & - C - \\ & \end{array}$	

Adhesivos

Un adhesivo es una sustancia capaz de sujetar o unir materiales por medio de una fijación superficial. El término "adherencia" es generalmente usado para referirse a la acción de que un cuerpo se una a otro, por medio de un adhesivo.

Existe una amplia variedad de adhesivos para pegar o unir materiales iguales o diferentes; en general podemos decir que los materiales producen adherencia por medio de uno o más de los siguientes procesos:

- Curado de una resina adhesiva sobre un sólido.

b) Evaporación de un disolvente de la solución de un polímero termoplástico.

c) Evaporación de agua de un látex polimérico.

d) Enfriamiento de un polímero (como en los adhesivos de fusión y de soldadura plástica) [18].

Grupos de Adhesivos

Adhesivos de Curado:

a) Epoxi

Las resinas epoxi son, probablemente, el grupo de adhesivos más versátiles. Se pueden formular sistemas de alta temperatura usando polímeros cicloalifáticos. Los adhesivos semiflexibles más resistentes se basan en resinas epoxi con agentes de curado de poliamida o poliamina. La mayoría de los sistemas epoxi tienen buena adherencia sin necesidad de aditivos. Los tiempos de curado pueden ajustarse desde segundos hasta días, dependiendo de los catalizadores y de la temperatura.

b) Fenólicos Epoxi

Los fenólicos epoxi permiten lograr estabilidades a temperaturas hasta de 315 °C.

c) Poliésteres

La mejor manera de describir a los poliésteres, es mencionando que son de bajo costo y de curado rápido. Por lo general, son frágiles; sin embargo, existen formulaciones flexibilizadas con una buena resistencia al impacto. Los adhesivos de poliéster pueden curarse con calor o a temperatura ambiente.

d) Silicones

Estos adhesivos son flexibles en un amplio intervalo de temperaturas. Tienen una excelente adherencia sobre muchos materiales. Existen materiales de uno y dos componentes con resistencias muy útiles a 260° C.

e) Poliamidas

Las poliamidas permiten obtener buenas resistencias con temperaturas superiores a 105° C. Se requiere un curado a temperaturas elevadas o un secado, para que sean efectivas [18].

f) Poliuretanos

Los poliuretanos producen adhesivos muy resistentes para aplicaciones criogénicas o temperaturas moderadas. Las temperaturas de servicio varían desde -268° C a 121°C.

Los poliuretanos son útiles para pegar plásticos de adherencia difícil como el nylon, los poliésteres, el mylar y los propios poliuretanos. La humedad del sustrato o del aire puede reaccionar con el isocianato, causando un espumado no deseable.

g) Cianoacrilatos.

Los acrílicos modificados conocidos como cianoacrilatos, sólo pueden curarse en ausencia de aire. Utilizan la humedad del sustrato como catalizador para formar un adhesivo muy duro. El tiempo de curado suele ser de menos de un minuto. Los cianoacrilatos se usan aplicando una gota del adhesivo a una de las superficies, para después mantener unidas ambas superficies durante un minuto.

Los primeros cianoacrilatos sólo curaban en secciones delgadas sobre superficies muy tersas. Los productos recientes pueden curar sobre superficies porosas y en capas gruesas. La temperatura típica de uso es de aproximadamente 121° C. Existen materiales para temperaturas altas que pueden usarse a 246° C.

h) Acrílicos

Existen diferentes tipos de acrílicos de curado. Uno de estos consiste en un polímero curado disuelto en el monómero. La adición de un peróxido hará que el monómero y el polímero completen la polimerización. Se ha desarrollado una modificación de este proceso que permite tiempos de curado muy rápido. Se usan tres componentes: una resina acrílica, un agente de curado de tipo peróxido y un activador (catalizador). El peróxido se mezcla con el acrílico y no reacciona a mayor velocidad cuando se agrega el activador [18].

Adhesivo de fusión en caliente

Un adhesivo de fusión en caliente puede ser cualquier polímero que funda a la temperatura apropiada y que tenga fuerzas de atracción considerable. Para este tipo de adhesivo se pueden usar diversos poliésteres termoplásticos, poliamidas, polietilenos, etc.

El método usual de aplicación consiste en fundir el adhesivo y colocarlo sobre una de las superficies. La junta se cierra y se mantiene así durante un tiempo para que se enfríe. La resistencia máxima se logra en aproximadamente un día.

Los adhesivos de fusión también pueden obtenerse como película. En esta forma, la junta se cierra presionando la película. Al calentar, la película se funde y fluye. Algunas prendas de vestir se pegan hoy en día de esta manera, en lugar de coserlas.

Soldadura

La soldadura de plásticos implica el reblandecimiento y la fusión de termoplásticos. El calor puede ser aplicado por medio de un gas caliente, una herramienta calentada, calor inductivo, soldadura por fricción y adherencia ultrasónica. Muchos plásticos pueden pegarse con rapidez usando estas técnicas de fusión, obteniéndose adherencia de alta resistencia [18].

Procesos de soldadura para la unión de plásticos

En general, las distintas formas de unir piezas plásticas por soldadura se pueden agrupar en cuatro grandes bloques:

1. Mediante aportación de calor, una técnica que se destina a termoplásticos que, ante al aumento de temperatura, se funden, pudiéndose unir por compresión las superficies fundidas.
2. Por emisión de ultrasonidos, un método que consiste en emitir ondas de ultrasonidos en las superficies a unir, generando un efecto de vibración entre las moléculas del material, que provoca un aumento de temperatura y lo reblandece.
3. Por emisión de haz láser, un sistema que se reserva para unir piezas pequeñas en áreas determinadas, emitiendo un haz láser que calienta la superficie a soldar.
4. Por vibración, un proceso altamente fiable que permite manejar grandes piezas de materiales exigentes o múltiples piezas por ciclo con facilidad [19].

Soldadura por placa caliente

La soldadura por placa caliente, también denominada soldadura por herramienta calefactada o transferencia térmica, es probablemente la técnica de unión de plásticos más simple y a la vez más versátil. Su aplicación varía desde pequeños componentes a grandes tuberías. Se puede adaptar a una amplia gama de tamaños y configuraciones de piezas y es un tipo de soldadura que ofrece un sellado hermético de alta fiabilidad y una fuerte adherencia en piezas de geometría complicada.

Los principales parámetros de la soldadura por placa caliente son la temperatura de la placa, el tiempo de calentamiento, la presión de soldado y el tiempo de soldado. La soldadura por placa caliente es un proceso relativamente lento con tiempos de soldado que varían desde 10 segundos para pequeños componentes hasta 60 minutos para piezas con una gran área de unión. La mayor parte de materiales termoplásticos puede pegarse con soldadura de placa caliente y se siguen los procedimientos adecuados se pueden obtener soldaduras con una resistencia a la tensión igual a la del material original [19].

Soldadura por ultrasonidos

Para unir piezas complejas de termoplásticos moldeados por inyección, la soldadura por ultrasonidos es la más indicada ya que puede ser personalizada fácilmente para adaptarse a las especificaciones exactas de las piezas a soldar. La soldadura por ultrasonidos de termoplásticos produce la fusión local del plástico a causa de la absorción de la energía vibratoria y se puede emplear para plásticos duros, blandos y semicristalinos. Este proceso es una buena alternativa automatizada a la cola, tornillos o diseños de encaje a presión.

Las principales ventajas del soldado por ultrasonidos son un tiempo de secado muy rápido, la no necesidad que las piezas permanezcan en una guía durante largos períodos de tiempo esperando que las justas sequen o se curen y la posibilidad de automatizar fácilmente la soldadura, realizando uniones limpias y precisas [19].

Soldadura por láser

La soldadura por láser no requiere contacto mecánico entre la herramienta y los componentes a soldar, de esa manera desaparecen las marcas en las superficies o las vibraciones que pueden dañar los materiales. El resultado es una soldadura precisa, sin aplicar ningún tipo de tensión o calor sobre las superficies soldadas. Este sistema ofrece un acabado visual muy agradable en componentes

con geometrías complejas, sean grandes o pequeños, de modo que la trayectoria de soldado puede ser programada en tres dimensiones.

Sus principales ventajas frente a otras técnicas son un soldado profundo y ancho, un bajo aporte de calor, una mínima distorsión, una alta razón de acabado de uniones, máxima flexibilidad en el diseño de juntas, un uso mínimo de consumibles, una gran facilidad de automatización y una soldadura estéticamente agradable [19].

Soldadura por vibración

Los equipos de soldadura por vibración han sido concebidos para ser resistentes y fiables, proporcionando años de funcionamiento sin problemas y una máxima facilidad de servicio a largo plazo. Entre las ventajas de este tipo de soldadura destacan el excelente control del proceso que ofrece con un diseño apropiado, su capacidad para soldar grandes piezas, su fuerte soldadura molecular, su capacidad para soldar juntas herméticas y las grandes posibilidades que ofrece para unir una gran variedad de materiales, tanto vírgenes como rellenos [19].

Los métodos de soldadura anteriormente mencionados carecen de una evaluación con respecto a su calidad en el proceso de fabricación, es decir, no tienen un estándar de resistencia al desprendimiento y mucho menos una metodología específica para lograr una evaluación de la unión entre plásticos. Por lo tanto, el presente trabajo tiene como finalidad establecer una metodología que sea adaptable a las soldaduras plásticas más comunes presentes en zonas decorativas de un revestimiento de automóvil. Aunado a esto, diseñar el dispositivo y herramientas necesarias para realizar dicha metodología.

Capítulo 2. Marco Teórico

En éste capítulo se abordan temas que explican la importancia de las propiedades mecánicas en los materiales, así como los métodos usados para caracterizar y medir dichas propiedades con ensayos de resistencias mecánicas. Dichos ensayos son clasificados según su naturaleza y la utilidad de la pieza. Éste estudio se enfoca en el ensayo de tensión describiendo las propiedades elásticas, el módulo de resiliencia, ductilidad, interpretación de la gráfica resultante del ensayo y el esquema de los componentes generales de una máquina universal de tensión/compresión. Además se formula una metodología para normalizar y caracterizar el valor de resistencia a la tensión de uniones plásticas soldadas por ultrasonido con base a normas establecidas por asociaciones e instituciones a nivel internacional.

Resistencias mecánicas

Las diversas estructuras y máquinas, de cuyo diseño y construcción se ocupa el ingeniero en su actividad práctica, deben tener, entre otras la propiedad de resistencia mecánica, es decir, deben oponerse a la rotura al ser sometidas a la acción de fuerzas exteriores (cargas).

Con éste propósito, los elementos (piezas) de las estructuras y maquinarias deberán ser fabricados del material correspondiente y tener las debidas dimensiones. Por lo tanto, la resistencia de materiales consiste en la exposición de los métodos de cálculo de la resistencia de las construcciones [20].

Propiedades Mecánicas

El comportamiento de las propiedades mecánicas de un material nos proporciona un criterio para determinar la capacidad de soportar esfuerzos y deformaciones sin que quede inutilizado [21].

El comportamiento mecánico de un material depende de su naturaleza, estructura, composición, modo de transformación, forma de la probeta, condiciones operatorias del ensayo, etc. [22].

Ensayos con materiales

Los materiales de interés se someten a una variedad de ensayos para conocer sus propiedades. Se simulan las condiciones de trabajo real y se estudia su aplicación.

Según la rigurosidad del ensayo, pueden ser:

- a) Ensayos científicos: De gran precisión, fidelidad y sensibilidad. Tratan de extraer valores de ciertas magnitudes físicas (densidad)
- b) Ensayos tecnológicos: Se utilizan para comprobar si las propiedades de un determinado material son adecuadas para una cierta utilidad. Son rápidos y simples.

Según la naturaleza del ensayo:

- a) Ensayos químicos: Para conocer la composición química (cualitativa y cuantitativa) así como su comportamiento ante agentes químicos.
- b) Ensayos físicos: Se trata de determinar propiedades físicas (densidad, conductividad eléctrica)
- c) Ensayos metalográficos: Consiste en analizar la estructura interna del material al microscopio.
- d) Ensayos mecánicos: Determina la resistencia y elasticidad material cuando se somete a diferentes esfuerzos (tracción, compresión, flexión)

Según la utilidad de la pieza

- a) Ensayos destructivos: Los materiales sometidos a ensayo sufren rotura o daño en su estructura, por ejemplo, ensayos de tensión, impacto, cargas minerales, flamabilidad.

b) Ensayos no destructivos: No se daña la estructura ni sufre deformación, aunque se analizan los defectos que puedan ocasionarse, por ejemplo, densidad aparente, colorimetría, grabado, inspección visual, emisiones. [23].

Deformación elástica y plástica

Un material sometido a una tensión (fuerza) produce una deformación del mismo. Si al cesar la fuerza el material vuelve a sus dimensiones primitivas, diremos que ha experimentado una deformación elástica. Si la deformación es tal que no recupera por completo sus medidas originales es una deformación plástica [24].

Deformación Plástica.

Desde un punto de vista atómico, la deformación plástica corresponde a la rotura de los enlaces entre los átomos vecinos más próximos y a la reformación de éstos con nuevos vecinos, ya que un gran número de átomos o moléculas se mueven uno respecto a otros; al eliminar la tensión no vuelven a sus posiciones originales. El mecanismo de ésta deformación es diferente para materiales cristalinos y amorfos. En los materiales cristalinos, la deformación tiene lugar mediante un proceso denominado deslizamiento, en el cual está involucrado el movimiento de dislocaciones. La deformación plástica en los sólidos no cristalinos ocurre por un mecanismo de flujo viscoso [25].

Ensayo de Tensión

El ensayo de tensión consiste en estirar de forma controlada una pequeña probeta del material con forma de barra esbelta, generalmente hasta su rotura. Se trata de un ensayo muy común, probablemente el más común de los que cabe realizar a un material polimérico. (Fig. 1)

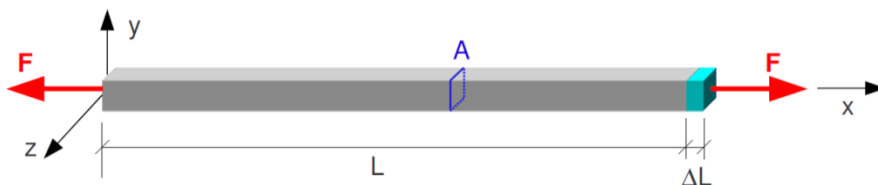


Fig. 1 Ensayo de tensión sobre una barra rectangular [26].

El resultado del ensayo es una gráfica en la que se representa en abscisas el incremento de longitud de la probeta en cada instante, dividido entre su longitud inicial, y en ordenadas la fuerza aplicada en cada instante, dividida entre el área de la sección de la probeta (Fig. 2) [26].

Solamente existe componente de tensión σ_{xx} en la barra, la cual tiene un valor constante en todos los puntos. Un sencillo razonamiento de equilibrio conduce a que su valor debe ser $\sigma_{xx}=F/A$, que se representa en la gráfica del ensayo. Al llegar a la tensión del límite elástico, ocurre un fenómeno particular llamado “fluencia” del material. Como se aprecia, se trata de un aumento de la deformación a un valor de la tensión sensiblemente constante, que es el propio valor σ_e . El ensayo se suele realizar de forma que se impone a la probeta el incremento de longitud deseado en cada instante, gracias a lo cual es posible detener el ensayo en un punto como el B, si se desea. En ese caso, se desciende al nivel de tensión cero por una recta que es paralela a la de subida inicial, y la probeta descargada termina con la deformación correspondiente al punto B' indicado en la figura 2. Se llaman deformaciones plásticas a estas deformaciones que no se recuperan tras la descarga [26].

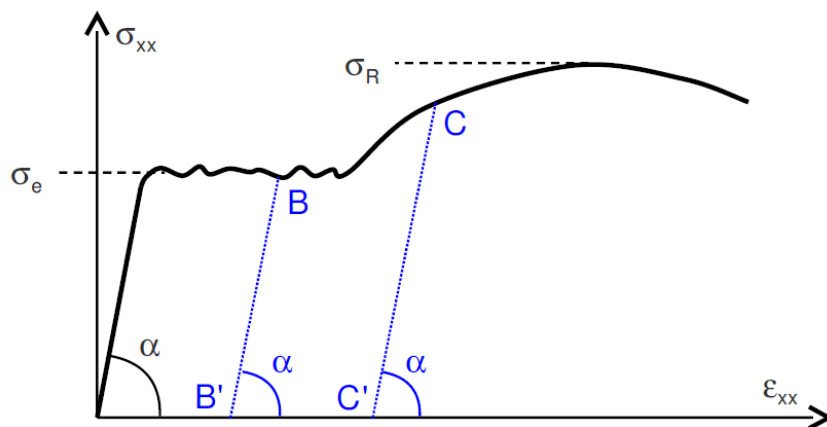


Fig. 2 Gráfica resultante de un ensayo de tensión [26].

Si en lugar de interrumpir el ensayo en B, continuamos, no tarda en llegar un valor de la deformación para el que vuelve a ser preciso aumentar la tensión para obtener más deformación. Se llama etapa de fortalecimiento a esta fase del comportamiento del material. El punto marcado “C” se encuentra en esta zona. Nuevamente, si decidimos interrumpir el ensayo en este punto, descendemos al nivel de tensión cero por una recta de la misma pendiente que la recta inicial, y la probeta descargada termina con la deformación plástica correspondiente al punto C' [26].

Finalmente, si no se interrumpe el ensayo, se llega a una tensión σ_R , que se denomina “tensión de rotura”. La misma corresponde al máximo indicado de la gráfica del ensayo. En la zona final descendente de la gráfica ocurren fenómenos de gran estrechamiento local de la sección de la probeta, que hacen que el parámetro F/A que se representa (siendo “A” el área inicial de la probeta), no es ya, ni siquiera aproximadamente, el valor real de la tensión σ_{xx} en la zona del estrechamiento. En todo caso, en condiciones normales de trabajo, un material resistente soporta unas cargas dadas (no unos desplazamientos dados, como ocurre en el ensayo). En estas circunstancias, una zona descendente de la gráfica se recorre de manera incontrolada hasta la rotura efectiva de la probeta, por lo que el máximo antes citado es el que se toma como valor de la tensión de rotura [26].

Esfuerzo y deformación ingenieriles

Para un material dado, los resultados de un solo ensayo son aplicables a todo tamaño y formas de muestras, si se convierte la fuerza en esfuerzo y la distancia entre marcas calibradas en deformación. El **esfuerzo** y la **deformación ingenieriles** se definen mediante las ecuaciones siguientes:

$$\text{Esfuerzo ingenieril} = \sigma = \frac{F}{A_0} \quad [27]$$

$$\text{Deformación ingenieril} = \varepsilon = \frac{l-l_0}{l_0} \quad [27]$$

Donde A_0 es el área original de la sección transversal de la probeta antes de iniciarse el ensayo, l_0 es la distancia original entre las marcas calibradas y l es la distancia entre las mismas, después de haberse aplicado la fuerza F [27].

Dispositivo de ensayo de tensión

El ensayo de tensión mide la resistencia de un material a una fuerza estática o gradualmente aplicada. Un dispositivo de ensayo aparece en la figura 3; una probeta típica tiene un diámetro de 0.505 pulgadas y una longitud calibrada de 2 pulgadas. La probeta se coloca en la máquina de pruebas y se le aplica una fuerza F , que se conoce como **carga**. Para medir el alargamiento del material causado por la aplicación de la fuerza en la longitud calibrada se utiliza un extensómetro [27].

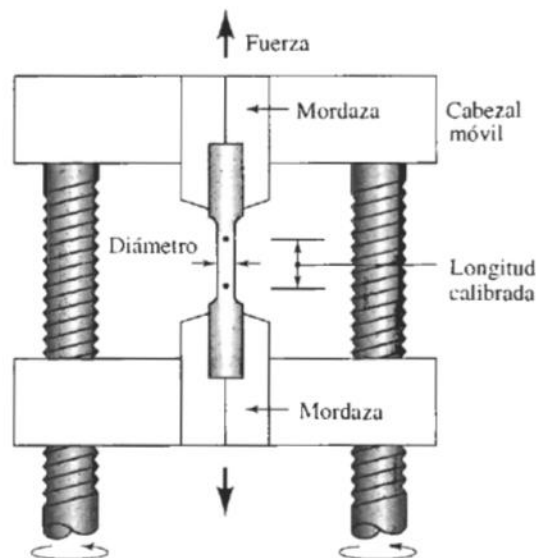


Fig. 3 Mediante una cabeza móvil, en la prueba de tensión se aplica una fuerza unidireccional a una probeta [27].

Resistencia a la tensión.

El esfuerzo obtenido de la fuerza aplicada es la **resistencia a la tensión**, que es el esfuerzo máximo sobre la curva esfuerzo-deformación ingenieril. En muchos materiales dúctiles, la deformación no se mantiene uniforme. En cierto momento, una región se deforma más que otras y ocurre una reducción local de importancia en la sección recta (Fig. 4). Esta región localmente deformada se conoce como zona de estricción, también conocida como límite elástico o encuellamiento. Dado que el área de la sección transversal en este punto se hace más pequeña, se requiere una fuerza menor para continuar su deformación, y se reduce el esfuerzo ingenieril, calculado a partir del área original A_0 . La resistencia a la tensión es el esfuerzo al cual se inicia este encuellamiento o estricción en materiales dúctiles [27].

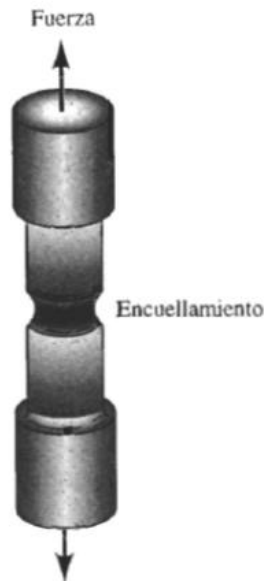


Fig. 4 Deformación localizada durante el ensayo de tensión de un material dúctil produciendo una región de encuellamiento [27].

Propiedades Elásticas.

El **módulo de elasticidad** o *módulo de Young*, E , es la pendiente de la curva esfuerzo deformación en su región elástica. Esta relación es la **ley de Hooke**:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad [27]$$

Este módulo está íntimamente relacionado con la energía de enlace de los átomos (Fig. 5). Una pendiente muy acentuada o abrupta en la gráfica fuerza-distancia en la zona de equilibrio indica que se requieren de grandes fuerzas para separar los átomos y hacer que el material se deforme elásticamente. Por tanto, el material tiene un módulo de elasticidad alto. Las fuerzas de enlace y el módulo de elasticidad, por lo general son mayores en materiales de punto de fusión alto.

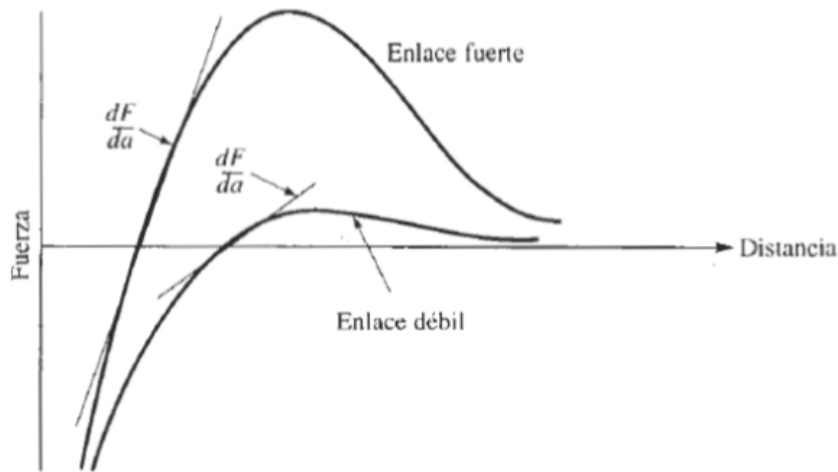


Fig. 5 Curva fuerza-distancia correspondiente a dos materiales, mostrando la relación entre el enlace atómico y el módulo de elasticidad. Una pendiente dF/da abrupta corresponde a un módulo alto [27].

El módulo es una medida de la **rigidez** del material. Un material rígido con un alto módulo de elasticidad, conserva su tamaño y su forma incluso al ser sometido a una carga en la región elástica.

El **módulo de resiliencia** (E_r), que es el área que aparece bajo la porción elástica de la curva esfuerzo-deformación, es la energía que un material absorbe o libera durante la aplicación y liberación de la carga aplicada respectivamente. En el caso de un comportamiento lineal:

$$E_r = \left(\frac{1}{2}\right)(\text{esfuerzo de cedencia})(\text{deformación a la cedencia}) \quad [27]$$

La relación Poisson, μ relaciona la deformación elástica longitudinal producida por un esfuerzo simple a tensión o compresión, con la deformación lateral que ocurre simultáneamente:

$$\mu = \frac{-\varepsilon_{lateral}}{\varepsilon_{longitudinal}} \quad [27]$$

Ductilidad.

La ductilidad mide el grado de deformación que puede soportar un material sin romperse. Se puede medir la distancia entre las marcas calibradas en una probeta antes y después del ensayo. El % de elongación representa la distancia que la probeta se alarga plásticamente antes de la fractura:

$$\% \text{ de elongación} = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100, \quad [27]$$

Donde l_f es la distancia entre las marcas calibradas después de la ruptura del material [27].

Un segundo método para medir la ductilidad es calcular el cambio porcentual en el área de la sección transversal en el punto de fractura antes y después del ensayo. El % de reducción en área expresa el adelgazamiento sufrido por el material durante la prueba:

$$\% \text{ de reducción en área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} \times 100 \quad [27]$$

Donde A_f es el área de la sección transversal en la superficie de la fractura.

La ductilidad es importante tanto para los diseñadores como para los fabricantes. El diseñador de un componente preferiría un material que tenga por lo menos cierta ductilidad, de manera que si el esfuerzo aplicado resulta demasiado alto, el componente se deforme antes de romperse. Los fabricantes también prefieren un material dúctil, a fin de manufacturar formas complicadas sin que se rompa durante el proceso [27].

Ensayos de corta duración

Ensayo de tensión rápida

Se obtienen curvas de tensión-alargamiento del tipo siguiente (Fig. 6):

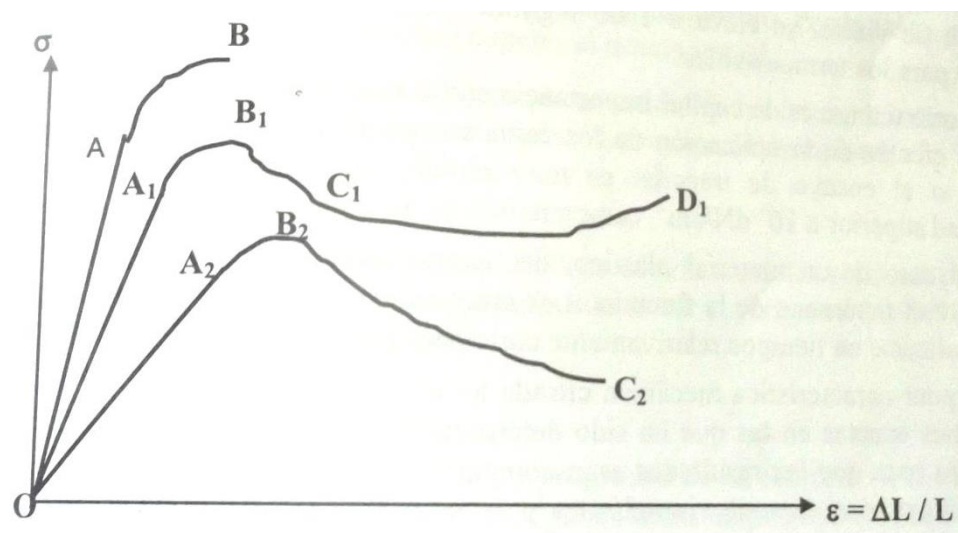


Fig. 6 Curva tensión alargamiento en plásticos [28].

- | | |
|---|--|
| O A, OA ₁ , OA ₂ | Deformaciones elásticas (ángulos de enlace y oscilación de los enlaces). |
| AB, A ₁ B ₁ , A ₂ B ₂ | Deformaciones viscoelásticas (desovillamiento). |
| C ₁ D ₁ | Refuerzo por orientación molecular. |
| B ₂ C ₂ | Deformación Permanente. |

La línea OAB muestra el comportamiento de un material de bajo alargamiento en la rotura. Para una velocidad de ensayo suficientemente grande desaparece la zona AB y el material presenta una rotura frágil.

En la zona plástica $B_1C_1D_1$ aparecen esfuerzos superiores al del punto de fluencia B_1 dando lugar a un fenómeno de refuerzo.

En la zona B_2C_2 , de deformación permanente, el material fluye como un líquido muy viscoso; también se denomina zona de deformación plástica.

Las pendientes de los tramos elásticos (OA , OA_1 , OA_2) miden los correspondientes módulos de elasticidad o de tensión. [27].

Los módulos de elasticidad de los termoplásticos varían entre 392.266 y 3432.3275 N/mm²; en los termoestables, entre 6864.655 y 11767.98 N/mm². Cuando se trata de plásticos reforzados con fibra de vidrio, se eleva a 12.7486 KN/mm² para termoplásticos, y hasta 34.3232 KN/mm² para los termoestables [28].

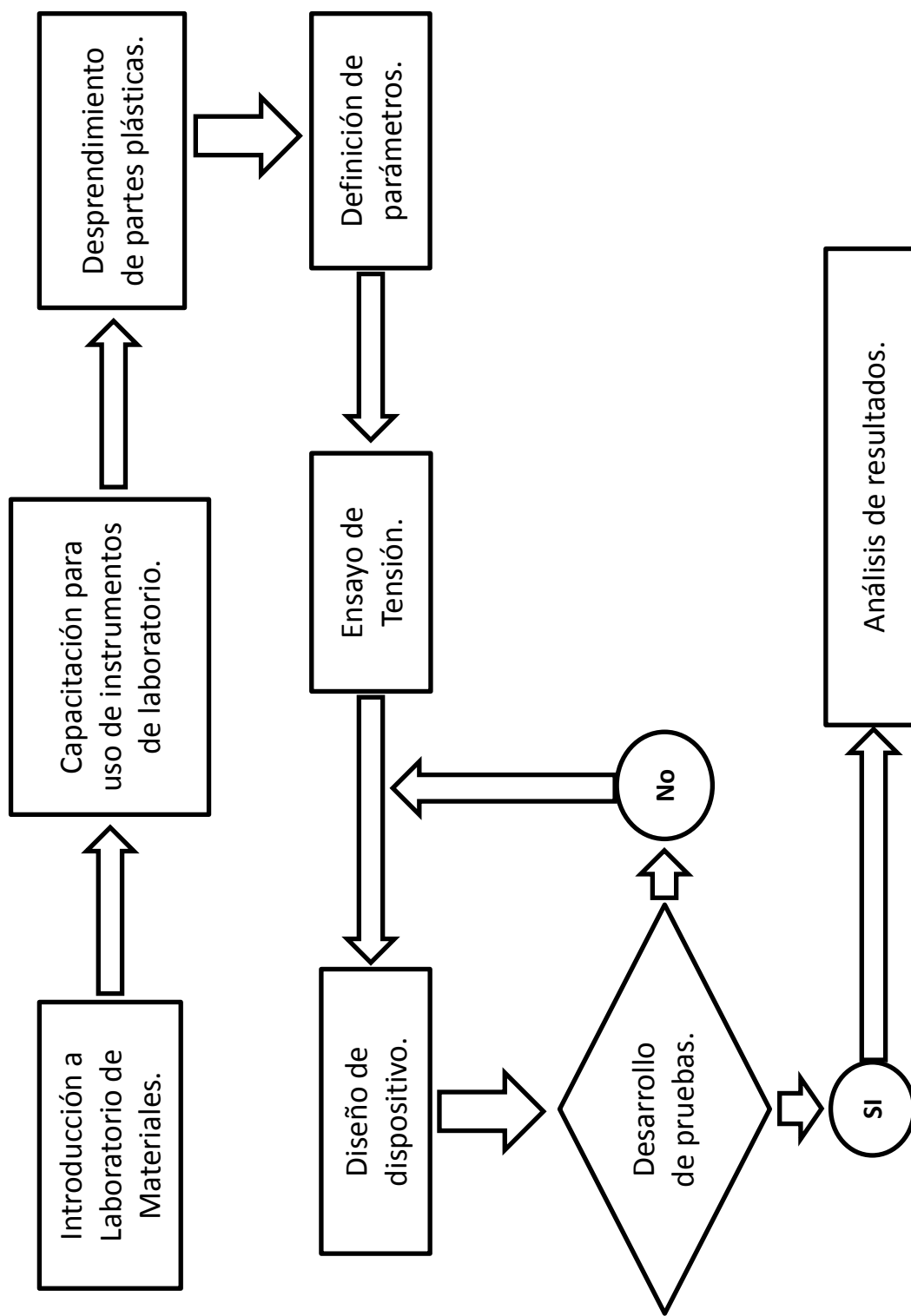
Cualquier característica mecánica cifrada no es representativa si no se conocen las condiciones exactas en las que ha sido determinada. Hay que normalizar la velocidad del ensayo para que los resultados sean comparativos. Si el ensayo es suficientemente rápido no aparecerá la zona viscoelástica y se obtendrá una rotura frágil. También hay que tener en cuenta la temperatura del ensayo, pues los plásticos son más sensibles a la temperatura que los metales o los materiales inorgánicos [29].

Propuesta de metodología

A partir de la información anterior se formuló una serie de pasos a seguir para lograr el objetivo de este trabajo, el cual consta de la introducción al laboratorio de materiales y recibir capacitación para el uso de los instrumentos que serán necesarios. Conocer los fundamentos de desprendimiento de partes

plásticas será fundamental para definir los parámetros del ensayo de tensión en probetas poliméricas para después diseñar un dispositivo que sea capaz de realizar las pruebas a las uniones plásticas soldadas. El resultado de esto será una serie de ensayos de tensión que deberán evitar la flexión de las placas soldadas y del material de dispositivo diseñado. Si éstas condiciones se cumplen se realizará el análisis de resultados para generar las conclusiones del presente trabajo; de manera contraria se volverá a rediseñar el dispositivo para que desarrolle pruebas de tensión exitosas. A continuación se muestra un diagrama de flujo con las actividades más relevantes de la metodología mencionada anteriormente.

Diagrama de la Metodología



Método y materiales

Las uniones plásticas soldadas en el revestimiento del automóvil se encuentran en las zonas cercanas a los extremos de cada pieza que lo conforman. Estas zonas presentan alta dificultad para ser sometidas a pruebas de resistencias mecánicas, esto provoca que se ignore la calidad de dichas uniones.

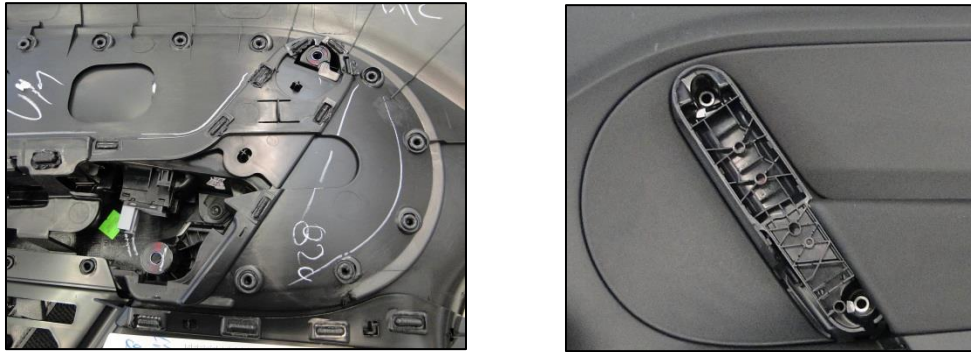


Fig. 7 Zonas de análisis de uniones plásticas soldadas.

Los puntos que se someten a análisis son aquellos que presentan desprendimiento por uso cotidiano. Estas piezas tienen como función resistir la acción de jalar y empujar para cerrar y abrir la puerta respectivamente.

Para analizar las causas del desprendimiento de los puntos de unión, se analizó la falla de la pieza ensamblada y de acuerdo al movimiento que deben resistir cotidianamente se buscó una prueba que permita evaluar la resistencia y el comportamiento de las zonas soldadas.

Un experimento diseñado es una prueba o serie de pruebas en donde se inducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sea posible observar o identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida [30].

Por lo tanto, para generar una serie de pruebas, el diseño de la metodología se basó en el ensayo de tensión que se realiza comúnmente en materiales plásticos. Al estudiar la metodología de un simple ensayo de tensión, se puede

rediseñar el método, así como la preparación de las probetas. Para esto, es necesario conocer las propiedades físicas de los materiales que serán sometidos a la nueva prueba de tensión.

Hay dos piezas soldadas que intervienen en la zona del análisis, una de ellas está hecha de Polipropileno “PP”, mientras que la otra está hecha de Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno “ABS”, (por sus siglas en inglés Acrylonitrile-Butadiene-Styrene).

Método de caracterización

Caracterización de los plásticos.

Debido a la considerable cantidad de plásticos existentes, cada uno de ellos tiene una serie de propiedades que lo hace idóneo para una aplicación específica, y cada una de éstas deberá exigir ciertas características para que el polímero sea satisfactoriamente utilizado. El ensayo de propiedades de los plásticos puede arrojar valores muy dispersos. Esto se debe, por un lado a la fabricación de las materias primas, y por otro, a las condiciones ambientales y de ensayo. Por este motivo se requieren pruebas específicas repetidas para determinar las propiedades de éstos materiales [31].

Normalización

La normalización sirve para establecer reglas y métodos que determinen valores y parámetros de propiedades, dimensiones y funcionamiento que a su vez garantizan un mejor control de la producción, que se traducen en confiabilidad como proveedores fabricando productos de calidad consistente.

En el mundo existen Instituciones o Asociaciones que regulan la forma de medir las propiedades y unificar los métodos de prueba, otorgando normas y procedimientos para cumplir la “Normalización”. Algunos de los organismos son:

ISO.- International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización)

ASTM.- American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales)

DIN.- Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemán para Normalización)

UL.- Underwriters Laboratory (Laboratorio de Seguridad)

FDA.- Food and Drug Administration (Departamento de Regulación de Alimentos Y drogas)

Cada uno de los Institutos y Asociaciones antes mencionados, poseen normas para regular las propiedades de los materiales. También se han creado normas para regular la calidad de un producto, la metodología para producirlo y las condiciones que deberán cubrir con una aplicación determinada. Dentro de estas normas se encuentran las elaboradas por:

- ASME: American Society of Mechanical Engineers
- ANSI: American National Standards Institute
- QS: Quality Standard
- NOM: Norma Oficial Mexicana.

Para facilitar la selección e identificación de un plástico se han clasificado, dependiendo de las propiedades de los mismos, las siguientes pruebas:

- Físicas
- Mecánicas
- Térmicas
- Eléctricas
- Ópticas
- Químicas

Aplicación

El procesador de plásticos necesita asegurar que tanto su materia como su proceso y producto terminado sean de la misma calidad. Por ello es importante que el procesador prevea un control en éstas áreas para cumplir con las especificaciones de exigidas.

- Una manera de implementar un sistema de calidad es tomando en cuenta:
- Ensayos de recepción de materiales.
- Ensayos en piezas terminadas.
- Ensayos en la pieza acabada completamente.

Ensayo de recepción de material

Para fabricar piezas de precisión o productos técnicos de primera calidad son imprescindibles determinados controles de recepción. Los transformadores necesitan tener la seguridad de que las materias primas compradas cumplen los datos indicados por el fabricante y coinciden con la norma. Los certificados de análisis del fabricante de materias primas pueden reducir en buena parte los costos de comprobación del transformador.

- Pruebas básicas:
- Identificación del tipo de plástico
- Densidad, vapores de descomposición, olor y solubilidad.
- Mediciones de viscosidad.
- Índice de fluidez.

Ensayo en piezas semi-terminadas

El comportamiento de las piezas acabadas depende de las condiciones con las que se fabricaron y de su diseño geométrico. Los parámetros obtenidos de probetas, a menudo sirven solo de referencia muy aproximada de lo que será el comportamiento de las piezas reales. Para evitar que las piezas acabadas fallen

en su funcionamiento práctico, se tiene que someter a ensayos próximos a la realidad antes de aprobarlas.

- Pruebas básicas:
- Ensayo de flexión.
- Ensayo de Dureza.
- Ensayo de Impacto.
- Temperatura de reblandecimiento.
- Determinación de la resistencia superficial.

Ensayo en la pieza terminada completamente

Controles visuales

Controles dimensionales

Controles de peso

Comparación de olor

Tensiones internas y orientaciones

Controles Cuarteados

Análisis Estructural

Resistencia Química

Ensayo Caída Activa o Pasiva

Ensayo de Exposición al Calor

Recocido o Estufado

Ensayos de Envejecimiento

Ventajas

Las ventajas que se pueden obtener al realizar ensayos de caracterización son las siguientes:

- Comparación y sustitución de materiales poliméricos.
- Sustitución de importaciones.
- Verificación y control de materias primas y producto terminado.

- Identificación de contaminantes en materias primas o producto terminado.
- Aprobación de materiales.
- Selección de materiales y Proveedores.
- Análisis de fallas y defectos.
- Desarrollo y/o verificación de especificaciones.
- Mejora de Productos.
- Evaluación para cumplimiento de normas oficiales y de producto.
- Determinación de propiedades específicas con diferentes finalidades.

Propiedades Mecánicas

Al comparar la estructura de un metal y de un plástico se puede observar que el metal presenta una estructura más compacta y que las fuerzas de unión son distintas a las existentes a los plásticos. La diferencia es que los plásticos presentan una estructura molecular y los metales una estructura atómica. Por ésta razón, los plásticos presentan una resistencia mecánica relativamente menor, un módulo de elasticidad menor, dependencia de las propiedades mecánicas con respecto al tiempo, dependencia a la temperatura, principalmente los termoplásticos, gran sensibilidad al impacto, aunque en este punto existen grandes diferencia desde los quebradizos como el Poliestireno, hasta un resistente como el Policarbonato.

Los termofijos, debido a sus reticulaciones, carecen de deslizamiento interior y a eso deben ser más quebradizos que los termoplásticos. Por su parte, algunos termoplásticos como el Polipropileno, el Nylon, el Polietileno y los Poliésteres lineales, pueden someterse a estirado, con lo cual las moléculas se orientan en la dirección del estirado brindando mayor resistencia al material.

La fuerza del enlace de valencias, se deja notar en ese fenómeno, lo cual se manifiesta en una extraordinaria resistencia. El comportamiento de deformación

y recuperación interna de los plásticos, le confiere una gran propiedad llamada memoria. Por otra parte, el comportamiento mecánico de los plásticos reforzados, varía en función de la cantidad, tipo y materiales que contienen [31].

Resistencia a la Tensión

Definición

Es la capacidad que presentan los plásticos a oponerse al esfuerzo. Se define como la máxima carga de tensión por unidad de área que resiste una muestra antes de deformarse.

Método

Se aplica una fuerza en un extremo de la probeta, la cual se estira hasta llegar a su ruptura. El método que se utiliza para llevar a cabo esta prueba, está regido por las normas ASTM D638, ISO 527, DIN 53 455, y se realiza a partir de las velocidades siguientes: 0.2, 0.5, 2 o 20 in/min dependiendo de esa velocidad, difieren los valores resultantes de la prueba [31].

Para la realización de pruebas de tensión, elongación, compresión, etc., se utiliza la máquina universal de pruebas y especímenes con dimensiones estandarizadas.

La máquina utilizada para éste estudio es mostrada en la figura 8:



Fig. 8 Máquina Universal de tensión/compresión.

En ésta máquina universal de pruebas de tensión-compresión se llevaron a cabo los primeros análisis para realizar la prueba de tensión correspondiente a las soldaduras plásticas.

Normalmente, las probetas para las pruebas de tensión son de tamaños estandarizados, y particularmente presentan una forma de barra rectangular con medidas marcadas según la norma con la cual se desempeñe el ensayo.



Fig. 9 Geometría de las probetas para la prueba de tensión.

Estas probetas son colocadas en las mordazas de la máquina universal (Fig. 10). Pero en nuestro caso, la geometría de las uniones plásticas soldadas no puede adoptar la forma de las probetas estandarizadas (Fig. 8).

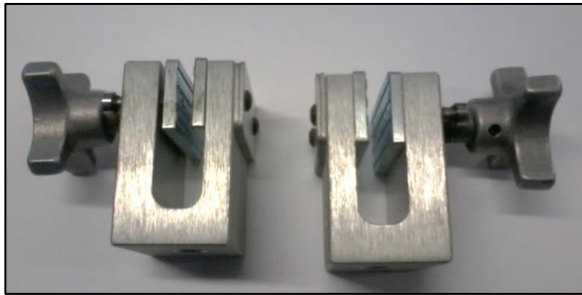


Fig. 10 Mordazas de la máquina Universal de ensayo de tensión/compresión.



Fig. 11 Piezas plásticas soldadas ubicadas de revestimiento de automóvil.

Debido a que las uniones plásticas se presentan entre placas sobrepuestas, hace totalmente difícil cualquier tipo de sujeción con las mordazas originales de la máquina. Para solucionar éste problema, se estudió la forma de desprendimiento de la soldadura plástica, con esto, se diseñó un nuevo par de mordazas que sujeta ambas placas soldadas, con mayor eficiencia.

Éste diseño debe de cumplir con ciertos requisitos que aseguren un desempeño óptimo durante el ensayo de tensión de las uniones plásticas soldadas.

Se realizó una revisión bibliográfica para obtener una orientación en la ejecución de pruebas de tensión en soldaduras plásticas que en éste caso los materiales poliméricos de interés son el ABS y PP, únicamente se encontraron referencias del comportamiento estructural del polímero frente a pruebas de tensión [32-34] respectivamente. Además, se encontraron artículos sobre el comportamiento de los termoplásticos frente a cambios de temperatura [35-37] y durante el proceso de soldado [38-41]. Ésta información sirvió como referencia para establecer la metodología de prueba

Capítulo 3. Resultados y discusión

En este capítulo se discuten los resultados obtenidos durante el trabajo, los cuales son el diseño y construcción de un nuevo dispositivo para facilitar el ensayo de tensión en piezas plásticas soldadas por ultrasonido, a partir de una norma oficial de tensión se formuló una metodología para preparar las probetas que se usaron para el ensayo de tensión, al finalizar los ensayos se analizaron los valores obtenidos para generar las gráficas que muestran el comportamiento de las soldaduras plásticas frente al ensayo de tensión.

La prueba de tensión en soldaduras plásticas se logró con éxito en la máquina universal de tensión/compresión, logrando una caracterización de las soldaduras que presentan un desprendimiento por uso cotidiano de la pieza terminada.

Para lograr que la prueba de tensión se llevara de manera exitosa, se analizó la geometría de las soldaduras seleccionadas como objeto de estudio en este trabajo, y después de una minuciosa observación se diseñaron un par de mordazas para facilitar y asegurar resultados exactos durante la prueba.

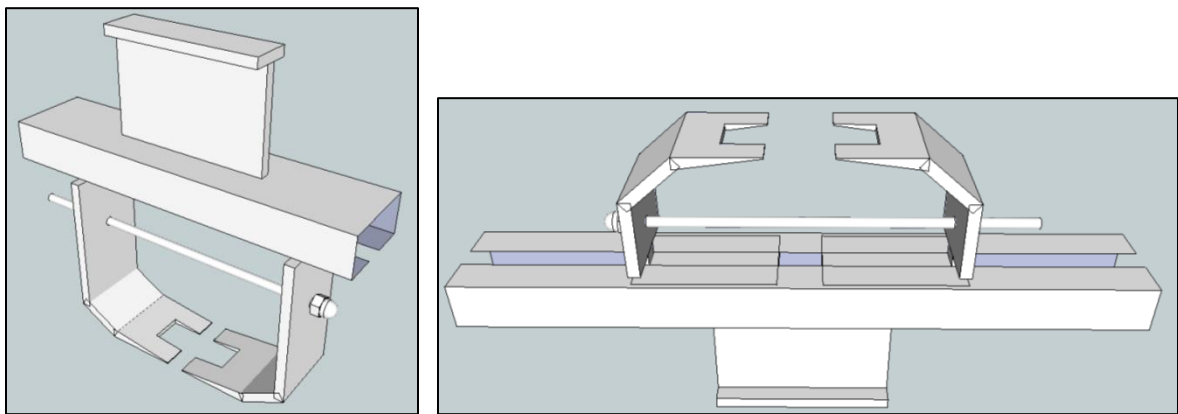


Fig. 12 Mordazas diseñadas.

Dicho diseño de las mordazas fue en base a la geometría y funcionamiento de la máquina universal de tensión/compresión; además, se tomó en cuenta las

propiedades físicas de los materiales poliméricos con los que se fabrican las piezas de estudio, en éste caso Polietileno (PP) y Acrilonitrilo –Butadieno-Estireno (ABS), con ello se determinó el material de fabricación de las mordazas.

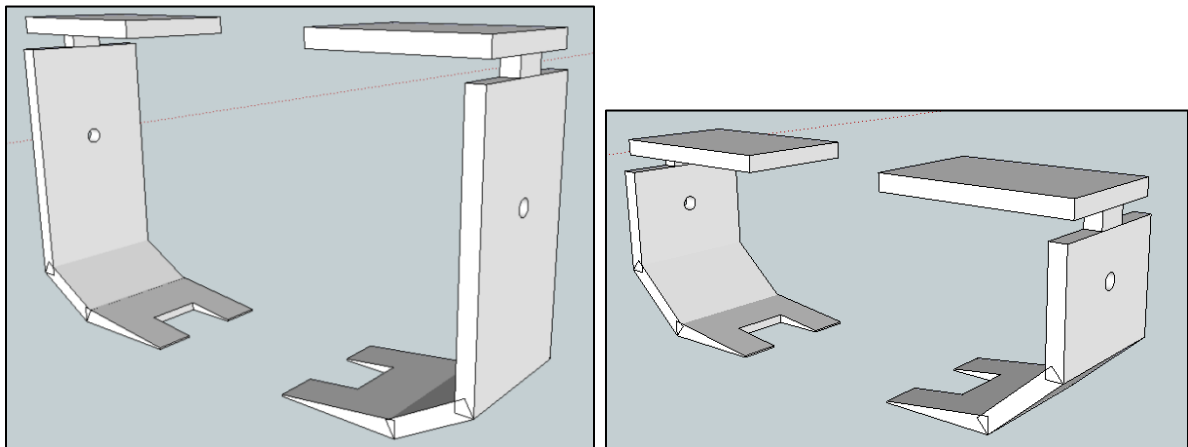


Fig. 13 Sujetadores de las mordazas diseñadas.

El material que se eligió para fabricar las mordazas es un metal comercial llamado “SOLERA” proporcionado por la empresa Ferrocortes® S.A.S. también llamado acero estructural A36. Es un producto de la más avanzada ingeniería, es fabricado con un punto mínimo de cedencia de 36,000PSI. Más resistente que la placa A-283, la placa de acero, la calidad estructural A-36 es ampliamente recomendable para diseñar y construir estructuras y equipo menos pesado.

El acero estructural A36 se produce bajo la especificación ASTM A36. Abrigando los perfiles moldeados en acero al carbono, placas y barras de calidad estructural para clavados, atornillados, o soldados de la construcción de puentes, edificios, y estructuras de diferente propósitos.

El acero estructural A36 o acero estructural con carbono, es hasta hace poco tiempo, el acero estructural básico utilizado más comúnmente en construcciones de edificios y puentes. En la tabla 6 se observan las propiedades mecánicas del material A36 [42].

Tabla 6. Propiedades mecánicas de la SOLERA (A36) [42].

Requerimientos a tensión*		
Láminas, Vigas* y barras	Ksi (Mpa)	*ver orientación del espécimen bajo la prueba a tensión según especificación A6. para la gama formas de brida sobre 426lb/ft (634kg / m), el 80 KSI (550Mpa) resistencia a la tensión máxima no se aplica una elongación mínimo en 2in (50mm) de 19% se aplica.
Esfuerzo último	50-80 (400-550)	*** Punto de fluencia 32 KSI (220 MPa) para las placas de más de 8in (200mm) de espesor. Alargamiento de que no es obligatorio determinarle para placa de piso. Las placas de más de 24 in (600 mm) el requisito de elongación se reduce dos puntos porcentuales. Ver los ajustes de elongación en la sección de ensayo de tracción de la especificación A6
Esfuerzo de fluencia	36 (250)	
Láminas y Barras,**,***		
Elongación en 8in. (200mm), min, %	20	
Elongación en 2in. (50mm), min, %	23	
Dureza	120-135 HB	HB: Dureza Brinell

Las dimensiones de las mordazas fueron diseñadas de acuerdo al tamaño y geometría que presentan las uniones plásticas de la zona de estudio. Además se estandarizó una metodología de preparación de las probetas, esto con el fin de garantizar un ensayo que presente una ruptura en la zona fundida para evitar flexión en otras zonas de las piezas soldadas.

Se diseñaron 2 mordazas, cada una tiene un propósito diferente.

Mordaza Móvil. Ésta mordaza tiene como función formar parte de la zona móvil de la máquina universal de tensión/compresión, y los sujetadores son insertados en los espacios presentados entre las placas unidas por soldadura de ultrasonido.

Debido a las dimensiones de las uniones plásticas por ultrasonido en la zona de estudio, el diseño de las mordazas cuenta con una terminación en forma de “C” para evitar el contacto con la base del “Tag” y realizar la fuerza de

desprendimiento en la placa soldada al mismo “Tag”. Además, se puede observar un desbaste hacia el extremo de la zona que se inserta entre las placas soldadas, esto se debe a que el espacio entre las placas soldadas es muy reducido, suele presentar espacios de entre 5 mm y 1mm.

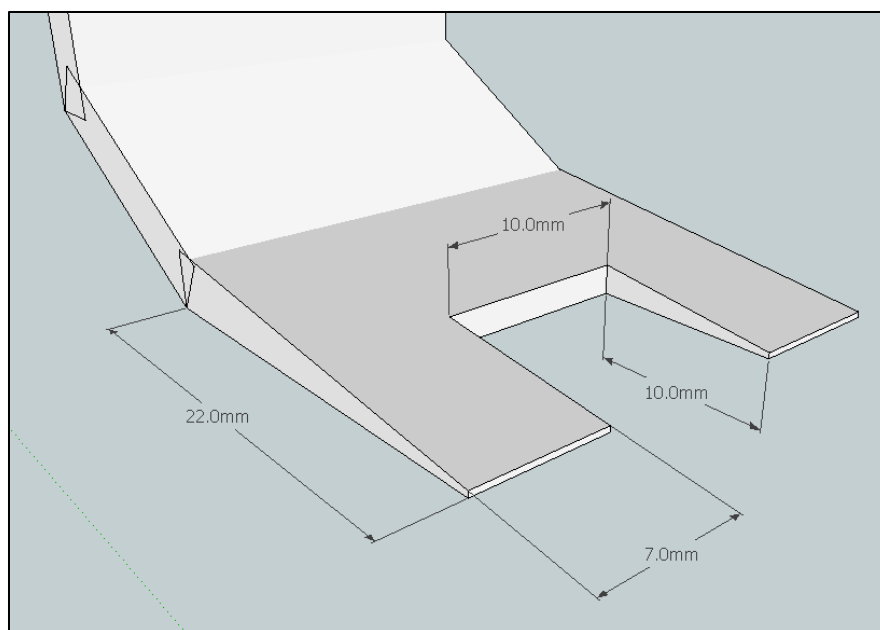


Fig. 14 Zona de inserción de los sujetadores de la mordaza móvil.

Los sujetadores tienen una longitud total 58.5mm desde la parte superior hasta la zona de inserción. Además presenta un segmento con un doblado o también llamado “chaflan” formando un ángulo superior de 60° y un inferior de 30° con respecto a la perpendicularidad del cuerpo del sujetador y la zona de inserción. Se decidió hacer éste doblado para evitar cualquier flexión del material al momento de realizar las pruebas, ya que un ángulo recto recibe mayor carga y suele presentar flexión. En la figura 15 se muestran las dimensiones del sujetador.

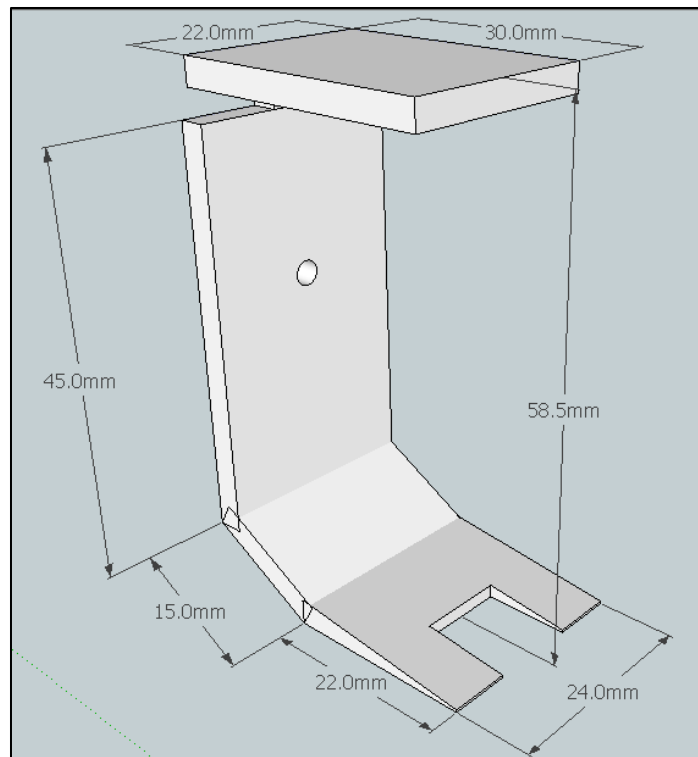


Fig. 15 Dimensiones del sujetador.

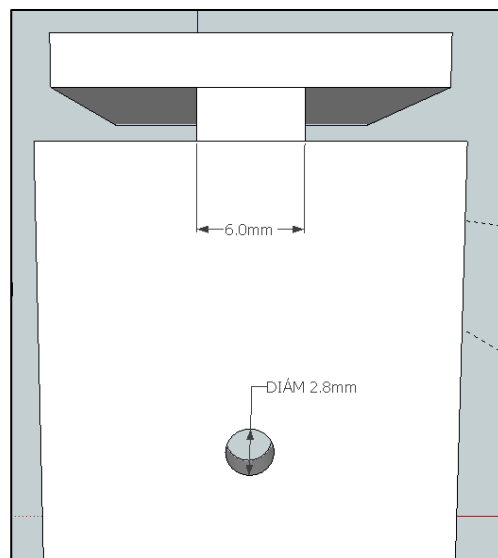


Fig. 16 Parte posterior del sujetador.

En la figura 16 podemos observar un orificio en el cuerpo del sujetador, el cual tiene como propósito ser el paso de un tornillo que evite movimientos al momento de realizar el ensayo, el diámetro es de 2.8 mm, además presenta un corte que reduce el ancho de la solera, éste corte se hizo para entrar al riel del puente que sostiene ambos sujetadores.

El puente que sostiene a los sujetadores está fabricado del mismo material A36, sus dimensiones están relacionadas al desplazamiento de los sujetadores según sea la geometría de las soldaduras. Además, presenta una aleta en forma de “T” para ser colocado en las mordazas de la máquina universal de tensión/compresión.

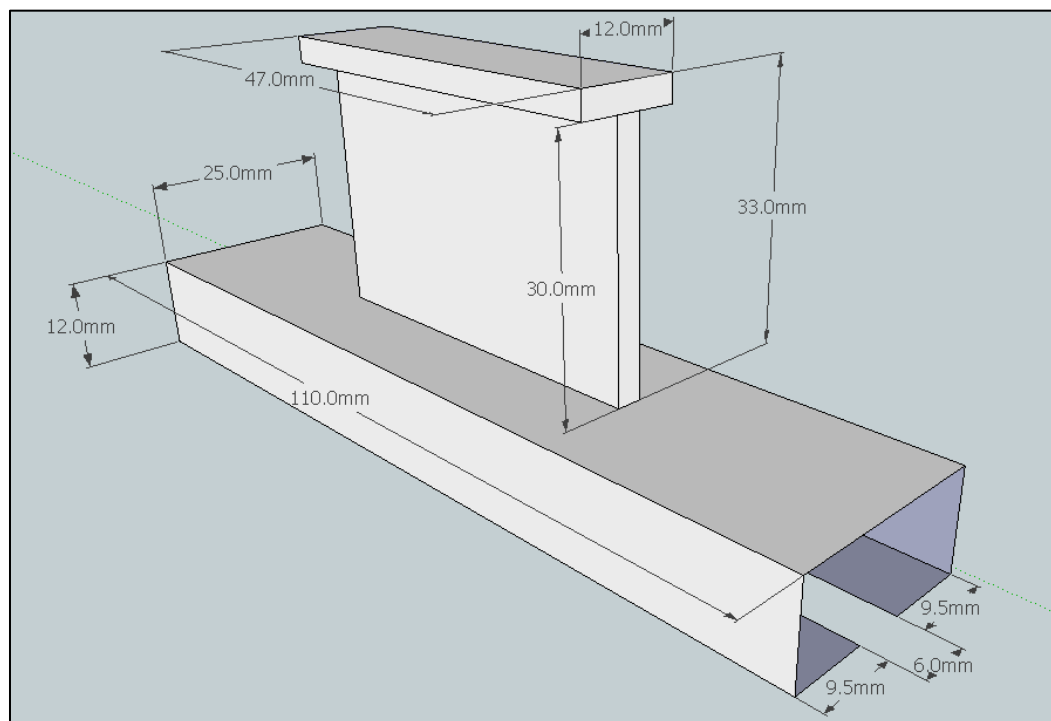


Fig. 17 Dimensiones del puente que sostiene a los sujetadores.

Mordazas de sujeción. También llamadas mordazas fijas, éstas no tendrán movimiento, por lo cual, su función es sujetar la probeta evitando la flexión de la placa y el movimiento de la probeta. Los sujetadores de estos dispositivos están

hechos también con metal A36 y presentan un diseño similar a los sujetadores de la mordaza de tensión. Las dimensiones son las únicas que cambian. De igual forma, el diseño del puente que sostiene a los sujetadores tiene el mismo diseño la única diferencia es la longitud del mismo.

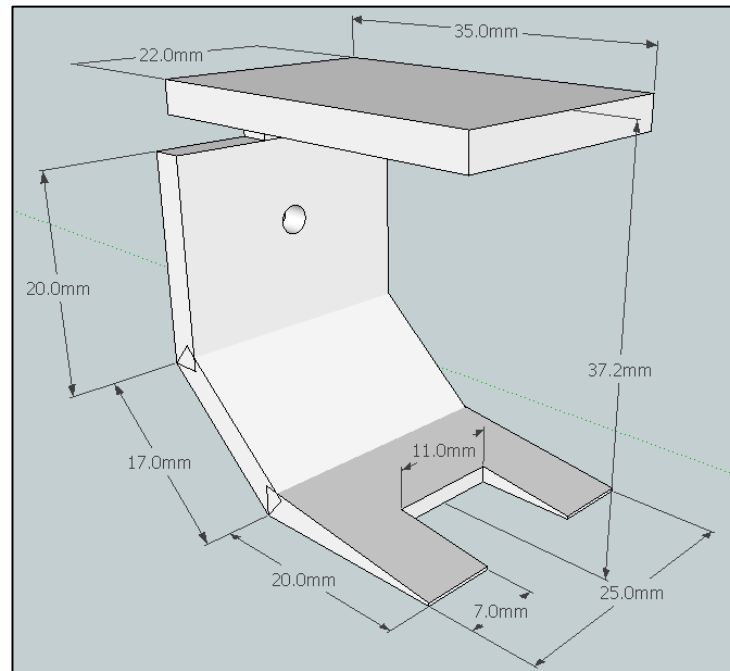


Fig. 18 Dimensiones del sujetador de la mordaza de sujeción.

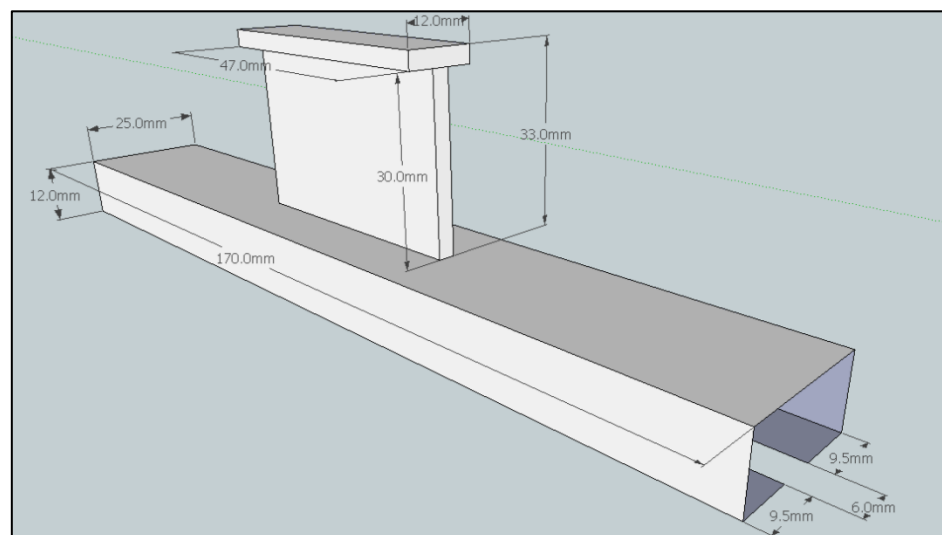


Fig. 19 Dimensiones del puente de sujeción que sostiene los sujetadores.

La construcción del dispositivo se llevó a cabo con la mayor precisión posible de acuerdo al diseño, se usaron las máquinas que se tenían a disposición y con la tecnología al alcance se consiguió el dispositivo mostrado en la figura 20:



Fig. 20 Construcción de las mordazas.

Cabe mencionar que el desbaste en la zona de inserción de los sujetadores fue realizado con lima “BECKU 2 doble corte” y “FLAT SMOOTH single cut”, así se evita el calentamiento de metal A36 y deformaciones por dilatación del material. Las soldaduras que se realizaron sobre el dispositivo fueron hechas con electrodos E-30616. Al final de la construcción del dispositivo, se pintó con pintura vinílica para evitar efectos de corrosión del material.

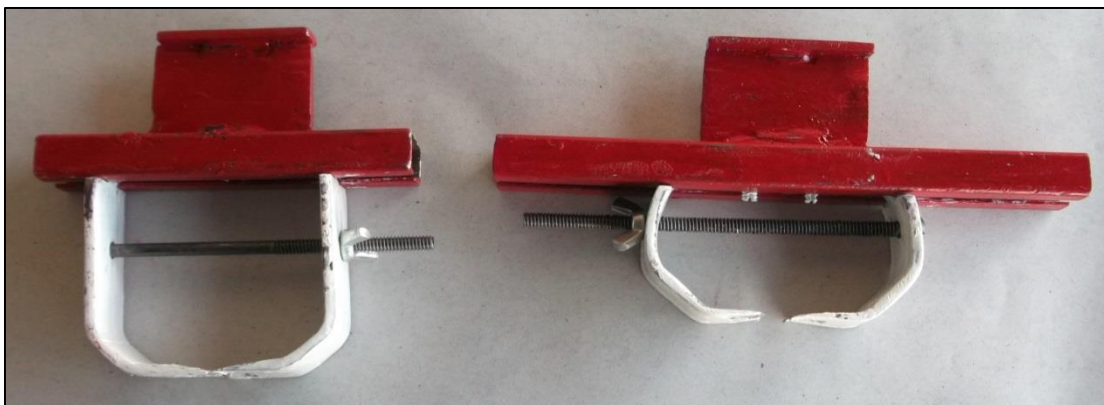


Fig. 21 Mordazas pintadas.

Al colocar las nuevas mordazas en las mordazas originales de la máquina de tensión/compresión se comprobó que las piezas fueron hechas y detalladas de manera correcta. Además de presentar facilidad para montar y desmontar las mordazas.



Fig. 22 Montaje de mordazas.

Después de cerciorar que las mordazas pueden montarse fácilmente en la máquina universal de tensión/compresión se procedió con los ensayos de tensión de las probetas de uniones plásticas soldadas por ultrasonido.

Se ejecutaron once pruebas de desprendimiento de soldaduras plásticas por ultrasonido con geometría circular concéntrica. Para ésta prueba, las probetas son preparadas de manera particular. Las probetas están conformadas por dos partes, la primera es la base de montaje la cual tiene zonas especiales llamadas “TAG” que es el área que será sometida al proceso de soldado, a esta placa la denominamos placa “A”. La placa que es soldada sobre la base de montaje le

denominamos placa “B”, esta última al momento de soldar por ultrasonido tiene un cambio moderado y poco perceptible en el proceso de soldado, ya que la energía ultrasónica afecta casi en su totalidad al “TAG”. Este proceso de soldado se le conoce como ribeteo. (Fig. 23)

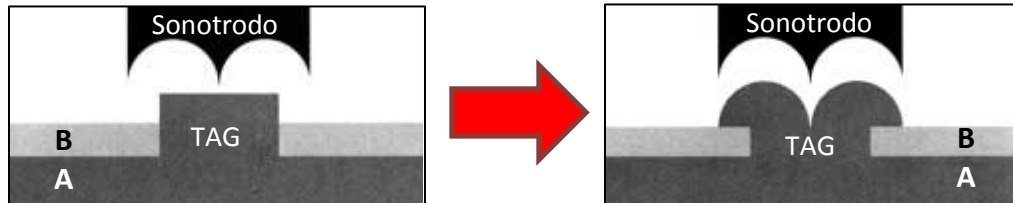


Fig. 23 Proceso de Ribeteo.

Comparando la figura 23 la cual describe el proceso de soldado llamado “Ribeteo” con las soldaduras circulares que son objeto de estudio, encontramos la similitud en el corte transversal de la soldadura en la figura 24.



Fig. 24 Soldadura circular de ABS + PPT y corte transversal de la misma soldadura.

Debido a esto, se analizó la mejor forma de preparación de las probetas para realizar el ensayo de tensión. Al tratarse de placas unidas por una barra fundida por ultrasonido, se plantea que para realizar el esfuerzo y el desprendimiento sobre la soldadura se reduzca el área que rodea la soldadura. Por lo tanto, se definió que la metodología para preparar las probetas son las siguientes:

Se cortan rectángulos de 60mm de largo por 35mm de ancho, tratando de que la soldadura a desprender se ubique en el centro del corte rectangular tal como se muestra en figura 25.

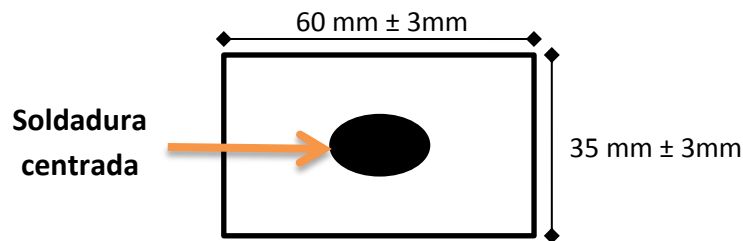


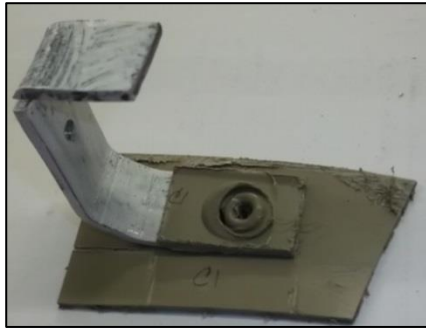
Fig. 25 Geometría y dimensiones de primer corte de probetas.

Una vez cortada la probeta, especificamos que la placa “B” será cortada nuevamente reduciendo el área que rodea a la soldadura y realizar el esfuerzo directamente sobre la zona fundida. Para este trabajo se toman en cuenta dos geometrías de soldaduras, circular concéntrica y lineal. Para ello tenemos las dimensiones de corte de la placa “B” considerando nuevamente que la soldadura se ubique al centro del corte.

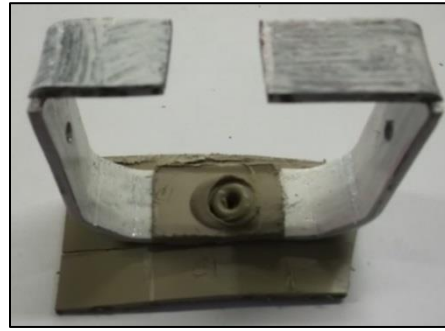
Tabla 7. Dimensiones de corte de la Placa “B”.

Geometría de Soldadura	Dimensiones de corte Placa “B”	Imagen
Circular concéntrica	$(30 \times 25) \pm 3 \text{ mm}$	
Lineal	$(30 \times 20) \pm 3 \text{ mm}$	

Al finalizar la preparación de las probetas, comienza el montaje de la misma en las mordazas, éste último proceso antes de la ejecución del ensayo debe realizarse con mayor cuidado, ya que si la inserción de los sujetadores es de forma súbita, se puede dañar la soldadura generando alguna zona de estrés y alterar los resultados de los ensayos. En la figura 26 se muestran los pasos a seguir para colocar la probeta en las mordazas de tal forma que se evite el daño o alteración en la soldadura.



1° Insertar un sujetador por el extremo más delgado.



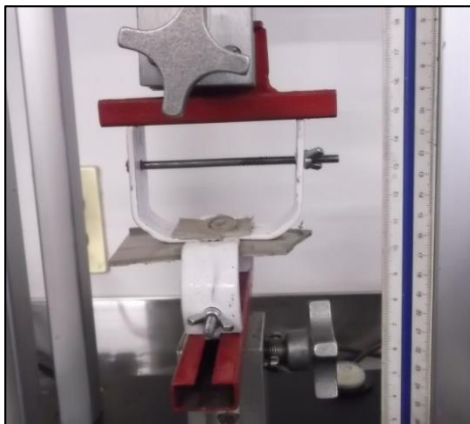
2° Insertar el segundo sujetador frente al primero, evitando esfuerzo innecesario.



3° Colocar el puente en los sujetadores y después el tornillo para evitar movimiento de los mismos



4° Colocar la mordaza en la máquina universal para sujetar la placa "A" con la mordaza inferior.



5° Se sujeta la placa "A" con la mordaza inferior de manera perpendicular a las mordazas



6° Se asegura que la máquina universal marque valor de cero y se lleva a cabo el ensayo.

Fig. 26 Metodología para montar las probetas en las mordazas diseñadas para después realizar el ensayo de tensión.

El ensayo de tensión se llevó a cabo bajo las condiciones establecidas en la Norma ISO 527-2:1996, las cuales describen una velocidad de desplazamiento de la mordaza móvil a 100 mm/min y temperatura de 20°C [43]. Antes de ejecutar el ensayo se realizó una inspección visual a cada soldadura para relacionar la apariencia de cada una con el valor que demostraría al finalizar el ensayo. Dicha inspección se realizó para 11 soldaduras de ambas geometrías. En el anexo A se puede observar cada uno de los análisis realizados a las soldaduras. Las características más notables son la penetración de la soldadura, la porosidad en cada una de ellas, presencia de material fundido fuera de la zona térmica de la soldadura y daños en la zona térmica.

Las gráficas creadas después del ensayo de cada una de las soldaduras presentan en eje de las ordenadas la fuerza de desprendimiento del material en Newtons y en el eje de las abscisas los valores de desplazamiento de la mordaza en milímetros. La razón se debe a que a diferencia de los ensayos de tensión más comunes es fácil medir el área de sección transversal en la probeta, mientras que en una soldadura, ésta área es totalmente difícil de obtener, y de acuerdo a las características de cada geometría es aún más complicado predecir el área de ruptura de soldaduras con procesos de soldado muy irregulares. Otro factor, es que no es fácil medir la elongación de una soldadura durante el ensayo de tensión ya que no es fácilmente apreciable, por lo cual se calcula una aproximación de la elongación con el desplazamiento de la mordaza durante el proceso. Debido a esto, se propuso que el esfuerzo de desprendimiento se graficara contra los datos de desplazamiento para generar una gráfica de comportamiento de las soldaduras frente al ensayo de tensión.

Después de la ejecución del ensayo, los resultados obtenidos de acuerdo a las dos geometrías de las soldaduras se muestran en tabla 8 y 9.

Tabla 8. Resultados de las pruebas de tensión en soldaduras circulares.

N° pruebas	Fuerza de desprendimiento (N)	% elongación
1	144	0.221
2	204	0.204
3	227	0.213
4	240	0.213
5	272	0.234
6	303	0.201
7	309	0.243
8	358	0.223
9	360	0.195
10	378	0.203
11	461	0.210
Promedio	295.94	0.215

En la tabla 8 se observa un promedio de 295.94 Newtons en la fuerza máxima de desprendimiento, esto como resultado de las once pruebas de tensión realizadas en las soldaduras circulares. Además se observa también que el porcentaje de elongación disminuye notablemente con respecto a un material en estado de entrega. Se ha deducido que durante el proceso de soldado por ultrasonido el ABS pierde su propiedad de elongación y aumenta su fragilidad frente a un esfuerzo de tensión.

Es posible observar que la soldadura con menor resistencia presenta un claro deterioro por un mal proceso de soldado por ultrasonido, los defectos observados son: porosidad en la soldadura, grieta en la zona térmica además de fundir gran parte de la placa de polipropileno, lo que hace suponer que el tiempo y presión de sonotrodo no fue el óptimo, éstos defectos se muestran en la figura 27, la cual demuestra que la fuerza de desprendimiento es de 144 Newtons siendo la ésta la de menor resistencia.

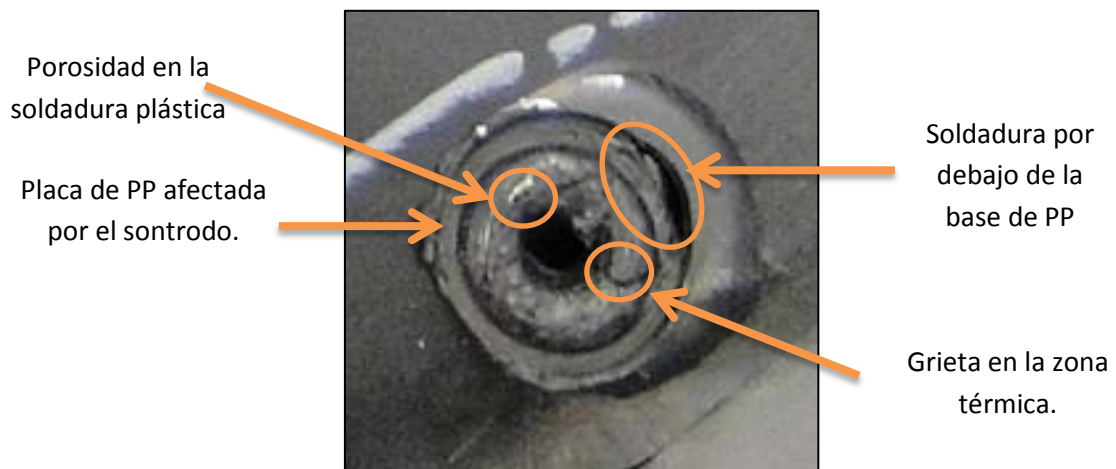


Fig. 27 Soldadura circular con menor fuerza de desprendimiento.

De manera contraria, la soldadura circular que presenta mayor esfuerzo de desprendimiento muestra un valor de 461 Newtons. En la figura 28 se puede observar una soldadura con pocos defectos ya que no funde la placa de polipropileno, se encuentra en nivel de la base, no presenta exceso de material fundido, la zona térmica tiene una superficie uniforme sin poros ni grietas o líneas de estrés. Razón suficiente para suponer que es el modelo ideal de una soldadura por ultrasonido. En la tabla A1 del anexo A, se pueden observar las características de las 11 soldaduras con geometría circular concéntrica analizadas.

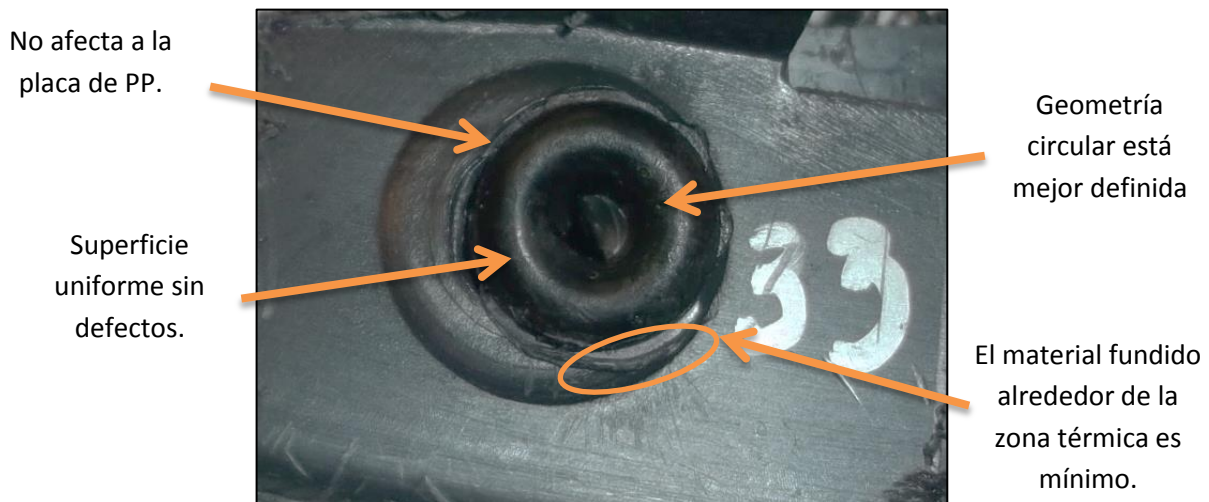


Fig. 28 Soldadura circular con mayor fuerza de desprendimiento.

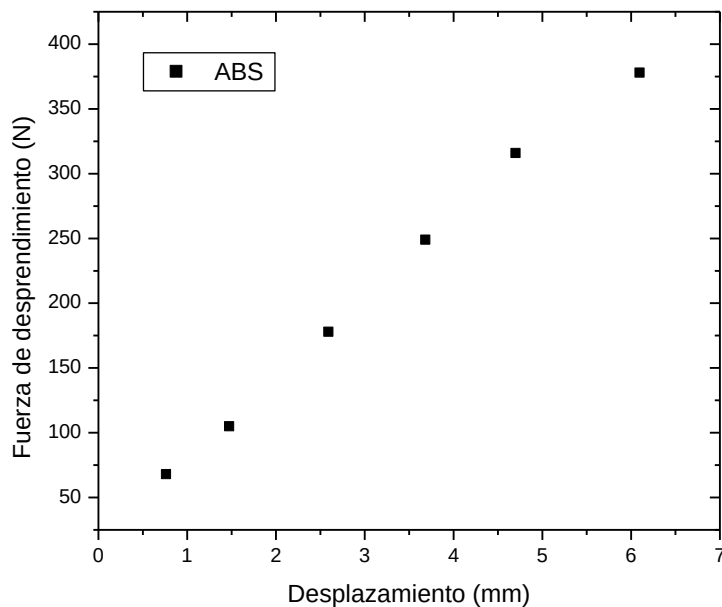


Fig. 29 Gráfica típica de comportamiento en el ensayo de tensión de soldaduras circulares.

En la figura 29 se observa una gráfica típica de esfuerzo de desprendimiento contra el desplazamiento de las mordazas, el cual se presenta en los ensayos de tensión en las soldaduras con geometría circular concéntrica, esto interpreta la resistencia máxima que ofrece el ABS después de pasar por el proceso de soldado de ultrasonido. Se observa que, desde el origen 0 hasta el límite de proporcionalidad, el diagrama fuerza-desplazamiento es un segmento rectilíneo, de donde se deduce relación de proporcionalidad, enunciada en el año 1678 por Robert Hooke. Ésta proporcionalidad no se extiende a todo el diagrama, si no que termina en el límite de proporcionalidad, y más allá de este punto, el esfuerzo deja de ser proporcional a la deformación. Al alcanzar el límite elástico inmediatamente se presenta la ruptura de la soldadura, ésta gráfica demuestra el comportamiento típico de un ensayo de tensión. Por lo tanto éste es el comportamiento característico de las soldaduras circulares concéntricas frente al ensayo de tensión.

Tabla 9. Resultados de las pruebas de tensión en soldaduras lineales.

N° pruebas	Fuerza de desprendimiento (N)	% elongación
1	263	0.314
2	278	0.533
3	305	0.433
4	316	0.387
5	360	0.425
6	378	0.418
7	433	0.308
8	480	0.486
9	489	0.412
10	547	0.426
11	605	0.452
Promedio	404.93	0.418

En la tabla 9 se observa un promedio de 404.93 Newtons en la fuerza máxima de desprendimiento, esto como resultado de las once pruebas de tensión realizadas en las soldaduras lineales. Además se observa también que el porcentaje de elongación disminuye considerablemente con respecto a un material en estado de entrega. Se deduce que durante el proceso de soldado por ultrasonido el ABS pierde su propiedad de elongación y aumenta su fragilidad frente a un esfuerzo de tensión.

En la figura 30 se observa la soldadura lineal con menor fuerza de desprendimiento, en ella destaca el exceso de material fundido alrededor del área de la soldadura plástica de ABS, también se hace notar que fundió la placa de polipropileno, esto hace suponer que se excedió el tiempo y presión del sonotrodo durante el proceso de soldado y como resultado se fragilizó el material de la soldadura arrojando una fuerza de desprendimiento de 263 Newtons.



Fig. 30 Soldadura lineal con menor fuerza de desprendimiento.

De manera contraria en la figura 31, la soldadura lineal con mayor fuerza de desprendimiento presenta mejores características, ya que no se observa una gran cantidad de material fundido alrededor de la soldadura, esto hace suponer que durante el proceso de soldado el sonotrodo fue usado a una presión y tiempo óptimo logrando que la unión plástica presente una fuerza de desprendimiento de 605 Newtons. En la tabla A2 del anexo A, se pueden observar las características de las 11 soldaduras con geometría lineal analizadas.

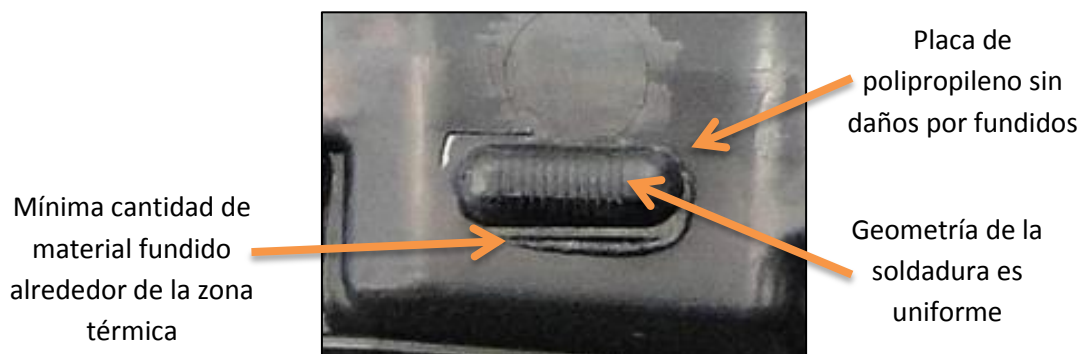


Fig. 31 Soldadura lineal con mayor fuerza de desprendimiento.

En la figura 32 se observa una gráfica típica de esfuerzo de desprendimiento contra el desplazamiento de las mordazas durante el ensayo de tensión de soldaduras lineales, esto interpreta la resistencia máxima que ofrece el ABS después de pasar por el proceso de soldado de ultrasonido, además se logra

observar un comportamiento diferente a la gráfica de soldaduras circulares concéntricas. Se observa que, desde el origen 0 hasta el límite de proporcionalidad, presenta el límite elástico y comienza a describirse una zona de fluencia lo cual supone una reestructuración de las fibras del material de ABS y

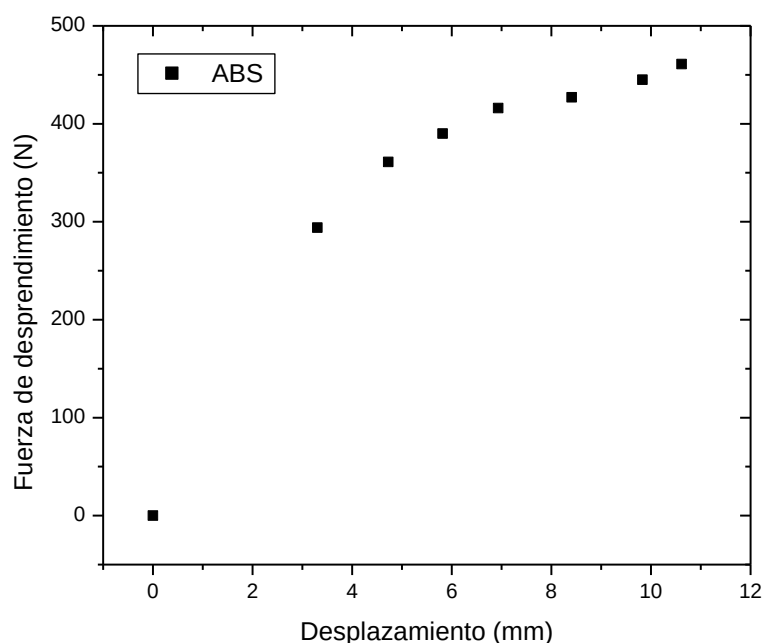


Fig. 32 Gráfica típica de comportamiento en el ensayo de tensión de soldaduras lineales.

llegar finalmente a su ruptura.

El comportamiento de las soldaduras lineales presenta notables diferencias, con ellas se pueden comparar los resultados con las soldaduras circulares. Otro aspecto notable es que la resistencia de éste tipo de geometría es 108.99 Newtons mayor que las soldaduras circulares es decir 36.82% con mayor fuerza de desprendimiento. Éste comportamiento supone una mejor eficiencia en la unión de soldaduras plásticas con geometría lineal.

Incluso la soldadura lineal con el valor de 263 Newtons siendo el más bajo en fuerza de desprendimiento es próximo al promedio de las soldaduras circulares de 295 Newtons.

Durante las pruebas de inspección visual se logró encontrar una relación entre los defectos presentados en la soldadura y su fuerza de desprendimiento.

Al finalizar la serie de pruebas a lo largo de este trabajo, es importante mencionar que el nuevo dispositivo es capaz de evaluar zonas plásticas soldadas por ultrasonido presentes en todas las áreas decorativas y funcionales de un revestimiento automotriz, siempre y cuando presente dimensiones similares a las estudiadas. Se tiene la seguridad que los datos arrojados durante el ensayo de tensión son confiables, debido a que el dispositivo realiza el esfuerzo en la zona plástica soldada y esto se corrobora al finalizar cada ensayo observando que la fractura se presenta en la zona térmica donde suelda con el sonotrodo. En caso de ser necesario, el tamaño de los sujetadores puede ser modificado para lograr un óptimo resultado. Éste dispositivo puede ser montado en la mayoría de las mordazas que son usadas en máquinas universales de tensión/compresión. Generalmente las máquinas de tensión más utilizadas en la industria automotriz son Zwick Roell, Meldic, Atrya, Dinatete, Hidraulica Dumont.

Conclusiones

El comportamiento de las soldaduras plásticas por ultrasonido frente al ensayo de tensión varía respecto a la geometría de la misma. En base a los resultados obtenidos de las pruebas se llegó a las siguientes conclusiones:

Las soldaduras plásticas con geometría circular concéntrica y geometría lineal tendrán menor fuerza de desprendimiento si presentan defectos en la zona térmica de la unión plástica, es decir, que en el área fundida se observe porosidad, calcinado, presencia en exceso de material fundido alrededor de la zona térmica, perforación de la placa de adherencia que en este caso es polipropileno.

Las soldaduras plásticas con geometría circular concéntrica y geometría lineal tendrán mayor fuerza de desprendimiento si presentan una zona de fundido bien definida con la forma que aporta el sonotrodo, sin material fundido excesivo y sin afectar la placa de polipropileno.

De acuerdo a lo anterior, el comportamiento de las soldaduras plásticas por ultrasonido con geometría circular concéntrica y lineal frente al ensayo de tensión está en función del tiempo y presión aplicada durante el proceso de soldado ya que al presentar los defectos mencionados su fuerza de desprendimiento será mucho menor. Otro factor determinante, es la misma geometría de las soldaduras, de acuerdo a los ensayos de tensión las soldaduras circulares presentan un límite elástico menor y como resultado su punto de ruptura es más rápido, esto hace suponer una degradación del material, es decir, pérdida de aditivos en el proceso de soldado, los que se traducen en un valor bajo de resistencia a la tensión.

Por otra parte, las soldaduras con geometría lineal, según los ensayos de tensión, presentan valores altos en la fuerza de desprendimiento, además de comportarse de manera distinta a las soldaduras con geometría circular, ya que en las gráficas muestra un límite elástico más alto, adoptando un comportamiento de zona de fluencia, para volver a retomar una zona de fortalecimiento y después llegar a su ruptura.

Esto hace evidente que las soldaduras plásticas con geometría lineal presentan una fuerza de desprendimiento promedio de **108.99 Newtons** mayor a las soldaduras con geometría circular, lo cual podemos suponer que el tiempo de vida útil de éstas últimas será menor debido a que en el uso cotidiano al momento de abrir y cerrar la puerta se aplica un esfuerzo similar a las pruebas de tensión realizadas en este trabajo. Así mismo, se ha determinado que la resistencia que presenta la zona de estudio debe aumentar al menos un 35% de su valor actual, esto para garantizar una mejor resistencia y no presentar desprendimiento del producto terminado, para asegurar la satisfacción del cliente y permanecer como una competencia en el mercado.

Además, se creó una nueva metodología para realizar el ensayo y obtener un valor de desprendimiento. Ésta metodología consta desde la preparación de la muestra o probeta así como el montaje de la misma en las mordazas, las cuales también son montadas en mordazas de máquinas universales de Tensión/Compresión.

Se logró caracterizar dos diferentes geometrías de soldaduras en las cuales intervienen los mismos materiales ABS + PP; el ABS es el material que es sometido al proceso de soldado por ultrasonido y por consecuencia, el material que alcanza el punto de fusión.

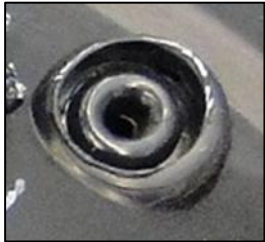
Lo más destacado en este trabajo es la caracterización del comportamiento de las soldaduras plásticas por ultrasonido con geometría circular concéntrica y lineal, obteniendo valores y gráficas de fuerza de desprendimiento-desplazamiento de la mordaza, y para lograrlo fue necesario crear tanto el dispositivo como la metodología del ensayo. Esto cubre una necesidad, ya que no se cuenta con ninguna normativa en la industria automotriz que enfoque un parámetro de calidad en uniones plásticas soldadas por ultrasonido. Por lo tanto, los resultados logrados en toda esta investigación son la base de futuros estudios que enfoquen su análisis en otros tipos de soldaduras en las cuales tanto la geometría como los

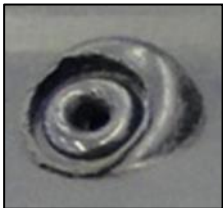
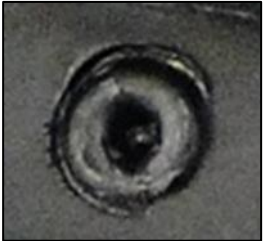
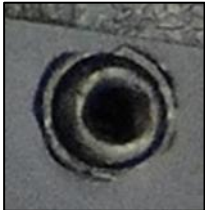
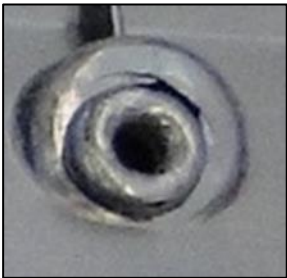
materiales poliméricos empleados sean totalmente diferentes. Ahora se posee un punto de comparación, en consecuencia una mejora en las futuras metodologías y creación de nuevos dispositivos y herramientas.

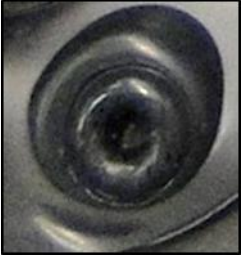
Anexo A. Inspección visual de cada soldadura plástica.

Antes de realizar el ensayo de tensión se realizó una inspección visual a cada una de las soldaduras plásticas de ambas geometrías con el fin de relacionar una apariencia con el valor arrojado en la prueba de tensión y el comportamiento de la misma. En la tabla A1 el orden de la descripción de cada soldadura circular será de forma ascendente respecto a la fuerza de desprendimiento presentada después del ensayo.

Tabla A1 análisis visual de las soldaduras circulares antes de ser sometidas a ensayo de tensión.

Nº de Probeta	Descripción de la soldadura	Imagen antes de la tensión
1	– Porosidad en la zona térmica. – Ruptura en la zona térmica. – Soldado por debajo de la base de PP. – Afectación térmica en placa de PP. – Exceso de material fundido alrededor de la soldadura.	
2	– Ruptura en la zona térmica. – No hay uniformidad en la geometría.	
3	– Excesiva penetración de la soldadura en la placa de PP. – Geometría uniforme	

4	– Penetración de la soldadura en la placa de PP. – Geometría uniforme. – Poco material fundido alrededor de la zona térmica.	
5	– Penetración de la soldadura en la placa de PP. – Geometría uniforme. – Poco material fundido alrededor de la zona térmica.	
6	– Placa de PP con poca afectación del sonotrodo. – Geometría con algunas deformidades. – Muy poco signo de porosidad.	
7	– Placa de PP con poca afectación del sonotrodo. – Geometría con algunas deformidades. – Muy poco signo de porosidad.	
8	– Soldadura no afecta la placa de PP. – Geometría uniforme. – No hay líneas de estrés.	

9	– Soldadura no afecta la placa de PP. – Geometría uniforme. – No hay líneas de estrés. – Poco material fundido alrededor de la zona térmica.	
10	– Soldadura no afecta la placa de PP. – Geometría uniforme. – No hay líneas de estrés.	
11	– Soldadura no afecta la placa de PP. – Geometría uniforme. – No hay líneas de estrés. – Poco material fundido alrededor de la zona térmica.	

En la tabla A2 el orden de la descripción de cada soldadura lineal será de forma ascendente respecto a la fuerza de desprendimiento presentada después del ensayo.

Tabla A1 análisis visual de las soldaduras circulares antes de ser sometidas a ensayo de

N° de Probeta	Descripción de la soldadura	Imagen antes de la tensión
1	– Penetración excesiva en la placa de PP. – Exceso de material fundido alrededor de la zona térmica. – No existe uniformidad en la geometría de la soldadura. – Porosidad en la soldadura.	
2	– Exceso de material fundido alrededor de la zona térmica. – Placa de PP afectada por sonotrodo. – Geometría uniforme.	
3	– Exceso de material fundido alrededor de la zona térmica. – Placa de PP afectada por sonotrodo. – Geometría uniforme.	
4	– Exceso de material fundido alrededor de la zona térmica. – Placa de PP afectada por sonotrodo. – Geometría no es uniforme.	

5	– Penetración excesiva en la placa de PP. – Exceso de material fundido alrededor de la zona térmica. – Placa de PP afectada por sonotrodo. – Geometría mal definida.	
6	– Exceso de material fundido alrededor de la zona térmica. – Placa de PP afectada por sonotrodo. – Geometría mal definida.	
7	– Placa de PP con poca afectación de sonotrodo. – Geometría presenta un problema de forma en uno de sus extremos. – Muy poco material fundido alrededor de la zona térmica.	
8	– Placa de PP con poca afectación de sonotrodo. – Geometría presenta un problema de forma en la parte media. – Muy poco material fundido alrededor de la zona térmica.	
9	– Placa de PP con poca afectación de sonotrodo. – Geometría con forma regular. – Muy poco material fundido alrededor de la zona térmica.	
10	– Placa de PP con poca afectación de sonotrodo. – Geometría uniforme. – Muy poco material fundido alrededor de la zona térmica.	

11	– Placa de PP con mínima afectación de sonotrodo. – Geometría uniforme. – Muy poco material fundido alrededor de la zona térmica.	
------------------	---	---

Bibliografía

[1] VICENCIO MIRANDA, Arturo

La industria automotriz en México.

Ciudad de México, México: No. 221, enero-abril 2007

[2] Instituto Nacional de Estadística y Geografía

La industria automotriz en México 2012. Serie estadísticas sectoriales.

Aguascalientes, México: INEGI, 2012.

[3] VINCENT VELA, María Cinta.

Ciencia y tecnología de polímeros.

Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia Servicios de publicaciones, 2006.

[4] BILLMEYER, Fred W., Jr.

Ciencia de los polímeros

Barcelona, España: Reverté, 1975.

[5] HORTA ZUMBIAGA, Arturo.

Macromoléculas

Madrid, España: UNED, 1991.

[6] KATIME AMASHTA, Issa Antonio.

Química física macromolecular.

Bilbao, España; UPV, 1994.

[7] SEYMOUR, Raimond B.

Introducción a la química de los polímeros.

Barcelona, España: Reverté, 1995.

[8] BLANCO VARGAS, Rafael.

Materiales y mercados. Industria del plástico

México; Centro Empresarial del Plástico, S.A. de C.V., 1999.

[9] ARLIE, J.P

Commodity Thermoplastics. Technical and Economic Characteristics.

París, Francia; Editions Technip, 1990.

[10] VINCENT VELA, María Cinta.

Principales Polímeros Comerciales.

Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia Servicios de publicaciones, 2006.

[11]COWIE, J.M.G.

Polymers: Chemistry and Physics of Modern Materials

Cheltenham; Stanley Thornes, 1991.

[12] OSSWALD, T.A.

Polymer processing fundamentals.

Munich, Alemania; Hanser, 1998.

[13] MICHAELI, W.

Introducción a la tecnología de los plásticos.

Barcelona, España; Hanser, 1992.

[14] XINRAN, Xiao

Dynamic tensile testing of plastic materials.

Polymer Testing, Volume 27, Issue 2, April 2008, Pages 164-178

[15] QuimiNet. Información y negocios segundo a segundo.

Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS): Descripción, propiedades y aplicaciones

([Citado 11 de Mayo de 2014]) editado por QuimiNet.

Disponible en:

<http://http://www.quiminet.com/articulos/acrilonitrilo-butadieno-estireno-abs-descripcion-propiedades-y-aplicaciones-4433.htm>

[16] PDL Staff

Acrylonitrile-Butadiene-Styrene Copolymer

Handbook of Plastics Joining, 1997, Pages 407-415

[17] MASSEY, Liesl K.

Acrylonitrile-Butadiene-Styrene Copolymer (ABS)

Permeability Properties of Plastics and Elastomers (Second Edition), 2003, Pages 299-302

[18] Plastiglas de México.

Manual de Pegado.

México: Desc, 2010.

[19] Estudios de Ingeniería adaptada EINA.

Tecnología de soldaduras.

([Citado 7 de Febrero de 2014]) editado por EINA

Disponible en:

<http://www.eina.es/Castellano/Technologies/Welding-ultrasonics.html>

[20] STIOPIN, P. A., Traducido por GUTIERREZ MORA, Pedro.

Resistencia de materiales

Moscú, Rusia: MIR segunda edición, 1979.

[21] VABLE, Madhukar. ; Traducido por CRUZ MERCADO GONZÁLEZ, Enrique; revisión técnica DÍAZ DEL CASTILLO, Daniel.

Mecánica de materiales

México: Oxford University Press, 2003.

[22] HAYDEN, Wayne and NOFFATT, William G.; traducido por Verduzco Rodríguez, Miguel.

Propiedades mecánicas.

México: Limusa-Wiley, 1968.

[23] NEWELL, James A.

Ciencia de materiales: aplicaciones en ingeniería.

México: Alfaomega, 2011.

[24] PERO-SANZ ELORZ, José Antonio.

Ciencia e ingeniería de materiales: estructura, transformaciones, propiedades y selección.

Madrid: CIE Inversiones editoriales, 2000.

[25] CALLISTER, William D.

Introducción a la Ciencia e Ingeniería de Materiales.

BARCELONA, ESPAÑA: REVERTÉ S.A., 1995.

[26] Universidad de Valladolid.

Apuntes para una breve introducción a la resistencia de materiales y temas relacionados.

España: Escuelas de Ingenierías Industriales., 2001.

[27] ASKELAND, Donald R. y Pradeep P. PHULÉ.

Ciencia e Ingeniería de los Materiales.

México: Cengage Learning, 2004.

[28] HORTA ZUMBIAGA, Arturo.

Técnicas de caracterización de polímeros: identificación de plásticos.

Madrid, España: UNED, 1993.

[29] LLORENTE UCETA, Miguel Ángel, HORTA ZUMBIAGA, Arturo.

Técnicas de caracterización de polímeros.

Madrid, España: UNED, 1991.

[30] GUTIÉRREZ PULIDO, Humberto.

Análisis y diseño de experimentos.

México; Mc Graw Hill, 2012.

[31] RICHARDSON, Terry L. & LONKENS GARD, Erik.

Industria del plástico: plástico industrial.

Madrid, España; Paraninfo, 1999.

[32] QIN-ZHI FANG, T.J. Wang, Hui-Min Li

Large tensile deformation behavior of PC/ABS alloy.

Polymer, Volume 47, Issue 14, 28 June 2006, Pages 5174-5181

[33] Z.N. Yin, T.J. Wang

Deformation response and constitutive modeling of PC, ABS and PC/ABS alloys under impact tensile loading.

Materials Science and Engineering: A, Volume 527, Issue 6, 15 March 2010, Pages 1461-1468

[34] ZRIDA, M. LAURENT, H. GROLLEAU, V. RIO, G. KHLIF, M. GUINES, D. MASMOUDI, N. BRADAI, C.

High-speed tensile tests on a polypropylene material.

Polymer Testing, Volume 29, Issue 6, September 2010, Pages 685-692

[35] ȘERBAN, Dan Andrei. WEBER, Glenn. MARȘAVINA, Liviu. SILBERSCHMIDT, Vadim V. HUFENBACH, Werner.

Tensile properties of semi-crystalline thermoplastic polymers: Effects of temperature and strain rates.

Polymer Testing, Volume 32, Issue 2, April 2013, Pages 413-425

[36] ȘERBAN, Dan Andrei. MARȘAVINA, Liviu. SILBERSCHMIDT, Vadim V.

Behaviour of semi-crystalline thermoplastic polymers: Experimental studies and simulations.

Computational Materials Science, Volume 52, Issue 1, February 2012, Pages 139-146

[37] MCKEEN, Laurence W.

Tables of Selected Thermal Properties

Effect of Temperature and other Factors on Plastics and Elastomers (Second Edition), 2008, Pages 687-764

[38] JIROMARU, Tsujino. TETSUGI, Ueoka. KOICHI, Hasegawa. YUKI, Fujita. TOSHIYUKI, Shiraki. TAKAAKI, Okada. TOSHIKI, Tamura.

New methods of ultrasonic welding of metal and plastic materials

Ultrasonics, Volume 34, Issues 2–5, June 1996, Pages 177-185

[39] SHOH, A.

Welding of thermoplastics by ultrasound

Ultrasonics, Volume 14, Issue 5, September 1976, Pages 209-217

[40] JIROMARU, Tsujino. MISUGI, Hongoh. RYOKO, Tanaka. RIE, Onoguchi. TETSUGI, Ueoka.

Ultrasonic plastic welding using fundamental and higher resonance frequencies.

Ultrasonics, Volume 40, Issues 1–8, May 2002, Pages 375-378

[41] JIROMARU, Tsujino. TAKAKO, Uchida. KATSUHISA, Yamano. NORIYUKI, Iwamoto. TETSUGI, Ueoka.

Welding characteristics of ultrasonic plastic welding using two-vibration-system of 90 kHz and 27 or 20 kHz and complex vibration systems

Ultrasonics, Volume 36, Issues 1–5, February 1998, Pages 67-74

[42] Ferrocortes® S.A.S.

ASTM A36 HR

([Citado 15 de mayo de 2014]) editado por Ferrocortes® S.A.S.

Disponible en:

<http://www.ferrocortes.com.co/laminas/lamina-calidad-estructural-astm-a36#top>

[43] British Standard

ISO 527-2:1996 Plastics Determination of tensile properties

BS EN ISO 527-2:1996 BS 2782-3: Method 322: 1994 Incorporating Amendment No. 1 BS 2782-3: Method 322:1994 renumbered