

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA JUNTA ADHESIVA ANAERÓBICA DISEÑADA EN EL ENSAMBLE DEL CHASIS PARA UN MONOTRICICLO

Andrea L. Zapata A <sup>1\*</sup>, Andrés F. Castro G. <sup>1</sup>, Luis F. Gil B. <sup>1</sup>, Germán L. García M. <sup>1</sup>, Nelson A. Vanegas M. <sup>1</sup>

1: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Departamento Ingeniería Mecánica. Medellín, Colombia

\* E-Mail: alzapataam@unal.edu.co

### RESUMEN

Se presenta la evaluación del desempeño a torsión de una junta adhesiva polimérica diseñada para el ensamble de una unión "Tipo T", ubicada sobre el eje trasero del chasis de un monotriciclo. Se midió el desplazamiento torsional relativo del eje sobre la unión cuando el monotriciclo se movilizó en descenso, por una pista corta, con inclinación promedio de 14° y con cambios de velocidad lineal de 3 m/s, 5 m/s y 4,3 m/s, para diferentes tramos, sometiendo tanto el chasis como la unión adhesiva a variaciones de carga durante el recorrido. La recolección de datos de desplazamiento angular relativo, en tiempo real, se realizó utilizando un microcontrolador Arduino interconectado a un giroscopio MPU 5060 que se instaló en la zona de unión. La medición de la velocidad angular sobre el eje trasero se realizó mediante un Encoder KLH 512. Los valores máximos para el desplazamiento angular alcanzaron los 16° y 17° para las posiciones laterales izquierda y derecha, respectivamente, de la unión; sin embargo, no se evidenciaron desplazamientos relativos entre el eje y la unión en la dirección axial (tracción). En general, se concluyó que la unión adhesiva tuvo un buen desempeño para absorber altos niveles de energía por deformación a torsión y una alta resistencia a la falla mecánica acorde con las variaciones de manejo presentadas en la pista.

**Palabras clave:** Junta adhesiva, comportamiento mecánico, chasis monotriciclo.

### EVALUATION OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF AN ADHESIVE ANAEROBIC JOINT DESIGNED FOR THE CHASSIS OF A SYNGLE CYCLE

### ABSTRACT

The torsional performance evaluation of a polymer adhesive joint designed for the assembly of a "Type T" joint, located on the rear axle of the chassis of a single cycle, is presented. The relative torsional displacement of the axle over the junction was measured when the single cycle was mobilized downhill, by a short track, with an average inclination of 14° and with linear velocity changes of 3 m/s, 5 m/s and 4.3 m/s, for different sections, subjecting both the chassis and adhesive bond to load variations during the route. Relative angular displacement data collection, in real time, was performed using an Arduino microcontroller interconnected to a 5060 MPU gyroscope that was installed in the junction area. The measurement of the angular velocity on the rear axle was performed using a KLH 512 encoder. The maximum values for the angular displacement reached 16° and 17° for the left and right side positions, respectively, of the junction, however, no relative displacements were evident between the shaft and the junction in the axial direction (traction).

Overall, it was concluded that the adhesive bond performed well to absorb high energy levels by torsional deformation and high mechanical failure resistance according to the handling variations presented on the track.

**Keywords:** Adhesive joint desing, mechanical behavior, tricycle chassis.

## 1. INTRODUCCIÓN

La tecnología en procesos de fabricación y ensamble de chasis tubular como soporte estructural de vehículos de dos, tres o cuatro ruedas ha tenido un gran avance. En la búsqueda de diseños mecánicos óptimos y económicos de estas estructuras, se ve entonces la necesidad de estudiar métodos de ensamble de los componentes igualmente eficientes, como es el caso del ensamble de piezas haciendo uso de adhesivos. Este sector ha tenido un gran crecimiento actualmente, puesto que la utilización de adhesivos se ha convertido en una forma económica y eficiente de ensamblar piezas mecánicas, además de mejorar ciertas propiedades en el diseño, como el peso de la estructura.

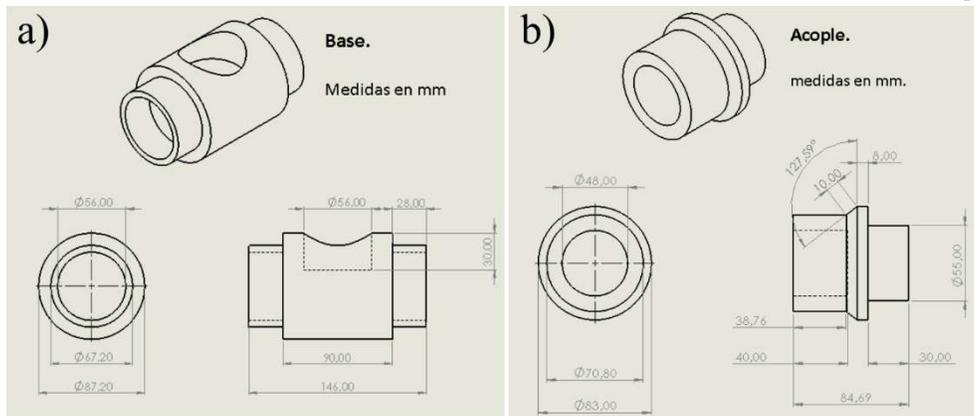
Los procesos de soldadura convencional (SMAW, GMAW, GTAW) implementado en estas estructuras alcanzan altas temperaturas de fusión provocando un calentamiento excesivo sobre el material base, lo que genera en la región conocida como zona afectada térmicamente (ZAT) que cambie la microestructura del material y por tanto afecta sus propiedades mecánicas [1], evidenciado en la alta concentración interna de los esfuerzos. La región que es objeto de estudio tiene una alta exigencia en propiedades mecánicas debido a las altas cargas que soporta, razón por la cual un proceso de soldadura puede llegar a afectar el desempeño de la junta de ensamble.

Como alternativa de diseño, la tecnología de las uniones adhesivas aplicadas al ensamble y la fabricación de sistemas y partes mecánicas, en la industria, reduce el peso en las construcciones y facilitan la unión de materiales disímiles. Es importante predecir y evaluar el comportamiento mecánico de las uniones adhesivas utilizadas en los diferentes sistemas, considerando la influencia de sus principales parámetros geométricos de diseño [2–6]. En particular, se ha encontrado una distribución más uniforme de los esfuerzos a través de la longitud de traslape de la junta y una tendencia a mejorar la absorción de energía por deformación plástica cuando incrementa el área de contacto para un rango de valores [2,4–6]. Esta situación resulta favorable para la ductilidad de una junta adhesiva al soportar esfuerzos máximos, específicamente en la unión que es objeto de estudio. En este trabajo se implementa un diseño de junta adhesiva utilizado en el ensamble de un monotríciclo cuya estructura es tipo chasis tubular, donde se combinaron los parámetros geométricos de diseño de la junta, más influyentes sobre el comportamiento mecánico [2–8].

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Diseño de la unión

Se diseña una junta en T, cuya estructura consta de un sustrato a base de acero AISI SAE 1020, el cual tiene bajo nivel de carbono lo que permite un fácil mecanizado, se utilizó un adhesivo anaeróbico comercial de la marca Loctite correspondiente a la referencia 648. La Figura 1, muestra los planos de la base y del acople con sus dimensiones; elementos utilizados para la construcción de la junta.



**Figura 1.** Planos empleados para la construcción de la junta. a) Base y b) Acople.

## 2.2. Rectificación y limpieza del sustrato

La rectificación del sustrato se realiza utilizando un torno paralelo y mediante la aplicación del parámetro de corte requerido para obtener un acabado superficial idóneo cercano a una rugosidad media RA de 1  $\mu\text{m}$ . A su vez, la limpieza de los sustratos se realiza mediante acetona, activador de la marca Loctite de la referencia 7471, con el fin de garantizar a fondo la pureza del sustrato, permitiendo una aplicación óptima y acelerando el proceso de curado de uniones adhesivas.

## 2.3. Ensamble

Se presenta el ensamble del sistema mediante la aplicación del adhesivo Loctite 648 de acuerdo con los parámetros de aplicación, empleando la técnica especificada del fabricante para garantizar: el volumen de adhesivo, evacuación de burbujas de aire y distribución homogénea del mismo del extracto. Se realiza aplicación del adhesivo en el eje central, esta unión adhesiva es el punto de evaluación del comportamiento mecánico del sistema, dado que los esfuerzos torsionales se concentran aquí. Se realiza el montaje a una temperatura ambiente de 21  $^{\circ}\text{C}$ , en la Figura 2, se muestra el proceso de implementación del adhesivo.



**Figura 2.** Aplicación de adhesivo en zona de unión eje central.

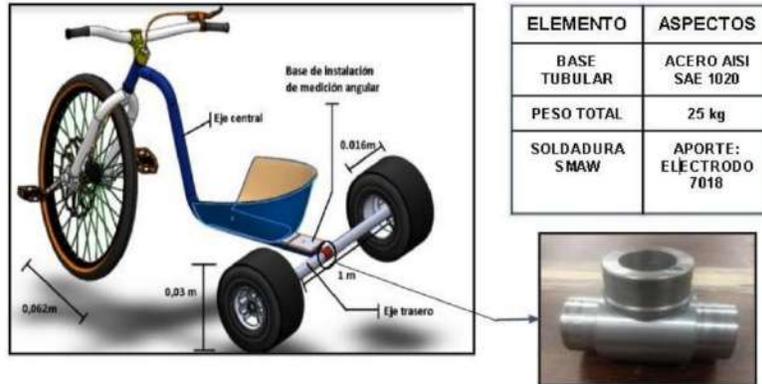
## 2.4. Curado de la unión

Para un correcto curado de la unión se deben garantizar ciertas condiciones, se utiliza un horno eléctrico para establecer de forma precisa la temperatura de curado de la junta adhesiva, la cual,

por reportes literarios [2–4] y del fabricante oscilan entre  $80\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  de acuerdo con las variaciones de potencia en el elemento que propicia temperatura. Este proceso se lleva a cabo en un periodo de una hora. Luego, se expone a temperatura ambiente, durante 24 horas para regular la temperatura de la unión y normalizar su estado de adhesión.

## 2.5. El vehículo y descripción de la pista

El vehículo es un monotriciclo con una base tubular de acero, un peso de 25 kilogramos y freno delantero de pasta, la representación del vehículo se muestra en la Figura 3.



**Figura 3.** Modelo de monotriciclo con información de sus componentes.

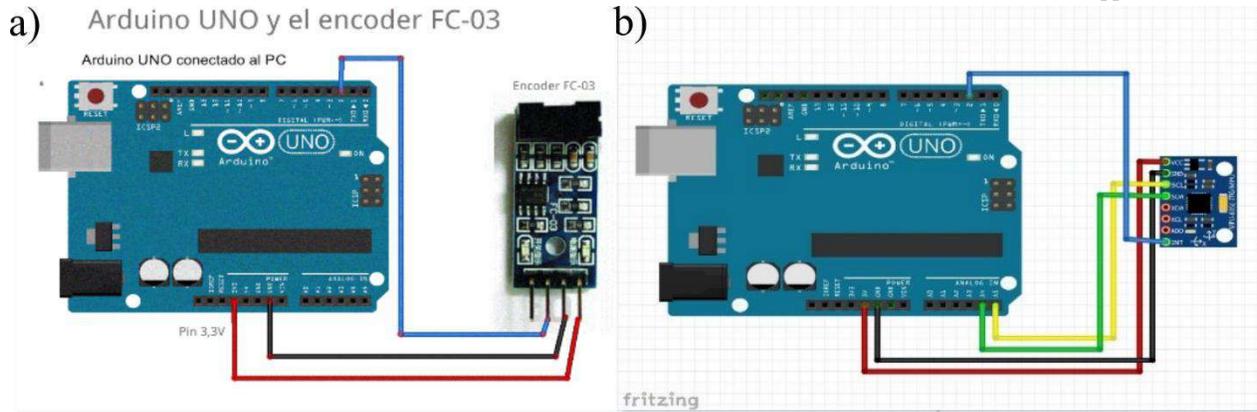
Se trata de una pista dividida en tres tramos con las condiciones presentadas en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Inclinación y distancia de cada tramo de la pista.

Tramo	Inclinación (°)	Forma	Distancia (m)
1	21	Lineal	12,4
2	10	Lineal	18,9
3	14	Curva	11,6

## 2.6. Toma de datos

Para el proceso de medición de la velocidad del vehículo se implementó un Encoder FC 03, también llamado Encoder KLH 512, un sensor infrarrojo por interrupción. El esquema utilizado para la interconexión entre el Arduino y el Encoder FC 03, se observa en la Figura 4(a).



**Figura 4.** (a) Esquema de interconexión entre Arduino Uno y el Encoder FC 03. (b) Esquema de conexión del acelerómetro MPU 5060 con el Arduino Uno. [9,10]

El desplazamiento en la pista generó en la zona de la junta adhesiva movimientos angulares que fueron censados mediante un acelerómetro y giroscopio MPU 5060, indicando en un margen aceptable cuál es el nivel de tolerancia que tiene la junta ante una situación de exposición a movimientos y esfuerzos de distintas magnitudes en condiciones de operación. El esquema de interconexión utilizado se muestra en la Figura 4(b).

## 2.7. Tratamiento de datos

Con los datos de desplazamientos angulares y fuerzas censadas se realizan algunas operaciones para hallar el módulo de rigidez de la junta por tramos. Con las fuerzas se obtienen los datos de esfuerzo torsional mediante la ecuación (1):

$$\tau = \frac{T \cdot \rho}{I_p} \quad (1)$$

Donde  $\tau$  es el esfuerzo torsional,  $T$  es el torque asociado a la junta,  $\rho$  es el radio del tubo de la unión e  $I_p$  es el momento polar de inercia asociado a la unión.

A su vez, se usan los desplazamientos promedio por tramo para generar los valores de deformación angular, en este caso se utilizó la ecuación (2) para la deformación angular:

$$\gamma = \frac{\rho \cdot \theta}{L} \quad (2)$$

Donde  $\gamma$  es la deformación angular,  $\theta$  es el desplazamiento angular asociado a la junta,  $\rho$  es el radio del tubo de la unión y  $L$  es la longitud de contacto de la unión.

Con esta información se procede a calcular el módulo de rigidez de la junta en cada uno de los tramos planteados. El módulo se calcula en base a las deformaciones angulares y el esfuerzo torsional generado por medio de la ecuación (3):

$$G = \frac{\tau}{\gamma} \quad (3)$$

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Durante el proceso de prueba el microcontrolador almacenó los siguientes datos de velocidad, que se muestran en la Tabla 2, los cuales tras dividirlos por los tramos planteados:

**Tabla 2.** Velocidades obtenidas en cada tramo de la pista.

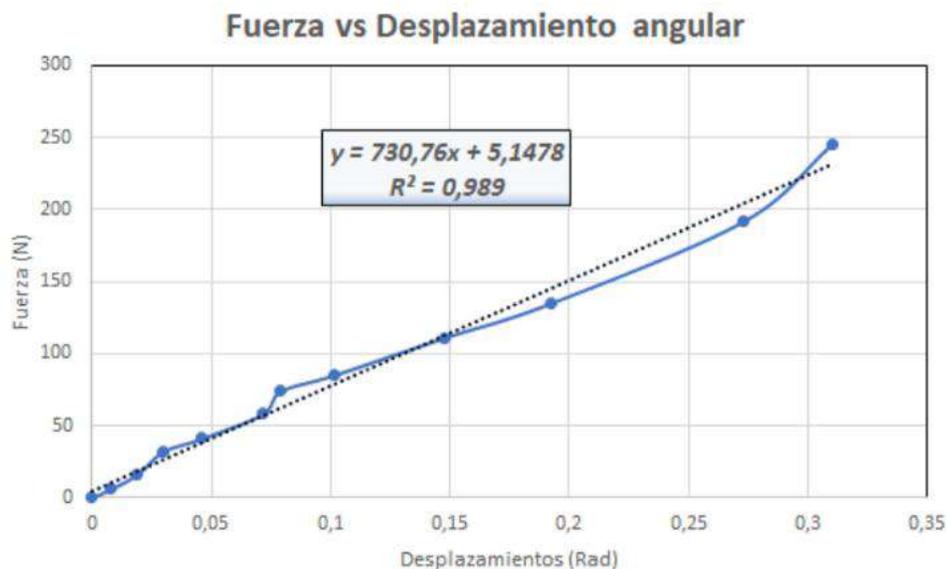
Tramo	Velocidad (m/s)
1	3
2	5
3	4,3

En la Tabla 3, se presentan los valores desplazamientos promedio en el eje x con su respectiva división por tramos, con el fin de obtener valores más próximos y predecibles según el campo en el cual se realizó la prueba. Adicionalmente, cabe resaltar que la junta no presentó desplazamientos axiales a cizalla durante la prueba.

**Tabla 3.** Resultados generales obtenidos durante la prueba.

Tramo	Inclinación (°)	Velocidad promedio (m/s)	Desplazamiento promedio (°)	Valores de G (kPa)
1	21	3	5,14	16,71
2	10	5	6,39	12,65
3	14	4,3	5,37	16,37

Adicionalmente, como método de determinación del comportamiento de la junta se presenta la Figura 5 de desplazamientos angulares vs fuerzas correspondientes a los mismos.



**Figura 5.** Aproximación lineal de la gráfica de fuerza vs desplazamiento angular.

Es evidente que los datos obtenidos pueden modelarse como una función lineal con una muy buena aproximación (con un valor  $R^2$  igual a 0,989), lo que abre paso a distintos análisis relevantes en el comportamiento de la junta adhesiva.

Se puede concluir de esta manera que la fuerza varía proporcionalmente con el ángulo. Se espera entonces que un aumento en el desplazamiento angular a medida que la fuerza aumente, sin embargo, resulta interesante que esta relación sea de proporcionalidad. Sustituyendo las ecuaciones (2) y (3) en la ecuación (1) y simplificando, obtenemos la ecuación (4):

$$G = \frac{F}{\theta} \cdot \frac{d \cdot L}{I_p} \quad (4)$$

Finalmente, es posible afirmar que el módulo de rigidez  $G$  depende de una constante  $k$ , que en particular toma el valor de 730,76 N/ rad en este caso y que a su vez depende de la fuerza aplicada, de su respectivo desplazamiento angular y de su producto con un conjunto de factores que depende directamente de la geometría de la unión.

#### 4. CONCLUSIONES

La unión adhesiva tuvo un óptimo desempeño para absorber altos niveles de energía por deformación a torsión y una alta resistencia a la falla mecánica acorde con las variaciones de operación presentadas en la pista.

La junta adhesiva polimérica diseñada para el ensamble de una unión “Tipo T”, ubicada sobre el eje trasero del chasis de un monotríciclo, permite ampliar su aplicación es vehículos similares.

Los tramos con mayor inclinación generaron una alta concentración de esfuerzos torsionales, a su vez, se observó una débil relación entre la velocidad del vehículo y la generación de deformaciones angulares.

La junta soportó esfuerzos torsionales asociados a fuerzas máximas de 245 N con un respectivo desplazamiento angular de 17,76°.

El módulo de rigidez más alto se dio en el tramo 1, con un valor de 16,71 kPa, debido a los altos esfuerzos torsionales presentados en el tramo más inclinado.

El comportamiento mecánico de la junta en función de la fuerza y el desplazamiento angular presentaron una relación lineal, lo que permite caracterizar el módulo de rigidez en función de sus parámetros dinámicos y geométricos.

#### 5. REFERENCIAS

[1] Hoyos, E., Efecto De La Técnica De Pases de Revenido En Las Propiedades Mecánicas Del Acero *ASTM A743 Del Grado CA6NM*, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, MSc, 2009.

[2] Gil, L.F., *Influencias De Parámetros Geométricos Sobre El Comportamiento Mecánico De Juntas Adhesivas Anaeróbicas Sometidas A Ensayos Destructivos De Torsión Pura*, MSc., Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, 2014.

[3] García M., Germán L. *Influencia Del Acabado Superficial Sobre La Resistencia De Juntas Adhesivas Para Fijación De Elementos Cilíndricos*, Tesis de doctorado. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, 2006.

[4] Gil, L.F., García, G.L., Espinosa, A., “Correlación de parámetros geométricos para evaluar la resistencia mecánica de juntas adhesivas anaeróbicas sometidas a ensayos de torsión pura”. *Revista Colombiana de Materiales*, 5, 48-57, 2013.

[5] Hosseinzadeh Ramin, Shahin K, Taheri, Farid., “A simple approach for characterizing the performance of metallic tubular adhesively-bonded joints under torsion loading”. *J Adhesion Sci. Technol*, 21:1613-1631, 2007.

[6] Kinloch, A. J., “Adhesion and Adhesives”, *Science and Technology*. Chapman and Hall, 441 pp, 1994.

[7] Montoya, S., Burbano, O. I., Granda, A., *et al* “Análisis de esfuerzos del eje trasero de un triciclo de derrape”. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. 2015.

[8] García, M. *Modelado Y Simulación De Un Triciclo Articulado En Solid Works*, Tesis de Ing., Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, España, 2009.

[9] Pinterest, Descubre ideas sobre medidores [Online], Available: <http://www.https://co.pinterest.com/pin/642748178041368720/> [Accessed: 20-Jul-2019].

[10] Fritzing, Proyectos etiquetados como MPU 5060, [Online], Available: <http://www.fritzing.org/projects/by-tag/mpu-6050/> [Accessed: 20-Jul-2019].