

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLE DE UN PROTOTIPO DE CHASIS GO KART BAJO LA NORMA CIK/FIA UTILIZANDO UNIONES HÍBRIDAS

Daniel A. Portilla E. ^{1}, Luis F. Gil B. ¹, Mauricio Arango C. ¹, Juan P. Jiménez R. ¹, Nelson A. Vanegas M. ¹, Germán L. García M. ¹*

1: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Departamento Ingeniería Mecánica. Grupo de Investigación Diseño Mecánico Computacional. Medellín, Colombia

* E-mail: daportillae@unal.edu.co

RESUMEN

Se propuso un procedimiento para la construcción y ensamble de un chasis tubular tomando como referencia un chasis de un vehículo monoplaza go kart, utilizando uniones adhesivas anaeróbicas como alternativa de ensamble. La metodología consistió en establecer cinco etapas que incluyen desde el diseño de la unión hasta el ensamble. La etapa uno de definición, radica en estudiar el comportamiento estructural del chasis sometido a cargas estáticas mediante análisis por elementos finitos, para conocer los esfuerzos a los cuales está sometido cada nodo, identificando y caracterizando los puntos del chasis donde se utilizará adhesivo. Las etapas dos y tres, medición y diseño proponen el diseño óptimo de la junta adhesiva cilíndrica a solape simple. Teniendo en cuenta en su diseño los parámetros geométricos de la junta y propiedades del material de la unión (duraluminio). En la etapa de corte y doblado se construyen todos los elementos del chasis, se diseña una matriz de soldadura para garantizar así que el chasis cumpla con la norma CIK/FIA y las sollicitaciones mecánicas. Para el ensamble se inicia con los puntos con adhesivo y luego los soldados, las uniones con adhesivo se curan a una temperatura entre los 80°C y 100°C por 1 hora. Los resultados de este trabajo mostraron que la flexión y la torsión son los esfuerzos críticos que estos chasis deben soportar, además en el ensamble de uniones soldadas se debe mantener las juntas cubiertas para no aumentar su temperatura y causar fallas en la unión adhesiva.

Palabras clave: Uniones híbridas, diseño de junta adhesiva, chasis go kart, norma CIK/FIA.

METHODOLOGICAL PROPOSAL FOR THE CONSTRUCTION AND ASSEMBLY OF A GO KART CHASSIS PROTOTYPE UNDER THE CIK/FIA STANDARD USING HYBRID JOINTS

ABSTRACT

A procedure for the construction and assembly of a tubular chassis was proposed taking as a reference a chassis of a single seat go kart vehicle, using anaerobic adhesive joints as an assembly alternative. The methodology consisted of establishing five stages ranging from joint design to assembly. Step one of definition lies in studying the structural behavior of the chassis subjected to static loads by finite element analysis, to know the stresses to which each node is subjected, identifying and characterizing the points of the chassis where adhesive will be used. Stages two and three of measurement and design propose the optimal design of the single-match cylindrical adhesive joint. Taking into account in its design the geometric parameters of the joint and properties

of the joint material (duralumin). In the cutting and bending stage all chassis elements are built, a welding matrix is designed to ensure that the chassis complies with the CIK/FIA standard and mechanical requests. Assembly starts with the dots with adhesive and then the welded ones, the adhesive joints are cured at a temperature between 80°C and 100°C for 1 hour. The results of this work showed that bending and torsion are the critical stresses that these chassis must withstand, in addition, the assembly of the welded points should keep the joints covered in order to avoid an increased temperature that causes faults in the adhesive bond.

Keywords: Hybrid joints, adhesive joint design, go kart chassis, CIK/FIA standard.

1. INTRODUCCIÓN

Es evidente el incremento en aplicaciones de uniones adhesivas para el ensamble de componentes automotrices en vehículos particulares y de transporte de pasajeros, sin embargo, no se dispone de un procedimiento detallado y particular para la utilización de uniones adhesivas en las diferentes aplicaciones de ingeniería. Ledezma, Taheri, García y Gil [1–5], han evaluado algunos parámetros geométricos (acabado superficial, longitud de traslape, espesor del adhesivo, tipo de curado) que influyen en la resistencia mecánica de juntas adhesivas cilíndricas, los cuales se toman como referencia para apoyar este trabajo. También se discuten algunos estudios relacionados con la dinámica de un go kart para identificar la naturaleza de esfuerzos que soportan la estructura del monoplaza.

El trabajo de Quezada [6], presenta algunos análisis tanto estático como dinámico de un chasis go kart con uniones soldadas, las cuales son referencia para el diseño de las uniones adhesivas que se proponen en este trabajo. En el caso estático, se considera que el vehículo no experimenta cambios en su aceleración (a) y velocidad (v), por lo tanto, $a = 0 \text{ m/s}^2$ y $v = 0 \text{ m/s}$ y los valores de fuerza se ilustran en la Tabla 1.

Tabla 1. Fuerzas y distribución del peso (%) en el análisis estático [6].

| Eje | Fuerza Normal (N) | Transferencia del peso (%) |
|-----------|-------------------|----------------------------|
| Delantero | 543,58 | 41,04 |
| Trasero | 780,77 | 58,95 |

La Tabla 1 presenta las fuerzas normales en cada eje y su porcentaje de transferencia de peso dado por las cargas del piloto (70 kg) y el peso del Kart (65 kg). También, se presenta un estudio de los esfuerzos de torsión del chasis sometido a estas cargas, los cuales se ilustran en la Figura 1, reportando un esfuerzo máximo de 174 MPa.

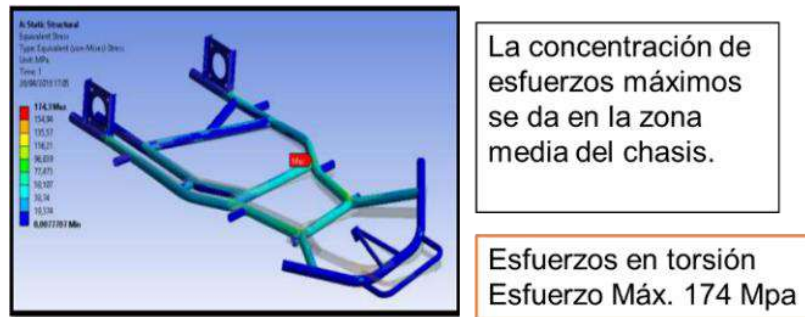


Figura 1. Resultado de esfuerzos en torsión [6].

Para el caso con aceleración, ver Tabla 2, se produce una transferencia de peso desde el eje delantero del go kart hacia el eje trasero en una cantidad proporcional a la magnitud de la aceleración que experimenta el vehículo en ese instante.

Tabla 2. Fuerzas y distribución del peso en aceleración.

| Eje | Fuerza Normal (N) | Transferencia del peso (%) |
|-----------|-------------------|----------------------------|
| Delantero | 350,85 | 26,49 |
| Trasero | 973,50 | 73,51 |

De manera similar, en la Figura 2, el esfuerzo máximo de torsión tiene un incremento a un valor de 183 MPa, situación que exige una mayor capacidad de carga por parte de la unión.

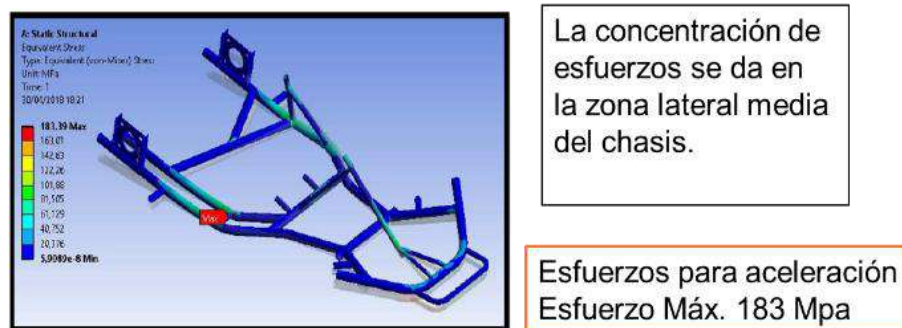


Figura 2. Resultado de esfuerzos para aceleración [6].

En este estudio, el diseño de uniones adhesivas cilíndricas es fundamental para el desarrollo de la propuesta metodológica de construcción y ensamble del prototipo de chasis de vehículo monoplaza go kart. Por otro lado, es importante mencionar que la normativa CIK/FIA [7], no permite el montaje de elementos tipo suspensión en el go kart, bien sea de naturaleza elástica o de acoplamiento, dando una idea de la naturaleza de cargas presentes en el chasis del vehículo. Como se trata de un chasis rígido, sin ningún tipo de suspensión, los elementos interconectados soportan esfuerzos de flexión y torsión para permitir el agarre con la superficie de contacto y/o con la pista. En el caso de considerar una menor rigidez del chasis se debe incrementar la capacidad para soportar esfuerzos de flexión y, por lo tanto, se mejora el agarre a la superficie de contacto. Al contrario, para una mayor rigidez del chasis se disminuye el agarre. Cabe destacar que, como hipótesis de partida de este estudio, para garantizar una menor rigidez de los chasis tradicionales

de un go kart, se ha utilizado para el ensamble de los componentes cilíndricos de la unión, un adhesivo comercial de curado anaeróbico, referencia 648 de la marca Loctite [8].

En este trabajo se realiza una revisión de algunas investigaciones relacionadas con el proceso de diseño, caracterización y ensamble de uniones adhesivas; también se considera y discuten algunos parámetros de ensamble utilizados por diferentes investigadores y finalmente se concreta una propuesta metodológica para el ensamble y fijación de elementos rígidos en un chasis go kart utilizando uniones adhesivas, en particular en este estudio se realiza un ensamble híbrido de uniones adhesivas y uniones soldadas.

2. METODOLOGÍA

El diseño de esta propuesta metodológica para la construcción y ensamble del chasis se basa en un procedimiento secuencial descrito en cinco etapas. La Figura 3 ilustra un diagrama general de la propuesta metodológica que se desarrollará en este trabajo.

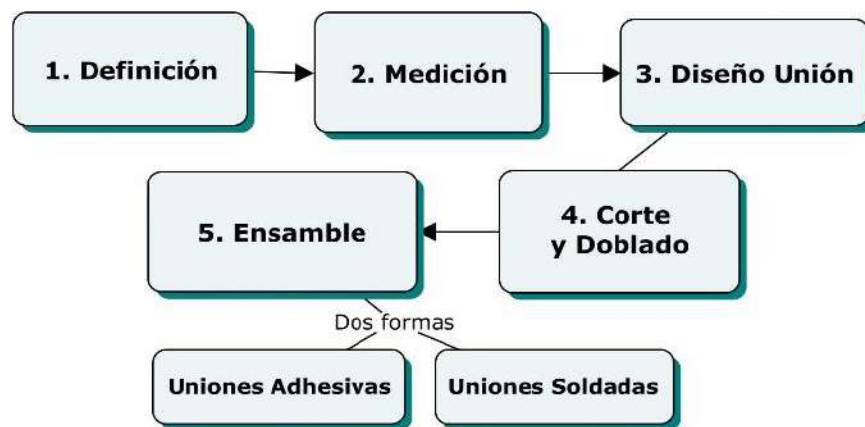


Figura 3. Metodología para la construcción y ensamble de un chasis vehicular con uniones híbridas.

2.1. Etapa de definición

En esta etapa se identificaron los nodos del chasis a utilizar con adhesivos. Mediante el método de análisis por elementos finitos se estudia el comportamiento mecánico de los elementos de la estructura sometidos a múltiples cargas con el propósito de simular algunas condiciones de operación real del chasis. Según los resultados de algunas investigaciones [6,9–11] se considera que los esfuerzos de flexión y de torsión son los esfuerzos críticos a los que está expuesto el chasis. También, se ha logrado identificar que las zonas con mayor sollicitud son las zonas cercanas a los puntos de apoyo con el suelo. Por otro lado, como criterios de diseño de uniones adhesivas, para la selección de los nodos que han de utilizar adhesivos, es importante considerar los esfuerzos presentes en los nodos de la estructura e identificar si estos deben trabajar como elemento rígido o flexible. Para el caso de estudio el modelo CAD del chasis se elabora en el programa SolidWorks y el análisis de los nodos se realiza en el programa ANSYS Workbench.

Teniendo en cuenta las condiciones y las cargas reportadas por Quezada [7], se obtienen los resultados de la modelación que se ilustran en las Figuras 4 y 5. Como se esperaba, las zonas de mayor concentración de esfuerzos se obtienen en los puntos cercanos a los ejes del vehículo.

En la Figura 4, se reportan los esfuerzos máximos con una magnitud de 72,2 MPa en la zona delantera del go kart, los cuales se toman como referencia para la selección de seis puntos en el chasis para ensamble con adhesivos, distribuidos en la zona delantera y en la zona trasera.

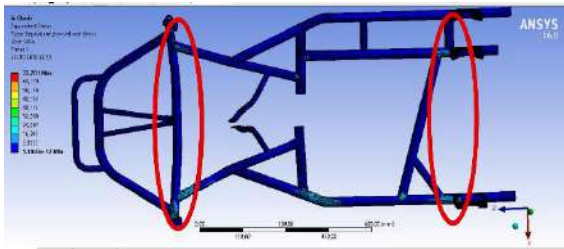


Figura 4. Resultado análisis estático del chasis.

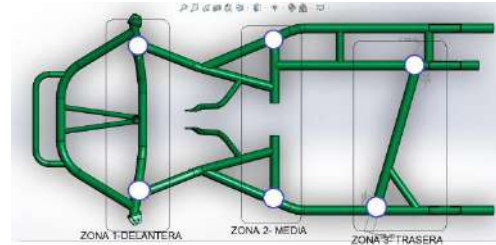


Figura 5. CAD en SolidWorks y caracterización de los nodos seleccionados.

2.2. Etapa de medición

En esta etapa se identifica las variables geométricas de la unión más relevantes para el diseño de la junta adhesiva, las cuales buscan garantizar una alta resistencia mecánica, particularmente en términos de esfuerzos de torsión y flexión, para lo cual es necesario la elaboración de los respectivos planos de los nodos y de los elementos rígidos a unir. Considerando la normativa CIF/FIA, se determinan los diámetros internos y externos de los componentes involucrados en el nodo; el ángulo de la unión de los elementos cilíndricos a ensamblar y el espesor de la tubería, según se ilustra en la Figura 6.

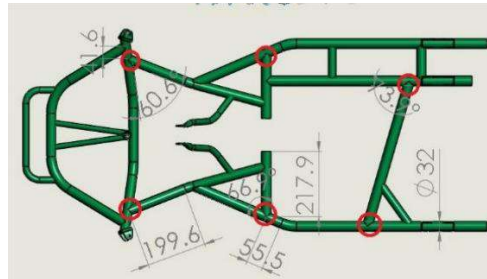


Figura 6. Caracterización de los nodos seleccionados: seis puntos en el chasis; diámetro de la tubería de 32 mm; espesor de la tubería de 3 mm; ángulos de diseño en zona delantera de 60,6°, en zona media de 66,9° y en zona trasera de 73,9°.

2.3. Etapa de diseño

Los parámetros geométricos fueron estudiados por García [3] y Gil [4], utilizando diseños de experimentos sometidos a torsión pura en geometrías cilíndricas. Por tal motivo, en este trabajo se recomienda tener en cuenta estos parámetros geométricos en los diseños de las juntas adhesivas con geometría cilíndrica para alcanzar su máxima resistencia. En este proyecto, los parámetros considerados son: longitud de traslape de 16 mm; espesor de la película de adhesivo de 0,15mm; y parámetro de rugosidad superficial de $1,8 \mu\text{m} - 2,6 \mu\text{m}$. El diseño de la junta adhesiva se complementa con ayuda de la herramienta software de diseño SolidWorks, la cual permite un modelado mecánico en 3D de piezas y conjuntos. Esta herramienta permite evaluar prototipos de diseño antes de su fabricación final, identificar y/o corregir posibles fallas y sus causas.

2.4. Etapa de corte y doblado

Consiste en fabricar todos los componentes del chasis (dirección, soportes de motor, de tracción, entre otros), una vez seleccionada la tubería, y con ayuda de los planos de diseño para la manufactura se verifica que cada elemento sea cortado de acuerdo con las dimensiones de dichos planos. El paso más importante es preparar los extremos de la tubería que se van a unir, tanto con soldadura como con adhesivo. Los nodos del chasis que se unen con soldadura, deben considerar la geometría en los extremos, correspondiente a un corte de la tubería en forma angular para que se acople de manera suave a la superficie del tubo. En este proyecto, se considera el uso de plantillas obtenidas mediante software CAD y manualmente se mecaniza hasta obtener el extremo deseado, como se ilustra en la Figura 7.

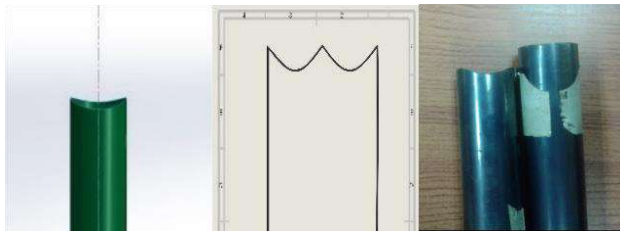


Figura 7. Preparación de extremos de tubería.



Figura 8. Preparación de extremos de tubería para el ensamble.

Para los extremos de la tubería, ver Figura 8, que forman parte de la junta adhesiva se debe verificar el diámetro interior y exterior, para garantizar la tolerancia dimensional del ajuste deslizante y controlar un espesor de adhesivo constante en la junta, teniendo presente las especificaciones de holgura diametral para el adhesivo seleccionado, según el fabricante [8].

2.5. Etapa de ensamble

Se realiza primero las uniones adhesivas y luego las juntas soldadas. Debido a la configuración del chasis y a la ubicación de los puntos con unión adhesiva.

2.5.1 Ensamble de uniones adhesivas

En primer lugar, se debe realizar un proceso de limpieza de las superficies a unir, con alcohol de alta pureza como limpiador y/o con producto recomendado por el fabricante del adhesivo, y posteriormente se deja secar a temperatura ambiente. Cada elemento del chasis se ubica en su posición con respecto a los planos, utilizando una matriz de soldadura. El diseño de la matriz debe garantizar concentricidad de la tubería con los elementos de la unión diseñada, y todo el chasis debe cumplir con las medidas establecidas en los planos de referencia.

Los efectos de capilaridad en el adhesivo líquido le permiten llegar al interior de los poros superficiales llenando los espacios vacíos entre los sustratos (materiales a unir con adhesivos). Para tener un mejor control del volumen necesario de adhesivo a aplicar se recomienda el siguiente método, como se observa en la Figura 9, el adhesivo necesario para estas configuraciones forma un anillo, conociendo los diámetros internos y externos de la tubería y el espesor de adhesivo o la holgura diametral se procede a utilizar la ecuación (1).

$$Va = \pi(R_{ex}^2 - r_{in}^2)L \quad (1)$$

Donde V_a es el volumen de adhesivo, R_{ex} es el radio externo del anillo de adhesivo, r_{in} es el radio interior del anillo de adhesivo y L es la longitud de traslape.

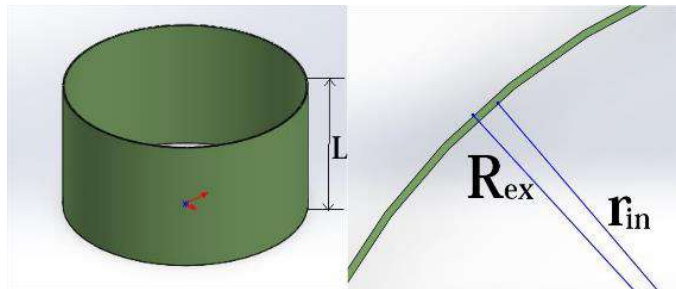


Figura 9. Adhesivo en forma de anillo, conformado entre la tubería y la unión.

En la Figura 10, se ilustra el proceso de ensamble de la tubería con el diseño de la unión. El montaje se realiza de manera secuencial como se ilustra en la Figura 10, sin embargo, no es determinante el orden. Se debe considerar que, al aplicar el adhesivo líquido sobre un sustrato de manera controlada sobre toda la superficie, es necesario realizar pequeños movimientos rotacionales entre los dos sustratos, teniendo en cuenta la ubicación de los componentes. Es aquí donde se ubican todos los elementos en la matriz de soldadura.

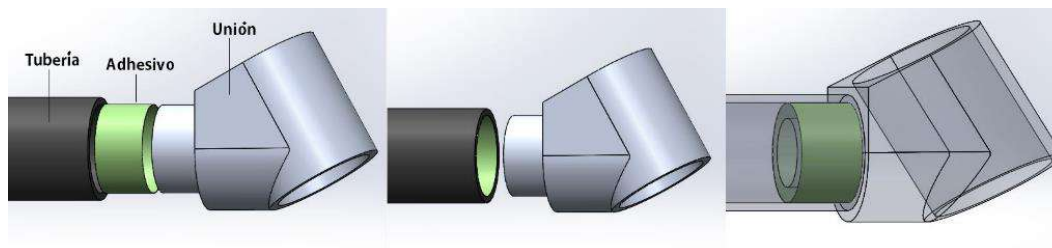


Figura 10. Ensamble de la tubería con adhesivo.

El proceso de curado requiere garantizar una atmosfera controlada (temperatura y tiempo de exposición). Se recomienda una temperatura de 80 °C por 1 hora, y de 24 horas a temperatura ambiente, antes de completar el ensamble con soldadura del resto del chasis, esto con el fin de evitar concentración de tensiones en la junta adhesiva y esfuerzos residuales.

2.5.2 Ensamble de uniones soldadas

Para los nodos del chasis que no utilizan adhesivos se emplea soldadura tipo TIG/MAG, que consiste en un proceso de unión con electrodo, en el cual, es probable que aparezcan fisuras dependiendo del tipo de acero, de la ZAT (Zona Afectada Térmicamente) y de condiciones de enfriamiento, entre otras causas. Con ayuda de la matriz de soldadura se garantiza la correcta unión de todos los elementos del chasis y se evita la concentración de esfuerzos residuales sobre las uniones adhesivas. La secuencia completa de ensamble del chasis con soldadura y uniones adhesivas se ilustra en las Figuras 11 y 12.

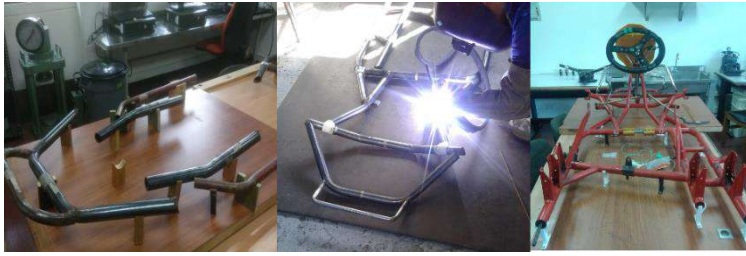


Figura 11. Ensamble de uniones con soldadura.



Figura 12. Prototipos de chasis ensamblados con uniones adhesivas.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se identifica que los esfuerzos críticos a soportar por la estructura del vehículo go kart son de torsión y flexión, y la concentración de estos se presenta en una región cercana a los ejes delanteros y traseros.

Los esfuerzos máximos para soportar la estructura del go kart se incrementan con la dinámica de operación (aceleración y desaceleración) del vehículo.

El proceso de soldadura se realiza posterior al de las uniones adhesivas, con matriz de soldadura para minimizar las posibles deformaciones y concentración de esfuerzos que este proceso genera en las zonas cercanas.

En el proceso de ensamble del chasis se requiere una protección especial para las uniones adhesivas al momento de aplicar la soldadura, para evitar calentamientos excesivos en la junta adhesiva.

4. REFERENCIAS

- [1] Ledezma, R., *Diseño Y Comportamiento De Uniones Estructurales Mecánicas y Adhesivas. Condiciones Superficiales Y Operacionales*, Tesis de Ing., Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Madrid, 2013.
- [2] Taheri, F., Hosseinzadeh, R., “Non-linear investigation of overlap length effect on torsional capacity of tubular adhesively bonded joints”, In: *Composite Structures*, Volumen 91, no. 2, 186-195, 2009.
- [3] García, G. L., *Influencia Del Acabado Superficial Sobre La Resistencia De Juntas Adhesivas Para Fijación De Elementos Cilíndricos*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, 2006.
- [4] Gil, L. F., *Influencia De Parámetros Geométricos Sobre El Comportamiento Mecánico De Juntas Adhesivas Anaeróbicas Sometidas A Ensayos Destructivos De Torsión Pura*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, 2015.
- [5] 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,” In: *VII Congreso Internacional de Materiales*, Número 5, Medellín, Colombia, 2013.
- [6] Quezada, P. A., *Diseño Y Fabricación Del Chasis Para Un Kart KF Según La Norma CIK/FIA*. Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2018.
- [7] CIK/FIA. RÈGLEMENT TECHNIQUE DE KARTING, [Online], Available: <http://www.cikfia.com/regulations/technical.html>, [Accessed: 3-May-2019].
- [8] LOCTITE 648 HOJA DE DATOS TÉCNICOS, [Online], Available: http://www.edifik.com.co/wp-content/uploads/2015/08/1835920_ficha.pdf, [Accessed: 28-Jun-2019].

- [9] Anadón, R., Pabón, D., *Diseño De Un Kart De pista*. Tesis final de grado, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España, 2012.
- [10] Méndez, C. A., Alvares, C., Fernández. Y.B., *et al.*, “Comportamiento estático y modal del chasis de un ómnibus modernizado,” In: *Ingeniería Mecánica*, Volumen. 16, no 2. , 161-170, 2013.
- [11] Parra, J., Ríos, R., “Estudio del comportamiento bajo carga de un chasis para transporte de pasajeros por medio de la tecnología de elementos finitos en la empresa equitel cumandes S.A.” In: *Avances Investigación En Ingeniería*, no. 6, 103-109. ISSN 1794-4953, 2006.